

Université Kasdi Merbah Ouargla



**Faculté des hydrocarbures des Energies Renouvelables et Science de la terre et de
L'univers**

Département de Forage et Mécanique des chantiers pétroliers

Mémoire De Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de master

Option: **forage**

Présenté par:

- **Hammadi Lokman**
- **Guellile Zakaria**

-THEME-

L'impect de Quartzite de Hamra sur l'usure des outils

Soutenu le : 28 / 05 / 2014 devant la commission d'examen

Jury:

Encadreur : Kadri Mohamed Mahdi Univ.Ouargla

Président : Beladesse Kanza Univ.Ouargla

Examineur : Hadjadj Souad Univ.Ouargla

Année Universitaire: 2013 /2014

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

*Avant tout propos, je remercie « Dieu » le tout puissant qui me donné
sagesse et santé pour faire ce modeste travail.*

*J'adresser mes remerciements, et à exprimer mes
reconnaisances a toute la famille Guellil et Hammadi
et aussi à mon promoteur Mr :k̄adri mohamed mahdi*

*Sans oublier tous les enseignants de département de l'hydrocarbure et
chimie*

Ma gratitude va particulièrement à tous les personnels de SONATRACH

*Notamment Mr : Boujnane amine. Mr : k̄amel .M
pour leur collaboration et leur aide.*

Résumé

Quartzite de Hamra se localise dans l'ordovicien de couleur blanchâtre, transparent et translucide fortement compacté, ce type de formation et la bête noir de tout les foreurs au monde, la vitesse d'avancement tend a diminuer de plus en plus ont allons en profondeur

On a constaté que l'usure cause par ce type de formation elle est de l'ordre 2,3 respectivement a I et O rews et le caractere d'usure le plus marquer WT et des empreinte de frottement abrasive dans tout la structure de l'outil

Abstract

Quartzite of will hamra is located in the ordovician of color blanchâtre, transparency and translucent strongly compacted, this type of formation and the animal black of all the borers in the world, the rate of advance tends has decreases more and more have go in-depth

one has to note that lusura bends by standard foramation it is of order 2, 3 respectively ad interim and O rews and the caractere of wear to mark WT more and the abrasive print of friction in all the structure of the tool

Sommaire

A-Introduction générale

B- Caractéristiques des QH.....	01
C-Carottage des QH	01
D-Problèmes causé par les QH durant le forage.....	02
I. Généralités	
I-INTRODUCTION.....	03
I.1 - Localisation du puits.....	03
I.2 - Données générales.....	04
I.3- Profil du puits.....	05
I.4 –Ordovicien.....	06
I.5- FICHE STRATIGRAPHIQUE DU Puits HDZ-15 ST1.....	07

II. LES OUTILS DE FORAGE

1. Introduction.....	08
2 . Les différents types des outils de forage.....	08
2.1 Les outils à molettes.....	08
2.2 Les outils à éléments de coupe fixes.....	09
2.2.1 Les outils PDC.....	10
2.2.2 Types de diamant.....	10
3.Mode de travail des outils.....	12
3.1 Mode de travail d'un outil Tricône.....	12
3.2 Mode de travail d'un outil PDC.....	12
3.2.1.Les efforts appliqués sur le cutter.....	12
3.2.2 Principe de fonctionnement.....	12
4 Désignation d'un outil PDC.....	13
4.1 Le corps de l'outil.....	13

Sommaire

4.1.1 Steel body.....	13
4.1.2 Matrix body.....	14
4.2 Le profil.....	14
4.2.1 Le profil plat.....	14
4.2.2 Le profil double cone.....	14
4.2.3 Le profil parabolique.....	14
4.3 Densité des cutters.....	14
4.4 Angles caractéristiques des pastilles PDC.....	15
4.5 Longueur utile L_d	15

III.Architecture des outils

III.1. Géométrie des tricônes.....	17
III.2. Les outils à diamant	22
III.3. Différents types.....	24

IV. l'usure des outils

IV.1 : Détermination de l'usure des outils	27
IV.2. Etablissement d'une fiche d'outil.....	31
IV.3. Exemples d'usure des structures de coupe	31
IV.3.1. WT – Usure des taillants.....	32
IV.3.2. PN – Buses / canaux bouchés.....	32
IV.3.3. LT – Perte de taillants	33
IV.3.4. LN – Perte des buses.....	33
IV.3.4. LM – Perte de matrice.....	34

➤ **Conclusion générale**

➤ **Bibliographie**

Liste des tableaux

TABLEAU	PAGE
TAB.I.1. Données générales	04
TAB.I.2. FORMATIONS DU PUIITS HDZ-15 ST1	07
TAB.II.1 caractéristiques principales du diamant naturel	11
TAB. IV.3. Valeur de l'usure	30
TAB. IV.1. Description de l'usure des outils	36
TAB. IV.2. Caractéristiques de l'usure des structures de coupe	29
<i>TAB. IV.3 : Le puits de HDZ14</i>	35
TAB. IV.4: Le puits HDZ 15	35
TAB. IV.5.Le puits HDZ 17	36

Liste des figures

FIGURE	PAGE
Fig.01 : Carottage de QH	01
Fig.I.2 –Carte de localisation du puits HDZ	03
Schéma.I.1 Le puits HDZ	05
Figure.II.1.Les outils à molettes (tricône)	08
Figure.II.2. Nomenclature des tricônes	09
Figure.II.3 Principe de construction des molettes des tricônes	09
Figure.II.4 Les outils à diamant (PDC)	10
Figure.II.5 Principe de fonctionnement d'un outil PDC	13
Figure.II.6 Angles caractéristiques d'un PDC	15
Figure.II.7 Longueur utile Ld	16
Figure.III.1.Description des molettes	19
Figure.III.2.Intermesh	19
Figure. III.03. Irrégularité du pas des éléments de coupe	20
Figure.III.04.Offset d'un tricône	20
Figure. III.5.Avancée et écartements des dents	21
Figure .III.6.fabrication des outils diamants	23
Figure. III.07. Outil a diamant	24

Listes des tableaux et figures

Figure. III. 08. l'outil a diamants (imprégné)	25
Figure. III.09.outil PDC steel body	26
Figure. III.10.outil PDC matrix body	27
Figure. IV.1.Codification de l'usure des dents	29
Figure. IV.2.localisation de l'usure	30
Figure. IV.3.outil bloqué	31
Figure. IV.4.endommagement par ferraille	31
Figure. IV.5.rupture de dents	32
Figure. IV.6.rupture de cône	32
Figure. IV.7. Canaux bouchés	32
Figure. IV.8. Perte de taillants	33
Figure. IV.9. Perte des buses	33
Figure. IV.10. Perte de matrice	34
Figure. IV.11. GHI	34
Figure. IV.12. L'usure de gage	34
Histogramme IV.1: l'évaluation de l'usure (I, o) à travers les puits	37
Histogramme IV.2 : l'évaluation de l'usure (WT)	38
HistogrammeIV.3: l'évaluation de l'usure (A)	38

NOMENCLATURE

HMD : hassi masouad

HDZ: hassi dzabat

X : longitude (m)

Y : latitude(m)

Z : altitude (m)

WOB : le poids (T)

TVD : Hauteur verticale (ft).

HP :haut Pression (bar).

F_c : La force de coupe. (horizontal force),

F_n : La force normale. (Poids sur l'outil),

F_L : La force latérale

P_h : le poids (T)

PDC : Le diamant synthétique basse température

TSD: Le diamant synthétique haute température

IN : l'entres de formation

OUT : la sortes de formation

MTR : mètre (m)

CUM : comme bien de mètre foré

HRS : les heurs de foré (h)

ROP : rat of pénétration (avancement)

MW : la densité de boue

RPM: la rotation (rt/min)

TQ : le torque(lb*ft)

FR : le début (l/min)

D : dull char (caractéristique de l'usure)

L : localisation de l'usure

WT : dents usées

BT : rupture de dent

NOMENCLATURE

I : l'intérieure de outil

O : l'extérieur de outil

A : all areas

G : Gage (la mesure)

S : shoulder

T : taper

N : nose

C : cone

SPP : stand pipe Pression (psi).

TD : Total drilling.

INTRODUCTION GENERALE

A-INTRODUCTION :

Le Tight Réservoir, représenté par les Quartzites de Hamra de l'ordovicien, est parmi les principaux réservoirs en Algérie . Les Quartzites de Hamra sont très compact dur, avec une très faible porosité, cependant leurs productivités sont appréciables après la fracturation.

B- Caractéristiques des QH

Les quartzites de Hamra est un réservoir: Homogène, compact, très dur et fissuré avec une très faible porosité Il est compose essentiellement de grés quartzitiques (jusqu'à 90%)

En étant un réservoir compact et sous l'effet des contraintes, il s'est fractures puis colmaté par l'effet de la circulation de fluides chargés en élément chimiques. La silice et localement de l'argile et des oxydes.

C-Carottage des QH: Ces images représente le carottage de Quartzite de Hamra



Carotte HMD

Carotte HDZ

Fig.01 : Carottage de QH

D-Problèmes causé par les QH durant le forage

Les principaux problèmes auxquels les foreurs font face lors du forage de ce genre de formation sont:

La faible vitesse d'avancement (ROP) qui influe négativement sur la durée de réalisation des puits d'exploration.

La consommation excessive d'outils de forage influe aussi sur la durée et le cout du projet (prix des outils ,temps des manœuvres).

Le risque permanent de coincement des garnitures de forage qui peut amener a l'abandon du puits ,a cause des fractures.

Forage des QH ayant une fenêtre de forage très réduite ou il est impossible de les traverser par les méthodes conventionnelles.



Chapitre 1

Généralités sur la région HDZ

I-NTRODUCTION

I.1 - Localisation du puits

Le puits HDZ15 (HSSI DZABAT) au sud-est du block Hassi Dzabat, à 2.3 km et 1.34 km au sud-ouest des puits HDZ-1 et HDZ4 respectivement et a 2.5 km au nord-est du puits HDZ-3 et a 3.6 km au sud-est du HDZ-8. (voire figure I.1)

Les coordonnées d'implantation du puits HDZ sont les suivantes :

U.T.M. (Zone 31) :

$$X = 7\ 82685.967\ \text{m}$$

$$Y = 3\ 453116.036\ \text{m}$$

Altitude : $Z_{\text{sol}} = 170.941\ \text{m}$

$$\text{T.R.} - \text{N.M} = 178.541\ \text{m}$$

Élévation table de rotation : 7.6 m

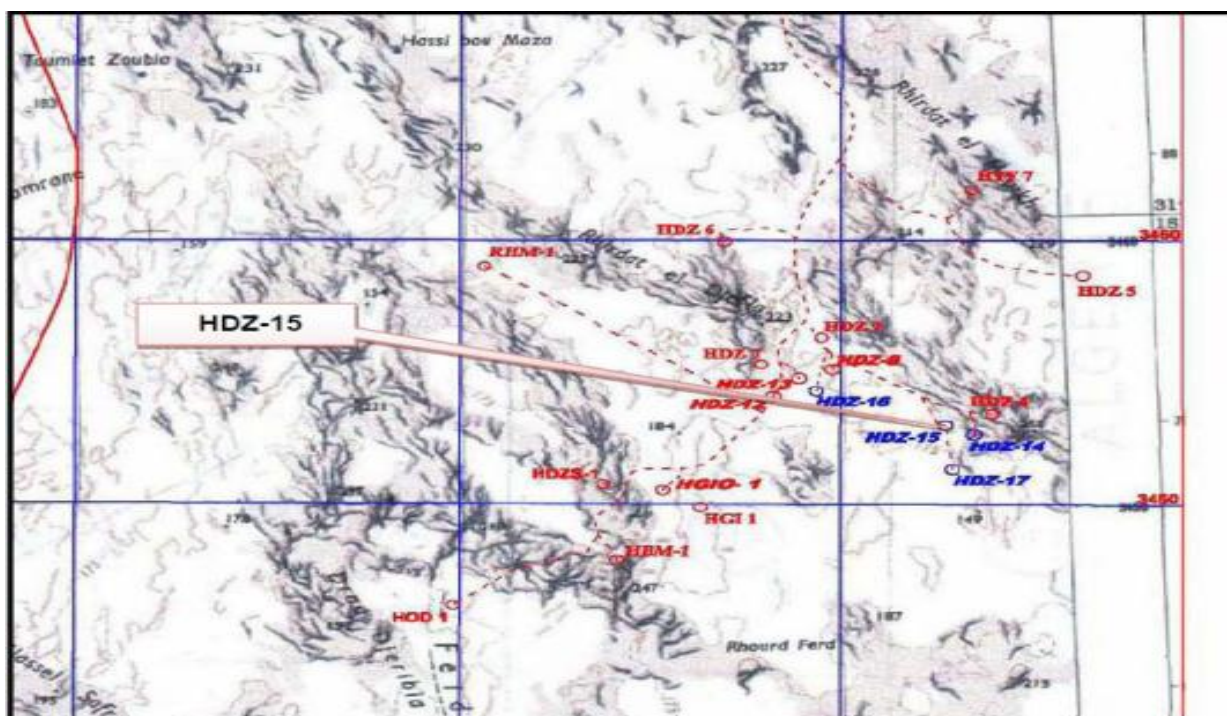


Figure .I.1 –Carte de localisation du puits HDZ

I.2 - Données générales

Nom du puits	HASSI DZABAT	
Sigle	HDZ_15_14_17	
Région	HASSI MESSAOUD	
Wilaya	OUARGLA	
Bloc	HDZ	
Permis	HDZ	
Prospect	Développement	
Coordonnées UTM (Zone 31)	X = 7 82685.967 m Y = 3 453116.036 m	Profondeurs
Coordonnées géographiques	31° 10' 49".32369N 05° 57' 57".59486 E	
Altitude	Z sol = 170.941 m	
Objectifs primaires	Ordovicien (QUARTZITE D'EL HAMRA)	3238m 3367 m
Formation d'arrêt de forage	Ordovicien (ARGILES D'EL GASSI)	TD à 3394 m
Durée prévue	TD à 107.23 jours	
Appareil de forage	NABORS # 284	
Début de forage	22/08/2013	
Fin de forage	07/12/2013	

TAB.I.1. Données générales

I.3- Profil du puits:

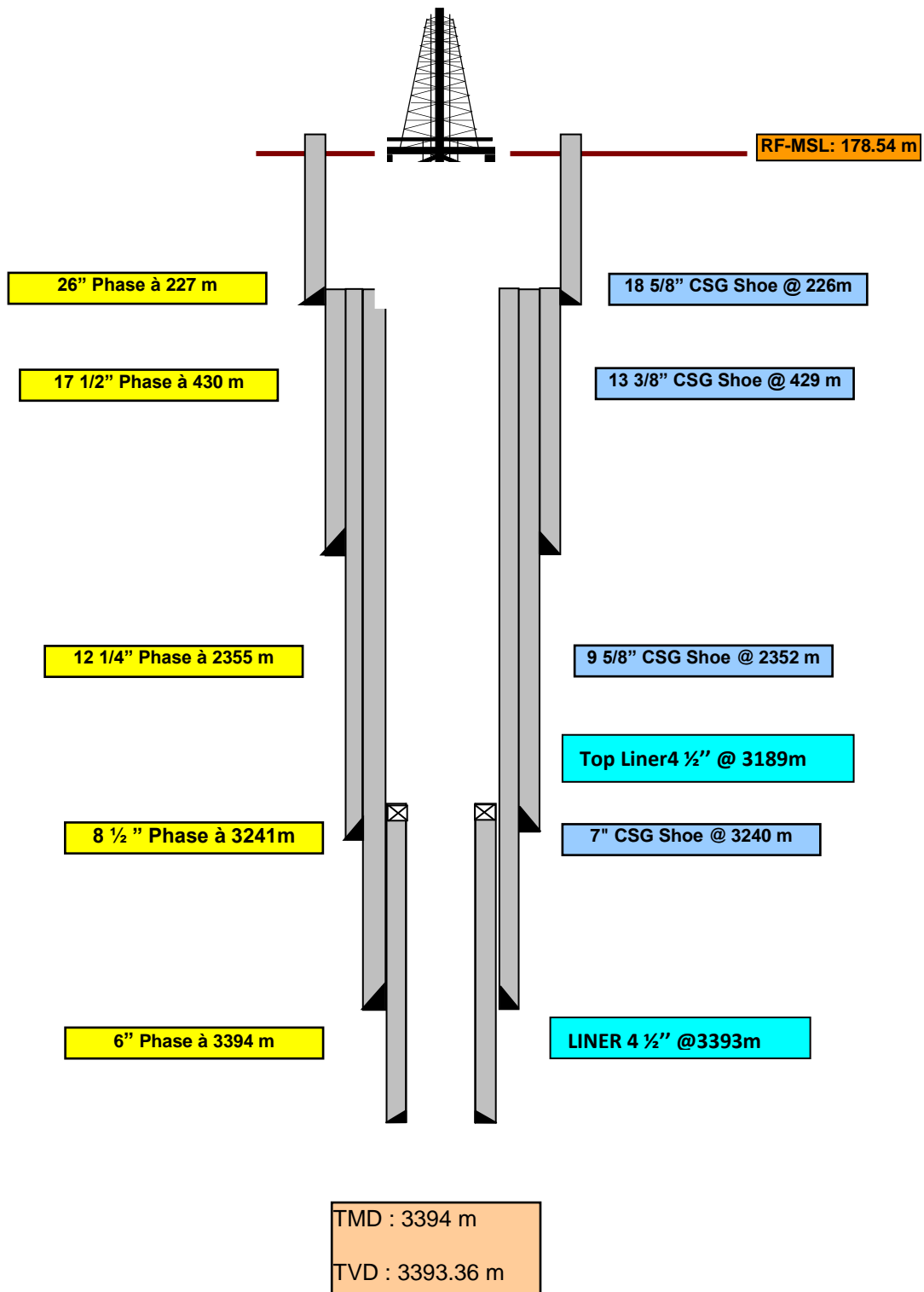


Schéma.I.1 Le puits HDZ

I.4 -Ordovicien :

- **Quartzites de Hamra** : De 3238m à 3348m = 10 m

De 3238 à 3241 m :

GRES : translucide, blanc, blanc-beige, fin à moyen, subarrondi à arrondi, parfois anguleux, compact, dur, siliceux a silico-quartzitique, passant par endroit QUARTZITE : translucide, blanc, compact dur, fréquemment des traces de la pyrite.

De 3291 à 3295 m :

Grès gris, gris blanc à beige, fin à moyen, siliceux à silico- quartzitique, arrondi à subarrondi anguleux, parfois sub anguleux, compact dur, moyennement à bien classé, bien consolidé. Avec présence d'argile grise noire a noire, moyennement dure, silteuse.

- **Gres d'El Atchane** : De 3348m à 3367 = 19m

Grès gris-blanc à beige, translucide, fin à moyen, sub arrondi à arrondi, sub anguleux siliceux à silico-quartzitique, moyennement, dur. Avec intercalation d'argile grise à gris noire, indurée, silteuse.

- **Argiles d'El Gassi** : De 3367 à 3394 m = 27 m

Argile grisâtre à noirâtre parfois verdâtre, indurée, silteuse alternée avec grès blanc laiton a beige, gris à gris verdâtre, translucide, fin a moyen, localement arrondi, siliceux à silico-quartzitique, compact, très dur.

I.5- FICHE STRATIGRAPHIQUE DU PUITZ HDZ-15 ST1

TABLEAU COMPARATIF DES TOPS FORMATIONS DU PUITZ HDZ-15 ST1

AGE	FORMATION		HDZ-15 ST1			
			Prévu	Géol	Spe's	
		Moi-Pliocène		8	10	
		Eocène		183	172	
CRETACE		Sénonien	Carbonate	253	232	
			Anhydritique	393	368	
			Salifère	613	609	
	CRETACE SUP	Turonien		758	730	
		Cénomanién		878	864	
	CRETACE INF	Albien		1078	1063	
		Aptien		1418	1414	
		Barremien		1442	1438	
		Néocomien		1737	1716	
	JURASSIQUE	JURASSIQUE SUP	Malm		1947	1936
JURASSIQUE MOY		Dogger	Argileux	2152	2140	
			Lagunaire	2372	2310	
JURASSIQUE INF		Lias	LD1	2457	2401	
			LS1	2492	2442	
			LD2	2582	2543	
	LS2		2637	2604		
		LD3 (HZ-B)	2690	2653		
TRIAS	TRIAS	TS1/TS2		2713	2672	
		TS3		2943	2917	
		Argileux (G10)		3109	3081	
		Eruptifs Triasique		3154	3124	
		Grès d'Ouargla		3199	3167	
ORDOVICIEN	ORDOVICIEN	Quartzites d'El Hamra		3254	3238	
		Grès D'El Atchane		3364	3348	
		Argiles d'El Gassi		3379	3367	
	TD			3404	3394	

TAB.I.2. FORMATIONS DU PUITZ HDZ-15 ST1



Chapitre 2

Les différents types des outils

1. Introduction :

L'outil de forage est la pièce la moins volumineuse mais la plus importante pour réaliser un puits de forage. C'est le premier élément à s'attaquer aux terrains.

Le choix d'un outil de forage dépend essentiellement de la nature des terrains à traverser.

2 . Les différents types des outils de forage :

Les outils se classent en deux catégories :

2.1 Les outils à molettes :

Les outils tricônes sont constitués de trois cônes tournant de façon indépendante et montés sur trois bras réunis entre eux par soudure constituant le corps de l'outil. Plusieurs types de roulements sont utilisés (rouleau avec ou sans étanchéité, palier de friction, système de lubrification, etc). Ces outils travaillent principalement en compression. (*Voire fig.II.1*)

Les éléments de coupe font partie de la molette; ce sont :

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



Figure.II.1 Les outils à molettes (tricône)

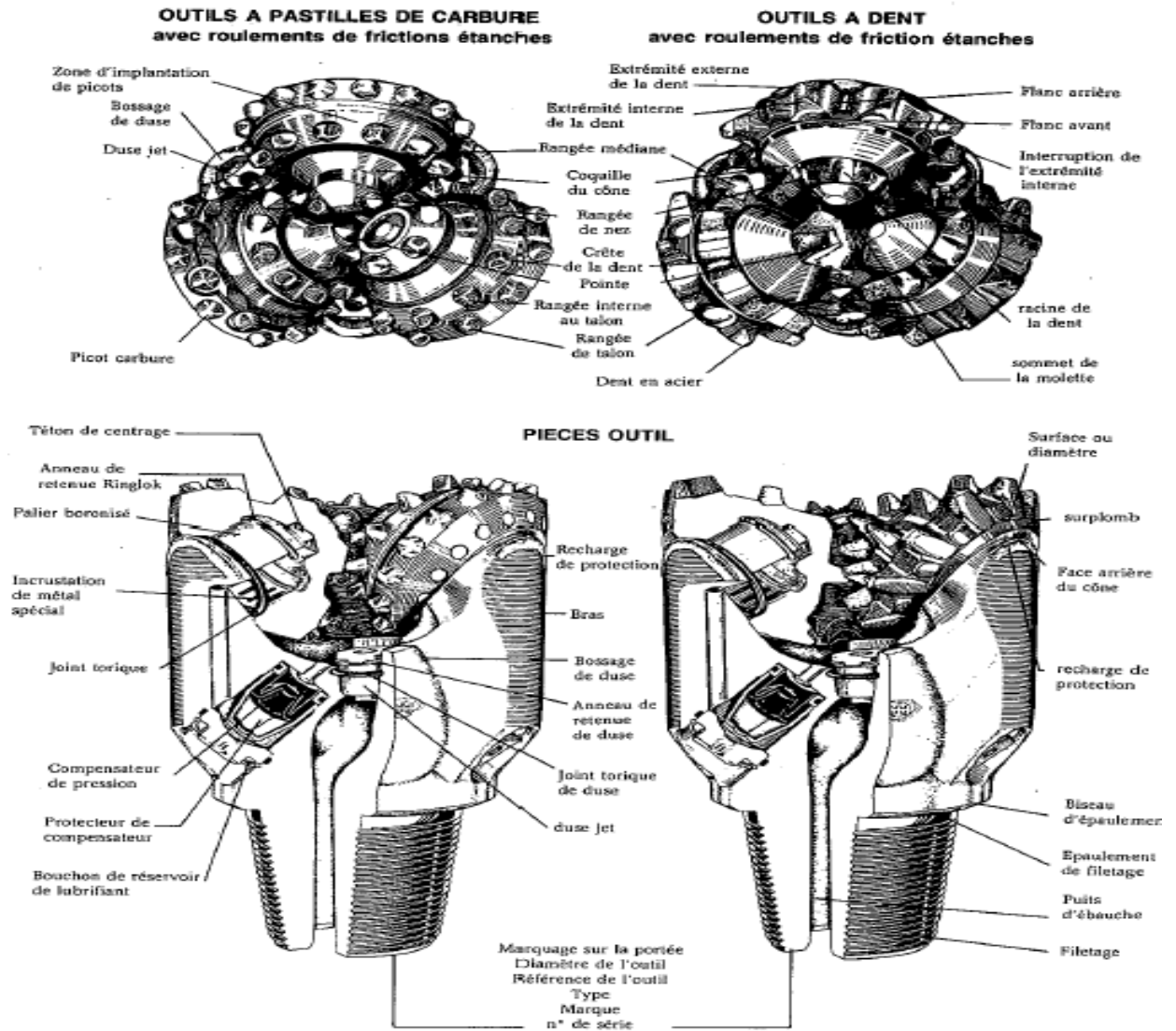


Figure.II. 2 Nomenclature des tricônes

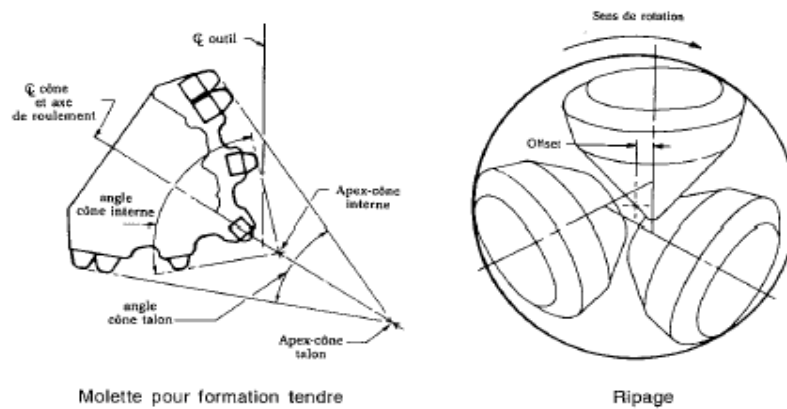


Figure.II.3 Principe de construction des molettes des tricônes

2.2 Les outils à éléments de coupe fixes :

Ils ne possèdent pas de pièces tournantes, ce sont les outils monobloc. Des diamants naturels et de synthèse sont utilisés pour leur fabrication. Les outils à diamants naturels travaillent à la façon d'une lime tandis que les outils à diamants synthétiques travaillent à la façon d'un rabot.

2.2.1 Les outils PDC : (*Polycrystalline Diamond Compact*)

Ces outils existent soit avec corps acier, soit avec matrice. Les corps en acier sont usinés puis recouverts de carbure de tungstène pour limiter l'érosion. Les corps en matrice sont fabriqués à partir du même matériau au carbure de tungstène que les outils aux diamants naturels. En effet l'avantage fondamental des outils PDC réside dans l'absence des parties mobile, d'où leur nom d'outils monobloc. L'inconvénient majeur des PDC est de ne pas supporter des températures au-delà de 800 °C. (*Voire fig.II.4*)



Figure.II.4 Les outils à diamant (PDC)

2.2.2 Types de diamant :

Dans le domaine de forage rotary, il y a deux types de diamant:

- a- Diamant naturel.
- b- Diamant synthétique.

a- Le diamant naturel :

C'est une cristallisation du carbure de densité 3,52. Du point de vue chimique le diamant et le graphite sont identiques. Alors que du point de vue physique, ils sont totalement contradictoires. Le graphite est fragile, noir, faible, souvent utilisé comme lubrifiant.

Le diamant par contre est extrêmement dur meilleur conducteur thermique, hautement abrasif; la plupart du temps transparent, il est aussi un excellent isolant.

- caractéristiques principales du diamant naturel :

Caractéristiques	Unité	Diamant	PDC	Carbure tungstène	Acier
Dureté	Kg/mm ²	6000-9000	5000-8000	1475	558
Résistance à la compression	10 ³ psi	1260	890	780	238
Conductivité thermique (25°)	W/cm.°C	5.2	5.43	1.00	0.48
Densité	g/cm ³	3.52	3-3.25	14.95	785
Point de fusion	°C	3650	-	2860	1530
Résistance à l'écrasement	Bars	80000	-	50000	15000
Module de Young	10 ⁶ psi	105-152	132	92	29

TAB.II.1 caractéristiques principales du diamant naturel

Le diamant est le matériau le plus dur et a des caractéristiques supérieures parmi les matériaux que l'on connaitre. Pour cela, c'est l'élément essentiel dans l'outil de forage, qui résiste aux conditions de fond (haute température et haute pression).

b- Le diamant synthétique :

On distingue ces deux produits polycristallins :

- Le diamant synthétique basse température "PDC",
- Le diamant synthétique haute température "TSD".

- Avantages de diamant synthétique au diamant naturel :

- Les deux produits (PDC, TSD) 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.

- Le diamant synthétique basse température :

Le PDC se présente en général sous la forme d'une fine lamelle de diamant synthétique (épaisseur = 0.5 mm) avec des impuretés de Cobalt Nickel placé sur substrat de carbure de tungstène.

Ces mélanges commencent à se détruire vers 750° c.

- *Le diamant synthétique haute température :*

Le TSD (thermally stable diamond). Il se compose également de diamants de synthèse mais sans cobalt (il élimine à travers une acidification) et sans substrat de carbure, les TSD sont thermiquement stables jusqu'à 1200° c.

Il existe une autre génération de diamant synthétique, c'est une structure de coupe formée de PDC cutters protégés à l'arrière par TSD et /ou des diamants s'appelles *Quatrocut*.

3 .Mode de travail des outils :

3.1 Mode de travail d'un outil Tricône :

Un tricône travaille par :

- Percussion et pénétration de la dent dans la formation, pour avoir un meilleur avancement il est donc logique plus le terrain est tendre, plus la dent devra être grande.

- Arrachage des "copeaux" de terrain par glissement de la molette sur elle-même. Il faut un décalage des rangées de dents sur chaque molette.

Pour obtenir l'effet de glissement ou "ripage" qui permet d'arracher les copeaux de terrain, l'axe de chaque molette est décalé et ne passe pas par l'axe de rotation de l'outil.

C'est ce qu'on appelle "l'offset". Il est d'autant plus grand que l'outil destiné aux terrains tendres, pour devenir nul pour les outils destinés aux terrains durs. Dans les terrains durs, l'arrachage de copeaux n'est plus possible et l'effet de glissement serait aux nuisible aux dents de l'outil.

3.2 Mode de travail d'un outil PDC :

3.2.1 Les efforts appliqués sur le cutter :

- La force de coupe F_c (horizontal force),
- La force normale F_n (poids sur l'outil),
- La force latérale F_L .
- Le poids Ph

Lorsque un cutter PDC coupe une roche à une profondeur de passe h , elle est soumise à une effort résultant R , dont la composante normale à la face de la pastille appelée effort de coupe F_c est responsable de la rupture de la roche par cisaillement.Cet effort résultant présente également une composante latérale F_L .

Les efforts latéraux de chaque pastille sont équilibrés entre eux de sorte que l'effort latéral est nul.

3.2.2 Principe de fonctionnement :

Le balayage du fond du trou est obtenu par le mouvement de rotation de l'outil autour de l'axe de forage.

Tous les points de l'outil PDC décrivent dans son mouvement des cercles concentriques, en particulier chacun des éléments de l'outil, qui est maintenu enfoncé dans la roche sous l'effet de la charge verticale, repousse dans ce mouvement de rotation un élément de roche, dont l'épaisseur est égale à la profondeur dont il s'est enfoncé, et à chaque instant il écrase un élément nouveau de roche vierge.

Si la vitesse de rotation de l'outil et la résistance de la roche sont uniformes, chaque élément d'outil, en contact avec le fond du trou, aura une trajectoire hélicoïdale dont le pas sera égal à l'avancement de l'outil par tour. (Voire fig.II.5)

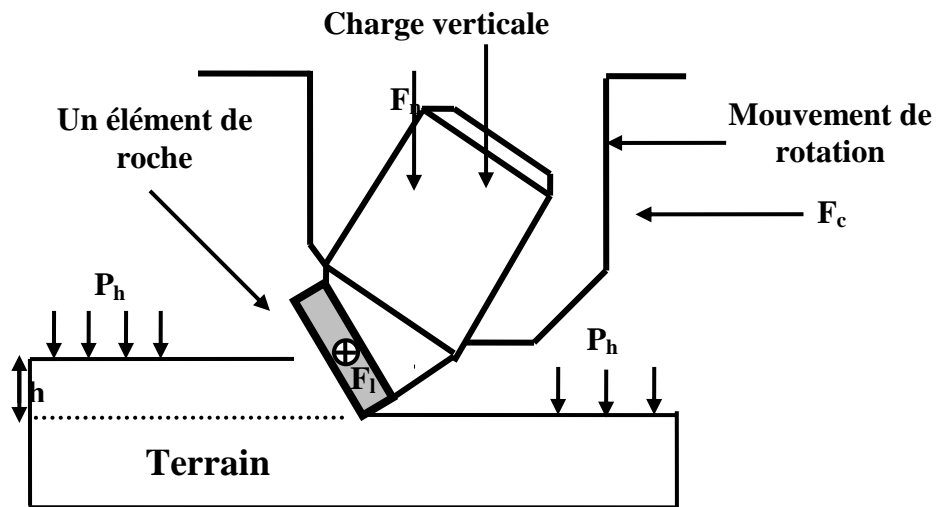


Figure.II.5 Principe de fonctionnement d'un outil PDC

4 Désignation d'un outil PDC :

On désigne un outil par :

- 1- Le corps de l'outil,
- 2- Le profil,
- 3- Densité des cutters,
- 4- Angles caractéristiques de parties,
- 5- Longueur utile (L_{edge}).

4.1 Le corps de l'outil :

Actuellement, il existe deux types de corps d'outils.

- 1- Corps en acier (steel body),
- 2- Corps en carbure de tungstène (Matrix body).

4.1.1 Steel body :

Les outils utilisent des cutters PDC type périscope qui sont sortis directement dans le corps acier sans aucun brassage.

- Les avantages de steel body :

- possibilité de remplacer les cutters périscope après utilisation de l'outil si toute fois il n'y a pas eu érosion du corps.
- possibilité de pouvoir utiliser toute la surface du cutter étant donnée que ce type de cutter est entièrement exposé.

- Les inconvénients du steel body :

- Une usure par "Wash out" très rapide du corps acier ce qui limite considérablement sa durée de vie. Cette durée de vie est directement proportionnelle à la quantité de solides de

contenus dans la boue, toutefois cette usure par "Wash out" peut être réduite en apportant une métallisation dure sur le surface d'attaque de l'outil.

4.1.2 Matrix body :

Les outils sont équipés de cutters cylindriques qui sont directement basées dans un évidage qui a été aménagé dans le corps d'outil.

- Les avantages du Matrix body :

- La très haute résistance à l'abrasion du corps qui est en carbure de tungstène, ce qui donne une durée de vie toujours supérieure à la durée de vie cutter lui-même.
- L'évidage aménagé dans le corps de l'outil pour recevoir le cutter donné.

- Les inconvénients de Matrix body :

- son prix qui est sensiblement plus élevé que le steel body.
- une fois utilisé, cet outil ne peut pas être réparé.
- toute la surface de cutter ne peut pas être utilisée du fait de sa position dans la matrice.

4.2 Le profil :

Il existe principalement trois types de profils :

- 1- profil plat ou avec un faible cône intérieur,
- 2- profil double cône (cône intérieur très prononcé),
- 3- profil parabolique.

4.2.1 Le profil plat :

A utiliser en formation tendre (actuellement ces outils sont généralement des outils à lames qui ont un nombre de cutter limités).

4.2.2 Le profil double cône :

Ce type de profil étudié généralement pour les formations plus dures, en effet ce a l'avantage d'augmenter le cutter. De plus l'usure des cutters est plus homogène pour les profils en pointe de cône que dans les autres types de profils.

4.2.3 Le profil parabolique :

Ce profil a les mêmes caractéristiques que les profils double cône mais en plus il est plus facile de diriger avec un moteur de fond dans un puits dévié. Ce profil donne une grande surface sur laquelle un nombre important d'élément peut être fixé.

4.3 Densité des cutters :

Il est possible d'effectuer des mesurés qualitative de la performance d'un outil sur les différentes densités de distribution des cutters.

En général, lorsque la densité des cutters augmente, la vitesse de pénétration diminue. Si on augmente la densité des cutters d'un outil PDC, on réduit la charge effective par cutter.

$$\text{Contrainte par cutter} = \frac{WOB_{total} / \text{nombre de cutter}}{\text{La surface de coupe}}$$

4.4 Angles caractéristiques des pastilles PDC :

On définit trois angles caractéristiques sur les pastilles PDC (Voire fig.II.6):

- 1- L'angle de coupe W_c (back rake angle).
- 2- L'angle de dépouille W_d (clearance angle).
- 3- L'angle lateral W_s (Side rake angle).

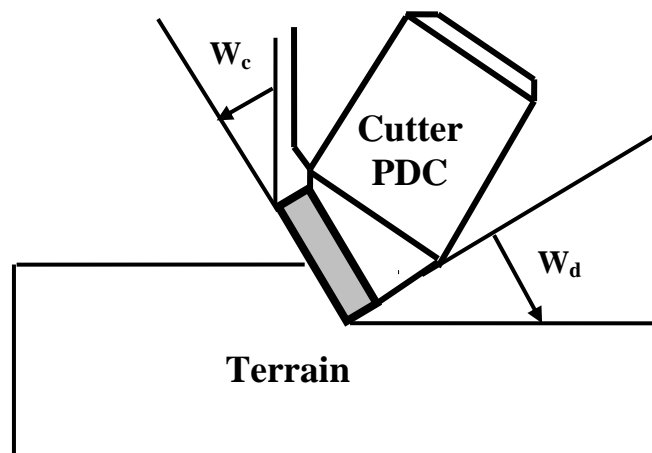


Figure.II.6 Angles caractéristiques d'un PDC

4.5 Longueur utile L_d :

La distance entre la matrice du trépan et le fond de la saignée creusée par le PDC est appelé "Longueur utile" (exposure).

Si L_d est la distance mesurée suivant la verticale entre la matrice du trépan et le centre de la pastille de diamètre D . Alors le rapport L_d/D est appelé L_{edge} .

Ces deux paramètres sont d'une importance capitale dans le système d'évacuation des copeaux et du nettoyage du puits et sur les efforts latéraux. (Voire fig.II.7)

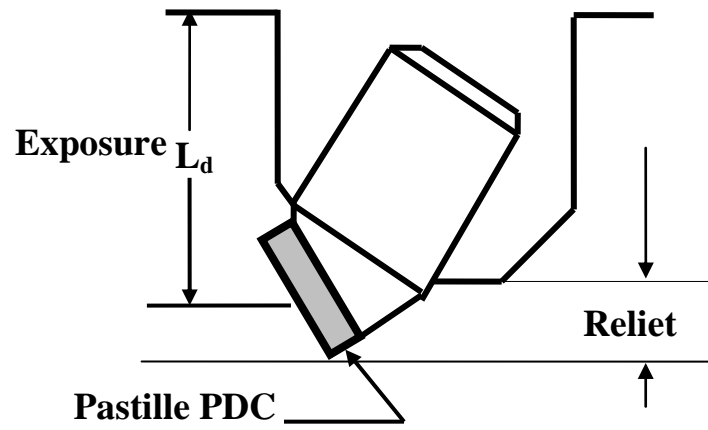


Figure.II.7 Longueur utile L_d



Chapitre 3

L'architecture des outils

III.1. Géométrie des tricônes

Les premiers soucis du concepteur sont les valeurs de vitesse d'avancement et la durée de vie de l'outil.

Pour obtenir ces caractéristiques, il travaille avec la valeur de l'angle de l'axe (tourillon) des molettes (journal angle), la conicité des molettes (cone angle), l'angle du cône du talon (oversize angle), l'excentricité des molettes (offset), l'espace entre l'extrémité des dents d'une molette par rapport aux cannelures des molettes adjacentes (intermesh), l'avancée (projection) et l'écartement (pitch) des dents pour réaliser une conception réussie. Ces paramètres définiront le profil des molettes.

Les principes de base de la conception des outils tricônes sont les mêmes pour les outils à dents en acier ou en carbure de tungstène.

✚ **Les trois cônes** d'un outil ne sont pas identiques et sont numérotés (fig. 01).

Il est convenu d'appeler :

Cône (ou molette) n° 1 : le cône ayant une pointe qui occupe le centre de l'ensemble des trois.

Les cônes n° 2 et 3 sont ceux que l'on rencontre successivement en partant du n° 1, dans le sens des aiguilles d'une montre en faisant face aux 3 cônes.

✚ **Pour obtenir l'effet de glissement** ou "ripage" qui permet d'arracher les copeaux de terrain, l'axe de chaque molette est décalé et ne passe pas par l'axe de rotation de l'outil (figure 04).

La divergence des axes produit ce que l'on appelle "**l'offset**". Cet offset est d'autant plus grand que l'outil est destiné aux terrains tendres, pour devenir nul pour les outils destinés aux terrains durs. Dans les terrains durs l'arrachage de copeaux n'est plus possible et l'effet de glissement serait nuisible aux dents de l'outil.

✚ **Le nombre de dents (indenteurs)** est calculé de telle sorte que le travail de chacun soit équivalent en allant du centre vers l'extérieur (où vitesses et volume à enlever par tour sont plus élevés). Il faut s'assurer également que chaque cône ait à peu près le même nombre total d'indenteurs, afin d'éviter un déséquilibre de l'outil (en termes de poids et couple exercés sur chaque cône).

La répartition des éléments de coupe

sur chaque cône est importante. Un bon arrangement permet d'améliorer le nettoyage de l'outil (intermesh - figure 02) et de réduire les risques de bourrage.

Les structures de coupe sont réparties en plusieurs rangées (voir figures 01) :

- la rangée de nez (nose row) la plus au centre de l'outil,
- la rangée médiane (middle row),
- la rangée de talon (heel row) la plus extérieure.

Le pas des éléments de coupe

Est également un point important. Si les dents sont régulièrement réparties sur un cercle, elles vont retomber toujours au même endroit sur le front de taille réduisant ainsi la pénétration et la destruction de la roche. Pour éviter cela, la répartition des dents n'est pas régulière (figure 03).

Angle d'inclinaison du tourillon (Journal angle)

L'élément de base dans la conception du profil des molettes est la valeur d'angle de l'axe des molettes. C'est l'angle formé entre une ligne perpendiculaire à l'axe de l'outil et le tourillon de la molette.

Cette valeur d'angle détermine le profil extérieur des molettes, puisque chaque molette est conçue pour remplir son espace réparti. Les outils pour formation tendre ont des angles faibles (30 à 36 degrés), alors que les outils pour formation dure ont des angles plus grands (36 à 39 degrés).

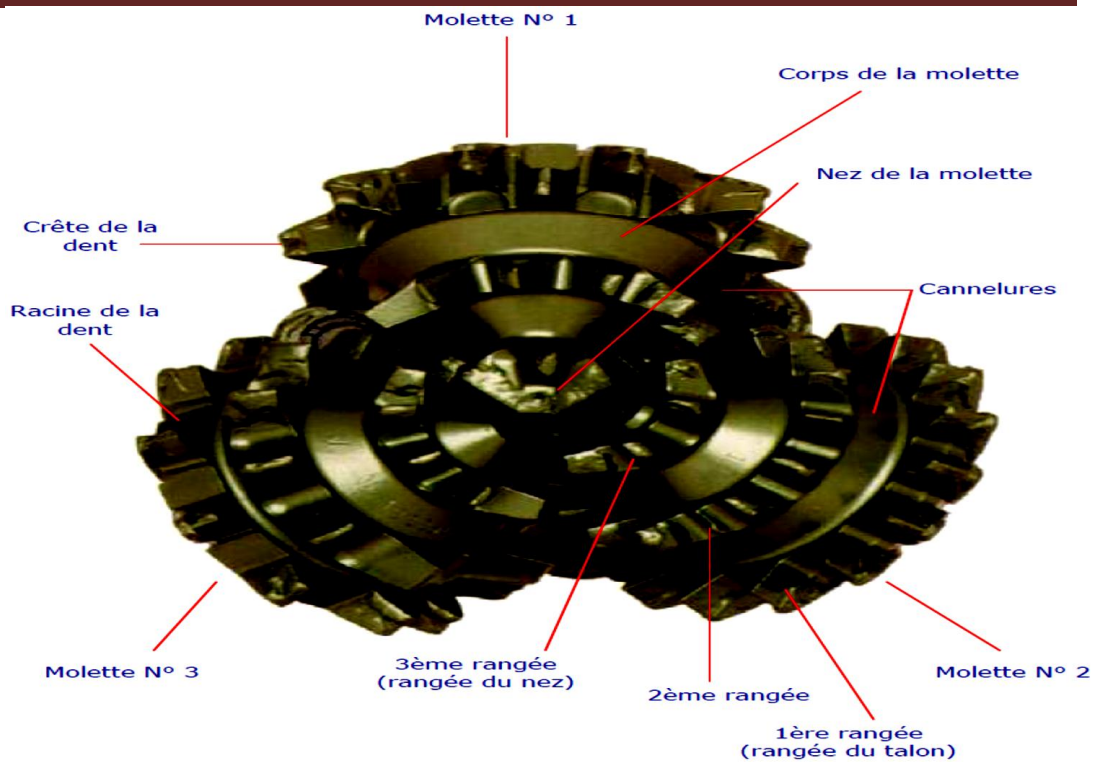


Fig. III.1. Description des molettes

✚ Intermesh

C'est l'espace entre l'extrémité des dents d'une molette par rapport aux cannelures des molettes adjacentes. (Voire fig.III.2)

Pour les formations tendres, il offre plus d'espace permettant une plus grande épaisseur du corps de la molette, une avancée des dents plus importante et un diamètre de roulement plus large.

Pour les formations moyennement dures et dures, l'intermesh sera réduit en corrélation avec la diminution de la longueur et de l'écartement des dents.

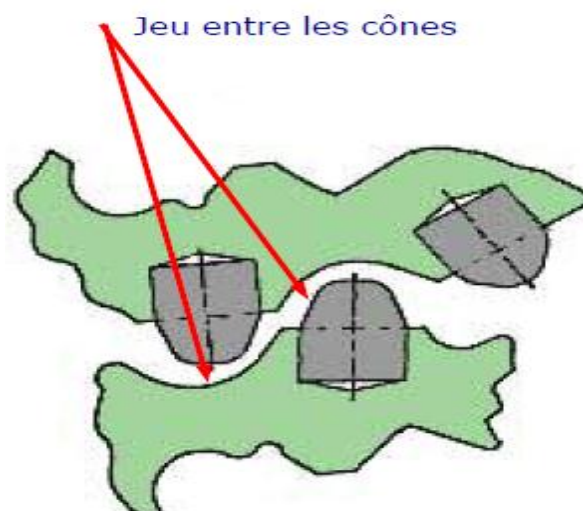


Fig.III.2. Intermesh

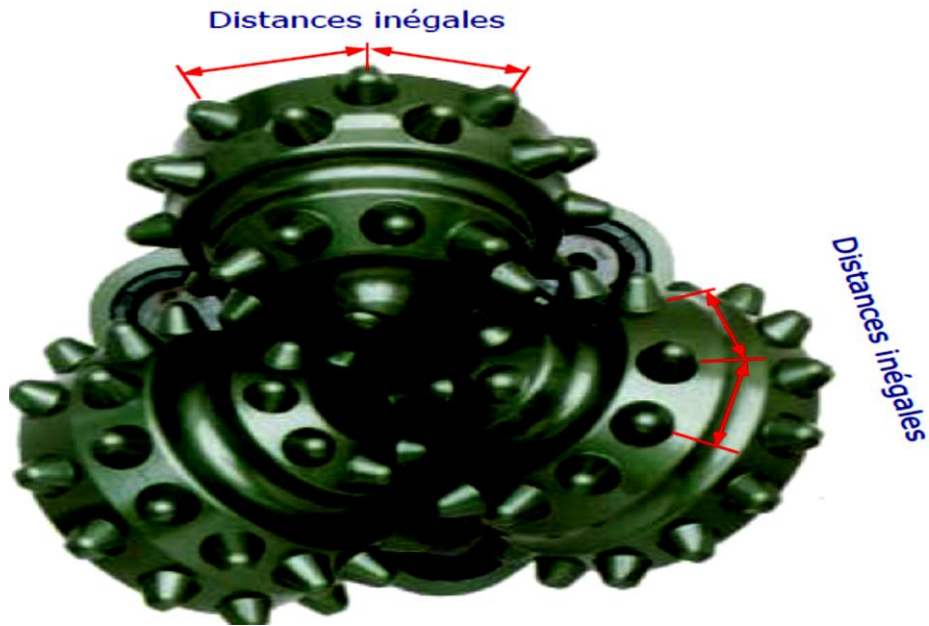


Fig. III.03. Irrégularité du pas des éléments de coupe

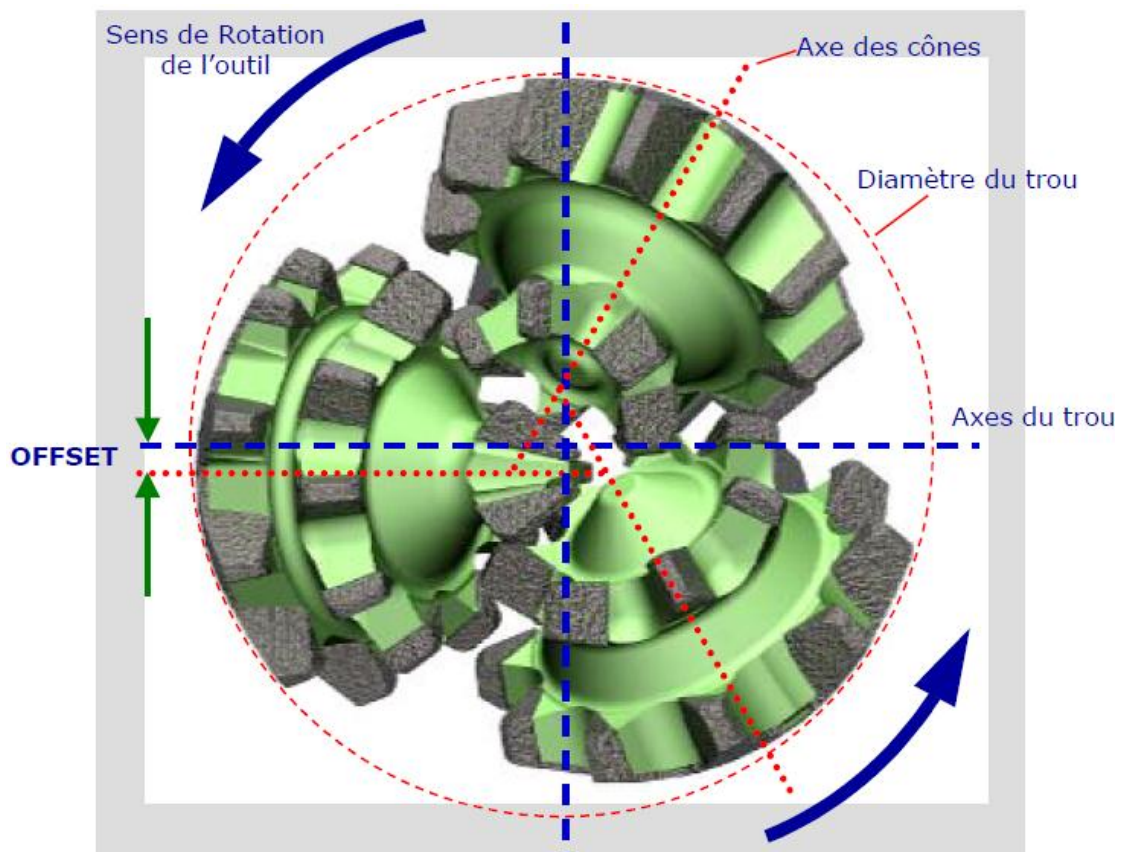


Fig. III.04.Offset d'un tricône

✚ Avancée et écartement :

L'avancée (projection) se rapporte à la longueur des dents, et l'écartement (pitch) au nombre des dents et à l'espace relatif entre les dents.

Un outil avec les dents longues et largement espacées sera performant dans des formations tendres.

Dans des formations plus dures, des dents plus courtes, et des espaces entre les dents le plus réduits sont nécessaires pour additionner les forces. (*Voire fig.III.5*)

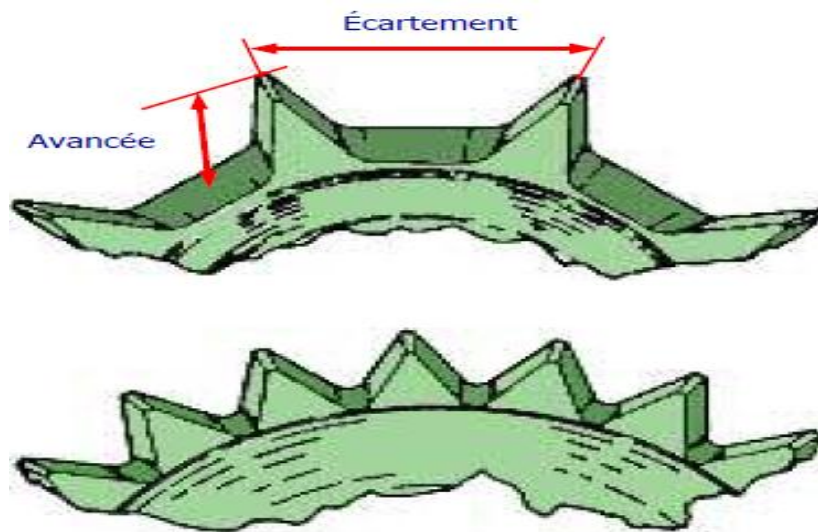


Fig. III.5. Avancée et écartements des dents

III.2.Les outils à diamant

III.2.1.Les outils a diamant naturel

III.2.1.1.Fabrication:

✚ Principe de fabrication :

- ❖ 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.

Une autre type de fabrication existe également : Les diamants imprégnés 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).

✚ 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.

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.

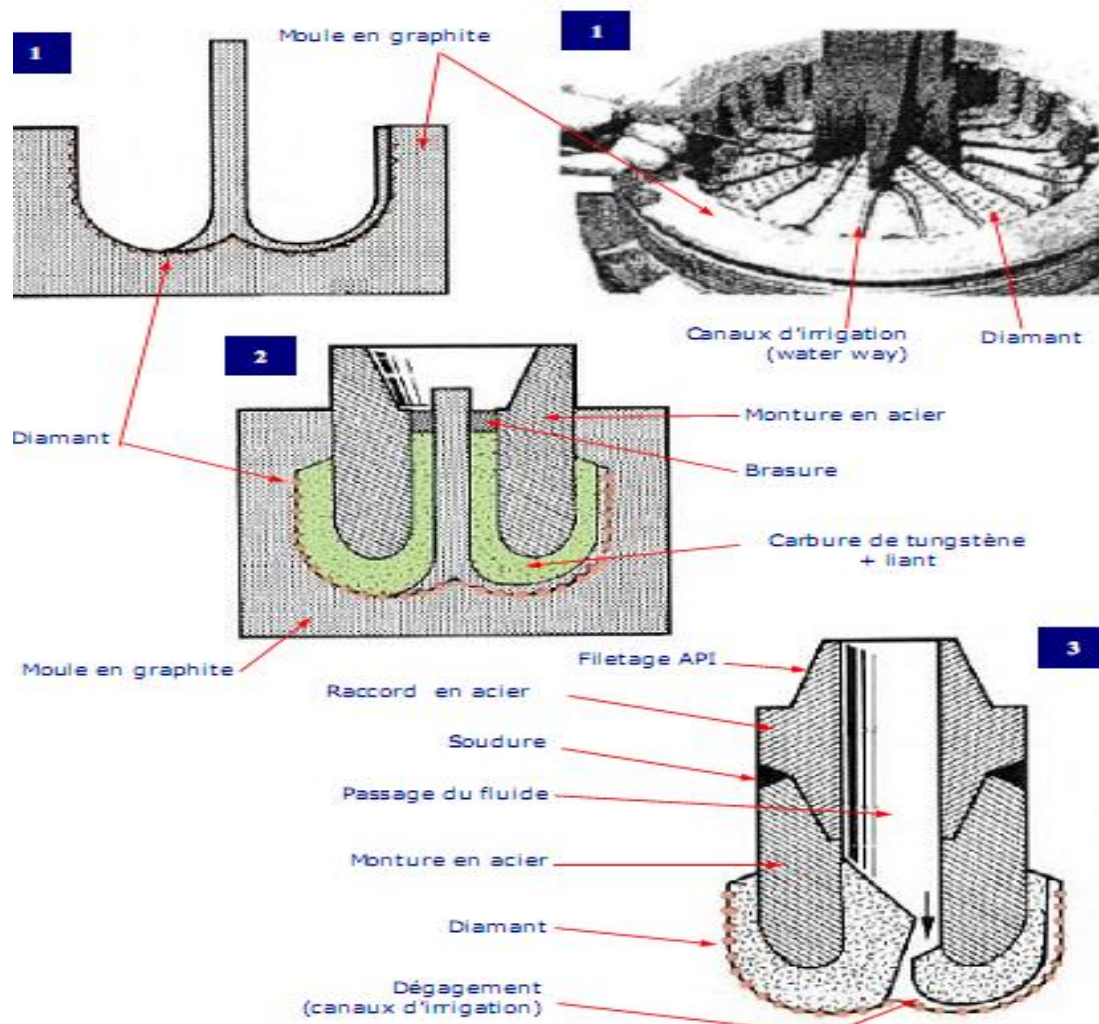


Fig. III.6.fabrication des outils diamants

III.3. Différents types

Comme pour les outils à molettes 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 taille de la pierre).
- ❖ terrains durs: petites pierres

III.3.1. Terminologie de outil a diamant

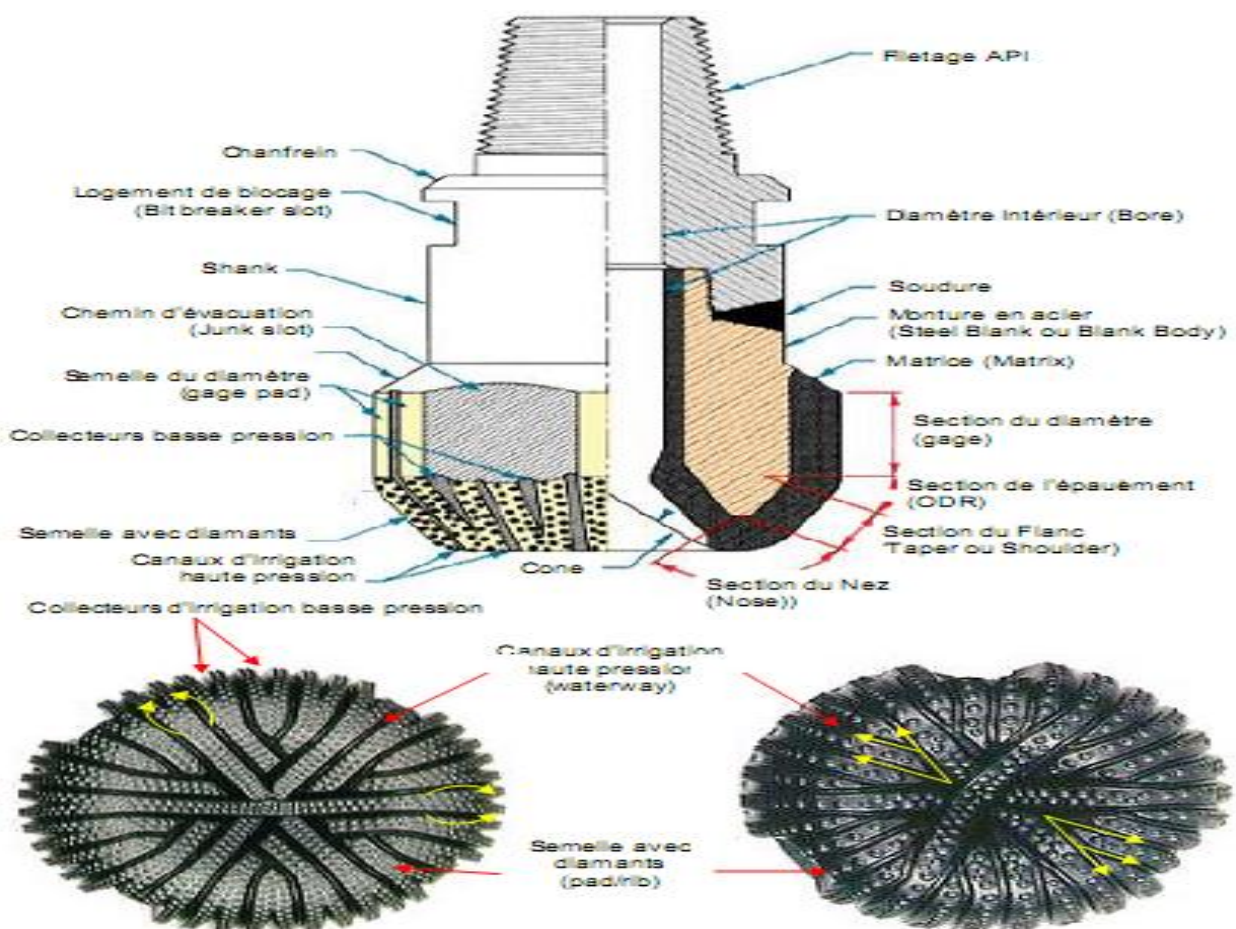


Fig. III.07. Outil a diamant

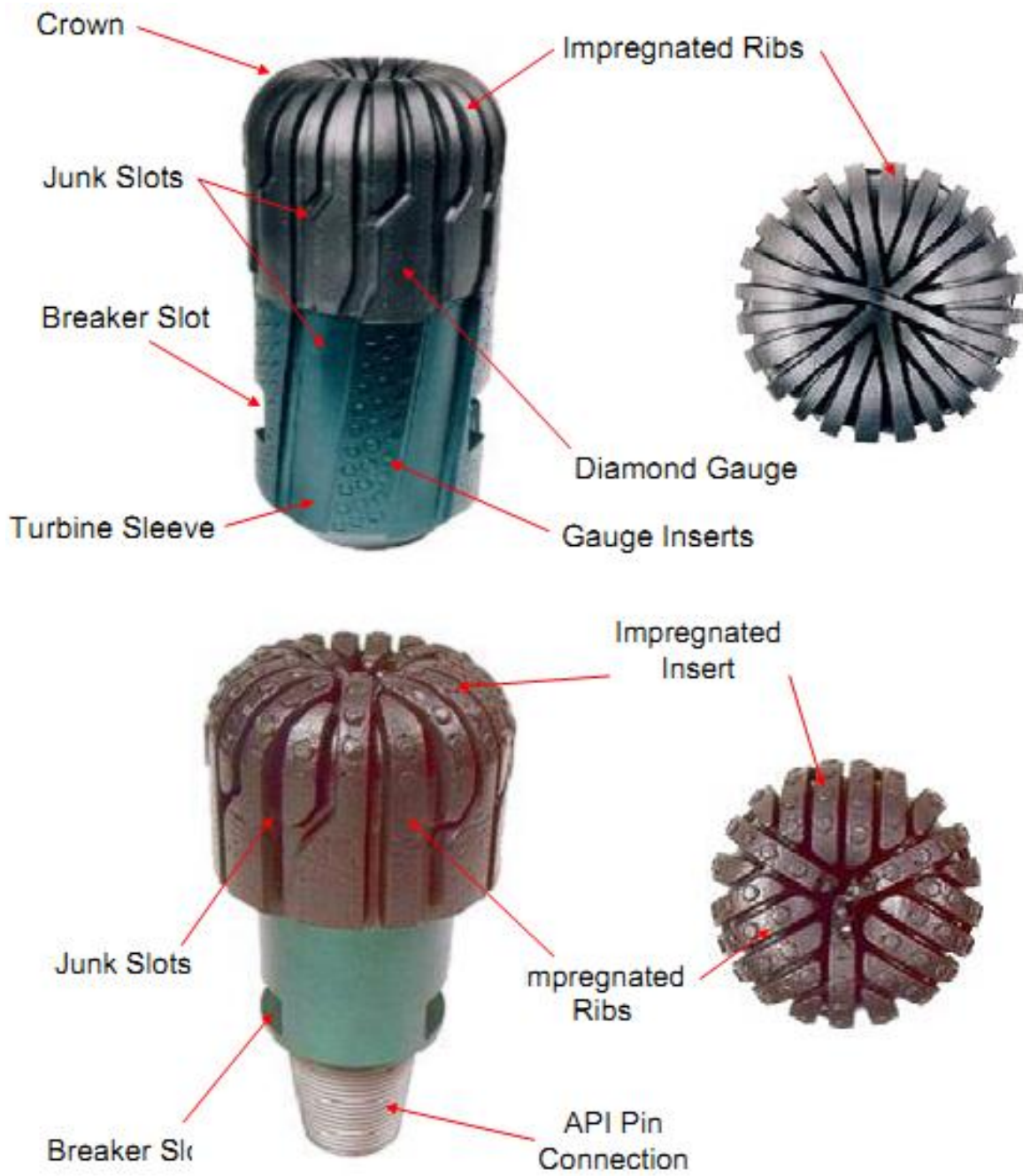


Fig. III. 08. l'outil a diamants (imprégné)

III.3.2.Les PDC :

- la matrice :
 - Une matrice constituée d'un alliage à base de carbure de tungstène, de nickel et de cuivre ayant un point de fusion suffisamment bas pour ne pas endommager les diamants. (Voire fig.III.10)
- Le corps :
 - Un corps en acier_ réalisé d'une seule pièce (le filetage est taillé directement sur le corps). L'usinage, contrôlé par ordinateur, permet d'obtenir une plus grande précision et des formes plus répétitives que par moulage, mais moins complexes. (Voire fig.III.9)

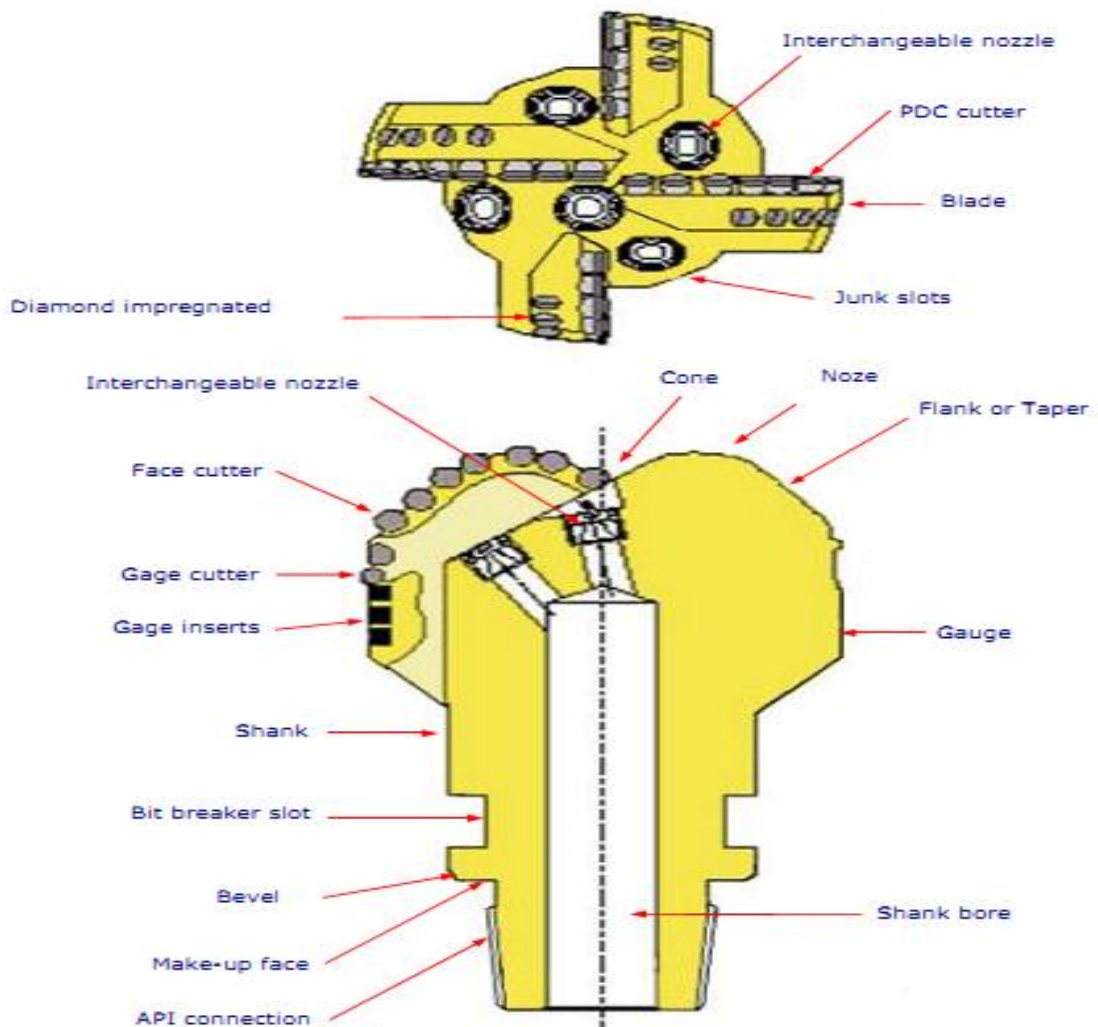


Fig. III.09.outil PDC steel body

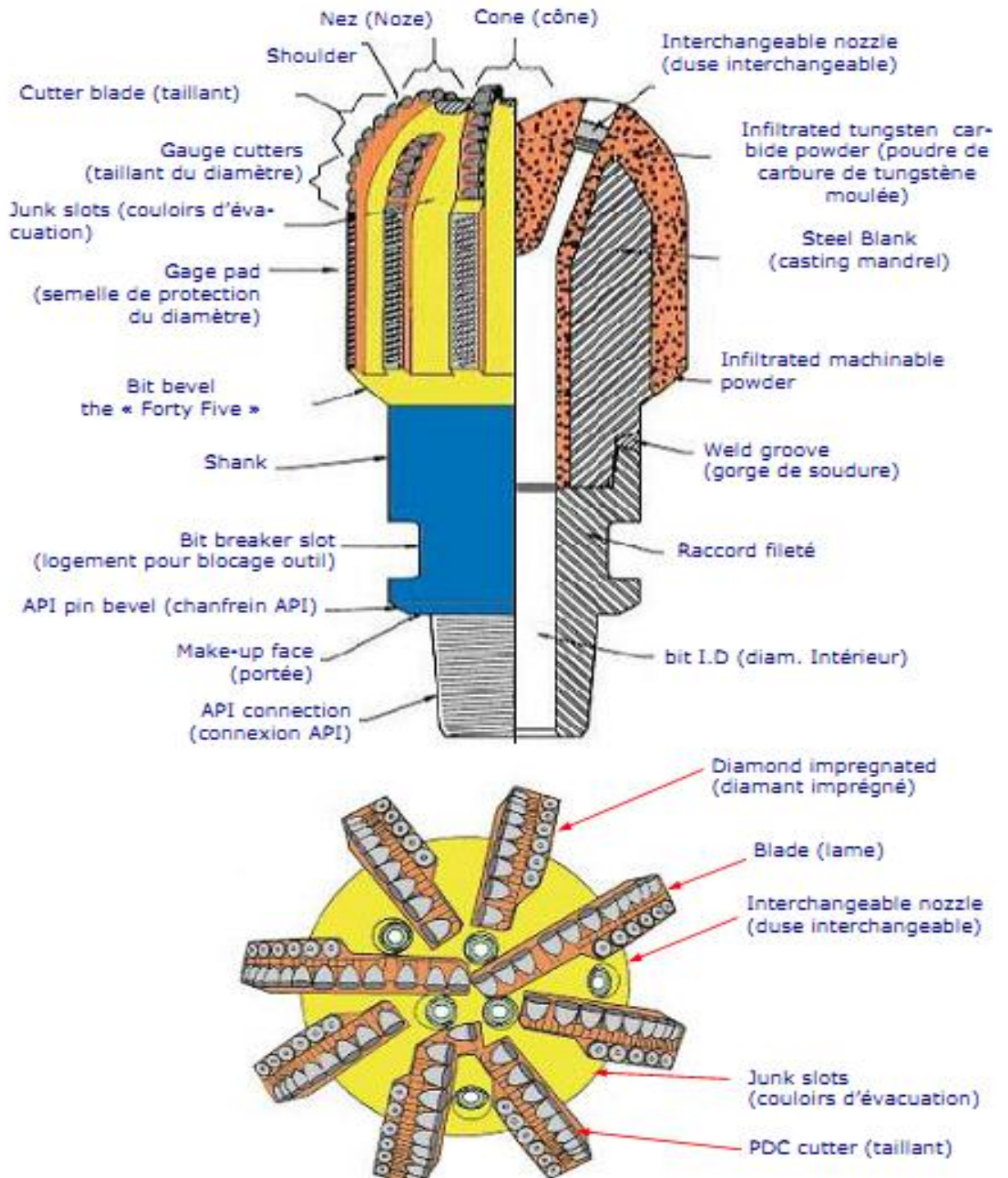


Fig. III.10.outil PDC matrix body



Chapitre 4

L'usure des outils

IV.1 : Détermination de l'usure des outils :

La détermination de l'usure des outils est une opération indispensable durant la réalisation d'un forage pétrolier, elle varie d'un opérateur à l'autre.

L'ancienne Méthode du DUAL GRADING elle est basée uniquement sur l'usure globale des éléments de coupe, l'état des roulements et le diamètre de l'outil. Une nouvelle technique introduite en 1987 est plus complète, 8 colonnes d'information (voir tableau .IV.1) sont utilisées pour rapporter l'usure de l'outil.

Les 4 premières colonnes concernent les structures de coupe.

T				B	G	REMARKS	
1	2	3	4	5	6	7	8
CUTTING STRUCTURE				B	G	REMARKS	
Inner Rows (I)	Outer Rows (O)	Dull Char. (D)	Location (L)	Brng. Seal (B)	Gage 1/16 (G)	Other Dull (O)	Reason Pulled (R)

TAB. IV.1. Description de l'usure des outils

Les quatre premiers espaces décrivent l'ampleur de l'usure, type et l'emplacement sur la structure de l'outil, La cinquième section représente l'usure du roulement conique dans les outils de type TRICON vu que l'outil imprégnés ne contiennent pas de roulements alors il est marqué par le symbole «X» dans l'espace prévu. La sixième place est désigné pour voir l'état du diamètre extérieur de l'outils. Les derniers deux espaces montrent d'autre usure marqué sur la structure de l'outil et la raison de remonté.

1: (I) = lignes intérieures : Permettent d'enregistrer l'usure moyenne sur 2/3 du rayon de bit.

2 :(O) ligne extérieur: Permettent d'enregistrer l'usure moyenne sur le 1/3 du rayon de bit

Pour les outils à dents, la perte, la rupture et l'usure des dents sont prises en compte. 0 indique qu'il n'y a pas de perte des éléments de coupe et 8 indique une perte totale. (voire fig.IV.1)

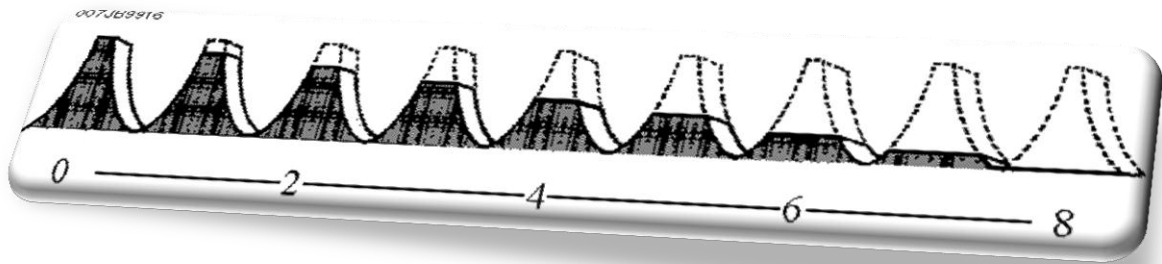


Fig. IV.1. Codification de l'usure des dents

Pour les outils diamant, le chiffre indique la perte de hauteur (0 = le taillant n'a pas perdu de hauteur, 8 = perte totale de la hauteur disponible de taille).

3 : La troisième colonne : (caractéristique de l'usure) utilise un code à 2 lettres pour indiquer la caractéristique principale de l'usure des structures de l'outil (Voire. tab.IV.2)

BC	Rupture de cône
BT	Rupture de dents / éléments de coupe
BU	Outil bloqué (bourrage)
CC *	Cône fissuré
CD *	Cône bloqué
CI	Interférence entre cônes
CR	Outil carotté
CT	Dents / éléments de coupe écaillés
ER	Erosion
FC	Dents aplaties
HC	Echauffement
JD	Endommagement par de la ferraille
LC *	Perte de cône
LN	Perte de duse
LT	Perte de dents / éléments de coupe
OC	Usure excentrique
PB	Outil pincé
PN	Duse bouchée
RG	Usure périphérique
RO	Joint d'étanchéité endommagé
SD	Endommagement du bras (au niveau de la molette)
SS	Usure avec auto-affûtage
TR	Usure entre les dents
WO	Outil sifflé
WT	Dents usées (SS/FC)
NO	Sans usure

TAB. IV.2. Caractéristiques de l'usure des structures de coupe

* voir le numéro du cône dans la colonne localisation

4: (L) = **Lieu** ont Utilise un code pour indiquer l'emplacement de l'usure sur l'outil

-C = Cone, N = Nose, - T = Taper, S = Shoulder, G = Gauge, A = All Areas (Voire fig.IV.2)

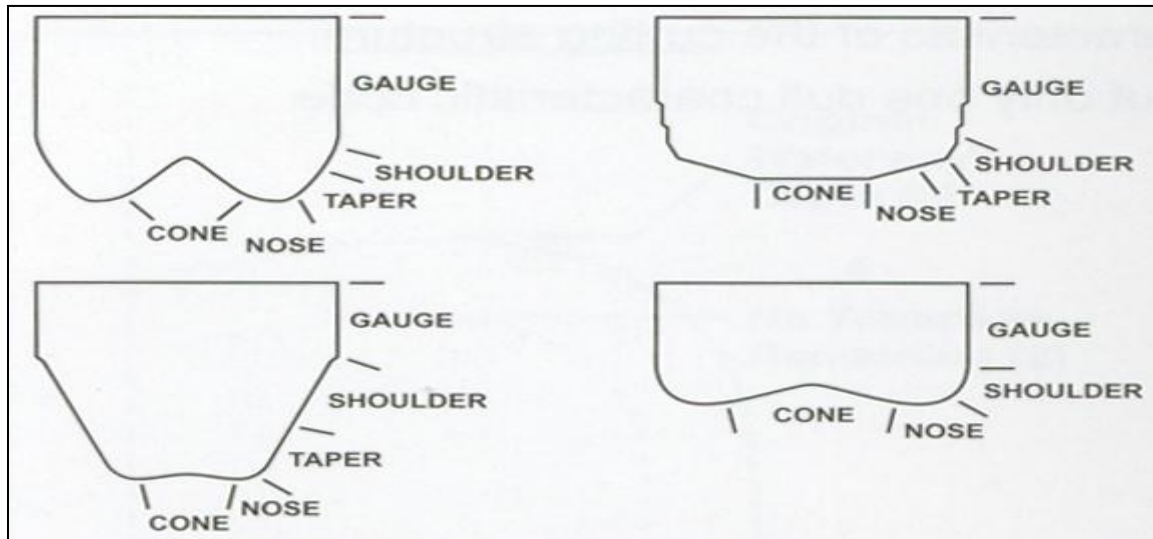


Fig. IV.2.localisation de l'usure

5: (B) = **Roulement / blocage** : Cet espace est pour le TRICON il sera toujours marqué "X" pour imprégnés

6: (G) = **quantité Under gage** : Utilisé pour enregistrer l'état de la mesure de bit elle est basée sur la mesure nominale d'anneau. (Voire. tab.IV.3)

PDC et outil imprégné : Valeur de l'usure = Distance mesurée

La valeur est en 16^{ème} de pouce

- I = In Gage

- 1 = $\frac{1}{16}$ ''

- 2 = $\frac{2}{16}$ ''

- Etc...

TAB. IV.3. Valeur de l'usure

7 : d'autre usure marquée sur la structure d'outil.

8 : la raison de remonté raison.

IV.2. Etablissement d'une fiche d'outil

Pour chaque outil descendu, on notera sur une fiche individuelle ou sur un cahier (bit record) le plus d'informations possible concernant l'outil.

Sur ces fiches ou cahiers sont notés :

Marque, type d'outil, diamètre, filetage, numéro de série, nombre et diamètre des duses (en 32^e de pouce), profondeur début et fin de forage, nombre de mètres forés, temps de forage, paramètres appliqués : poids, vitesse de rotation, débit, caractéristiques de la boue (densité, viscosité, teneur en solides, ...), caractéristiques des formations forées (lithologie, résistance à la compression, pendage, ...), usure de l'outil (éléments de coupe, roulements, perte de diamètre, raison de la remontée), déviation, garniture utilisée (stabilisation, poids de massettes, ...), problèmes en cours de forage (vibration, incidents pompes, reforage, etc).

Les renseignements portés sur ces fiches sont très importants car ils permettent, après analyse, de corriger les erreurs faites, donc d'améliorer les performances de forage (surtout en développement).

IV.3. Exemples d'usure des structures de coupe



Outil bloqué (bourrage)

Fig. IV.3. outil bloqué



Endommagement par de la ferraille

Fig. IV.4. endommagement par ferraille



Rupture de dents / éléments de coupe

Fig. IV.5.rupture de dents



Rupture de cône

Fig. IV.6.rupture de cône

IV.3.1.WT – Usure des taillants

Cette usure correspond à la diminution en hauteur des taillants sous l'action du forage. Il s'agit d'une usure normale et prévue. L'usure des taillants sur une base PDC est mesurée sur une échelle allant de 0 à 8, 0 représentant l'absence d'usure et 8 la disparition complète du taillant.

IV.3.2. PN – Buses / canaux bouchés :

Une ou plusieurs buses sont obstruées. Le code défaut doit être entré dans la colonne "Remarques – Autres défauts d'usure" uniquement. Généralement, la pression de la pompe augmente quand les buses / canaux se bouchent. (*Voire fig.IV.7*)

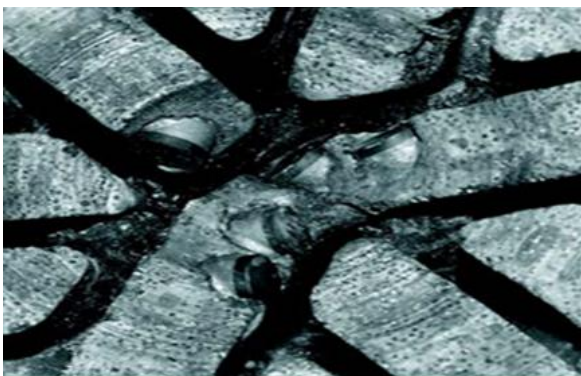


Fig. IV.7. Canaux bouchés

IV.3.3.LT – Perte de taillants :

Il s'agit d'une structure de coupe ayant perdu un ou plusieurs de ses éléments. La disparition totale de l'élément de son logement suppose une usure liée à l'abrasage. La perte d'éléments peut être très dommageable pour le reste de la structure. Généralement, la perte d'un élément de coupe crée un "méplat" qui augmente la sollicitation des éléments adjacents, entraînant des dommages supplémentaires à des niveaux d'énergie élevés. La perte d'un élément de coupe peut accroître la charge de travail des éléments restants. Cela peut aboutir à une usure circulaire ou à un évidement de l'outil. (Voire fig.IV.8)



Fig. IV.8. Perte de taillants

IV.3.4.LN – Perte des buses :

Une ou plusieurs buses d'éjection ont disparu du trépan. Il ne s'agit pas d'un "Défaut d'usure des structures de coupe" et le code défaut doit être utilisé dans la colonne "Remarques – Autres défauts d'usure". La perte de pression de la pompe et la réduction du ROP est le signe d'une perte de buse(s). (Voire fig.IV.8)



Fig. IV.9. Perte des buses

IV.3.4. LM – Perte de matrice :

Une ou plusieurs lames de l'outil ont perdu la partie externe de la matrice. Ce phénomène ne doit pas être confondu avec l'usure des sommets de lames mais peut inclure la casse de ces dernières. (Voire fig.IV.10)

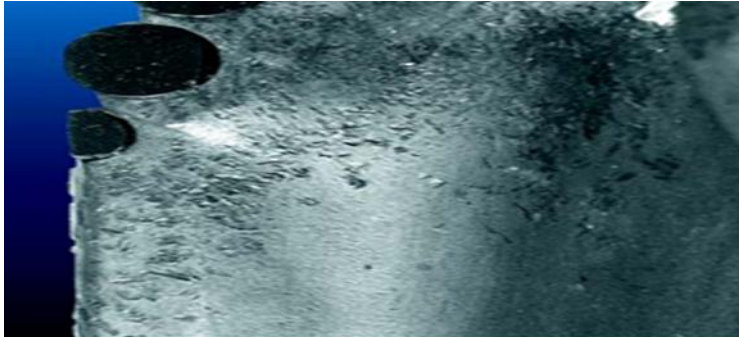


Fig. IV.10. Perte de matrice

➤ Comparer avant et après des images :

au-dessus de. La notification comment les GHI sont réduit presque usé à la nervure mais là n'est aucun usage sur la nervure réelle lui-même. Ceci est confirmé par la prise avant et après des mesures de profondeur de nervure.

Jusqu'à ce que les GHI soient usés l'éclat avec la nervure et la nervure commence à porter la catégorie mate ne devrait pas dépasser un 1-1

Ce bit était a évalué : 1-1-WT-A-X-I-BT-TD

Fig. IV.11. GHI

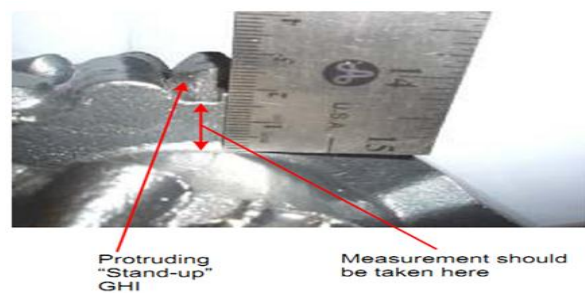


Fig.IV.12.L'usure de gage



Les tableaux suivants présentent les paramètres de forage dans un chaque puits et l'usure des outils enregistrer:

- Le puits de HDZ14 Bit Record L'outil utilisé : imprégné[5]

FORMATION	QH	QH	QH	QH	QH
IN	3217	3241	3268	3288	3295
OUT	3241	3268	3288	3295	3318
MTR	24	27	20	7	23
CUM	26	27	20	7	23
HRS	13,82	25	24, 75	14, 50	24, 03
ROP	1,74	1,08	0,81	0,48	0,96
MW	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53
WOB(t)	5-7	1-5	3 -5	4- 6	5- 8
RPM	176-189	50-90	59 -90	76 -108	114- 178
TORQ (lb*ft)	2168-3436	1560 -2376	1294- 2575	1662- 2110	1481- 4545
FR (l/min)	775-831	459 -530	462 -491	460 -500	701 -887
SPP (psi)	2465-2622	1730 -2127	1657- 1734	1602 -1751	2190- 2945
I	5	1	1	1	3
O	4	1	2	2	3
D	WT	WT	WT	WT	WT
L	A	A	A	A	A

TAB. IV.3 : Le puits de HDZ14

- Le puits HDZ 15 Bit Record L'outil utilisé : imprégné[5]

FORMATION	QH	QH	QH	QH	QH	QH	QH	QH	QH	QH
IN	3242	3256	3268	3273	3291	3295	3305	3322	3330	3340
OUT	3256	3268	3273	3291	3295	3305	3322	3330	3340	3348
MTR	14	12	5	18	4	10	17	9	10	8
CUM	14	12	1	18	4	10	17	9	10	8
HRS	35,37	22,24	11,75	32,82	2,57	18,42	33	19,45	23	18,20
ROP	0,40	0,53	0,45	0,55	1,56	0,52	0,52	0,46	0,43	0,44
MW	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
WOB(t)	3-5	3-4	2-5	2-5	6-8	2-6	2-6	2-6	3-5	3-6
RPM	70-110	70-130	80-130	65-70	120-140	65-80	60-92	50-112	70-100	70-90
TORQ (lb*ft)	1000- 2080	1300- 1700	1400- 1500	1300- 1770	2300- 3500	1300- 1700	1300- 1700	1300- 1700	1400- 2700	1300- 2300
FR (l/min)	550	510	530	590- 600	800	590- 620	600	600	600	600
SPP (psi)	1700- 1850	1480- 1540	1400- 1500	1750- 1800	2250- 2500	2100- 2200	1950- 2150	2100- 2250	2150- 2450	2050- 2250
I	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
O	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1
D	WT	WT	WT	WT	WT	WT	WT	WT	WT	WT
L	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

TAB. IV.4: Le puits HDZ 15

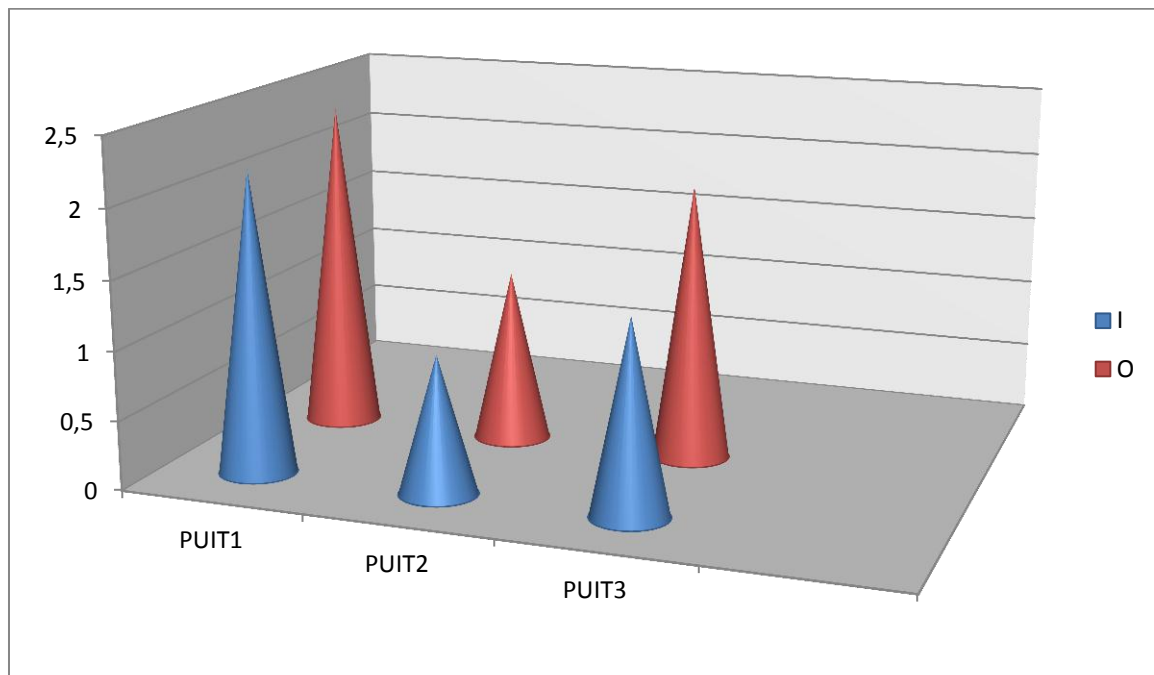
- Le puits HDZ 17 Bit Record L'outil utilisé : imprégné[5]

FORMATION	QH	QH	QH	QH	QH	QH	QH
IN	3209	3213	3235	3241	3244	3330	3340
OUT	3213	3235	3241	3244	3251	3340	3348
MTR	4	22	6	3	8	10	8
CUM	116	22	6	3	8	10	8
HRS	8,63	26,80	13,91	9,20	17,83	23	18,20
ROP	0,46	0,82	0,43	0,27	0,42	0,43	0,44
MW	1,45	1,49	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
WOB(t)	7-9	2-5	3-6	2-7	2-5	3-5	3-6
RPM	100- 120	120- 140	55-90	55-90	55- 100	70- 100	70-90
TORQ (lb*ft)	1300- 4000	1000- 4500	800- 1400	1000- 1700	1100- 2000	1400- 2700	1300- 2300
FR (l/min)	900	600- 880	550	550	550	600	600
SPP (psi)	2700	1700- 3200	1700- 1900	1800- 2050	1800- 2100	2150- 2450	2050- 2250
I	1	2	2			1	1
O	3	2	2			1	1
D	WT	WT	WT			WT	WT
L	A	A	A			A	A

TAB. IV.5: Le puits HDZ 17

➤ **LES HISTOGRAMMES :**

Le premier histogramme présent l'évaluation de l'usure intérieure et l'extérieure de l'outil(I.O) à travers les puits:

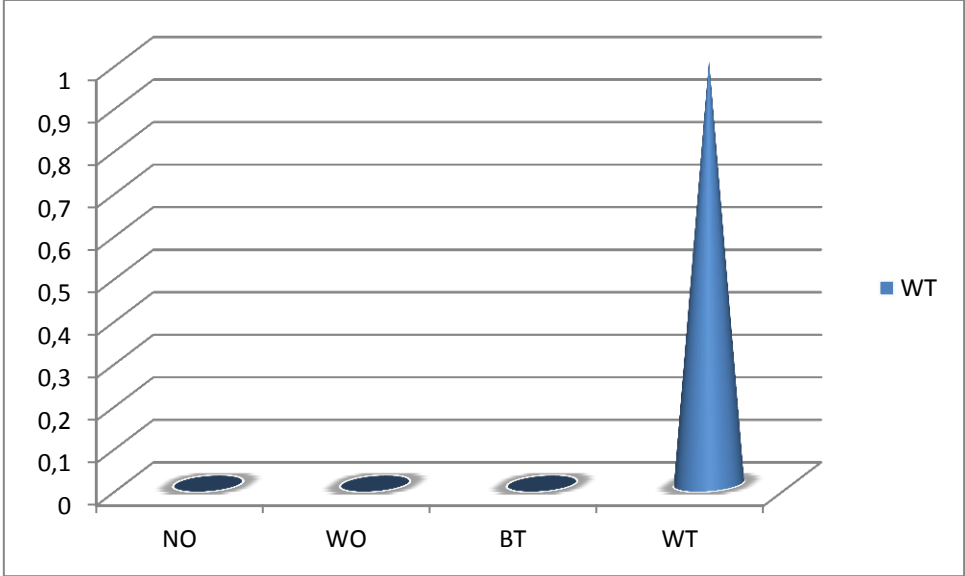


Histogramme IV.1: l'évaluation de l'usure (I, o) à travers les puits

D'après les histogrammes l'évaluation de l'usure (I, o) à travers les puits, on a constaté que l'usure elle est de l'ordre 2 ce qui signifie que n'y a pas un impact très important sur la partie inférieure de la structure de l'outil.

➤ la même chose pour outer (ROW) qui est de l'ordre (3)

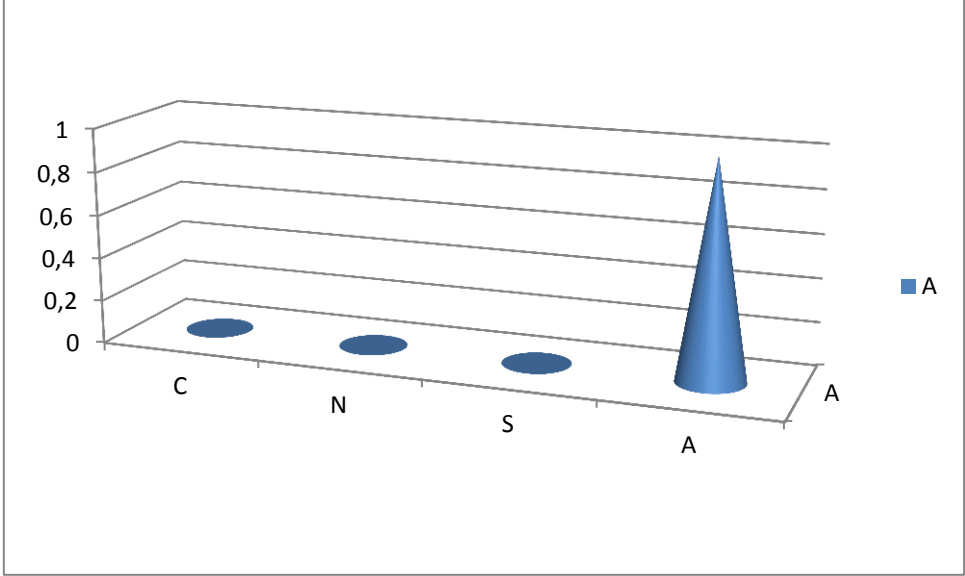
Le deuxième histogramme présent l'évaluation de l'usure dent usée (WT) :



Histogramme IV.2 : l'évaluation de l'usure (WT)

D'après l'histogramme on a constaté que l'usure elle a un caractère(WT).

Le troisième histogramme présent l'évaluation de l'usure dans toute la structure de l'outil:



HistogrammeIV.3: l'évaluation de l'usure (A)

D'après, les histogrammes on a constaté que l'usure elle est répartie sur toute la structure de l'outil.

CONCLUSION:

Quartzite de Hamra se localise dans l'ordovicien de couleur blanchâtre, transparent et translucide fortement compacté, ce type de formation et la bête noir de tous les foreurs au monde, la vitesse d'avancement tend à diminuer de plus en plus avec la profondeur.

Ce modeste travail nous a mené, de se familiariser avec les outils de forage et leur usure durant leur fonctionnement face à une formation géologique, l'impact de ce type de formation sur l'usure d'un outil imprégné.

Selon les résultats du dull grading à travers 3 puits forés dans la région de HDZ, on a constaté que, l'usure causée par ce type de formation est de l'ordre 2,3 respectivement à I et O rows, et le caractère d'usure le plus marqué WT, et des empreintes de frottement abrasives dans toute la structure de l'outil.

Recommandation comparativement les paramètres de forage appliqués dans cette section de QH en à enregistrer, WOB excessive suivie par une rotation intensive ce qui configure ce type d'usure.

Alors de préférence dans ce type de formation il est recommandé de forer avec les paramètres suivants:

WOB entre 2 et 2,5T et RPM varier proportionnellement avec le WOB commençons d'une valeur marquée par un bon ROP.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] " Généralité sur la région de hassi dzabat "IRARA DP
- [2] " Les différents types des outils de forage " Cellule des outils DF
- [3] "l'architecture des outils "Schlumberger
- [4] " Généralité sur dull grading "Baker hughes
- [5] " Rapport de puits " NOBORS DRELLING