

Forage pétrolier ou puits pétrolier

Trou foré dans le sous-sol donnant l'accès aux gisements d'hydrocarbures.

Types

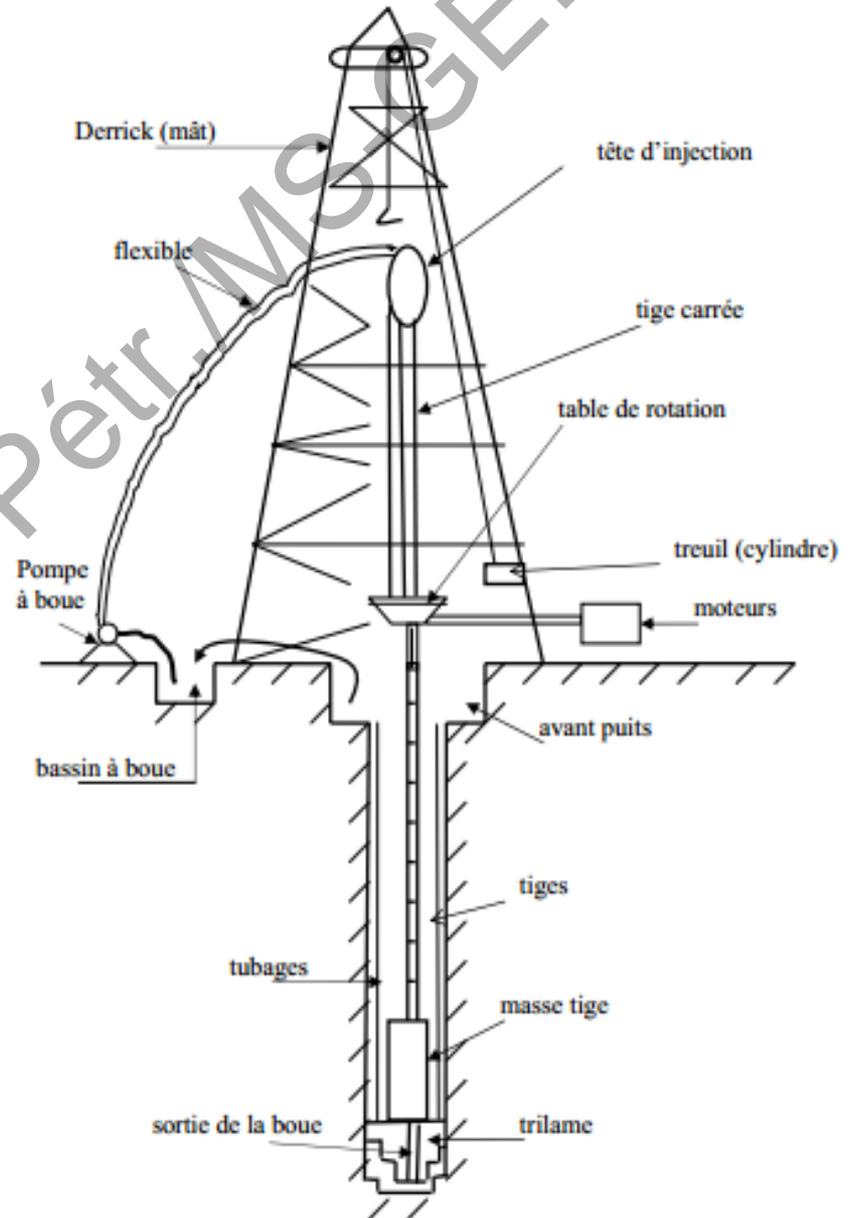
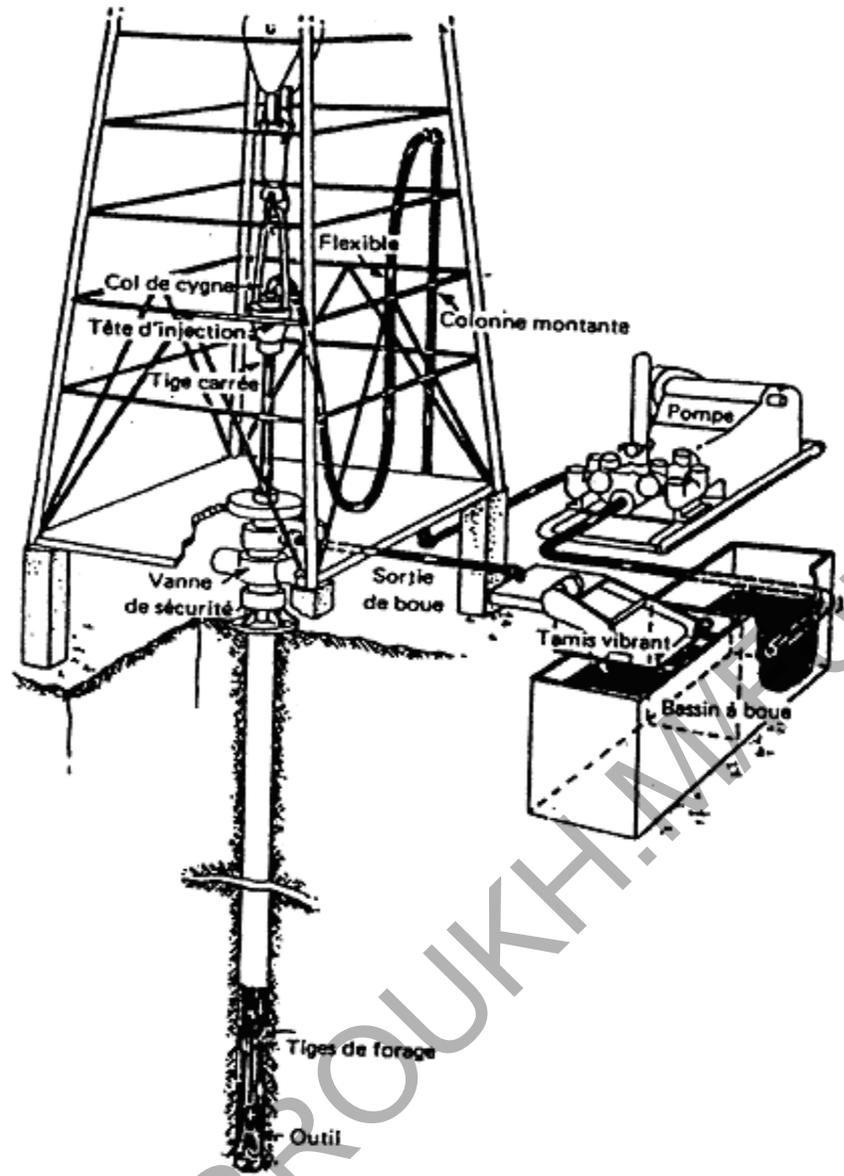
F. d'exploration (recherche des gisements)

F. d'exploitation (l'accès aux gisement et mise en production des gisements)

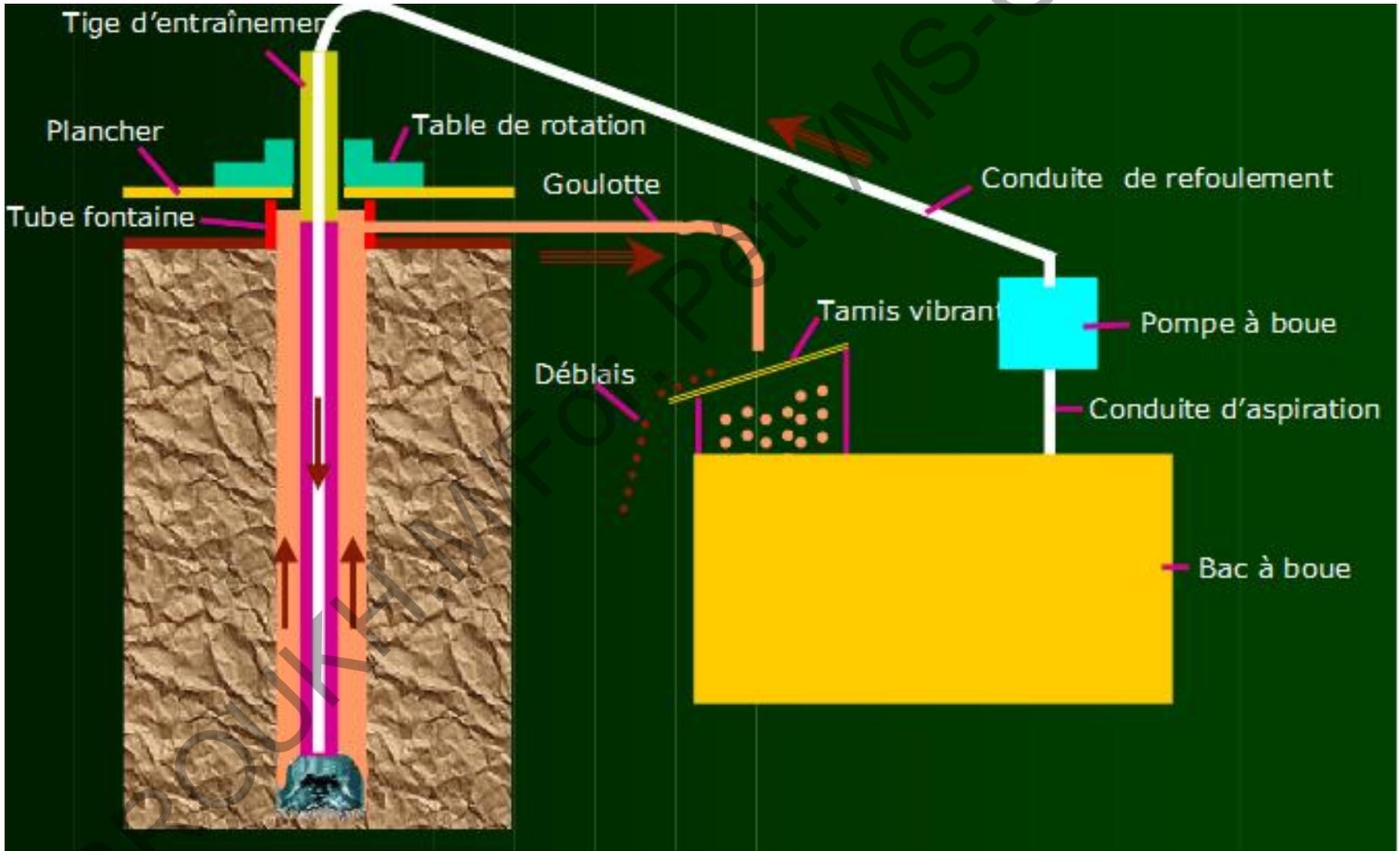
Forage d'exploitation

ERROUKH.M/For. Pétr./MS-GEE.19

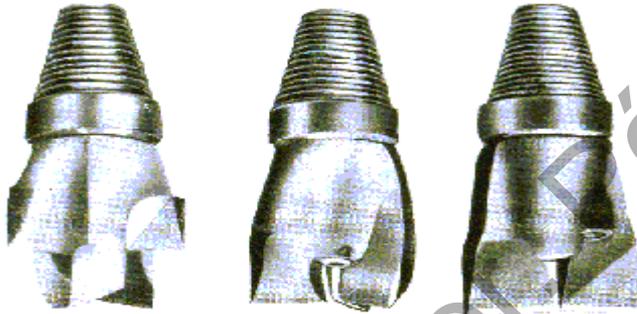
Forage Rotarv



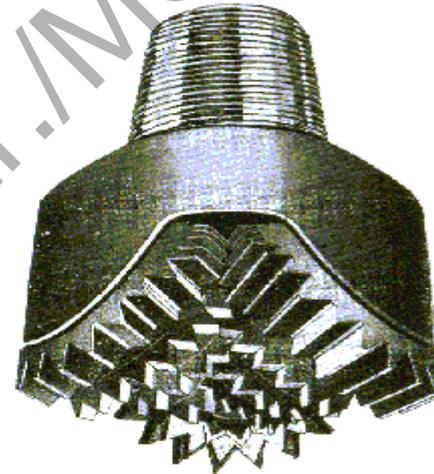
Circulation du fluide de forage



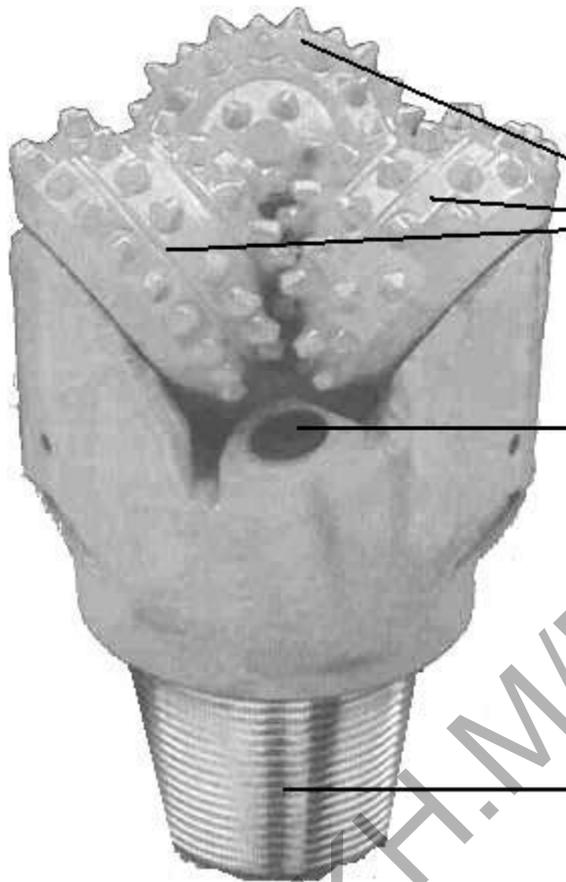
L'outil (ou trépan)



OUTILS A LAMES



OUTILS A MOLETTES(ROCKBITS)



3 cônes dentés

arrivée du fluide

filetage conique gauche

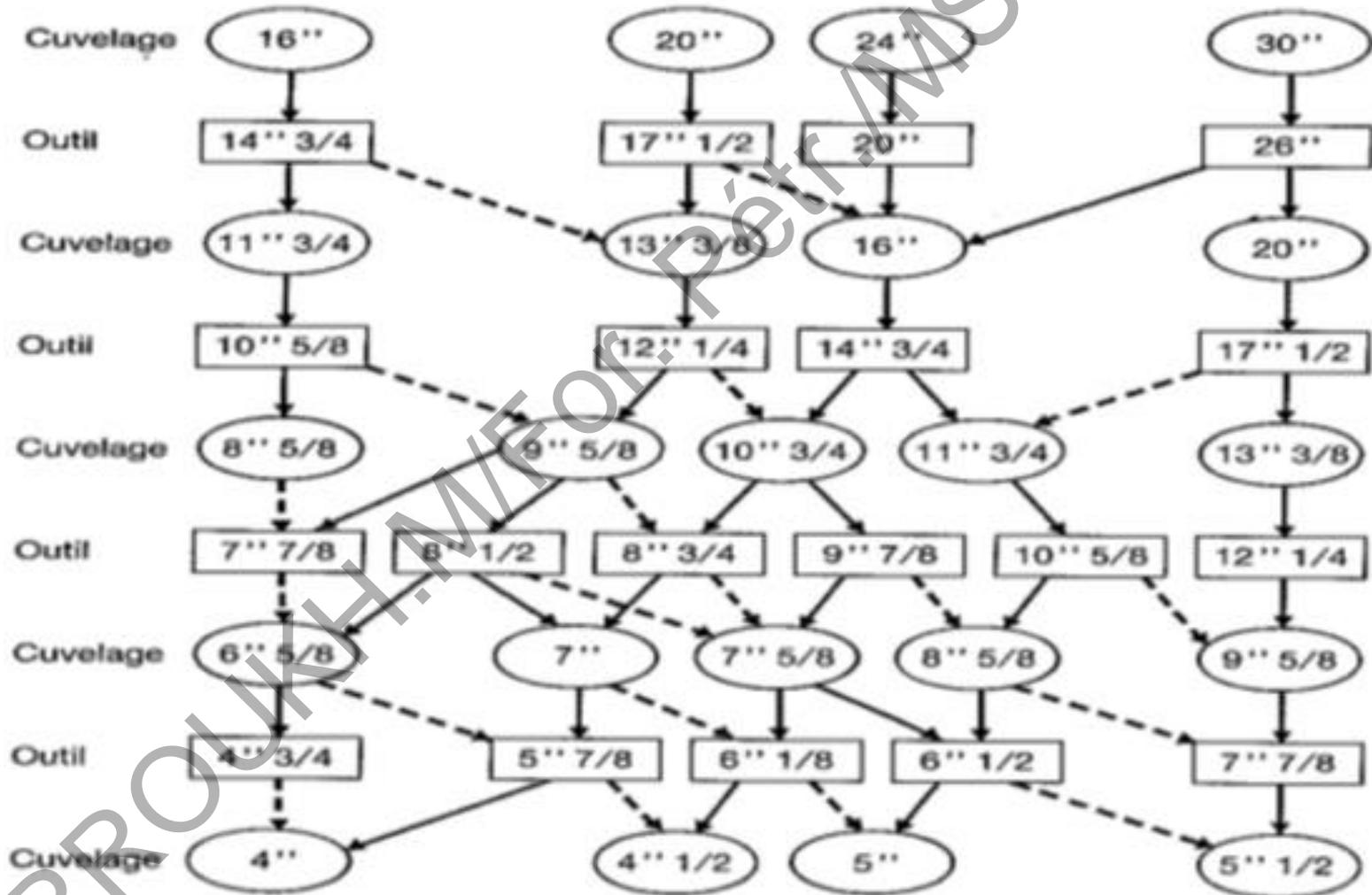


ERROUKHIM/For. Pétr./MS-GEE.19

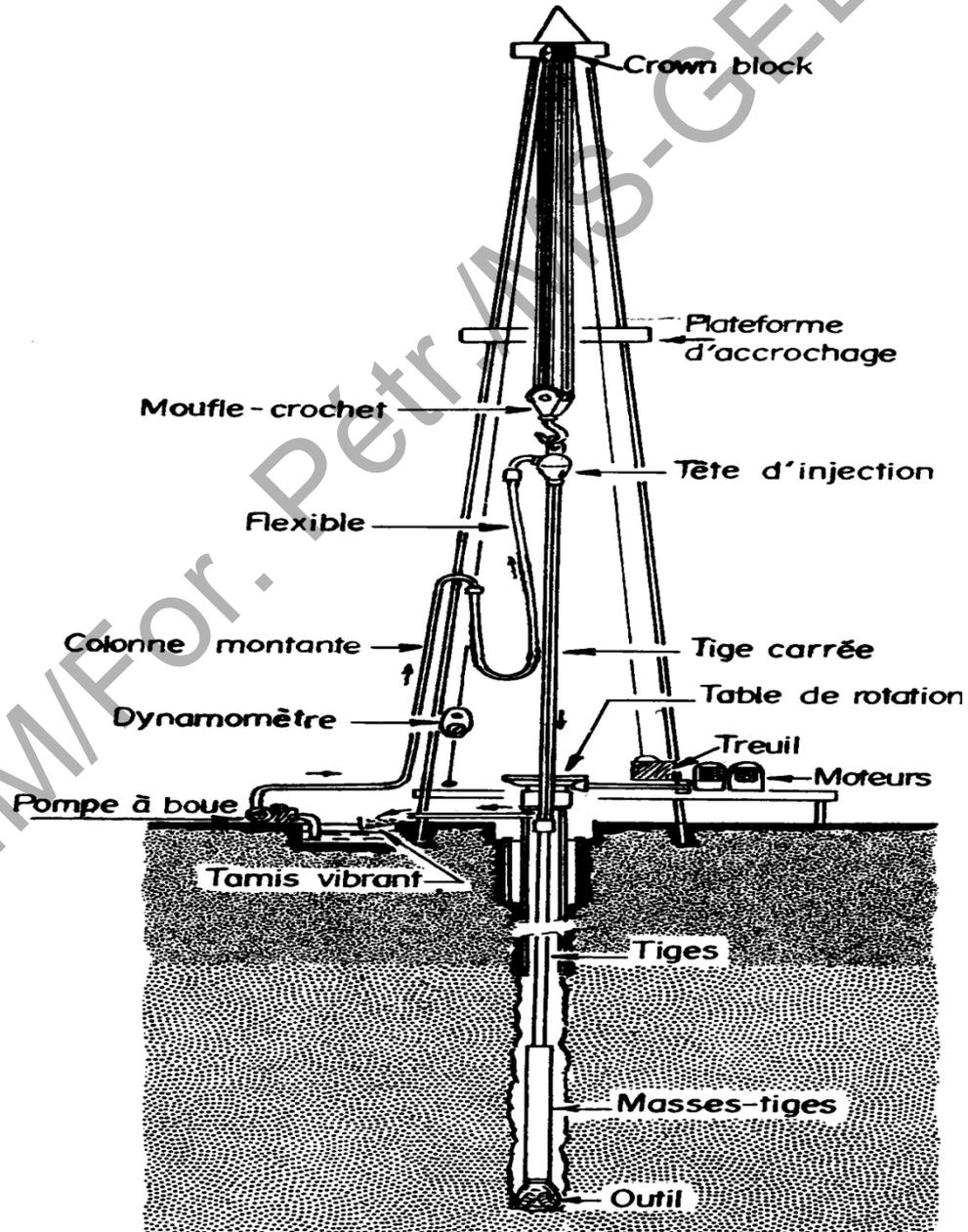
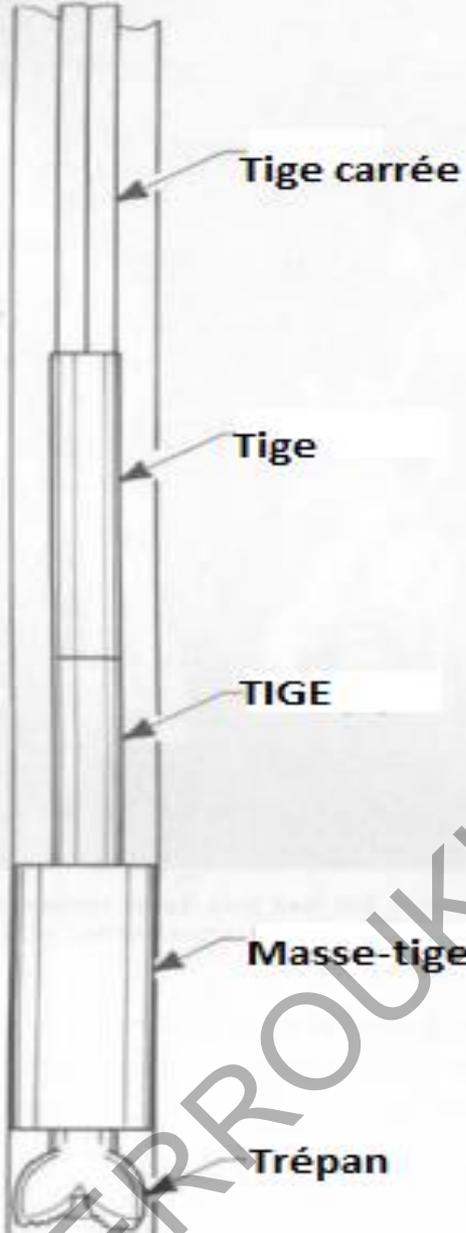




Sélection des diamètres du trépan en fonction des diamètres de tubage



La ligne de sonde



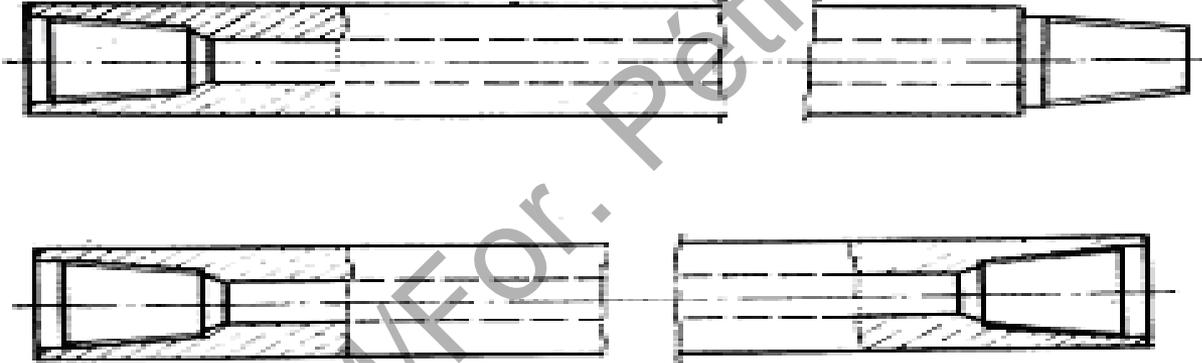
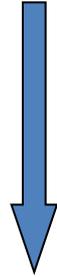
Les fonctions de la ligne de sonde

- Transmission du mouvement de rotation, depuis la surface jusqu'au trépan.
- Exercer par son poids une charge axiale sur l'outil, ce qui va permettre l'écrasement des terrains.
- - Forme un canal par lequel circule le fluide de circulation. (propre vers le fond, et avec les déblais vers la surface)
- Permettre d'effectuer les opérations auxiliaires. (carottage mécanique, essais des formations, instrumentation et d'autres...)

Eléments d'une ligne de sonde

- **Les masses-tiges** (drill collars), paroi très épaisse
- épaisseur comprise entre 25mm et 60mm, un diamètre de 3 1/8 pouces et 11 pouces
- longueur comprise entre 6 m et 9 m
- filetage réalisée sur la surface conique
- filetage normal ou spéciales
- jeu entre la paroi du forage et les masses tiges respectives de 2mm à 5 mm
- masses-tiges sont placées au dessus du trépan

Les masses-tiges



ERROUKH.M/For. Pétr./MS-GEE.19



Cylindriques

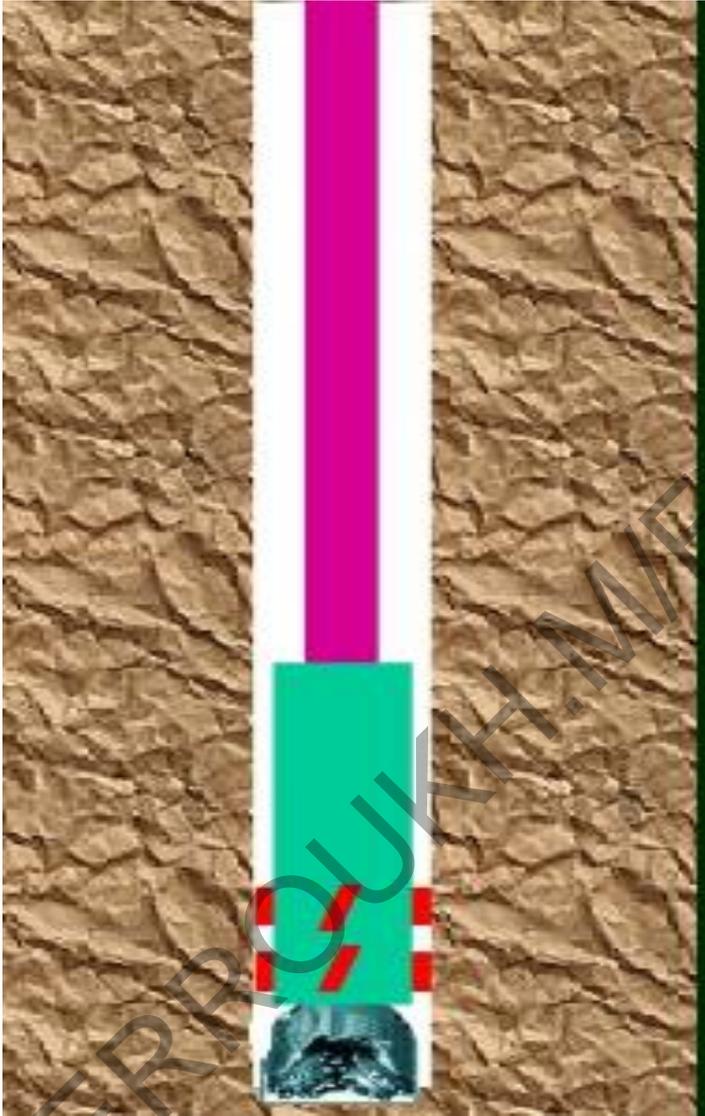
Creuses

Plus grosses que les tiges

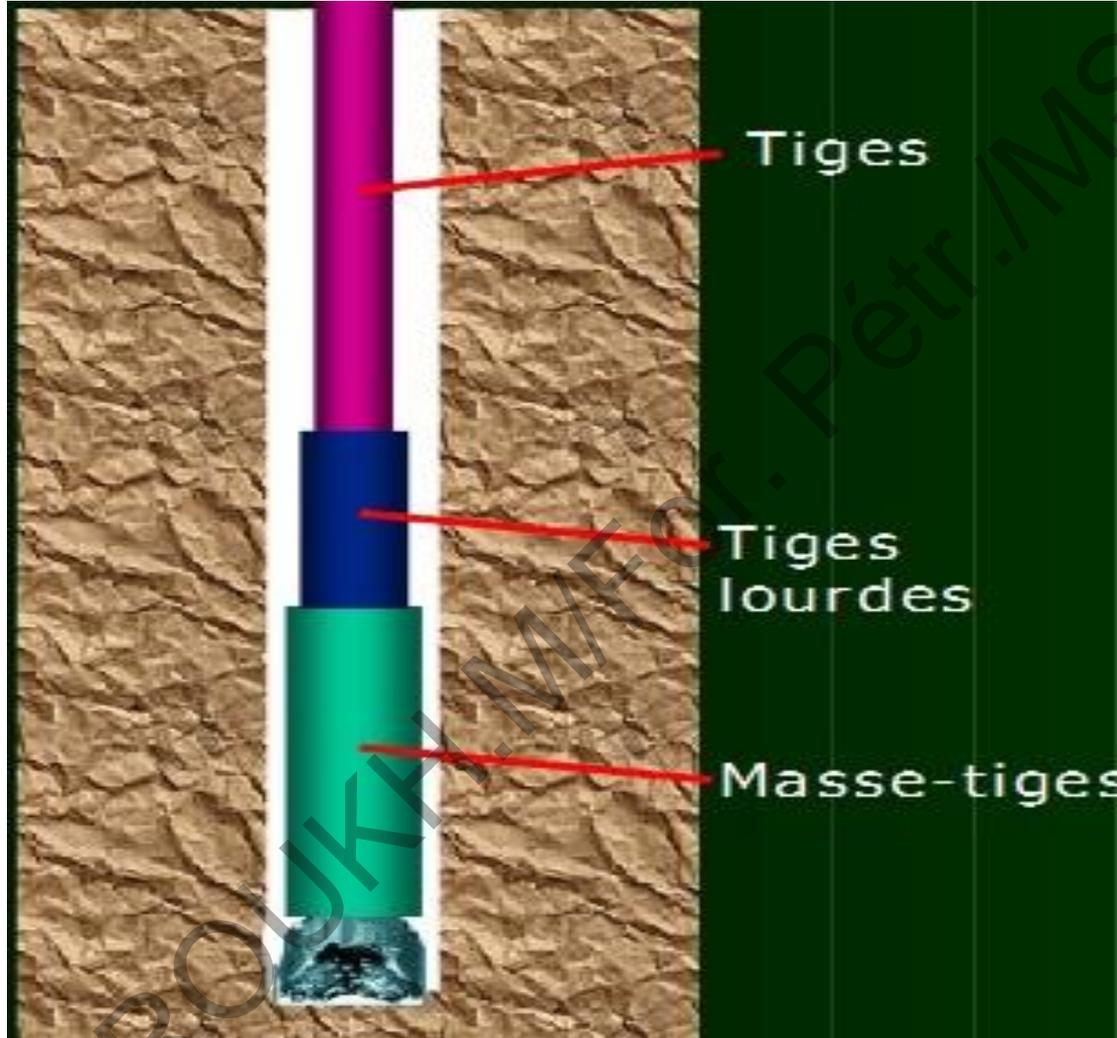
Plus lourdes que les tiges

Rigides

Les stabilisateurs



Tiges lourdes



Les tiges lourdes sont plus rigides que les tiges et moins rigides que les masse-tiges

Intercalées entre masse-tiges et tiges, elles évitent la rupture de ces

Les tiges (drill-Pipe)

- Elles sont placées juste au dessus des masses-tiges
- diamètre est de 60,3 mm à 168,3 mm.
- La longueur est de 6 mm ou de 9 mm
- le diamètre des raccords est supérieur au diamètre extérieur des tiges.
- , il existe de 1 à 4 épaisseurs différentes
- Les éléments sont reliés par les manchons spéciaux



Les tiges de forage sont :

Cylindriques

Creuses

Souples

Résistantes

Elles ont :

Un filetage femelle en haut

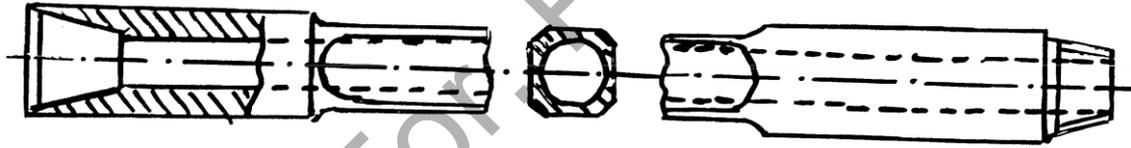
Un filetage mâle en bas



Les tiges carrées (ou kelly),

- Cette tige fait la liaison entre la tête d'injection et le train de tige
- Elle reçoit le mouvement de rotation par l'intermédiaire de la table de rotation
- Elle est unique
- les raccords font partis du corps de la tige
- Pour les forages de grand diamètre, on utilise les tiges hexagonales

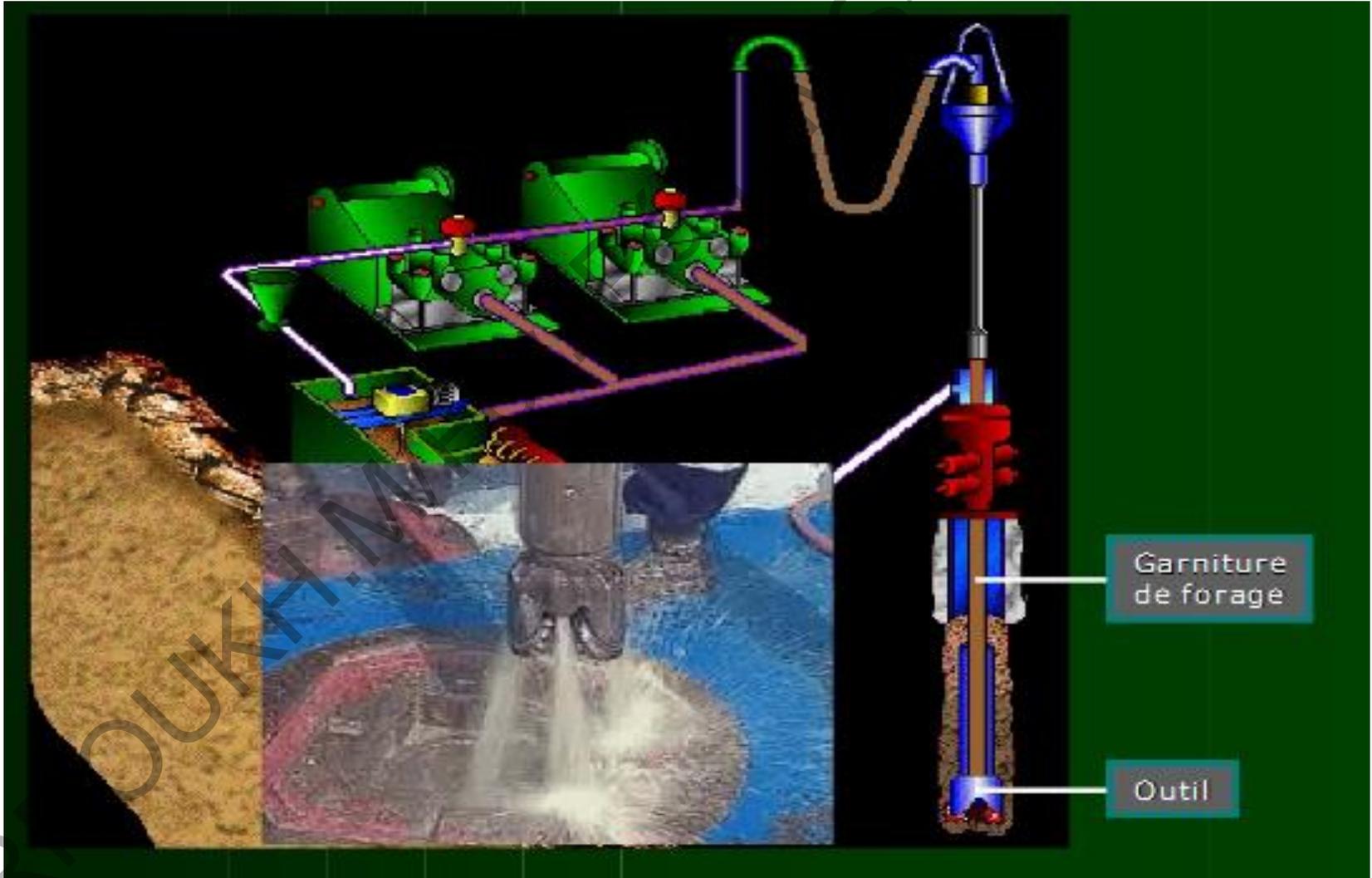
Tiges carrées



ERROUKH.M/ForumPétr./MS-GEE.19

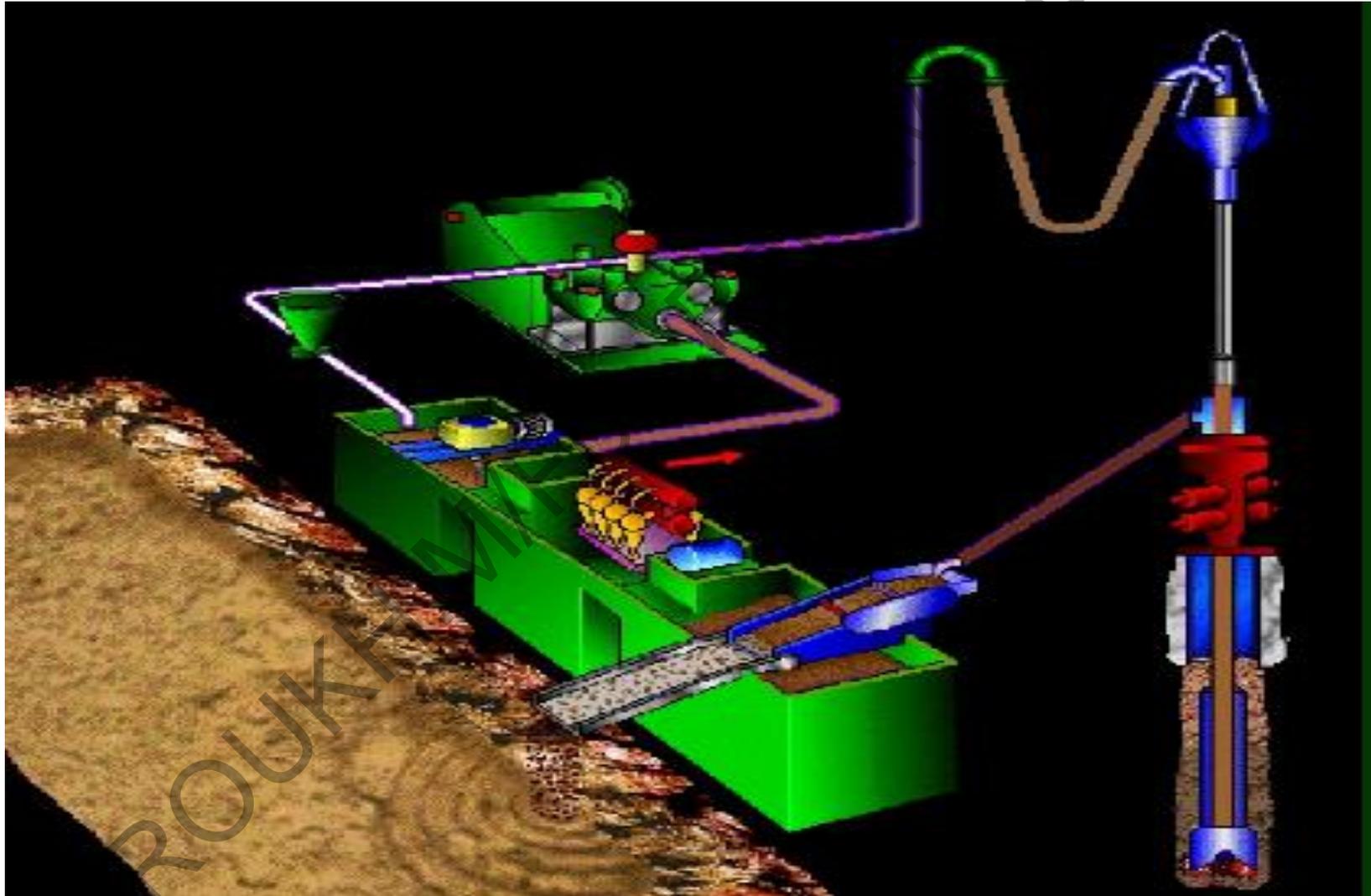
Le fluide de forage

Il est pompée en continu depuis le bassin de boue, en passant par la tige carrée, les tiges, les masses-tiges, les orifices de l'outil, l'espace annulaire entre la paroi du sondage et les le train de tige pour arriver de nouveau au bassin de boue. Cette circulation, ne doit pas être interrompu (circulation directe).



OUKHY.M

Circuit de boue



Types de boues

- Boues à base d'eau
- Boues à base d'huile



Les conditions

Nettoyage du puits

Maintien des cuttings en suspension

Sédimentation des déblais fins en surface

Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde

Prévention du cavage et resserrement des parois du puits

Dépôt d'un cake imperméable

Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile

Augmentation de la vitesse d'avancement

Entraînement de l'outil

Diminution du poids apparent du matériel de sondage

Apport de renseignement sur le sondage

Contamination des formations productrices

Corrosion et usure du matériel

Toxicité et sécurité

Economie et rentabilité

ERROUKH.M/For. Pétr./MS-GEE.19

Les fonctions du fluide de forage

1-nettoyage du fond du trou

L'écartement de ces « cuttings » est réalisé par le jet du fluide de forage à travers les orifices du trépan avec une vitesse comprise entre 70 et 150 m/s. Cette vitesse est donnée par la relation

$$V_f = Q/A_e = 4Q / \pi * n * d^2$$

Avec : V_f , la vitesse du jet de fluide,
 Q , débit réalisé par la pompe,
 A_e , la section totale des évants,
 n , le nombre des évants,
et d , le diamètre de Cette dernière

Or la vitesse de remontée des cuttings est calculée à partir de la relation :

$$V_{rc} = Q/A = 4Q/\pi (D_f^2 - D_e^2)$$

V_{rc} , vitesse de remontée des cuttings ;

A , la section de l'espace annulaire,

D_f , diamètre du forage ;

D_e , diamètre extérieur des tiges de forage

La quantité d'argile q_{ag} nécessaire pour préparer un volume du fluide de circulation V_f est déterminée par la relation :

$$q_{ag} = \rho_{ag} * V_f * (\rho_f - \rho_e) / (\rho_{ag} - \rho_e)$$

Avec : ρ_{ag} , la densité d'argile ;

ρ_f , la densité du fluide à utiliser,

ρ_e , la densité de l'eau

2-Refroidissement et lubrification du l'outil

ERROUKH.M/For. Pétr./MS-GEE-19

3-Contrôle des pressions

$$P_h = \rho * g * H$$

Pour tenir les fluides existants initialement dans les forages, la pression hydrostatique P_h doit remplir la condition suivante :

$$P_h > P_f$$

Où, P_f est la pression de l'eau dans la formation

La pression P_h est réglée par l'intermédiaire de la densité du fluide utilisé

L'alourdissement de la boue est obtenu en lui ajoutant au mixer de la **baryte** ($BaSO_4$) de densité entre 3,6 et 4,2 kg/dm^3

la quantité de la barite nécessaire pour alourdir la boue à une certaine densité on utilise se système suivant :

$$V_{fi} + V_b = V_f$$

et

$$\rho_{fi} * V_{fi} + \rho_b * V_b = \rho_f * V_f$$

Où V_{fi} , volume du fluide initial, V_f , volume final de boue, V_b , volume de baryte, ρ_{fi} , densité du fluide initial, ρ_f , densité de la boue finale, ρ_b , densité de la baryte.

Les densités sont en tonnes / m^3 , les volumes en m^3

Résolution du système

-Pour $V_{fi} = 1 \text{ m}^3$, la quantité **Mb** de barite nécessaire pour alourdir la boue de ρ_{fi} à ρ_f on obtient :

$$V_b = (\rho_f - \rho_{fi}) / (\rho_b - \rho_f) \quad \text{en } \text{m}^3 / \text{m}^3$$

Où

$$M_b = \rho_b * (\rho_f - \rho_{fi}) / (\rho_b - \rho_f), \quad \text{en tonne} / \text{m}^3$$

- $V_{fi} = ?$ Et $V_b = ?$ Pour $V_f = 1 \text{ m}^3$

$$V_b = (\rho_b - \rho_f) / (\rho_b - \rho_{fi}) \quad \text{en } \text{m}^3 / \text{m}^3$$

Et

$$M_b = \rho_b * (\rho_f - \rho_{fi}) / (\rho_b - \rho_{fi}) \quad \text{en t} / \text{m}^3$$

Les relations précédentes peuvent être utilisées dans le cas d'un allègement du fluide utilisé. En prenant pour $\rho_b = \rho_{\text{eau}}$

4-le maintien en suspension de cuttings

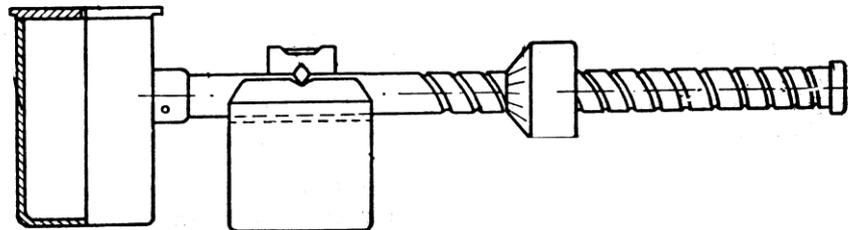
ERROUKH.M/For. Pétr./MS-GEE-19

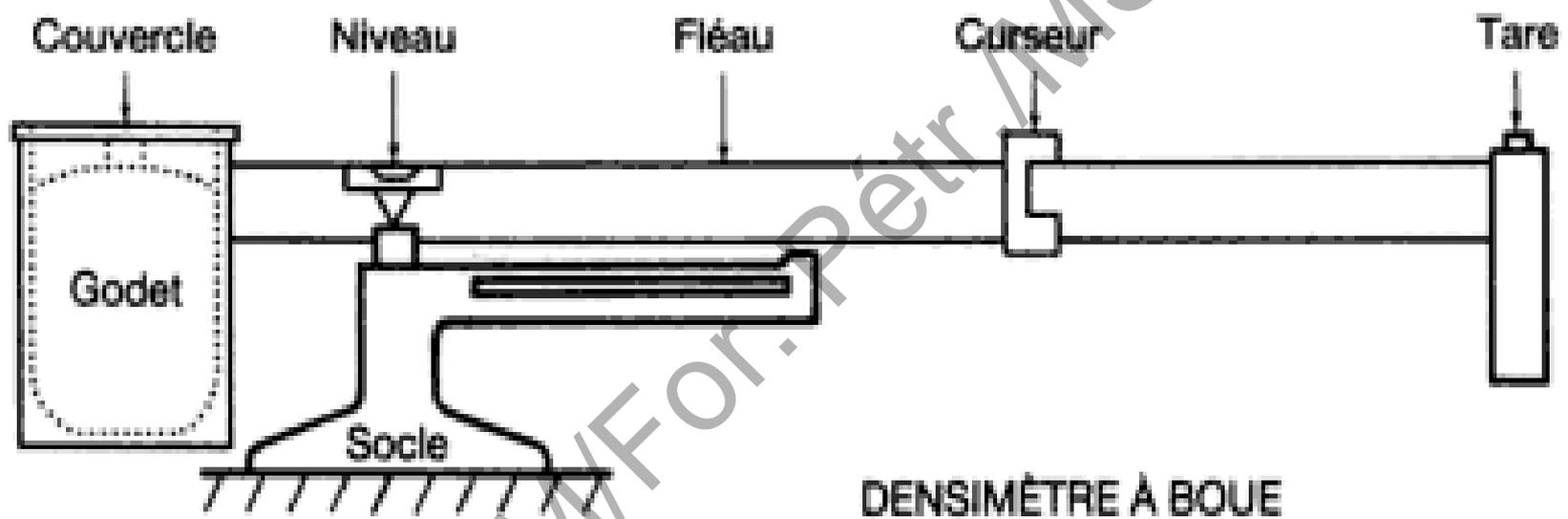
Les caractéristiques des fluides de forage

1-La densité

La densité du fluide utilisé peut être déterminée soit dans le laboratoire, soit sur place, dans le chantier en utilisant une balance de BAROID

On pèse un échantillon de boue d'un volume, égale à celui de la coupelle cylindrique situé à gauche de la planche. Et on équilibre en déplaçant le curseur et on lit, la valeur de la densité





DENSIMÈTRE À BOUE



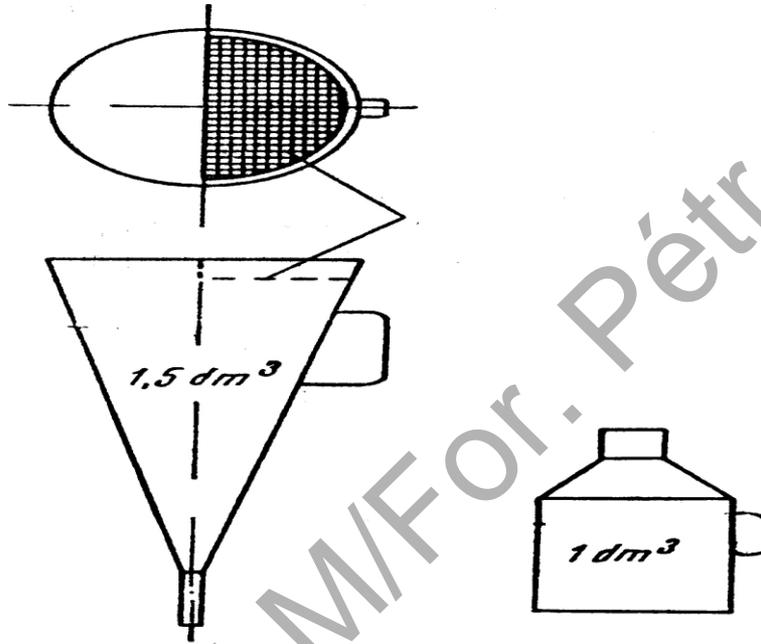
ERROUKH.M/For. Pétr./MS-GEE.19

2-Viscosité

De la valeur de la résistivité d'une boue, va dépendre la pression de pompage et la capacité de ce dernier à transporter les particules détachées par l'outil.

La viscosité peut être déterminée par **Entonnoir de MARSH**

Entonnoir de MARSH



ERROUKH:MEOR: Pétro:MS-GEE.19







entonnoir de MARSH

L'équipement est formé d'un entonnoir de MARSH d'une capacité de 1,5 litre de boue, et d'un récipient de capacité d'un litre.

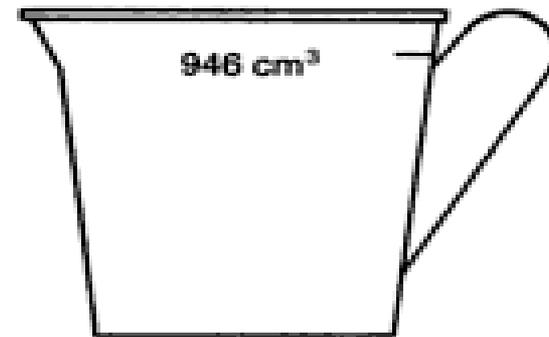
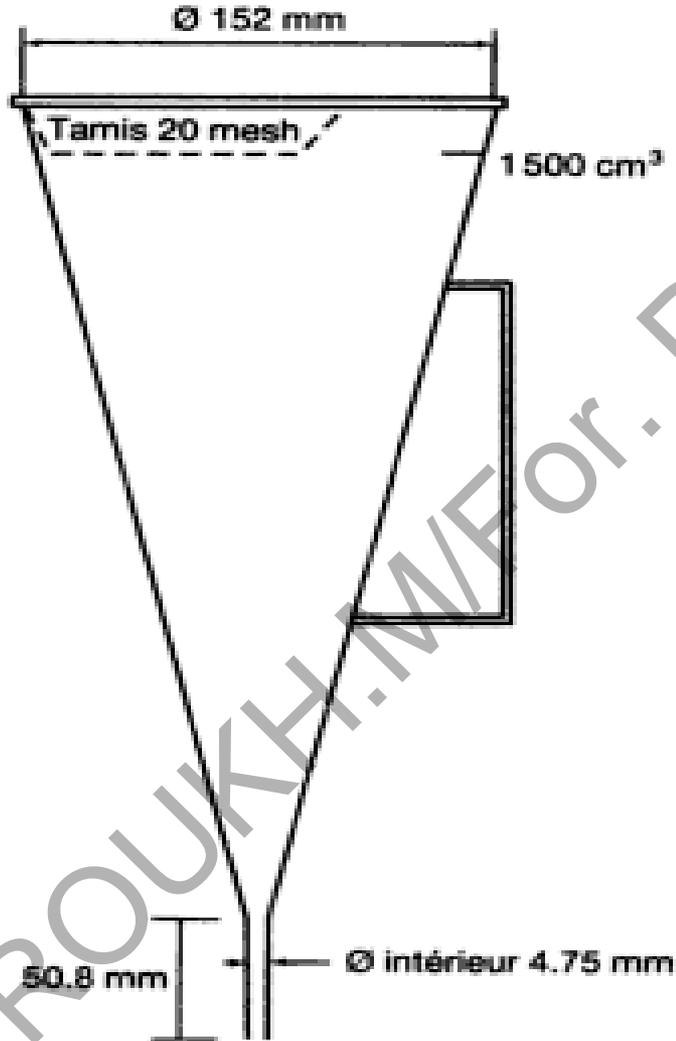
L'entonnoir est terminé par un ajutage rigoureusement calibré.

On mesure le temps en seconds nécessaires pour l'écoulement de 1 litre de boue, obtenant ainsi la viscosité MARSH.

Pour l'eau, la viscosité MARSH est de 28s. et de 35 à 45 s pour une bonne boue.

La boue de forage doit avoir une valeur de viscosité située entre 40 et 50 secondes en règle générale.

Pour un récipient de 946cm³, la viscosité est de 26s



ERROUKH.M/Prof. Pétr./MS-GEE.19



Viscosimètre rotatif

La viscosité plastique peut être calculer avec la formule: viscosité plastique= lecture à 600 tours par minute - lecture à 300tpm,

Exemple:

lecture à 600tpm=56 (taux de cisaillement)

Lecture à 300tpm=35(taux de cisaillement)

Donc Viscosité plastique
= $56 - 35 = 21$ Cp



3-Thixotropie

La thixotropie représente la capacité d'un fluide de forage de passer d'une consistance rigide (gel) lorsqu'il au repos, et de redevenir fluide après son agitation.

4- Colmatage et filtration

La filtration est la capacité du fluide de céder une partie du liquide à travers une membrane perméable sous l'action de la pression hydrostatique exercée par la colonne de boue.

Par contre le colmatage est la propriété du fluide de forage de déposer sur la paroi du forage un dépôt, comme résultat de la filtration.

Un bon fluide, préparé à base de l'eau et l'argile, a un filtrat de 10 à 15 cm³ et un cake de 3 mm d'épaisseur. Après traitement, ces valeurs peuvent passer de 1 à 3 cm³ et 1mm

6- La teneur en sable

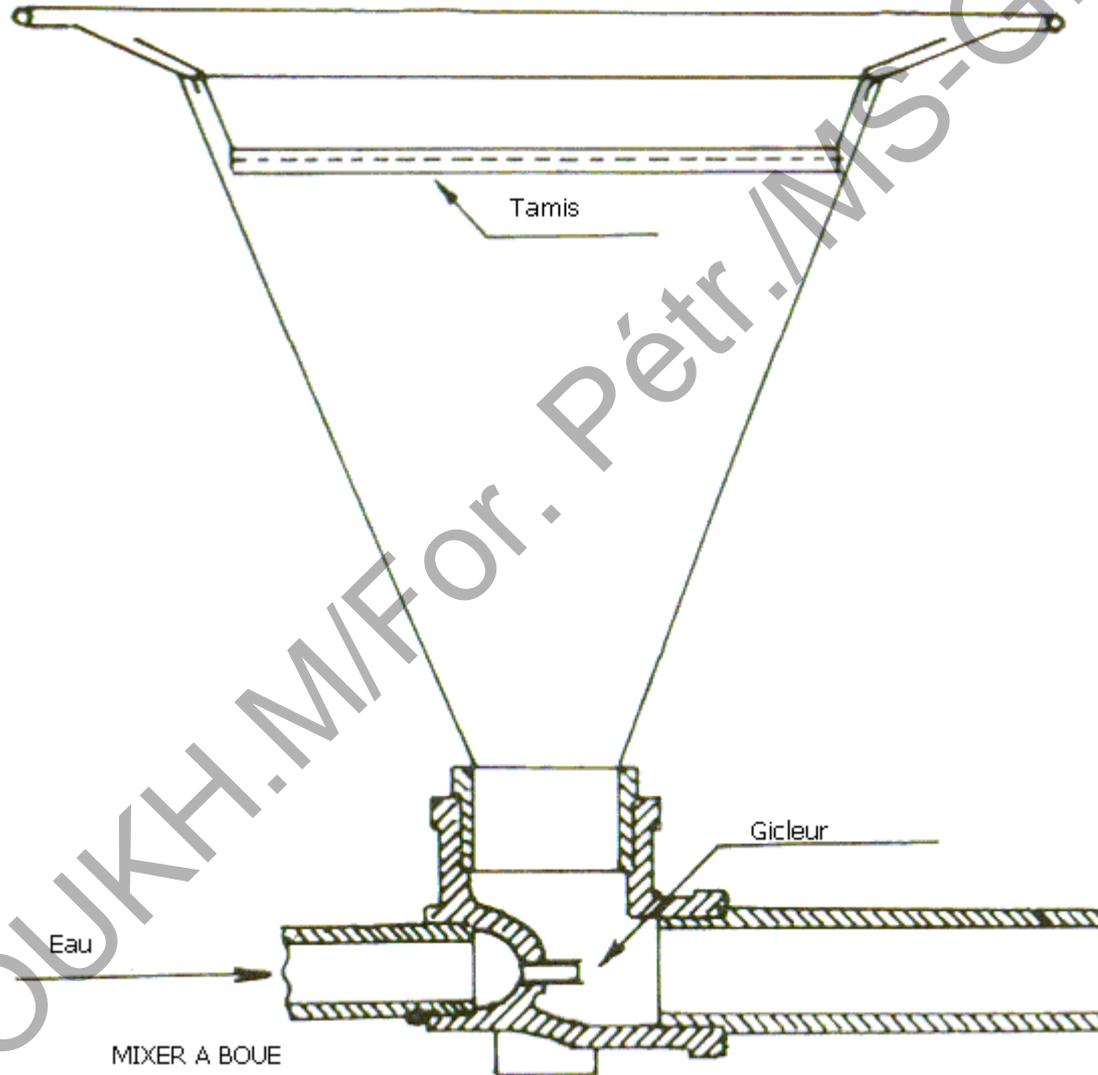
Elle représente la concentration (en pourcentage volumétrique) des particules solides contenues par le fluide, et dont le diamètre est de 0,074mm à 3mm. Ces sables proviennent des terrains. Si cette teneur est importante, elle va éroder rapidement l'équipement en contact avec cette dernière. Le maximum admissible est de 0,5 %.

7- Le potentiel d'hydrogène, pH

Le pH constitue un contrôle de l'acidité et de l'alcalinité de la boue. Le calcul du pH est nécessaire, surtout, lorsque la boue est traitée chimiquement, d'ailleurs, il constitue un indice de contamination.

Les fluides naturels ont un pH de 7 à 8, par contre ceux traités, ont un pH de 8 à 13. Une boue naturelle, dont le pH est supérieur à 11, implique que cette dernière est contaminée, soit par le ciment, soit par des fluides en provenance de la différente formation.

Préparation du fluide de forage





Les composants de base d'un fluide de forage sont l'eau et l'argile. Ce mélange peut être préparé dans le forage même, ou en surface en utilisant le mixer à boue

Pour le deuxième procédé, la quantité d'argile, M_{ag} , nécessaire à la préparation d'un volume V_f est donnée par la relation :

$$M_{ag} = V_f * d_b (d_b - d_e) / (d_b - d_f)$$

Avec: d_b , la densité d'argile;

d_b , la densité du fluide ;

d_f , la densité de l'eau

Le dosage varie entre 3 et 8 % de bentonite, soit 30 à 80 kg de produit, par m^3 d'eau.

Le mélange s'opère dans les bacs à boue. Elle est reprise ensuite par une pompe, et refoulée dans le bac pour entrer en circuit dans l'ouvrage.

Tubage des forages

Le tubage consiste à introduire dans le forage une colonne formée de tubes métalliques reliés entre eux par filetage ou par soudure

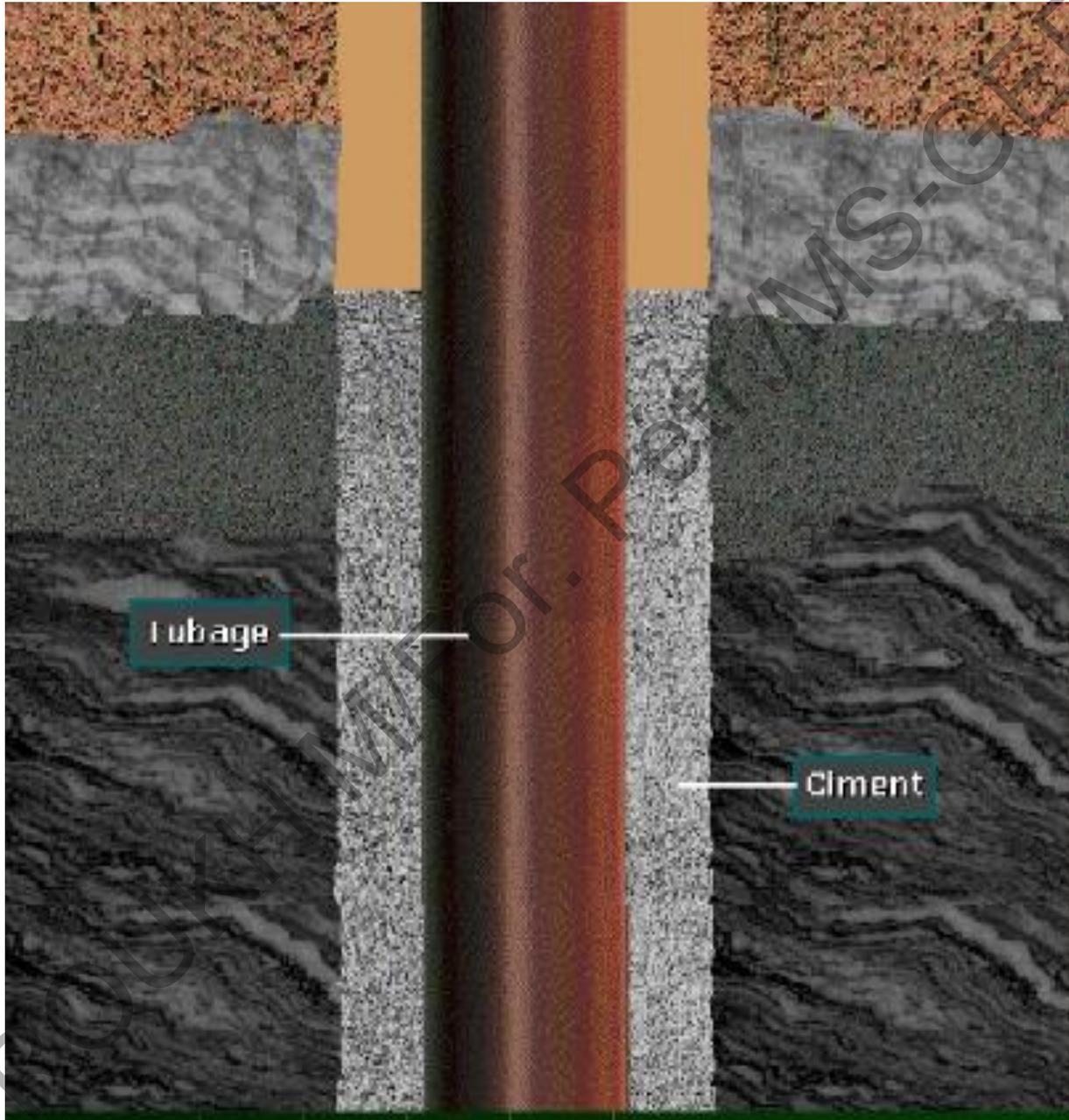
Le but est :

- Consolider les parois ;
- Isoler les formations géologiques conduire à une perte de circulation, ce qui va entraîner un rétrécissement du diamètre, et démolition des parois.
- Isoler les formations entre elles, par cimentation de l'espace annulaire ;
- Possibilité de montage des différentes installations de surface ;
- Former un canal de liaison entre les aquifères et la surface.

Le nombre de colonne dépend de la profondeur de l'ouvrage.

Pour les forages d'eau, on peut avoir, une seule colonne.

Le nombre, la profondeur, le type et le diamètre des différentes colonnes, constituent le programme de tubage



Colonne de guidage.

Cette colonne peut avoir une ouverture carrée, ou circulaire de 0,8 à 1m de diamètre, et de 3 à 6 m de profondeur.

Pour les formations superficielles non consolidées, la profondeur peut être de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres.

Le rôle de cette colonne est :

- Assurer la verticalité de l'ouvrage ;
- Assurer la montée du fluide jusqu'au bassin à boue,
- Isoler les formations aquifères de surface évitant ainsi leur contamination.
- Lorsque les roches superficielles sont consolidées, on peut renoncer à cette colonne.

Colonne de surface

Cette colonne est obligatoire, et elle a le rôle de :

- Consolider la surface de l'ouvrage ;
- Protéger les ressources superficielles en eau ;
- Empêcher le contact entre les fluides contenus dans les formations et le fluide de forage ;
- Elle représente un support pour l'équipement de surface.
- La profondeur de cette colonne dépend de la nature des formations traversées.
- Dans les conditions normales, la profondeur est de 50 à 300m.
- Elle peut être de 900 à 1000m. Le diamètre dépend de la profondeur finale de l'ouvrage, du nombre total des colonnes et de l'objectif du forage, et il varie de 10 $\frac{3}{4}$ " à 20".

Colonne d'exploitation

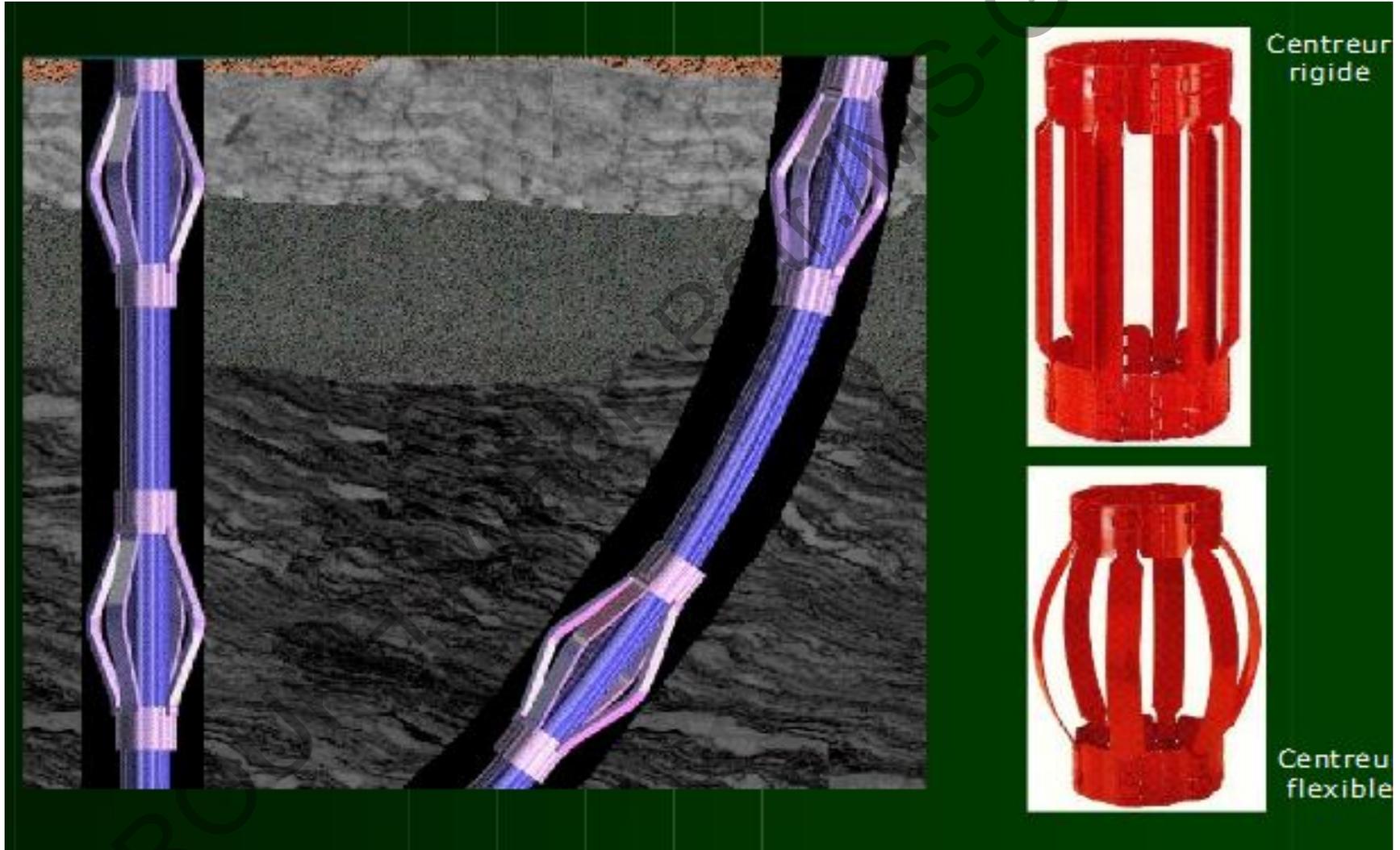
Cette colonne est obligatoire,
son rôle est :

- Assurer l'exploitation des ressources hydriques ;
- Permettre l'exploitation sélective des différentes formations ;
- Assurer la réalisation des différentes opérations pour améliorer la production (ex. fissuration hydraulique).
- Le diamètre de cette colonne dépend du débit attendu et les méthodes d'exploitation, et il peut être de 4 ½" à 6 5/8"

Colonne intermédiaire

Ces colonnes se trouvent entre la colonne de surface et celle d'exploitation, et elle n'est pas obligatoire. Le diamètre est de 7" à 13 3/8"

Centrage des tubes

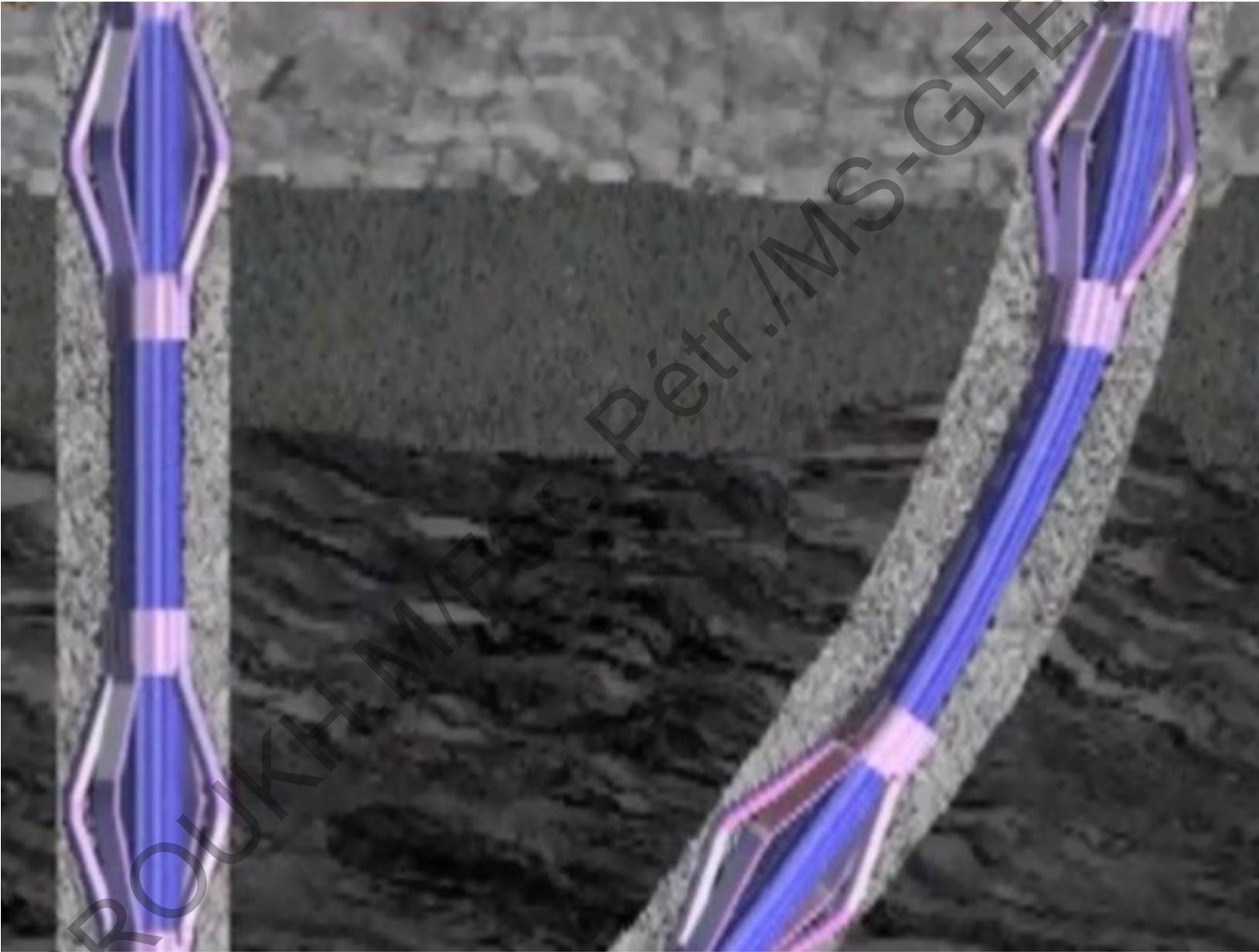






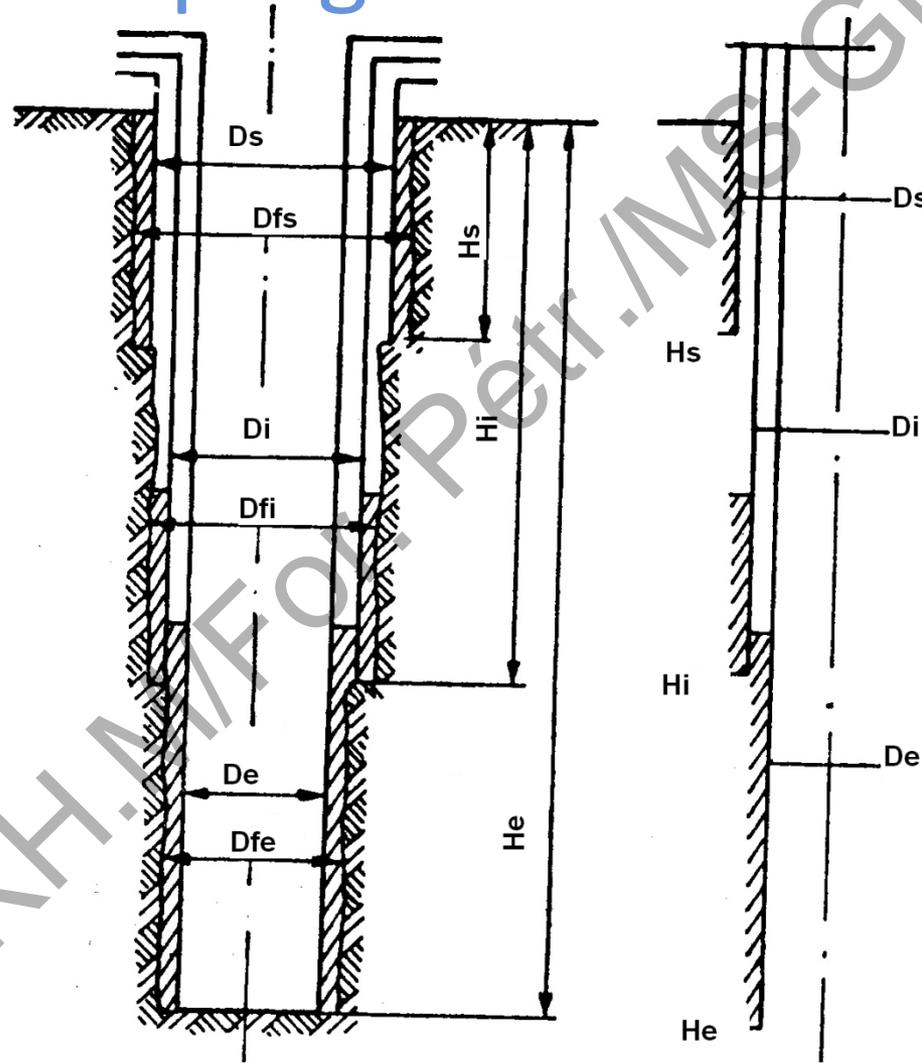
FERRUC

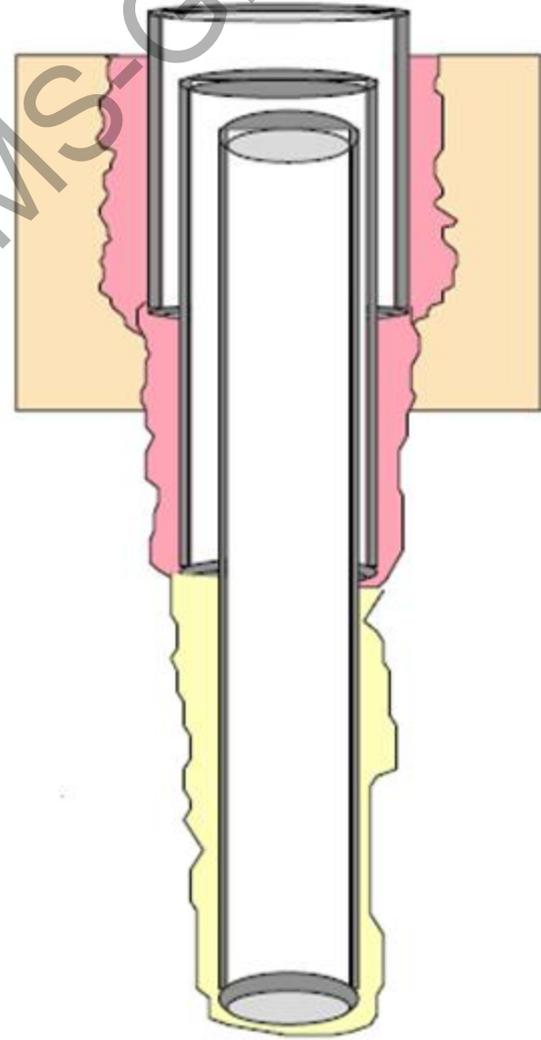
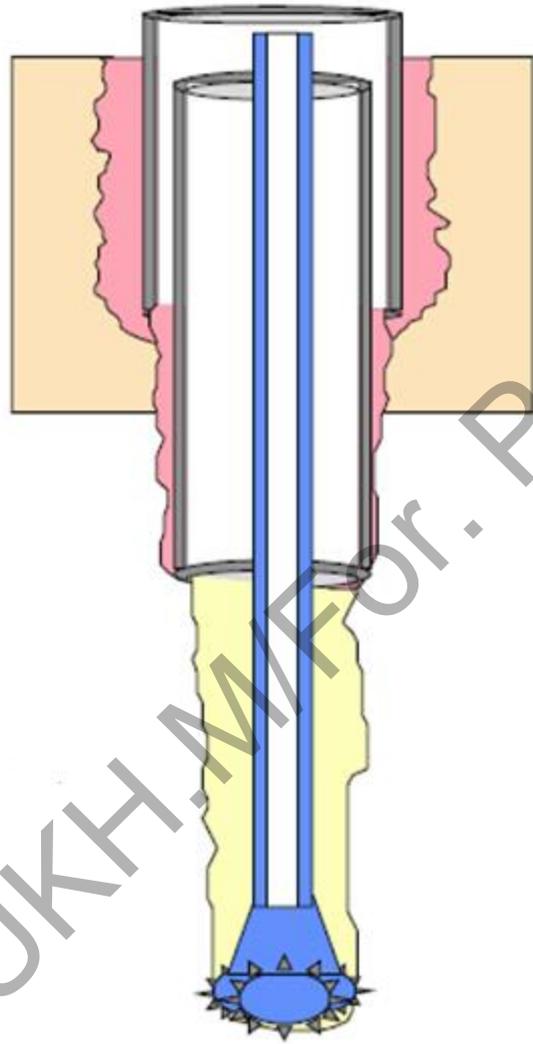
U. H. W. For. Pétr. MS-GEE. 19



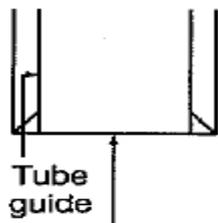
ERROUKH M/Ét. Pétro. /MS-GEE-19

Exemple d'un programme de tubage





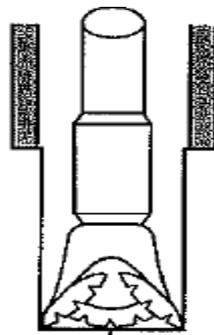
ERROUKH.M/For. P.Étr./MS.GEE.19



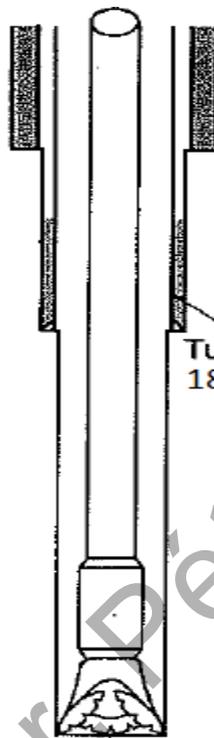
Tube guide

Diamètre du forage 36"

Avant trou. réalisé par le génie civil avant l'arrivée de l'appareil de forage



Forage en 26"



Forage en 17" 1/2

Tubage 18" 5/8



Forage en 12" 1/4

Ciment

Tubage 13" 3/8

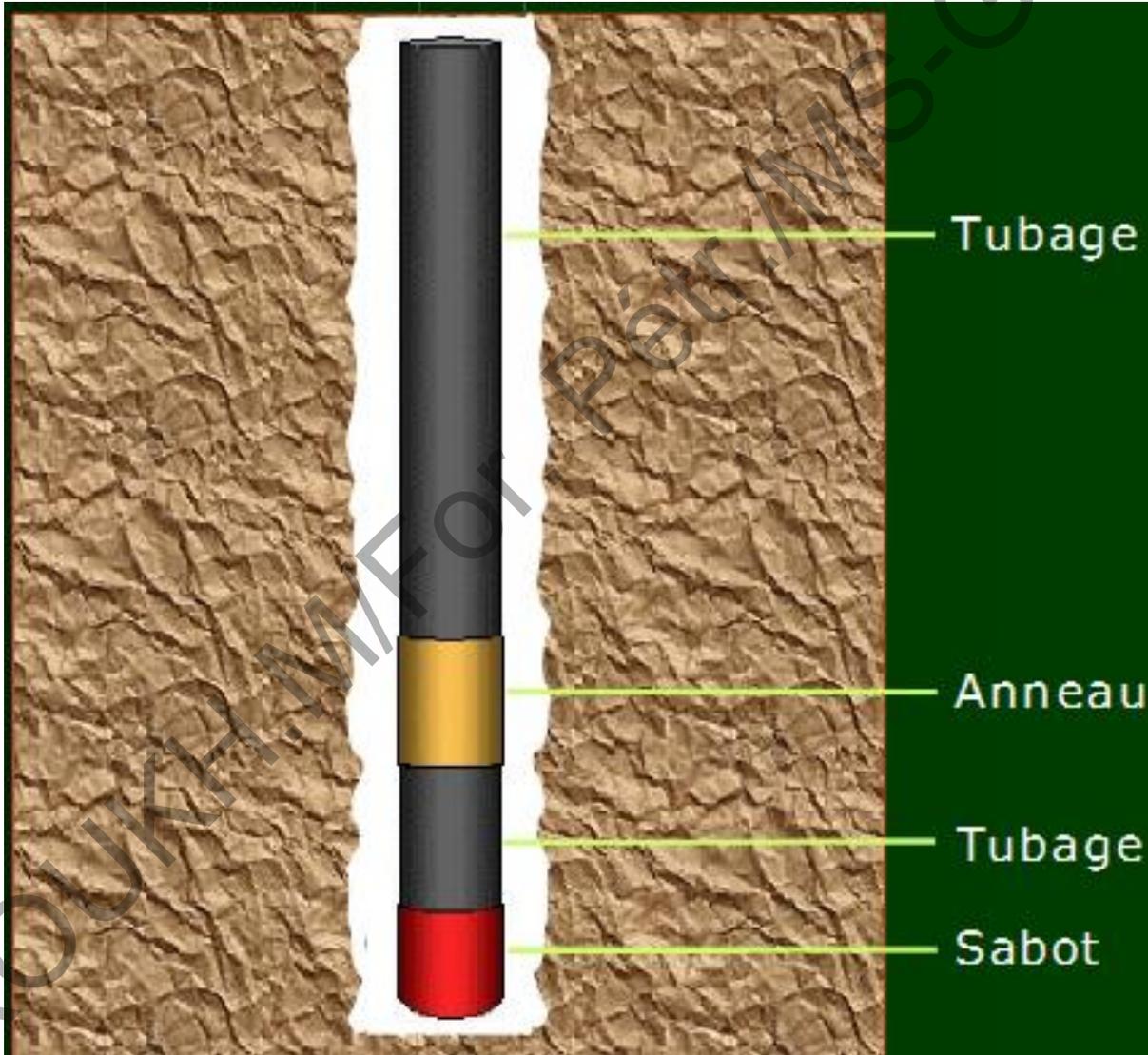
Tubage 9" 5/8

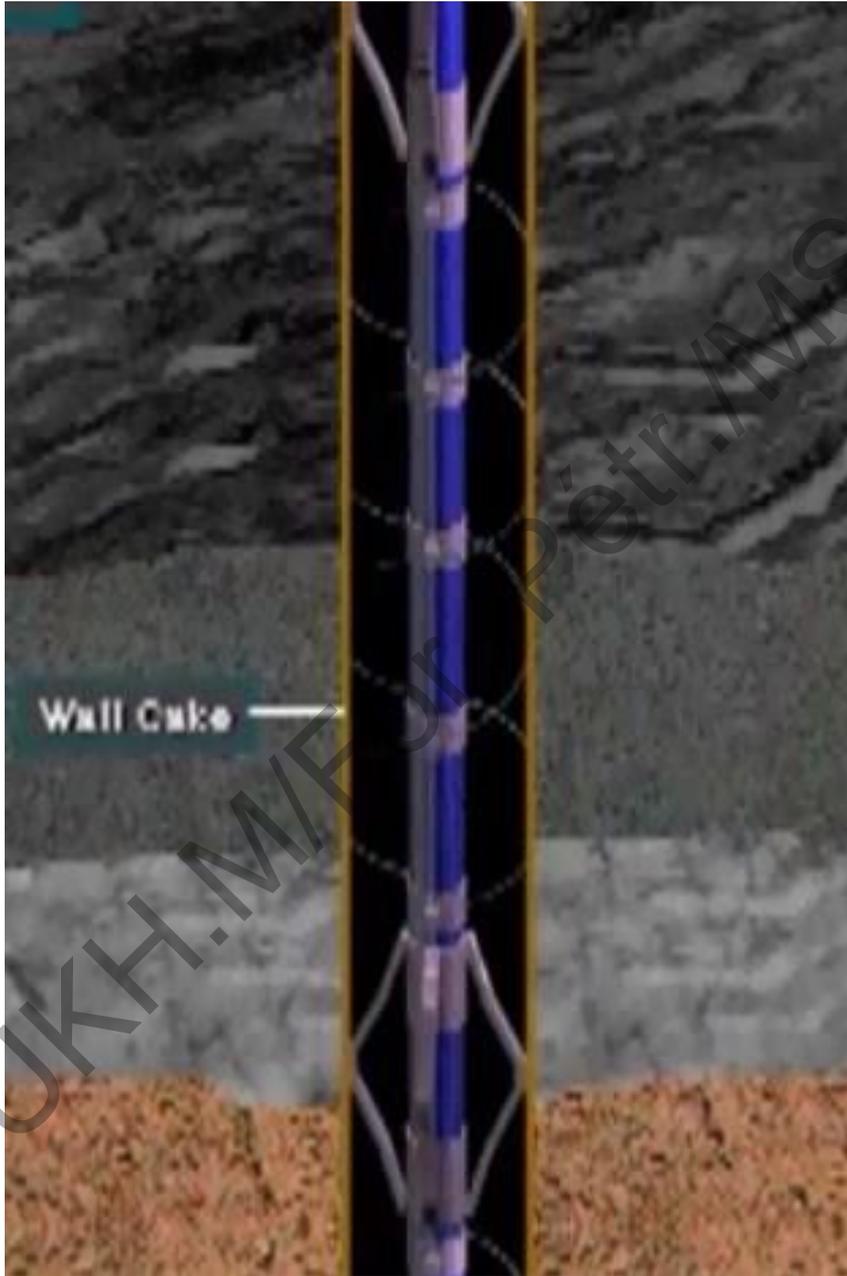
Diamètre du forage 8" 1/2

Forage			
De	à(m)	Φ"	Φ mm
0	150	36	914
150	300	26	660
300	450	17" 1/2	444
450	600	12" 1/4	311
600	4000	8" 1/2	210

Tubage (casing)			
De	à (m)	Φ"	Φ mm
0	150	30	762
0	300	18" 5/8	473
0	450	13" 3/8	340
0	600	9" 5/8	244
Tubage (tubing ou tuyau de production)			
0	4100	7"	178

cimentation





Wall Cake

ERROUKH.M/FRUIT PÉTR.M/S-GEE.19

Cimentation des forages

La cimentation des forages peut être primaire ou secondaire. Le premier type est effectué juste après le tubage d'une colonne. L'opération consiste à remplir, par un mélange à base de ciment, tout ou une partie de la hauteur de l'espace annulaire entre le tubage et les parois du trou foré. Le ciment utilisé est spécial (type Portland), ce dernier est mélangé à l'eau, avec une proportion de 1,66...2,5 parties en poids du ciment pour une part d'eau. Ce qui correspond à un facteur eau - ciment $m=E/C=0,6...0,4$.

Plus m est importante, plus la viscosité et la densité du mélange obtenu sont petite, et la tendance de sédimentation et le temps de prise est grand. Pour accroître la résistance du mélange, on ajoute du sable (10 à 40%).

But d'une cimentation

Le but de l'opération est de rendre étanche l'espace annulaire, pour empêcher la pollution des aquifères mises en production, par les eaux de surface; protéger les tubages contre la corrosion due aux fluides contenus dans les formations traversées; fournir une base étanche aux équipements installés en tête de puits; colmater les venues d'eau; obturer les zones à pertes de boue de forage; .

- Éviter les infiltrations des eaux de surface.
- Obturer l'espace compris entre le cuvelage et les terrains forés sur toute la partie supérieure du forage.
- Protéger la colonne de tubage contre la corrosion coté terrain
- Ancrer définitivement le tubage au terrains.
- Lorsque la hauteur de cimentation est importante, on procède en deux passes afin de compléter le niveau qui a tendance à s'affaisser en raison de la pénétration du laitier dans la formation.
- Dans le calcul du volume du laitier à injecter, le volume théorique doit être majoré pour tenir compte des hors profils, irrégularités et surcreusement éventuels « caving » du trou.

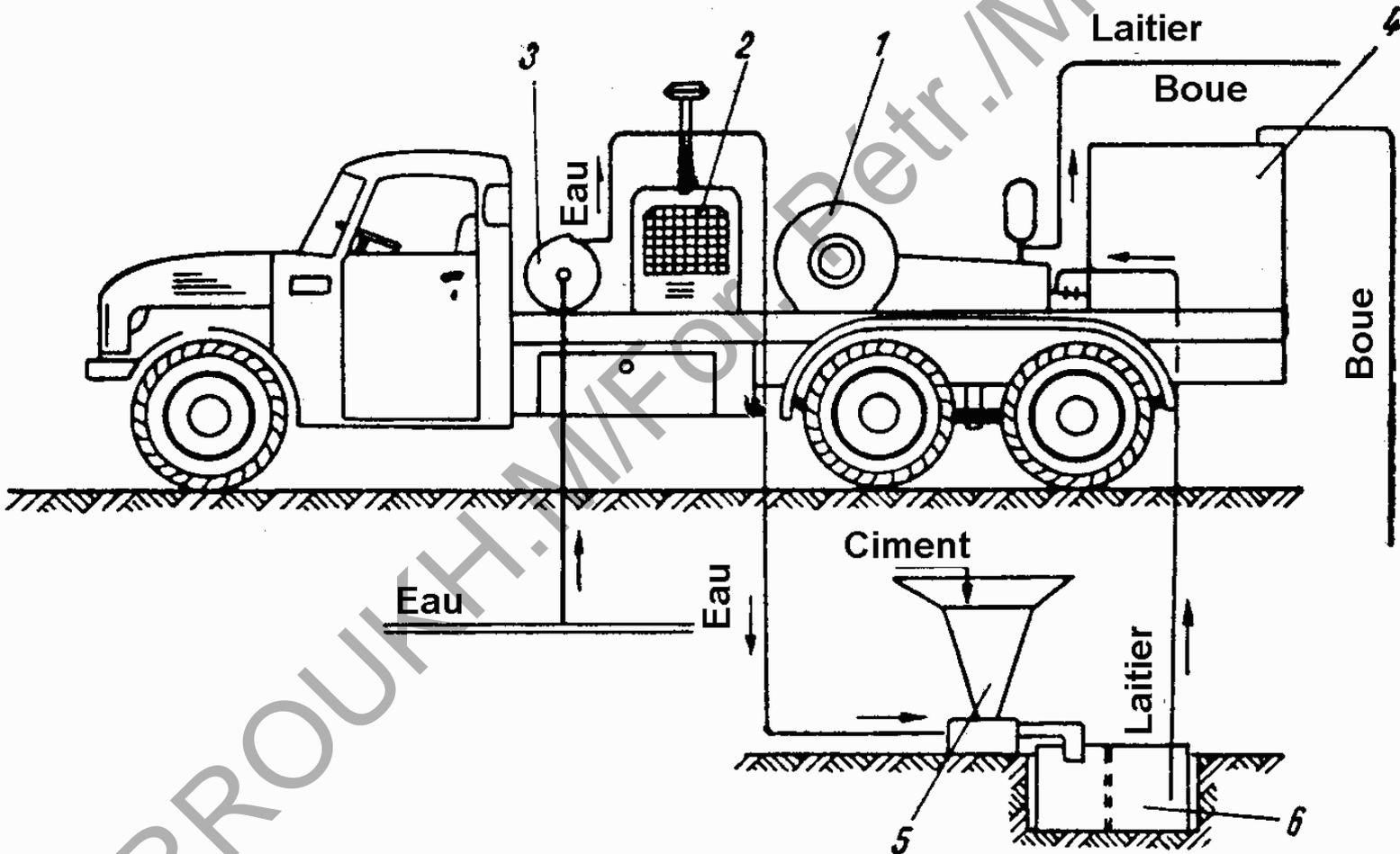
La colonne de guidage est toujours cimentée sur toute sa profondeur. Le but est de bien sceller la colonne dans le terrain, et de protéger cette dernière contre toute action corrosive

Les colonnes intermédiaires, la cimentation peut se faire soit sur toute la hauteur, soit sur une partie, juste pour isoler certaines formations.

La colonne d'exploitation est cimentée généralement au niveau des formations productives

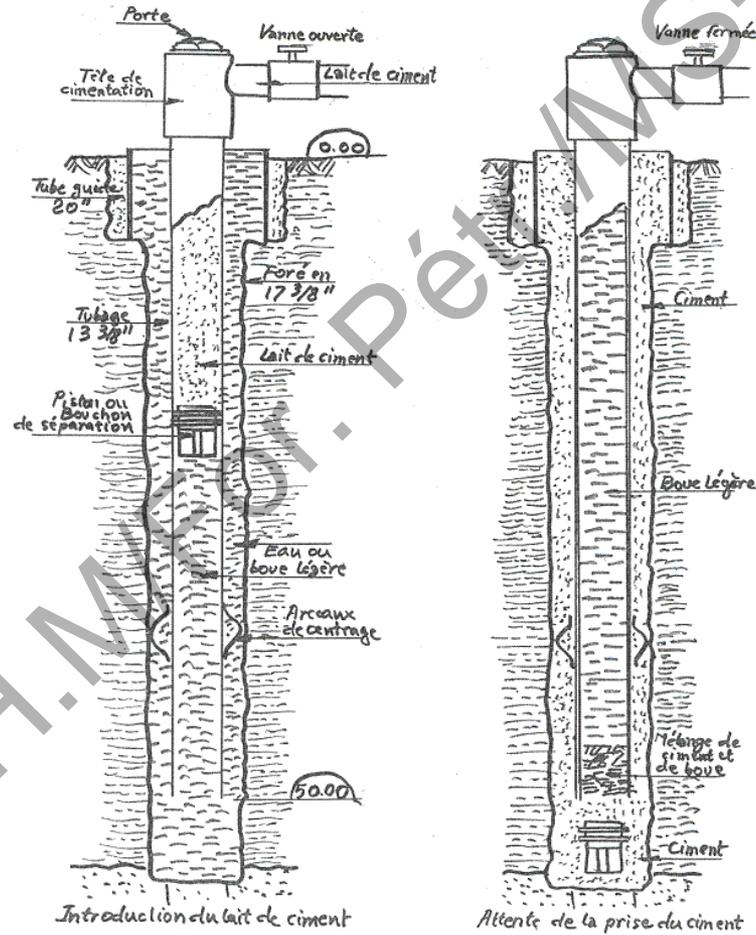
La cimentation spéciale, est effectuée généralement dans les forages non tubés. Le but est d'obturer les formations très perméables

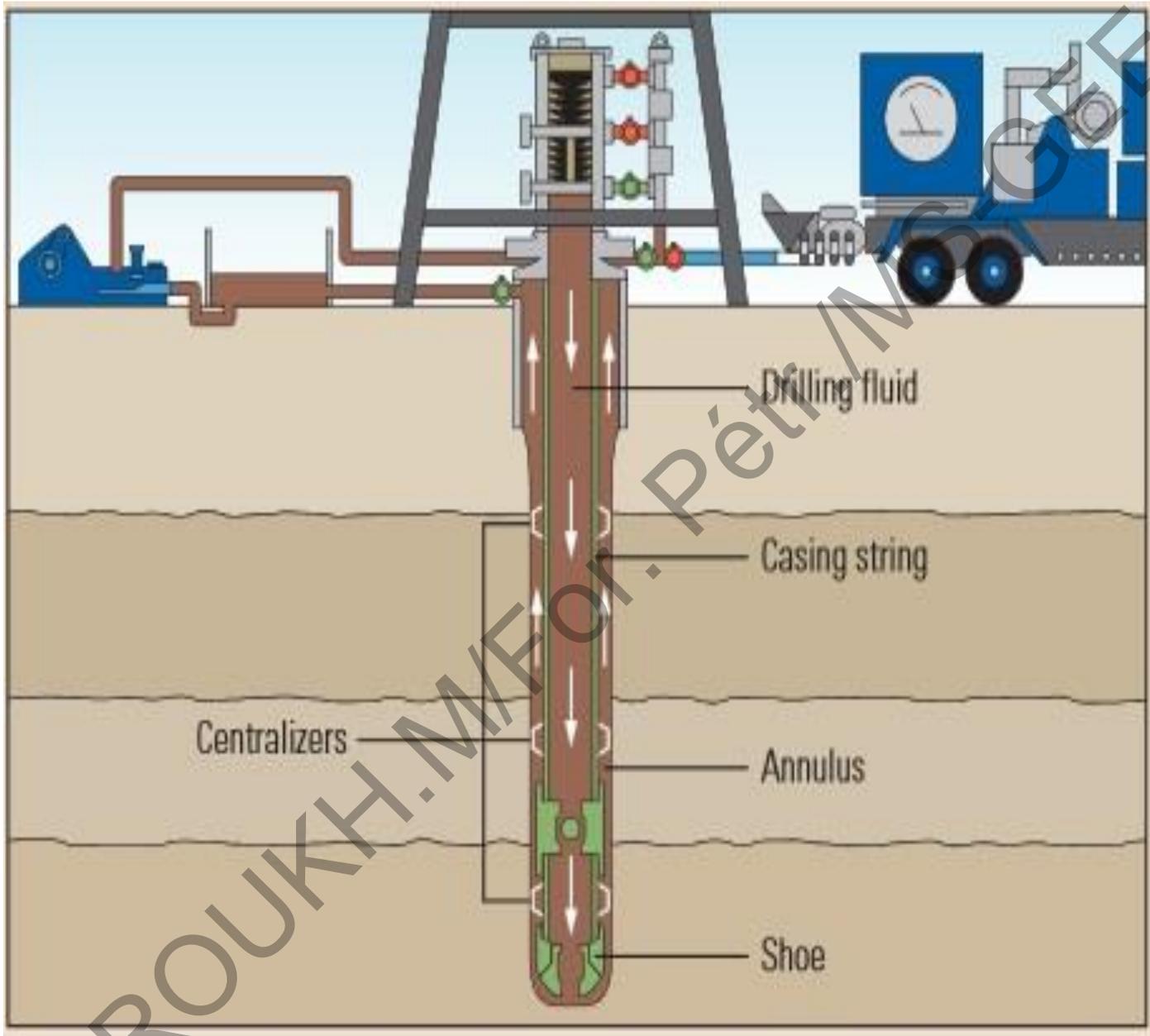
Mode opératoire



- 1-pompe ; 2 –moteur ; 3- pompe secondaire ; 4 – bassin ouvert ; 5- mixer ; 6 – bassin pour le laitier.
- La cimentation est réalisée par une circulation directe. A travers la colonne de tubage, on va pomper une quantité bien calculée un laitier du ciment. Le calcul concerne le volume du laitier à injecter, le volume de la boue nécessaire pour le mettre en place, et la durée de l'opération
- Pour faciliter l'adhérence du ciment sur la paroi extérieure de la colonne il faut nettoyer l'espace en faisant circuler, pendant 1heure une boue non contaminée

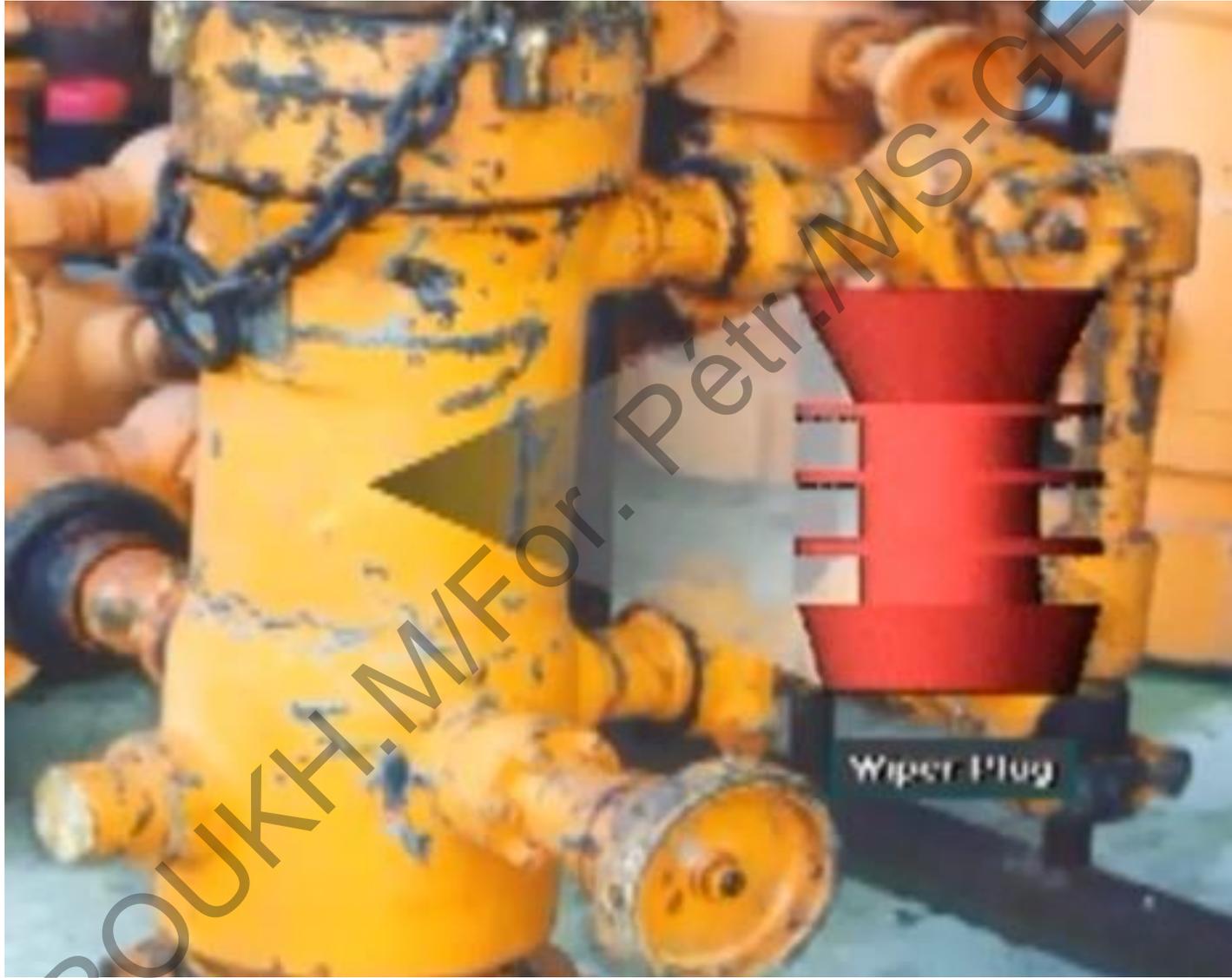
Cimentation d'un forage

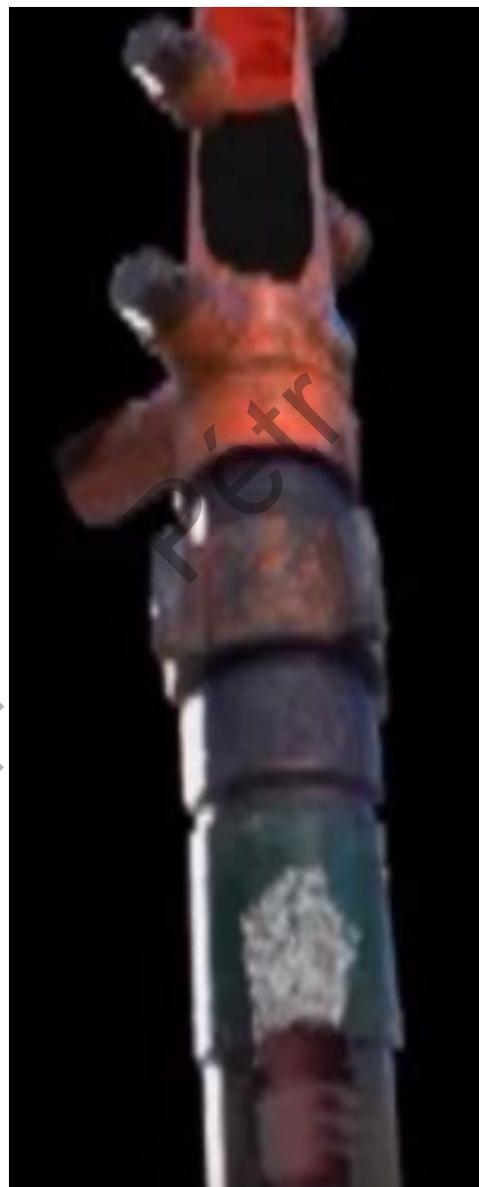


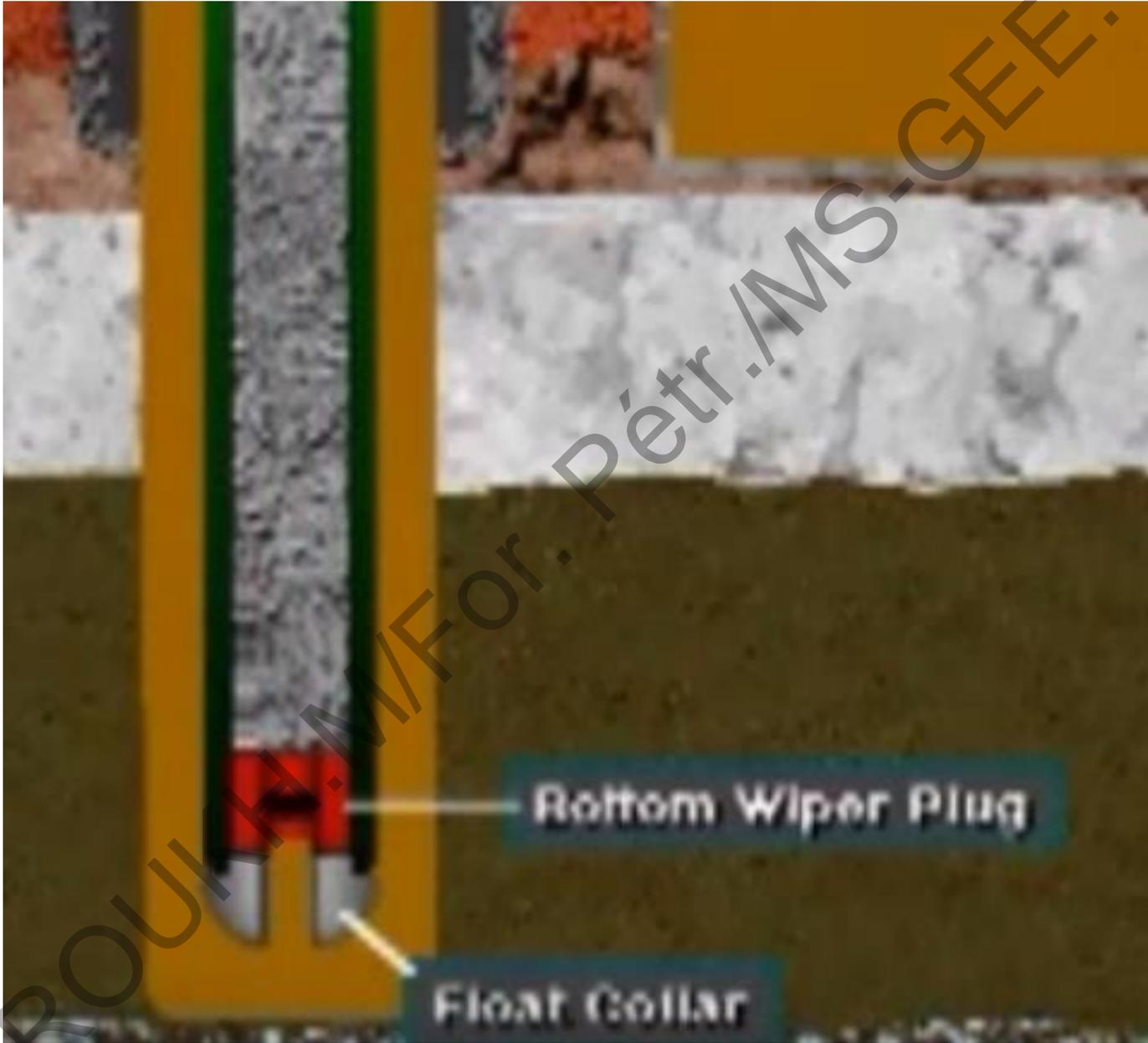






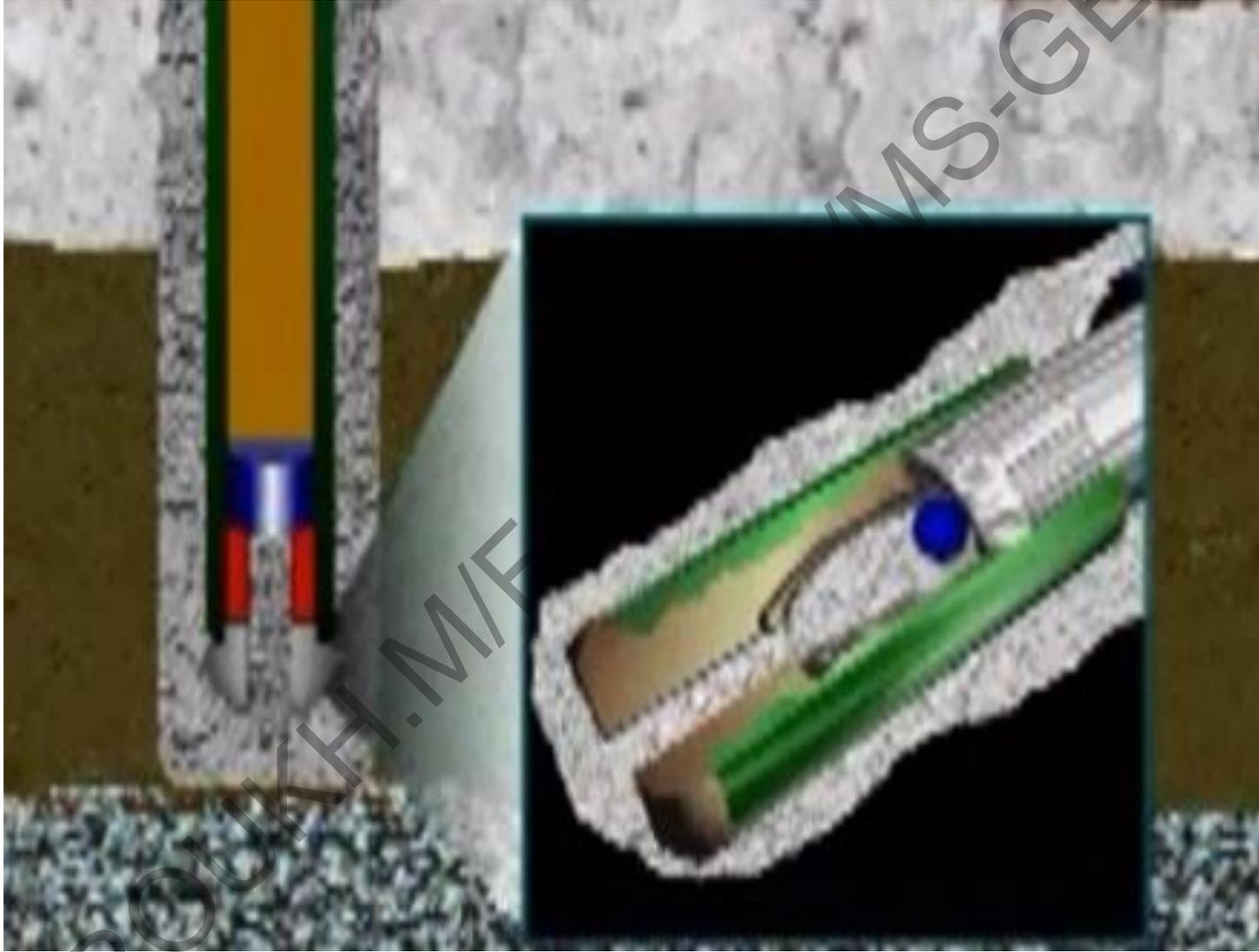












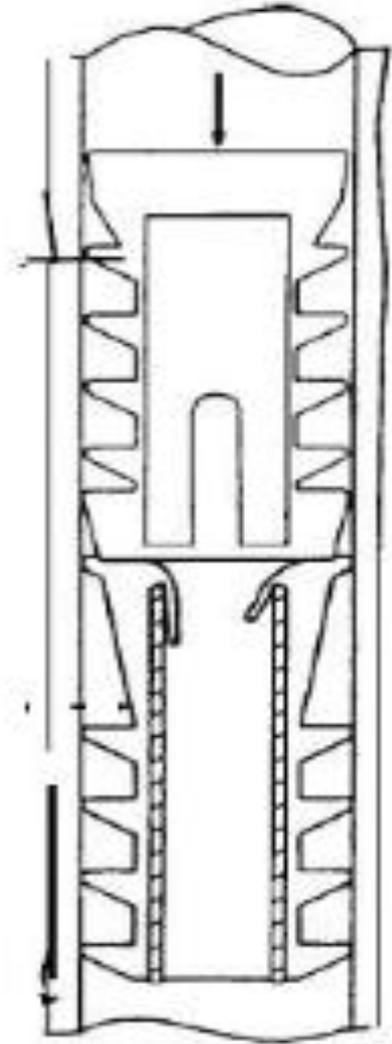
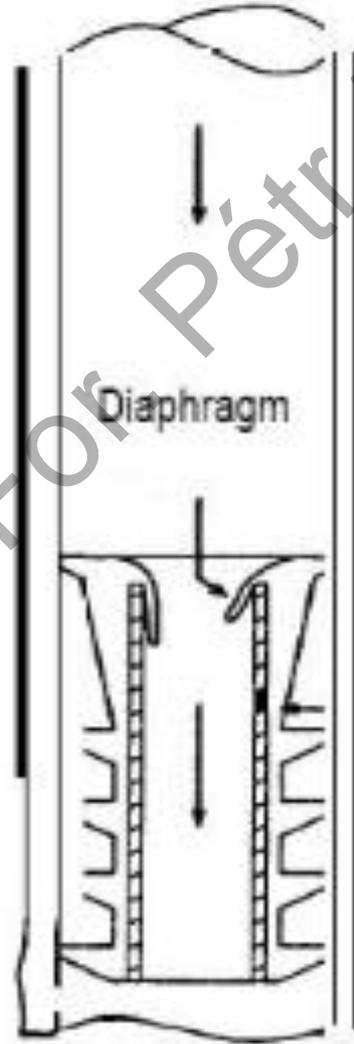
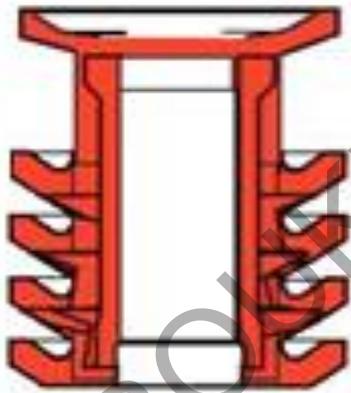
Bouchons de cimentation

But: Séparation des fluides (boue, fluide intermédiaire, et laitier)

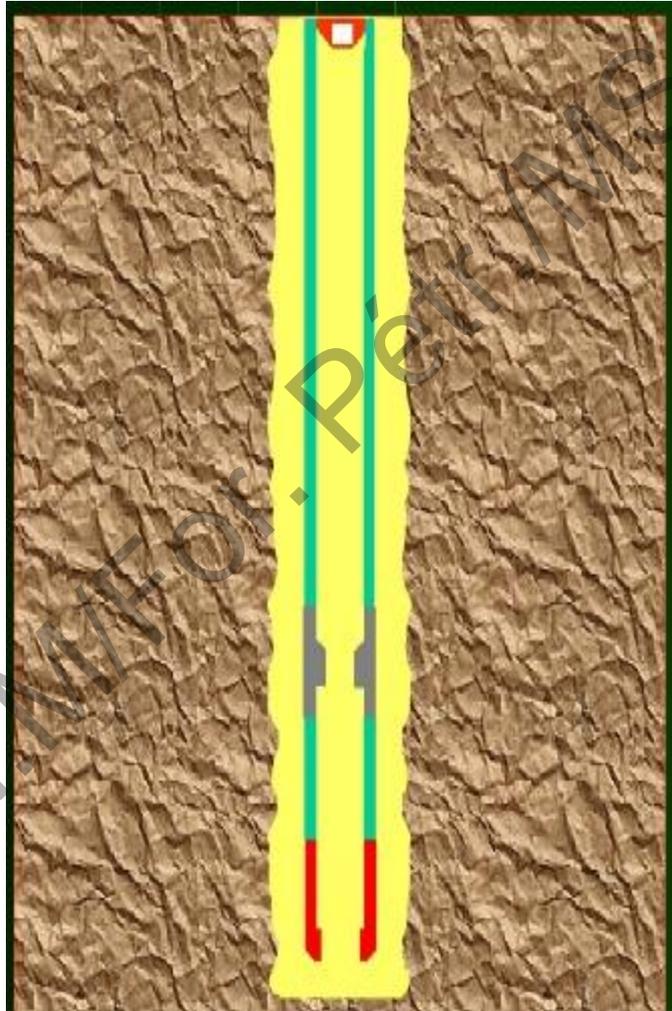
Types:

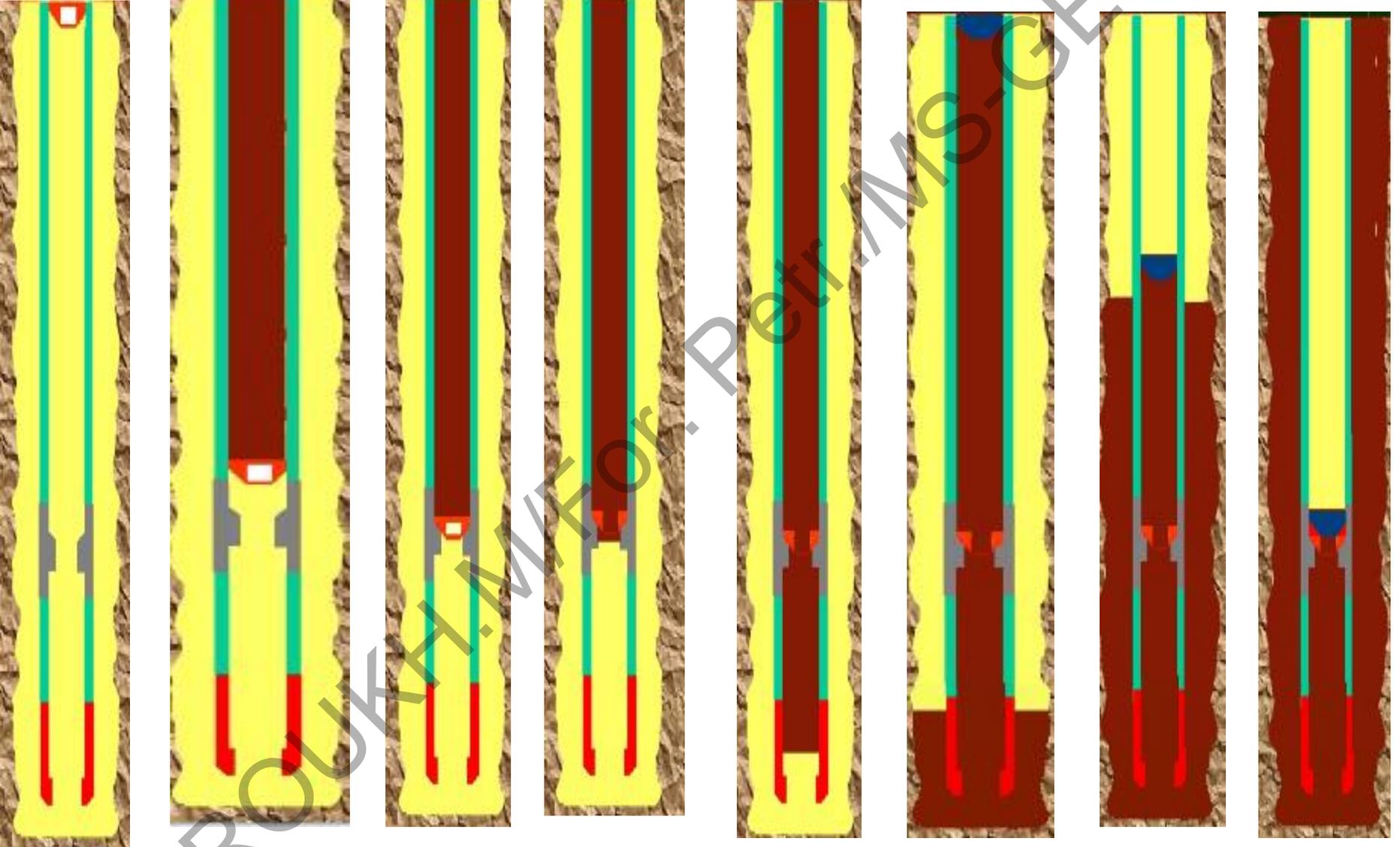
- 1- bouchons inférieur (bottom plug) (utilisation facultative, diaphragme destructible sous l'effet de faibles pression)
- 2- bouchon supérieur (top plug), (utilisation obligatoire étanche et résistant aux hautes pression)

Mise en place des bouchons

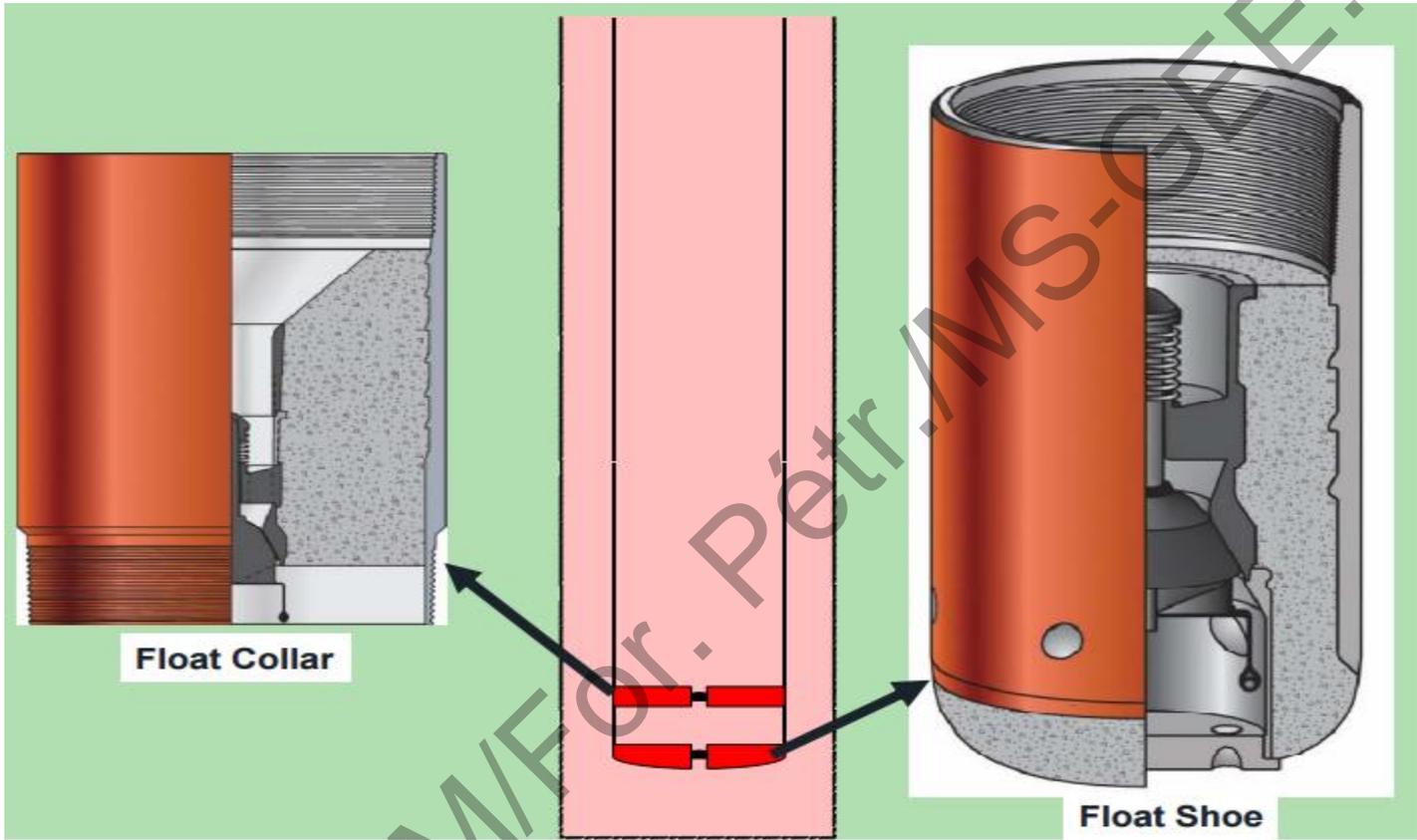


Lancement du bouchon inférieur





ERRUKH.M/For. Petr.MS.GEE.19

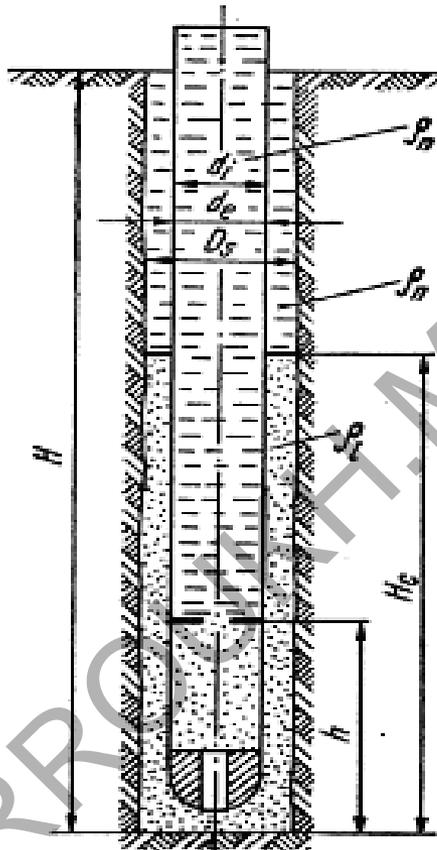




ERROUKH.M/For.Pét.MS.GLE.19

Calcul d'une cimentation

Si on considère l'exemple de la figure suivante:



Avec :

H ; la profondeur de la colonne, m

Hc ; la hauteur à cimenter, m

h ; la hauteur du ciment dans le tubage, à la fin de l'opération, m

Ds ; le diamètre de l'outil de forage, m

Df ; le diamètre du forage ;

De ; le diamètre extérieur de la colonne, m

Di ; le diamètre intérieur de la colonne, m

pl ; la densité du laitier, m

pc ; la densité du ciment, m

pe ; la densité de l'eau utilisée, m

pb ; la densité du fluide de forage, m

K ; un coefficient de correction du diamètre de forage ($D_f \neq D_o$)

Et, m le facteur eau - ciment.

Avec :

H ; la profondeur de la colonne, m

Hc ; la hauteur à cimenter, m

h ; la hauteur du ciment dans le tubage, à la fin de l'opération, m

Do ; le diamètre de l'outil de forage, m

Df ; le diamètre du forage ;

De ; le diamètre extérieur de la colonne, m

Di ; le diamètre intérieur de la colonne, m

ρ_l ; la densité du laitier, m

ρ_c ; la densité du ciment, m

ρ_e ; la densité de l'eau utilisée, m

ρ_b ; la densité du fluide de forage, m

K ; un coefficient de correction du diamètre de forage ($D_f \neq D_o$)

Et, m le facteur eau - ciment.

Calcul de volume du laitier

Le volume du laitier, est déterminé à partir de la relation suivante :

$$V_l = \pi * k * (D_f^2 - D_e^2) * H_c + \pi * D_i^2 * H$$

Pour les conditions normales et si on ne dispose pas de la mesure du diamètre, on prend $k=1,1...1,2$.

La quantité de ciment nécessaire est :

$$Q_c = k_1 q_c V_l$$

Ou, q_c est la quantité de ciment utilisée pour préparer une unité de volume du laitier ;

Et k_1 , un coefficient de correction des pertes de ciment ($k_1 = 1,03...1,06$).

Le volume V_e d'eau nécessaire pour préparer le volume V_l est donné par :

$$V_e = v_e * V_l$$

Ou, v_e est le volume d'eau nécessaire pour préparer une unité de volume du laitier.

La durée d'une cimentation T_c est déterminée avec la relation :

$$T_c = t_l + t_b + t$$

Avec : t_l -la durée du pompage du laitier, min ;

t_b -la durée du pompage de la boue, min ;

t -la durée des autres opérations effectuées dans le forages, min.

La quantité de ciment nécessaire est :

$$Q_c = k_1 q_c V_l$$

Ou, q_c est la quantité de ciment utilisée pour préparer une unité de volume du laitier ;

Et k_1 , un coefficient de correction des pertes de ciment ($k_1 = 1,03 \dots 1,06$).

Le volume V_e d'eau nécessaire pour préparer le volume V_l est donné par :

$$V_e = v_e * V_l$$

Ou, v_e est le volume d'eau nécessaire pour préparer une unité de volume du laitier.

La durée d'une cimentation T_c est déterminée avec la relation :

$$T_c = t_l + t_b + t$$

Avec : t_l -la durée du pompage du laitier, min ;

t_b -la durée du pompage de la boue, min ;

t -la durée des autres opérations effectuées dans le forages, min.

Exemple d'une cimentation

