



**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
Université de KASDI MERBAH  
-OUARGLA-



*Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables, des Sciences  
de la Terre et de l'Univers*  
*Département : Forage et Mécanique des chantiers pétroliers*  
*Option : Forage*

*Mémoire de fin d'études*  
*En vue de l'obtention du diplôme Master Professionnel En forage*

Présenté par :  
AMRAT Oussama  
GHERIB Samir

## **Thème**

Etude de la performance des outils PDC hybrides  
de la Phase 8"1/2 dans le Champ Gassi Touil

Soutenu devant le jury composé de:

Melle BOUHADDA Mebarka.....	Présidente	M.A UKMO
Mr. KHELTOUT Abdelkader.....	Examineur	M.A UKMO
Mr. KHELIFA Cherif.....	Encadreur	M.A UKMO

Année Universitaire : **2015/2016**

## ***DEDICACE***

***Nous dédions ce modeste travail***

***A nos chers parents***

***A nos frères et sœurs***

***A tous nos amis***

***Et à tous ceux qui nous ont encouragés durant notre vie  
estudiantine.***

***AMRAT Oussama et GHERIB Samir***

## **Remerciements**

*Nous tenants à exprimer notre gratitude et nos remerciements à Dieu qui nous a donné la force et le pouvoir pour effectuer ce travail.*

*Nous remercions notre encadreur le professeur M. KHELIFA Cherif pour toute aide et les conseils qu'il nous a prodigués et qu'il trouve ici l'expression de notre profond respect à l'égard de la clarté de son raisonnement et de la finesse de son esprit scientifique.*

*L'expression de notre gratitude s'adresse aux membres du jury qui ont accepté d'examiner ce travail et qui nous ont honorés par leur présence à la présentation orale.*

*Nous remercions également tous les enseignants de la faculté des hydrocarbures et spécialement pour les enseignants du département de Forage et Mécanique des chantiers pétroliers.*

*Envers toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin, que cela soit par leur apport en informations, par leurs orientations ou par la pertinence de nos questions.*

**AMRAT Oussama et GHERIB Samir**

---

## SOMMAIRE

<b>DEDICACE</b>	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>II</b>
<b>SOMMAIRE</b>	<b>III</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>VI</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>VIII</b>
<b>CHAPITRE I : Généralités sur les outils de forage</b>	
1- LES DIFFERENTS TYPES DES OUTILS DE FORAGE	2
1-1 Les outils à molettes	2
1-2 Les outils à éléments de coupe fixes	3
1-2-1 Propriétés du diamant	3
1-2-2 Différents types de diamants utilisés	3
1-2-2-A Les diamants naturels	3
1-2-2-B Les diamants synthétiques	4
1-2-2-B-1 Les PDC (Polycristalline Diamond Compact)	4
1-2-2-B-2 Les TSP (Thermally Stable Polycrystalline)	5
1-2-3 Avantages de diamant synthétique au diamant naturel	6
2- MODE DE DESTRUCTION DE LA ROCHE PAR LES DIFFERENTS TYPES DE DIAMANTS	6
a) Les diamants naturels	6
b) Les PDC	7
c) Les TSP	7
3- LES OUTILS DIAMANT NATUREL	8
3-1 Fabrication	8
3-2 Les outils imprégnés	9
3-3 Différents types des outils diamants	10

---

3-4 Conception des outils diamants	11
3-5 Terminologie des outils diamants	12
4- LES OUTILS POLYCRISTALLINS (PDC-TSP)	14
4-1 Fabrication	14
4-1-A Outils corps en acier (Steel Body)	14
4-1-B Outil corps fritté (Matrix Body)	15
4-2 Conception des outils PDC	15
4-2-1 Profil	16
4-2-2 Les dents (Cutters)	16
4-2-3 Le corps de l'outil (Steel Body)	17
4-3 Terminologie des outils PDC – Steel et Matrix Body	18
5- LES OUTILS HYBRIDES	20
5-1 Conception	20
5-2 Propriétés des outils PDC hybrides	21
5-3 Evolution dans la conception du PDC hybride	27

## **CHAPITRE II : Etude de la performance des outils hybrides**

1- LE PRIX DE METRE FORE	30
2- PRESENTATION DE CHAMP GASSI TOUIL	31
2-1 Position et données générales	31
2-2 Superficie et coordonnées	31
2-3 Description lithologique et coupe stratigraphique	32
3- ETUDE DE PERFORMANCE DES OUTILS HYBRIDES	33
3-1 Courbe d'avancement par couche (Puits TOUN-1 et TOUS-1Bis)	34
3-2 Le prix de mètre foré	35
3-3 Courbe d'avancement par couche (Puits TOUP-2 et TOUW-2)	37
3-4 Le prix de mètre foré	38

<b>4- ANALYSE DU RESULTAT</b>	<b>38</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>IX</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>X</b>
<b>LES ANNEXES</b>	<b>XI</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure.01:</b> Les outils à molettes (tricône)	2
<b>Figure.02:</b> Les dents (Cutters) des Outils PDC	4
<b>Figure.03:</b> Les Outils PDC	5
<b>Figure.04:</b> Outil TSP	6
<b>Figure.05:</b> Mode de destruction de la roche par les outils à diamant naturel et PDC	7
<b>Figure.06:</b> Outil imprégné avec des segments en carbure de tungstène imprégnés de diamants	9
<b>Figure.07:</b> Segments en carbure de tungstène imprégnés de diamants	10
<b>Figure.08:</b> Terminologie des outils diamants	12
<b>Figure.09:</b> Terminologie des outils diamants imprégné	13
<b>Figure.10:</b> Outil PDC Steel body	14
<b>Figure.11:</b> Terminologie des outils PDC – Matrix body	18
<b>Figure.12:</b> Terminologie des outils PDC – Steel body	19
<b>Figure.13:</b> Outil Hybride (FX84i)	20
<b>Figure.14:</b> Segments imprégnés pour les outils hybrides	20
<b>Figure.15:</b> Outil hybride sur corps à matrice et en acier	21
<b>Figure.16:</b> Propriétés des outils hybrides	22
<b>Figure.17:</b> Empreinte des vibrations latérales sur un outil	23
<b>Figure.18:</b> Comparaison des performances entre des outils PDC Hybrides et PDC Conventionnels sur les vibrations latérales	24
<b>Figure.19:</b> Comparaison des performances entre des outils PDC Hybrides et PDC Conventionnels sur les vibrations axiales	25
<b>Figure.20:</b> Rôle du taillant imprégné dans les intercalations dures et abrasives	26
<b>Figure.21:</b> Carte et Plan de situation de la région de Gassi Touil	31
<b>Figure.22:</b> Coupe Stratigraphique de la région de Gassi Touil	32
<b>Figure.23:</b> Courbe N°01 d'avancement par couche	34
<b>Figure.24:</b> Courbe N°02 d'avancement par couche	37

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau.1 Paramètres d'avancement de l'outil FX84i</i>	33
<i>Tableau.2 Paramètres d'avancement de l'outil VTD813DGX</i>	33
<i>Tableau.3 Paramètres d'avancement de l'outil IQ616D</i>	34
<i>Tableau.4 Prix de mètre foré</i>	35
<i>Tableau.5 Paramètres d'avancement de l'outil FX84i</i>	35
<i>Tableau.6 Paramètres d'avancement de l'outil Q507FX</i>	36
<i>Tableau.7 Paramètres d'avancement de l'outil IQ616D</i>	36
<i>Tableau.8 Prix de mètre foré</i>	38



Le but d'un forage est d'atteindre un objectif avec un prix de revient le plus bas possible.

Pour ce but, il faut choisir l'outil le mieux adapté au type de la formation à forer afin d'aboutir à une vitesse maximale d'approfondissement de l'outil. Ceci est à condition d'avoir une bonne architecture du puits pour éviter les différents problèmes au cours de la remontée de la garniture et la descente du tubage.

Le prix de revient déterminé pour outil PDC est inférieur aux prix obtenus par l'outil tricône, mais le problème c'est l'apparition de vibrations qui influent sur l'avancement et causent ainsi l'usure des dents de l'outil par rupture, une mauvaise architecture de puits peut poser aussi le problème de coincement. Les vibrations des outils PDC sont dues à leur mode de fonctionnement. Le degré de vibration est en fonction de l'enfoncement des dents dans la formation. Si l'enfoncement est petit la vibration est moindre et si l'enfoncement est grand la vibration est grande. Donc la vibration limite la vitesse d'avancement de l'outil; à cause de ce problème le prix du mètre foré va augmenter.

Pour résoudre ce problème des outils PDC afin de minimiser le prix du mètre foré, le constructeur des outils a développé une nouvelle génération des outils PDC qui sont appelés des outils PDC Hybrides. Ces outils contiennent des imprégnés derrière les cutters pour limiter l'enfoncement des dents dans la formation afin de réduire les vibrations.

Le forage par les outils hybrides démontre vraiment que la vibration générée est petite. Mais est-ce que ces outils performant aussi bien que les outils PDC conventionnels ? Ça c'est l'objet de notre étude.

Ce travail sera présenté en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités sur les outils utilisés dans le forage.
- L'étude de la performance des outils hybrides sera présentée dans le deuxième chapitre.
- En fin une conclusion.

# *CHAPITRE I*

## *Généralités sur les outils de forage*

## 1- LES DIFFERENTS TYPES DES OUTILS DE FORAGE

### 1-1 Les outils à molettes :

Les outils à molettes ont été introduits dans le forage rotary par H.R. HUGUES en 1909 : ils en constituent aujourd'hui l'outil de base.

Il existe plusieurs types d'outils à molettes, notamment :

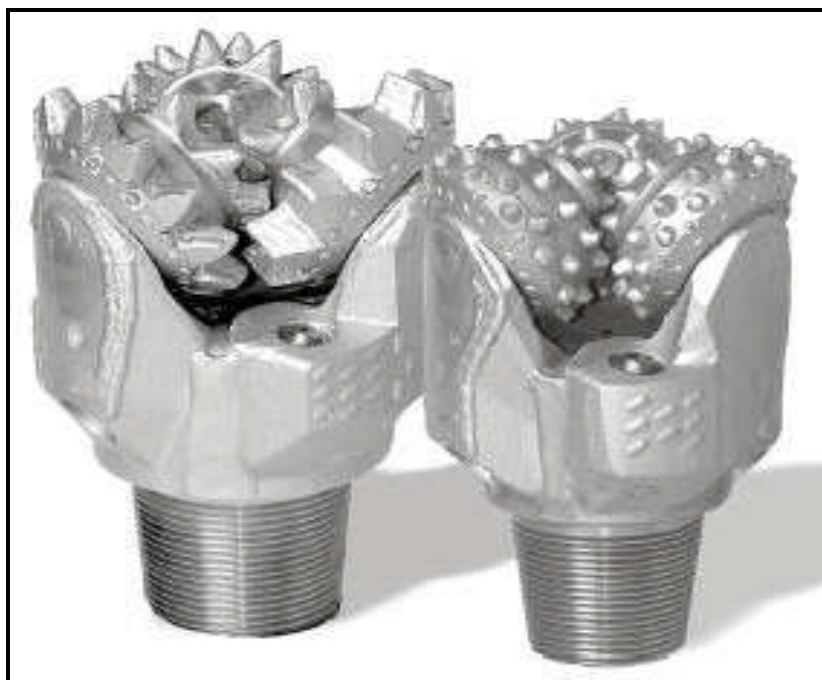
- les bicônes (2 cônes) ;
- les tricônes (3 cônes).

Le bicône utilisé auparavant pour la déviation est aujourd'hui, il est peu utilisé.

Le tricône (outil à trois molettes) est le plus utilisé. Les éléments de coupe font partie de la molette, ce sont : (figure 01)

- Des dents usinées dans le cône ;
- Des picots de carbure de tungstène emmanchés en force dans des perçages à la surface du cône.

Les outils à picots ont permis d'améliorer les performances de forage dans les formations dures. Là où les outils à dents pouvaient ne forer que quelques mètres avec une vitesse d'avancement faible. Les picots de carbure et les paliers de friction ont permis d'appliquer des poids de plus en plus importants sur l'outil et d'augmenter sa durée de vie des outils dans les formations dures (la durée de vie de ces outils est pratiquement trois fois plus longue que celle des outils à dents et à roulement à rouleaux).<sup>[1]</sup>



*Figure.01: Les outils à molettes (tricône)*

## 1-2 Les outils à éléments de coupe fixes :

Les outils diamants ont fait leur apparition vers 1870 pour la recherche du charbon.

L'utilisation du diamant s'est étendue au forage pétrolier vers 1930 (carottage).

### 1-2-1 Propriétés du diamant :

Le diamant est une substance ayant des propriétés physiques remarquables :

- C'est la substance la plus dure (résistance à l'écrasement la plus élevée) que l'on connaisse. Le diamant est environ 10 fois plus dur que l'acier et 2 fois plus que le carbure de tungstène.
- C'est la substance la plus résistante à l'usure (environ 10 fois plus résistant que le carbure de tungstène).
- C'est la substance qui a le plus faible coefficient de friction ; le diamant est plus glissant que le Téflon.
- Son coefficient de dilatation est très faible ce qui pose problème lorsqu'il est associé à d'autres matériaux.
- Son point de fusion est élevé (3650°C), mais il se transforme superficiellement en graphite à partir de 1300°C et perd sa résistance mécanique.<sup>[1]</sup>

### 1-2-2 Différents types de diamants utilisés :

Les fabricants d'outils utilisent deux catégories de diamants : les diamants naturels et les diamants synthétiques.

#### 1-2-2-A Les diamants naturels :

Ils proviennent de mines et les pierres employées pour la fabrication des outils de forage sont des diamants industriels de très bonne qualité. Des pierres de différentes structure et forme sont utilisées.

La taille des pierres utilisées pour les outils de forage varie entre 1 à 15 pierres par carat.<sup>[1]</sup>

## 1-2-2-B Les diamants synthétiques :

### 1-2-2-B-1 Les PDC (Polycristalline Diamond Compact) :

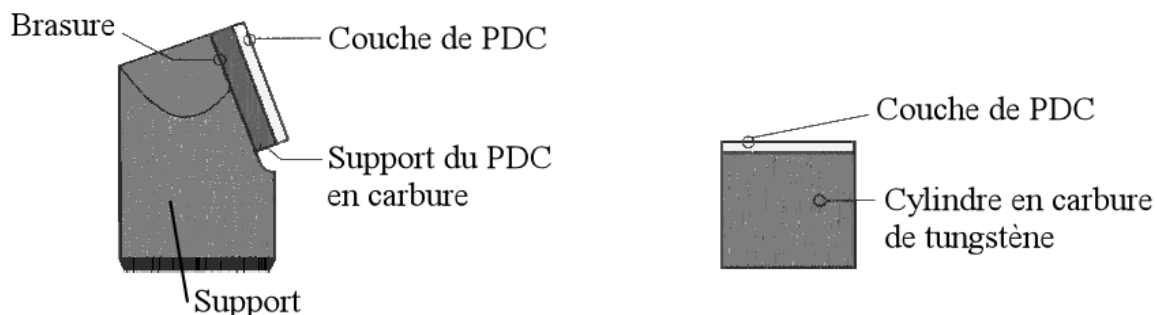
En 1971, General Electric a réussi à faire la synthèse du diamant en laboratoire à partir d'un mélange de graphite, de nickel et de cobalt soumis à des conditions de pression et de température très élevées (100 000 bars et 1500°C). La fine couche de diamant, grâce à la présence de cobalt, peut être fixée sur un support en carbure de tungstène. Le produit obtenu est appelé stratapax ou compact.

Les diamants obtenus par synthèse sont polycristallins (d'où le nom de PDC : Polycristalline Diamond Compact) : la couche de diamant ainsi formée est constituée de petits cristaux qui se sont développés dans des directions aléatoires. Le cobalt, utilisé pour catalyser la synthèse, sert également de liant entre les cristaux. Cette structure polycristalline confère au diamant synthétique une résistance à la compression et à l'usure plus élevée que celle du diamant naturel. (figure 02).

La couche de diamant s'use par micro-écaillage, ce qui entraîne un auto-affûtage du PDC qui maintient l'efficacité de l'arête de coupe. Les performances du taillant seront donc peu ou pas diminuées au cours de la vie de l'outil.

Cependant, les coefficients de dilatation thermique du liant et du diamant sont très différents (coefficient du liant beaucoup plus élevé). A partir de 400°C, la dilatation différentielle des différents constituants produit la rupture des liaisons entre cristaux et le PDC perd progressivement sa résistance, la structure n'est plus stable aux environs de 750°C. Il est donc essentiel de maintenir le PDC à une température la plus faible possible.

Les compacts peuvent être brasés sur le corps de l'outil ou peuvent être fixés sur des supports cylindriques de carbure de tungstène emmanchés en force à chaud dans le corps de l'outil.<sup>[1]</sup> (figure 03)



**Figure.02:** Les dents (Cutters) des Outils PDC.



**Figure.03:** Les Outils PDC.

### 1-2-2-B-2 Les TSP (Thermally Stable Polycrystalline):

Pour pallier à l'instabilité thermique des PDC, General Electric a mis au point un diamant synthétique où le catalyseur est éliminé par acidification. Le produit obtenu est stable jusqu'à des températures de l'ordre de 1 200 °C. Cependant l'élimination du cobalt fait qu'il n'est pas possible de fixer le diamant obtenu sur un support quelconque. Le TSP devra être maintenu en place mécaniquement comme le diamant naturel. (figure 04)

Il existe un autre procédé de fabrication où le cobalt et le nickel sont remplacés par du silicium. Le produit obtenu est encore plus stable du point de vue thermique, mais comme dans le cas précédent, il ne peut pas être fixé sur un support.

Les TSP peuvent être regroupés pour former des structures en mosaïque de la dimension des PDC. Cette structure a permis d'augmenter la vitesse d'avancement et d'allonger la durée de vie de l'outil dans des formations tendres, abrasives et dans les intercalations d'argiles et de roche plus dures, là où les PDC n'étaient pas rentables.

Le TSP présente de nombreux avantages sur les autres types de diamant :

- Il résiste mieux à la température que le PDC;
- Grâce à sa structure poly cristalline, il résiste mieux au choc que le diamant naturel (à l'exception du carbonado qui est également poly cristallin) ;
- Son usure irrégulière produit des faces tranchantes alors que le diamant naturel s'érousse.

De ce fait, les performances des TSP diminuent peu ou pas au cours de la vie de l'outil. En définitive, le TSP a l'efficacité du PDC et la résistance à la température du diamant naturel.



**Figure.04:** Outil TSP.

### **1-2-3 Avantages de diamant synthétique au diamant naturel :**

- Les deux produits (PDC, TSP) sont plus résistants à l'abrasion que les diamants naturels mais ils sont moins durs.
- La raison de l'énorme succès des pierres synthétiques et que le scientifique a la possibilité de fabriquer des diamants qui répondent exactement aux exigences des industriels. <sup>[1]</sup>

## **2- MODE DE DESTRUCTION DE LA ROCHE PAR LES DIFFERENTS TYPES DE DIAMANTS**

### ***a) Les diamants naturels :***

Il agit par abrasion en creusant un sillon autant par fracturation que cisaillement, il laboure la roche. L'effort d'écrasement a autant d'importance que l'effort tangent. Il sera nécessaire d'appliquer un poids et une vitesse de rotation relativement élevés pour forer.

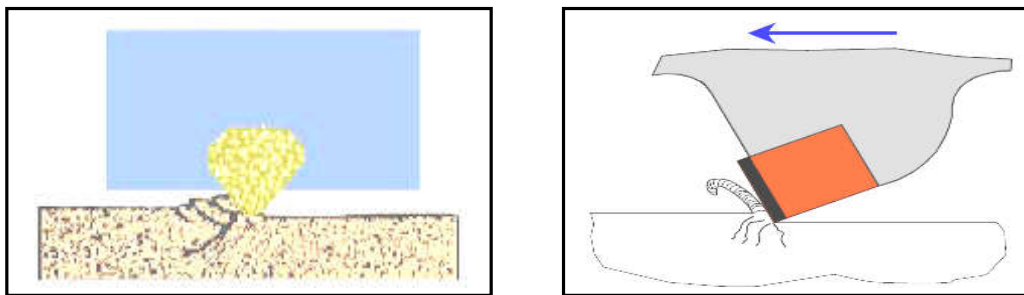
Le handicap du diamant naturel est la faible dimension des pierres utilisées. La profondeur de l'entaille produite dans la roche est très faible (de l'ordre de 0.1 mm). Cela limite l'utilisation du diamant naturel aux terrains les plus durs et abrasifs. Les vitesses d'avancement obtenues seront donc relativement faibles (de 2 à 5 m/h). <sup>[2]</sup>

### b) Les PDC :

Ils travaillent à la façon de l'outil d'une machine en cisailant la roche. La mise en action de l'élément de coupe nécessite en premier un effort d'écrasement entraînant la pénétration dans la formation.

Les taillants soulèvent les copeaux de roche formés ce qui contribue à un meilleur nettoyage du front de taille, donc évite le bourrage de l'outil et permet d'obtenir une vitesse d'avancement maximale (dans les formations plastiques, l'avancement est plus limité par le nettoyage du front de taille que par la destruction de la roche).

Dans les formations tendres, c'est le mécanisme qui demande le moins d'énergie pour détruire la roche mais qui produit le plus de couple. Des vitesses d'avancement élevées sont obtenues avec des poids sur l'outil beaucoup plus faibles qu'avec les autres types d'outils. <sup>[2]</sup>



Action d'un outil à diamant naturel

Action d'un PDC

**Figure.05:** Mode de destruction de la roche par les outils à diamant naturel et PDC.

### c) Les TSP :

L'action du TSP dépend de l'orientation et de la hauteur d'exposition du taillant. Il combine le mécanisme de destruction des PDC et des diamants naturels. Lorsque l'outil est conçu pour forer des formations tendres, le TSP cisaille la roche. Dans les formations dures, il laboure la roche de la même manière que le diamant naturel.

Quel que soit le type de diamant utilisé, la friction entre les taillants et la formation produit beaucoup de chaleur ; le débit de circulation doit être important pour refroidir correctement l'outil et éviter de détruire les diamants. <sup>[2]</sup>



### 3- LES OUTILS DIAMANT NATUREL

#### 3-1 Fabrication :

Il n'y a pas de « série » et la fabrication est « artisanale ».

##### Principe de fabrication : <sup>[3]</sup>

- On procède d'abord à la fabrication au tour du moule en graphite.
- A l'intérieur de ce moule, on trace la position de chaque diamant et des lignes d'eau (canaux d'irrigation).
- Chaque emplacement de diamant est creusé à l'aide d'une petite fraise.
- Les canaux d'irrigation appelés aussi lignes d'eau sont représentés en relief dans le moule par des pierres en graphite ou en sable.
- On procède ensuite à la mise en place des diamants, un par un, dans chaque logement, où ils sont maintenus en place par une légère couche de colle.
- Après mise en place d'une monture en acier (Steel Blank), le moule est rempli de carbure de tungstène (dont le point de fusion est de 3600 °C) auquel on ajoute un « liant » à base de cuivre et de nickel dont la composition reste le secret de chaque fabricant.
- Le point de fusion du liant se situe entre 400 °C et 1400 °C selon sa composition et varie selon la dureté de la matrice que l'on veut obtenir.
- Après mise en place de la monture en acier et compression de la poudre de carbure de tungstène, l'ensemble est placé dans un four à induction. Sous l'action de la chaleur le liant devenu liquide pénètre parfaitement entre les grains de carbure et autour des diamants. Puis en se refroidissant, l'ensemble se solidifie.
- On ajoute un raccord fileté API en acier au carbone (API) sur la monture en acier qui elle est en acier doux (pour éviter la trempe et la carburation dans le moule en graphite lors du passage au four) le raccordement se fait par filetage et soudure.

### 3-2 Les outils imprégnés :

Un autre type de fabrication existe également : les diamants imprégnés. (figure 06)

Pour l'imprégnation, on utilise des diamants de très petite taille (150 pierres par carat, ce qui correspond à un diamètre de l'ordre de 0.8 mm).<sup>[3]</sup>



**Figure.06:** Outil imprégné avec des segments en carbure de tungstène imprégnés de diamants.

L'imprégnation se fait :

- Soit dans la masse de la matrice sur une épaisseur de l'ordre du cm. Au fond du moule, on place un mélange de diamants et de poudre servant à la fabrication de la matrice et l'ensemble est passé au four.
- Soit l'on fabrique des segments de carbure de tungstène imprégnés de diamants. Ces segments sont soit brasés, soit emmanchés en force dans le corps de l'outil. (figure 07)

Ces outils sont utilisés pour forer des formations très dures et abrasives ou pour augmenter la durée de vie de l'outil en tant qu'élément de renfort derrière les PDC (outils hybrides). Au fur et à mesure de l'usure de la matrice, les diamants exposés se déchaussent et de nouveaux taillants apparaissent



**Figure.07:** Segments en carbure de tungstène imprégnés de diamants.

### 3-3 Différents types des outils diamants :

Il existe de nombreux types d'outils. Il faut se rappeler qu'un outil est défini par :

- Le nombre de « carats » que contient l'outil,
  - Le nombre de « pierres au carat » qui définit la taille des pierres.
    - ✓ Grosses pierres : 1 à 4 au carat.
    - ✓ Petites pierres : plus de 6 au carat.
  - La disposition et l'exposition des pierres.
- Il est évident que les outils pour :

- Terrains tendres auront :
  - ✓ Des grosses pierres
  - ✓ Une exposition plus grande (jusqu'à 45% de la pierre).
- Terrains durs
  - ✓ Petites pierres
  - ✓ Très faible exposition

### 3-4 Conception des outils diamants :

La conception et sélection adéquate d'un outil de forage en diamant destiné à une application spécifique sont une procédure compliquée. Chaque outil est fabriqué dans son propre moule, il peut avoir les caractéristiques de conception standard ou des caractéristiques spéciales pour aider à face aux problèmes de forage spécifiques. A cause de sa capacité unique de pouvoir être fabriqué sur commande en seulement 16 à 72 heures (selon la dimension), toute information disponible concernant l'application de l'outil doit être étudiée et évaluée plus la valeur de l'information disponible est compréhensible, plus il sera possible de minimiser le coût du forage. Avant de considérer les caractéristiques des détails de conception les conditions sous lesquelles l'outil diamant travaillera doivent être listées. Ces conditions sont suivantes :<sup>[3]</sup>

- Formation.
- Profondeur.
- Capacités de l'appareil.
- Hydrauliques.
- Stabilisation.
- Inclinaison du puits.
- Conditions de fond.
- Données du fluide de forage (densité, débit....).
- Diamètre du dernier tubage et/ou du trou.
- Performance actuelle et/ou passée des autres outils.
- Problèmes anormaux.
- Considérations spéciales.

3-5 Terminologie des outils diamants :

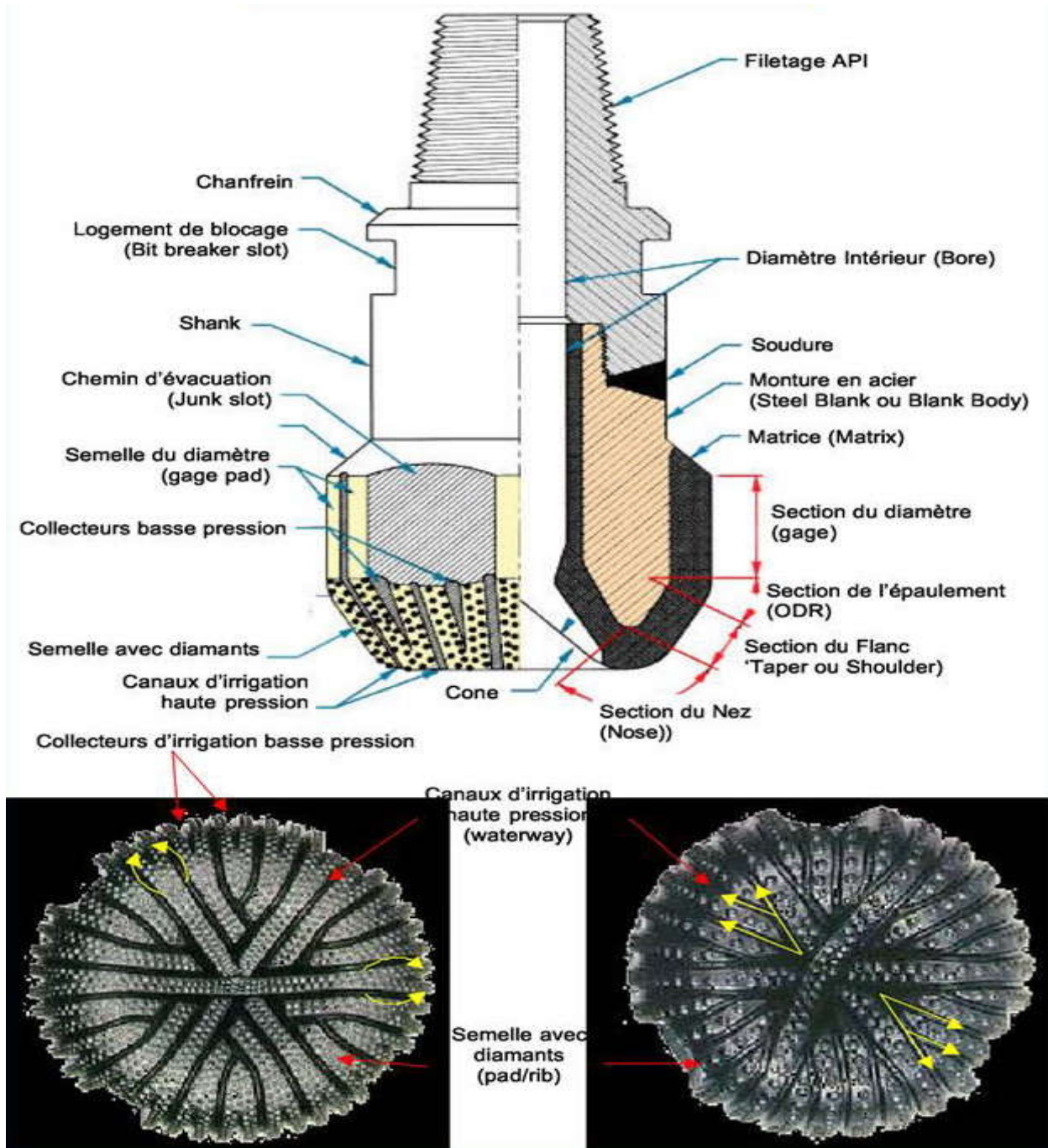


Figure.08: Terminologie des outils diamants.

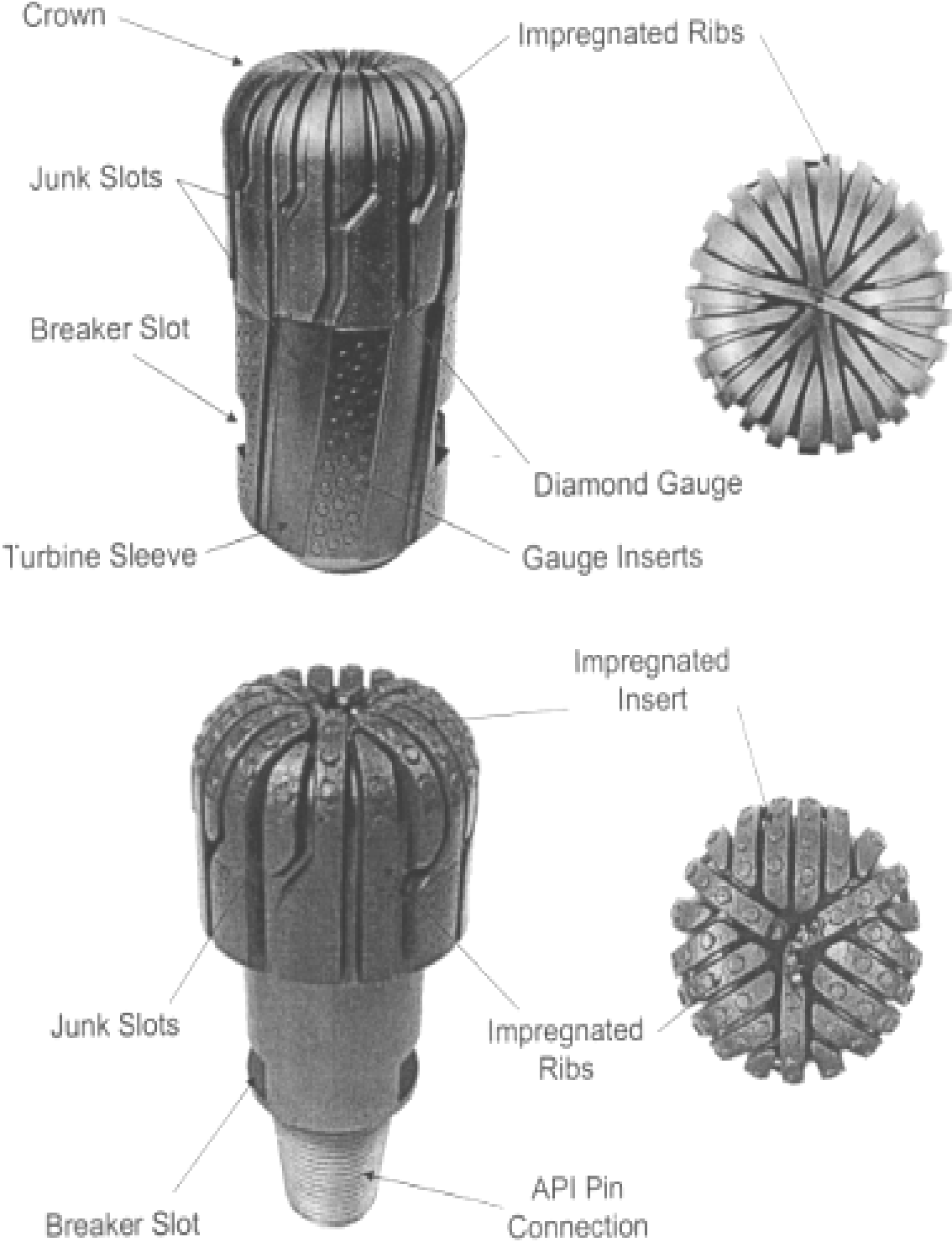


Figure.09: Terminologie des outils diamants imprégnés.

## 4- LES OUTILS POLYCRISTALLINS (PDC-TSP) :

### 4-1 Fabrication

Il existe deux systèmes de fabrication d'outil PDC : les outils dont le corps est en acier (Steel Body) et les outils dont le corps est une matrice (Matrix Body).

Les outils avec corps en acier sont usinés dans des barres d'acier, alors que les outils avec corps en matrice sont coulés à partir de poudre de carbure de tungstène dans des moules correctement formés. <sup>[2]</sup>

#### 4-1-A Outils corps en acier (Steel Body) :

La barre d'acier est usinée sur un tour contrôlé par ordinateur pour produire le profil du corps. A ce stade le filetage mâle API est usiné ainsi que le diamètre intérieur du passage principal du fluide. (figure 10)

Les machines contrôlées par ordinateur usinent la géométrie du corps, y compris canaux d'irrigation (Water Way), les lames, les logements des dents (Cutter Pockets), les trous des duses et filetages.

Après l'usinage du corps, les picots de diamètre (Gauge Cutters) sont sertis sous presse dans leurs logements ainsi que les dents (Cutters) du PDC. Puis, l'outil est mis au diamètre.

Le PDC est ensuite équipé avec les duses qui peuvent être remplacées sur l'appareil de forage si le programme hydraulique l'exige. <sup>[3]</sup>



**Figure.10:**

*Outil PDC Steel body.*

## 4-1-B Outil corps fritté (Matrix Body)

La fabrication d'un outil PDC (Matrix Body) s'effectue par pièce comme suit :<sup>[2]</sup>

- Fabrication du moule.
- Usinage et préparation de la monture en acier de l'outil.
- Mise en place de la poudre de carbure de tungstène dans le moule et préparation avant le passage au four.
- Assemblage du corps de l'outil et de la monture en acier.
- Mise en place des cutters après avoir obtenu la matrice.

### **Brasage :**

Le brasage est une opération délicate dans la fabrication des PDC. L'alliage utilisé dans la brasure doit avoir un point de fusion le plus bas possible, une bonne conductivité, une excellente résistance et une bonne liaison au carbure de tungstène à basses températures. L'argent est l'élément prédominant dans ces alliages. Sa composition chimique très contrôlée est nécessaire pour fournir les conditions adéquates pour braser les éléments de coupe sur la matrice du corps de l'outil.<sup>[1]</sup>

#### ➤ **Inspection finale :**

Après nettoyage, l'outil est mesuré et calibré

- Inspection ultrasonique : après l'opération de brasage des cutters sur la matrice, ceux ci sont contrôlés afin de vérifier la liaison diamant / cutters.
- Mesure des différentes parties de l'outil (longueur du gage, longueur de l'outil, les hauteurs des lames, etc.....).
- Calibrage du diamètre de l'outil.

## 4-2 Conception des outils PDC :

La conception d'un outil de forage PDC est la plupart du temps un problème de compromis. Plusieurs facteurs, qui peuvent être en conflit, sont considérés et constituent une structure de contraintes fondamentales. Les caractéristiques qui se montrent extrêmement efficaces sur un modèle peuvent être néfastes un autre.

Un outil PDC est comparable à un appareil mécanique conçu pour transmettre de l'énergie dans le but de forer la roche. En dépit de sa petite dimension, il doit être conçu pour transférer plus d'énergie que celle produite dans un moteur de voiture de course de haute performance.



La réparation et la densité des taillants (cutters) seront différentes suivant les profils. Ces différents profils seront adaptés à des conditions spécifiques (type de formation, type de forage ...).<sup>[3]</sup>

#### 4-2-1 Profil :

Une grande variété de profils d'outil existe. Ces profils peuvent être regroupés en trois principaux groupes :<sup>[2]</sup>

- Profil à simple cône (single cône) : plat, hémisphérique et forme à étage.
- Profil à cône peu profond (shallow cône) : plat, à flanc court, à flanc moyen et à flanc long.
- Profil à double cône (double cône) : flanc court à médium et flanc long.

Pour chacun de ces groupes, les variations de profil permettent d'associer le volume des taillants en rapport avec la dureté de la formation et la conception hydraulique pour l'évacuation des déblais.

- ✓ La stabilité de l'outil.
- ✓ Cône.
- ✓ Le nombre des taillants.
- ✓ La durabilité de l'outil.
- ✓ La vitesse d'avancement.
- ✓ Le nettoyage et le refroidissement de l'outil.

Le profil de l'outil consiste en :

- ✓ Apex (centre géométrique de l'outil).
- ✓ Cône.
- ✓ Nez.
- ✓ Le flanc (Shoulder ou taper).
- ✓ L'épaulement (ODR).
- ✓ Le diamètre (gauge).

#### 4-2-2 Les dents (Cutters) :

Le nombre de couteaux sur un outil PDC est un déterminant fondamental de performance de l'outil. Idéalement le concepteur recherche un produit qui :

- Peut forer une gamme des formations qui incluent formations dures et abrasives.
- Peut fournir une vitesse d'avancement régulière et élevée.

- A une longue durée de vie et.
- Peut être fabriqué à faible coût.

Plus la dureté de la roche augmente, plus le nombre de taillants augmente. <sup>[4]</sup>

### 4-2-3 Le corps de l'outil (Steel Body) :

#### ● Corps en acier :

Le corps en acier supporte d'avantages les contraintes de forage (poids, torque) que le corps à matrice. Il est généralement utilisé quand le concepteur veut maximiser les faces d'attaque pour favoriser la vitesse de pénétration. Cependant, les hauteurs peuvent être limitées par les contraintes mécaniques du corps. Des calculs sont réalisées pour maximiser les contraintes sur la lame pour une hauteur donnée et des programmes de test de fatigue vérifient les contrainte adéquates.

L'utilisation de l'acier représente également un avantage pour les outils de grands diamètres en évitant les problèmes complexes de fabrication des corps à matrice.

L'inconvénient majeur du corps en acier est qu'il est moins résistant à l'érosion que l'outil) matrice et par conséquent plus susceptible d'être endommagé par les fluides de forage abrasifs. Pour combattre ceci, la technique de renforcement (hard facing) peut être appliquée aux sections les plus exposées de l'outil. <sup>[4]</sup>

#### ● Corps à matrice (matrix body) :

Les corps à matrice sont fabriqués par les procédés de moulage, dans lequel un composé de poudres de carbure de tungstène est coulé avec un liant autour d'une partie en acier (blank steel). Le liant enrobe et fixe les particules de carbure. De plus le processus facilite une adhésion métallurgique entre les croix de la matrice et l'intérieur du blank steel.

Une matrice à poudre de carbure de tungstène fournit des propriétés de surface excellentes avec une capacité exceptionnelle à résister à l'érosion par les fluides. Le phénomène d'érosion est causé par la perte de l'alliage servant de liant qui est tendre ce qui alors défait les grains de poudre de carbure de tungstène de la matrice. <sup>[4]</sup>

4-3 Terminologie des outils PDC – Steel et Matrix Body :

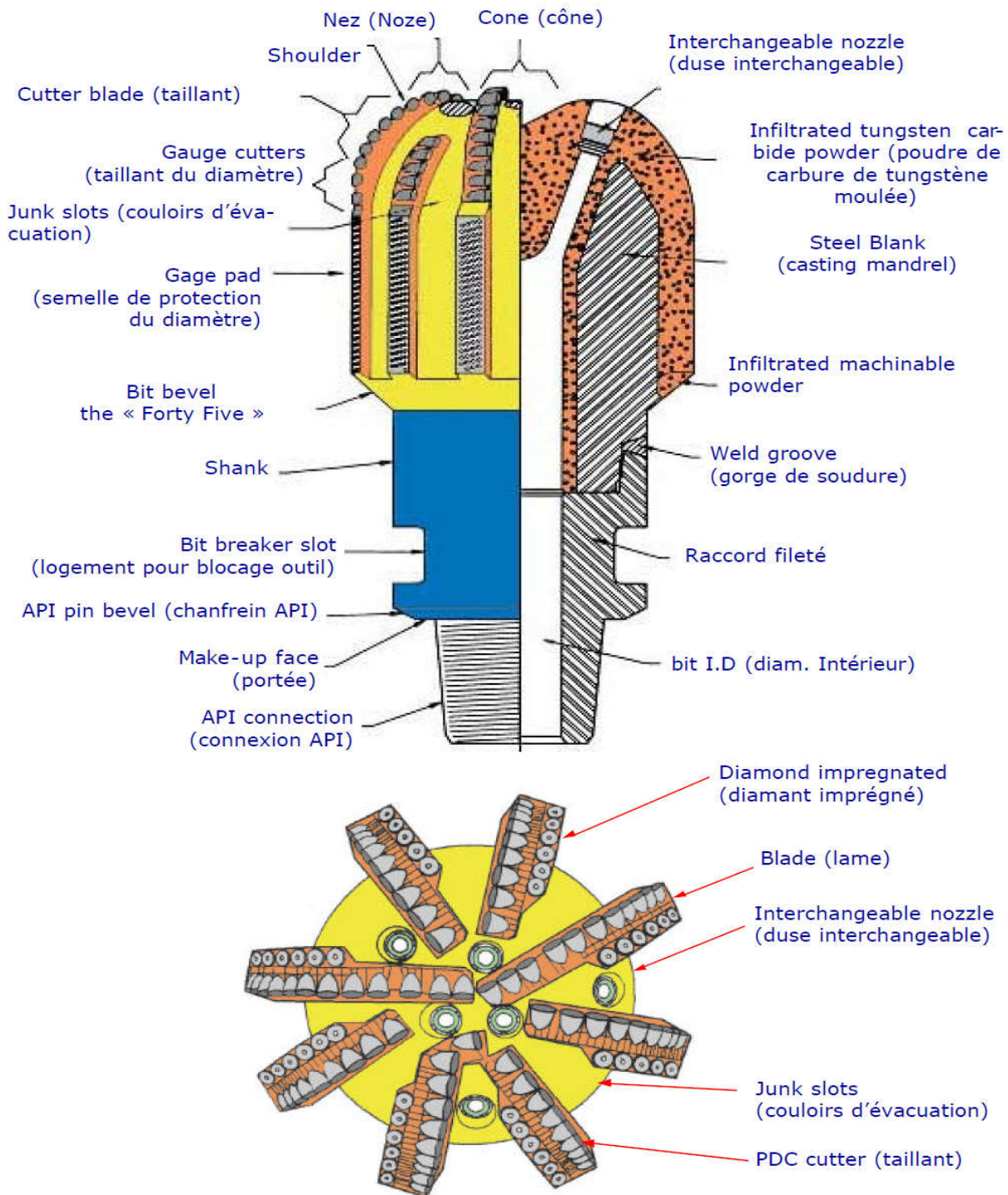
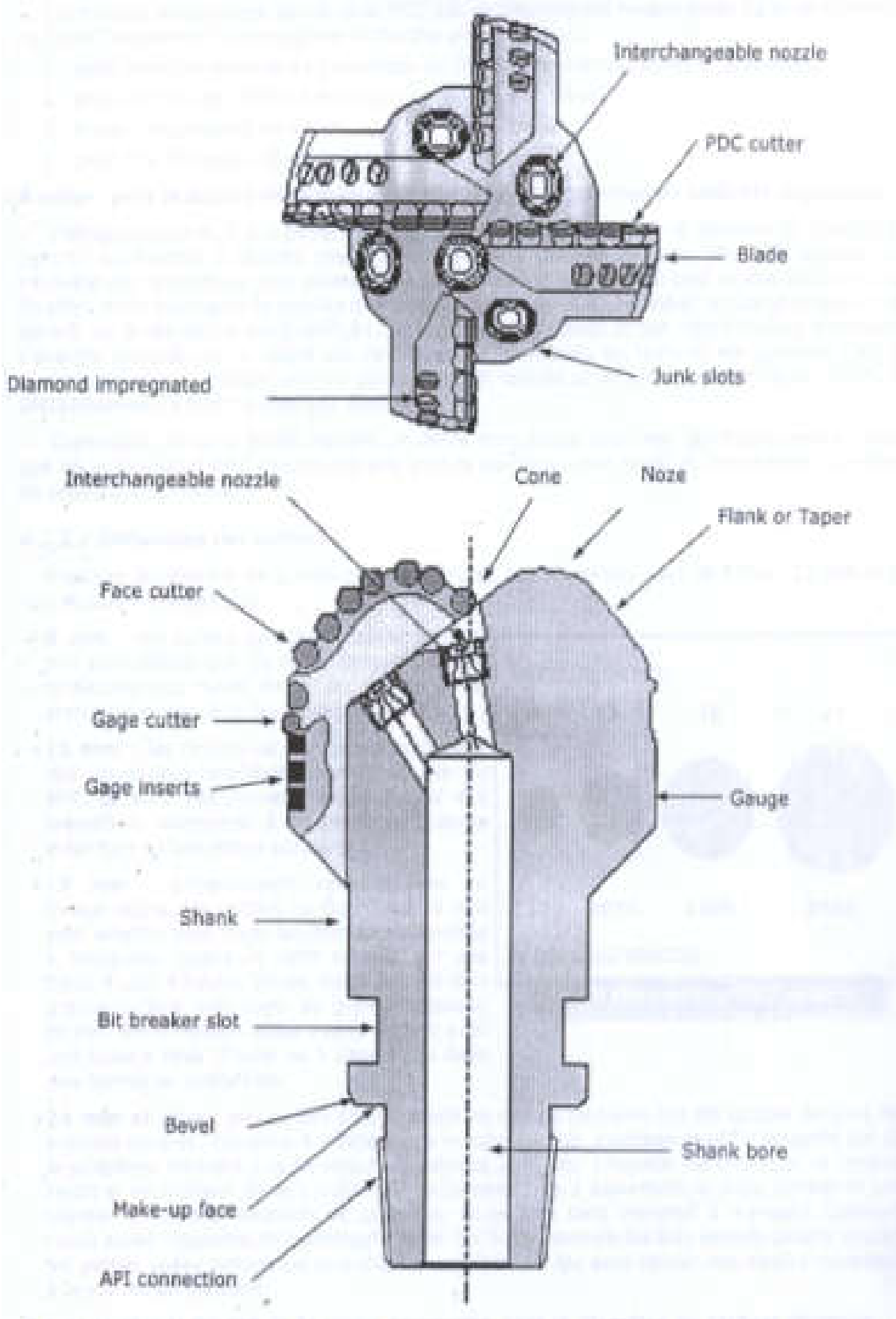


Fig.11: Terminologie des outils PDC – Matrix body.

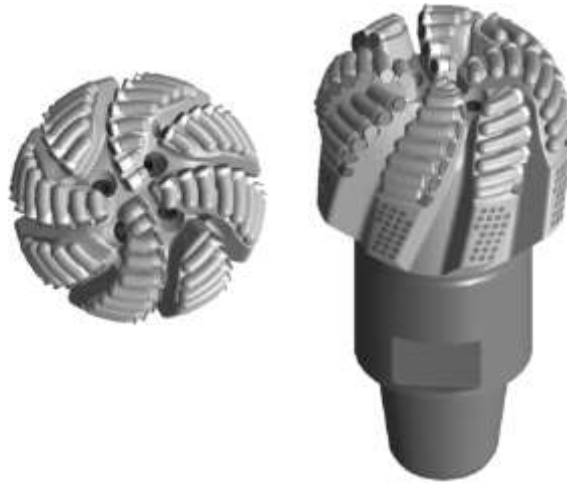


**Fig.12:** Terminologie des outils PDC – Steel body.

## 5- LES OUTILS HYBRIDES

### 5-1 Conception:

Le terme « hybride » vient du couplage de la technologie des taillants PDC et diamant naturel montés sur un même outil. Un élément secondaire de carbure de tungstène imprégné de diamant est placé derrière la dent en PDC. Ces seconds éléments sont généralement appelés « imprégnés ». Chaque imprégné va de pair avec un PDC spécifique situé dans un endroit critique, potentiellement exposé à l'usure.<sup>[3]</sup>



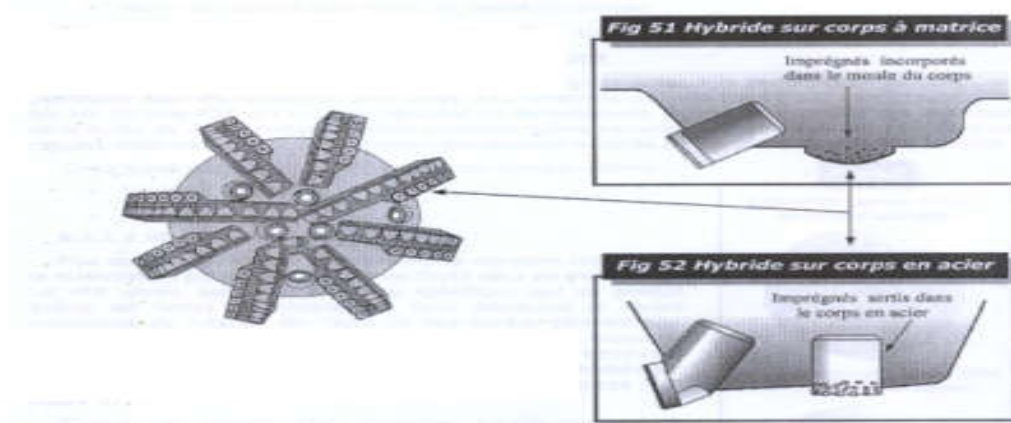
**Figure.13** : Outil Hybride (FX84i).

On trouve des outils hybrides aussi bien sur les corps en acier que sur les matrices. Dans les deux cas, les imprégnés contiennent de nombreux petits diamants naturels sur la face exposée au contact de la formation durant les sévères conditions de forage.

Les outils hybrides à matrice ont l'imprégné incorporé dans le moule pendant le processus de fabrication du corps.



**Figure.14** : Segments imprégnés pour les outils Hybrides.



**Figure.15 :** Outil Hybride sur corps à matrice et en acier.

Les outils hybrides avec corps en acier utilisent des composants séparés qui sont fabriqués à partir du carbure de tungstène.

La plupart des fabricants développent pour un même outil, les deux versions hybride et non-hybride. Cependant, les performances des outils hybrides ont amené une réduction des demandes concernant les outils non-hybrides. D'où la tendance des fabricants à offrir seulement des conceptions hybride.<sup>[5]</sup>

## 5-2 Propriétés des outils PDC hybrides :

Depuis l'introduction de la technologie hybride, les outils PDC hybrides sont caractérisés par des propriétés peuvent être attribuées à :<sup>[6]</sup>

- ✓ Une amélioration de la stabilité des outils.
- ✓ De meilleures caractéristiques de torque.
- ✓ La protection des taillants à l'usure par abrasion.
- ✓ Une amélioration de la protection du diamètre.
- ✓ Moins de taillants pour forer une formation donnée.

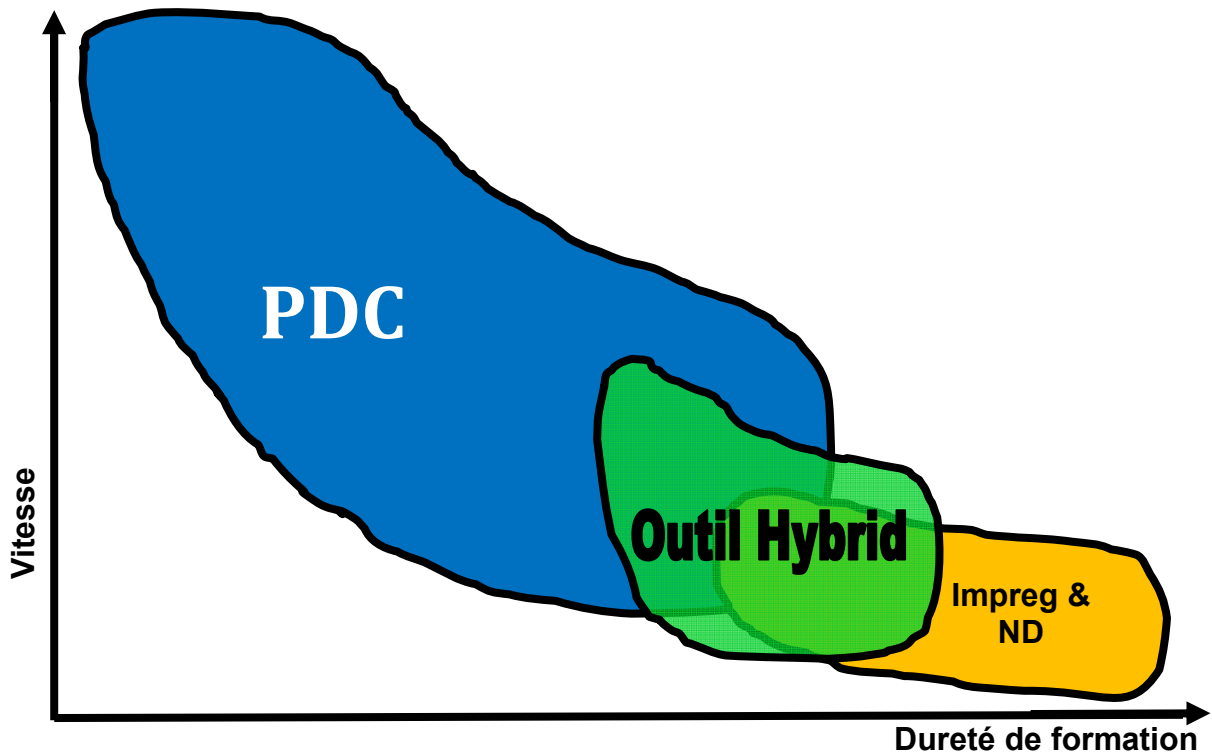


Figure.16 : Propriétés des outils hybrides.

#### Amélioration de la stabilité de l'outil :

Les vibrations de fond peuvent être extrêmement nuisibles à la performance de l'outil, en particulier dans les formations plus dures. Les vibrations peuvent causer des chocs importants sur les taillants PDC qui souvent induisent un ébrèchement, un morcellement et une réduction de la durée de vie du taillant. L'usure accélérée même seulement de quelques taillants dans les régions critiques d'un outil peut réduire grandement la durée de vie de l'ensemble des taillants. [6]

Deux types distincts de vibration peuvent être considérés :

- ✓ Vibration latérale.
- ✓ Vibration axiale.

#### ● Vibration latérale

Plus connu sous le nom « Bit Whirl », la vibration latérale est le mouvement périodique oblique de l'outil dans un plan X-Y. Le « Bit Whirl » est un phénomène spécifique qui se produit quand les forces dynamiques de fond déplacent le centre instantané de rotation de l'outil de son centre géométrique. Quand un outil PDC se met à vibrer latéralement, il coupe un modèle de fond de trou caractérisé par une empreinte multi-lobes à l'inverse des cercles concentriques engendrés par un outil travaillant dans les bonnes conditions de forage. [7]



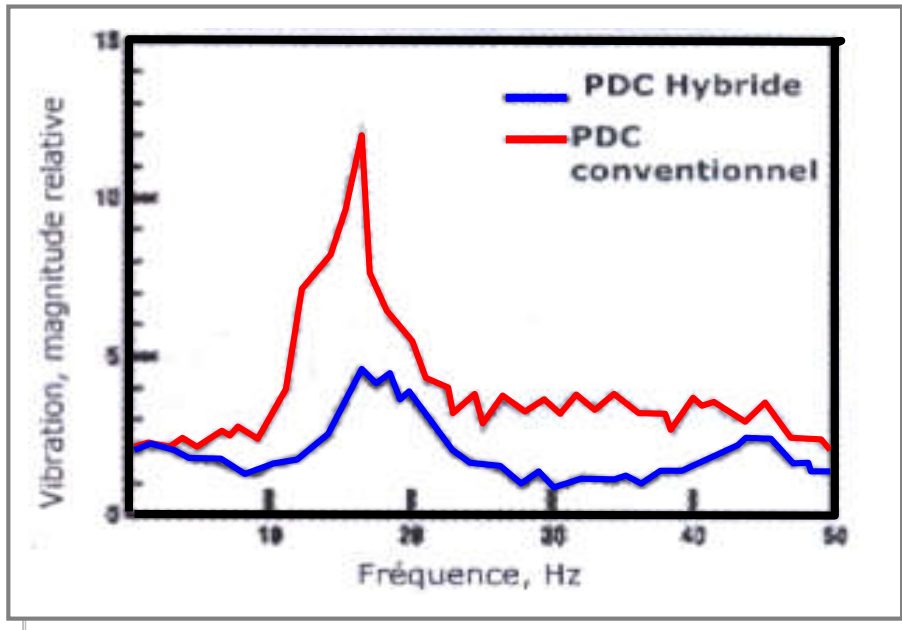
**Figure.17** : Empreinte des vibrations latérales sur un outil PDC

Quand un taillant PDC accroche individuellement la formation, le centre de rotation instantané de l'outil est déplacé au point de contact taillant/formation qui à son tour crée un mouvement tourbillonnant qui transmet l'impact des taillants PDC sur la cote opposée du centre de rotation. Les dommages induits du tourbillonnement de l'arrière les taillants.

Dans la technologie des outils hybrides, les taillants PDC sont protégés par les éléments de diamants imprégnés situés derrière eux. Un outil hybride fore mieux qu'un PDC conventionnel parce que les « imprégnés » agissent pour stabiliser l'outil au fond du trou et atténuer sa tendance à vibrer latéralement. De plus, parce que chaque imprégné est situé en arrière et séparément du principal taillant PDC, l'imprégné est positionné de manière à accepter le choc de chaque impact arrière laissant le taillant PDC intact.

La capacité d'un outil PDC hybride à contrôler les vibrations latérales a été démontrée sur les champs d'application par la comparaison des performances réalisées, ainsi que par les essais réalisés en laboratoire.





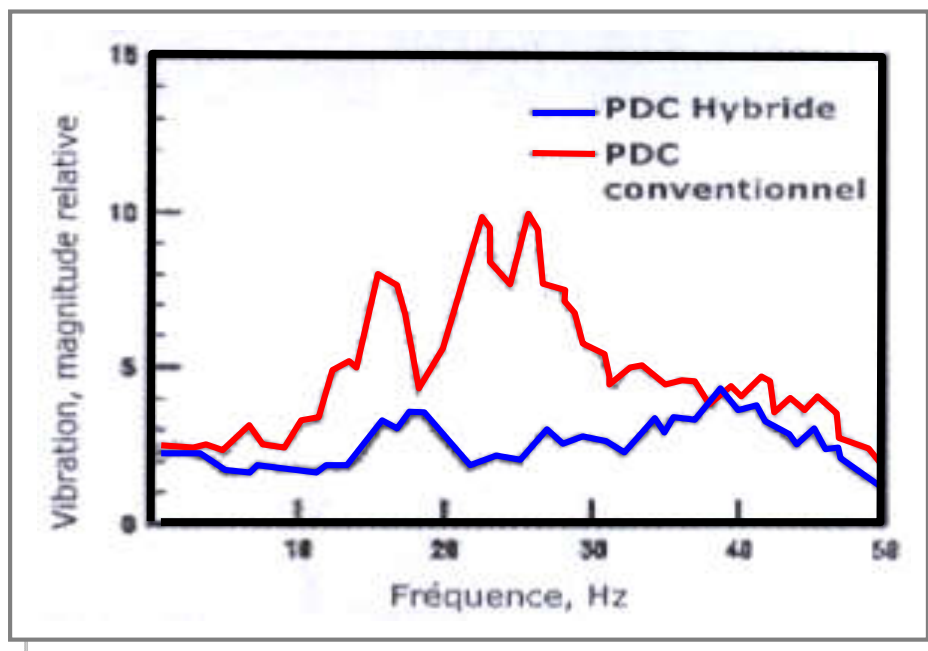
**Figure.18 :** Comparaison des performances entre des outils PDC Hybrides et PDC Conventionnels sur les vibrations latérales.

### ● Vibrations axiales :

La vibration axiale est le mouvement périodique de bas en haut dans la direction du centre axial de l'outil. Ce mouvement se réfère souvent à un battage de l'outil (Bit Bounce). Comme l'outil vibre de bas en haut sur le fond du trou, le poids appliqué sur chaque taillant change, faisant varier la profondeur de coupe du taillant PDC, allant d'un minimum quand l'outil est dans la position haute, à un maximum quand l'outil est en position basse. La variation dans la profondeur de coupe se transforme en variation de torque. Ces fluctuations de torque peuvent être une cause de vibration de torsion à l'outil.

Les outils PDC hybrides minimisent cet effet de vibration de torsion en contrôlant la profondeur de coupe. Parce que la localisation précise des pastilles imprégnées évitent à l'outil de prendre des profondeurs de coupe inhabituelles, les pics excessifs de torque éliminés.

La capacité de l'outil PDC hybride à limiter la vibration axiale a été démontrée par la comparaison des performances des outils sur les lieux de forage. Cela a été également démontré dans les essais de laboratoires.<sup>[6]</sup>



**Figure.19** : Comparaison des performances entre des outils PDC Hybrides et PDC Conventionnels sur les vibrations axiales.

#### ✓ contrôle du torque :

Pour minimiser les effets du torque sur la résistance à l'usure de l'outil, les fabricants des outils PDC hybrides s'arrangent pour placer chaque imprégné à une distance précise de la pointe du taillant PDC qu'il protège. Cet emplacement produit un plus grand degré de contrôle du torque que sur un outil PDC conventionnel.

Au-dessus d'un niveau de vitesse de pénétration, les imprégnés servent de contrôleur de pénétration. En effet, pour une formation donnée, le torque est principalement fonction du poids sur l'outil et de la profondeur de coupe. En limitant la pénétration, les imprégnés situés à l'arrière du taillant PDC servent ainsi à éliminer les pics de torques élevés souvent rencontrés dans les formations dures et non-homogènes.

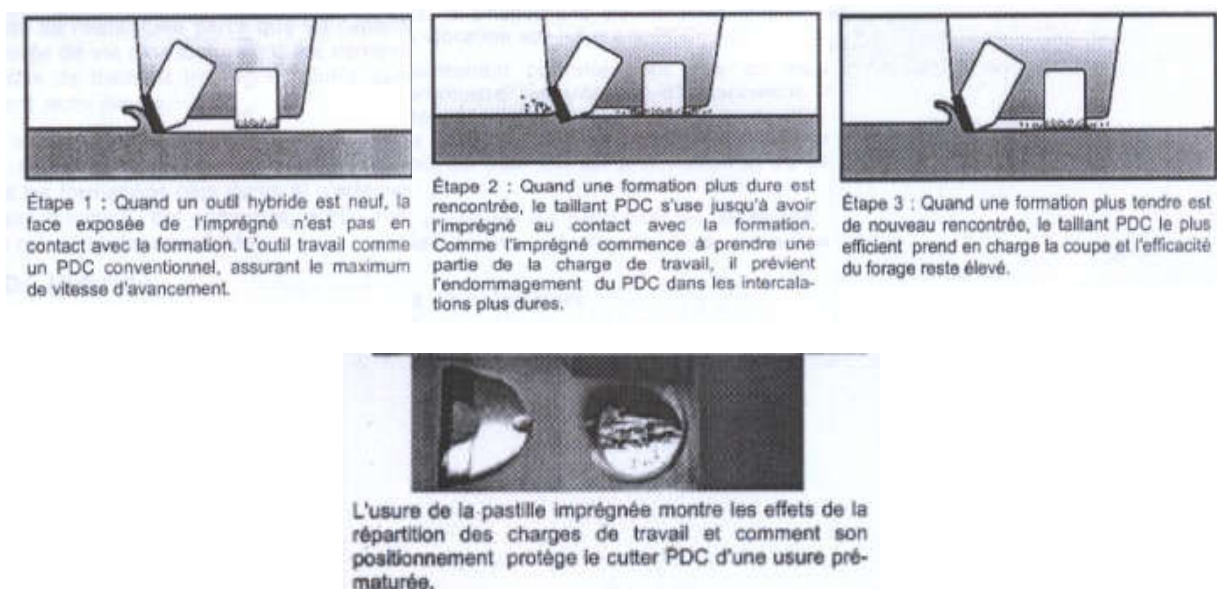
Le contrôle du torque est particulièrement important dans les applications de forage directionnel avec moteur PDM (Positive Displacement Motor). Si le torque généré par l'outil PDC excède le torque maximum fixé pour le PDM, le moteur calera, ce qui à son tour accroît le torque réactif dans la BHA lequel peut entraîner la perte de l'angle du « Tool Face » et causer du retard dans le forage.

Une alternative pour résoudre les problèmes de torque élevé est d'utiliser un outil PDC moins agressif qui produit un changement donné de poids sur l'outil, cependant cet approche permet d'obtenir un torque maximum plus bas mais en sacrifiant la vitesse d'avancement. Les

outils PDC hybrides permettent de résoudre ce problème en maintenant l'efficacité des paramètres opérationnels en réduisant les pics de torque.<sup>[7]</sup>

✓ **Protection des taillants contre l'usure par abrasion :**

Parce que les cutters imprégnés contiennent du diamant naturel dans les éléments de coupe, ils peuvent jouer un rôle important dans la protection des taillants PDC dans les forages avec intercalations de formations dures et abrasives. Chaque imprégné fait office de partenaire dans le partage de la charge de travail. Par suite de ce partage, les taux d'usure du PDC sont réduits dans les sections des formations plus longues dures, plus abrasives, résultant à une plus longue durée de vie des structures de coupe. Les illustrations ci-contre montrent le concept du partage de la charge de travail par les taillants.<sup>[7]</sup>



**Figure. 20 :** Rôle du taillant imprégné dans les intercalations dures et abrasives

✓ **Amélioration de la protection du diamètre :**

Les imprégnés produisent un moyen de protection supplémentaire des surfaces critiques du diamètre de l'outil. Les applications de forage directionnel au moteur « Steerable » peuvent transmettre des charges latérales considérables sur un outil et exposer les « gauge cutters » à des dégâts par impact. Les imprégnés produisent une mesure supplémentaire de protection en maintenant une capacité effective de coupe aux sections du diamètre.<sup>[6]</sup>

**✓ Diminution du nombre de taillant :**

Dans la conception d'un outil, il y a toujours un compromis entre la vitesse de pénétration et la durée de vie de l'outil. Pour forer une formation plus dure, un outil peut être conçu avec un nombre élevé de taillants de travail avec pour objectif d'assurer une certaine durée de vie. Cependant, cette approche est au détriment de la vitesse d'avancement. De même, un outil eut être dessiné avec un nombre réduit de taillants plus agressifs. Chaque taillant accepte alors plus de poids et produit une coupe plus profonde, la vitesse d'avancement est plus importante mais la durée de vie se trouve diminuée.

Par rapport aux outils PDC conventionnels, les outils hybrides permettent un compromis plus favorable entre la vitesse d'avancement et la durabilité de l'outil. Cela parce que les capacités à forer des formations plus dures ou à maintenir une durée de vie plus longue ont été démontrées à travers la stratégie du positionnement de la pastille de diamant imprégné (plutôt que par addition de taillants PDC), ainsi la vitesse d'avancement reste élevée.

Pour forer à vitesse d'avancement équivalente, un outil PDC hybride aura besoin approximativement de 10 à 15% de poids supplémentaire sur l'outil par rapport à son équivalent non-hybride. Cependant le non-hybride ne forera pas les formations plus dures ni n'atteindra la profondeur forée du PDC hybride. Les performances sur le terrain l'ont démontré, le PDC hybride est plus rapide pour un même terrain traversé et une même profondeur forée. [7]

**5-3 Evolution dans la conception du PDC hybride :**

Lorsque les outils PDC hybrides ont été introduits, le phénomène de vibration latérale (Bit Whirl) était méconnu ainsi que les effets nuisibles des vibrations sur les outils PDC.

L'emplacement des pastilles imprégnées est maintenant optimisé pour être en mesure d'apporter le maximum de protection sans compromettre les vitesses d'avancement. Par l'utilisation d'emplacement précis des pastilles imprégnées pour protéger les taillants PDC et accroître la durée de vie (plutôt que de surcharger les faces de l'outil de cutters PDC supplémentaires), le concepteur a toute latitude pour développer un outil qui est ouvert et agressif, donc plus rapide. [7]

Depuis l'apparition des outils PDC hybrides, pour améliorer les performances de forage, les pastilles imprégnées subissent de constantes modifications notamment dans les secteurs suivants :

- Analyse du placement en termes de nombre et d'emplacement.
- Surface de couverture des pastilles imprégnées.
- Hauteur au dessus de la formation (Exposition).
- Forme.
- Composition.

# *CHAPITRE II*

*Etude de la performance  
des outils hybrides*

Ce chapitre a pour objectif d'étudier les performances des outils hybrides utilisés dans la phase 8"1/2 de champ de Gassi Touil, par conséquent une étude sur le choix judicieux de l'outil de forage doit être faite.

A cet effet il faut:

- ❖ Réduire le temps de forage.
- ❖ Optimiser la vitesse d'avancement (ROP optimal).
- ❖ Améliorer le nettoyage de fond du puits.
- ❖ Minimiser le prix de revient au mètre foré.

Avant de commencer le forage d'un puits, un programme doit être fait, Ce programme ne devra être modifié lors de l'approfondissement du puits que si les conditions rencontrées ne correspondent pas.

La raison d'un programme est fondamentale. L'efficacité de l'ensemble des opérations de forage repose sur ce facteur de base : le type de l'outil utilisé. Quelle que soit la puissance disponible d'un appareil de forage (pour la rotation, l'énergie hydraulique, etc.), seul le type de l'outil choisi fera que cette puissance sera utilisée avec le maximum d'efficacité ou non. Cette étude est basée essentiellement sur le calcul de:

## 1- LE PRIX DE METRE FORE :

Le prix de revient du mètre foré est un critère utilisé pour déterminer à quel moment il est le plus économique de remonter l'outil, mais il permet également de comparer les performances de différents outils et de déterminer, pour un type d'outil donné, les performances qu'il doit réaliser pour être compétitif. La formule qui permet de calculer le prix de revient du mètre foré est : <sup>[8]</sup>

$$P_m = \frac{P_0 + P_h \times (T_m + T_f)}{M} \dots\dots\dots (1)$$

- $P_m$  : est le prix de mètre foré.
- $P_0$  : est le prix de l'outil.
- $P_h$  : est le prix de l'heure de l'appareil de forage.
- $T_m$  : est le temps de manœuvre nécessaire pour descendre et remonte l'outil.
- $T_f$  : est le temps de rotation de l'outil pour effectuer le métrage M.
- M : est le métrage foré.

## 2- PRESENTATION DE CHAMP GASSI TOUIL

### 2-1 Position et données générales :

Le champ de Gassi Touil est situé à environ 150 km au Sud-est de Hassi Messaoud et à 1000 km d'Alger, sur la route nationale RN-3 reliant Ouargla à In-Amenas, (figure 01).<sup>[9]</sup>

### 2-2 Superficie et Coordonnées :

Il couvre une surface environ 120 km<sup>2</sup>

Coordonnées géographiques sont le suivants :<sup>[9]</sup>

X = 6°28'00" à 6°30'00"

Y = 30°30'00" à 30°17'00"

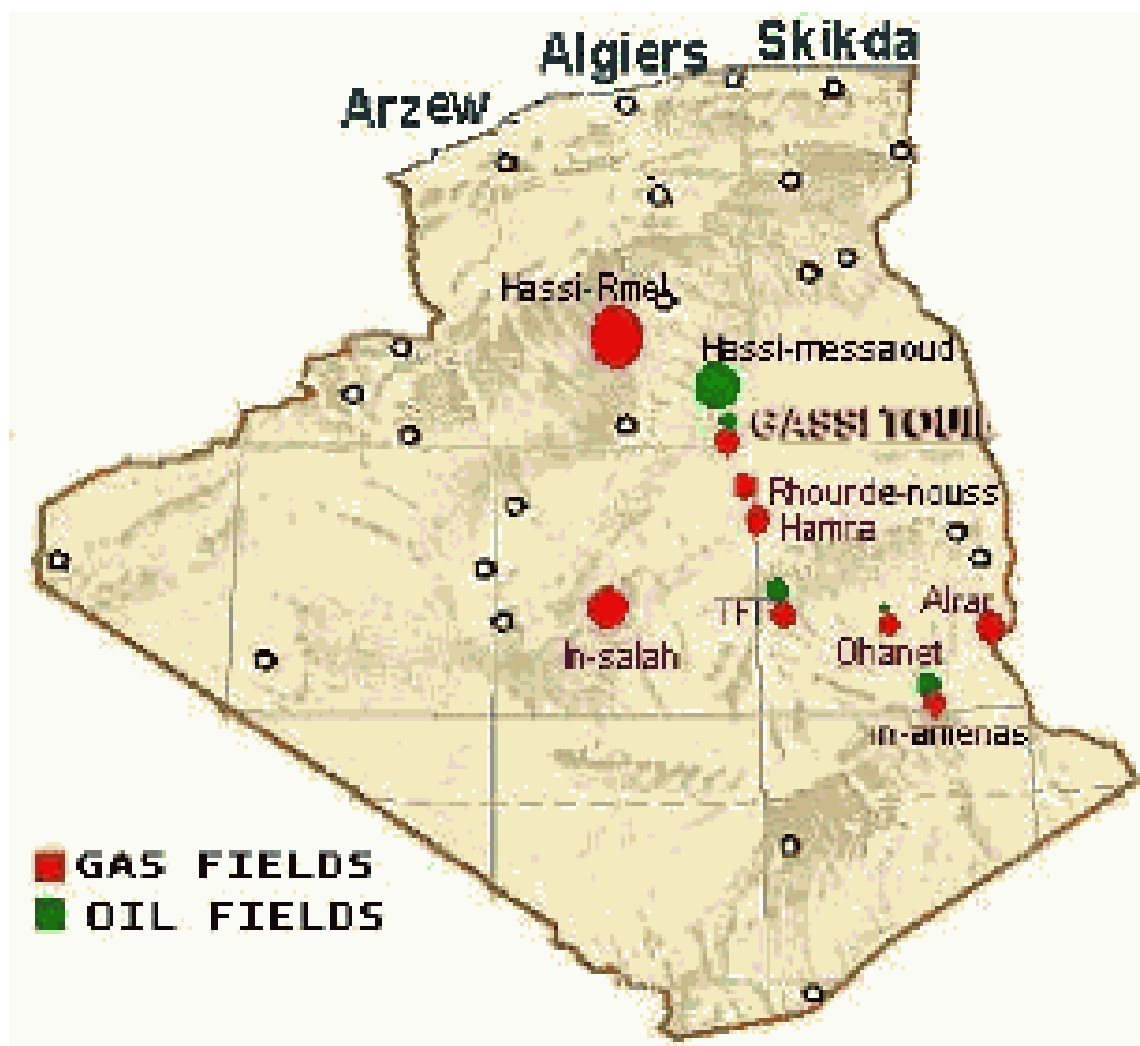


Figure.21: Carte et Plan de situation de la région de Gassi Touil.



### 2-3 Description lithologique et Coupe Stratigraphique : (figure 22)

La coupe litho-stratigraphique, est comme suit: [9]

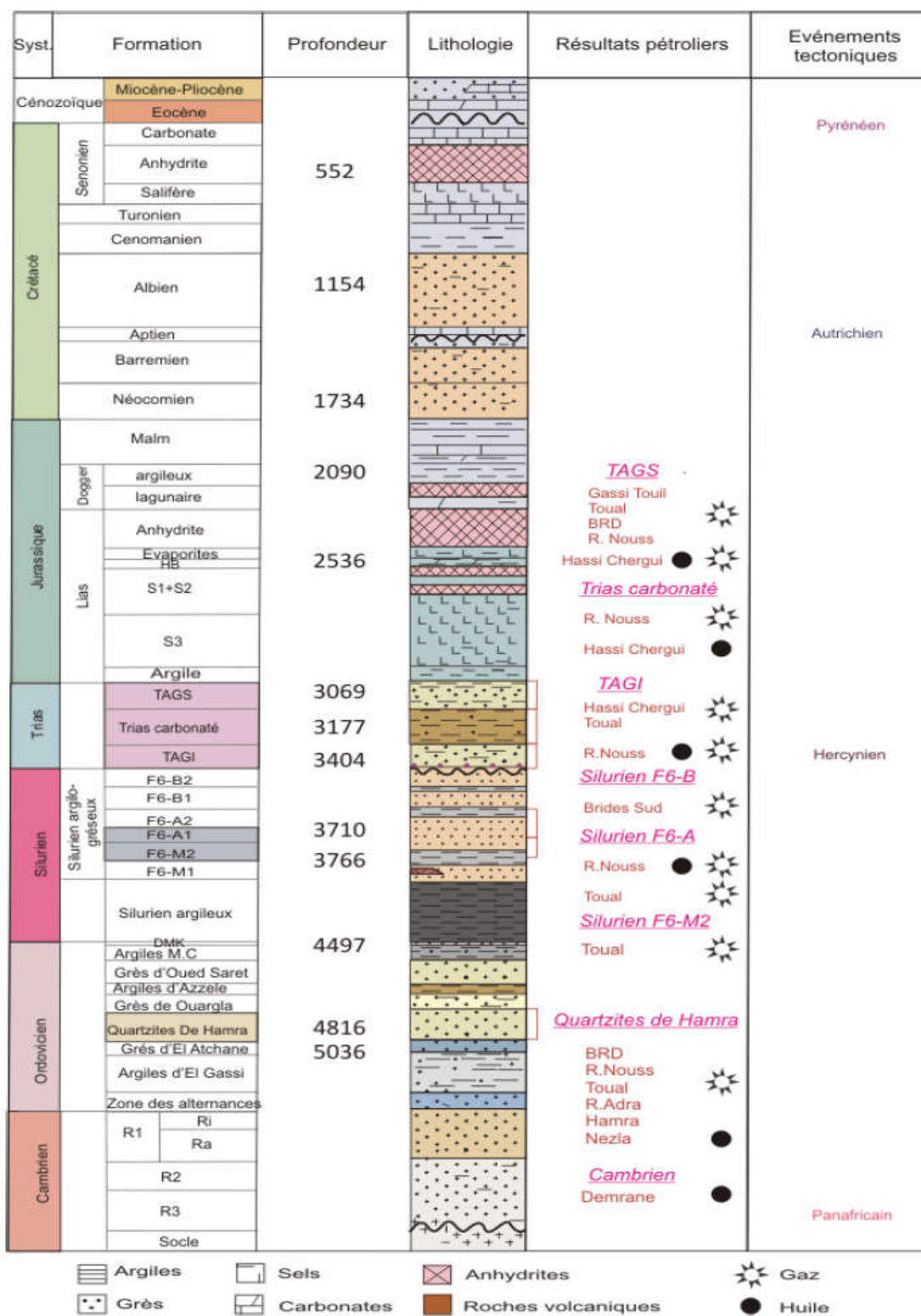


Figure.22: Coupe Stratigraphique de la région de Gassi Touil.

### 3- ETUDE DE PERFORMANCE DES OUTILS HYBRIDES :

Cette étude a été faite pour les trois types d'outils (Hybrides, PDC et Imprégnés) utilisés dans la phase 8''1/2 dans le but de sélectionner l'outil le plus performant.

- Puits TOUN-1 (Outil PDC Hybride FX84i) : <sup>[10][11][12]</sup>

Dans cette phase on a utilisé un outil de type hybride (FX84i) L'avancement de l'outil est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau.01** Paramètres d'avancement de l'outil FX84i

Formation	TOP (m)	BTM (m)	Thick (m)	ROP (m/h)	Tf (h)
Silurien Argileux	3775	4225	450	5.93	75.87
Dalle de M'Kratta	/	/	/	/	/
Argiles Micro-conglomératique	4225	4283	58	4.80	12.11
Grés d'Oued Saret	4283	4371	89	1.13	78.12
Argile d'Azzel	4371	4420	49	0.94	52.09
Grés d'Ouargla	4420	4427	7	0.64	10.91
<b>ROP moy = 2.85 m/h</b>					

- Puits TOUS-1Bis <sup>[10][11][12]</sup>

Dans la phase 8''1/2 de ce puits on a utilisé deux outils de type (PDC conventionnel VTD813DGX et Imprégné IQ616D) L'avancement de chaque outil est représenté dans les tableaux suivants:

- 1- Outil PDC Conventionnel VTD813DGX :

**Tab.2** Paramètres d'avancement de l'outil VTD813DGX

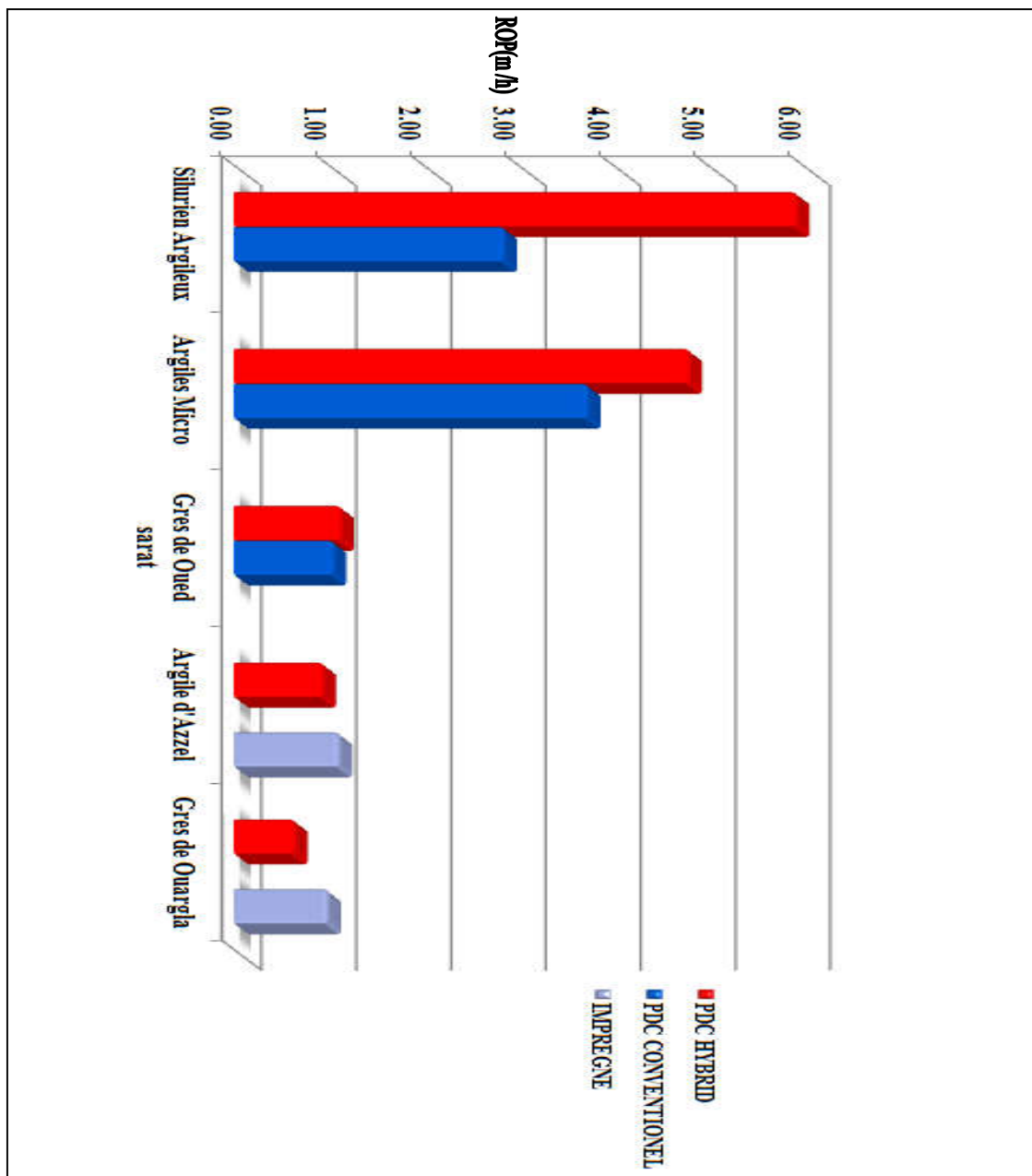
Formation	TOP (m)	BTM (m)	Thick (m)	ROP (m/h)	Tf (h)
Silurien Argileux	4097	4505	408	2.85	143.02
Dalle de M'Kratta	/	/	/	/	/
Argiles Micro-conglomératique	4513	4562	49	3.73	13.13
Grés d'Oued Saret	4562	4755	193	1.05	183.72
<b>ROP moy = 2.87 m/h</b>					

2- Outil Imprégné IQ616D :

**Tab.3 Paramètres d'avancement De l'outil IQ616D**

Formation	TOP (m)	BTM (m)	Thick (m)	ROP (m/h)	Tf (h)
Argile d'Azzel	4755	4800	45	1.11	40.67
Grés d'Ouargla	4800	4829	29	0.99	29.28
<b>ROP moy = 1.05 m/h</b>					

**3-1 Courbe d'avancement par couche (Puits TOUN-1 et TOUS-1Bis) : entre outil PDC hybride FX84i et outil PDC conventionnel VTD813DGX + l'outil imprégné IQ616D**



**Figure.23: Courbe N°01 d'avancement par couche**

### 3-2 Le prix de mètre fore :

On utilisant l'équation (1) et sachant que :

- L'outil FX84i PDC Hybride  $Po(KDA) = 3818.79$
- L'outil VTD813DGX PDC conventionnel  $Po(KDA)=2434.50$  + l'outil IQ616D Imprégné  $Po(KDA)=3320.72$

On peut évaluer le prix d'un mètre foré, les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau.04** Prix de mètre foré

L'outil	Ph(KDA)	Po(KDA)	Tm (h)	Tf(h)	M(m)	Pm(KDA)
B- FX84i	107.91	3818.79	14.115	229.1	653	46.04
A-VTD813DGX+ IQ616D	107.91	5755.23	28.07	409.82	724	73.21

D'après le graphe précédent on voit que l'outil PDC Hybride (FX84i) est plus performant de point de vue avancement (ROP =2.85 m/h), ce qui engendre une réduction du prix du métrage foré ( $Pm = 46.04$  KDA) par rapport aux autres types d'outils (PDC conventionnel VTD813DGX + Imprégné IQ616D)

- Puits TOUP-2 (Outil FX84i) <sup>[10] [11] [12]</sup>

Dans cette phase on a utilisé un outil de type hybride (FX84i) L'avancement de l'outil est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau.05** Paramètres d'avancement de l'outil FX84i

Formation	TOP (m)	BTM (m)	Thick (m)	ROP (m/h)	Tf (h)
Silurien Argileux	3687	4181	494	2.43	202.95
Dalle de M'Kratta	4181	4192	11	1.14	9.65
Argiles Micro-conglomératique	4192	4235	43	1.67	25.75
Grés d'Oued Saret	4235	4329	94	1.52	61.84
Argile d'Azzel	4329	4361	32	1.42	22.54
Grés d'Ouargla	4361	4376	15	1.19	12.61
<b>ROP moy = 2.05 m/h</b>					

➤ Puits TOUW-2 <sup>[10][11][12]</sup>

Dans cette phase on a utilisé deux outils de type (PDC conventionnel Q507FX + Imprégné IQ616D) L'avancement de chaque outil est représenté dans les tableaux suivants :

1- Outil Q507FX :

**Tableau.06** Paramètres d'avancement de l'outil Q507FX

Formation	TOP (m)	BTM (m)	Thick (m)	ROP (m/h)	Tf (h)
Silurien Argileux	3939	4255	316	1.68	188.45
Dalle de M'Kratta	4255	4257	2	0.05	37.60
Argiles Micro-conglomératique	4257	4303	46	1.10	41.80
Grés d'Oued Saret	4303	4385	82	1.46	56.00
<b>ROP moy = 1.42 m/h</b>					

2- Outil IQ616D :

**Tableau.07** Paramètres d'avancement de l'outil IQ616D

Formation	TOP (m)	BTM (m)	Thick (m)	ROP (m/h)	Tf (h)
Argile d'Azzel	4385	4427	42	0.66	63.54
Grés d'Ouargla	4427	4431	4	0.51	7.90
<b>ROP moy = 0.64 m/h</b>					

3-3 Courbe d'avancement par couche (puits TOUP-2 et TOUW-2) : entre outil PDC hybride FX84i et outil PDC conventionnel Q507FX + l'outil imprégné IQ616D

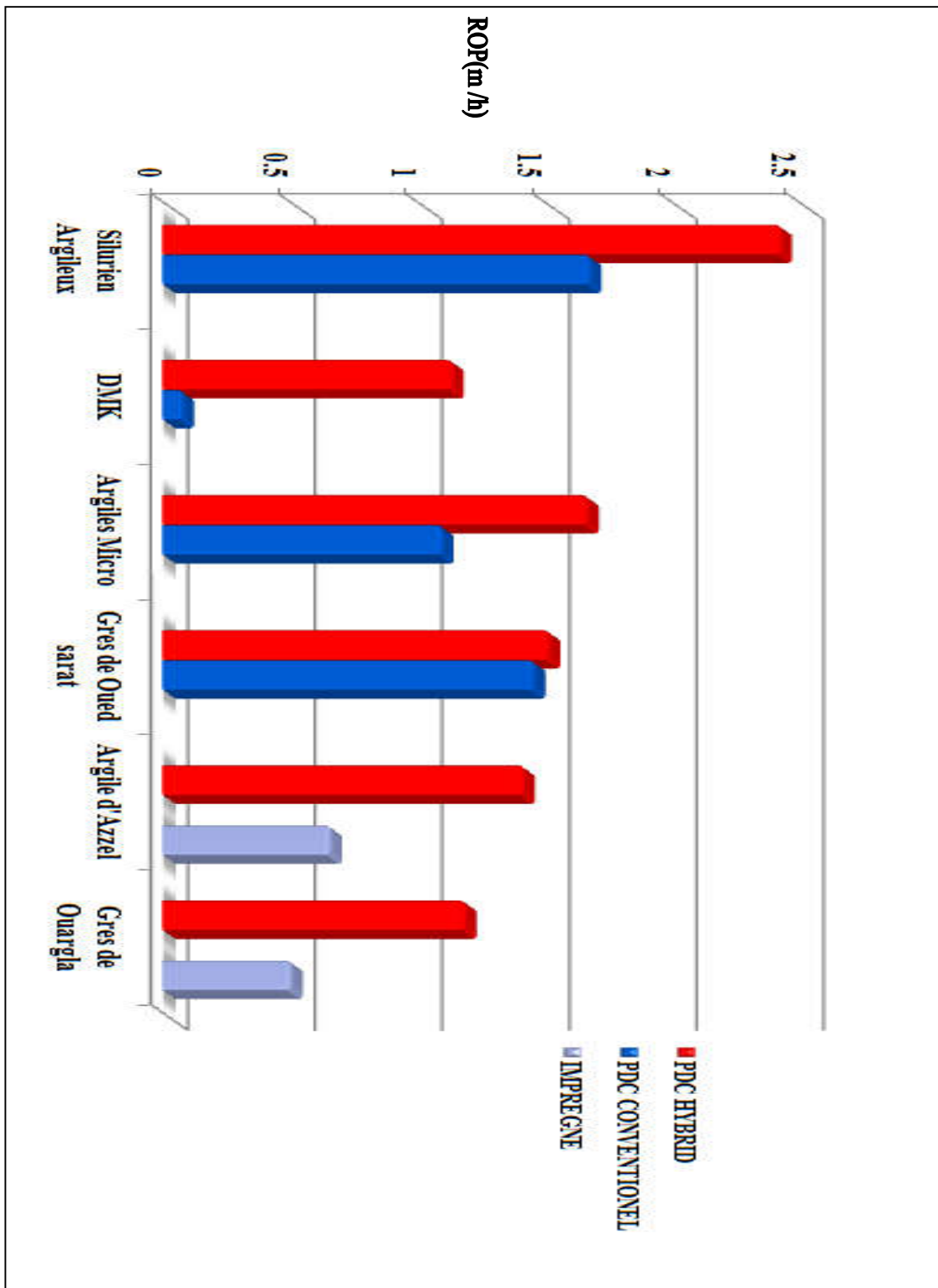


Figure.24: Courbe N°02 d'avancement par couche

**3-4 Le prix de mètre foré :**

- L'outil FX84i PDC Hybride
- L'outil Q507FX PDC conventionnel  $Po(KDA)=4194,01$  + l'outil IQ616D Imprégné  $Po(KDA)=3369,78$

**Tableau.8 Prix de mètre foré**

L'outil	Ph(KDA)	Po(KDA)	Tm (h)	Tf(h)	M(m)	Pm(KDA)
B- FX84i	107.91	3818.79	13.71	335.34	689	60.21
A-Q507FX+IQ616D	107.91	7563.80	27.74	395.29	492	108.15

D'après le graphe précédent on voit que l'outil PDC Hybride (FX84i) est plus performant de point de vue avancement (ROP =1.42 m/h), ce qui engendre une réduction du prix du métrage foré (Pm = 60.21 KDA) par rapport aux autres types d'outils (PDC conventionnel Q507FX + Imprégné IQ616D)

**4- ANALYSE DU RESULTAT :**

En trouve que les outils hybrides dans toutes les zones possèdent un prix de mètre foré le plus bas.

Le forage de cette phase dans le puits TOUW2 et TOUS-1Bis complète avec descende deux outils a prix de mètre fore plus cher due au changement de BHA et l'usure de les outils ont été considérable.

Les outils PDC hybrides sont les plus performants que les outils PDC conventionnels, Ces résultats confirmé le rôle de la vibration et la stabilisation de l'outil pendant le forage est nécessaire pour réaliser des bonnes performances.

Le choix d'un outil de forage doit se faire en fonction des paramètres de forage, des études statistiques, techniques et économiques sans perdre de vue les données relatives au puits forés dans le même champ.

Les nouvelles générations des outils PDC (les outils hybrides) ont démontré une grande efficacité et plus de rentabilité par rapport aux autres outils dus :

- Leur capacité à forer des formations plus dures.
- En fournissant une durée de vie plus longue tout en maintenant une vitesse d'avancement élevée.

Malgré cette technologie des outils hybrides, les vibrations existent toujours et ne s'annulent pas puisque le problème de vibration n'est pas lié seulement à la conception de l'outil de forage, mais aussi aux paramètres appliqués sur l'outil PDC qui est une autre cause de ce problème.

Le vrai défi consiste à trouver une autre voie de recherche pour identifier les paramètres critiques à partir desquels la vibration sera minimale.

Les paramètres de forage qu'il faut appliquer sur un outil pour forer un nouveau puits doivent être choisis par une étude statistique; c'est à dire à partir des paramètres appliqués aux puits voisins. Ce choix ne prend pas en considération la vibration existante dans les puits voisins.

Si l'on applique ces paramètres sur les outils hybrides, on peut avoir une vitesse maximale d'avancement avec une durée de vie optimale.



- [1] F.GRONDIN; << Les outils de forage>>, SONATRACH Division Forage, Janvier 2004.
- [2] A.SLIMANI; <<Module M1>>, Formation JDF, 2004.
- [3] ENSPM; <<Les outils de forage>>, Formation Industrie, 1999.
- [4] William C.lyons; <<Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering volume1>>, Gulf publishing, 1996.
- [5] J.P GUYEN; <<Techniques d'exploitation pétrolière -Le Forage ->>, Editions TECHNIP, 1993.
- [6] NOV; << Présentation FUSETEK Hybrid Bits >>, 2016.
- [7] HALLIBURTON; << Fiche de spécifications des outils >>, 2016.
- [8] Jean-Paul Nguyen, ;<<Formulaire du foreur>>, Editions TECHNIP, 1989.
- [9] SONATRACH; <<Géologie de Gassi Touil>>, 2010.
- [10] SONATRACH; <<Fiche de puits>>, TOUW1, TOUN1, TOUP2 et TOUS1Bis.
- [11] SONATRACH; <<Programme de puits>>, TOUW1, TOUN1, TOUP2 et TOUS1Bis.
- [12] SONATRACH; <<Rapport d'implantation>>, TOUW1, TOUN1, TOUP2 et TOUS1Bis.

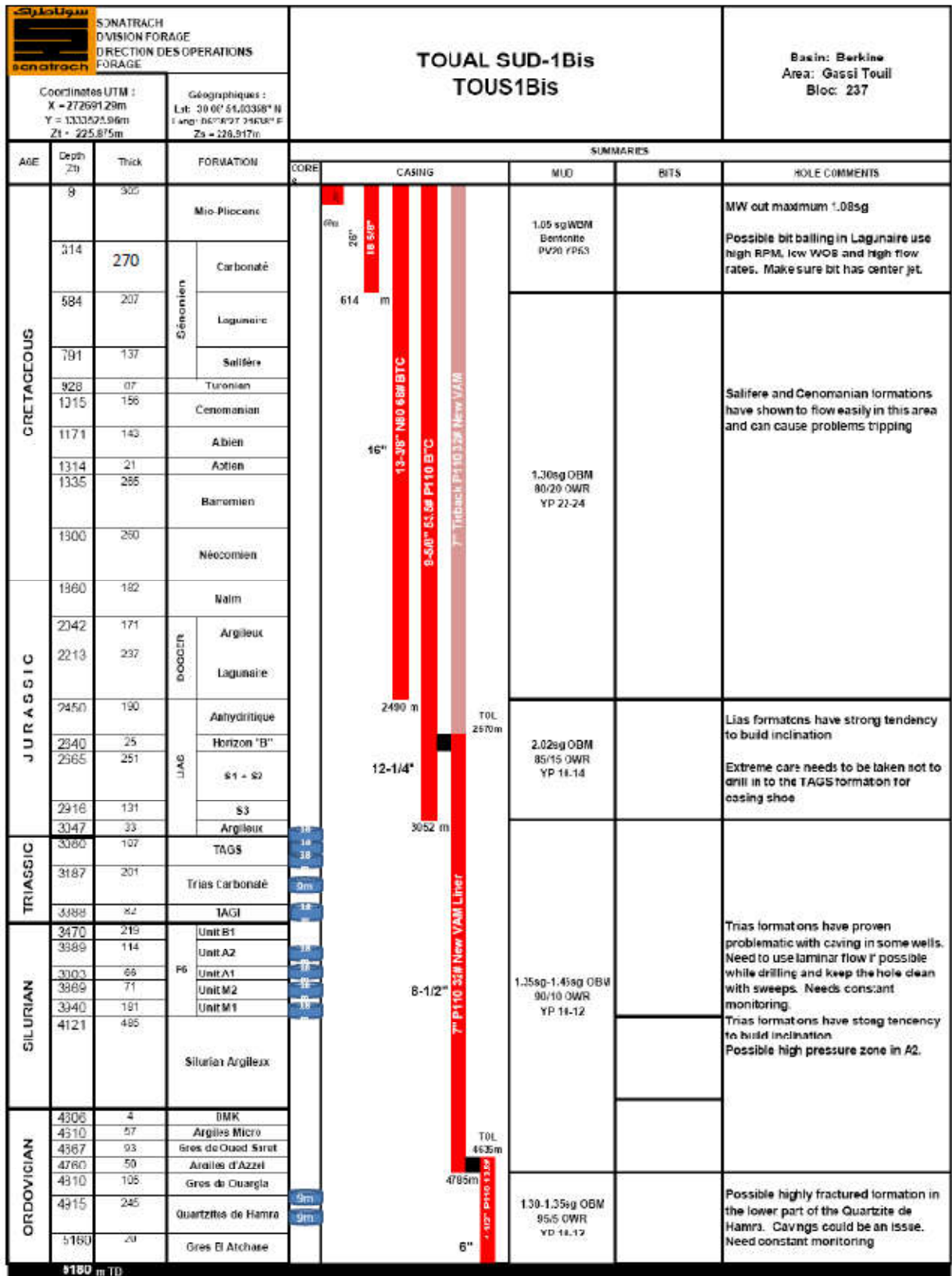
# *LES ANNEXES*

# Coupe Lithologique TOUN-1

SONATRACH DIVISION FORAGE DIRECTION DES OPERATIONS FORAGE			<b>TOUAL NORD-1 TOUN1</b>				Basin: Berkine Area: Gassi Touil Bloc: 237	
Coordonnées UTM : X = 276384.930m Y = 3344564.997m Zt = 234.0m			Géographiques : Lat: 30 12' 51.84053" N Long: 06°40'58.72175" E Zs = 223.506m					
SUMMARIES								
AGE	Depth (Z)	THICK	FORMATION	CORES	CASING	MUD	BITS	HOLE COMMENTS
<b>CRETACEOUS</b>	10	322	Mio-Pliocene					MW out maximum 1.68sg
	332	236	Sénonien					Possible bit balling in Lagunaire use high RPM, low WCB and high flow rates. Make sure bit has center jet.
	588	225		Carbonaté				
	793	151		Lagunaire				
	944	72		Turonian				Salifere and Cenomanian formations have shown to flow easily in this area and can cause problems tripping
	1016	144		Cenomanian				
	1160	145		Albien				
	1305	20		Aptien				
	1325	258		Barremien				
	1593	214		Néocomien				
<b>JURASSIC</b>	1807	229		Malm				Short trip back to casing shoe at top of Malm
	2036	115	DOGGER					May need to increase mud weight to 1.34sg to help with wellbore stability
	2151	258		Argileux				
	2409	174		Lagunaire				
	2583	25	LIAS	Anhydritique				Lias formations have strong tendency to build inclination
	2608	252		Horizon "B"				
	2870	102		S1 + S2				
	2870	102		S3				Extreme care needs to be taken not to drill in to the TAGS formation for casing shoe.
2972	30		Argileux					
<b>TRIASSIC</b>	3010	86		TAGS				
	3096	137		Trias Carbonaté				
	3283	54		TAGI				
<b>SILURIAN</b>	3337	3	F6	Unit B1				Trias formations have proven problematic with caving in some wells. Need to use laminar flow if possible while drilling and keep the hole clean with sweeps. Needs constant monitoring.
	3340	74		Unit A2				
	3414	50		Unit A1				
	3473	86		Unit M2				
	3559	156		Unit M1				
	3725	456		Silurian Argileux				Trias formations have strong tendency to build inclination. Possible high pressure zone in A2.
<b>ORDOVICIAN</b>	4190	3		DMK				Possible highly fractured formation in the lower part of the Quartzite de Hamra. Cavings could be an issue. Need constant monitoring
	4193	54		Argiles Micro				
	4247	89		Gres de Oued Saret				
	4336	31		Argiles d'Azzel				
	4367	112		Gres de Ouargla				
	4479	251		Quartzites de Hamra				
	4730	20		Gres El Atchane				

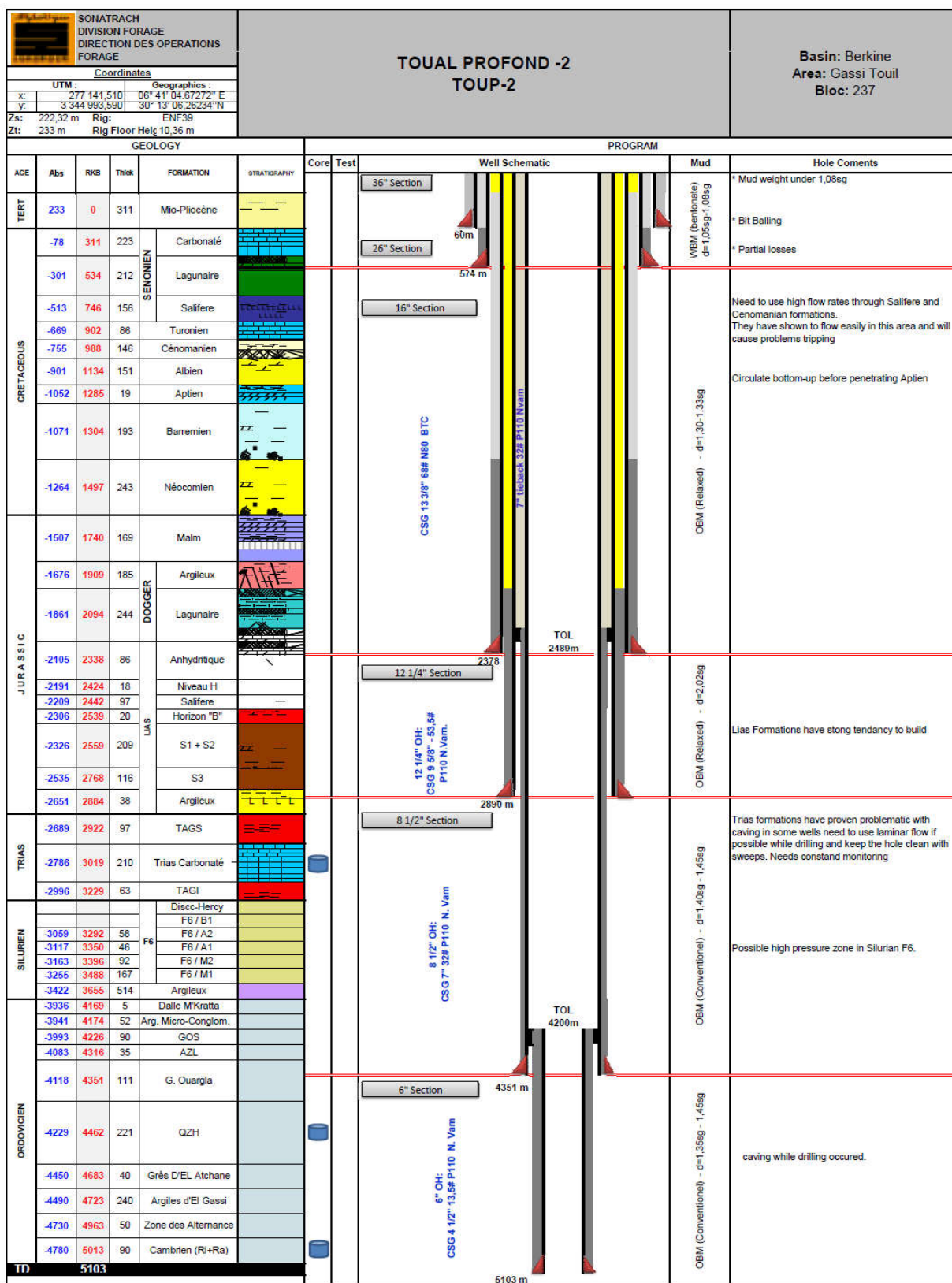
4760 m TD

# Coupe Lithologique TOUS-1Bis



1180 m TD

# Coupe Lithologique TOUP-2



## 8-1/2" (216mm) FX84I (MM84I)

### PRODUCT SPECIFICATIONS

IADC Code	M434
Body Type	MATRIX
Total Cutter Count	64
Cutter Distribution	<u>13mm</u>
Face	44
Gauge	20
Number of Large Nozzles	0
Number of Medium Nozzles	0
Number of Small Nozzles	4
Number of Micro Nozzles	0
Number of Ports (Size)	4 ( 12/32" )
Number of Replaceable Ports (Size)	0
Junk Slot Area (sq in)	10.33
Normalized Face Volume	31.29%
API Connection	4-1/2 REG. PIN
Recommended Make-Up Torque*	12,461 - 17,766 Ft*lbs.
Nominal Dimensions**	
Make-Up Face to Nose	12.43 in - 316 mm
Gauge Length	2.625 in - 67 mm
Sleeve Length	0 in - 0 mm
Shank Diameter	6 in - 152 mm
Break Out Plate (Mat.#/Legacy#)	181954/44040
Approximate Shipping Weight	180Lbs. - 82Kg.
Max WOB	18Tons



### SPECIAL FEATURES

Full Impact Arrestors, Synthetic Diamond Back-up

\*Bit specific recommended make-up torque is a function of the bit I.D. and actual bit sub O.D. utilized as specified in API RP7G Section A.8.2.

\*\*Design dimensions are nominal and may vary slightly on manufactured product. Halliburton Drill Bits and Services models are continuously reviewed and refined. Product specifications may change without notice.

© 2012 Halliburton. All rights reserved. Sales of Halliburton products and services will be in accord solely with the terms and conditions contained in the contract between Halliburton and the customer that is applicable to the sale.

## 8-1/2" (216mm) FX84 (MM84)

### PRODUCT SPECIFICATIONS

IADC Code	M434
Body Type	MATRIX
Total Cutter Count	64
Cutter Distribution	<u>1mm</u>
	Face 44
	Gauge 20
Number of Large Nozzles	0
Number of Medium Nozzles	0
Number of Small Nozzles	4
Number of Micro Nozzles	0
Number of Ports (Size)	0
Number of Replaceable Ports (Size)	0
Junk Slot Area (sq in)	12.61
Normalized Face Volume	36.89%
API Connection	4-1/2 REG. PIN
Recommended Make-Up Torque*	12,461 – 17,766 Ft*lbs.
Nominal Dimensions**	
Make-Up Face to Nose	12.31 in - 313 mm
Gauge Length	2.9 in - 64 mm
Sleeve Length	0 in - 0 mm
Shank Diameter	6 in - 152 mm
Break Out Plate (Mat.#/Legacy#)	181054/60040
Approximate Shipping Weight	180Lbs. - 82K.g.
Max WOB	18 Tons



\*Bit specific recommended make-up torque is a function of the bit I.D. and actual bit sub O.D., utilized as specified in API RPFG Section A.8.2.

\*\*Design dimensions are nominal and may vary slightly on manufactured product. Halliburton Drill Bits and Services models are continuously reviewed and refined. Product specifications may change without notice.

© 2012 Halliburton. All rights reserved. Sales of Halliburton products and services will be in accord solely with the terms and conditions contained in the contract between Halliburton and the customer that is applicable to the sale.

## 8-1/2" (216mm) iQ616D

## PRODUCT SPECIFICATIONS

LADC Code	M843
Body Type	MATRIX
Size of Cutters (spc)	250
Cutting structure Carat Weight (cts)	4334
Number of Ports	9 (13/32")
Junk Slot Area (sq in)	2.15
TFA (sq in)	1.2
API Connection	4-1/2 REG. PIN
Recommended Make-Up Torque*	12,461 – 17,766 ft*lbs
Nominal Dimensions**	
Make-Up Face to Nose	14.09 in - 358 mm
Gage Length	2 in - 51 mm
Sleeve Length	4 in - 102 mm
Shank Diameter	5.75 in - 146 mm
Break Out Plate	181954/44040
Approximate Shipping Weight	331 lbs - 150 kg
Max WOB	8Tons

## SPECIAL FEATURES

Heavy Sleeve Reinforcement, Drill Out Feature



\* Bit specific recommendal make-up torque is a function of the bit I.D. and actual bit sub O.D. utilized as specified in API RP7G Section A.8.2.

\*\* Design dimensions are nominal and may vary slightly on manufactured product. Halliburton Drill Bits and Services models are continuously reviewed and refined. Product specifications may change without notice.

© 2013 Halliburton. All rights reserved. Sales of Halliburton products and services will be in accord solely with the terms and conditions contained in the contract between Halliburton and the customer that is applicable to the sale.