



REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla

**Faculté des hydrocarbures et d'énergies renouvelables et
science de la terre et de l'univers**

Département de Forage et Mécanique des chantiers pétroliers

MÉMOIRE FIN D'ETUDE

Pour obtenir le Diplôme de

Master Option : FORAGE

Présenter Par :

SIAD ahmed yacine

SALMA abderaouf

BELKASMI atef

THÈME :

***Développement d'un Système d'identification des mécanismes
de coincement SIMC cas de puit MLSW04***

Membres de jury

Dr. ZIARI Saber

Encadreur

Univ – Kasdi Merbah Ouargla

2025/2026

Résumer :

Le coincement de garniture de forage pose un défi important dans l'industrie pétrolière et gazière, entraînant des perturbations, des retards et des implications financières. Les causes coincement varient, notamment le coincement différentiel, l'instabilité du puits, les problèmes de géométrie, les obstructions et les défaillances d'équipement. La résolution de ces incidents nécessite une expertise technique, une évaluation minutieuse et la mise en oeuvre de techniques appropriées telles que la gestion des pressions de puits, l'intervention mécanique, les solvants chimiques et les opérations de pêche. La prévention joue un rôle crucial dans la réduction des incidents de tige coincé grâce à des bonnes pratiques telles que la gestion des fluides de forage, la surveillance en temps réel, le renforcement du puits, le nettoyage et une formation complète. Les sociétés de forage doivent disposer de plans de contingence, d'équipements spécialisés et d'une expertise pour gérer efficacement de telles situations, la détection précoce, la réponse rapide et les mesures proactives étant essentielles pour des opérations de forage fluides et efficaces

Summary

Drill string jamming poses a significant challenge in the oil and gas industry, resulting in disruptions, delays, and financial implications. The causes of jamming vary, including differential clutching, well instability, surveying problems, obstructions, and equipment failure. Resolving these incidents requires technical expertise, careful assessment, and the implementation of appropriate techniques such as well pressures management, mechanical intervention, chemical solvents, and fishing operations. Prevention plays a crucial role in reducing jammed drill string incidents through good practices such as drilling fluid management, real-time monitoring, well strengthening, cleaning, and comprehensive training. Drilling companies must have contingency plans, specialized equipment, and expertise to effectively manage such situations, as early detection, rapid response, and proactive measures are essential for smooth and efficient drilling operations.

ملخص

يشكل انسداد انابيب الحفر تحديًا كبيرًا في صناعة النفط والغاز، مما يؤدي إلى اضطرابات وتأخيرات وتداعيات مالية. وتتعدد أسباب الانسداد بما فيها الانسداد التفاضلي، وعدم استقرار ثقب البئر، ومشاكل الهندسة، والعوائق، وفشل المعدات. يتطلب حل هذه الحوادث الخبرة التقنية والتقييم الدقيق وتنفيذ التقنيات المناسبة مثل إدارة ضغوط ثقب البئر، والتدخل الميكانيكي، والمذيبات الكيميائية، وعمليات الصيد. تلعب الوقاية دورًا حاسمًا في تقليل حوادث انغلاق الأنابيب من خلال أفضل الممارسات مثل إدارة سوائل الحفر، ومراقبة الوقت الحقيقي، وتقوية ثقب البئر، وتنظيفه، والتدريب الشامل. يجب أن تتوفر لدى شركات الحفر خطط احتياطية ومعدات متخصصة وخبرة للتعامل مع مثل هذه الحالات بفعالية، مع الكشف المبكر والاستجابة السريعة واتخاذ تدابير استباقية تكون ضرورية لسلسلة وفاعلية عمليات الحفر.

SOMMAIRE

SOMMAIRE :

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

I.1 Historique du Champ de Menzel Ledjmet Est.....	1
I.2 Situation Géographique.....	1
I.3 Situation Géologique.....	2
I.4 Description Lithologique.....	3
I.4.1 Cénozoïqu.....	3
I.4.1.1 Mio-Pliocène.....	3
I.4.1.2 Éocène.....	3
I.4.2 Mésozoïque.....	3
I.4.2.1 Crétacé.....	3
I.4.2.2 Jurassique.....	4
I.4.2.3 Trias.....	4
I.4.3 Paléozoïque.....	5
I.4.3.1 Carbonifère (Namurien).....	5
I.4.3.2 Dévonien.....	5
I.4.3.3 Silurien.....	5
I.4.3.4 Ordovicien.....	6
I.4.3.5 Cambrien.....	6
I.4.4 Le Socle.....	6
I.5 Représentation Lithologique du Gisement MLE.....	7
I.4.1 Triassique argileux gréseux inférieur (TAGI).....	8
I.4.2 Réservoirs carbonifères.....	8
I.4.3. Dévonien inférieur.....	9
I.6 Problèmes Susceptibles d’Apparaître au Champ MLE.....	10
I.6.1 Venues.....	10
I.6.2 Coincements.....	10
I.6.3 Éboulements et Cavages.....	11
I.6.4 Risques de Déviation.....	11
I.6.5 Le Pistonnage.....	11
I.6.6 Pertes de Circulation.....	11
I.6.7 Problématiques Liées au Gaz Humide et aux Condensats.....	12
I.7 Conclusion.....	12

CHAPITRE II : Aperçu sur les mécanismes de coincement

II.1 Introduction.....	15
II.2 Aperçu sur les mécanismes de coincement.....	15
II.3 Les différents mécanismes de coincement.....	15
II.3.1 Coincement par pression différentiel.....	16
II.3.2 Coincements mécaniques et géométrie des puits.....	17
II.2.1 Trou de serrure (Key Seat.....	17
II.2.2 Trou de sous-gauge.....	19

SOMMAIRE

II.2.3 Chute ferraille et objet divers.....	20
II.3.3 Coincement dû aux formations et par accumulation de matière étrangère dans le trou (Pack Off and Bridge).....	23
II.3.1 Sédimentation des déblais et nettoyage du trou	24
II.3.1.1.1 Problèmes liés à la concentration de débris de forage.....	28
II.3.1.1.2 Bourrage et vitesse de glissement des déblais.....	28
II.3.2 Problèmes dus aux formations.....	29
II.3.2.1 Formation non consolidée.....	29
II.3.2.2 Formations fracturées et faillées.....	31
II.3.2.3 Formations mobiles.....	32
II.3.2.4 Formations réactives.....	33
II.3.2.5 Blocs de ciment	35
II.3.2.6 Ciment tendre (Soft cement)	36
II.4 Traitement du coincement et repêchage.....	37
II.4.1 Le battage (Jarring)	37
II.4.2 Dévissage (Back-Off)	37
II.4.2.a Dévissage à l'explosif.....	37
II.4.2.b Dévissage mécanique.....	38
II.4.3 Side track.....	37
II.4.4 Raccordement et repêchage de matériel tubulaire.....	38
II.4.5 Injection des bouchons.....	39
 CHAPITRE III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE MECHANISME IDENTIFICATOR.....	 42
III.1 Déterminer le type de mécanisme de coincement.....	42
III.1.1 Étape cruciale pour une intervention efficace et une prévention durable.....	42
III.1.2 Crucial pour comprendre les causes.....	42
III.1.2.1 Analyse des origines du coincement.....	43
III.1.2.2 Établissement de stratégies de prévention.....	43
III.2 Présentation du système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : « Stuck Pipe Mechanism Identifier ».....	43
III.2.1 Opération du système.....	44
III.2.1.2 Étape 2 : Analyse et attribution de scores.....	46
III.2.1.3 Étape 3 : Résultats et probabilités.....	47
III.3 Amélioration des processus du système initial grâce à l'utilisation du module Pytho.....	48
III.3.1 Coincement par géométrie du puits	49
III.3.2 Coincement par accumulation des objets étrangers dans le trou (Pack off and bridge).....	50
III.4 Amélioration avec module Python : Identification précise du mécanisme de Coincement.....	51

SOMMAIRE

III.4.1 Fonctionnement du système d'identification du coincement avec module Python.....	51
III.4.1.1 Étape 1 : Saisie des données via DataFrame.....	51
III.4.1.2 Étape 2 : Analyse et attribution de scores par vectorisation.....	52
III.4.1.3 Étape 3 : Affichage des résultats en pourcentage via normalisation.....	52
III.5 Avantages des systèmes.....	54
III.6 Exemple de coincement analysé par SPMI.....	55
III.6.1 Affichage du score.....	55
CHAPITRE VII : etude de cas puit MLSW-04.....	58
VII.1 Les conditions de manifestation du coincement.....	59
VII.1.1 La BHA.....	59
VII.1.2 Les caractéristiques de la boue de forage.....	60
VII.1.3 Les paramètres de forage.....	60
VII.2 L'organigramme pour libérer la garniture coincée.....	61
VII.2.1 Point de coincement.....	61
VII.2.2 Estimation de nombre de jours de l'instrumentation.....	61
VII.3 Paramètres de décisionsParamètre « coût ».....	62
VI.4 Timing des opérations.....	63
VI.5 Le Reaming.....	64
VII.6 Le battage.....	64
VII.6.1 Caractéristique de la coulisse.....	64
VII.6.2 Position de la coulisse.....	65
VII.6.3 Déroulement du batta.....	66
VII.7 Dévissage mécanique et coupe à l'explosif.....	66
VII.7.1 Dévissage mécanique.....	66
VII.7.2 Coupe à l'explosif.....	68
VII.7.3 Calcul.....	69
VII.8 Side track.....	72

SOMMAIRE

Liste des figures

Figure 1.2: couches productrices du bloc (405b).....	9
Figure : 1.4 Description du Réservoir MLE.....	10
Figure 1.5: les réservoirs principaux du bloc (405b).....	10
Figure II-1. Blocage de colonnes par accumulation de matière étrangère.....	29
dans le trou (Harish's, 2015).	
Figure II.1: Mise en place et déplacement du bouchon.....	40
Figure II-1.1 Microdogleg(DF,2011).....	
Figure II-2. Formations réactives (DF, 2011).....	35
Figure II-2. Formation non consolidée. (DF,2011).....	
Figure II-4. Formation fracturée. (DF,2011.....	32
Figure II-5. Blocs de ciment. (DF,2011.....	36
Figure II-6. Ciment mou (Soft Ciment). (DF,2011.....	37
Figure II.7: Side track.....	39
Figure II-8. Coincement par pression différentiel. (DF,2011.....	16
Figure II-12. Rebords. (DF,2011.....	
Fig.III.3: Key Seat.....	18
Figure III.4 : Accumulation des déblais au dessus des stabilisateurs et de l'outil.....	
Figure III.5 : Difficulté de nettoyage du trou relativement à l'inclinaison.....	
Fig III.6 : Sédimentation des déblais dans les puits fortement inclinés (>35.....	55
Figure II-7. Objet dans le trou. (DF,2011.....	23
Figure II-14. Under gauge borehole. (DF,2011.....	20
Figure : Organigramme de fonctionnement de système.....	45
Figure : Saisie des données.....	45
Figure : Attribution de scores.....	47
Figure III-4. Résultats et probabilités de coincement.....	48
Figure III-5. Exemple des actions initiales et des actions après décoincement.....	26
Figure III-6. Saisie des données dans SPMI.....	28
Figure III-7. Affichage du score dans SPMI.....	

Liste des tableaux

Tableau 1 : récapitulatif de la lithostratigraphie du champ ML.....	7
Tableau 1.1 : formations géologiques du réservoir.....	8
Tableau III-1. Coincement par géométrie du puit.....	50
Tableau III-3. Identification du mécanisme de coincement par géométrie du puits.....	53
Tableau III-4. D'identification du mécanisme de coincement par accumulation DES objets étrangère dans le trou (Pack off and bridge.....	54
Tableau III-5. Saisie des données et affichage du score sur Excel de coincement p accumulation des objets étrangère dans le trou (Pack Off/Bridge	

Introduction générale

Introduction générale

La finalité d'un forage est d'atteindre l'objectif, qui est le réservoir, avec un prix de revient minimum, sans l'endommager ni compromettre son exploitation

Malgré toutes les précautions prises il existe des problèmes majeurs qui constituent un grand obstacle pour la poursuite du forage, (coincement, perte de circulation, venus), conduit à une perte en temps et en argent considérable.

Parmi plusieurs des obstacles il y'a l'obstacle surnommé coincement de garniture de forage qui est le blocage involontaire de la garniture ou des outils dans le puits. Cet incident coûteux et fréquent souvent étudié dans des régions comme Hassi Messaoud, Ain Amenas, Hassi Berkine.

Il y'a des différents types de coincement : par pression différentielle, par instabilité de la formation, mécaniques.

CHAPITRE I :

Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

I.1 Historique du Champ de Menzel Ledjmet Est

Le champ de Menzel Ledjmet Est (MLE), situé dans le bloc 405b du bassin de Berkine, constitue l'un des développements gaziers majeurs du Sahara algérien oriental. Les travaux d'exploration dans ce périmètre ont été initiés par la compagnie canadienne First Calgary Petroleum (FCP), qui a obtenu la licence d'exploitation sur le bloc dans le cadre de la loi algérienne sur les hydrocarbures. En 2008, le groupe italien Eni a procédé à l'acquisition de First Calgary Petroleum, intégrant ainsi le bloc 405b à son portefeuille d'actifs en partenariat avec le groupe Sonatrach. [1]

Le plan de développement du champ MLE a été approuvé en 2007, pour un investissement initial estimé à 1,3 milliard de dollars. La première production commerciale a été officiellement lancée le 31 janvier 2013, marquant l'aboutissement de la phase de développement et l'entrée du champ dans sa phase d'exploitation. Le bloc 405b comprend deux accumulations distinctes mises en production conjointement : le gisement de gaz humide de Menzel Ledjmet Est (MLE) et le Complexe de la Zone Centrale (CAFC), producteur d'huile et de gaz associé. [2]

Dans le cadre de l'optimisation des infrastructures de la région de Berkine, un projet stratégique de hub gazier a été lancé en 2018, visant à faire du bloc 405b un pôle de centralisation de la production régionale. Ce projet s'est concrétisé par la construction d'un gazoduc de 185 kilomètres reliant le champ MLE au champ BRN, situé dans le bloc 403, dont la mise en service a été achevée en 2020. Cette interconnexion permet la mutualisation des capacités de traitement et contribue à compenser le déclin naturel des champs avoisinants. [3]

I.2 Situation Géographique

Le champ de Menzel Ledjmet Est se situe dans le Sahara algérien nord-oriental, à environ 220 kilomètres au sud-est du champ géant de Hassi Messaoud. Sa localisation en coordonnées géographiques est la suivante :

Il est limité :

- Au Nord-Ouest par les champs de la région de Rhourde Nouss.
- Au Sud-Ouest par les gisements du bassin d'Illizi.
- Au Sud-Est par les installations de la région d'In Amenas.

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

- Au Nord-Est par la frontière algéro-tunisienne, à environ 350 kilomètres. [1]

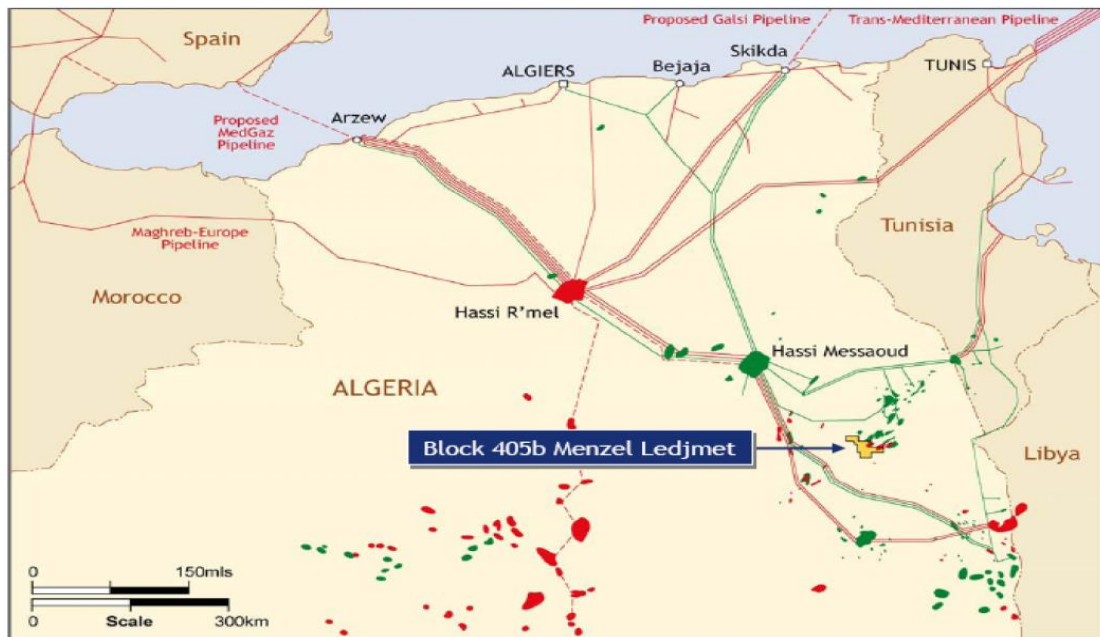


Figure 1 : Carte de localisation du bloc 405b Menzel Ledjmet dans le réseau pétrolier et gazier algérien

I.4 Description Lithologique

La série stratigraphique du champ de Menzel Ledjmet Est est représentée de haut en bas par les formations suivantes : [1] [2]

I.3 Situation Géologique

Le champ de Menzel Ledjmet Est occupe une position structurale privilégiée dans la partie septentrionale du bassin intracratonique de Berkine. Par ses réserves et sa capacité de production, il constitue un élément stratégique de la province triasique orientale.

Géologiquement, il est délimité par :

- À l'Ouest par le môle de Hassi Messaoud et l'axe structural de la dorsale d'El Biod-Hassi Messaoud.
- Au Sud par le haut-fond d'El Biod et le môle d'Amguid-El Biod.
- Au Nord par la plate-forme dahabienne et le bassin de Ghadamès.
- À l'Est par la bordure occidentale du bassin de Ghadamès et les structures de la frontière algéro-tunisienne. [2]

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

I.4.1 Cénozoïque

I.4.1.1 Mio-Pliocène (épaisseur moyenne = 180 à 250 m) Constitué de :

- Sable fin à grossier, blanc à beige, avec fines passées d'argile brun-rouge, tendre à pâteuse.
- Calcaire blanc, crayeux, tendre, avec passées d'argile versicolore.
- Marne gris-brun, fortement sableuse.

Ces terrains forment un recouvrement continental essentiellement sableux, mis en place par l'intermédiaire de chenaux. Ils sont non consolidés et leur porosité est très importante, ce qui entraîne des pertes partielles ou totales et des risques d'éboulement lors du forage. Ils reposent à leur base sur l'Éocène par une surface d'abrasion.

I.4.1.2 Éocène (épaisseur moyenne = 110 à 140 m) Constitué de :

- Argile brun-rouge, fortement sableuse.
- Marne et fines passées d'anhydrite blanche.
- Calcaire dolomitique crayeux, avec parfois des rognons de silex.

Le Tertiaire renferme un complexe aquifère d'eau potable.

I.4.2 Mésozoïque

I.4.2.1 Crétacé

- **a) Sénonien** : constitué de deux niveaux :

- **Carbonaté** (épaisseur moyenne = 100 à 120 m) : calcaire dolomitique avec fines passées d'anhydrite.

- **Lagunaire** représenté par deux unités à faciès lagunaire :

- La première anhydritique, d'une épaisseur moyenne de 210 m, composée d'anhydrite blanche cristalline, de dolomie moyennement dure, de marne et de calcaire argilo-dolomitique.

- La deuxième salifère, d'une épaisseur moyenne de 140 m, constituée de sel massif à traces d'anhydrite.

- **b) Turonien** (épaisseur moyenne = 70 à 130 m) : formations carbonatées constituées de calcaire, craie, dolomie et quelques niveaux argileux. Il contient un aquifère représenté par des eaux à odeur sulfurée.

- **c) Cénomanien** (épaisseur moyenne = 140 à 160 m) : alternance d'anhydrite et d'argile rouge, de marne grise et de dolomie.

- **d) Albien** (épaisseur moyenne = 340 à 380 m) : grès et sables fins avec intercalations d'argile silteuse. Il renferme un aquifère d'eau douce.

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

- **e) Aptien** (épaisseur moyenne = 25 à 30 m) : deux bancs de dolomie cristalline encadrant un niveau argileux.
- **f) Barrémien** (épaisseur moyenne = 270 à 300 m) : grès fins carbonatés alternant avec des niveaux d'argile et de grès dolomitiques.
- **g) Néocomien** (épaisseur moyenne = 170 à 200 m) : dolomie micro-cristalline, marnes et argiles avec de fines passées de grès.

I.4.2.2 Jurassique

- **a) Malm** (épaisseur moyenne = 220 à 250 m) : dépôts d'argile et de marne avec des intercalations de bancs calcaires et de dolomie accompagnées de quelques traces d'anhydrite. Il contient un aquifère d'eau potable.
- **b) Dogger** représenté par deux niveaux :
 - **Argileux** : argiles silteuses, marnes dolomitiques à fines passées de grès (épaisseur moyenne = 100 à 120 m).
 - **Lagunaire** : anhydrite, dolomie argileuse, marne (épaisseur moyenne = 200 à 230 m).
- **c) Lias** d'une épaisseur totale de 280 à 320 m, représenté par cinq niveaux :
 - **LD1** (épaisseur moyenne = 60 à 75 m) : dolomie grise, dure, anhydrite blanche avec parfois des passées d'argile silteuse.
 - **LS1** : bancs de sels et argiles avec des passées d'anhydrite blanche (épaisseur moyenne = 85 à 100 m).
 - **LD2** : dolomies massives, micro-cristallines à quelques passées marneuses renfermant des eaux chlorurées calciques (épaisseur moyenne = 50 à 65 m).
 - **LS2** : sel massif, blanc, translucide avec des intercalations argilo-salifères (épaisseur moyenne = 55 à 70 m).
 - **LD3** (épaisseur moyenne = 25 à 40 m) : marnes à passées dolomitiques.

I.4.2.3 Trias représenté par quatre niveaux :

- **a) Salifère** subdivisé en trois horizons :
 - **TS1** d'une épaisseur de 40 à 55 m : sels massifs, passées d'anhydrite, intercalations d'argile dolomitique.
 - **TS2** (épaisseur moyenne = 170 à 200 m) : sel massif à intercalations d'anhydrite blanche et d'argile gypsifère silteuse.
 - **TS3** (épaisseur moyenne = 190 à 220 m) : sel massif à traces d'argile silteuse, tendre.

Il faut noter que les horizons TS2 et TS3 sont le siège de manifestations d'argiles fluentes.

- **b) Argileux** : argiles plus ou moins silteuses, dolomitiques et anhydritiques avec des intercalations de bancs de sel au sommet (épaisseur moyenne = 110 à 130 m).
- **c) Gréseux** : grès fin à ciment argileux (épaisseur moyenne = 30 à 45 m).

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

- **d) Éruptif** : andésite altérée alternant avec des argiles ($0 < \text{épaisseur moyenne} < 95 \text{ m}$), reposant par l'intermédiaire d'une discordance hercynienne sur les terrains du Paléozoïque.

Les terrains du Trias argilo-gréseux (TAG) sont le siège de zones à pertes plus ou moins virulentes selon la position sur le champ. Le Trias repose en discordance directement sur le Carbonifère ou le Dévonien selon les zones structurales.

I.4.3 Paléozoïque

I.4.3.1 Carbonifère (Namurien)

Dans sa représentation la plus complète, il est constitué de :

- Grès fins à moyens, localement grossiers, à ciment silico-argileux.
- Intercalations de siltstones argilo-micacés et de niveaux carbonatés.
- Épaisseur moyenne variant de 50 à 200 m selon la position par rapport à la discordance hercynienne.

I.4.3.2 Dévonien

Série argilo-gréseuse constituée de :

- Grès quartzitiques fins à moyens, à ciment argileux et siliceux.
- Alternances d'argiles silteuses noires, riches en matière organique, constituant la roche mère principale du bassin de Berkine.
- Niveaux carbonatés localement développés.

L'épaisseur totale du Dévonien varie considérablement selon la paléotopographie hercynienne, allant de 0 à plusieurs centaines de mètres.

I.4.3.3 Silurien

Représenté par deux ensembles :

-Silurien argileux : argiles noires silteuses, riches en matière organique, à Graptolites, constituant la roche mère principale de la province triasique (épaisseur moyenne = 200 à 400 m).

-Silurien gréseux : grès fins à moyens, à ciment argileux, correspondant aux grès de réservoir de la région d'In Amenas et de Tiguentourine.

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

I.4.3.4 Ordovicien

Dans sa représentation la plus complète, il est constitué de quatre termes :

- a) **Les quartzites de Hamra** : quartzites localement grossières, présentant parfois des intercalations argileuses (épaisseur moyenne de 10 à 80 m).
- b) **Les grès d'El Atchane** : grès fins à ciment argileux, bitumineux (épaisseur moyenne = 20 à 30 m).
- c) **Les argiles d'El Gassi** : argiles schisteuses, carbonatées, vertes et noires (épaisseur moyenne = 40 à 60 m).
- d) **Zone des alternances** : argiles indurées alternant avec des bancs quartzitiques isométriques et de grès moyens à fins (épaisseur moyenne = 15 à 25 m).

I.4.3.5 Cambrien

Essentiellement constitué de grès hétérogènes, fins à très grossiers, entrecoupés de passées de siltstones argilo-micacés. On y distingue trois litho-zones :

- Litho-zone R1 (Ri + Ra) : grès quartzites isométriques et anisométriques, à ciment silico-argileux.
- Litho-zone R2 : grès quartzites moyens à grossiers, à ciment argileux assez abondant (illite).
- Litho-zone R3 : série de comblement, grès grossiers à micro-conglomérats feldspathiques, sans intérêt pétrolier majeur.

I.4.4 Le Socle

Rencontré aux environs de la profondeur de 4000 mètres, il est constitué de granite porphyroïde et de roches métamorphiques, représentant le substratum précambrien du bassin de Berkine.

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

Ère/Système	Série/Étage	Épaisseur (m)	Lithologie dominante
CÉNOZOÏQUE	Mio-Pliocène	180-250	Sable, calcaire
	Éocène	110-140	Calcaire, argile
MÉSOZOÏQUE	Sénonien carbonaté	100-120	Calcaire, dolomie
	Sénonien anhydritique	210	Anhydrite, marne
	Sénonien salifère	140	Sel massif
	Turonien	70-130	Calcaire, craie
	Cénomanién	140-160	Marne, dolomie
	Albien	340-380	Grès, argile
	Aptien	25-30	Dolomie
	Barrémien	270-300	Grès, argile
	Néocomien	170-200	Dolomie, marne
	Malm	220-250	Argile, marne
	Dogger argileux	100-120	Argile, marne
	Dogger lagunaire	200-230	Anhydrite, dolomie
	Lias (LD, LS)	280-320	Dolomie, sel
	Trias salifère	400-475	Sel, anhydrite
	Trias argileux	110-130	Argile silteuse
PALÉOZOÏQUE	Trias gréseux (TAG)	30-45	Grès réservoir
	Carbonifère	50-200	Grès, argile
	Dévonien	Variable	Grès, argile
	Silurien	200-400	Argile noire
	Ordovicien	85-195	Quartzites, grès
	Cambrien	Variable	Grès hétérogènes
PRÉCAMBRIEN	Socle	-	Granite

Tableau 1 : récapitulatif de la lithostratigraphie du champ MLE

I.5 Représentation Lithologique du Gisement MLE

Le réservoir principal du champ de Menzel Ledjmet Est se situe dans les formations gréseuses du Trias argilo-gréseux (TAGI) et dans les grès de l'Ordovicien supérieur (Quartzites de Hamra). La structure est de type anticlinal faillé, développée selon une orientation générale NE-SW, caractéristique des structures du bassin de Berkine.

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

TAGI	Carnian	Triassique
F1A	Tournasian	Carbonifere
F1B		
F2A		
F2B	Strunian	Dévonien supérieur
F6-1	Siegenian	Dévonien inferieure
F6-2A UPPER		
F6-2A lower		

Tableau 1.1 : formations géologiques du réservoir

1.4.1 Triassique argileux gréseux inférieur (TAGI)

Le réservoir TAGI constitue la série basale du mésozoïque. Il est marqué par des dépôts de nature fluviatile qui se développent dans tout le bassin.

Le TAGI a deux séquences principales:

1. Le TAGI inférieur, ou la série de remplissage, dont l'étendue et l'épaisseur sont régies par la paléotopographie post-hercynienne.
2. Le TAGI moyen à supérieur, dans lequel prédomine la formation de canal d'une anastomose, le type sinueux. Les séquences terminales du TAGI supérieur dans la partie centrale et au nord-est du bassin de Berkine sont marquées par le début d'une période transgresseur marine à la base des calcaires Triassiques. Les caractéristiques pétrophysiques moyennes du réservoir TAGI sont les suivantes :

- Porosité moyenne : 12 à 18 %
- Perméabilité moyenne : 10 à 100 mD
- Saturation en eau irréductible : 25 à 35 %

1.4.2 Réservoirs carbonifères

De l'âge de Strunian à Visean, les réservoirs de carbonifères se présentent sous la forme d'intervalles de sable-pierre dans les séquences d'argile et de grès associées à un environnement de dépôt marin peu profond. Le carbonifère de base a une étendue limitée à la partie centrale et aux bords occidentaux du bassin de Berkine. La tendance du faciès de grès d'un type proximal indique le rôle prédominant de l'ancien relief de Amguid-Messaoud et Dahar, qui a servi de source principale de matériel. Les réservoirs Strunian-Carbonifere ont des épaisseurs moyennes de l'ordre de 20 à 50 m avec d'excellentes caractéristiques pétrophysiques. Ces grès Produire du gaz condensé et de l'huile à Menzel Lejmat et de l'huile à Rhourde El Khrouf (RKF).

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

1.4.3. Dévonien inférieur

Les réservoirs du dévonien inférieur sont représentés par deux séquences essentielles du Gedinnien, dominées par une série de grès massifs de type fluviatile (post-calédonien) d'épaisseur moyenne de l'ordre de 200 m, et le Siegenien transgressif, qui a des réservoirs en Des pierres de grès interconnectées correspondant à la barre offshore et au type deltaïc. La répartition des faciès dans le Dévonien inférieur est également marquée par l'influence du relief majeur d'Amguid-Messaoud et des détritiques entrants dans le bassin de Berkine du sud-est. Ces grès avec de bonnes caractéristiques pétrophysiques. Sont connus pour produire du condensat de gaz et de l'huile légère dans la zone MLSE et MLE.

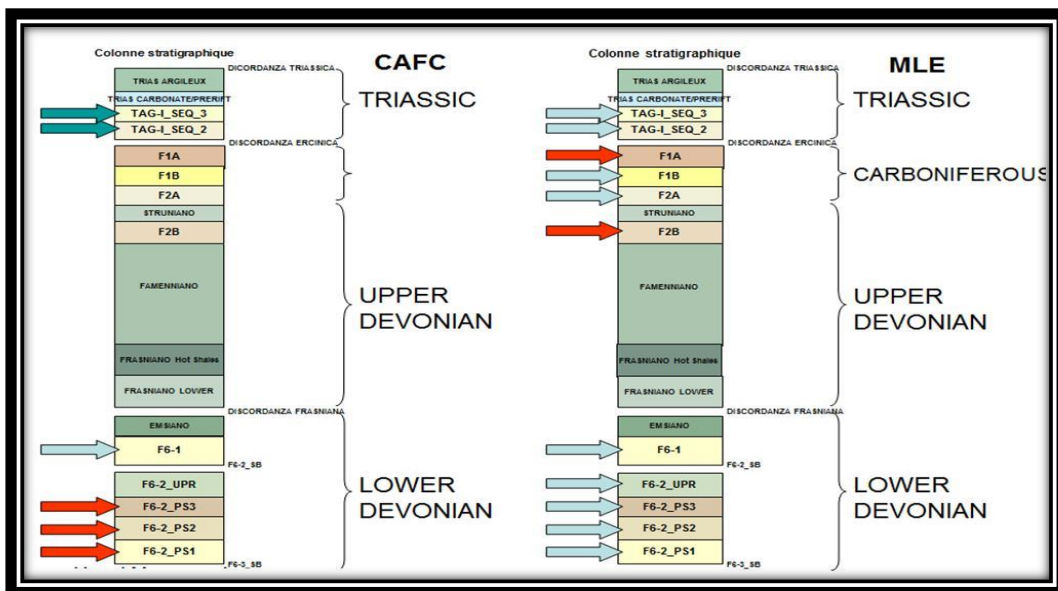


Figure 1.2: couches productrices du bloc (405b).

Les données géologiques de base pour le champ MLE sont obtenues à partir des journaux pétrophysiques, des rapports finaux, des découpages. En outre, plus d'informations régionales ont été déterminées à partir des puits d'exploration forés par FCP sur le bloc 405b à l'ouest du champ MLE. C'était très utile pour fournir des données pour les TAG1 et F6 zones de réservoir (les zones intermédiaires sont érodées).

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

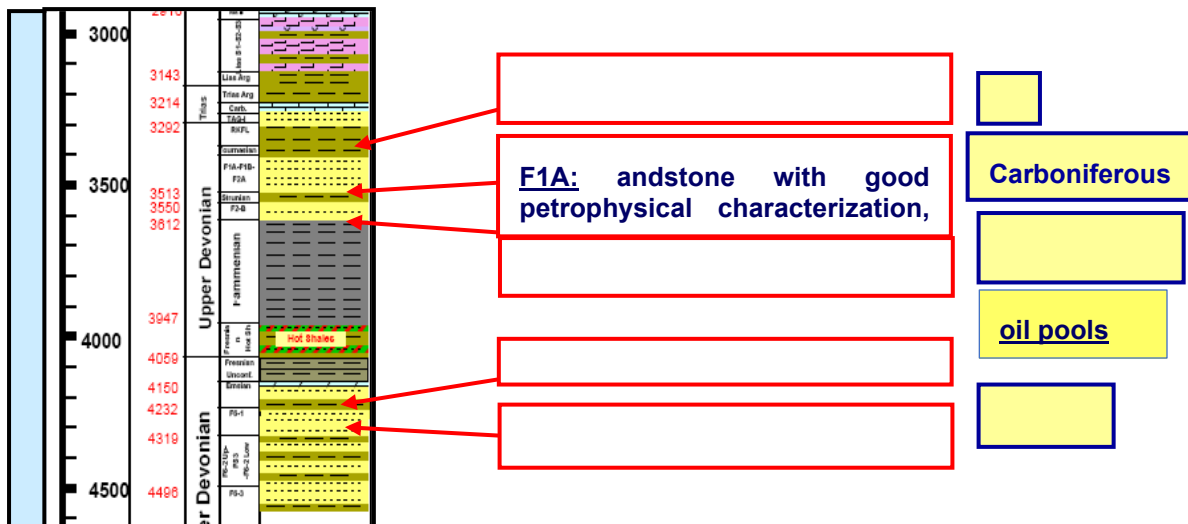


Figure : 1.4 Description du Réservoir MLE

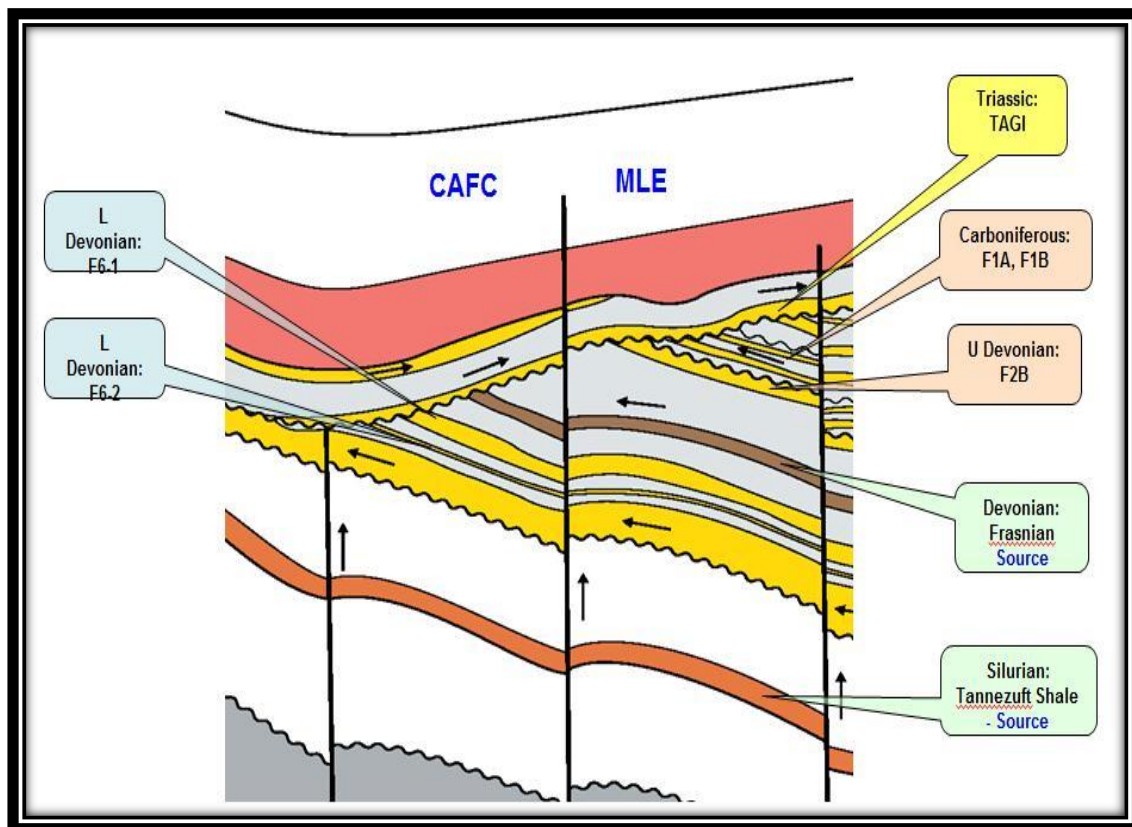


Figure 1.5: les réservoirs principaux du bloc (405b)

I.6 Problèmes Susceptibles d'Apparaître au Champ MLE

Pendant le déroulement des opérations de forage et de production, plusieurs types d'incidents peuvent survenir en entravant la poursuite normale des opérations dans le champ de Menzel Ledjmet Est. Parmi ces effets nuisibles, on cite :

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

I.6.1 Venues

Une venue se produit quand les fluides en place dans un réservoir débitent dans le puits. Ces fluides peuvent être soit de l'eau, soit du gaz, soit de l'huile, soit un mélange. Au niveau du Lias (LD2), il existe un risque de venues d'eaux chlorurées calciques enfermées dans les dolomies, nécessitant une densité de boue adaptée pour maintenir la pression hydrostatique suffisante. Dans le réservoir TAG, des venues de gaz sous pression peuvent survenir si la densité de boue devient insuffisante, présentant un risque d'éruption.

I.6.2 Coincements

En général, on peut définir un coincement comme étant un obstacle qui provoque l'arrêt du forage dont la durée est difficilement prévisible, ce qui nécessite parfois des opérations de repêchage ou de décoincement. Dans le champ MLE, les coincements sont fréquemment liés aux formations salifères et aux argiles fluentes du Trias, ainsi qu'aux argiles gonflantes du Silurien.

I.6.3 Éboulements et Cavages

Des risques d'éboulement et de formation de cavités peuvent apparaître dans les formations calcaires et argileuses du Mio-Pliocène et de l'Éocène, ainsi que dans les sels massifs solubles dans l'eau du Sénonien lagunaire. Les argiles du Trias et du Silurien présentent également des risques d'éboulement par hydratation.

I.6.4 Risques de Déviation

Des risques de déviation peuvent exister dans le Mio-Pliocène car cette formation est très friable et non consolidée. Des problèmes de descente du tubage de surface sont souvent rencontrés. La traversée des formations salifères épaisses du Trias peut également induire des déviations progressives par fluage du sel.

I.6.5 Le Pistonnage

Le pistonnage vers le haut (Swabbing) ou vers le bas (Surging) est un phénomène qui se manifeste lors de la remontée ou de la descente de la garniture de forage, entraînant une dépression ou une surpression au fond du puits. Ce phénomène est particulièrement critique lors de la traversée des zones de réservoir

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

(TAG) où il peut induire des venues de gaz ou des pertes de boue.

I.6.6 Pertes de Circulation

La perte de circulation (perte de la boue) peut se produire à n'importe quelle profondeur pendant n'importe quelle opération. Elle peut être totale ou partielle. Elle est localisée principalement dans quatre étages :

- **Mio-Pliocène** : les pertes par absorption ont souvent lieu dans l'ensemble des formations sableuses ; la barre calcaire occasionne des pertes très souvent totales accompagnées d'éboulement de sables.
- **Sénonien** : pertes totales au niveau des calcaires ; les carbonates supérieurs entraînent souvent l'éboulement des sables du Mio-Pliocène.
- **Turonien** : les calcaires fissurés peuvent donner lieu à des pertes partielles ou totales.
- **Trias argilo-gréseux (TAG)** : craquage de la formation sous l'effet des densités de boue élevées nécessaires pour résister à l'éruption des eaux chlorurées calciques du Lias. Le fluage des argiles du Trias argileux peut également provoquer le craquage des formations gréseuses, entraînant des pertes totales et des coincements.

I.6.7 Problématiques Liées au Gaz Humide et aux Condensats

Spécifiquement au champ MLE, la production de gaz humide riche en condensats engendre des problématiques particulières :

- Risque de condensation dans le tubing et les installations de surface lors des variations de pression et de température.
- Formation d'hydrates de gaz dans les conduites, nécessitant une injection continue d'inhibiteurs (méthanol ou monoéthylène glycol).
- Corrosion par le CO₂ et le H₂S présents dans le gaz produit, imposant l'utilisation d'aciers spéciaux et d'inhibiteurs de corrosion.

CHAPITRE I : Présentation du Champ MLE (Bloc 405b)

I.7 Conclusion

Pour conclure ce chapitre, l'étude du champ MLE nous a permis de constater que les risques de coincement sont bien réels, notamment à cause des argiles gonflantes et des épaisses couches de sel qui caractérisent cette région. Ces formations représentent un vrai défi sur le terrain, et chaque équipe de forage doit composer avec cette réalité. C'est justement pour mieux comprendre ces problèmes et éviter les mauvaises surprises que nous avons orienté notre travail vers ce sujet. Notre objectif est simple : trouver des moyens pratiques pour limiter ces coincements et rendre les opérations plus sûres et plus efficaces sur le bloc 405b.

CHAPTER II :

Aperçu sur les mécanismes de coincement :

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous fournirons un aperçu du coincement des tiges, un problème fréquent dans l'industrie du forage pétrolier et gazier, susceptible de provoquer des retards significatifs, des coûts élevés et même des accidents graves. Par la suite, nous aborderons les divers équipements spécialisés qui peuvent être employés pour prévenir le coincement des tiges de forage ainsi que les différents problèmes associés au forage.

II.2 Aperçu sur les mécanismes de coincement :

On considère qu'une tige de forage est coincée lorsqu'elle ne peut plus se déplacer librement vers le haut, le bas ou tourner selon les souhaits du foreur. Le coincement peut survenir pendant le forage, lors d'une connexion, d'un enregistrement, d'un test, ou durant toute opération impliquant le maintien de l'équipement dans le trou.

Une interruption des opérations prévues se produit lorsque des forces de résistance excessives empêchent le retrait du train de tiges du puits. La tige est alors coincée dans le trou.

Trou serré: Une interruption temporaire des opérations prévues se produit en raison de fortes forces de résistance qui restreignent le mouvement du train de tiges au-delà des conditions de fonctionnement normales. La tige n'est pas coincée dans le trou, car une progression acceptable se poursuit.

II.3 Les différents mécanismes de coincement :

Les coincements se divisent en trois catégories principales. Chacune de ces catégories présente des caractéristiques ainsi que des solutions de prévention et de résolution spécifiques. voici les types :

- Le coincement dus a une pression différentielle trop élevée en face des zones poreuses et perméables.
- Les coincements mécaniques
- Les coincements dus à la formation

Souvent les coincements dus à la formation sont regroupés avec les coincements mécaniques et l'on considère que tout ce qui n'est pas coincement par pression différentielle est un coincement mécanique.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

II.3.1 Coincement par pression différentiel :

Description :

L'adhérence différentielle se produit lorsque le train de tiges est maintenu contre le puits de forage par une force. Cette force est créée par le déséquilibre entre la pression hydrostatique dans le puits de forage et la pression interstitielle d'une formation perméable. Lorsque la pression hydrostatique est supérieure à la pression interstitielle, la différence s'appelle le déséquilibre.

La force résultante du déséquilibre agissant sur une zone du train de tiges est la force qui colle le train de tiges à la surface du sol de forage est la force qui colle le train de tiges. Les coincements par pression différentielle requièrent que les cinq conditions ci-dessous soient simultanément satisfaites :

- Puits assez dévié pour que la garniture vienne au contact de la paroi
- Pression hydrostatique de la colonne de boue, supérieure à la pression de formation
- Zone perméable au point de contact des masse-tiges avec les parois
- Filtrat élevé et surtout cake épais et de résistance médiocre
- Moment d'immobilité de la garniture.

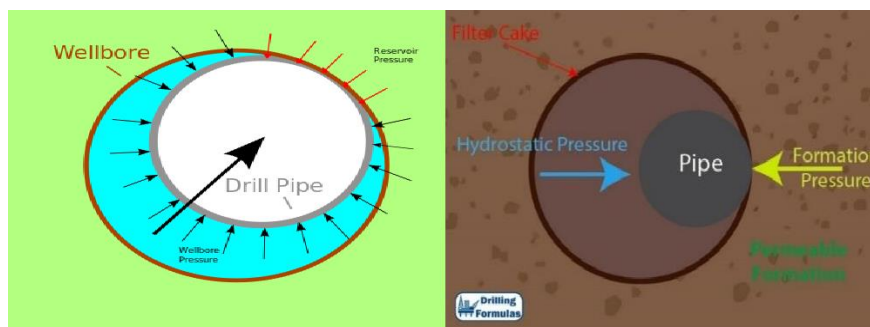


Figure II-8. Coincement par pression différentiel. (DF,2011)

Les Causes :

- Le train de tiges entre en contact avec une formation perméable.
- À l'arrêt du mouvement des tiges, un dépôt de filtration statique se forme.
- Une forte différence de pression exerce une force de coincement différentiel sur la zone de contact du train de tiges.

Les Indices :

- boue à faibles propriétés de filtration
- La circulation n'est pas perdue lors du coincement
- augmenter dans le torque & friction

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

- Forage avec une grande overbalance
- Formation perméable exposée dans un trou ouvert

Pour libérer :

Premières actions en cas de coincement différentiel

1. Établir que l'adhérence différentielle est le mécanisme, c'est-à-dire l'adhérence après une connexion ou un sondage avec une circulation totale et sans restriction à travers une formation perméable (sable, dolomie et éventuellement calcaire).
2. Dans un premier temps, faire circuler l'eau à la vitesse maximale autorisée. Il s'agit de tenter d'éroder le gâteau de filtration.
3. Faire s'écrouler la colonne en maintenant 50 % du couple de serrage du tube de surface (sauf si l'on utilise une colonne de tubes mixtes). Utiliser une action similaire à celle qui serait utilisée avec une sous-couche d'amortisseur - voir note ci-dessous.
4. Ramassez le poids juste au-dessus du poids de départ et recommencez l'étape 2.
5. Répéter les points 2 et 3. Augmenter le couple de serrage à 100% jusqu'à ce que la corde soit libérée ou jusqu'à ce que des préparatifs aient été faits pour :
6. soit - repérer une pilule de libération
7. ou - effectuer des opérations sur le tube en « U ».

II.3.2 Coincements mécaniques et géométrie des puits :

Contrairement aux collages, ces coincements sont presque toujours localisés sur une faible portion de la garniture et généralement situés au niveau des changements de diamètre de la garniture. Les causes de ces coincements sont très diverses et pas toujours faciles à identifier, nous ne retiendrons que les principales.

II.2.1 Trou de serrure (Key Seat)

➤ Définition

Les Key Seat sont des gouttières creusées dans le terrain par le frottement des tiges, pendant le forage ou les manœuvre (FigIII.3), ces gouttières se développent au niveau des dog-legs ou des décrochements que sont d'autant plus profond que :

- Le terrain est tendre
- Le dog-legs est élevé
- La tension des tiges est grande

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

➤ Signes précurseurs

Le développement d'un Key Seat est facile à identifier. Les manifestations sont :

- Accrochages vers le haut lors du passage de la 1^{ère} masse-tige ou stabilisateur à une cote bien précise.
- Descente toujours libre au niveau du Key Seat
- La cote d'accrochage correspondant à un dog-leg

➤ Prévention

IL faut éviter les dog-legs sévères surtout lorsqu'un découvert important reste à forer.

Si le puits présente un dog-leg accidentel trop sévère, il faut essayer de l'atténuer d'abord par une passe d'alésage et ensuite faire travailler un aléreur en tension à son niveau pendant la poursuite du forage.

Dés les premiers symptômes de formation de Key Seat, il faut inclure au sommet des masses tiges un Key Seat wiper (aléreur) ou à défaut un stabilisateur. Il est recommandé également d'inclure dans les tiges lourdes, au dessus du Key Seat wiper, une coulisse permettant de battre vers le bas.

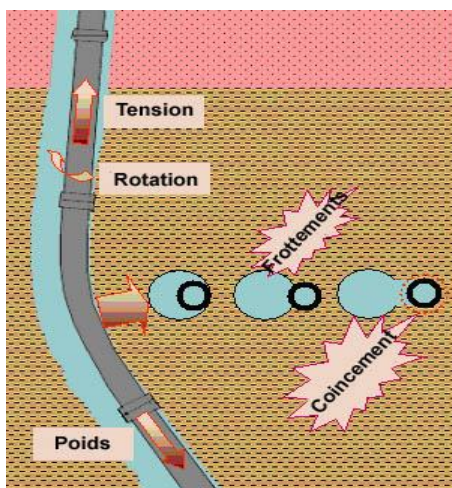


Fig.III.3: Key Seat

II.2.2 Trou de sous-gauge :

Description :

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

Le forage de roches dures et abrasives use le trépan et la jauge du stabilisateur et produit un trou plus petit que la jauge. Lorsqu'un nouveau trépan est lancé, il se heurte à une résistance due à la section de trou sous-dimensionnée. Si le train de tiges est introduit rapidement dans le trou sans alésage, le trépan peut se bloquer dans la section de trou sous-dimensionnée.

Ce mécanisme se produit normalement :

- après la mise en place d'un nouveau bit.
- Après le carottage
- Lorsqu'un trépan PDC est utilisé après un trépan à cône à rouleaux.
- Lors du forage de formations abrasives

D'autres mécanismes de collage peuvent produire des effets similaires, en particulier dans les formations mobiles.

doivent être alésées lorsqu'elles sont introduites avec un trépan pour forer en avant. L'absence d'alésage dans le trou peut entraîner le blocage du trépan dans la section sous-dimensionnée du trou carotté.

Cause :

Un trou devient sous-calibré lorsqu'on fore des roches dures et abrasives qui usent le trépan. L'usure du trépan et des stabilisateurs par ces formations réduit le diamètre du trou. Par conséquent, lors de la descente d'un nouvel assemblage de fond de trou (BHA), le nouveau trépan ou le BHA lui-même peut se bloquer dans cette section de diamètre réduit. De plus, si un carottage est réalisé avec un trépan plus petit que celui utilisé ensuite, le trépan suivant risque de se coincer au début de la section carottée

Action préventive :

Utiliser des embouts et des stabilisateurs protégés par un calibre approprié. Envisager l'utilisation d'alésoirs à rouleaux. Jaugez toujours tous les composants du BHA, à la fois lors de l'entrée et de la sortie du trou. Aléser les sections soupçonnées d'être sous-calibrées. Ralentir la vitesse de déplacement avant que le BHA n'entre dans une zone sous-calibrée.

Indice :

- Mors arraché ou stabilisateurs sous-dimensionnés.
- Ne se produit que lors d'un RIH.
- Poids soudain à l'arrêt.
- La circulation est libre ou légèrement restreinte.
- Le trépan est coincé près du fond du trou ou au sommet d'une section carottée.

Libérer :

Mettre en pot avec la charge maximale de déplacement. Ne pas mettre en pot vers le bas. Envisager

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

l'application d'un couple de serrage en dernier recours



Figure II-14. Under gauge borehole. (DF,2011).

III.2.3 Chute ferraille et objet divers

Débris tombés dans le trou depuis la surface ou l'équipement de fond de puits, qui tombent dans le puits et bloquent le train de tiges.

Ce mécanisme se produit généralement :

- En raison d'une mauvaise gestion de l'appareil de forage.
- Le couvercle du trou n'est pas installé.
- Défaillance de l'équipement de fond de puits.

Cause :

La chute de débris dans le puits ("Junk in the hole") entraîne le blocage du train de tiges (Harish's, 2015)

Signes précurseurs :

- Soyez attentif à toute chute d'équipement depuis la surface dans le puits.
- Une défaillance d'outil en fond de trou peut causer un blocage soudain et imprévisible du train de tiges.
- Un coincement par des débris ("Junk") peut survenir à n'importe quel moment.
- La découverte de matières inhabituelles comme du métal, du bois ou du caoutchouc sur les grilles de déblaiement peut signaler une chute d'objets dans le puits

Indice :

- Le couple de rotation devient brusquement instable.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

- La résistance au mouvement rotatif (drag) s'accroît.
- Du matériel présent sur la plateforme de forage chute dans le puits.

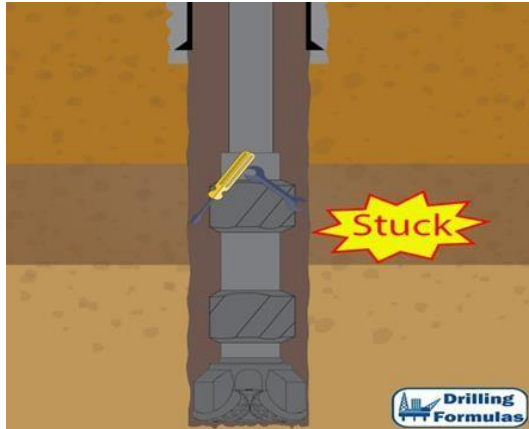


Figure II-7. Objet dans le trou. (DF,2011)



Ledges et Doglegs :

Description :

Ledges : Le puits de forage traverse des roches de différents types et des corniches se développent aux interfaces entre les couches de dureté différente. se développent aux interfaces entre des couches de dureté différente.

Doglegs : Lors du forage d'un puits, les caractéristiques de la roche font dévier le trépan et peuvent entraîner un changement de direction. De même, lors du forage à l'aide d'un BHA directionnel, les changements soudains d'angle peuvent provoquer un coude dans la direction du puits de forage. Les déviations brutales de la direction du puits de forage sont appelées doglegs.

Cause :

Des "ledges" (marches) se créent lorsqu'on traverse des couches de roches variées : tendres, dures et naturellement fissurées. Les stabilisateurs et les raccords du BHA usent plus rapidement les zones tendres et fracturées, tandis que les zones dures conservent leur diamètre initial. Si de nombreuses de ces marches se forment dans le puits, le train de tiges peut se bloquer en passant sous ces rebords. (Harish's, 2015).

Ce mécanisme se produit généralement :

- Lorsqu'une BHA inadaptée est utilisée.
- Après un changement de BHA.
- Formations interstratifiées dures et tendres pronostiquées.
- Formations fracturées / faillées pronostiquées.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

- Après des changements de direction.
- En cours de POOH.

Action préventive :

L'utilisation d'un assemblage de trous compacts permet de réduire les risques de formation de saillies. Minimiser les changements de direction dans le puits de forage. Réduire au minimum les changements de configuration de l'appareil de forage dans les formations susceptibles de produire des rebords. Envisager des voyages d'alésage.

Make a log of depths of ledges and other anomalies. It can help to get a large scale printout from the mud loggers and to draw a scale BHA on a separate piece of paper. The paper BHA can be positioned at the depth of any overpulls and it is easy to see if any of the stabilisers are hanging up at the same point. By using this technique it is simple to keep track of multiple problem zones and to communicate expected problem depths clearly to the driller

Effectuer des sondages à une fréquence suffisante. L'augmentation de la fréquence des études de forage permettra :

- -aider à évaluer/réduire la tortuosité du puits.
- -de réduire le nombre de changements de BHA.

Ralentir les vitesses de déplacement avant que la BHA n'entre dans la zone de rebord suspectée ou dans dogleg. Éviter les circulations prolongées dans les formations molles inter stratifiées. Limiter le poids initial de la descente à moins de 50 % de la traînée de descente afin de minimiser les effets de d'élan lors de l'entrée dans une zone étroite . Ne pas commencer les opérations de construction d'angle trop près du sabot (commencer au moins 30 m en dessous de l'ancien TD du trou).

Indice :

Surcote ou décrue soudaine et irrégulière.

- Les problèmes surviennent à des profondeurs fixes.
- La circulation complète est possible.

Libérer :

En cas de déplacement vers le haut lorsque le collage s'est produit, appliquer le couple de serrage et le cisaillement avec la charge de déclenchement maximale. En cas de déplacement vers le bas, mettre en place un cric avec la charge de déclenchement maximale. Ne pas appliquer de couple.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

Si vous le pouvez, alésez ou alésez très lentement au-delà du problème, car la rotation aidera les stabilisateurs et/ou d'autres outils à rouler au-delà du rebord.

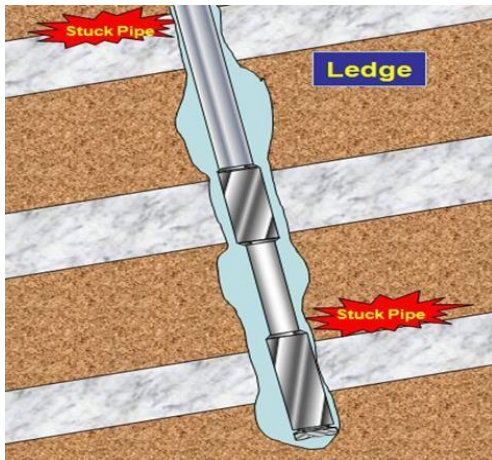
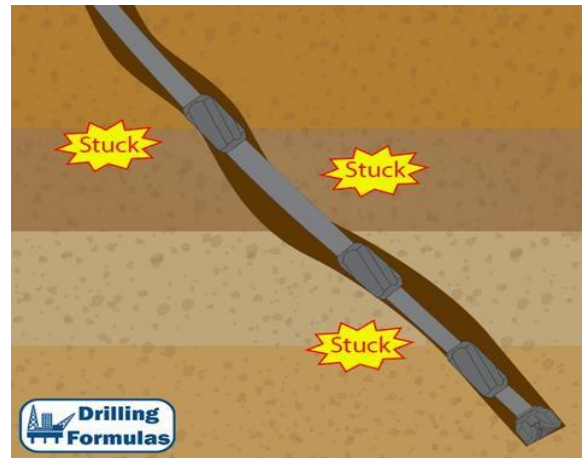


Figure II-12. Rebords. (DF,2011)



FigureII-11.Microdogleg(DF,2011).

III. Coincement dû aux formations et par accumulation de matière étrangère dans le trou (Pack Off and Bridge) :

1. Définition et Mécanismes

Le **Pack-off and Bridging** survient lorsque des éléments solides s'accumulent dans le puits et bloquent l'espace annulaire autour du train de tiges ou de l'assemblage de fond (*BHA*)

- **Pack-off** : Il s'agit d'une accumulation de petits débris (déblais de forage, sédiments) qui viennent « emballer » la garniture, obstruant totalement ou partiellement la circulation du fluide.
- **Bridge** : C'est une obstruction physique massive, souvent causée par l'effondrement de parois instables ou la chute de gros blocs de roche dans le puits, créant un pont rigide qui arrête le mouvement de la tige (Duan et al., 2023).

Ces phénomènes se produisent lorsqu'un élément, tel que des déblais de formation ou des débris (Junk), se trouve dans le puits et s'accumule autour du train de tiges/BHA, bloquant ainsi l'espace annulaire entre les tiges et le puits. Il est important de noter que des débris de toutes tailles peuvent provoquer le coincement des tiges.

- **Statistique mondiale** : Le colmatage et le bourrage sont les causes les plus courantes de coincement des tiges à l'échelle mondiale. Ces situations surviennent généralement lorsque les pompes à boue sont

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

arrêtées pendant une période prolongée, par exemple lors du retrait du train de tiges du puits. Libérer les tiges en cas de colmatage ou de bourrage est une tâche complexe, et les chances de succès sont inférieures à celles des coincements causés par la pression différentielle ou la géométrie du puits.

2. Causes principales

Ces incidents sont généralement induits par

- **Nettoyage insuffisant du puits :** Une accumulation de déblais (*cuttings*) qui retombent lorsque la circulation est arrêtée ou que le débit est trop faible.
- **Instabilité des parois :** Des formations fragiles ou plastiques qui s'effondrent ou se déforment sous l'effet des contraintes mécaniques ou chimiques ([Elsalam et al., 2016](#)).
- **Présence de débris métalliques (*Junk*) :** Chute d'outils ou d'éléments de la garniture dans le puits

3. Signes précurseurs et Diagnostic

Il est crucial de détecter ces phénomènes tôt, car les chances de succès pour libérer la garniture sont statistiquement plus faibles que pour les autres types de coincements. Les indicateurs incluent :

- **Restriction de la circulation :** Une augmentation soudaine de la pression de pompage (pression au *stand pipe*)
- **Augmentation du couple et de la traction :** Des difficultés lors de la remontée (*POOH*) ou de la descente (*RIH*) de la garniture
- **Absence de retours :** Diminution ou arrêt du flux de boue au niveau des tamis vibrants

4. Actions immédiates et Prévention

En cas de suspicion de pack-off, les procédures recommandées sont les suivantes :

1. **Réduire le pompage :** Il faut réduire les coups de pompe de moitié pour éviter de piéger une pression excessive sous le bouchon, ce qui aggraverait le coincement
2. **Appliquer du couple et battre vers le bas :** Si le coincement survient lors de la remontée, il est conseillé d'appliquer du couple et d'utiliser la coulisse de forage (*jar*) vers le bas avec la charge maximale autorisée ([Assi, 2023](#)).
3. **Rotation :** Maintenir une rotation lente si possible pour tenter de briser l'accumulation de solides

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

Packing off - Premières actions :

- a) Dès les premiers signes de serrage du train de tiges et de tentative de tassement, les courses de la pompe doivent être réduites de moitié. Cela permettra de minimiser la pression piégée si le trou se tasse. Une pression excessive appliquée à un pack-off aggraverait la situation. Si le trou se nettoie, rétablissez le débit normal.
- b) Si le string se détache, arrêtez immédiatement les pompes et purgez la pression du stand pipe [NB : impossible avec un robinet à flotteur sans orifice]. Lors de la purge de la pression sous un pack-off, contrôlez le débit de manière à ne pas introduire de solides dans le train de tiges au cas où ils boucheraient le train.
- c) Laisser une faible pression (<500 psi) bloquée sous l'obturateur. Cela servira d'indicateur que la situation s'améliore si la pression diminue. la pression s'évacue.
- d) En maintenant une pression maximale de 500 psi sur le tube vertical et avec le train de tiges suspendu à son poids libre en rotation, commencez à faire tourner le train de tiges jusqu'au couple de rattrapage maximal. A ce stage, ne pas faire monter ou descendre le train de tiges.
- e) Poursuivre le cycle du couple, en surveillant les pertes de pression et les retours au niveau des agitateurs. En cas de purge ou de circulation partielle, augmenter lentement les courses de la pompe pour maintenir une pression maximale de 500 psi au niveau de la tige verticale. Si la circulation s'améliore, continuer à augmenter les courses de la pompe.
- f) Si la circulation ne peut être rétablie, travailler le tige entre le poids libre vers le haut et le poids libre vers le bas. N'APPLIQUEZ PAS DE PULSIONS EXCESSIVES ET DE POIDS DE DÉCHARGE, car cela AGGRAVERAIT LA SITUATION (50k lb max). Tout en travaillant la corde, continuez à faire tourner le couple jusqu'au décrochage et maintenez une pression maximale de 500 psi dans la conduite.
- g) N'ESSAYEZ PAS DE TIRER LES JARRES DANS UN SENS OU DANS L'AUTRE.
- h) Si la circulation ne peut pas être établie, augmentez la pression du stand pipe par étapes jusqu'à 1500 psi et continuez à travailler le pipe et à appliquer un couple de serrage.
- i) Si le tuyau n'est pas dégagé une fois la circulation complète établie, commencez les opérations d'ébranlement dans la direction opposée au dernier mouvement du tuyau. Une fois que le tuyau est dégagé, faites pivoter et nettoyez le trou avant de poursuivre le déplacement.

III.1. Sédimentation des déblais et nettoyage du trou:

Si les déblais forés ne sont pas transportés vers la surface, dû à une vitesse de remontée (vélocité) insuffisante et/ou des caractéristiques boues inadaptées (rhéologie) ; Quand la circulation est arrêtée, les déblais tombent dans le trou et obstruent l'espace annulaire autour de la garniture de forage causant

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

ainsi un coincement.

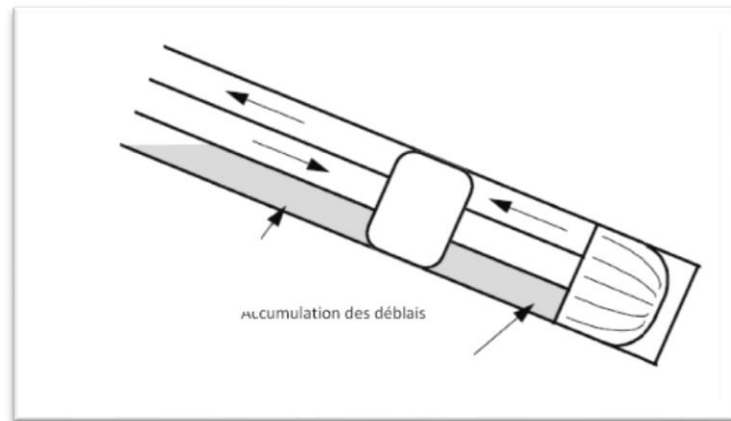


Figure III.4 : Accumulation des déblais au dessus des stabilisateurs et de l'outil.

Les faits parlent d'eux-mêmes. Dans le monde un tiers de tous incidents de coincement dans les puits verticaux ($< 35^\circ$) et 80% dans les puits déviés ($> 35^\circ$) ont une relation directe ou indirecte avec le nettoyage de trou. La montée vers le haut dans le pourcentage est un résultat direct de la difficulté de réaliser un bon nettoyage du trou avec l'augmentation de l'angle. (Figure III.5)

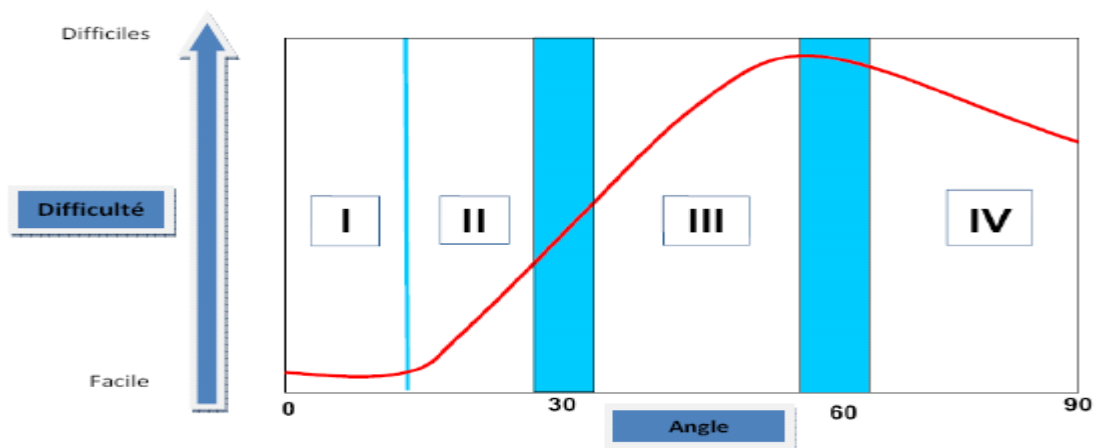


Figure III.5 : Difficulté de nettoyage du trou relativement à l'inclinaison.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

a) Sédimentation dans les puits inclinés $< 35^\circ$

➤ Causes :

- Les déblais forés ne sont pas transportés en surface dû à une vitesse de remontée insuffisante et/ou des caractéristiques boues inadaptées (rhéologie).
- Quand la circulation est arrêtée, les déblais tombent dans le trou et obstruent l'espace annulaire autour de la garniture de forage.

➤ Actions préventives :

- Contrôler la vitesse d'avancement, et optimiser la vitesse de remontée des déblais.
- Maintenir une valeur de gel et de yield suffisante.
- Circuler 5 à 10 minutes avant un ajout de tige.
- Circuler le puits propre (minimum un bottom-up) avant de remonter au jour

b) Sédimentation dans les puits inclinés $> 35^\circ$

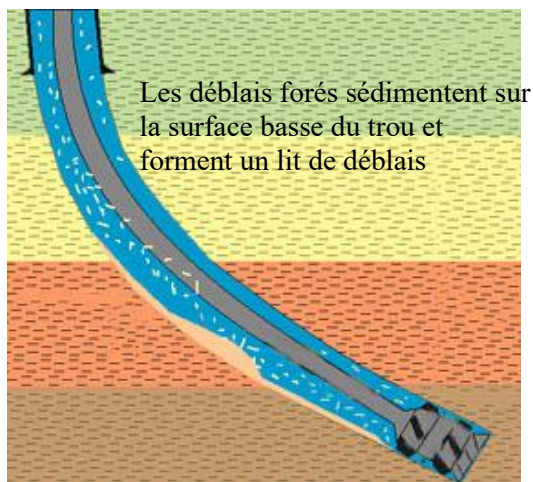
➤ Causes (Fig III.7)

- Les déblais forés sédimentent sur la surface basse du trou et forment un lit de déblais.
- Le lit de déblais s'épaissit pendant le forage et glisse dans le trou pour former un bouchon obstruant la garniture de forage sur son espace annulaire.
- Lors de la manoeuvre de remontée, le lit de déblais est entraîné avec la BHA et fini par constitué un bouchon obstruant l'espace annulaire avec comme risque le coincement de la garniture de forage.

➤ Actions préventives :

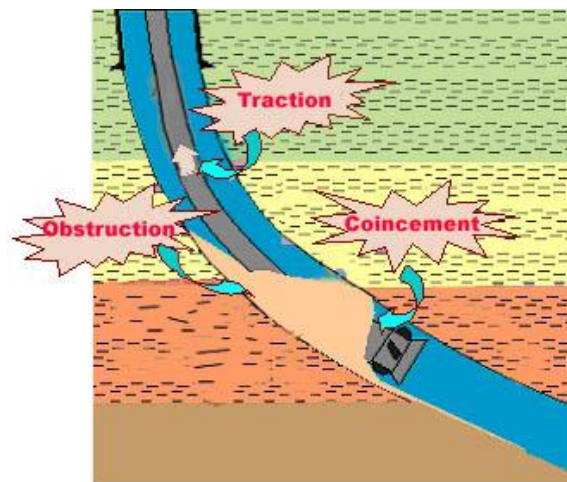
- Enregistrer les indicateurs de tendance pour un nettoyage adéquat.
- Contrôler la vitesse d'avancement.
- Maintenir les bonnes caractéristiques de la boue.
- Circuler à un débit maximum (en fonction du diamètre du trou).
- Maximiser la rotation de la garniture.
- Circuler le puits propre avant de remontée au jour.
- Imposer une limite de traction.
- Utiliser un bouchon basse viscosité/haute densité.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :



FORAGE

Le lit de déblais s'épaissit puis glisse au fond du trou obstruant l'espace annulaire autour de la garniture de forage.



MANOEUVRE

Pendant la manœuvre de remontée, le lit de déblais est entraîné vers le haut avec la BHA et finit par former un bouchon entravant le passage de la garniture.

Fig III.6 : Sédimentation des déblais dans les puits fortement inclinés ($>35^\circ$)

II.3.1.1.1 Problèmes liés à la concentration de débris de forage :

Une concentration excessive de débris de forage (solides de faible densité) rend difficile la maîtrise des propriétés d'écoulement et de filtration de la boue. Ce surplus entraîne une baisse de la vitesse de forage, une usure prématurée du trépan et une augmentation des problèmes liés au puits

II.3.1.1.2 Bourrage et vitesse de glissement des déblais :

Le bourrage survient quand les débris ne sont pas correctement évacués de l'espace entre le train de tiges et la paroi du puits. Cela peut arriver si les débris tombent trop vite par rapport à la vitesse de la boue, ou si la boue elle-même n'est pas adaptée. Lorsque les pompes s'arrêtent, ces débris se déposent au fond et peuvent bloquer l'espace autour des tiges, causant leur coincement. Pour nettoyage efficace, la vitesse de la boue dans l'espace annulaire doit dépasser la vitesse de chute des débris en mouvement. De plus, la boue doit pouvoir transporter les débris quand elle circule et les maintenir en suspension à l'arrêt.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :



Figure II-1. Blocage de colonnes par accumulation de matière étrangère dans le trou
(Harish's, 2015)

II.3.1.1.3 Cause :

Évacuation inadéquate des débris de forage du puits.

- Vitesse du fluide insuffisante dans l'espace annulaire.
- Caractéristiques inappropriées de la boue de forage (viscosité, densité, etc.).

Dépôt de débris à l'arrêt de la circulation

- À l'arrêt des pompes, les débris, sous l'effet de la gravité, redescendent dans le puits.
- Ils peuvent alors s'agglomérer autour du train de tiges et obstruer l'espace annulaire, entraînant le coincement.

Indices de coincement par accumulation de déblais dans les puits verticaux :

- La circulation du fluide de forage est réduite, voire complètement bloquée : ce signe est essentiel car il révèle une obstruction significative dans le puits.
- Le risque est élevé lors des arrêts de pompes (notamment pendant les connexions) ou des mouvements de tiges (entrée/sortie) : ces phases critiques facilitent la chute et l'accumulation des débris.

II.3.2.Problem dus au formations

II.3.2.1 Formation non consolidée :

Description :

Une formation non consolidée tombe dans le puits de forage parce qu'elle est faiblement tassée avec peu ou pas de liaison entre les particules, les cailloux ou les blocs.

L'effondrement de la formation est causé par l'enlèvement de la roche de soutien au fur et à mesure que le puits est foré. C'est un peu comme creuser un trou dans le sable sur la plage plus vite vous creusez, plus vite le trou s'effondre.

Il se produit dans un puits de forage lorsqu'il n'y a pas ou peu de filtrat. La formation non liée (sable,

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

gravier, petits blocs du lit d'une rivière, etc.).ne peut pas être soutenue par un équilibre hydrostatique, car le fluide s'écoule simplement dans la formation. Le sable ou le gravier tombe alors dans le trou et se détache du train de tiges. L'effet peut être une augmentation graduelle de la traînée sur un certain nombre de mètres, ou peut être soudain. Ce mécanisme est normalement associé à des formations peu profondes. En voici quelques exemples les structures peu profondes du lit des rivières à environ 500 m dans le centre de la mer du Nord et dans les trous de surface des puits terrestres.

Cause :

- Le dépôt de filtre sur la paroi du puits est mince ou inexistant.
- Ceci se produit face à des terrains meubles (sable, gravier, etc.) incapables de résister à la pression du fluide de forage.
- Le sable et le gravier s'écroulent alors dans le trou et bloquent le train de tiges.

Action préventive :

Ces formations ont besoin d'un gâteau de filtration adéquat pour aider à stabiliser la formation. La perte de suintement peut être minimisée avec un matériau fin de circulation perdue. Si possible, évitez un temps de circulation excessif avec la BHA en face des formations non consolidées afin de réduire l'érosion hydraulique. Repérer une pilule de gel avant le POOH. Ralentir la vitesse de déclenchement lorsque la BHA se trouve en face de formations non consolidées afin d'éviter les dommages mécaniques.

Démarrer et arrêter les pompes lentement afin d'éviter les coups de bélier dans les formations non consolidées. Contrôler le forage de la zone suspecte afin de laisser le temps au gâteau de filtration de se former, de minimiser la charge dans l'anneau et les ECD qui en résultent. Utilisez des balayages pour aider à maintenir le trou propre. Préparez-vous à une surcharge de l'agitateur, du dé siltreur et du des sableur.

Une méthode utilisée avec succès en mer du Nord consiste à forer 10 m, à revenir en arrière jusqu'au sommet de la section et à attendre 10 minutes. Notez tout remplissage au fond lorsque vous revenez pour forer en avant. Si le remplissage est important, veillez à répéter le processus tous les 10 mètres. Il peut être impossible d'empêcher l'effondrement du trou. Si c'est le cas, laissez le trou se stabiliser de lui-même avec le BHA vers le haut, hors de danger

Indice :

- Augmentation de la pression de la pompe.
- Remplissage par le bas.
- Trop-plein sur les raccordements
- Constatation d'une importante accumulation de gravier, de sable et de galets sur les tamis à boue

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

Libéré :

Suivez les premières mesures, mais sachez que les pressions (500 psi, 1500 psi) ne pourront probablement pas être atteintes dans les formations peu profondes.



Figure II-2. Formation non consolidée. (DF,2011)

II.3.2.2 : Formations fracturées et faillées :

Description :

Un système de fractures naturelles dans la roche se trouve souvent à proximité des failles. Les roches situées à proximité des failles peuvent se briser en petits ou grands morceaux. S'ils sont détachés, ils peuvent tomber dans le puits et bloquer le train de tiges dans le trou. Même si les morceaux sont collés ensemble, les impacts de l'arceau de sécurité dus aux vibrations du train de tiges peuvent provoquer la chute de la formation dans le puits de forage. Ce type de blocage est particulièrement inhabituel dans la mesure où le blocage d'une conduite peut se produire pendant le forage. Lorsque cela s'est produit dans le passé, le premier signe de problème a été le serrage du train de tiges et le collage. Il existe un risque de collage dans les formations fracturées/failleuses lors du forage à travers une faille et lors du forage à travers des formations calcaires fracturées.

Ce mécanisme peut se produire :

- dans les zones tectoniquement actives.
- dans les calcaires fracturés pronostiqués.
- lors du forage de la formation.

Cause :

Dans les zones rocheuses naturellement fissurées, des fragments de la formation se brisent et tombent dans le puits, obstruant le train de tiges.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

Action préventive :

Minimisez les vibrations du train de tiges. Choisissez une autre vitesse de rotation ou modifiez la configuration du BHA si vous observez de fortes vibrations dues aux chocs. Ralentir la vitesse de déclenchement avant que le BHA ne pénètre dans une zone soupçonnée d'être fracturée ou faillée.

En général, les formations fracturées ont besoin de temps pour se stabiliser. Préparez-vous à passer du temps lors du forage initial et de l'alésage avant de réaliser des progrès significatifs. Faites circuler le trou proprement avant de continuer à forer. Limiter la vitesse de déclenchement lorsque le BHA se trouve en face de formations fracturées et de zones de faille. Démarrer/arrêter le train de tiges lentement pour éviter les coups de bélier dans le puits. Anticiper l'alésage pendant les déplacements. Aléser les zones fracturées avec prudence.

Indice :

Remplissage des trous sur les connexions

- Pertes ou gains possibles
- Cavages endommagés par des défauts au niveau des secoueurs.
- Le collage peut être instantané

Libérer :

Si le pliage se produit alors que l'on est immergé, il est nécessaire de suivre les premières mesures. Dans le cas contraire, il faut remonter (JAR UP) pour tenter de briser les débris de formation. Il est essentiel de déployer tous les efforts possibles pour maintenir la circulation. Utilisez des fluides de balayage visqueux à haute densité pour éliminer les débris. Appliquez de l'acide localisé s'il y a un coincement dans le calcaire.

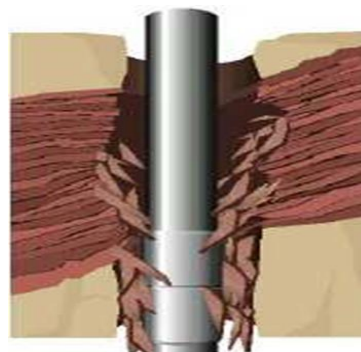


Figure II-4. Formation fracturée. (DF,2011)

II.3.2.3 : Formations mobiles :

Ce phénomène se rencontre dans les formations "plastiques" comme les schistes et le sel, qui ont tendance à se déformer et à se déplacer vers l'intérieur du puits pendant le forage.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

Cause :

Le poids des terrains sus-jacents comprime les formations plastiques comme le sel ou le schiste, les poussant à se déformer et à réduire le diamètre du puits, ce qui entraîne le blocage du BHA.

Signes précurseurs :

- Il est probable que la formation traversée contienne du sel ou du schiste plastique.
- On observe une augmentation soudaine de la force nécessaire pour tirer le train de tiges vers le haut ou du poids que l'on peut poser sur le fond du puits.
- Le couple de rotation augmente brusquement lors du forage rapide dans une formation plastique.

Indice :

- Ce problème survient souvent lors de la remontée du train de tiges (POOH), mais peut aussi se produire à la descente (RIH), surtout après un arrêt prolongé.
- Il peut également se manifester pendant le forage si la formation se déforme rapidement.
- Le blocage se situe au niveau du BHA, à la profondeur de la formation plastique.
- La circulation du fluide de forage est généralement normale ou légèrement entravée.

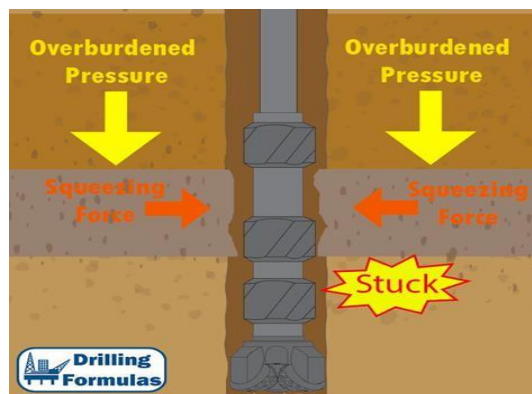


Figure II-4. Formation mobile . (DF,2011)

II.3.2.4 Formations réactives :

Description :

Un schiste sensible à l'eau est foré avec moins d'inhibition que nécessaire. Le schiste argileuse absorbe l'eau et gonfle dans le puits. La réaction est « dépendante du temps », car la réaction chimique prend du temps à se produire. Toutefois, ce temps peut varier de quelques heures à quelques jours.

Ce mécanisme se produit normalement :

- Lors de l'utilisation de WBM dans des schistes et des argiles dans des formations jeunes.
- Lors du forage avec une spécification de boue incorrecte.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

En particulier, une concentration insuffisante d'additifs d'inhibition dans l'OBM et le WBM tels que les sels (KCl, CaCl), le glycol et les polymères.

Cause :

- Les schistes absorbent l'eau de la boue de forage et gonflent. Une forte absorption d'eau entraîne la désagrégation des schistes, qui tombent dans le puits et peuvent bloquer le train de tiges.
- L'instabilité des schistes est une réaction chimique lente. Elle peut ne pas être visible au début du forage, mais apparaître plusieurs jours après.

Action préventive :

Utiliser un système de boue inhibée. Maintenir les propriétés de la boue comme prévu. L'ajout de divers sels (potassium, sodium, calcium, etc.) réduira l'attraction chimique de l'eau sur le schiste. Divers polymères d'encapsulation (revêtement) peuvent être ajoutés à la boue WBM pour réduire le contact de l'eau avec le schiste. La surveillance des propriétés de la boue est la clé de la détection de ce problème. Le temps d'ouverture du trou dans le schiste doit être réduit au minimum. Si les schistes commencent à gonfler, il peut être utile de procéder à des passages réguliers de racleurs ou d'aléseurs. La fréquence doit être fonction de la durée d'exposition ou des signes avant-coureurs de schistes réactifs. Veillez à ce que le nettoyage du trou soit suffisant pour nettoyer la formation excédentaire, c'est-à-dire les billes d'argile, les solides à faible gravité, etc.

Indice :

- Cavages hydratés ou pâteux.
- Les tamis des secoueurs se détachent, des billes d'argile se forment.
- Augmentation du LGS, de l'épaisseur du filtre cake, du PV, du YP, du MBT.
- Augmentation ou fluctuations de la pression de la pompe.
- Se produit généralement en POOH.
- La circulation est impossible ou très limitée.

Libérer :

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

POH lentement pour éviter l'écouvillonnage. Voir Premières actions

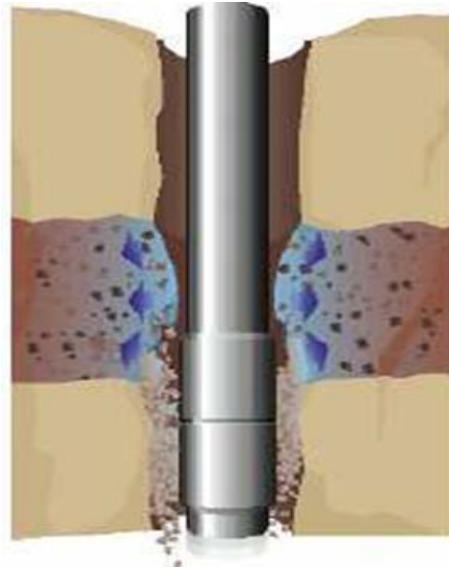


Figure II-2. Formations réactives (DF, 2011).

II.3.2.5 Blocs De Ciment :

Le ciment autour du sabot du tubage ou du bouchon de ciment en trou ouvert perd sa solidité et se fragmente en morceaux qui tombent dans le puits. (Harish's, 2015)

Cause :

La présence de nombreux fragments de ciment dans l'espace annulaire peut bloquer le train de tiges. De plus, une section non tubée trop longue ("Rat-Hole") augmente ce risque.

Signes précurseurs :

- Une section non tubée trop longue ("Rat-Hole") offre plus d'espace pour que les débris de ciment s'accumulent, augmentant le risque de blocage.
- Forage à travers des zones où une cimentation en trou ouvert ou un bouchon de ciment initial a été réalisé.
- Présence de fragments de ciment sur les grilles de déblaiement (shakers).

Indice :

- Détection de débris de ciment sur les grilles de déblaiement de la boue.
- Identification de ciment dans les échantillons examinés par le technicien de boue (mud logger).
- Possibilité de blocage soudain du train de tiges par des fragments de ciment.
- Circulation du fluide de forage partiellement obstruée.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

- Forte augmentation irrégulière du couple de rotation et de la résistance au mouvement (frottement).

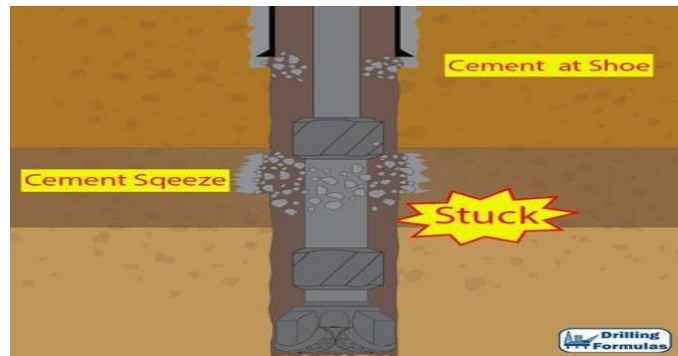


Figure II-5. Blocs de ciment. (DF,2011)

II.3.2.6 Ciment tendre (Soft ciment) :

Cause :

- La circulation est entreprise lorsque le fond de la garniture de forage est dans le ciment tendre;
- La pression de la pompe entraîne le durcissement immédiat du ciment;
- Vitesse de pénétration élevée lors de reforage du ciment tendre.

Indice :

- L'augmentation rapide de la pression de la pompe est un signe.
- Le couple de rotation croît subitement. •
- Si le ciment frais durcit vite, la circulation peut devenir impossible ou faible, même avec une pression de pompe très élevée.

Actions préventives :

- Connaître le temps de prise du ciment;
- Si le poids de pose est observé à la descente retirer rapidement deux longueurs avant de circuler;
- Commencer la circulation 2 longueurs au dessus du sommet du ciment;
- Contrôler la vitesse de pénétration lors de reforage du ciment.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :



Figure II-6. Ciment mou (Soft Cement). (DF,2011)

II.4 traitements du coincement et repêchage

La réussite d'une opération de décoincement nécessite une analyse précise des causes (coincement mécanique, différentiel ou par géométrie de trou). Les techniques suivantes sont appliquées selon un ordre logique de complexité et de risque.

II.4.1 LE BATTAGE (Jarring)

- **Description** : Technique mécanique utilisant un outil jar (hydraulique ou mécanique) pour accumuler de l'énergie puis la relâcher brutalement, créant un choc axial.
- **Mécanisme** : Le choc génère une onde de contrainte dans la garniture (vitesse de propagation env. 5 000 m/s dans l'acier), qui vient rompre les forces de frottement statique entre la garniture et la paroi.
- **Application** : On distingue le battage vers le haut (overpull) pour les coincements par crépine ou déblais, et le battage vers le bas (slack-off) pour les coincements par effondrement.

II.4.2 Dévissage (Back-Off) :

Si ça ne marche pas, dévissez la partie libre de la garniture. Pour dévisser une garniture coincée, il y a deux méthodes :

Dévissage par explosion.

Dévissage mécanique.

a) Dévissage à l'explosif :

principe :

Le dévissage du joint se fait à gauche. Le choix est favorisé par les vibrations causées par une explosion au niveau de ce joint. L'explosif est attaché à un câble conducteur qui permet de déclencher la mise à feu à distance.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

Le back off est risqué. Les chances de succès sont Souvent faibles.

b) Dévissage mécanique :

- Pour dévisser, serrez ou déserrez à gauche.
- C'est une opération délicate, on ne sait pas trop où le dévisser.
- Pour réussir, il faut appliquer un couple à gauche plus important que le couple de blocage À droite.
- Si possible, dévissez dans la zone du joint.

II.4.3 SIDE TRACK :

Cette opération se fait quand on a essayé de remonter le poisson sans succès, ou si c'est plus économique de creuser un trou pour le récupérer. Le but est de faire un trou. Poursuivez en faisant un mouvement vers l'avant avec la tête du poisson.

- **Principe** : Abandon définitif du poisson dans le sous-sol.
- **Conditions de déclenchement** : Coût du repêchage estimé supérieur au coût d'un nouveau puits, ou poisson irrécupérable.
- **Méthode** : Pose d'un "whiptock" (came d'orientation) ou d'un bouchon de ciment renforcé (bouchon de déviation). Forage d'une nouvelle courbe pour contourner l'obstacle.

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

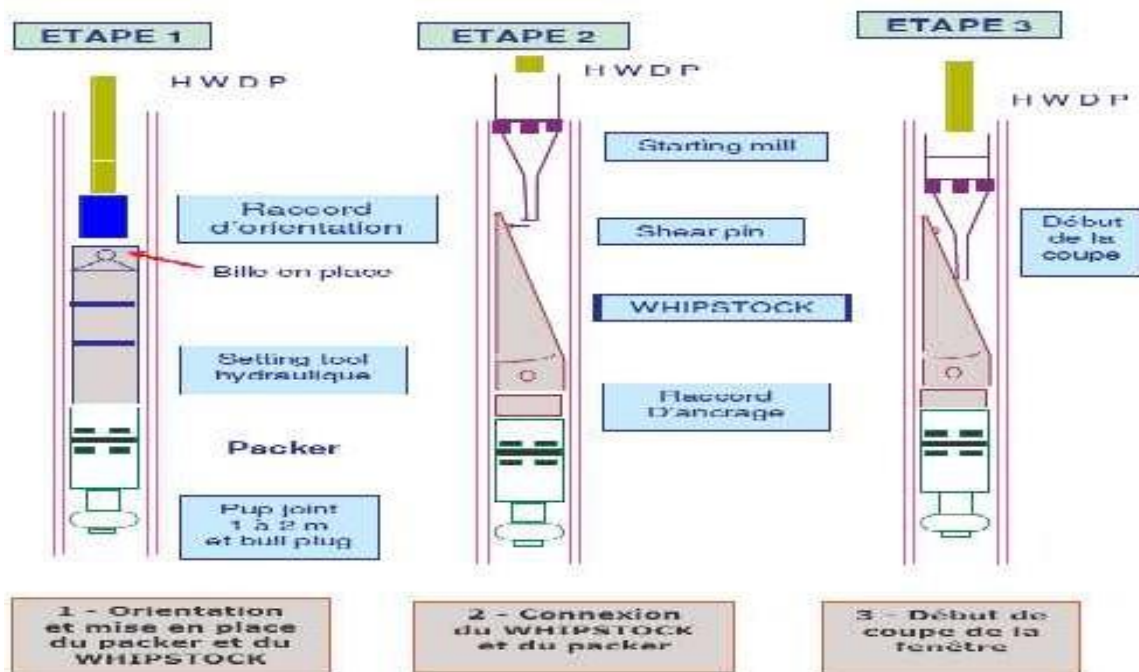


fig II.7: Side track

II.4.4 Raccordement et repêchage de matériel tubulaire :

Critères d'un bon raccordement :

- Caractéristiques mécaniques et géométriques homogènes avec la garniture de forage ;
- Possibilité de se libérer à volonté ;
- Etanchéité à la circulation.

Outils de raccordement :

- Tool joint ;
- Taraud ;
- Overshot.

II.4.5 Injection des bouchons :

Ces bouchons seront mis en place au niveau de la zone de coincement afin d'imprégner le cake, puis déplacés progressivement dans l'espace annulaire. Leur objectif principal est de fragiliser le cake et d'abaisser le coefficient de friction C_f . Les bouchons ont également un effet sur la pression différentielle si leur densité est plus faible que celle de la boue dans l'espace annulaire.

Procédure de mise en place du bouchon d'acide :

CHAPITER II : Aperçu sur les mécanismes de coincement :

- mise en place des unités de pompage des fluides et des citernes ;
- Une réunion de sécurité est organisée pour informer l'ensemble du personnel présent sur le chantier.

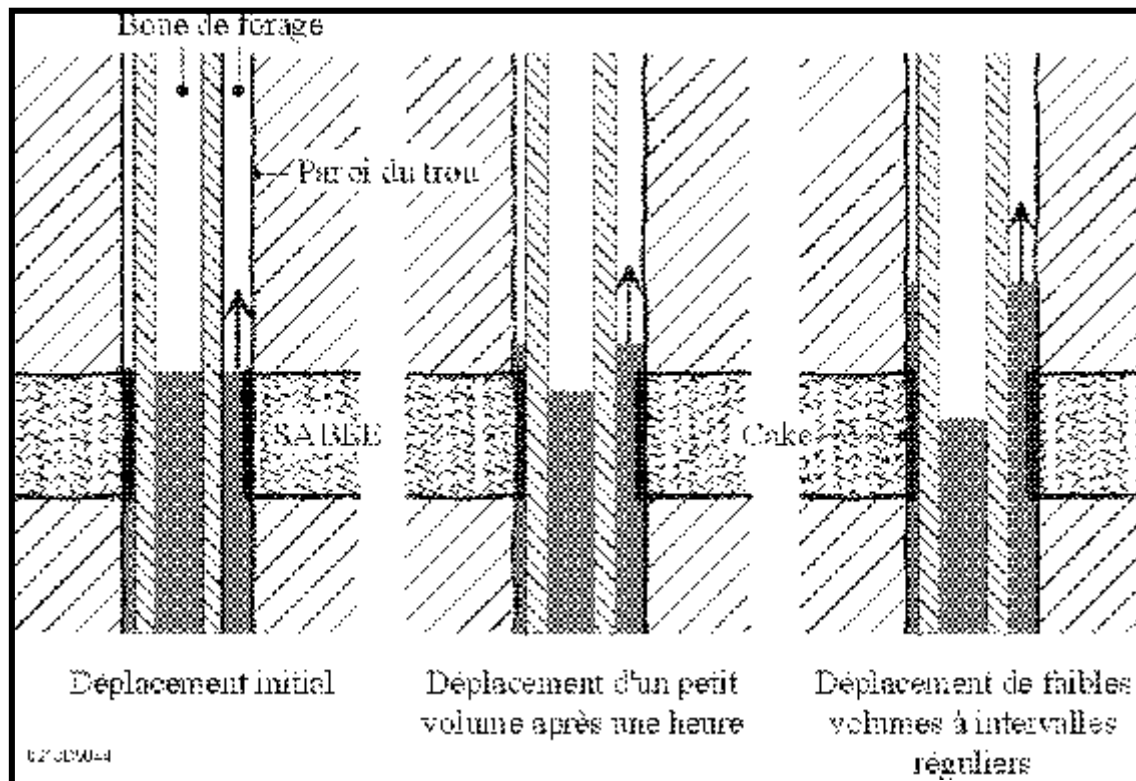


Fig II.1: Mise en place et déplacement du bouchon

CHAPTER III :
Développement d'un système d'identification
des mécanismes de coincement du train des tiges
STUCK PIPE

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

MECHANISME IDENTIFICATOR :

Un coincement de tige de forage est une urgence qui nécessite une réaction rapide et adéquate. Toute hésitation ou mauvaise action peut aggraver la situation et avoir des conséquences désastreuses (temps d'arrêt longs, coûts élevés de récupération, voire abandon du puits). Un système d'identification précis du mécanisme de coincement est donc crucial pour permettre une intervention rapide et appropriée, minimisant ainsi les risques opérationnels, économiques et environnementaux. La promptitude et la pertinence de la réponse initiale sont déterminantes pour une gestion efficace de cet incident critique.

III.1 Déterminer le type de mécanisme de coincement :

III.1.1 Étape cruciale pour une intervention efficace et une prévention durable :

Saisir la nature exacte du blocage de la colonne de forage est absolument essentiel pour réussir une intervention qui règle le problème durablement. En effet, déterminer précisément le type de coincement permet aux équipes de forage de :

Choisir les bonnes solutions : Chaque type de blocage demande des méthodes différentes. Un diagnostic exact indique les techniques et les outils les plus efficaces pour dégager la colonne bloquée.

Établir des actions de prévention sur mesure : En comprenant pourquoi le blocage s'est produit, il devient possible de repérer les éléments qui augmentent le risque et de mettre en place des stratégies pour les réduire lors des prochains forages.

III.1.2 Crucial pour comprendre les causes :

Déterminer avec exactitude la nature du blocage de la conduite est fondamental pour déchiffrer les raisons profondes de cet incident. Cette compréhension détaillée des éléments qui ont mené au problème permet d'élaborer des stratégies efficaces pour réduire au maximum les risques que cela se reproduise.

III.1.2.1 analyse des origines du coincement :

L'étude du type de coincement apporte des informations cruciales sur les causes du problème. En

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

identifiant les mécanismes à l'œuvre, il devient possible de :

Déceler les manquements ou les erreurs de forage qui ont pu entraîner le coincement.

Identifier les particularités géologiques du terrain qui ont rendu la situation plus fragile.

Évaluer les décisions de conception de l'ensemble de forage et du puits qui ont pu favoriser le problème.

Analyser les paramètres de forage qui ont accentué le risque de coincement

III.1.2.2 Établissement de stratégies de prévention

Grâce à une compréhension approfondie des origines du blocage de la conduite, les équipes de forage peuvent élaborer et appliquer des mesures de prévention spécifiques pour éviter la répétition de tels incidents. Ces mesures peuvent comprendre :

- **L'ajustement des méthodes de forage** en tenant compte des spécificités géologiques rencontrées.
- **Le choix d'un ensemble de forage mieux adapté** aux caractéristiques du puits.
- **L'optimisation des réglages de forage** afin de minimiser les risques de coincement
- **L'instauration de protocoles de surveillance plus rigoureux** pour identifier les signaux d'alerte précoce d'un éventuel coincement.

III.2 Présentation système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : « Stuck Pipe Mechanisme Identifier »

Le « **Stuck Pipe Mechanism Identifier** » (Système d'Identification des Mécanismes de Coincement du Train des Tiges) est un ensemble intégré d'outils, de technologies et de méthodologies conçu pour **déterminer le type spécifique de coincement affectant le train de tiges de forage.**

En d'autres termes, c'est un système qui vise à **diagnostiquer la cause fondamentale pour laquelle le train de tiges est bloqué dans le puits.**

Ce système peut inclure :

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

- **La collecte et l'analyse en temps réel des données de forage** (pression, couple, traînée, débit, etc.).
- **L'application de règles expertes basées sur la connaissance du forage.**
- **L'utilisation d'algorithmes d'intelligence artificielle et d'apprentissage automatique** pour identifier des motifs et des corrélations dans les données.
- **Des interfaces utilisateur pour visualiser les données et présenter les diagnostics.**
- **Des bases de connaissances sur les différents types de coincements et leurs symptômes.**

L'objectif principal d'un tel système est de fournir aux équipes de forage un **diagnostic précis et rapide** du mécanisme de coincement. Cette information cruciale permet ensuite de **sélectionner et d'appliquer les techniques de libération les plus efficaces**, de **mettre en place des mesures correctives adaptées**, et d'**améliorer les pratiques de forage futures pour prévenir de tels incidents**. En somme, le « Stuck Pipe Mechanism Identifier » est un outil d'aide à la décision essentiel pour minimiser les temps d'arrêt, les coûts et les risques associés aux coincements de tiges de forage.

III.2.1 Opération du système :

L'outil analyse finement les données de forage (circulation, mouvements, rotation) avant et après le blocage. En croisant ces informations avec des algorithmes pointus et des simulations de forage, il pose un diagnostic précis du type de coincement rencontré. Cette approche combinée permet une identification fiable du problème

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

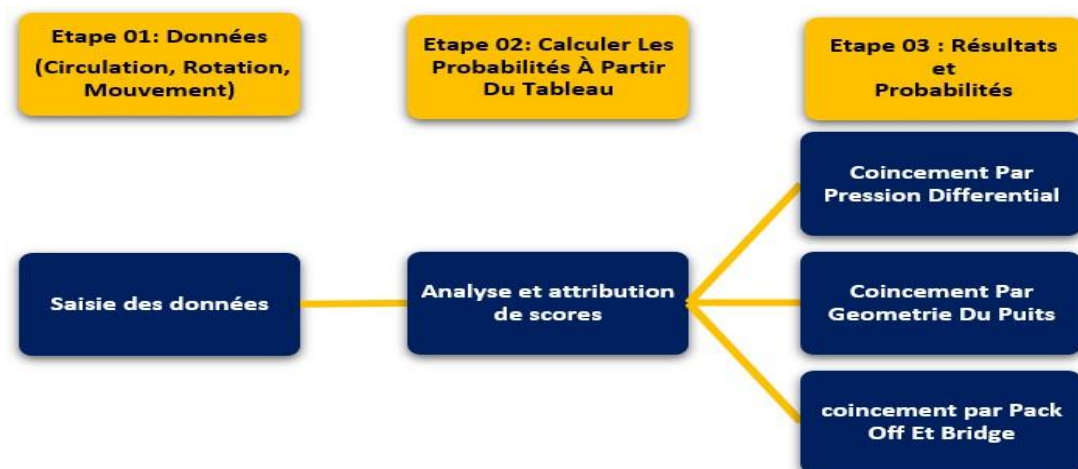


Figure : Organigramme de fonctionnement de système.

Indiquez les conditions de forage juste avant le blocage en choisissant parmi les options suivantes concernant les paramètres tels que :

Avant Coincement : Quelle était la situation juste avant le coincement ?	Après coincement : Quelle était la situation juste après le premier coincement ?
Circulation : La boue de forage circulait-elle ? Rotation : La tige tournait-elle ? Mouvement de la tige : La tige se déplaçait-elle ? Si oui, était-elle en train de monter, descendre ou de rester statique ?	Circulation ex : La circulation est impossible comme en témoigne l'absence de circulation de boue visible dans l'image. Mouvement de la tige ex : La tige est immobile, indiquant un arrêt total du mouvement de la conduite. Rotation ex : La rotation est également impossible comme en témoigne l'absence de mouvement visible de la colonne.

Figure : Saisie des données

CHAPTER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

What was the situation :

Before sticking ?	After sticking ?
Axial pipe movement ☐ moving up ☐ moving down ☒ axial static	Axial pipe movement ☒ can't move up or down ☐ limited movement ☐ free in one direction
Pipe rotation ☐ rotating ☒ not rotating	Pipe rotation ☒ can't rotate ☐ limited rotation ☐ free to rotate
Circulation ☒ circulating ☐ not circulating	Circulation ☐ can't circulate ☐ limited circulation ☒ free to circulate

Calculate probabilities

III.2.1.2 Étape 2 : Analyse et attribution de scores :

En fonction de vos choix, le logiciel attribue des scores à diverses catégories de coincements potentiels :

- Coincement lié à un différentiel de pression.
- Coincement résultant de la géométrie du puits.
- Coincement causé par un tassement ou un pont.

Le score attribué à chaque catégorie indique dans quelle mesure les conditions de forage que vous avez spécifiées correspondent aux caractéristiques typiques de chaque type de coincement.

Prior to Sticking

Axial Pipe Movement			
Moving Up	0	2	2
Moving Down	0	2	1
Axially Static	2	0	2
Pipe Rotation			
Rotating	0	1	2
Not Rotating	2	1	1

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

Circulation			
Circulating	1	1	2
Not Circulating	1	1	1

After Sticking			
Axial Pipe Movement			
Cannot move up or down	2	1	1
Limited movement	0	2	1
Free in one direction	0	2	1
Pipe Rotation			
Cannot rotate	2	1	1
Limited rotation	0	2	2
Free to rotate	0	2	0
Circulation			
Cannot circulate	0	0	2
Limited circulation	0	1	2
Free to circulate	2	2	0

Figure : Attribution de scores.

Le système SPMI (Stuck Pipe Mechanism Identifier) attribue un score à chaque question en se basant sur le tableau pour chaque mécanisme évalué. Ces scores individuels sont ensuite additionnés et divisés par 100 % de chaque type afin d'obtenir un score global pour chaque mécanisme, exprimé en pourcentage. Ce pourcentage reflète la probabilité associée à chaque type.

III.2.1.3 Étape 3 : Résultats et probabilités :

Après l'évaluation, le logiciel détermine la probabilité de chaque type de coincement en pourcentage. Un score élevé pour un type indique une forte probabilité qu'il soit à l'origine du blocage.

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

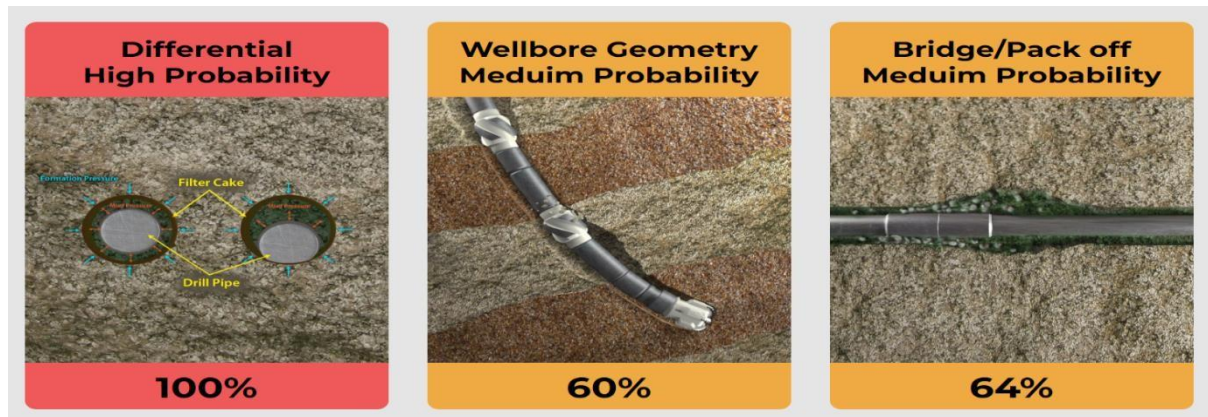


Figure III-4. Résultats et probabilités de coincement.

L'image illustre les manœuvres initiales et celles entreprises après avoir libéré le mécanisme de coincement le plus probable

Releasing a Stuck Drill String Due to Differential

Primary Actions:

1. Maximum Flow Rate: Apply the maximum possible flow rate.
2. Rotating Down: Apply maximum torque to the drill string and rotate down to the sticking depth. Torque increases the chances of freeing the tool.
3. Weight on Bit Reduction: Reduce the weight on bit to the maximum set weight.
4. Jarring Down: Jar down with maximum displacement weight. Torque can be cautiously applied during jarring down. Jarring down has a higher probability of releasing the tool compared to jarring up. Exercise patience when using a hydraulic jar, as each cycle may take around 5 minutes.

Secondary Actions :

1. Reduce Hydrostatic Pressure: Pump mud/lightened mixture to reduce hydrostatic pressure. Ensure the overall hydrostatic pressure remains sufficient to control reservoir fluids and prevent accidental influx into the wellbore.
2. Continued Jarring Down: Continue jarring down with maximum displacement weight and apply torque to the drill string.
3. Patience: Releasing the tool may take a considerable time.

Once the Tool is Released:

1. Maximum Flow Rate Circulation: Circulate at the maximum allowable rate. The flow rate should exceed the debris slip velocity for effective removal.
2. Reciprocation and Working the Tool: Perform reciprocating movements and work the drill string while cleaning the hole. Ensure you can work the tool over the full length of a bar or joint during circulation.
3. Mud Conditioning: Condition the mud before continuing drilling. Poor quality mud can lead to recurrence of differential sticking.

Figure III-5. Exemple des actions initiales et des actions après décoincement.

III.2.2 Amélioration des processus de système initial grâce à l'utilisation de modeke python :

Le système de base analyse les données de circulation, de mouvement et de rotation avant et après le blocage pour classer le coincement en deux grandes catégories :

Coincement par pression différentielle : Ce phénomène survient quand le train de tiges adhère à la paroi du puits à cause d'un déséquilibre de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

Coincement par géométrie du puits : Ce blocage se produit quand la forme du puits, par exemple des changements d'angle abrupts ou des zones rocheuses fragiles, entre en contact avec l'outil de forage.

Coincement par accumulation des objets étrangère dans le trou (pack off and bridge) : Ce

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

blocage a lieu lorsque des débris, de l'argile instable ou d'autres matières s'agglomèrent autour de l'outil de forage, l'immobilisant dans le puits.

Les coincements de type "Pack Off and Bridging" et "Géométrie du Puits" se déclinent en sous-types. Par conséquent, un tableur Excel est requis pour identifier précisément le sous-type de coincement si le système initial diagnostique un problème de "Géométrie du Puits" ou une accumulation de débris ("Pack off and bridge").

Les deux catégories de coincement identifiées initialement se divisent en plusieurs sous-types

III.3.1 Coincement par géométrie du puits :

- **Trou sous-calibré** : Un diamètre de puits inférieur à la taille de l'outil peut entraîner son blocage.
- **Keyseats** : Des irrégularités dans la paroi du puits peuvent emprisonner l'outil de forage.
- **BHA plus rigide** : Un assemblage de fond de trou (BHA) peu flexible risque de se bloquer dans les virages serrés ou les passages étroits du puits.
- **Doglegs** : Les changements d'angle soudains dans le puits peuvent créer une friction importante et immobiliser l'outil de forage.
- **Ledges** : Des protubérances rocheuses à l'intérieur du puits peuvent retenir l'outil de forage.
- **Formation mobile** : Des terrains instables, comme les schistes gonflants ou le sel, peuvent se déformer et emprisonner l'outil de forage.

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

Tableau III-1. Coincement par géométrie du puit.

			STIFF Assembly	Key seats	Micro Doglegs	Ledges	Mobile Fomation	Under Guage Hole
Moving	UP		0	2	0	0	2	0
	DOWN		2	0	2	2	1	2
Type of Rocks in Shakers	SOFT AND HARD		0	1	2	2	0	0
	SALT OR PLASTIC SHALE		0	0	0	0	2	0
	ABRASSIVE FORMATION		0	0	0	0	0	2
	No signe in shakers		1	0	0	0	0	0
Doglegs Frequency in Wellbore	Yes		1	0	2	2	0	0
	No		0	1	0	0	1	1
Changes in ROP	Yes		0	0	2	2	0	0
	No		1	1	0	0	1	1
Changes in BHA	SITIF BHA		2	0	0	0	0	0
	No changes		0	1	1	1	1	0
	Tricone/PDC Or Coring		0	0	0	0	0	2
	No changes		0	1	1	1	1	0
Parameters	Sit down weig	Yes	2	0	1	1	1	2
		No	0	2	1	1	1	0
	Torque	Yes	1	0	2	1	2	1
		No	1	1	0	1	0	2
	Drag	Yes	1	1	2	1	0	2
		No	1	1	0	1	2	1
	Overpull	Yes	1	1	1	2	1	1
		No	1	1	1	0	1	1
TOTAL			12	13	16	15	14	14

III.3.2 Coincement par accumulation des objets étrangère dans le trou (Pack off and bridge) :

Junk dans le trou : Des fragments de métal, de bois ou d'autres matières peuvent s'introduire dans l'outil de forage et le bloquer.

Formation non consolidée : Des terrains meubles ou peu résistants peuvent s'effondrer autour de l'outil de forage et l'immobiliser.

Formation de fractures : Des fissures dans la roche peuvent se refermer sur l'outil de forage, le piégeant.

Ciment mou : Un mélange de ciment mal préparé peut durcir autour de l'outil de forage et l'immobiliser.

Instabilité des schiste argileux : Les argiles gonflantes peuvent absorber l'eau et augmenter de volume, bloquant ainsi le mouvement de l'outil de forage.

Dépôt de débris : Des débris de forage ou des matériaux étrangers peuvent s'accumuler autour de l'outil de forage, le bloquant.

Tableau III-2. Coincement par accumulation des objets étrangère dans le trou (Pack off and bridge)

CHAPTER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

Indicator	Category		Settled cuttings	Shale Instab	Unconsolida	Fractured Formation	Cement Blocks	Soft Ceme	Junk in the Hole
Moving	Up		1	2	0	0	2	0	1
	Down		1	0	2	2	1	2	1
Type of Rocks Shakers	Blocky Carvings (Limestone, Sandstone, Carbonate)		0	0	0	2	0	0	0
	Clay Balls and/or Soft "Mushy"		0	2	0	0	0	0	0
	Gravel, Sand, Pea Over Shale		0	0	2	0	0	0	0
	Cement carvings		0	0	0	0	2	0	0
	Substance As Metal, Wood, Rubber		0	0	0	0	0	2	0
	No signs in shakers		1	0	0	0	0	1	0
Pump Pressur	Increase		2	2	2	2	2	1	2
	Normal		0	1	0	1	1	0	1
ROP	High		2	0	0	0	0	0	0
	Normal		1	1	1	1	1	0	1
Special Action	Pump Off		2	0	0	0	0	0	0
	Increase (funnel viscosity, PV, Y		1	2	2	1	0	0	1
	Rat hole is too long		0	0	0	0	2	0	0
	RIH after open hole cement job cement balanced plug		0	0	0	0	0	2	0
	Equipment on rig floor falls down hole		0	0	0	0	0	2	0
	No Action		0	0	0	0	0.5	0	0
Parameters	Torque	Yes	2	2	2	2	2	2	2
		No	0	0	0	0	0	0	0
	Drag	Yes	2	2	2	2	2	1	2
		No	0	0	0	0	0	1	0
	Over Pull	Yes	2	2	2	2	2	2	2
		No	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL			14	15	15	14	15	13	12

III.4 Amélioration avec module python : Identification précise du mécanisme de coincement :

L'avancée principale est l'ajout d'un module python [script] au système existant. Ce module utilise les données traitées initialement et d'autres informations clés pour identifier le mécanisme de coincement avec plus de précision.

III.4.1 Fonctionnement du système d'identification du coincement avec module python

Le système d'identification des coincements, enrichi de son module python [script] , suit un processus en trois étapes principales, comparable aux versions initiales :

III..4.1.1 Étape 1 : Saisie des données via DataFrame :

Le système recueille les informations des capteurs, les paramètres de forage et les signaux d'alerte observés, stockés dans une structure pandas.DataFrame ou un dictionnaire Python.

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

III.4.1.2 Étape 2 : Analyse et attribution de scores par vectorisation :

Examiner les données via des opérations vectorisées (`pandas.apply`, `numpy.where`) et les observations afin d'attribuer des scores pondérés à chaque type de coincement, en se basant sur deux structures de données (`DataFrame`), le Tableau III 1 et le Tableau III 2. Ces bases de connaissances codées en Python `DataFrames` ont été élaborées à partir de notre analyse des signes précurseurs et des indicateurs de chaque mécanisme décrits dans l'ouvrage "Drilling Problems" de Herish W. Noree, du Kirkuk Oil Training Institute.

III.4.1.3 Étape 3 : Affichage des résultats en pourcentage via normalisation :

Présenter les scores normalisés (division par la somme totale via `pandas / numpy`) sous forme de pourcentages, extraire l'index du maximum (`idxmax`) pour identifier le type de coincement le plus probable et indiquer le niveau de confiance associé ($\text{proba} = \text{score_max} / \text{somme_totale}$).

Note : Dans la section de saisie des données pour python concernant le mécanisme Pack Off et Bridge, il est important de suivre les instructions relatives au choix des réponses pour les questions "Type de roches dans le shaker" et "Action spéciale". Si vous ne sélectionnez pas "Cement carving" dans la question "Type de roches dans le shaker", vous ne pourrez pas opter pour "Rate Hole is too long" dans la question "Action spéciale".

Dans la section de saisie des données pour python concernant le mécanisme de géométrie du puits, en ce qui concerne les changements de BHA (Bottom Hole Assembly) entre Tricône/PDC ou Corring, cela signifie qu'après un changement de type de trépan (passage de Tricône à PDC ou vice versa) ou lors de la sortie du puits d'un trépan usé, un coincement peut également se produire après des opérations de carottage avec un outil de carottage dont le diamètre est inférieur à celui du trépan utilisé.

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

Tableau III-3. identification du mécanisme de coincement par géométrie du puits.

		STIFF Assembly	Key Seats	Micro Doglegs	Ledges	Mobile Formation	Under Guage Hole
Pipe movement							
1)- moving up	1	0	2	0	0	2	0
2)- moving down							
Type of Rocks in Shakers							
1)- Soft and Hard	4	1	0	0	0	0	0
2)- Salt or Plastic Shale							
3)- Abrasive Formation							
4)- No signe in shakers							
Doglegs Frequency in Wellbore							
1)- Yes	2	0	1	0	0	1	1
2)- No							
Changes in ROP							
1)- Yes	2	1	1	0	0	1	1
2)- No							
Changes in BHA							
1)- SITIF BHA	2	0	1	1	1	1	0
2)- No changes							
1)- Tricone/PDC Or Coring	2	0	1	1	1	1	0
2)- No changes							
Parameters							
Torque							
1)- Yes	1	1	1	2	1	2	1
2)- No							
Drag							
1)- Yes	2	1	1	0	1	2	1
2)- No							
Over Pull							
1)- Yes	2	1	0	1	0	1	2
2)- No							
Sit-Down Weight							
1)- Yes	1	2	0	1	1	1	2
2)- No							
TOTAL SCORE		7 58%	8 62%	6 38%	5 33%	12 86%	8 57%

Affichage des résultats en pourcentage

CHAPTER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

Tableau III-4. d'identification du mécanisme de coincement par accumulation des objets étrangère dans le trou (Pack off and bridge)

III.5 Avantages des systèmes :

Pipe movement		Settled cuttings	Shale Instability	Unconsolidated Formation	Fractured Formation	Cement Blocks	Soft Cement	Junk in the Hole
1)- moving up 2)- moving down Type of Rocks in Shakers 1)- Blocky Carvings (Limestone, Sand Stone, Carbonate) 2)- Clay Balls and/or Soft "Mushy" 3)- Gravel, Sand, Pea Over Shale 4)- Cement carvings 5)- Substance As Metal, Wood, Rubber 6)- No signe in shakers	1)- moving up	1	2	0	0	2	0	1
	2)- moving down							
Pump Pressure								
1)- Increase 2)- Normale	1)- Increase	1	2	2	2	2	2	1
	2)- Normale							
ROP before sticking								
1)- High 2)- Normale	1)- High	2	1	1	1	1	1	1
	2)- Normale							
Special Actions								
1)- Pump Off 2)- funnel viscosity, pv, yp, increase. 3)- Rat hole is too long 4)- RIH after the open hole cement job as cement balanced plug 5)- Equipment on the rig floor falls down hole 6)- No Action	1)- Pump Off							
	2)- funnel viscosity, pv, yp, increase.	3	0	0	0	2	0	0
	3)- Rat hole is too long							
	4)- RIH after the open hole cement job as cement balanced plug							
	5)- Equipment on the rig floor falls down hole							
	6)- No Action							
Parameters								
Torque								
1)- Yes 2)- No	1)- Yes	2	0	0	0	0	0	0
	2)- No							
Drag								
1)- Yes 2)- No	1)- Yes	1	2	2	2	2	1	2
	2)- No							
Over Pull								
1)- Yes 2)- No	1)- Yes	1	2	2	2	2	2	2
	2)- No							
TOTAL SCORE		8	9	9	7	11	6	7
		57%	60%	60%	50%	73%	46%	54%

CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

L'utilisation de ce logiciel présente de nombreux avantages :

Précision accrue du mécanisme de coincement : Le logiciel permet une identification plus précise des types de coincement, ce qui facilite des interventions plus efficaces.

Renforcement de la sécurité : Une compréhension approfondie des causes des coincements permet d'implémenter des mesures préventives, contribuant ainsi à améliorer la sécurité des opérations de forage.

Simplicité d'utilisation : Le système est conçu de manière intuitive, ce qui le rend facile à utiliser pour le personnel de forage.

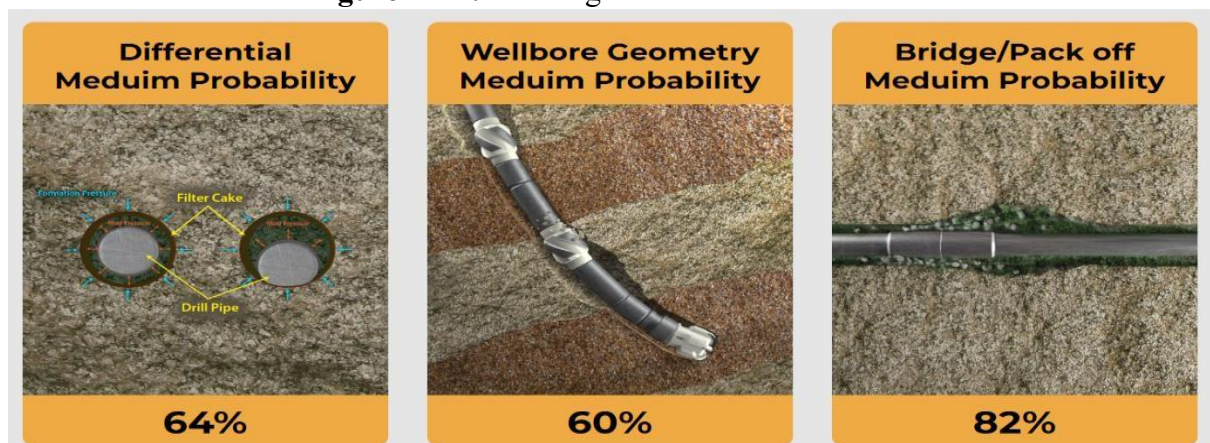
III.6 Exemple de coincement analyse par SPMI :

Before sticking ?	After sticking ?
Axial pipe movement ☒ moving up ☐ moving down ☐ axial static	Axial pipe movement ☒ can't move up or down ☐ limited movement ☐ free in one direction
Pipe rotation ☐ rotating ☒ not rotating	Pipe rotation ☒ can't rotate ☐ limited rotation ☐ free to rotate
Circulation ☒ circulating ☐ not circulating	Circulation ☒ can't circulate ☐ limited circulation ☐ free to circulate

Figure III-6. Saisie des données dans SPMI.

III.6.1 Affichage du score :

Figure III-7. Affichage du score dans SPMI.



CHAPITER III : Développement d'un système d'identification des mécanismes de coincement du train des tiges : STUCK PIPE

Tableau III-5. Saisie des données et affichage du score sur Excel de coincement par accumulation des objets étrangère dans le trou (Pack Off/Bridge).

		Settled cuttings	Shale Instability	Unconsolidated Formation	Fractured Formation	Cement Blocks	Soft Cement	Junk in the Hole
pipe movement								
1)- moving up	1	1	2	0	0	2	0	1
2)- moving down								
Type of Rocks in Shakers								
1)- Blocky Larvings (Limestone, Sand Stone, Carbonate)	6	1	0	0	0	0	1	0
2)- Clay Balls and/or Soft "Mushy"								
3)- Gravel, Sand, Pea Over Shale								
4)- Cement carvings								
5)- Substance As Metal, Wood, Rubber								
6)- No signe in shakers								
Pump Pressure								
1)- Increase	1	2	2	2	2	2	2	1
2)- Normale								
ROP before sticking								
1)- High	1	2	0	0	0	0	0	0
2)- Normale								
Special Actions								
1)- Pump Off	1	2	0	0	0	0	0	0
2)- funnel viscosity, pv, yp, increase.								
3)- Rat hole is too long								
4)- RIH after the open hole cement job as cement balab								
5)- Equipment on the rig floor falls down hole								
6)- No Action								
Parameters								
Torque								
1)- Yes	1	2	2	2	2	2	2	2
2)- No								
Drag								
1)- Yes	1	2	2	2	2	2	1	2
2)- No								
Over Pull								
1)- Yes	1	2	2	2	2	2	2	2
2)- No								
TOTAL SCORE		14	10	8	8	10	8	8
		100%	67%	53%	57%	67%	62%	62%

Résulta : Dans ce cas particulier, le blocage de la colonne de forage est causé par l'accumulation de déblais.

Cette section du chapitre a présenté un système basé sur une analyse approfondie des données de forage et des paramètres opérationnels, permettant d'identifier avec précision les causes du coincement. Pour compléter le système SPMI, un module Excel a été développé afin d'affiner le diagnostic des cas de coincement dans les catégories "Géométrie du puits" et "Pack-off / bridge". Ce module offre une analyse plus détaillée des mécanismes de coincement.

CHAPTER IV:

Etude de cas

CHAPTER IV: Etude de cas

INTRODUCTION :

Lors de forage du puits, dans le réservoir RA, sub-formation D2 en section 6" horizontale ; un événement de coincement de la garniture s'est produit à la côte 3947m MD. Le processus de traitement de cet incident a nécessité l'exécution de plusieurs instrumentations : battage, reaming, dévissage mécanique, coupe à l'explosif et side-track.

Dans ce chapitre nous avons présenté les conditions de manifestation du coincement, ainsi que le déroulement des opérations d'instrumentations.

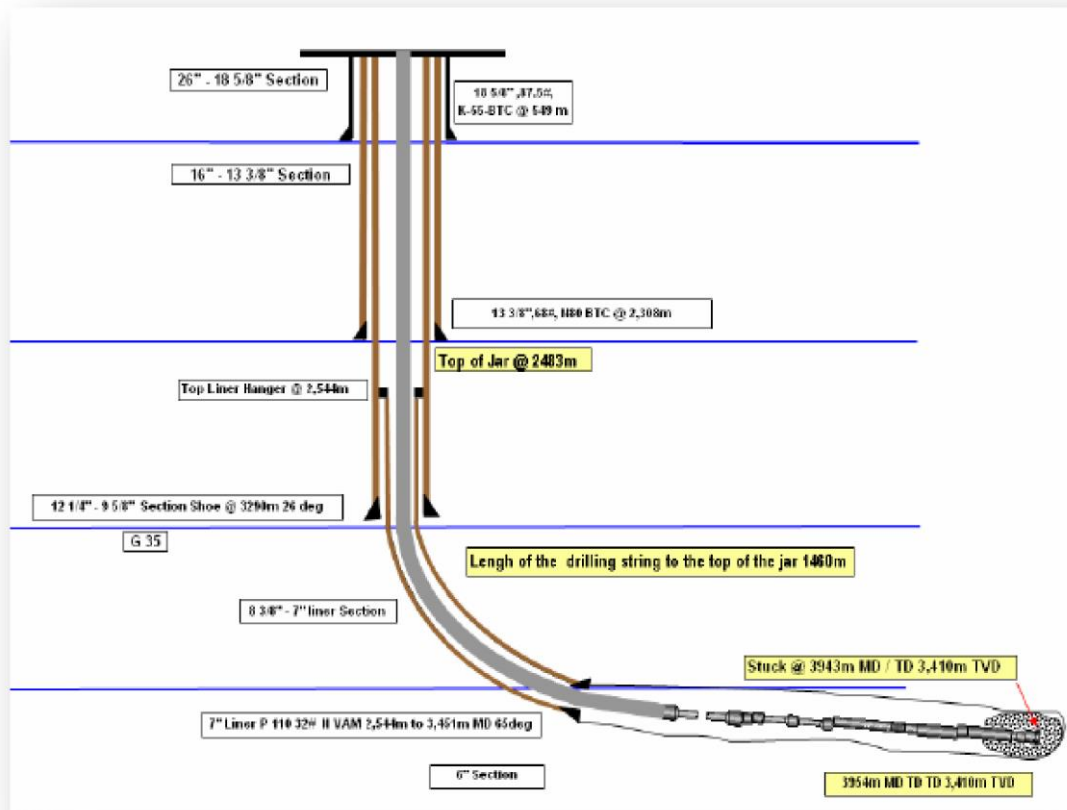


Figure VII.1: schéma du puits lors du Coincement.

CHAPTER IV: Etude de cas

VII.1 Les conditions de manifestation du coincement

VII.1.1 La BHA

La section 6" était réalisée avec une BHA directionnel stabilisée pour maintenir l'azimut et l'inclinaison. Le PDM utilisé est moteur High Speed (A500M2310.5 HS, Bent 1,15°, 2/3 Lobes et 0,6 Rev/L) équipé d'un outil imprégné le KGR50PEBX (1,20 in²TFA)

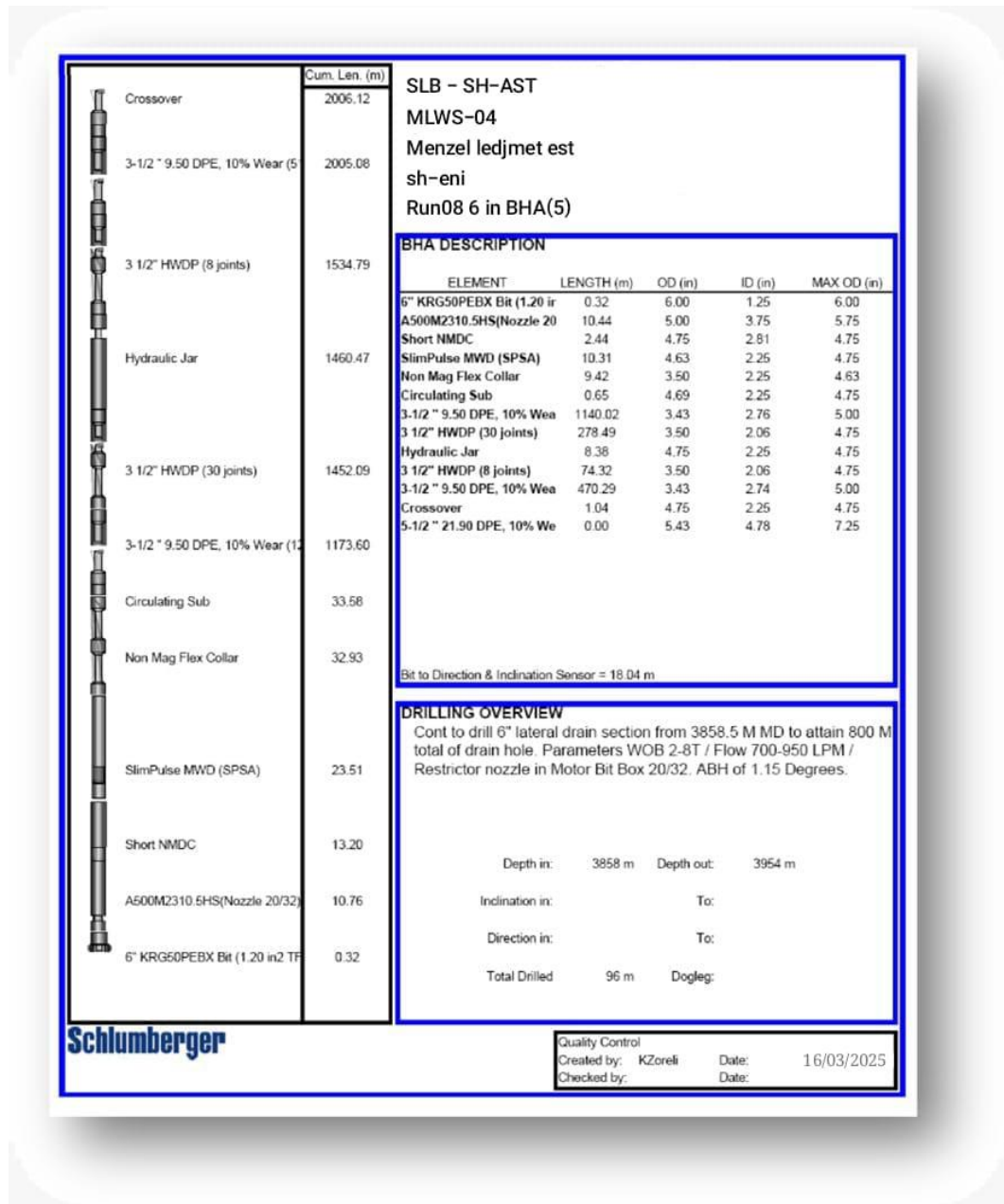


Figure VII.2: BHA lors du coincement.

CHAPTER IV: Etude de cas

VII.1.2 Les caractéristiques de la boue de forage

Le forage était réalisé avec une boue à émulsion inverse, avec phase eau saturée au Na Cl et Alourdie au CaCO₃ (pour ne pas endommager le réservoir). Le tableau suivant donne les caractéristiques de la boue enregistrées pendant coincement :

Interval Properties	SAMPLES
Type of Fluids	OBM
Density, SG	1,05
F. Vis, Sec/qt	47
YP.lb/100 ft ²	12
Gels, (10 sec / 10 minutes)	9_13
6 rpm Readings	10
HTHP FL? 250°F/500psi	3,7
Oil/Water Ratio	95/5
LGS % by Volume	2,5

Tableau VII.1: Caractéristiques de la boue pendant le coincement.

VII.1.3 Les paramètres de forage:

Le tableau suivant résume les paramètres de forage enregistré juste avant l'incident de coincement :

WOB(T)		RPM		Torque lbs.ft		Flow (L/min	Pressure (psi)
Min	Max	Min	Max	Min	Max		
2	14	550	621	2200	4700	920	3200

Tableau VII.2: Paramètres de forag

VII.2. L'organigramme pour libérer la garniture coincée :

L'utilisation de l'organigramme suivant nous permet de décider le meilleur plan d'action :

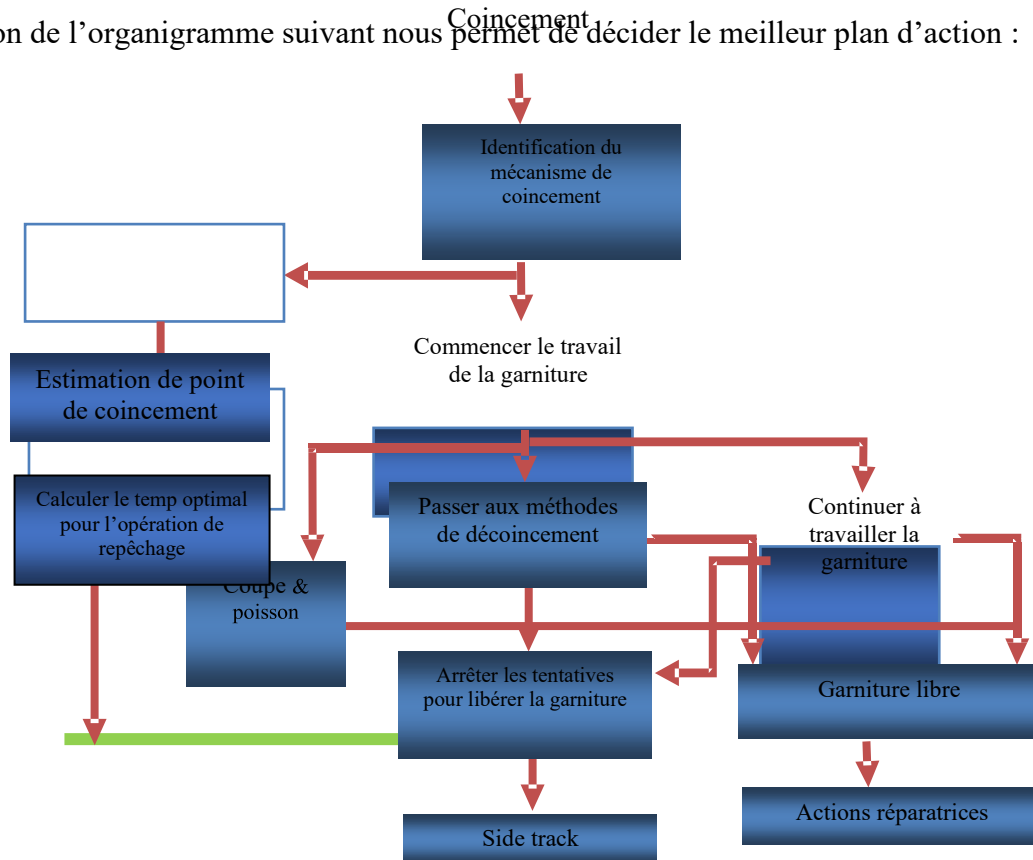


Figure VII.3: Processus de traitement des coincements.

VII.2.1 point de coincement :

Le point de coincement est estimer au niveau de l'outil à la côte de 3940m .

VII.2.2 Estimation de nombre de jours de l'instrumentation:

Quelque travaux de repêchage peuvent continue pendant des moins, après certain temps cependant le cout de repêchage et le temps perdue de forage devient prohibitif, généralement une fois ces couts atteignent environ le demi de side-track et reforage, le repêchage doit être abandonné.

On' a une méthode pour calculer le nombre des jours qui devraient être prévue pour repêcher on utilisant la formule suivant :

$$D=V+C_S/R+C_D$$

CHAPTER IV: Etude de cas

D : nombre des jours prévus pour repêcher

V : valeur de remplacement du poisson

CS : cout prévisionnel de side-track

R : cout journalier des outils de repêchage et les différents services

CD : prix d'allocation de l'appareil

- La valeur de poisson laisser dans le puits est de :

46 jts DP 31/2 G105 13.30 # à une longueur de 1433.73 fts (437m) : 47886.58 \$

Circulating sub +NMDC (98.42 fts) + slim pulse MWD: 207142.85\$

Outil 6" KGR50: 36029.38\$

$$V = 47886.58 + 207142.85 + 36029.38 = 291058.79\$$$

- cout prévisionnel de side-track = 426288\$
- cout journalier des outils de repêchage et les différents services = 2000\$
- prix d'allocation de l'appareil = 33571.428\$

Donc le nombre de jours estimer pour faire l'instrumentation est :

$$D = (291058.79 + 426288) / (2000 + 33571.428) = 20.16 \text{ Jours}$$

D = 20.16 jours

VII.3 Paramètres de décisions

En général les types d'instrumentation ne sont jamais semblables, chaque cas est un cas particulier et doit être étudié avant de prendre toute décision.

Toutefois deux cas se présentent généralement.

1) Cas ou l'instrumentation doit être impérativement décidée,

Ce cas rare peut se présenter.

Exemple : Sur le champ mle , éboulement des sables du Mio-Pliocène et coincement de la B H A dans la phase 16'' ou 26''. Nous sommes dans le cas de figure où si nous abandonnons le puits il faut dans l'immédiat avoir un autre emplacement prêt et accepter de perdre le temps d'un deuxième déménagement, ce qui va augmenter considérablement le prix de revient du puits.

CHAPITER IV: Etude de cas

2) Cas ou l'instrumentation doit être décidée après l'étude du coût.

Cas que nous allons développer.

Le paramètre coût est le premier paramètre à prendre en considération. Il faudra cependant tenir compte également des paramètres tels que :

- équipement,
- personnel qualifié,
- fiabilité de l'information.

Paramètre «coût»

Il faut évaluer :

- le coût du poisson laissé dans le puits = A
- le coût du side track = B (Nombre de jours pour atteindre la côte perdue x coût journalier appareil)
- le coût estimé des jours passées à instrumenter = C (Nombre de jours x coût journalier appareil)
- le coût de l'équipement des compagnies de service contractées pour l'opération (Schlumberger, etc....) = D
- le coût de la réparation des équipements endommagés = E

La décision coût :

- Tant que et si $A+B > C+D+E$ (l'instrumentation est conseillée et /ou peut se poursuivre)
- Si $A+B = C+D+E$ (l'instrumentation est déconseillée)
- Si $A+B < C+D+E$ (l'instrumentation doit cesser immédiatement)

VII.4 Timing des opérations

Le premier jour

A 10h00, après avoir dégagé la garniture pour changer la pompe de forage, des difficultés ont été rencontrées pour rejoindre le fond. Deux heurs de reaming ont été exécutées afin de reconditionner le trou, constatons de pose sur plusieurs points 3930, 3935, et 3942m.

Une fois la garniture au fond, le forage a été repris de 3940m à 3947m. A cette côte, des tirages excessifs ont été enregistré lors de la prise d'une Survey. La garniture a été remontée avec Back-

CHAPITER IV: Etude de cas

reaming jusqu'à 3932m, le train de sonde s'est coincé à cette côte.

Il a fallut battre 06 fois pour libérer la garniture à la côte 3926m.

Suspectant une mauvaise géométrie des parois ou un mauvais nettoyage ; un reforage de la section 3926m à 3947m, avec pompage de bouchons nettoyant a été décidé.

Le 2ème jour

Malgré que les opérations de reconditionnement du trou ont duré plus de 15,50Hrs, deux coincements ont été enregistrés (3942m et 3952 respectivement). Il a fallut battre plusieurs fois pour libérer la garniture.

Le 3ème jour

Pendant le reaming (lors d'une connexion) et à la côte 3951m, un calage du moteur suivi d'un coincement sévère et survenu (perte de la circulation et la rotation). Le battage a permis une remontée de 12m (jusqu'à la côte 3939m), impossible de passer ce point.

Le 22 février 2007

Le battage a continué jusqu'à 02h30 du matin sans succès ; La coulisse endommagée est hors service. La décision était d'effectuer une coupe dans le découvert, puis réaliser un side-track.

VI.5 Le Reaming

Le traitement du coincement a débuté par les opérations de reaming, tentant de reconditionner le trou, ces opérations ont duré plus de 26 heures sur un intervalle de 29m. On a constaté aussi que le torque était relativement élevé dans cet intervalle, causant des calages permanent du PDM.

VII.6 Le battage

VII.6.1 Caractéristique de la coulisse

La coulisse utilisée est une Hydra-jar (hydraulique drilling Jar) à double effet, capable de battre dans les deux sens. Elle est conçue pour fonctionner comme une partie intégrante de la garniture de forage. Le tableau suivant présente les caractéristiques de la coulisse utilisée :

OD (in)	ID (in)	Tool joint connections	Overall- length (ft-in)	Max detent working load (Lbf)	Tensile yield (Lbf)	Torsional yield (Lbf)
4 3/4	2	3 1 2 IF	29' 10"	80,000	460,00	21,000

Tableau VII.3: Caractéristiques de la coulisse.

VII.6.2 Position de la coulisse

Si la coulisse est placée trop loin du point de coincement, la majeure partie du choc est absorbée par l'élasticité des tiges ; alors le battage est peu efficace. C'est le cas du puits MLSW-04, En effet la position de la coulisse (2500m) est très loin du point de coincement (3940m) soit 1450m.

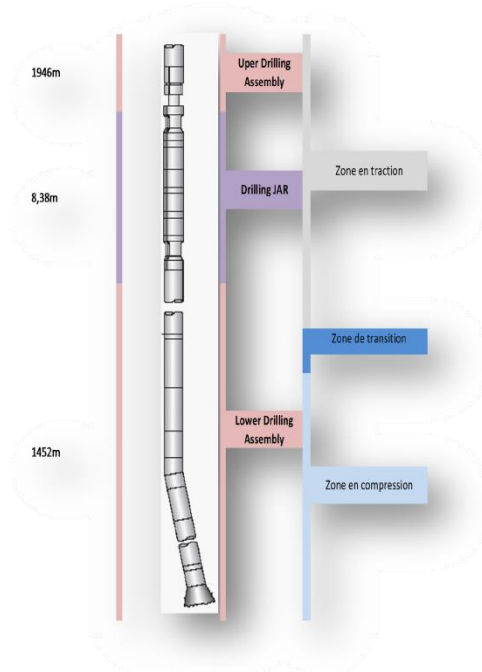


Figure VII.4: Position de la coulisse.

Le graphique suivant illustre la diminution de l'efficacité du battage en fonction de la distance du point de coincement :

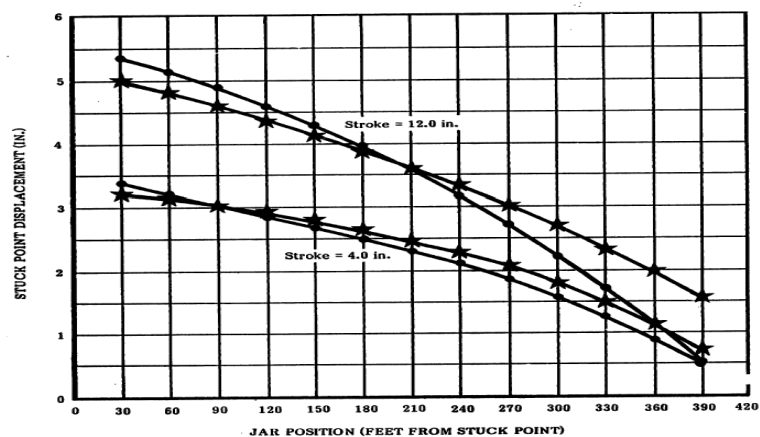


Figure VII.5: Efficacité de la coulisse.

CHAPTER IV: Etude de cas

L'efficacité du battage diminue significativement selon la distance du point de coincement. A partir d'une distance de 400ft, le déplacement du point coincé diminue jusqu'à 0,5in/second.

VII.6.3 Déroulement du battage

N°	Max overpull (TONNE)	Max Sluck-off (TONNE)	Durée (heures)	Résultat
01	30	20	0.75	Garniture libre
02	33	20	0,50	Garniture libre
03	38	20	15,25	Jar endommagée

Tableau VII.3: Déroulement du battage.

VII.7 Déviissage mécanique et coupe à l'explosif :

Après l'échec de toutes les tentatives pour libérer la garniture de forage à savoir :

- Le battage jusqu'à l'endommagement de la drilling jar ;
- Le travail de la garniture Max ouver-pull 38 T & sluck-off 20 T ;
- l'impossibilité du pompage de bouchon d'acide (perte de circulation lors du coincement) ;

une décision de coupe à l'explosif du train de sonde dans le découvert & le plus bas possible(prévu à 3490m) a été prise. Malheureusement, les résultats de calibrage à l'intérieur de la garniture (Wire-line CCL drift), ont montré qu'il y a une restriction à la côte 2510m qui correspondant à la position de la coulisse.

La seule alternative, c'était de réaliser un déviissage mécanique au dessous de la coulisse puis descendre avec une fishing BHA. Ainsi, on aura éliminé la restriction de diamètre, et donc venir au programme précédent de coupe à l'explosif.

VII.7.1 Déviissage mécanique

a) Calcule

Détermination du poids de la garniture jusqu'au point prévu pour le déviissage :

CHAPTER IV: Etude de cas

composant	poids li-		
	(Kσ/m)	(m)	(Tonne)
DP 5" 1/2	37,59	1948,19	73,23
XO 5"1:2	37,59	1,0	0,039
DP 3" 1/2	21,89	470,3	10,29
HWDP 3"	37,	74,32	2,8
D.JA	37,	8,3	0,3
HWDP 3"	37,	2	0,7
TOTAL	-	2522,23	87,43
TD	-	-	1
POIDS MD	-	-	104,4

Donc pour positionner le point neutre à 20m plus bas que le jar il faut lire un poids de 10 3T au niveau du Martin-Decker mais en raison de l'incertitude engendrée par les frottements on ajoute une marge de sécurité à ce poids de 10%, c.à.d. PMD=115T.

- Avant le dévissage, il faut systématiquement rebloquer à droite l'ensemble de la garniture. Le reblocage de la garniture se fait en deux étapes :
 1. Reblocage homogène de toute la garniture au couple de serrage de la connexion la plus faible. Dans notre cas c'est les tiges 3"1/2, couple de serrage 9800 lb.ft.
 2. Sur-bloquer la partie de la garniture au-dessus du point à dévisser avec 10 à 20% supplémentaire du torque utilisé dans la première étape, dans notre cas 11100 à 11900 lb.ft. Il faut positionner le point neutre dans cette zone avant de transmettre le couple de sur-blocage. Travailler la garniture vers le haut et vers le bas.

Le but de cette procédure est d'affaiblir la partie que l'on veut dévisser par rapport à celle qui est au-dessus.
- Le dévissage se fait en positionnant le point neutre à l'endroit où l'on veut dévisser (120 tonne MD), puis procéder comme suite :
 1. Tourner la garniture à gauche avec un torque maximum 9800 lb.ft (calculer le nombre de tours transmis)
 2. Travailler la garniture en haut/bas, (115 tonne, incluant TDS) à (120 tonne, over-pull de 7 tonne).
 3. Relâcher progressivement le torque de la TDS, si le retour (nombre de tours) est de 100% refaire 1 et 2, sinon passer à 4.
 4. Faire tourner la garniture à gauche avec un torque max de 6800 lb.ft, jusqu'à ce que la garniture se déconnecte du poisson (si l'opération réussit, le poids de garniture passera de 120t à 100t).

Première tentative

Après la remontée en surface du train de sonde libéré, on a constaté que cette tentative s'est soldée par un échec. Le dévissage s'est effectué deux joints au-dessus de la coulisse.

CHAPTER IV: Etude de cas

Conséquence, il a fallu descendre avec la même garniture, se connecter au poisson et refaire encore fois l'opération de dévissage.

Deuxième tentative

Encore une fois l'objectif de l'opération n'a pas été atteint, en effet le dévissage s'est produit 02 joints plus haut que la coulisse.

Une inspection du pipe remonté en surface a montré que le filetage du joint HWDP qui a été dévissé est sévèrement endommagé ; et donc il est évident que le filetage box (tête de poisson) et lui aussi défectueux. Cette connexion est sans aucun doute le point le plus faible de la garniture ; et donc toute essai de back-off se soldera par le dévissage du celle-ci.

Pour remédier à ce problème, un changement de type de raccordement a été mis en œuvre ; dans ce sens une Fishing BHA (over-shot) a été descendue pour repêcher le poisson et poursuivre les tentatives de dévissage.

Troisième tentative

Descente avec une Fishing BHA de 100 tonnes ;

Après déconnecter le Poids MARTIN – DECKER est passé 130T

Tableau VII.4: Fishing BHA 01

Après la remontée à jour, Le poisson repêché contenait bien le jar plus les deux joints HWDP au-dessous. Maintenant l'opération de coupe à l'explosif JET-CUTTER peut être reconsidérée.

VII.7.2 Coupe à l'explosif

Après l'élimination de la restriction de diamètre (Drilling jar), l'étape suivante était d'abord de se reconnecter encore une fois au poisson, puis exécuter une coupe le plus bas possible.

Les données du puits (Inclinaison de 80°) correspondent à la cote 3550m, il est très difficile d'atteindre cette cote à cause de :

- ✓ La forte inclinaison
- ✓ La perte de circulation durant le coincement.

Se reconnecter au poisson

- Descente avec une fishing BHA (Screw-in-Sub) poids 99,7 tonnes ;

CHAPTER IV: Etude de cas

- Descente avec une fishing BHA (Screw-in-Sub) poids 99,7 tonr			
Composant		OD	Longueur (m)
Drill pipe		5 ^{1/2}	Jusqu'à la surface
Cross over	01	5 ^{1/2}	1.49
Accelerator	1	4 ^{3/4}	3.27
Drill collar	09	4 ^{3/4}	85.21
Fishing jar	1	4 ^{3/4}	2.75
Bumber sub	01	4 ^{3/4}	1.15
Screw in sub	1	5 ^{3/4}	0.90



Tableau VII.5: Fishing BHA 02.

La connexion de la Fishing BHA au poisson s'effectue selon le même mode opératoire utilisé avec HWDP nue.

Coupe

Le but de cette démarche était de parvenir à faire passer l'explosif dans la section horizontale 3550m dans les tiges 3^{1/2}, par la suite accomplir la coupe a cette côte. Il a fallut deux mise à feu pour réussir le sectionnement du pipe. La procédure appliquer est comme suite :

VII.7.3 Calcul

La traction maximale que l'on peut appliquer dépend des points le plus faibles de la garniture. Dans notre cas c'est la première tige 5^{1/2} où 3^{1/2}. La réserve de traction et $\text{Min}\{R_t(5^{1/2}), R_t(3^{1/2})\}$.

Réserve de traction

La réserve de traction est donnée par la formule suivante :

$$R_t = T_e/C_s - P_g + P_a$$

CHAPITER IV: Etude de cas

Où

T_e : Limite élastique ;

P_g : Poids de la garniture que supporte la tige MD;

P_a : Poids des accessoires 20 tonnes ;

C_s : Coefficient de sécurité 1.1 ;

$$Rt(5"1/2) = (219/1,02)/1,1 - 130 + 20 = 85,18 \text{ tonnes}$$

$$Rt(3"1/2) = (134,8/1,02)/1,1 - 67 + 20 = 73,15 \text{ tonnes}$$

$$\Rightarrow \text{Min} \{Rt(5"1/2), Rt(3"1/2)\} = \text{Min}\{85,18 ; 73,15\} = 73,15 \text{ tonnes}$$

$$\text{Poids MD correspondant} = 130 + 73,15 = 203,15 \text{ tonnes}$$

$$P_{MD} = 203 \text{ Tonnes}$$

a) Premier shoot

- Maitre en tension la garniture, poids MARTIN-DECKER 160 Tonne (soit 35 tonnes over- pull) ;
- Descente de l'explosif à la cote 3492m ;
- Mise à feu.

Le poids de la D.String est resté inchangé (160 tonne), échec de l'opération. Cependant, on a remarqué le rétablissement de la circulation, perçage au niveau du DP.

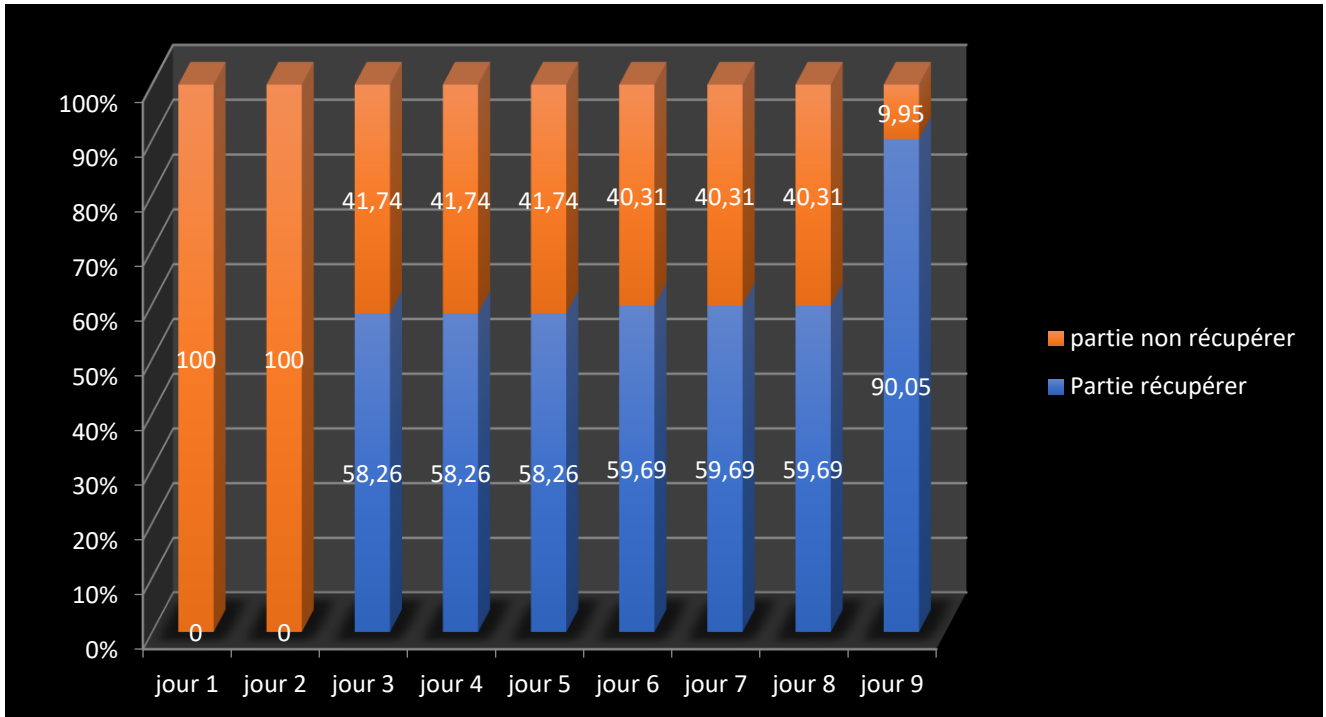
b) Deuxième shoot

- Maitre en tension la garniture, poids MARTIN-DECKER 200 Tonne (soit 80 tonnes over- pull) ;
- Descente de l'explosif à la côte 3484m ;
- Mise à feu.

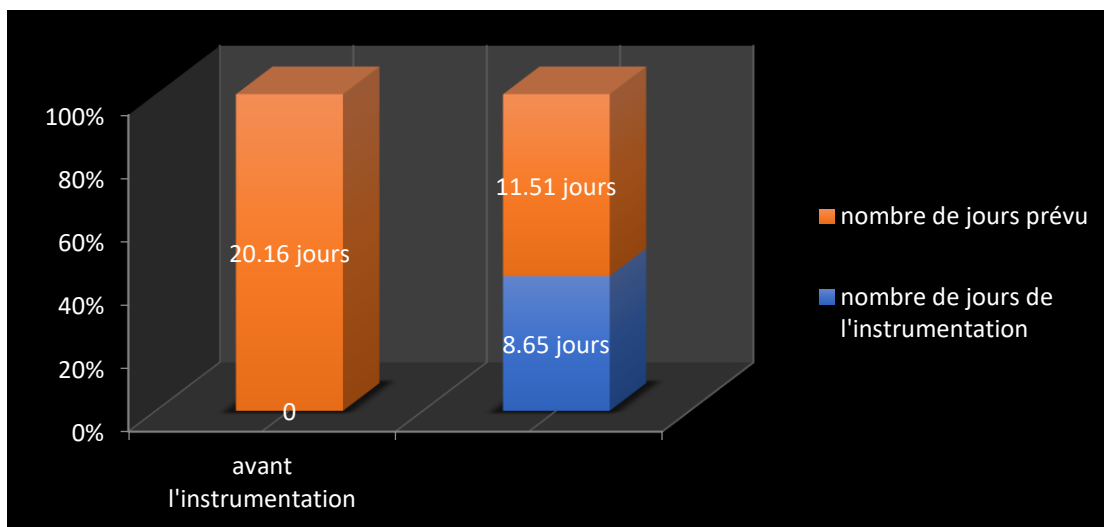
L'indicateur de poids en surface est passé de 200 tonnes à 130 tonnes, réussite de l'opération. Le poisson récupéré (21 Jts HWDP 3^{1/2} et 77 Jts DP 3^{1/2}).

Le poisson perdu dans le trou (46 Jts DP 3^{1/2} + Circulating Sub + Non Mag Flex DC + Slim Pulse-MWD + short NMDC + PDM + Outil KGR50).

CHAPITER IV: Etude de cas



FigVII.6 : Pourcentage de Récupération de la garniture en fonction des jours de repêchage.



FigVII.7 : Nombre de jours prévu de l'instrumentation et nombre de jours utiliser.

Conclusion :

Malgré que le nombre de jours prévu pour l'instrumentation n'est pas encore terminer (11.51 jours), mais la décision de l'arrêt des opérations de l'instrumentation est prise, à cause de l'impossibilité de repêcher le reste de la garniture en vue des conditions sur lesquelles se trouve le puits, et de la gravité de coincement, donc il faut passer à la deuxième solution qui est le side-track.

CHAPTER IV: Etude de cas

VII.8 Side track:

Le programme de side track mis en place a été élaboré pour by-passer deux obstacles :

- ✓ Ne pas percuter le poisson laisse au fond (builder à droit 65° TF, environ 3.7m à droite), puis revenir progressivement à gauche pour atteindre 300° AZM prévue par le plan originale.
- ✓ Atterrir 06m VD plus bas que le drain précédant pour éviter la formation qui à causer le coincement.

Mode opératoire

a) Objectifs

- ✓ Pose du bouchon de ciment ;
- ✓ Exécuter le side-track ;
- ✓ Atterrir et achever le drain 6" conformément au plan directionnel ;

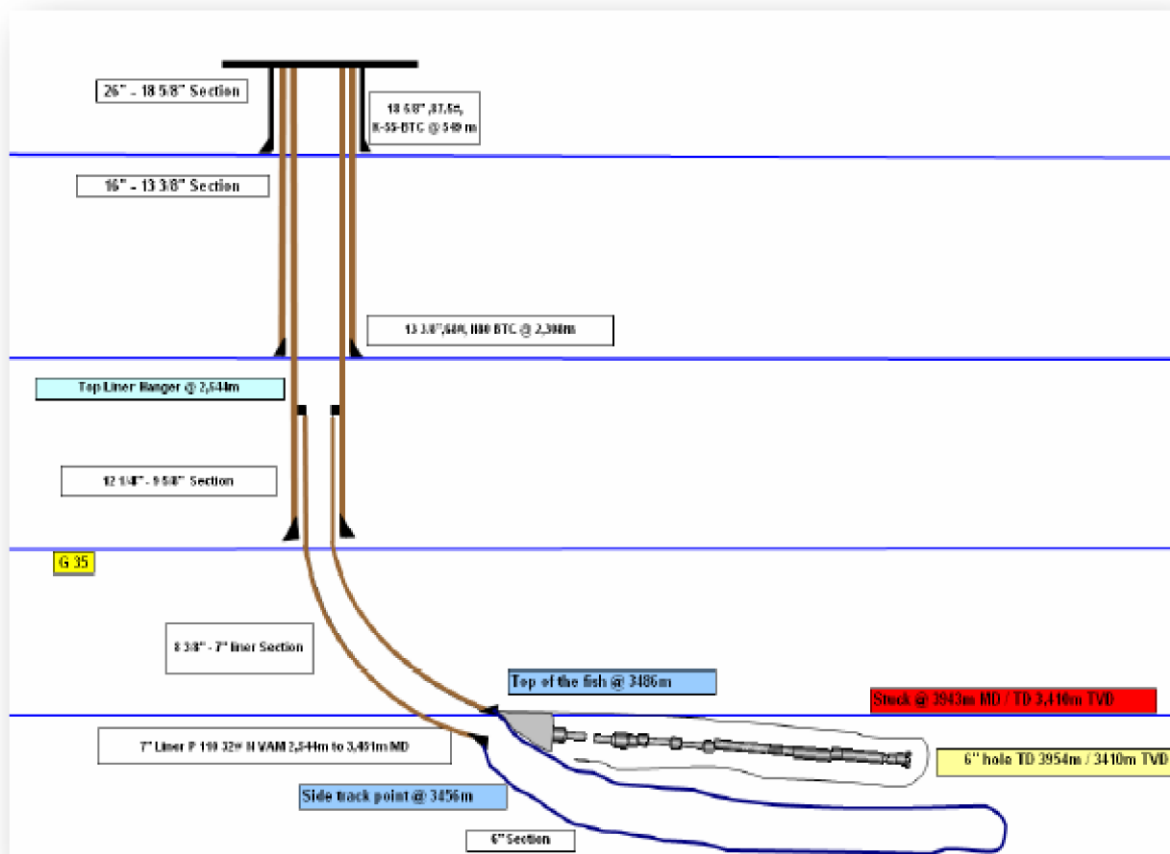


Figure VII.8: Side-track dans le puits MLSW-04.

b) Procédures opérationnel

1. Gerbage de la garniture de la cimentation open ended BHA (975m 3"1/2+2513 m 5"1/2 DP) ;

CHAPITER IV: Etude de cas

2. Circuler pendant une heure avec $Q=750\text{LPM}$;
3. Préparation et mise en place d'un bouchon de ciment :

a) Position du bouchon de ciment :

$$L = L_1 + L_2 \dots \dots \dots (1)$$

$$V_2 = V_{U2} \cdot L_1 \dots \dots \dots (2)$$

$$V_1 = V_L - V_2 \dots \dots \dots (3)$$

$$L_2 = V_1 / V_{U1} \dots \dots \dots (4)$$

L_2 : la hauteur de ciment entre la tête de poisson et le sabot 7" (open hole 6" = 37m)

L_1 : la hauteur de ciment à l'intérieur de casing 7"

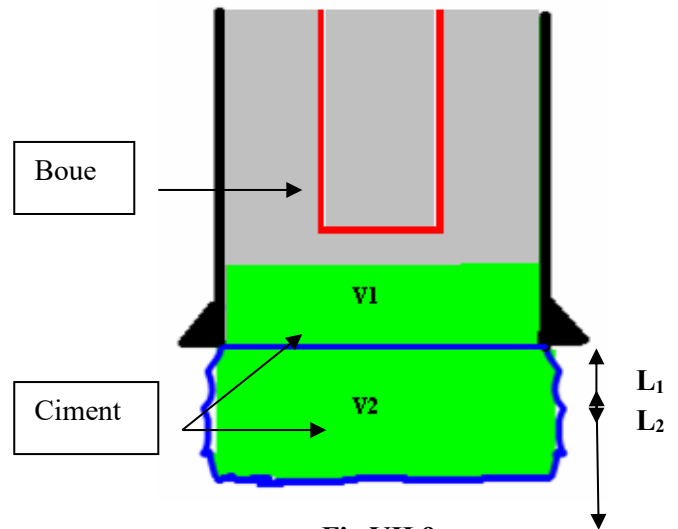


Fig VII.9

V_L : Volume Laitier

V_2 : Volume trou 6"

V_1 : Volume intérieur 7"

V_{U2} , V_{U1} : volumes unitaires à l'intérieure de 6" et casing 7" successivement

D'après le formulaire du foreur on a :

$V_{U2} = 18.4 \text{ l/m}$; $V_{U1} = 18.85 \text{ l/m}$

Application numérique :

$$(2) \Leftrightarrow V_2 = 18.4 \times 37$$

$$V_2 = 0.680 \text{ m}^3$$

$$(3) \Leftrightarrow V_1 = 3.48 - 0.680$$

$$V_1 = 2.8 \text{ m}^3$$

$$(4) \Leftrightarrow L_2 = 2.8 \times 103 / 18.85$$

$$L_1 = 153 \text{ m}$$

$$(1) \Leftrightarrow L = 153 + 37$$

$$L = 190 \text{ m}$$

- La hauteur du ciment est de 190m (de 3484m à 3300m)
- La hauteur du ciment dans le tubage 7" de 153 m
- L'attente de prise ciment à durer 13 heures

CHAPTER IV: Etude de cas

b) Reforage du ciment :

Le but du reforage du ciment est d'enlever l'excès de ciment à l'intérieur du tubage 7" jusqu'à la cote du K.O.P (de la cote 3300 m à 3455 m) et pour le reforage on a utilisé un outils tricône 5"7/8, l'opération de reforage du ciment a duré 31heures, donc une vitesse moyenne d'avancement de 3m/h avec les paramètres suivants :

- **WOB = 5T**
- **RPM = 90 tr/mn**
- **Q = 750 L/mn**
- **P_r = 2600 Psi**

4. POOH 30m au-dessus TOC (top of ciment) théorique et inverser la circulation pour nettoyer le pipe ;
5. POOH jusqu'au jour et dégerbage de la garniture de cimentation ;
6. Gerbage de la BHA de side-track 6" Bent 1.50° ;
7. RIH avec circulation jusqu'au TOC ;
8. Reforer le ciment jusqu'à la côte 3455m ----7----677m au-dessous de sabot a ce point l'amorce de la déviation a débite KOP ;
9. La partie build-up de side track est réalisé en forage contrôler (time drilling) ;
10. POOH side track BHA ;
11. RIH la BHA directionnelle 6", Bent 1.15° ;
12. Continuer le forage de la section 6" jusqu'à TD 4304m

Bibliographie

- Documentation technique Sonatrach / Eni, Bloc 405b – Champ MLE, Rapport interne, 2013.
- Plan de Développement du Champ MLE, Sonatrach / First Calgary Petroleum, 2007.
- Projet Hub Gazier de Berkine, Rapport de mise en service du gazoduc MLE-BRN, Sonatrach / Eni, 2020.
- Bowes, C., & Procter, R. (1997). *Drillers Stuck Pipe Handbook*. Procter Collins Ltd.
- International Association of Drilling Contractors (IADC). (n.d.). *Keyseating Definition*. IADC Lexicon. <https://iadclexicon.org/keyseating/>
- Issa, M. A., Alrazzaq, A. A. A., & Mukhtar, Y. (2023). Review of the Mechanisms for Preventing, Diagnosing, and Treatment of Pipe Sticking in Drilling Operations. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 24(3), 133-140.
- Mitchell, R. F. (2011). *Trouble-Free Drilling: Stuck Pipe Prevention* (Vol. 1). Drillbert Engineering, Inc.
- Saudi Aramco. (2018). Stuck Pipe Mechanisms, Prevention, and Remediation. *Saudi Aramco Journal of Technology*, Fall 2018, 40-43.
- University of Technology Malaysia (UTM). (n.d.). *Undergauge Hole* [Drilling Problems Course Material].
- Noree, H. W. (2015). *Drilling Problems*. Kirkuk Oil Training Institute (KOTI).
- Shi, X., Ji, Y., Cui, M., Wu, D., Guo, W., Jing, L., Tian, Y., & Yang, X. (2024). Early Stuck Pipe Detection Based on Time Series Analysis. *Paper presented at the APOGCE 2024*. SPE.
- Wang, Y., et al. (2023). Expert system for early sign stuck pipe detection: Feature engineering and fuzzy logic approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126.
- Zhang, J., Huang, H., Wang, H., Wang, Q., Ji, G., & Li, H. (2023). Application of Digital Twin for Real-Time Early Identification and Warning of Pipe Stuck Using Hybrid Approach of Physics Model and Machine Learning. *Paper presented at the SPE Annual Technical Conference*.
- WO2014066981A1. (2013). *Expert Decision Engine for Stuck Pipe Detection*. World Intellectual Property Organization.

Conclusion

Ce travail a permis de développer un système d'identification des mécanismes de coincement (SIMC) appliqué au cas du puits MLSW04. L'étude a démontré que l'identification précoce des mécanismes responsables du coincement constitue un facteur essentiel pour améliorer la performance des opérations de forage, réduire les temps non productifs (NPT) et diminuer les coûts liés aux incidents de coincement.

L'analyse des paramètres de forage, des caractéristiques géologiques ainsi que des événements enregistrés durant le forage du puits MLSW04 a permis de déterminer les mécanismes dominants responsables des incidents observés. Le système SIMC développé offre une méthode structurée permettant de reconnaître rapidement les différents types de coincement et d'orienter les ingénieurs vers les actions correctives les plus appropriées.

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de cet outil améliore la prise de décision pendant les opérations de forage, réduit les risques opérationnels et contribue à optimiser les performances techniques du puits. Le système peut également servir comme outil d'aide à la décision pour les futurs puits présentant des conditions géologiques similaires.

Enfin, il est recommandé d'enrichir le système SIMC par l'intégration de données en temps réel (MWD/LWD), de techniques d'intelligence artificielle et d'algorithmes d'apprentissage automatique afin d'améliorer davantage la précision de l'identification et de permettre une détection prédictive des risques de coincement. Une telle évolution contribuerait à renforcer la sécurité, la fiabilité et la rentabilité des opérations de forage.