

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

22/88

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

99.
1030

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المكتبة - المكتبة
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT: **Hydraulique**

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

TECHNIQUES DE FORAGES

HYDRAULIQUES

Proposé par :
Uppaluri

Etudié par :
**Hassaine
Youcef**

Dirigé par :
Uppaluri

PROMOTION: **Juin 1988**

175
7
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

PROMOTION

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

مديرية التعليم العالي
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

Spécialité: HYDRAULIQUE
Auteur: Mr. UPPALURI
Ingénieur: . HASSAINE . YUCEF ..

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ملاحظة ..
تاريخ
عدد صفحات

تقنيات حفر آبار الري

في دراستنا هذه تعرضنا الى عدة طرق لتحقيق تنقيب وطرق الانجاز لآبار الري
بنواحي الجزائر مع الملاحظات لتطوير هذه الأعمال .
نقترح لملاحظة الوسائط اللازمة حفر
يعين الاعتبار العامل الاقتصادي

Sujet: .. TECHNIQUES DE FORAGES HYDRAULIQUES ..

Résumé: Dans le présent travail on a étudié les différents aspects de réalisation des forages Hydraulique, ce mode de réalisation des forages aux environs de la region d'ALGER a été étudié et les observations pour l'amélioration de ces travaux sont faites
On propose d'observer les paramètres optimales des forages en considération d'économie .

Subject: ... TECHNIQUES OF WATER WELL DRILLING ..

Abstract: In present work, the diferent aspect of water well drilling arc studied the methodes of water well drilling being used presently
In the region of ALGIERS are studied, and some observations to improve the same are made . In due consideration to the cost of drilling, the optimal parameters of wells are proposed .

DEDICACES

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL
EN SIGNE DE RESPECT ET
DE RECONNAISSANCE

- A MA MERE
- A MON PÈRE
- A MES SOEURS ET FRERES
- A TOUTE MA FAMILLE
- A TOUS MES FRERES DANS L'ISLAM

HASSAINE - YUCEF .

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier :

- Tous les Professeurs et Responsables ayant contribué à notre formation .
- Mon Promoteur Mr: UPPALURI pour son conseil durant l'élaboration de présent Projet de fin d'études .
- toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse .
- DHWA D'EL HARRACH .
- ANRH de Bir. mourad Rais .
- ENFR de DAR EL BEIDA .

TABLE DES MATIERES

PARTIE I - GENERALITÉS

CHAPITRE I :

INTRODUCTION

- I-1 importance du développement ^{de l'eau ?} des eaux souterraines 1
- I-2 Les méthodes d'exploitation des eaux souterraines 3
- I-3 Le But 3

CHAPITRE II :

HYDROGEOLOGIE

- II-1 L'accumulation et mouvement des eaux souterraines 4
- II-2 HYDROGEOLOGIE Générale de la région d'Alger 6
- II-2-1 Géologie 6
- II-2-2 HYDROGEOLOGIE 8

CHAPITRE III :

LES DIVERS ETAPES DE LA REALISATION des Forages d'eau

- III-1 GENERALITÉS 10
- III-2 FORAGE de reconnaissance 11
- III-3 échantillonnage 11
- III-3-1 Prélèvement 11
- III-3-2 Préparation des échantillons 12
- III-4 Analyse granulométrique 15
- III-5 forage d'exploitation 18
- III-6 les opérations de complétion 18

PARTIE II

LES TECHNIQUES DE FORAGE

CHAPITRE I: LE FORAGE PERCUSSION A CABLE

I-1 Principe

I-2 La technique

I-3 les avantages et les désavantages *inconvenients*

I-4 Le forage par battage aux environs d'Alger

CHAPITRE II: FORAGE ROTARY

II-1 Principe

26

II-2 les outils de forage

28

II-2-1 les outils à lames

28

II-2-2 les outils à molettes (rock bits)

29

II-3 La ligne de sonde

29

II-3-1 les masses tiges

29

II-4 les tiges

31

II-5 La boue de forage

32

II-5-1 formations p

32

II-5-2 Relation entre les fonctions, la composition et les propriétés de la boue de forage.

33

II-6 problèmes courants de forage.

35

II-7 Rotary à circulation inverse

II-8 avantages et désavantages des appareils de forage rotatifs

CHAPITRE III :

METHODE DE FORAGE PAR MARTEAU AU FOND DE TROU

III-1 Principe

III-2 L'outil

III-3 utilisation du marteau de fond de trou

III-4 les avantages et les inconvénients

PARTIE III

LES OPERATIONS DE COMPLETION

CHAPITRE I :

TUBAGE DU FORAGE

I-1 Le programme de travail

I-2 calculs pratiques sur les éléments tubulaires

I-2-1 résistance aux efforts d'écrasement

I-2-2 résistance aux efforts d'éclatement

I-2-3 résistance au flambage et à la flexion

I-3 pertes de charge et débit optimum

I-4 Le choix de la crépine

I-4-1 ouvertures des crépines

I-4-2 relation débits, diamètres, coefficients d'ouverture des crépines de forage

I-5 les différentes types de crépine

CHAPITRE II GRAVILLONNAGE

- II-1 forage avec une gaine de gravier
- II-2 choix du type du forage
- II-3 schéma des forages sans une gaine de gravier
- II-4 le choix du gravier
- II-5 mise en place du gravier

CHAPITRE III : LE DEVELOPPEMENT

- III-1 Développement par surpompage
- III-2 Développement par pompage alterné
- III-3 Développement par pistonnage
- III-4 développement Air-lift
 - III-4-1 méthode à forage ouvert
 - III-4-2 méthode à forage fermé
- III-5. développement par lavage

PARTIE IV

REMARQUES ET CONCLUSIONS

CHAPITRE I :

REMARQUES sur la réalisation optimale
DES FORAGES D'EAU

- I-1 - Diamètre, profondeur, débit
- I-2 - les données à collecter

CHAPITRE II :

LES DEFATS DES FORAGES ET
LES REMEDES

- II-1 LES CAUSES
- II-2 Les données de performance d'un forage
- II-3 les remèdes
 - II-3-1 prevention de colmatage
 - II-3-2 prevention de corrosion
 - II-3-3 conclusions

PARTIE I
GENERALITES

CHAPITRE I

INTRODUCTION :

des ouvrages de l'exploration

I. 1 IMPORTANCE DU DEVELOPPEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

les études récentes sur la répartition globale des ressources en eau (Bouwer 1978, unesco 1978) démontrent que parmi les ressources en eau douce utilisables, les eaux souterraines occupent une place importante, En plus le développement des eaux souterraines a des avantages importants, elles sont disponibles presque dans toutes les régions (la quantité et la qualité de cette eau peuvent varier d'une région à une autre) .

mais la répartition des eaux superficielles est conditionnée par des paramètres météorologiques et topographique. par exemple au Sahara, les ressources en eaux superficielles est limitée (à cause de faible pluviométrie) mais les ressources en eaux souterraines sont appréciables.

des eaux superficielles sont beaucoup plus ^{exposées} ^{affectées} susceptibles pour la pollution bactériologique et chimique par des polluants de surface (comme des décharges, les effluents industriels, etc...)

En outre, au cours d'infiltration, les polluants sont presque entièrement filtrés par les couches du terrain et ~~ens~~^{suiv}, conséquent l'eau souterraine est relativement pure.

La réalisation des ouvrages hydrauliques pour l'exploitation des ressources en eaux superficielles est relativement très coûteuse en comparaison des ouvrages d'exploitation (puits, forages) des eaux souterraines sont économiques.

Le développement des ressources en eaux souterraines pour le développement des activités humaines est devenu nécessaire dans le monde.

La ville d'Alger jusqu'à 1987 était entièrement alimentée par plusieurs champs de captages des eaux souterraines.

Les ressources totales d'extraction de ces ressources pour ce propos était de l'ordre de 295 m^3 (Binnie & Partners, 1983)

Le développement efficace et économique optimal des ressources en eaux souterraines d'une région nécessite un bon choix des sites pour la réalisation des forages (par les divers méthodes de prospection) et la réalisation des ouvrages d'extraction et son équipement.

ainsi que les structures d'extraction

Dans ce travail, nous étudions les divers techniques de réalisation des forages et leur applicabilité générale en Algérie.

I.2 LES METHODES D'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES.

les eaux souterraines sont extraites par les puits ou forages et dans les cas des ressources par des captages appropriés.

L'exploitation des eaux souterraines est connue depuis le temps immémorial. Les puits, creusés par main, à des diamètres généralement larges ($> 1m$) sont les structures anciennes pour l'exploitation des eaux.

Même actuellement, les puits pour des raisons de simplicité de réalisation sont populaires, particulièrement dans les pays sous développés.

Les forages (à des diamètres $< 600mm$) qui nécessitent des appareils pour la réalisation, graduellement remplacent les puits.

Dans le chapitre III les divers éléments de réalisation sont décrits. et les techniques de réalisation des forages est décrite dans la partie II.

I.3 LE BUT :

Le but de ce modeste travail est de résumer les méthodes de réalisation des forages et son applicabilité en Algérie, et étudier le mode de réalisation appliqué (par plusieurs sorties sur terrain) actuellement aux environs d'Alger afin d'indiquer les améliorations possibles sur la collecte des données au cours de réalisation des forages et sur l'équipement (ou tubage).... une étude brève hydrogéologique est incluse pour définir les paramètres optimale (comme le diamètre, profondeur) selon les besoins en eaux en considérations d'économie.

CHAPITRE II HYDROGEOLOGIE:

II-1 L'Accumulation et mouvement des eaux souterraines.

Des eaux qui tombent sur la surface sous forme de précipitations forment un élément de cycle hydrologique, une partie de cette eau ruisselle sur la surface et une partie s'infiltré et le reste s'évapore. La partie infiltrée donne naissance de l'eau dans le sol, alors une partie de cette eau par percolation arrivent à un niveau saturé dit le niveau piézométrique, au dessus de ce niveau saturé les vides de formations géologique sont remplis avec l'eau jusqu'à un substratum (craie imperméable) cette zone saturée qu'on l'appelle une nappe aquifère, et les eaux qu'ils contiennent sont appelés les eaux souterraines. Du point de vue hydrogéologique, on est intéressé par cette eau, l'écoulement des eaux est soumis par des diverses forces à la pesanteur, le gradient hydraulique et également la nature de formation. Dans la zone d'aération entre la surface du sol et le niveau piézométrique, l'écoulement est plus ou moins vertical, par contre au dessus de la surface piézométrique, ou dans la nappe aquifère, la composante horizontale est prédominante selon la nature d'occurrence des eaux souterraines, on distingue deux types majeurs de nappes aquifères:

une nappe libre et une nappe captive

la nappe libre est limitée par la surface piézométrique, en haut et le substratum au fond. Au contraire une nappe captive est une formation perméable

Sandwiché entre deux couches imperméables

la zone de réalimentation pour une nappe captive dans les régions plaines est généralement loin (dans les régions montagneuses ou les formations de la nappe sont exposées sur la surface)

cette nappe est soumise sous une pression par des couches superposantes et la différence de charge hydraulique correspondant à la différence de hauteur de la région d'alimentation et la nappe elle-même. De ce fait le niveau d'eau dans un forage captant une nappe captive, monte au-dessus du toit de la nappe. Mais en cas d'une nappe libre, le niveau d'eau dans le forage correspondait avec le toit de la nappe qui est la surface piézométrique.

Le potentiel d'une nappe dépend ainsi sur la nature de formations (la perméabilité, la porosité, l'épaisseur)

En outre les différentes formations ont des différentes caractéristiques physiques (la densité, la dureté, la consolidation, etc...), les deux paramètres déterminent la méthode d'extraction des eaux souterraines. De ce fait une étude hydrogéologique des formations des nappes aquifères est également les caractéristiques des couches superposantes est important afin de déterminer le type d'ouvrage d'extraction à faire.

Par exemple (dans les régions constitués par des formations meubles) les méthodes de rotary ou battage sont efficaces, au contraire la méthode de marteau au fond dans ces régions est relativement très inefficace, dans la région des roches consolidées, l'avancement des forages par la méthode (marteau au fond, pneumatique) est rapide.

II-2 HYDROGEOLOGIE GENERALE DE LA REGION D'ALGER

La région d'Alger, particulièrement la plaine de Mitidja est bien étudiée au point de vue hydrogéologique (d. E. M. R. H., 1953, Géodynamique 1955 Binine, Zartues 1983)
La plaine de Mitidja se trouve entre les montagnes du Sahel, au nord d'Alger et les montagnes d'Atlas au sud, dans notre présente étude plusieurs sorties sur terrain sont effectuées au niveau des chantiers des forages, en réalisation dans cette plaine, donc une étude brève d'hydrogéologie est incluse.

II-2-1 GEOLOGIE : SUCCESSION GEOLOGIQUE

Le bassin de la Mitidja est très important bassin alluvial côtier formé par un affaissement suivi d'une sédimentation progressive durant le pléistocène.

La succession géologique de bassin de la Mitidja est donnée dans le tableau suivant

- Le bassin de la Mitidja repose pour sa plus grande partie sur une séquence épaisse et uniforme de marnes grises et bleues du pléistocène.

Des affleurements de marnes en surface sont uniquement visibles dans le Sahel, et dans la région de Khemis et Khechma, Reghaia, ou ils constituent la fermeture du bassin. La formation de la Mitidja est principalement constituée par des dépôts alluviaux grossiers, graviers, et galets avec les limons en quantités variables. Cette formation forme une nappe très importante.

Des dépôts récents, constitués de sable fin et moyen existent le long de la côte de la mer

AGE	FORMATION	LITHOLOGIE	EPAISSEUR
QUATERNAIRE			
Present / Recent	Alluvions des oueds drunes	Sable et graviers	10
Rhabien	formation du marzafran	Sable eoliens limons et argiles	20 à 40 10 à 60
Pleistocène	formation de maire	Sable consolidés et limons	15 à 50
Soltanien	formation de la mitidja	Alternance de graviers et d'argiles	100 à 200
Villafranchien	formation d'EL HARRACH	Argile et cailloux	0 à 200
TERTIAIRE			
Pliocène supérieur	Astien	Grès, sables et calcaire	100 à 130
Pliocène inférieur	plaisancien	marnes et argiles bleues	200
Miocène et roches plus anciennes	roches de l'éocène roches métamorphiques roches éruptives	Calcaires, marnes, grès schistes, gneiss granite	

à l'exception d'affleurements des roches anciennes de la ville d'alger.
ces formations, composent une aquifère importante dans la région de Bordj
EL-Kiffan et à l'ouest d'alger.

II-2-2 HYDROGEOLOGIE :

des marnes du plaisancien forment la limite inférieure
impermeable de presque tout le bassin de la mitidja. Il existe deux aquifères
importantes, celui de l'astien et celui de la mitidja, les deux aquifères
sont séparés par la formation d'EL HARRACH qui ne compte que des zones
très localisés de matériaux perméables

des études géophysique (C.G.G 1968) montre que le toit du Substratum présente
une dépression du bassin plus accentuée le long de la bordure nord de la plaine
de la mitidja ou les côtes atteignent 400 à 500 m

des forts gradients qui marquent les flancs nord et sud correspondent aux flexures
mitidjennes bordant le synclinal du bassin.

la flexure nord mitidjenne est plus accentuée en comparaison de la flexure
sud mitidjenne.

la transmissivité varie à la fois suivant la perméabilité et l'épaisseur des
matériaux constituant l'aquifère. En général on observe des transmissivités
élevées dans la région où l'épaisseur de l'aquifère est plus grande

Une étude hydrogéologique de la région d'alger effectuée par (DHWA, 1986)
indiquent que certaines zones de cette région sont surexploitées.

Au comparaisson des cartes piézométriques (1970, 1981) indiquent que le niveau

piezométrique aux environs du champ captant de (BARAKI) est abaissé de 5 à 10 m. Pendant cette période la potentialité d'exploitation des différentes zones a été étudiée à partir des cartes piezométriques.

CHAPITRE III

LES DIVERS ETAPES DE LA REALISATION DE FORAGES D'EAU

III-1 GENERALITÉS :

Le développement en eau par un forage ou exploitation des eaux souterraines, comme démontrés dans la section (1-1) est incontestablement avantageuse, naturellement la réalisation du forage le plus près possible du lieu d'utilisation ou de stockage, et de préférence néanmoins l'hydrogéologie de la région détermine le site d'exploitation le plus favorable (voir chapitre II), la recherche de localisation des sites favorables est appelé la prospection, donc elle est la première étape du développement des eaux souterraines, à l'aide des différentes méthodes de prospection, on fait le choix des sites pour la réalisation des forages et une précision des différents paramètres hydrogéologiques, tel que la profondeur de la nappe, la nature de la nappe, le niveau piézométrique une fois le site est choisi, la réalisation des forages lui-même à des divers étapes : le forage de reconnaissance, le forage d'exploitation la mise en place du tubage, le développement et les essais de pompage une description de ces éléments est comporté dans ce chapitre.

III-2 LE FORAGE DE RECONNAISSANCE :

c'est un forage à petit diamètre qui sert à vérifier et préciser les informations fournies par les forages de prospection et également il nous permet d'analyser la nature des différentes couches en profondeur afin de décider la technique de forage la plus favorable. En plus l'analyse des échantillons du forage de reconnaissance permet de définir le tubage et le gravillonnage pour la completion du forage d'exploitation.

Le forage de reconnaissance est réalisé par une des plusieurs méthodes en courant par exemple : percussion, battage, rotory, pneumatique, etc -----

Généralement on utilise la même méthode de la réalisation de forage de reconnaissance et forage d'exploitation.

des techniques des différentes types de réalisation de forage est décrite dans la partie II de cet ouvrage. Dans cette section les divers mesures à faire au cours de la réalisation du forage de reconnaissance sont données.

III-3 ECHANTILLONNAGE :

III-3-1 PRELEVEMENT :

L'analyse des échantillons ou des cuttings du forage est important afin de déterminer le tubage du forage et également pour le gravillonnage si nécessaire, de l'espace nécessaire

En plus une étude des échantillons nous permet de préparer les lithologes des forages, une bonne réalisation de forage dépend donc sur l'analyse des échantillons.

de prélèvement des cuttings du forage dans les différentes techniques de réalisation sont différents, dans le forage par battage les cuttings sont généralement mélangés et parfois très difficile d'attribuer la profondeur exacte et il est préférable de prendre les échantillons plus fréquemment dans ce cas, pour avoir une meilleure image du terrain, ce procédé nécessite des interruptions de l'avancement.

Le forage à la boue permet de fournir à la surface, dans des canaux de décantation des échantillons broyés, ou non du terrain rencontré par l'outil au fond du trou.

S'il s'agit de forage rotary, ces échantillons contiennent une forte proportion de la boue de circulation, il faudra en tenir compte au moment de l'analyse.

Il est toujours préférable de prendre trop d'échantillons que de regretter d'avoir manqué de prélever les plus intéressants, voici le programme minimum

- prendre un échantillon dès que l'on rencontre une formation aquifère.
- prendre un échantillon chaque fois qu'apparaît, en forage, un changement de terrain ou bien si l'on n'observe pas de changement, prendre un échantillon tous les deux mètres environ.

III-3.2 PREPARATION DES ECHANTILLONS :

des échantillons servent au laboratoire à l'établissement des courbes de granulométrie qui permettent de définir les caractéristiques des sables et éventuellement de gravier additionnel, pour effectuer ces analyses, le volume de l'échantillon doit être environ 500 grammes, l'on ne pourrait rien

tirer d'un échantillon plus petit, ceci ne s'applique, bien entendu qu'aux prélèvements effectués en terrain présumé aquifère

Si l'on fore à la boxe, ne pas laver l'échantillon, le laboratoire s'en chargera, si l'on travaille au rotary, les matériaux remontés du fond sont hydrauliquement séparés par le fluide de forage, les sables fins sont placés souvent au dessus des éléments grossiers, il faudra donc remélanger le tout au moment du fractionnement de l'échantillon, pour avoir une meilleure représentativité de l'échantillon, il est recommandé de procéder ainsi

interrompre l'avancement, l'outil restant au fond, et laisser la rotation et la circulation jusqu'à ce que la boxe sorte claire et ne contienne plus de cuttings. Reprendre alors l'avancement et recueillir tous les cuttings produits par la zone forée pendant cette opération

Bien noter les deux cotes de début et de la fin de l'opération par exemple : de 21m à 22,50, ces deux cotes seront mentionnées sur l'étiquette

lorsque la cote finale aura été atteinte, interrompre à nouveau l'avancement et laisser la rotation et la circulation, puis rester ainsi jusqu'à ce qu'il ne sorte plus de cuttings. L'ensemble des matériaux correspondant à un prélèvement sera placé sur une toile et bien mélangé à la pelle en un tas qui sera étalé en une couche uniforme

Recommencer deux à trois fois l'opération.

Bien étaler une dernière fois sur deux à trois centimètres d'épaisseur la totalité de l'échantillon.

Tracer à la surface un damier avec des cases de six à quinze centimètres
Prendre, dans chaque case, une certaine quantité de matériaux en raclant bien
jusqu'à la tôle, pour être certain de ne pas avoir laissé les éléments les plus fins
Rassembler les prises en un tas

Si le volume de ce tas, correspond aux prévisions (300 litres environ)
l'opération est terminée.

Si le volume est supérieur, l'étaler à nouveau et faire un autre quadrillage
et un autre prélèvement

S'il est inférieur, il faut le remettre avec le reste, remélanger le tout et
recommencer quadrillage et prélèvement en augmentant la quantité prise
dans chaque case.

L'échantillon final sera essoré et séché puis placé dans un autre sac
le reste du prélèvement sera conservé et placé dans un autre sac étiqueté
afin de pouvoir produire un deuxième échantillon.

Pour être efficace, l'étiquette doit mentionner :

- nom du forage et sa position géographique
- les deux cotes des niveaux supérieur et inférieur (ex: de 21 à 22.50 m)
- l'épaisseur de la formation ainsi testée (par exemple : de 20 à 25 m)
- la date du prélèvement

III-4 ANALYSE GRANULOMETRIQUE

L'étude granulométrique d'un échantillon s'opère en faisant passer environ 500 grammes du matériau préalablement séché et pesé à travers une série de tamis superposés.

Les tamis sont équipés de toiles métalliques à mailles carrées et assemblés de telle sorte que le tamis à la plus grande maille se trouve en haut de la pile. L'échantillon est placé au sommet de la pile et l'ensemble est secoué par un agitateur mécanique jusqu'à ce que toutes les parties aient été tamisées. La colonne est alors démontée et la portion de l'échantillon restée dans chacun des tamis est rigoureusement pesée.

On additionne les poids ainsi relevés de telle sorte qu'on obtienne pour chaque tamis la quantité totale des éléments qu'il aurait retenus s'il avait été seul, on établit ensuite le pourcentage de chaque résultat par rapport au poids total de l'échantillon, nous précisons bien qu'il s'agit des refus des divers tamis et non des tamisats. Sur un graphique comportant en abscisses les dimensions des mailles et en ordonnées les pourcentages cumulés retenus, on porte les résultats ainsi obtenus et on trace la courbe, voir figure.

L'examen d'une courbe granulométrique permet de définir trois éléments essentiels : la finesse, la pente et l'allure générale de la courbe.

Pour tenter de décrire la finesse, c'est à dire on emploie les mots sable fin, sable grossier, gravier fin, mais malheureusement nous n'avons pas en mémoire les limites de grosseur de chacun de ces éléments.

on définit le calibre caractéristique d'un échantillon.

c'est la grosseur d'un élément tel que 10% est plus fin, et 90% est plus gros que lui, par rapport au poids total de l'échantillon.

pratiquement, on dit qu'un matériau est uniforme, si son coefficient d'uniformité est inférieur à 2, si il s'agit d'un terrain aquifère, l'eau mise en mouvement par pompage, trouvera une résistance plus grande dans son mouvement si le terrain est surtout composé d'éléments fins qu'il n'en trouverait si il s'agissait d'éléments plus gros.

A nouveau nous pouvons dire que la perméabilité d'un matériau est d'autant plus grande qu'il est constitué d'éléments plus gros et plus uniformes. Si il s'agit d'éléments mixtes (non uniformes). la résistance au passage de l'eau dans la formation est plus importante que pour les matériaux uniformes, car le volume des espaces entre les grains est plus faible.

Ainsi, l'on peut dire que la perméabilité des matériaux mixtes est plus faible que celle de l'un quelconque de leurs composants, pris isolément.

une première conséquence de ces observations est que la productivité d'un forage est d'autant plus grande que la formation qui l'alimente est composée d'éléments plus gros et uniformes, déjà l'on voit qu'on améliorera la productivité d'un forage en réduisant le coefficient d'uniformité, en éliminant le plus possible les éléments fins de la formation qui occupent les espaces entre les grains plus grossiers. cette opération est, précisément, le développement, elle présente pour les forages d'eau une importance considérable.

coefficient d'uniformité (cu)

$$cu = \frac{d_{60} \text{ (40\% retenue)}}{d_{10} \text{ (90\% retenue)}}$$

Le coefficient d'uniformité donne la courbe pente d'apport majeure de la distribution granulométrique

- calibre $x\%$ = d_x défini comme ayant $x\%$ de l'échantillon plus fin que celui de $(100-x)$ plus gros

$cu < 4$ indique granulométrie uniforme

$cu > 4$ indique granulométrie mixte

Pour les échantillons A, B, C, D dans la fig (4.1) la classification est

ECHANTILLON	d_{10}	d_{50}	d_{60}	$cu = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	classification
A	0.12	0.18	0.19	1.58	Sable fin
B	0.26	0.37	0.39	1.50	Sable moyenne
C	0.60	1.10	1.25	2.08	Sable gros
D	0.70	4.50	6.50	9.29	Sable graveleuse

III-5 FORAGE D'EXPLOITATION:

Selon les résultats des analyses ci-dessus, le choix de la méthode de réalisation du forage d'exploitation est fait. Le programme d'équipement du forage (ou tubage) est aussi déterminé par ces analyses.

Les différentes techniques de réalisation de forage d'exploitation sont décrites en partie II. En Algérie la méthode de forage rotatif est beaucoup plus utilisée. De ce fait nous avons donné une grande importance pour cette méthode.

La méthode méthode marteau au fond est utilisée qu'au sud sur les massifs. La méthode de percussion à câble (ou battage) est une autre méthode préférée pour la réalisation des forages d'exploitation et relativement faible profondeur.

III-6 LES OPÉRATIONS DE COMPLETION :

La descente du tubage du forage, le développement et les essais de pompage sont des travaux de completion du forage. Dans la partie III, ces méthodes sont détaillées.

PARTIE II
LES TECHNIQUES DE FORAGES

CHAPITRE I :

LE FORAGE PERCUSSION A CABLE (BATTAGE)

I-1 Principe :

c'est la méthode la plus ancienne, on assure que les chinois pratiquaient déjà il y'a 4000 ans, et avec des ateliers rudimentaires ils atteignaient des profondeurs de l'ordre de 1000 m.

Le procédé consiste à soulever un outil lourd et à le laisser retomber sur la roche à perforer.

La hauteur de chute et la fréquence des coups varient avec la dureté de la roche, si le trepan est accroché directement au câble, ou sous une masse tige - c'est le procédé pennsylvanien.

Si il se trouve fixé sous un train de tiges c'est le procédé canadien.

Il est recommandé de monter une "coulisse" au dessus de l'outil.

Dans le battage au câble (pennsylvanien) le mouvement alternatif peut être tout simplement opéré par le treuil sans aucun autre accessoire.

En actionnant le levier de l'embrayage, le trepan est soulevé puis en lâchant brusquement ce levier, l'outil redescend en chute libre au fond du trou. des divers types de trepans sont montrés en (fig 1)

c'est l'installation la plus simple et la plus employée pour de petits ouvrages sur les machines plus importantes, le mouvement alternatif est produit par un balancier actionné par une bielle et une manivelle. Un matelas de ressorts amortisseurs est monté sous la poulie de tête.

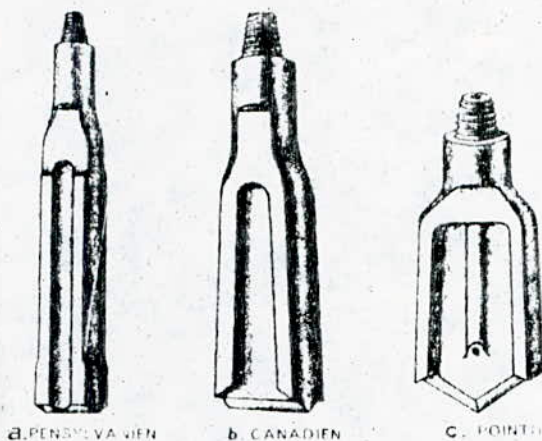


FIG. 1 Trépan divers (Bonne Espérance).

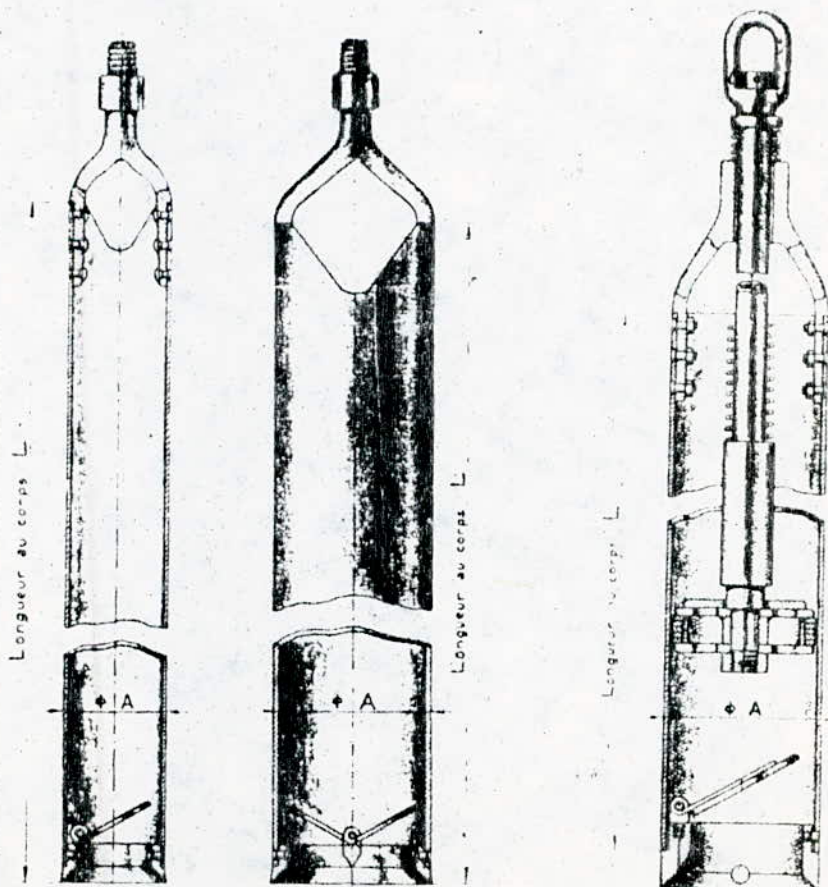


FIG. 2.a) Soupapes à gravier (Bonne Espérance).

FIG. 2.b) Soupape à piston (Bonne Espérance).

de mât, les mouvements saccadés du câble provoquant une rotation du trepan dont la partie coupante agit ainsi sur toute la section du trou.

Après un certain avancement, il faut remonter le trepan et descendre une cuvette (ou soupape-fig 2) pour extraire les sédiments broyés. Cette manœuvre est plus, longue et plus délicate dans le procédé canadien car il y a lieu de démonter et remonter chaque fois le train de tiges et de masses tiges pour mettre le trepan à jour. Pour obtenir un meilleur rendement, on travaille toujours en milieu humide en maintenant de l'eau au fond du trou.

I-2 LA TECHNIQUE :

L'outil est constitué par un tube de diamètre en fonction du trou à réaliser, et dont la partie supérieure est composée d'une fourche sur laquelle est monté un émerillon pour la fixation du câble de soulèvement, sur la partie inférieure est vissé sur un sabot tranchant sur lequel sont rapportés des matières anti choc et anti usure ainsi que la soupape pour l'entrée et la retenue des résidus de perforation. Seulement en cas de terrains durs et homogènes, il est possible de forer avec la sonde à trou découvert ou bien sans l'utilisation des tuyaux de manœuvre, car dans ce cas, il n'y a pas de danger d'éboulement des parois du trou et donc d'obstacles.

On peut aussi utiliser dans le cas de trous de grands diamètres des bennes preneuses

Dans les terrains friables, il est nécessaire de faire suivre le creusement pour la sonde par un tube appelé tube guide car il est ensuite récupéré lorsque le trou est réalisé.

Le tube guide a pour fonction d'empêcher les éboulements de parois du trou durant le forage, et en conséquence, de toutes entraves à l'outil de forage dans le trou.

En battage tous les terrains peuvent être aisément forés, bien que beaucoup plus lentement qu'au rotary, spécialement dans les formations sédimentaires, tendres ou non consolidées.

Le procédé est tout indiqué dans les formations dures, calcaires, dolomies, anhydrites, grès, surs, schistes, silex, il s'impose si ces formations se présentent en surface car il est difficile en rotary, de mettre suffisamment de poids sur l'outil dans ces conditions.

Lorsque l'on rencontre des terrains fissurés et en général des formations très perméables.

L'appareil au battage est incontestablement préférable, car l'on n'a pas à craindre les pertes de circulation.

Si l'on tombe sur les galets alluvionnaires, on aura sans doute autant de mal à les traverser avec l'une ou l'autre des deux méthodes, bien que souvent le massif trépan de battage réussisse à pousser latéralement dans le terrain

des blocs gênants, tandis que l'outil rotatif ne peut souvent rien faire.

d'autre que les user par abrasion, cependant même au battage, on a bien du mal à forer droit dans les galets et cela risque de gêner la pose des colonnes du tubage.

Le battage au câble nécessite beaucoup moins d'eau que le rotary.

40 à 50 litres d'eau à l'heure suffisent en moyenne.

des opérations de completion du forage tels que la pose du tuyau des crépines, le gravillonnage et le développement sont les mêmes pour tous les forages réalisés par n'importe quelle méthode, la description de ces opérations sont données dans la partie III.

On remarque que dans le forage réalisé par battage, où on n'utilise pas la boue, il n'y pas de question de formation de gâteaux à boue (mud cake), en conséquence le développement de ce forage est plus facile.

I-3 LES AVANTAGES ET DESAVANTAGES :

Le système de forage par battage décrit est celui qui parmi tous les systèmes jusqu'à ce jour, permet l'individualisation la plus précise des nappes même de faible quantité, et la meilleure réalisation de puits dans les terrains.

Parmi les systèmes utilisés actuellement, c'est celui pour lequel nous pouvons le plus facilement enseigner le fonctionnement à un personnel qui s'intéresse pour la première fois au forage et avec le moins de risque d'insuccès.

En outre, l'appareil de forage par battage est une utilisation facile et demande une manutention simple et presque nulle. Sa mise en œuvre sur le terrain est très rapide, c'est en outre un appareil composé d'organes simples dont le remplacement ou la récupération éventuelle est facilement réalisée, et sans l'intervention de techniciens hautement qualifiés.

de forage avec l'appareil traditionnel à battage comparé au forage à rotation avec le système traditionnel à table ou avec des appareils plus modernes et sophistiqués à tête de rotation hydraulique, maintient en sa faveur tous les avantages à l'exception de la production horaire ou journalière, largement compensée par les frais d'investissement initiaux la consommation journalière, la manutention, la rapidité d'installation la non utilisation de produits additifs (bentonite) et dans la sécurité le résultat final.

On peut conclure que le système de perforation par battage est, des différents appareils, celui qui est plus que jamais adéquat et conseillé pour l'exécution de puits, et en particulier de puits de grands diamètres dans terrains de nature géologique diverse, jusqu'à une profondeur de 200m. Un modèle amélioré équipé d'un étai hydraulique pour l'enfoncement et l'extraction des tuteurs de manœuvre, permet d'exécuter des forages de grands diamètres et à grande profondeur pouvant commencer par un trou de diamètre de 750mm et pousser des colonnes de manœuvre à de plus grandes profondeurs par rapport au système utilisé avec l'appareil traditionnel.

I-4 LES FORAGES PAR BATTAGE AUX ENVIRONS D'ALGER :

Il existe plusieurs entreprises privées qui font le forage par battage aux environs d'alger, des moyens d'appareillage varient d'une entreprise à l'autre, quelques uns sont bien équipés et ils peuvent réaliser le forage de 100 à 150 m de profondeur, et en même temps ils les moyens pour le nettoyage, développement, et les essais de pompage. Cependant toutes les entreprises privées ne sont pas équipées par l'analyse granulométrique ou corrosage électrique afin de mieux équiper les forages. et notre défaut général est le choix du gravier qui est aussi également lié avec la granulométrie de la formation de la nappe aquifère.

Les petites entreprises privées, généralement équipent les forages pour les crépines à la terre (chalumeau) qui n'ont pas une ouverture constante.

En outre, ils font pas le prélèvement des cuttings, et le tubage par hasard pour quelques entreprises, et même l'emplacement de la pompe et quelque fois en face de la crépine.

De ce fait dans plusieurs cas, il y'a un affaiblissement des forages par ensablement ou colmatage de la crépine et parfois corrosion de la crépine. De plus, même les pompes sont foutues à cause de sable dans l'eau refoulé.

CHAPITRE II FORAGE ROTARY

II-1 PRINCIPE :

La méthode de forage rotary est une méthode classique et plus rapide plus efficace et plus économique que les autres méthodes dans cette méthode un outil monté au bout d'une ligne de sonde (tiges et masses tiges creuses) est animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale accompagné d'une pression verticale une boue, dont la composition et la consistance sont fonction du terrain rencontré, circule à l'intérieur des tiges et de l'outil, lui-même muni d'évents et provoque la remontée au sol des déblais (cuttings) détachés au fond par cet outil. L'atelier du forage rotary est montré sur la (Fig. 3)

En même temps, cette boue tapisse les parois du trou qu'elles consolident en attendant la mise en place du tubage de soutènement, arrivé au sol la boue est décantée dans des canaux et arrive dans un ou plusieurs bacs ou fosses étanches ou se produit l'aspiration d'une pompe à boue qui ferme le circuit en refoulant la boue qui a été débarrassée de ses cuttings, ces derniers déposés dans les canaux, sont soigneusement recueillis et examinés. Ils constituent les échantillons du terrain en cours de forage, ainsi une augmentation de niveau dans la fosse à boue qui s'accompagne toujours d'une diminution de la densité de la pénétration de l'outil dans une nappe aquifère

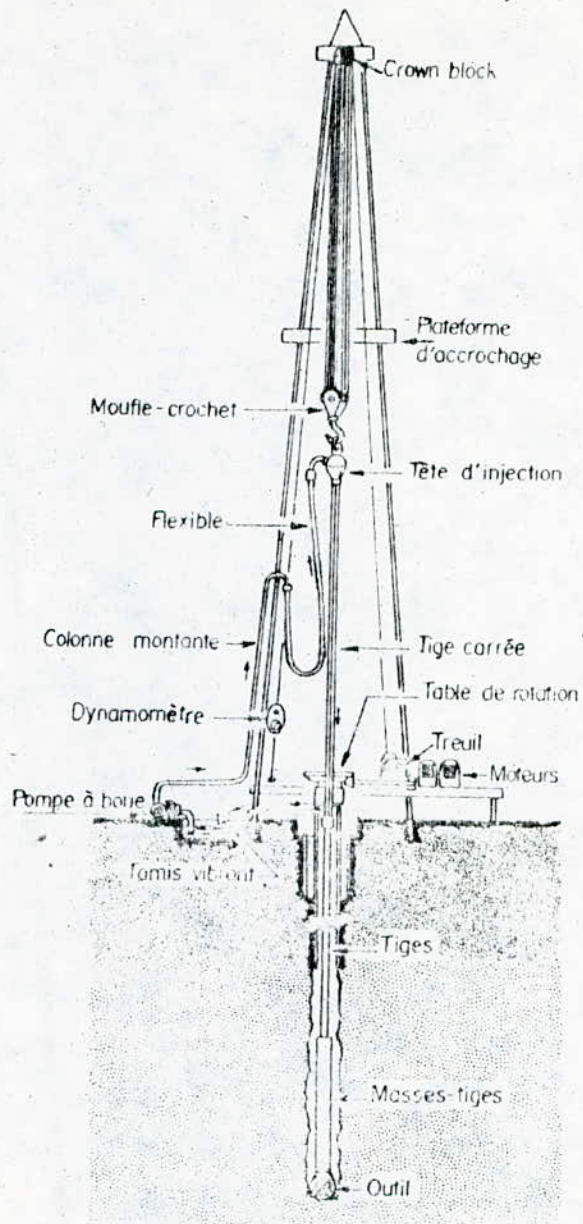
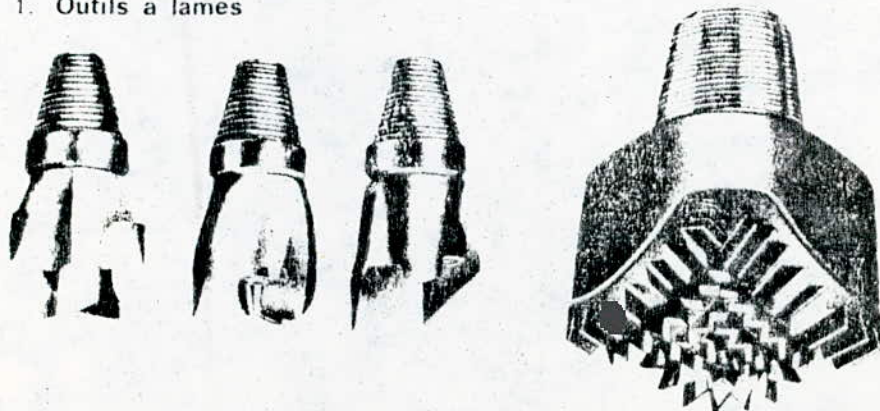


Fig. 3. Disposition schématique d'un
ATELIER de FORAGE ROTARY

FIG. 4. LES OUTILS DE FORAGE

2. Outils à molettes (Rockbits)

1. Outils à lames



par contre une perte de boue ou perte de circulation indique que l'outil se trouve dans une zone très perméable mais elle oblige le sondeur à redoubler l'attention pour ne pas risquer de bloquer la ligne de sonde dans le trou au cours d'exécution. Dans certaines applications, la boue est remplacé par de l'air comprimé qui cependant ne permet pas bien entendu de consolider les parois.

II-2 LES OUTILS DE FORAGE

On utilise différents types d'outils dans les différents terrains, il existe principalement deux types d'outils, outils à lames, et outils à molettes.

II-2-1 OUTILS à Lames :

On a trois types (voir Fig 4)

- Queue de poisson, deux lames (à droite)
- trois ailes
- Pilote : plusieurs étages de diamètres différents.

Ces outils travaillent, en rotation, comme une fraise dans un métal, ils sont employés dans les formations sédimentaires compactes fines et de dureté peu élevée, malgré les avancements intéressants qu'ils procurent leur coût peu élevé, la possibilité de reforger et affûter les tranchants qu'ils sont les seuls à offrir, bien les foreurs n'aiment pas les employer, sans doute est, ce parce que ces outils ne conviennent pas dans tous les terrains, tandis que les outils à molettes sont universels et qu'il vaut mieux en avoir au bout de sa ligne de sonde, au moment, précisément

ou se présente un changement de terrain, une autre raison est qu'ils provoquent des vibrations importantes qui se repercutent jusqu'à la machine.

II-2-2 Outils à molettes (Rock Bits)

Trois ou quatre molettes à axe horizontal ou légèrement incliné, montés sur de solides roulements à billes ou à galets, les outils sont munis, comme les outils à lames, la denture des molettes varie selon la nature du terrain, les dents sont longues et écartées pour les terrains tendres, elles sont courtes fines et rapprochées pour les terrains durs, ces outils procèdent par écrasement et éclatement de la roche, les outils à molettes sont rapidement mis hors d'usage rares qui rechargent les dents usées, et le plus souvent ces outils périssent par leurs roulements, dès qu'ils ont pris un peu de jeu, il serait dangereux de les redescendre dans le Trou.

II-3 LA LIGNE DE SONDE :

II-3-1 LES MASSES TIGES :

elles sont placées juste au dessus de l'outil, ce sont des tubes à parois très épaisses, leur rôle, consiste à faire du poids sur l'outil si nous nous représentons une ligne de sonde descendue dans un forage de telle sorte que l'outil ne repose pas sur le fond, chaque tronçon de cette ligne supporte le poids de ceux qui se trouvent au dessous de lui, tous travaillent à la traction exclusivement (si la ligne ne tourne pas), pas de torsion pas de flambage, pas de compression, les éléments inférieurs fatiguent peu et celui qui est le plus exposé est celui placé sous la tige carrée.

Dès que l'outil va toucher le fond, une compression résulte de cette circonstance, elle dépendra de la retenue du treuil, elle sera plus grande pour les éléments inférieurs, pour une certaine valeur de cette retenue il existe un point sur toute la ligne de sonde où (Traction) et compression s'équilibrent, ce point est connu sous le nom de point neutre.

Le rôle des masses tiges consiste à dégager les tiges de l'effort de compression, car elles sont calculées seulement pour travailler à la traction et à la torsion.

En règle générale, l'outil ne doit pas être chargé d'un poids supérieur à 50% ou 75% du poids de toutes les masses tiges.

La tension du câble mesurée et indiquée en permanence par le dynamomètre connu sous le nom (MARTIN-DECKER), monté sur le brin mort du mouflage, permet d'apprécier le poids apparent de toute la ligne de sonde.

La différence entre le poids réel que le foreur doit connaître avec précision en permanence et ce poids apparent donne la valeur du poids supporté par l'outil, en rotary si l'outil trop appuyé il se détériore rapidement mais si la charge est trop faible, l'avancement sera très réduit ou nul, les masses tiges existent en longueurs unitaires de six à neuf mètres les éléments sont raccordés entre eux par filetages sur cônes selon les normes.

Ils sont généralement cylindriques sur toute leur longueur, mais comportent souvent un rétrécissement à la partie supérieure pour recevoir le collier de l'élevateur et faciliter les manœuvres.

On utilise un acier très résistant, charge de rupture supérieure à 80 kg/mm^2 , pour la fabrication des masses tiges, les dimensions (diamètres) et poids des masses tiges, ainsi que leur filetages sont normalisés.

II-4 LES TIGES :

Le train des tiges, qui sans la ligne de sonde est situé au-dessus des masses tiges constitue l'arbre de transmission du mouvement de rotation de l'outil ainsi que la canalisation qui amène la boue au fond du trou.

L'une des préoccupations du foreur est donc de surveiller constamment le (MARTIN-DECKER) et connaissant la composition de toute la ligne de sonde de déterminer par différence, la charge sur l'outil et la position du point neutre.

La règle est la suivante : la section de l'espace annulaire entre tiges et terrain doit être de trois à cinq fois celle de l'intérieur des tiges, et on doit choisir les tiges en fonction des outils, les tiges sont des tubes d'acier étiré sous soudure filetés mâles sur cônes aux deux extrémités elles ont, comme les masses tiges des longueurs unitaires de six à neuf mètres.

II-5 LA BOUE DE FORAGE :

I-5-1 FONCTIONS PRINCIPALES DE LA BOUE DE FORAGE :

- MAINTENIR LE TROU DE DÉBRIS DE FORAGE :

une des fonctions fondamentales de la boue de forage, consiste à Remonter les débris au fur et à mesure de l'avancement du forage.

le fluide doit également être à même de maintenir les débris en suspension pendant un arrêt de circulation pour une manœuvre de tiges, pour des réparations, ou pour d'autres opérations. L'aptitude à transporter des débris de forage pour les remonter en surface et les décanter dans un Bassin dépend partiellement de la vitesse linéaire de la Boue dans l'espace annulaire entre les tiges de forage et la Paroi du TROU.

- EMPÊCHER LES VENUES DES FLUIDES :

La pression hydrostatique exercée par la colonne de fluide de forage doit être telle qu'elle empêche toute venue d'eau, En provenance des formations traversées par le forage. le poids spécifique de la boue est évidemment d'une importance capitale pour remplir cette fonction.

- PREVENIR LA FORMATION DE CAVES :

La pression hydrostatique de la colonne de Boue qui s'exerce, contre les parois du TROU, constitue un des facteurs prevenant la formation de caves, le fait que la boue dépose au droit des formations perméables Appelé (cake) de Boue, constitue un autre facteur de prévention.

REFROIDIR LE TRÉPAN ET LUBRIFIER LE TRAIN DE TIGES :

Pratiquement, n'importe quel fluide apte à être circulé par les tiges de forage peut refroidir le trépan, néanmoins, la lubrification est devenue le plus

en plus importante dans les techniques modernes de forage et exige des caractéristiques de Boue spéciales, en d'autres termes l'utilisation d'une Bonne Boue permet d'éviter des Ennuis, si nécessaire on met en œuvre des Boues émulsionnées, des émulsifiants spéciaux et des Lubrifiants à haute pression afin de mieux lubrifier le Train de tiges et le Trépan.

- PERMETTRE L'OBTENTION DES INFORMATIONS À PARTIR DU Puits et ne pas ENDOMMAGER LES FORMATIONS PRODUCTIVES .

Outre les quatre fonctions principales liées directement au forage, une Boue doit remplir d'autres fonctions, le but du forage est de faire un puits producteur les caractéristiques de la Boue doivent être telles qu'elles permettent la récupération des débris de forage et de carottes en bon état ainsi que l'enregistrement des diagrapies pendant toute la durée du forage la Boue doit offrir une protection maximale aux formations productives éventuelles et ne doit pas les endommager .

II-5-2 Relations ENTRE LES fonctions, la composition, et les PROPRIÉTÉS DE LA Boue de forage:

la composition et les propriétés de la Boue de forage sont des objets d'intérêt, pour chaque membre de l'équipe de forage parcequ'ils influent sur sa sécurité et son travail .

- composition DE LA BOUE : UN SIMPLE MELANGE À TROIS PHASES :

la plupart des Boues peuvent être classées, comme Boues à Bases d'eau et se composent essentiellement de trois parties .

- 1) la phase liquide .
- 2) la fraction colloïdale qui est la partie active
- 3) la fraction inerte qui peut être du sable, un alourdissant, ou d'autres solides inertes .

la composition du fluide de forage dépend des conditions particulières du forage correspondant, dans certaines régions on peut commencer le forage à l'eau, au fur et à mesure de l'avancement, les argiles et les marnes en provenance des formations sont dispersées dans l'eau, ce qui conduit en fin de compte à une boue à peu près convenable, dans d'autres régions, par contre on traverse des calcaires, le grès et des marnes qui ne forment pas de boue, dans ces conditions, il est nécessaire d'ajouter de l'argile à l'eau, ceci répond à deux buts :

- 1) Donner de la viscosité au fluide de forage
- 2) Améliorer les caractéristiques de filtration

- Fabrication DE LA BOUE :

L'addition de Bentonite ou d'argiles dans la boue lors du forage d'un puits constitue une opération qui doit être effectuée soigneusement. Généralement de faibles quantités de produits sont mises en œuvre, les formations traversées ne fournissent que rarement les solides colloïdaux requis pour un contrôle efficace de la boue. il y a lieu de contrôler tout particulièrement la concentration et la nature des solides se trouvant dans la boue avant l'addition de Bentonite ou d'autres argiles.

- Essai DE CHANTIER DES BOUES DE FORAGE :

Le succès de toute l'opération de forage est directement lié aux propriétés du fluide de forage, dans les puits profonds et chers, toutes les caractéristiques physiques de la boue, ainsi que la teneur en ions solubles, sont contrôlés à intervalles réguliers, tout l'art de la technique de boue consiste à adapter constamment les propriétés de la Boue à ses fonctions.

II-6 PROBLEMES COURANTS DE FORAGE .

on rencontre des problèmes de forage directement liés aux fuites de forage, certains de ces problèmes sont communs à plusieurs régions, tandis que d'autres sont surtout caractéristiques d'une région particulière. Les premiers problèmes qu'il convient de prendre en considération ne sont pas des problèmes de forage à proprement dit. Ce sont ceux ayant trait à une manipulation efficace et économique des fluides de forage, c'est à dire .

- 1) Stockage de la boue et des produits à boue .
- 2) Installation de surface
- 3) consignes de sécurité pour la manipulation des produits à boue .
- 4) Enregistrement des données relatives à la boue .

les problèmes, autres que la contamination qu'on rencontre le plus souvent en cours du forage sont :

- 1) Délitage des marnes
- 2) pertes de boues
- 3) température de fond élevées
- 4) Pressions de formation Anormales
- 5) Eruptions et forage dans les zones à Pressions élevées
- 6) Risques

On remarque que la manipulation des produits à boue est faite arbitrairement par les entreprises algériennes particulièrement des entreprises privées.

Une description brève des mesures (ou données relatives à la boue) à faire sont données ci après.

Il est conseillé de doter chaque chantier rotary d'un petit laboratoire de chantier qui tient tout entier dans une armoire métallique

cette armoire doit se trouver obligatoirement à proximité du foreur, si possible sur la plate forme de l'appareil. Elle contient notamment les instruments suivants tous simples et robustes

BALANCE BAROÏD (DENSITÉ) : (voir FIG 5 Page 38)

on pèse un échantillon de boue d'un volume constant on équilibre en déplaçant le curseur et on lit directement la valeur de la densité qui est graduée en conséquence

ENTONNOIR DE MARSH (VISCOSITÉ) (voir FIG 6 Page 38)

Un entonnoir, contenant environ 1,5 litre de boue est terminé par un ajutage rigoureusement calibré, l'appareil ayant été rempli, on note le temps en secondes, nécessaire pour remplir un récipient de capacité donnée soit environ 0,95 litre, il faut 26 secondes pour l'eau claire, en moyenne il faut 35 à 45 secondes pour une bonne boue de nombre de secondes exprime la viscosité MARSH

PRESSE BAROÏD (FILTRAT ET CAKE) :

On fait pénétrer, sous une pression donnée fournie par une bouteille d'azote ou d'air comprimé, un volume donné de boue à travers un filtre d'une finesse donnée

L'essai dure environ 30 minutes, on mesure le volume du liquide passé à travers le filtre, et l'épaisseur de la croûte solide (cake) resté en amont du filtre. Un cake supérieur à 5 mm serait trop épais et risquerait de réduire le diamètre du trou en cours de forage.

TENEUR EN SABLE (APPAREIL BAROÏD) :

On mesure par tamisage, la quantité de sable qui ne passe pas au tamis de 200 (mailles de 75 microns) d'un certain volume de boue

En général, il faut moins de 5% de sable, en volume, par rapport au volume global de l'échantillon de boue

PH (CALORIMETRIE) :

On utilise de petites feuilles de papier imprégnées de solutions chimiques qu'on trempe dans la boue à tester, on lit sur la feuille dont la couleur s'est trouvée modifiée, la valeur du PH de l'échantillon de boue

Au début du forage on se tient aux premières valeurs alcalines (de 7 à 9,5) une boue de PH supérieur à 11 est déjà contaminée par le ciment ou l'eau de la formation

des objets de mesures et les conséquences et également les remèdes

(d'après ALBERT. MABILLOT, forage d'eau) sont données dans le tableau suivant

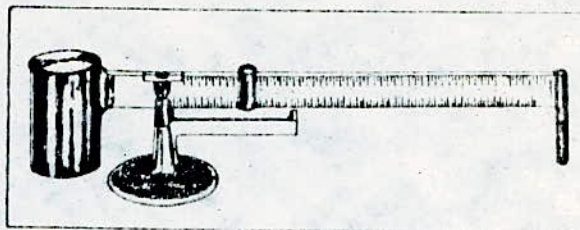


FIG. 5 - Balance Baroid.

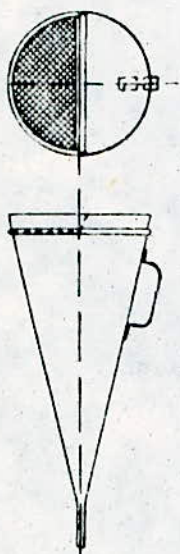


FIG. 6
Entonnoir de Marsh.

CONDITIONNEMENT DE LA BOUE A LA BENTONITE

Objet des mesures (Valeurs normales)	Appareils à employer (S.N. MAREP 12 - rue J. Nicot, 75 - Paris VII ^e)	Interpretation des resultats Conséquences	Requies et correctifs à employer Ajouts
Densité moyenne 1,20	Balance BAROID (la fleur)	trop forte : risque de perte de boue cake trop épais trop faible : cake trop mince risque de dégradation des parois, éboulements, éruptions si artérianisme	Dilution par l'eau en contrôlant les autres caractéristiques (Branche, en particulier à la neutralité, 4V, 4V ₂ , dosage. Arrangement par tout, plant) Ajouter bentonite (dosage 2,6) ou oxyde de zinc (3,1). Brasser. (Valeurs critiques : 2 pour l'essaim dans la boue) (p. 85)
Viscosité moyenne 40 à 45 secondes MARSH	Viscosimètre MARSH (entonnoir - chantier) Viscosimètre STORMER (laboratoire) donne aussi le gel à 10 minutes	trop forte : difficulté de pompage, risques de concrètements pendant les arrêts de circulation trop faible : risque de perte de boue et de concrètements par séparation des éléments constitutifs de la boue	Emploi de pyrophosphate 14 kg pour 100 l d'eau de tannin (que brasser), de lignites (ligno-sulfates. Attention au pH) Ajouter de la bentonite de l'amidon ou de la fécule
Filtrat 5 à 10 cm ³ Cake 6 32" : 5 mm (maximum)	Filtre presse BAROID	filtrat trop grand = cake trop mince, risques d'éboulement et de pertes de boue filtrat trop faible = cake trop épais, risques d'aveuglement des veines d'eau	Ajouter Amidon, fécule ou, mieux, CMC (Blancose - carboxyméthylcellulose - Cellulose cellulosale) 3 à 10 kg par m ³ de boue. Mixer, brasser Dilution par l'eau. Contrôler les autres caractéristiques, passer à la neutralité
Sable	Tannin BAROID	risques d'arrêt par abrasion, des pompes à boue	Emploier les densités : 1 à 2 cycles
pH 7 à 9,5	Papiers colorimétriques	pH > 11 : contamination par le ciment ou par l'eau de la formation pH < 7 : excès d'acidité, risque de flocculation	Emploier des polyphosphates (selon si pH > 11 ou autres si pH < 7)

(D'après le forage d'eau, ALBERT MAILLOT)

II-7 ROTARY A CIRCULATION INVERSE

Dans le rotary classique nous avons vu que la boue a été introduite à l'intérieur des tiges et qu'elle remontait au jour par l'espace annulaire. Dans le système à circulation inverse, la pompe refoule dans l'espace annulaire et aspire à l'intérieur de la ligne de sonde, en réalité la pompe refoule dans le Bac à Boue et celle-ci s'écoule par gravité dans l'espace annulaire. (voir Fig 7)

au fond du trou, elle se charge des cuttings produits par la rotation de l'outil et passant par de large events pratiqués sur cet outil, la boue et les sédiments sont aspirés par la ligne de sonde mise en dépression par la pompe.

la boue employée est beaucoup plus légère qu'en rotary classique et ressemble d'avantage à une eau boueuse qu'à la boue habituelle.

les vitesses de circulation sont beaucoup plus faibles qu'en rotary courant, de sorte que l'érosion des parois est insignifiante d'où la fluidité relative de la boue.

on Emploi dans cette méthode soit une pompe centrifuge à grandes passages d'eau et capable de véhiculer les cuttings, soit un ejecteur à air comprimé.

les pertes de circulation à cause du circuit à très basse pression permet d'engendrer les éboulements de parois, Puisque la pompe aspire dans la ligne de sonde, il est nécessaire de n'employer que de courts éléments de tiges. trois mètres.

les éléments de tiges sont raccordés par des, le diamètre des tiges est souvent de 6 pouces étant donné la faible vitesse de descente de la boue dans le forage, on peut fort bien garder un large espace annulaire, une vitesse de descente de 0,30 m/s et même moins la vitesse de rotation varie entre 10 et 40 TR/min.

le procédé est économique pour les terrains tendres et non consolidés.

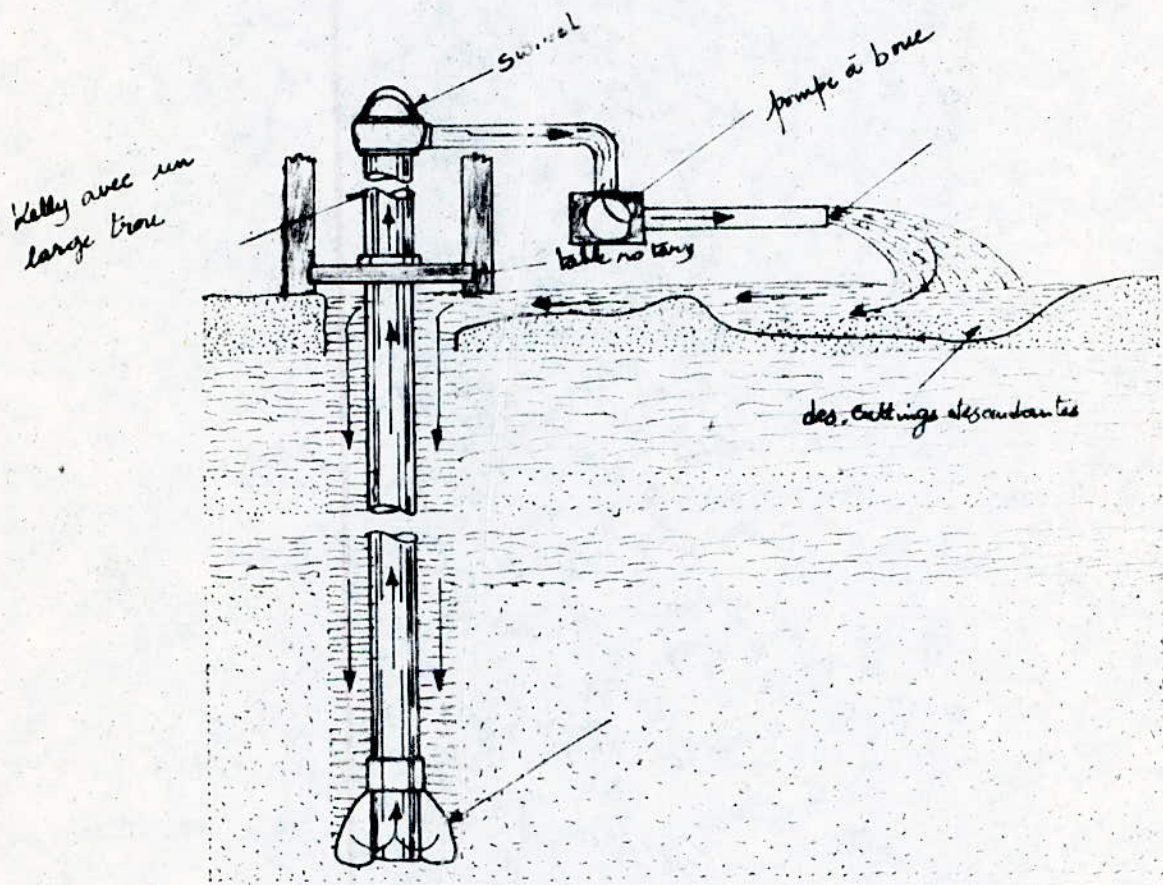


FIG. 7. Le Principe de circulation inverse.

Il n'est valable que si le niveau statique de l'eau dans le terrain se trouve à plus de trois mètres au sol.

Il n'est pas recommandé dans les galets ou les gros blocs qui accablent parfois à la sortie du train de tiges et l'extraction par benne perçuse des blocs gênants ou employe soit des outils à lames, soit des outils à molettes excentrés par rapport à la ligne de sonde et qui travaillent un peu comme les meules des anciens moulins.

- Relations entre diamètres DE FORAGE et des TUBAGES:

Pour ce qui concerne le tubage, il y a un tableau des dimensions pour la mise en place des colonnes, il y a lieu de laisser entre tube et terrain un jeu suffisant pour faciliter le glissement et pour exécuter les opérations de cimentation de pose de gravier dans l'espace annulaire, sous

la pose de ce tube guide est indispensable pour tenir le terrain en surface il sera cimenté sur toute sa hauteur, celle-ci ne devant pas être inférieure à un mètre, le trou dans lequel ce tube sera posé pourra facilement être exécuté à la main.

II.8 AVANTAGES ET DESAVANTAGES DES APPAREILS DE FORAGE ROTATIFS

Afin de mettre l'étude suivante des avantages et desavantages des appareils de forage rotatifs à entraînement à tête rotative et à table de rotation en perspective, il faudrait noter qu'il n'est pas possible de classer toutes les appareils de même catégorie au point de vue de détail et de conception.

La table de rotation sur un appareil de rotation s'active d'habitude mécaniquement par une transmission à plusieurs vitesses.

L'appareil à table de rotation peut être manœuvré aussi plus facilement d'un grand passage de fluide, ce qui le rend encore meilleur au forage de trous de grands diamètres, aussi bien qu'au forage à boue, en général à cause de la perte de friction réduite.

L'appareil à entraînement à table de rotation peut élever la tige de forage du trou dans un tiers à peu près du temps qu'il faut à l'appareil à entraînement à tête rotative, il y a deux facteurs qui le rendent possible. L'un parce que la rotation desserre chaque partie de tige de forage tout en descendant d'un seul mouvement, l'autre facteur c'est le fait que la vitesse de levage du treuil est d'habitude 30 à 50% plus grande que celle des cylindres hydrauliques utilisés pour l'entraînement à tête rotative. L'appareil à table de rotation ne devrait pas cependant être considéré principalement appareil de forage à boue puisque beaucoup d'eux sont manœuvrés

de grats, compresseurs de forage, aussi bien que d'une grande pompe à boue ceci rend l'appareil de rotation bien plus souple lorsqu'on fore dans une région ou des différents techniques de forage sont exigées d'un trou à l'autre pour la plupart des avantages de l'appareil à tête rotative sont sur le plan du forage à air. L'appareil à tête rotative peut ajouter une pièce de tige de forage dans moins d'une moitié de temps pris par un appareil à table de rotation, ceci est parce que l'appareil à table de rotation doit lever la colonne de forage tout le long de la barre d'entraînement.

L'appareil à tête rotative n'a qu'à dévisser la tête rotative pendant que la colonne de forage est au fond, lever la tête rotative apporter la prochaine pièce de tige de forage déjà chargée avec un dispositif de chargement, la visser à puissance en haut et en bas et le forage peut recommencer. Cette vitesse est particulièrement importante lorsqu'on fore à l'air dans les formations fragiles ou inconstantes puisque l'interruption de la circulation à air est plus courte.

un autre avantage de l'appareil à tête rotative c'est que si la tige devient coincée à cause de friction au trou pendant l'enlèvement de la tige de forage elle peut être tournée quand on l'enlève, autrement dit, il peut forer en montant et sortant aussi bien qu'en descendant le trou.

L'appareil à tête rotative a un système supérieur de « HOLD BACK » qui est très important en contrôlant le poids du trépan en utilisant un marteau de fond de trou, ceci est particulièrement important quand on fore en

plus à 150 m avec le marteau

Il y'a aussi des observations générales à faire en comparant ces deux types d'appareils de forage.

L'appareil à tête rotative à cause de sa conception entièrement hydraulique est plus facile à opérer mais il est bien plus sensible à la contamination de la saleté

Il engendre aussi plus de chaleur qui raccourcit la vie totale de l'équipement lorsqu'on s'en sert dans des régions avec des hautes températures.

Ceci rend aussi la tête rotative plus susceptible au feu d'un flexible hydraulique cassé, l'entraînement à table de rotation, cependant est plus cher à entretenir à cause de plus grand nombre de pièces mobiles, mais tend à avoir une vie de service plus longue parcequ'il peut être plus facilement entretenu.

Ceci résulte pour la plupart du fait que des systèmes mécaniques sont plus faciles à diagnostiquer et à comprendre.

REMARQUES :

La méthode de forage rotary est beaucoup plus utilisée, non seulement pour les forages hydrauliques, mais encore plus particulièrement pour les forages pétroliers dans le monde.

En vue des avantages décrites ci-dessus, le forage rotary est beaucoup plus utilisé dans les formations meubles, ou semi consolidées dans les environs d'Alger, comme il a été indiqué dans (PARTIE I, CHAPITRE I) la plaine de Mitidja est constituée par des alluvions, et de ce fait la méthode rotary est la plus utilisable, donc les entreprises nationales et les entreprises privées sont équipées des appareils de forage rotary.

Tous les forages plus profonds que 100 m sont réalisés par cette méthode les entreprises nationales sont équipées par des appareils de carottage géophysique mais les entreprises privées manquent ces moyens.

On remarque que toute fois il manque l'analyse granulométrique et même des observations sur les divers aspects de la réalisation du forage, tel que les caractéristiques de boue, l'avancement de l'outil etc.

Le programme de tubage est généralement basé sur une observation visuelle des cuttings, ainsi on remarque que le choix de l'ouverture de la crépine, le diamètre de la crépine etc. sont faites arbitrairement en manquant une précision. Le rendement du forage et la durée de vie dépendent sur ces facteurs (PARTIE III, CHAPITRE I) et l'affaiblissement du forage peut due au mal équipement. De ce fait, il est conseillé d'entreprendre tous les mesures nécessaires pour une bonne réalisation des forages. Les mesures à faire au cours de la réalisation sont indiquées dans la (PARTIE III).

CHAPITRE III

METHODE DE FORAGE PAR MARTEAU DE FOND DE TROU :

III-1 Principe :

La methode de marteau au fond est une extension de technique de forage percussion, sous l'action de la pression d'air comme un marteau piqueur, combiné à une rotation transmise à partir de la table de rotation en tête rotary selon la sondeuse utilisée.

Il faut cependant signaler que cette rotation n'est pas aussi importante que celle de forage conventionnel au rotary d'air est acheminé au marteau par l'intermédiaire d'une colonne de tiges lisse afin d'éviter les étranglements et chutes de pression le long de train de sonde et remonte le long de la paroi en espaces annulaires vers la surface entraînant avec lui des cuttings arrachés par le taillant.

L'action de percussion est la rotation à faible vitesse, contribuent à donner une grande vitesse d'avancement dans les terrains durs et consolidés le but d'une telle methode est la rapidité d'exécution surtout dans les terrains très durs et abrasifs où le rotary ne permet pas de Avancements rentables.

III-2 L'OUTIL :

Pendant de nombreuses années les seuls outils pour les marteaux fond de trou ont été vraiment des taillants avec un corps en acier spécial, fixé au marteau arrivant à former un ensemble solide dans lequel étaient incrustées quatre plaquettes « taillantes » en carbure de tungstène, les résultats variables ont été obtenus selon la qualité des

matériaux employés et la fabrication.

Ils demandaient des réaffutages fréquents des plaquettes surtout dans les terrains durs et abrasifs.

En plus, la rupture ou la sortie d'une de quatre plaquettes portait la perte à 25% de possibilités de forage et il était pratiquement impossible d'utiliser des taillants avec deux plaquettes manquantes.

Mais la aussi la technique a beaucoup évolué.

Dans les années 1970 quelques constructeurs ont introduit des outils de foration dans lesquels les plaquettes étaient remplacées par des pastilles cylindriques à base semi-sphérique en nombre variable et dépendant du diamètre de l'outil et des pastilles mêmes, toujours en carbure en tungstène.

Au début les utilisateurs ont cru ce nouveau type d'outil fait pour les terrains tendres et moyens et a été accueilli avec une certaine réticence. Bien évidemment la méthode des outils à pastilles pour casser la roche est différente par rapport aux taillants à plaquettes.

Aujourd'hui les outils utilisés avec les marteaux fond de trou sont du type à boutons ou pastilles.

III-3 UTILISATION DU MARTEAU DE FOND DE TROU :

L'utilisation des marteaux fond de trou, dès leur introduction et pendant longtemps, a été pratiquement limitée aux trous de faible profondeur de petit et moyen diamètre 150/165 mm a constitué jusqu'au années soixante dix un maximum.

Nous rappelons que les performances des marteaux fond de trou sont directement liées à la pression d'air d'alimentation avec l'avantage de dégager une colonne d'eau d'une hauteur importante permettant ainsi au marteau d'être utilisé pour les forages d'eau de grandes profondeurs. Ce paramètre rend obligatoire l'utilisation des compresseurs dont les caractéristiques sont les suivantes :

- un débit assez important pour alimenter les marteaux fond de trou et permettre le nettoyage du puits
- une pression de refoulement allant de 17 bars au plus qui permet au marteau de développer une puissance optimale et ainsi avoir un bon rendement au mètre foré, donc une meilleure rentabilité de l'ouvrage
- un encombrement réduit pour permettre une installation facile directement montée sur les machines de forage.

Nous rappelons à cet effet qu'il existe des machines de forage équipées spécialement pour les forages aux marteaux fond de trou avec des compresseurs d'air d'un débit de $30 \text{ m}^3/\text{min}$ et une pression de 17 bars ou plus.

Les marteaux fond de trou ainsi alimentés peuvent donner les performances remarquables, de l'ordre de 10 à 25 m/heure selon la nature des terrains traversés.

Contrairement au forage conventionnel, le forage avec marteau fond de trou ne nécessite pas un poids sur l'outil important et la vitesse de rotation n'influence pas grandement ses performances, et les marteaux fond de trou sont équipés

de clapets anti-retour installés à l'intérieur du marteau, mais évitent à l'eau de remonter à l'intérieur du train de tiges (ce qui pourrait occasionner le bouchage de marteau)

Donc la présence de l'eau dans le forage n'influence pas l'avancement de l'outil (sauf bien sûr dans le cas de volumes d'eau très importants)

Il est à noter cependant qu'à chaque ajout de tige, il est nécessaire de dégager la colonne d'eau autour du marteau par l'air comprimé à haute pression avant de poursuivre le forage.

Il sera alors possible de forer sur toute la longueur de la tige, sans que la présence de l'eau puisse gêner le fonctionnement du marteau.

Après la rétrospective sur le marteau et les compresseurs nécessaires à leur utilisation, il serait maintenant utile de dire quelques mots sur les taillants ou outils à pastilles.

Ce sont des outils monoblocs dans lesquels sont incrustés des pastilles semi-sphériques, en carbure de tungstène, le taillant agit par percussions sur la roche.

Il est entraîné par un piston monté sur le marteau.

Actuellement, ce genre d'outil à pastilles est universellement utilisé avec les marteaux fond de trou.

III-4 AVANTAGES ET INCONVENIENTS :

des marteaux fond de trou de gros diamètre demandent des quantités d'air comprimé importantes.

d'air est disponible partout, mais il est cher à comprimer et il n'est pas réutilisable.

* la boue par contre, est réutilisable, mais elle aussi demande des quantités importantes d'eau pour sa confection surtout en présence de fortes de circulation et normalement où l'on fore pour chercher de l'eau il n'y pas d'eau (et l'air ne manque pas)

des marteaux fond de trous (et surtout les marteaux de gros diamètre) sont des outils plus chers que la tricone à descendre dans un puits.

Il peut arriver de perdre un marteau et son outil dans le cas d'un coincement dans des terrains difficiles, qui, peut être, mais il faut dire que les terrains difficiles à se soutenir ne demandent pas la force de frappe pour obtenir des bonnes performances de foration.

Ils sont d'habitude forés en rotary et à la boue.

Dans les terrains qui demandent l'utilisation des marteaux fond de trou les possibilités de pertes par coincement sont réduites.

En ce qui concerne la technique de forage, on peut affirmer que forer avec un marteau fond de trou n'est certainement pas plus compliqué que forer en rotary.

Bien évidemment la technique est différente : moins de poids sur l'outil et vitesse de rotation beaucoup plus réduite pour le .

Aujourd'hui la lubrification des marteaux est rendue beaucoup plus aisée grâce à des systèmes de graissage par pompe d'injection pneumatique montés sur un réservoir d'huile de grande capacité. Il reste aux utilisateurs à tirer des conclusions quant à l'application des marteaux fond de trou dans la recherche d'eau.

des résultats obtenus jusqu'à maintenant encourageant les constructeurs et utilisateurs à développer cette technique.

La méthode du marteau au fond est pratiquement inutilisable aux environs d'Alger, en raison d'existence des formations meubles à une grande épaisseur.

Il y a d'autres méthodes mineures de réalisation de forages, comme forage d'injection, Air lift, ... etc, on a pas étudié ces méthodes dans cet ouvrage.

PARTIE III

LES OPERATIONS DE COMPLETION

CHAPITRE I : TUBAGE DU FORAGE

I-1 LE PROGRAMME DU TRAVAIL :

Le programme d'équipement (ou du tubage) d'un forage dépend sur les divers facteurs tels que les conditions hydrogéologiques, la granulométrie, les besoins en eau ... etc.

On peut distinguer trois éléments majeurs de l'équipement tubulaire

- 1) la chambre de pompage
- 2) le captage
- 3) le tube de décantation et le sabot

Le programme idéal de tubage serait de pouvoir réaliser un trou de diamètre constant dans lequel on placerait un tube ayant la même section d'une borne à l'autre, cependant selon la profondeur du forage et en considération de l'économie, les dimensions de l'ouvrage terminé et celle de son tubage constituées généralement par plusieurs colonnes télescopiques. De ce fait on est obligé de forer en surface un trou suffisamment large pour que la pompe qui est destinée à débits escomptés facilement peut être installée dans cette colonne, cette colonne est nommée la chambre de pompage, la longueur de cette colonne est déterminée par le niveau dynamique du au pompage, à débit d'exploitation, en plus des fluctuations de la surface piézométrique dans la région et enfin une marge de sécurité. Les colonnes de captage sont déterminées par les études granulométriques des échantillons du forage, dans cette colonne, constituée des crépines à une

ouverture, le choix est déterminé encore par la granulométrie, en cas d'une nappe libre un tiers de la partie inférieure de l'aquifère est captée - c'est à dire deux tiers de la longueur totale du tubage constitue le tube plein ou la chambre de pompage.

Le choix des diamètres d'une colonne est souvent conditionné par l'encombrement de la pompe, et celui-ci est fonction du débit.

Il est recommandé de laisser un pouce de jeu entre pompe et tubage. Le diamètre intérieur sera donc environ 5 cm plus grand que le diamètre extérieur de la pompe.

Le diamètre extérieur sera fonction des contraintes mécaniques. Compte tenu des dimensions des groupes électropompes à moteur immergé couramment utilisés en forages d'eau, nous avons dressé le tableau suivant qui permet de choisir les diamètres intérieurs d'après les débits prévus.

Diamètres intérieurs minima des tubages (pouces)	Débits maxima prévus (m ³ /h)
4"	3
6"	50
8"	140
10"	250

I-2 CALCULS PRATIQUES SUR LES ELEMENTS TUBULAIRES

une colonne peut être exposée :

- 1) aux efforts de traction
- 2) aux efforts d'écrasement (pression extérieure, centripète)
- 3) aux efforts d'éclatement (pression intérieure, centrifuge)
- 4) aux efforts de flambage et de flexion

les tubes les plus usités sont classés selon les normes API (American Petroleum Institute) et sont fournis par les aciéries, en longueurs variant entre 9 et 10 mètres.

Ils sont en acier 'étiré', sans soudure, sans renflement, filetés extérieurement et raccordés entre eux par manchons filetés extérieurs.

Dans chaque diamètre, il existe plusieurs qualités d'acier, dénommées nuances ou grades qui se traduisent par des charges de rupture à la traction variant entre 25 et 70 kg par millimètre carré de section.

Dans chaque diamètre et chaque nuance, il existe plusieurs épaisseurs, mais le diamètre extérieur demeure le même, seul change le diamètre intérieur par exemple ci dessous, les caractéristiques API sont données pour trois épaisseurs diamètres, nuances et épaisseurs donnent les valeurs de la résistance des colonnes à la traction. Il faut savoir que chaque élément de tube introduit dans l'ouvrage subit le poids de toute la colonne située au dessous de lui, celui qui fatigue le plus est le dernier monté.

voici pour les quatre nuances d'acier les valeurs de la limite élastique et de la charge de rupture en Kilogs par millimètre carré de section.

	NUANCES OU (GRADES)			
	H 25	H 40	J 55	N 80
Limite élastique	17.5	28	38.5	56
charge de rupture	28	42	52.5	70

pour tenir compte des pertes de section aux filetages il est prudent de ne tabler que sur la moitié des valeurs ci dessus.

Par contre, il est bon de se rappeler que le principe d'Archimède a pour effet de soulager la colonne d'une quantité non négligeable, surtout si elle est descendue dans la boue.

Dans une boue de densité 1.3 pour un acier de densité 7.9. l'allègement de poids est de $1.3/7.9$ soit environ $1/6$ du poids de la colonne.

Si la descente s'effectue sans bouchon ni clapet de pied

cette proportion est bien plus grande si l'on fait flotter la colonne en l'obturant à la base. Ainsi une colonne de 4 1/2 en nuance H40 d'une épaisseur de 6.35 mm ayant une section de métal de 2170 mm² faisant 17.25 kg au mètre, ne peut être utilisée, dans un trou sec, que sur une longueur maximum de

$$\frac{2170 \times \frac{42}{2}}{17.25} = 2600 \text{ mètres.}$$

Dans un trou plein de boue de densité 1.3 on pourrait

aller jusqu'à $2600 \times \frac{6}{5} = 3100$ mètres, si la colonne est ouverte à la base.

Avec un clapet de pied ou un bouchon, la colonne serait allégée de 11 kg

au mètre et pourrait être descendue à $2600 \times \frac{17.25}{17.25 - 11} = 8500$ mètres

mais si le clapet ou le bouchon ne sont plus étanches le risque de rupture est considérable.

I-2-1 RESISTANCE AUX EFFORTS D'ECRASEMENT

ces efforts se manifestent lorsque l'on vide une colonne pleine de boue pour la mettre en production, ou si la colonne est descendue vide avec un bouchon ou un clapet de pied.

La résistance à l'écrasement est pour un métal donné, fonction inverse du rapport D/t entre le diamètre extérieur et l'épaisseur.

Les valeurs limites de D/t pour les tubes figurant au tableau indiqué sont d'une part, celle du tube de 4 1/2" épais, et d'autre part, celle du tube de 13 3/8" mince.

En forages d'eau, on aura donc des valeurs de D/t comprises entre

$$\frac{114}{3.45} = 33,1 \text{ et } \frac{339.7}{8.38} = 40,5$$

voici, en fonction de D/t , les pressions d'écrasement en Kilogs par centimètre carré. La pression hydrostatique centripète d'une colonne annulaire de boue de densité 1,3 est de 1,3 kg sur 10 mètres par centimètre carré.

il n'y a donc aucune limite de profondeur pour une colonne de 4 1/2", alors qu'une colonne de 13 3/8" d'épaisseur 8.38

risquerait d'être écrasée à une profondeur de $\frac{70 \times 10}{1.3} = 540$ mètres.

$\frac{D}{t}$	Pressions d'écrasement (Kilogs/cm ²)
15	1000
20	500
25	280
30	150
35	100
40	70
45	50

I-2-2 RESISTANCE AUX EFFORTS D'ECLATEMENT :

la formule est la suivante

$$P = \frac{2eR}{D} \text{ en kg./cm}^2$$

P: Pression critique intérieure centrifuge

e: épaisseur du tube en centimètres

R: résistance du métal en Kilogs par centimètre carré (environ 60% de la limite élastique)

D: diamètre intérieur en centimètres

Dans la pratique, les tubes sont essayés aux pressions internes limites suivantes

Nuance H 40 : de 45 kg/cm² pour les tubes

de 20 à 126 kg pour les tubes de 4 1/2"

Nuance J. 55 : de 128 kg/cm² pour les tubes

de 16" à 204 kg pour les tubes de 4 1/2"

Nuance N 80 : de 196 kg/cm² pour les tubes

de 13 3/8" à 299 kg pour les tubes de 9 5/8" et plus petits

Sauf cas accidentel imprévisible, les pressions ne sont jamais atteintes
en forage d'eau .

I-2.3 RESISTANCE AU FLAMBAGE ET A LA FLEXION

Le flambage pourrait se produire si une colonne posait sur le fond ou sur un obstacle quelconque en cours de descente, mais comme le tubage se trouve toujours dans un trou d'un diamètre à peine plus grand, le risque est peu fréquent et peu important

Il n'en sera pas de même pour les crepinas à fil enroulé

la flexion serait à craindre si l'on descendait une colonne dans un forage présentant une très forte déviation à un endroit donné, mais dans ce cas, la descente du tubage ne serait pas possible

on peut donc dire que les deux risques de flambage et de flexion ne sont pas à redouter pour les colonnes de tubage en forage d'eau

I-3 PERTES DE CHARGE ET DEBIT OPTIMUM

Les pertes de charge dans un tube ou à travers un orifice sont proportionnelles au carré de la vitesse et s'expriment comme suit

$$f = \frac{N_b \times V^2}{2 \times G \times D}$$

$f(m)$: perte de charge

N_b (sans dim) : coefficient de forme variant en fonction du fluide et du tube.

$V(m/s)$: vitesse du fluide

$G(m \times m/s)$: accélération de la pesanteur = $9,80 m/s^2$

$D(m)$: diamètre du tube

En appliquant cette formule, PONY a établi une formule de calcul de perte de charge $\frac{1}{4} DJ = 0,00007233 V + 0,0003483 V^2$

D : diamètre intérieur du tuyau en mètres

f : perte de charge en mètres, par mètre de longueur

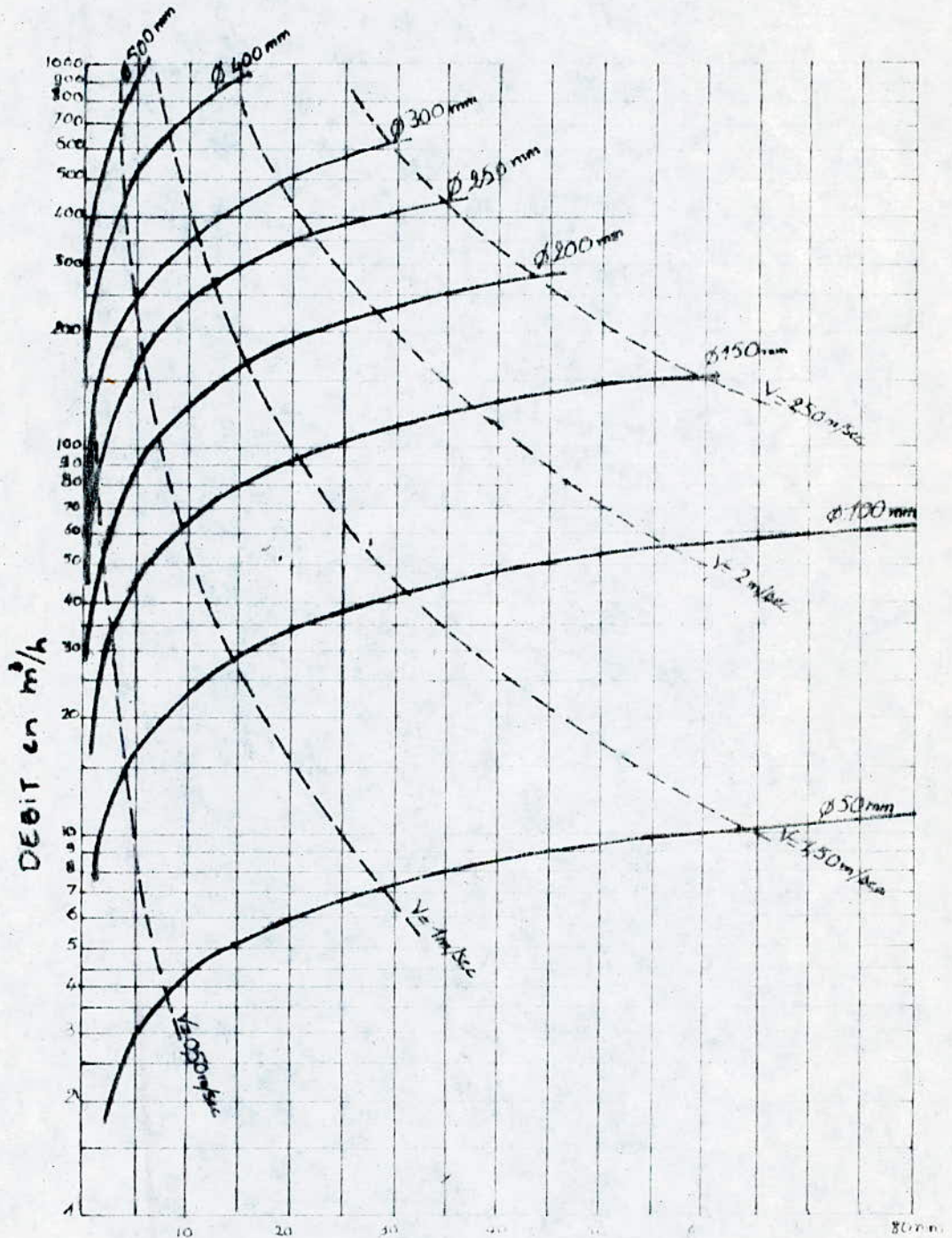
V : vitesse de circulation de l'eau en mètres/secondes

La formule ci-dessous établie par Pomy et les différents diamètres sont donnés dans la figure

La relation entre le débit et le diamètre d'un forage est donnée par la formule

$$Q = \frac{\pi K (H^2 - h^2)}{2,3 \log \frac{R}{r}} \quad \text{pour une nappe libre et}$$

$$Q = \frac{2\pi T (H - h)}{2,3 \log \frac{R}{r}} \quad \text{pour une nappe captive}$$



CALCUL DES PERTES DE CHARGE

(Fig 8)

(D'après Prony)

Q : débit constant escompté en litres/min

K : coefficient de perméabilité du terrain aquifère en litres/min par mètre carré

H : épaisseur, en mètres, de la partie saturée de la couche aquifère (entre le niveau statique et le mur de la couche)

h : hauteur, en mètres, de la colonne d'eau dans le forage, pendant le pompage

R : rayon, en mètres, du cercle de base du cône de dépression

r : demi diamètre intérieur du tubage, exprimé en mètres

T : Transmissivité

elle indique que le débit d'un forage n'est pas tellement amélioré par un accroissement du diamètre, dans le tableau ci dessous montre l'augmentation du débit et l'accroissement du diamètre

Le tableau ci dessous obtenu par une série d'essais aux USA, donne les

Diamètre des colonnes	D	2D	3D	4D	6D	8D
Débits	0	110Q	119Q	126Q	135Q	140Q

rapports entre les débits qu'on peut

obtenir, toutes autres choses égales, sur les mêmes ouvrages, en passant d'un diamètre à l'autre, cela ne veut pas dire qu'il n'est jamais intéressant de forer et tuber plus gros.

I-4 LE CHOIX DE LA CREPINE

La crépine est un élément principal de l'équipement d'un forage d'eau.

Si sa construction n'est pas adaptée au terrain, elle ne permettra pas d'extraire toute l'eau, exempte de sable, que peut donner la formation.

Si la matière dont elle est faite se détériore sous l'action souvent agressive des eaux, c'en sera fini, à bref délai du forage.

Si les fentes sont trop ouvertes ou irrégulièrement exécutées, le sable fin pénétrera toujours et de plus en plus dans l'ouvrage.

Une crépine est une pièce de précision et son usage doit permettre d'obtenir des ouvertures calibrées au dixième de millimètre.

Le débit est, généralement fonction de la longueur crépinée, tant que celle-ci se trouve en regard d'une formation aquifère saturée.

En cas d'une nappe captive en terrain homogène, la longueur de crépine est choisie d'après les aléas entre capacité spécifique et le pourcentage de crépine.

Dans un cas de nappe captive en terrain hétérogène, on crépinera 70% à 80% de la couche la plus perméable.

Ces caractéristiques sont déterminées par l'analyse granulométrique, la perméabilité est une fonction de carré du diamètre efficace des grains.

Si la couche la plus perméable s'avérait trop mince pour être exploitée, seule il serait possible de mettre en production plusieurs

couches ensemble, pour un cas d'une nappe libre, la crépine doit être installée au tiers inférieur de l'épaisseur de l'aquifère. En outre, il est rappelé qu'il est préférable de ne pas rabattre le niveau au pompage au dessous du sommet de la partie crépinée.

I-4.1 DUVERTURE DES CREPINES :

Le choix de l'ouverture de crépine est déterminé pour l'analyse granulométrique, la productivité varie selon la perméabilité du terrain, avec la crépine il faut retirer de cette zone les éléments trop fins, c'est à dire l'ouverture de la crépine dépend sur le choix des grains à éliminer, la dimension des fentes sera donc définie pour les études des courbes granulométriques établies d'après les échantillons recueillis pendant le forage de reconnaissance.

Dans une formation homogène (couche unique) composée de sable fin uniforme, comme celle de la classe A, l'ouverture doit être telle que la crépine retienne pendant le développement, 40 à 50% des sables (voir graphique fig 9. page 64) on prendra 40% si l'eau n'est pas très corrosive, sinon, on peut aller jusqu'à 50%, car la corrosion pourrait, à la longue, augmenter quelque peu la largeur de la fente.

Si l'on n'est pas très sûr de la représentativité de l'échantillon, il est préférable de tabler sur un coefficient de rétention de 50%.

La dimension (largeur) de l'ouverture est donnée par la valeur de l'abscisse correspondant à l'ordonnée choisie (40 ou 50%)

Dans une formation hétérogène stratifiée (plusieurs couches), que l'on rencontre souvent variera afin d'être en rapport avec le terrain qui lui fait face selon la règle précédente, appliquée à chacune des couches cependant, l'on observera les deux règles suivantes

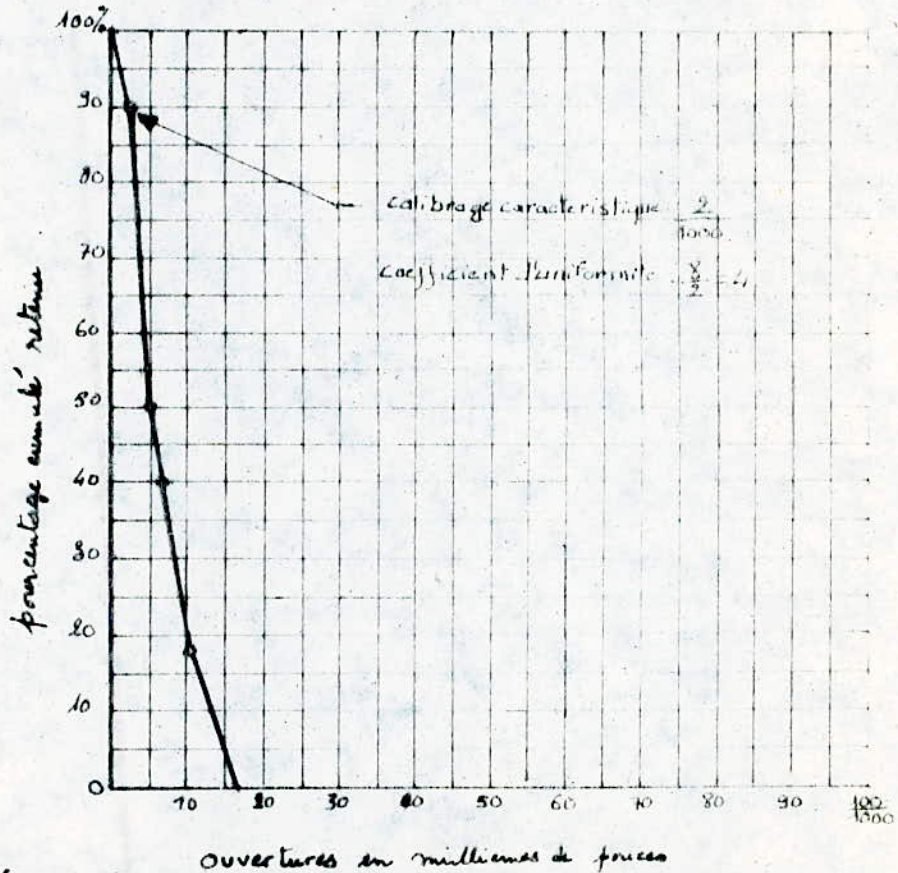
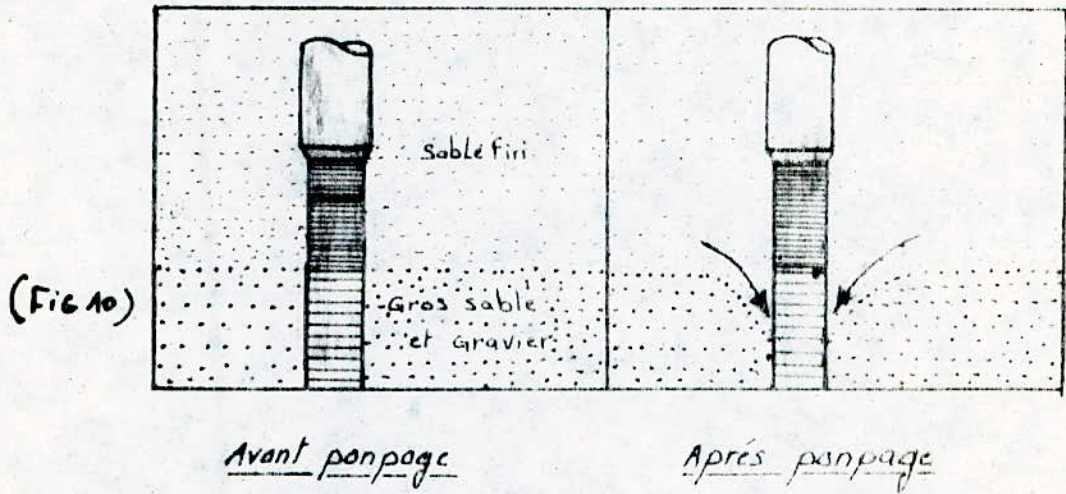
- Première règle : si les matériaux fins sont situés au dessus des gros ce qui est fréquent en forages d'eau, il convient de prolonger d'au moins 0.60 m vers le bas (dans la portion des éléments grossiers) la section de crépine dont l'ouverture est adaptée aux matériaux fins (voir Fig 10, Page 64)
 - deuxième règle : dans ce cas (matériaux fins au dessus des gros), l'ouverture à choisir pour les éléments grossiers (couche inférieure) ne doit pas être supérieure au double de celle adaptée aux matériaux fins
- L'observation de ces règles réduira les risques de venues de sable au pompage et palliera l'incertitude dans laquelle on peut se trouver de situer avec précision la cote où se produit le changement de terrain.

II-4-2 RELATION : DEBITS - DIAMETRES - COEFFICIENTS D'OUVERTURE DES CREPINES DE FORAGE

Ce qui conditionne la relation entre ces trois grandeurs, c'est la vitesse de l'eau à son entrée dans la crépine

Il résulte de nombreuses observations que la meilleure valeur de cette vitesse est 3 centimètres par seconde, pour cette vitesse, la perte de charge au passage de l'eau dans les ouvertures est négligeable

Les risques d'incrustations, inversement proportionnels à la vitesse de circulation



(Fig 9) granulométrie et le choix de la crepine

comme les risques de corrosions ou d'érosion, qui lui sont directement proportionnels se trouvent pour cette vitesse de 3 centimètres/seconde réduits au minimum la formule qui lie les trois grandeurs, débits, diamètres, coefficients d'ouverture est la suivante :

$$Q_1 = \pi D C \times 0.03 \times 3600$$

Q_1 : débit en mètres cubes/heure pour un mètre de crépine

D : diamètre extérieur en mètres de la crépine

C : coefficient d'ouverture (nombre décimal)

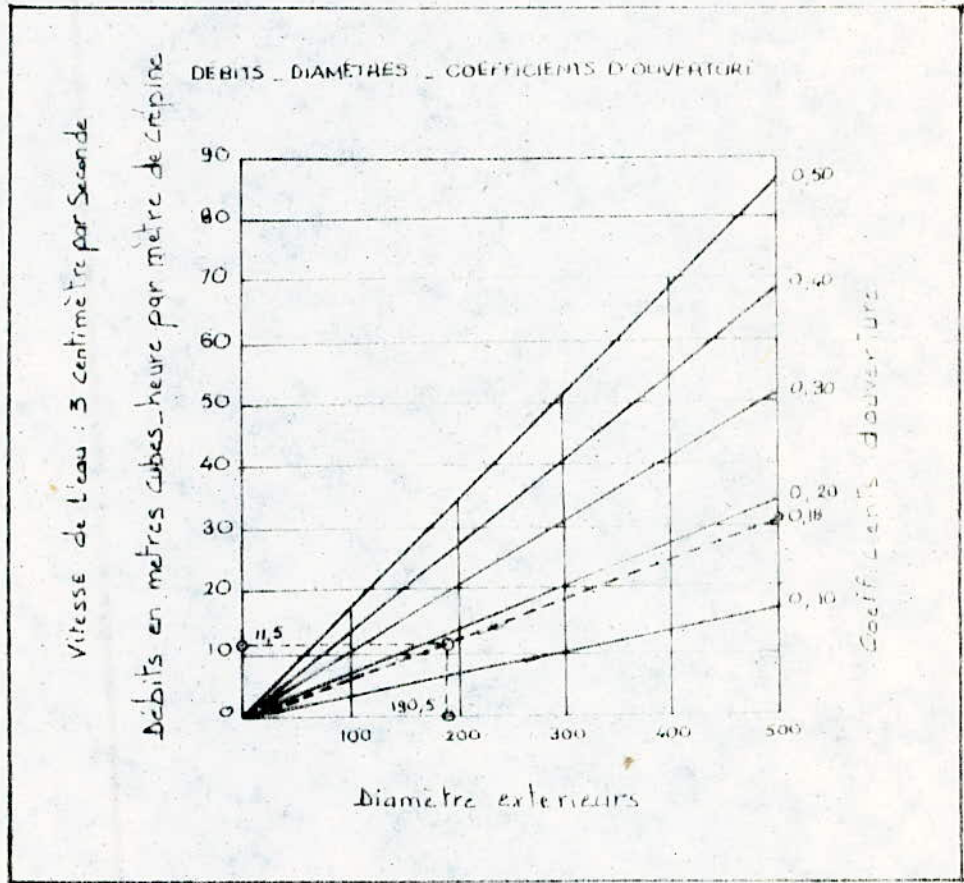
Il faut bien préciser que la formule est basée sur une vitesse d'entrée de l'eau dans la crépine de 3 cm/s, donne le débit théorique que pourrait fournir chaque mètre de crépine si celle-ci était plongée dans l'eau pure.

Cette condition n'existe pratiquement pas dans les forages d'eau, et chacun devra selon son expérience et la nature du terrain aquifère multiplier Q_1 par un coefficient inférieur à l'unité pour tenir compte du fait que chacune des fentes de la crépine se trouvera garnie de grains plus ou moins gros.

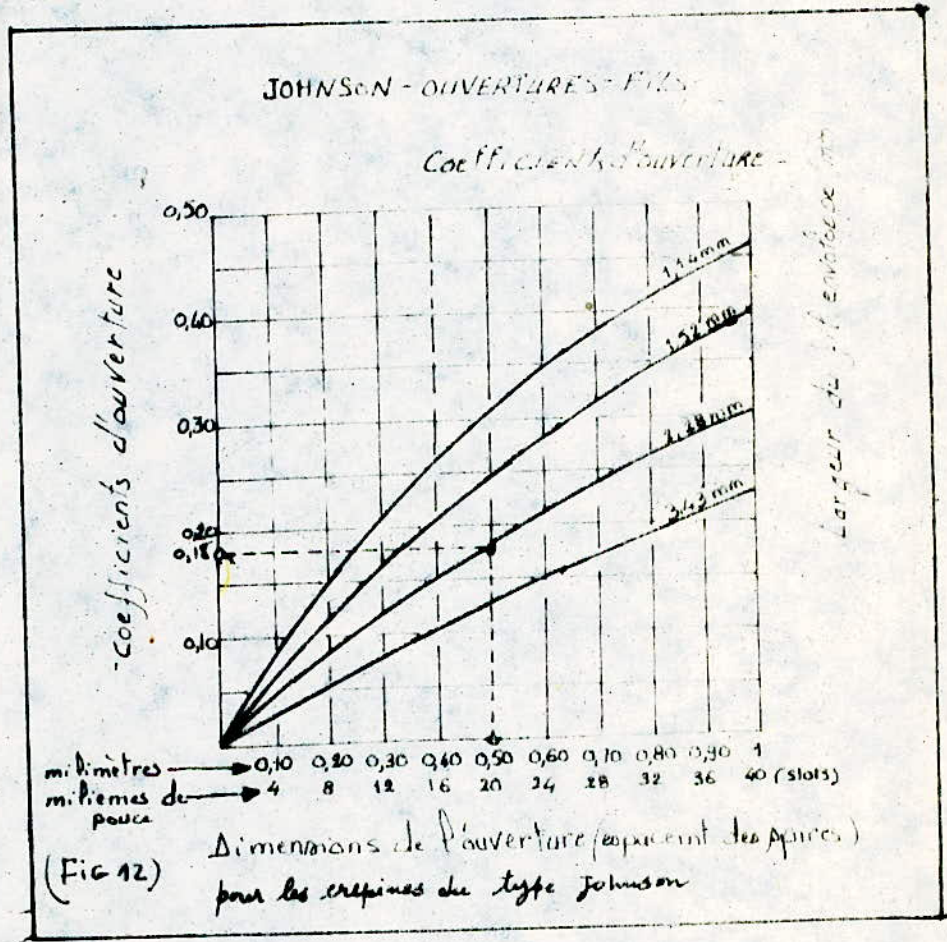
On doit penser aussi que, après un certain temps d'utilisation, le forage peut se trouver plus ou moins colmaté par des incrustations.

Pour ces diverses raisons, on peut suggérer de prendre comme coefficient de réduction 0,50 à 0,75 pour le débit Q_1 .

Bien que la formule précédente soit facile à employer, nous avons tracé l'abaque en page 66, toujours basé sur une vitesse de 3 cm/s qui permettra d'obtenir connaissant les deux autres, l'une des valeurs suivantes : débit, diamètre, coefficient d'ouverture.



(Fig 11)



I-5 LES DIFFERENTES TYPES DE CREPINE :

Il existe divers types de crepines sur le marché
sont

- crepine lanternées (exécutées au chalumeau)

- crepine à persienne

- crepine à nervures repoussées

- crepine à fil enroulé (type Johnson)

Dans les figures , ces différentes types de crepine sont présentés
le choix de crepine dépend sur leur résistance aux efforts et aux
attaques diverses auxquelles elles sont exposées. Une autre fonction importante
de la crepine est la facilité de l'opération de développement

Dans le premier type (à chalumeau) l'ouverture des fentes est beaucoup plus
variable et le pourcentage d'ouverture est aussi faible

- ces types de crepines à persienne et à nervures repoussées présentent
des inconvénients en précision et la régularité des fentes

- Ces types de crepines présentent aussi une surface extérieure fortement en
relief qui s'oppose l'extraction des éléments si cette opération est rendue
nécessaire pour une raison quelconque

Le dernier type à fil enroulé a des fentes bien régulières avec un pourcentage
d'ouverture beaucoup plus grand en comparaison aux autres types

On peut calculer le coefficient d'ouverture facilement par la formule

$$C_o = \frac{e}{e+h} \times 100$$

C_0 : coefficient d'ouverture en %

e : la dimension de la fente

h : la longueur du fil d'enveloppe (base du triangle de la section).

par exemple, pour une ouverture de 1 mm, et un fil de 1,14 mm

le C_0 vaut :

$$\frac{100 \times 1}{1 + 1,14} = 46\% \text{ ou } (0,46)$$

Le rendement / heure par mètre linéaire des différents types de crépines est donné dans le tableau ci dessous

Au point de vue de facilité des opérations de développement, la crépine du type Johnson (maintenant plusieurs entreprises fabriquent ce type) est plus couramment utilisée.

Type de crépine	Pourcentage d'ouverture	Pourcentage d'ouverture par mètre linéaire	Rendement / heure par mètre linéaire
Tube fendu au chalumeau	2%	138 cm ²	2,472 cbm
Tube fendu à la machine	10%	688 cm ²	12,328 cbm
crépine à nervure repoussée	6%	410 cm ²	7,347 cbm
tube PVC à fentes	8%	550 cm ²	9,856 cbm
crépines fibre de verre	8%	550 cm ²	9,856 cbm
crépine à fil enroulé	16.6%	1142 cm ²	20,465 cbm

CHAPITRE II : GRAVILLONNAGE :

Un bon schéma de forage envisage des matériaux de la bonne perméabilité autour de la crépine pour permettre bonne perméabilité et une grande vitesse à voisine de la crépine sans excès de perte de charge ou remonte du matériel très fin.

On distingue deux types de forages d'eau avec la crépine

1. forages sans gaine de gravier.
2. forages avec une gaine de gravier ou terrains auto développables

Dans le premier type de forage, la crépine est placée directement en contact avec la formation aquifère, les grains plus fins de l'aquifère près de la crépine sont déviés par développement, afin que les gros grains restent autour de la crépine. Les types de forages sont favorables à l'aquifère est hétérogranulométrique et relativement grossier aquifère ($d_{10} > 0.25 \text{ mm}$).

II-1 FORAGE AVEC UNE GAINE DE GRAVIER :

Le rôle d'une gaine de gravier est

- de tenir la formation naturelle
- d'augmenter localement la perméabilité
- de supprimer les déplacements de sables, d'argiles, en évitant le régime turbulent.

Une fois la granulométrie du terrain est connue, on détermine celle de la gaine de gravier et l'ouverture des fentes de la crépine on a ainsi créé un prolongement artificiel de l'aquifère jusqu'à la crépine par

remplacement des matériaux fins (comme sable fin) autour de la crépine avec gravier et de granis et dimensions plus uniformes

Cette procédure permettra d'améliorer le rayon effectif du forage et aussi aboutir à la meilleure efficacité du forage

Dans les forages des gaines de gravier, il est possible de mettre une unique ouverture des fentes des crépines dans les systèmes multi-aquifère avec granulométries différentes

En cas des forages sans gaine de gravier, l'ouverture de la crépine dépend aussi sur la granulométrie de chaque aquifère, zone du forage

ainsi il n'est pas possible de placer la même crépine dans toutes les aquifères zones

II-2 CHOIX DU TYPE DU FORAGE :

La gaine de gravier est justifiable si la granulométrie de l'aquifère d_{10} est moins que 0.25 mm et le coefficient d'uniformité est moins que dans ces conditions aussi, la gaine de gravier peut être fournie, si il est souhaitable d'utiliser la crépine de large ouverture, on conseille les points suivants pour le choix du type du forage

- 1) Quand d_{50} de l'aquifère $> 0.75 \text{ mm}$ et $C_u > 30$, normalement la gaine de gravier n'est pas nécessaire, néanmoins si la crépine avec son ouverture moins que 1.6 m n'est pas disponible, la gaine de gravier peut être placée.
- 2) la gaine de gravier peut être mise pour l'aquifère de $d_{50} : 0.25 \text{ mm}$ à 0.75 mm .

II-3 LE SCHEMA DES FORAGES SANS UNE GAINE DE GRAVIER.

L'ouverture des fentes de la crepine pour les forages sans une gaine de gravier est choisie afin qu'il permette un certain pourcentage du materiel fin entre le forage.

Les facteurs pour le choix de l'ouverture de la crepine sont :

AQUIFERE	L'ouverture des fentes de la crepine correspondant à la granulométrie de l'aquifère.
1) Pour les aquifères $cu > 6$ et les formations surtout sont dures et ne peuvent pas grotte	d70
2) Pour les aquifères $cu > 6$ et les formations surtout sont molleux et peuvent facilement grotte	d50
3) Pour les aquifères $cu = 3$ et les formations surtout sont dures et ne peuvent pas grotte	d60
4) Pour les aquifères $cu = 3$ et les formations surtout sont molleux et peuvent facilement grotte	d40

II-4 LE CHOIX DU GRAVIER :

Le gravier sera de fin, comme suit, il a été démontré dans (le forage d'eau) qu'il est possible de réduire de moitié la vitesse d'entrée à la crépine ou à la même vitesse et si la formation le permette de doubler le débit.

Qualités requises pour un Bon MASSIF de GRAVIER ADDITIONNEL :

Le matériau doit être propre, bien lavé, il doit être rond ou à angles arrondis. Le gravier concassé ne convient absolument pas. En fin, il doit être siliceux, ou en tout cas non calcaire, en effet, s'il était calcaire, il aurait tendance à se cimenter au passage de l'eau ce qui réduirait sa perméabilité.

D'autre part, si une acidification s'avérait nécessaire au fin d'exécution de l'ouvrage, le gravier calcaire se trouverait en partie détruit avec tous les risques qui en résulteraient pour la tenue des parois du forage.

II-5 MISE EN PLACE DU GRAVIER :

Théoriquement l'épaisseur d'une gaine de gravier peut être 1,5 cm, néanmoins il est difficile de fournir une épaisseur moins que 15 cm, sans pont de sable.

En outre si la gaine de gravier est épaisse, la vitesse d'écoulement à l'extrémité du gravier est faible, et en conséquence les particules fines ne peuvent être dégagées, autrement dit l'efficacité de l'opération de développement diminue avec l'épaisseur de la gaine de gravier. Généralement cette épaisseur est choisie entre 5 à 20 cm.

Dans les forages peu profonds et de gros diamètres, le gravier est introduit par un tube aussi gros que possible descendant au fond, le tube en effet constitue une sonde pour mesurer le niveau de gravier, par cette méthode on peut éviter la séparation du gravier si l'alimentation de la trépanic est régulière et continue.

Avant le commencement du gravillonnage pour les forages profonds de plus faible diamètre, il n'est pas possible d'utiliser le tube à entonnoir. Pour éviter la séparation du gravier par décaitation dans la boue, on circule une eau claire dans le forage.

Selon la profondeur et la densité de boue, il est quelque fois nécessaire d'introduire le gravier et en même temps faire circuler l'eau claire. Après avoir terminé l'opération de gravillonnage, on procède au lavage du puits puis au développement de la formation.

CHAPITRE III LE DEVELOPPEMENT:

Le développement est une opération de mise en production des forages d'eau ayant pour but :

- de définir une eau exempte de sable, d'argile ou autres particules fines en suspension lors de la mise en exploitation.
- D'améliorer la perméabilité en voisinage du forage.
- Détruire les ponts de sable et compacter le gravier autour du tubage à fournir une bonne stabilité pour l'ouvrage.
- de donner à l'ouvrage un rendement le meilleur possible.

La réussite de l'opération dépend de plusieurs facteurs. dans l'ordre nous pouvons citer

- un Programme et une réalisation du forage corrects
- un crepinage et, si nécessaire, un gravillonnage bien étudié
- un nettoyage
- enfin, un développement proprement dit, exécuté avec des moyens et des méthodes appropriés, une durée et une puissance d'action suffisantes (la durée étant directement liée au prix de l'opération consenti par le maître d'œuvre)

LES DIFFERENTES METHODES DE DEVELOPPEMENT

- 1) Développement par sur pompage
- 2) Développement sur pompage Alterné
- 3) Développement sur pistonnage
- 4) Développement Air lift
- 5) Développement Par lavage au JET

III-1 DEVELOPPEMENT PAR SUR POMPAGE :

C'est la méthode la plus simple, elle est couramment utilisée mais ce n'est pas la plus efficace. Le procédé consiste à mettre, provisoirement, le forage en production par un pompage à un régime supérieur à celui fixé pour l'exploitation. Son avantage réside surtout dans le fait qu'il permet d'obtenir une production régulière plutôt que dans celui d'un développement absolu, même si ce surpompage a, apparemment débarrassé la zone critique de la formation de sable fin qu'elle contenait.

Un forage qui aura été surpompié à un débit de 100 mètres cubes/h ne produira généralement pas de sable si on se borne à ne l'exploiter qu'à raison de 80 mètres cubes/heure, cela ne saurait signifier que l'ouvrage a été convenablement développé, car, d'abord, rien ne prouve qu'il n'aurait pas débité plus 100 mètres cubes/heure s'il avait été traité par l'un des autres procédés, d'autre part si pour une raison quelconque, le débit était, même pour un temps très court, porté à 120 mètres cubes/heure, le forage produirait

de sable. En fait, le surpompage constitue un moyen de nettoyer le forage en provoquant un début de développement.

Il est sans effet sur les « ponts de sable » qui ne peuvent être rompus que par un flux alterné.

En fin le procédé entraîne une détérioration rapide de la pompe utilisée.

III-2 DEVELOPPEMENT PAR POMPAGE ALTERNÉ :

On met le forage en production par pompage et on provoque, à plusieurs reprises des arrêts brusques de la pompe.

On crée ainsi des vibrations brutales de pression qui ont pour effet de développer la formation.

On emploie de préférence une pompe centrifuge classique à axe vertical, sans clapet de pied, mais l'on doit prévoir une assez grande fatigue du matériel utilisé.

Premier Procédé :

On utilise la pompe à sa capacité maximum jusqu'à obtenir le plus grand rebattement possible du niveau de l'eau.

On arrête alors la pompe et toute l'eau de la colonne d'aspiration retombe dans le forage pendant que le niveau remonte à sa cote de départ.

On recommence l'opération autant de fois que nécessaire.

Deuxième procédé :

Même procédé que précédemment, mais dès qu'on a obtenu le rebattement maximum et arrêté la pompe, au lieu d'attendre que le niveau remonte à sa cote de départ, on recommence le pompage presque aussitôt.

cela a pour effet d'agiter fortement l'eau au fond de la crépine.
Il faut cependant prendre garde de ne pas remettre la pompe en marche avant son arrêt complet pour ne pas risquer une rupture de l'arbre.

Troisième procédé :

Sans chercher à obtenir le rabattement maximum, on pompe jusqu'à ce que l'eau se déverse à la surface, on arrête la pompe ce qui libère toute la colonne d'eau et on recommence. Il s'en suit de brefs et puissants chocs de pression sur la couche productive à une fréquence beaucoup plus grande que dans les autres procédés.

III-3 DEVELOPPEMENT PAR PISTONNAGE :

Principe :

d'outil est un piston actionné verticalement dans les deux sens à l'intérieur d'un forage tubé et crépiné.
Dans son mouvement de remontée, le piston crée une dépression, au dessous de lui, qui attire l'eau et le sable fin de la formation vers la crépine. Ce sable traverse la crépine et s'accumule à l'intérieur, on l'extrait ensuite par cuillérage, on peut prévoir, sous la crépine, un tronçon de tube plein de même diamètre, précisément pour recevoir le sable introduit par la course ascendante du piston.

Dans son mouvement de descente, le piston comprime la nappe, refoule, loin dans le terrain, les fines particules qui n'ont pas été entraînées par l'opération précédente.

Ils restent en ces points éloignés car la vitesse de l'eau ne sera pas

suffisante pour les en chasser

Le classement des matériaux de la formation tout autour et au voisinage immédiat de la crépine s'opère progressivement dans cette zone sensible. Les plus gros touchent la crépine et les plus fins en demeurent les plus éloignés, mais chacun finit par rester à sa place et les ponts de sable ne peuvent se produire à cause de l'alternance du flux.

III-4 DEVELOPPEMENT AIR-LIFT :

cette méthode est certainement la plus efficace si elle est bien conduite, elle présente l'avantage de n'entraîner aucune détérioration du matériel employé. Elle permet de combiner l'action de flux et de reflux provoquée par de grands volumes d'air introduits dans l'ouvrage avec celle de mise en production par air lift (ejecteur ou émulseur) de fonctionnement et le réglage de cet appareil feront l'objet

nous indiquons ci-dessous les deux méthodes de son utilisation pour le développement (voir Fig 12)

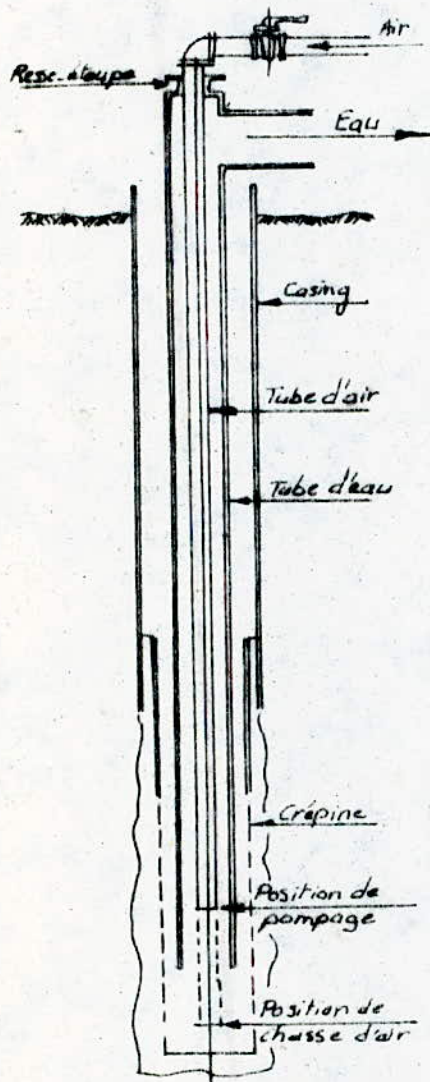
III-4-1 METHODE A FORAGE OUVERT :

d'opération consiste à alterner les phases de pompage à l'air lift et de soufflage brusque.

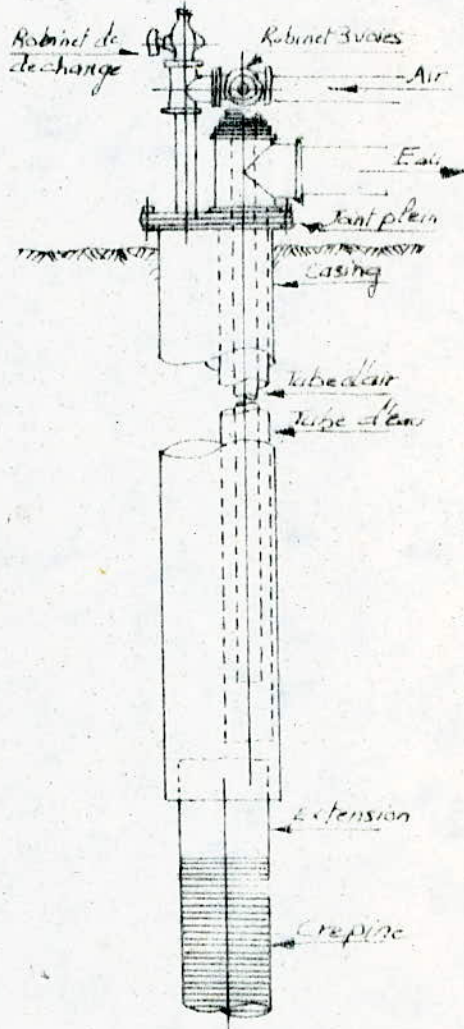
cette dernière phase est réalisée en descendant le tube d'air à l'intérieur de la crépine. Pour faciliter la manœuvre, le robinet d'air doit être à ouverture et fermeture rapides (au quart de tour).

on procède ainsi :

- 1) Descendre le pied du tube d'eau à 0,60 m environ du sabot de la crépine.



Développement à "forage ouvert"



Développement à "forage fermé"

(Fig 12)

- 2) descendre le tube d'air de façon que sa base soit à environ 0,30 m au dessus de celle du tube d'eau
- 3) on ouvre l'air et on laisse s'écouler l'eau pulsée par l'air après on ferme l'air et on laisse la pression au maximum
- 4) on ouvre brusquement le robinet d'air et l'eau sera violemment projetée on remonte ensuite le tube d'air à sa première position, l'eau éjectée par air lift s'écoule très trouble par le tube d'eau
- 5) Quand elle est redevenue claire, remonter le tube d'eau de 0,60 m à 1 m et on recommence les opérations précédentes
- 6) Il sera nécessaire de redescendre le tube d'eau à sa première position
- 7) lorsque l'eau, extraite, sort claire, on peut considérer que l'opération est terminée.

III-42 METHODE A FORAGE FERMÉ :

La figure montre le montage à réaliser

on remarque que, dans ce procédé, le tube d'eau et le tube d'air restent fixes, ce qui n'était pas le cas dans la méthode à forage ouvert.

Le casing est hermétiquement fermé par un joint plein qui traverse le tube d'eau et qui comporte une ouverture raccordée à un robinet de décharge, un robinet 3 voies à boisseau permet d'opérer les manœuvres indiqués ci dessous.

ce procédé nécessite quelques précautions car il peut entraîner un ébranlement des tubages en place, une détérioration de la cimentation.

et des ébroulements dans la zone de production

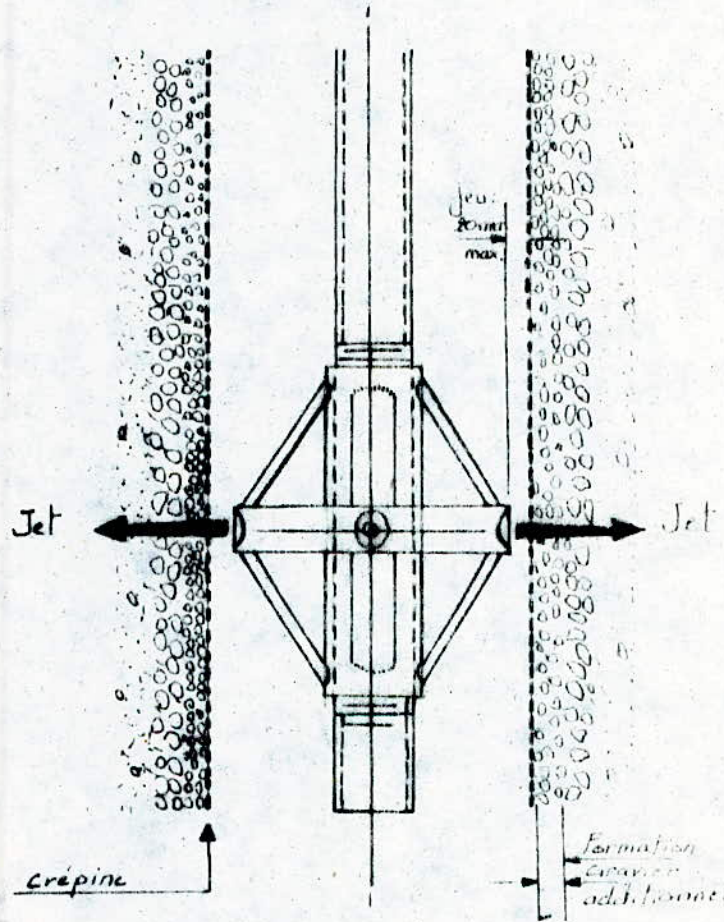
des opérations à réaliser sont les suivantes :

- 1) Manœuvrer le robinet 3 voies pour envoyer l'air dans la crépine
- 2) on laisse couler jusqu'à ce que l'eau éjectée sorte claire
- 3) on laisse l'eau remonter à son niveau statique et on ferme le robinet de décharge et l'eau sera refoulée hors du tube d'eau au niveau du sol
- 4) lorsque le niveau de l'eau aura été rabattu, l'air sortira par le tube à ce moment on ouvre le robinet de décharge et on laisse l'eau remonter à son niveau statique, on manœuvre le robinet et on provoque le pompage du forage.
- 5) on répète ces opérations jusqu'à ce que le forage ne produise plus de sable
- 6) Il est nécessaire de nettoyer le forage, car la grande vitesse de l'eau provoque généralement l'expulsion des sables fins.

Il n'en serait pas de même s'il s'agissait de sables grossiers ou graviers qui auraient pu pénétrer à travers une crépine trop ouverte ou de construction peu soignée, dans ce cas il faudrait extraire à la boupape les matériaux qui s'y trouveraient.

III-5 DEVELOPPEMENT PAR LAVAGE :

Le lavage au jet sous pression est une des plus récentes et des meilleures méthodes de développement, c'est aussi la plus simple et la moins coûteuse, un outil à jets, très facile à construire, une pompe à haute pression, la tuyauterie, rigide ou souple, la robinetterie et la cuverie



Développement par lavage au jet (montage)
(FIG 13)

correspondantes constituent tout l'équipement. Des puissants jets d'eau ou de solution chimique sont projetés, à travers la crépine, dans la formation, ou dans le massif de gravier additionnel qui l'entoure.

Par une lente rotation de cet outil, combinée avec un mouvement vertical, la surface entière de la crépine est soumise à l'action vigoureuse des jets. La turbulence ainsi créée déplace le sable fin, le limon ou l'argile qui pénètrent dans la crépine, au dessus et au dessous du point où l'on opère. Ces éléments peuvent être retirés soit par pompage, soit par cuillère. L'eau chargée (ou la solution) pourra être récupérée et, après decantation, sera remise dans le circuit.

L'outil à jets comprend deux ou quatre buses horizontales de 6 à 12 mm d'ouverture. Il est monté à la base d'une colonne rigide de tubes de 2" de la ligne de fond ou même d'un flexible de refoulement.

Pour que l'énergie du jet soit utilisée au maximum sur la formation et ne soit pas perdue à l'intérieur de la crépine, il est bon que l'extrémité de chaque buse ne soit pas distante de plus de 20 mm de la crépine. L'efficacité du procédé dépend beaucoup de la pression du jet. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec des pressions de 50 à 70 kg/cm². Cependant, on peut déjà commencer à opérer avec des pressions de 7 à 8 kg. surtout si on a pu éliminer le cake de la formation avant la pose de la crépine. (voir Fig-13)

CONTROLE DU DEVELOPPEMENT PAR ESSAIS D'ABSORPTION

Il s'agit de tracer les courbes ci dessus donnant le temps mis par la descente du niveau de l'eau depuis une cote de reference, bord du tubage, par exemple jusqu'au niveau statique. Les courbes sont tracées après plusieurs periodes de developpement, elles doivent descendre de plus en plus si le developpement s'effectue normalement.

III-6 CIMENTATION:

Au cours de développement d'un forage, le gravier généralement descend due au compaction de celle-ci, il faut toujours ajouter le gravier pour remplir l'espace annulaire jusqu'au fond du tube guide ou un niveau imperméable. La partie au dessus de ce niveau est cimenté pour permettre d'ajouter le gravier ou plus tard, il est préférable de mise en place de deux tubes sans l'espace annulaire.

Il faut assurer que les deux tubes descendent dans le gravier. L'opération de cimentation, consiste à remplir par un mélange à base de ciment, tout ou partie de la hauteur de l'espace annulaire entre le tubage de forage et la paroi du trou foré.

Le but de cette opération est de rendre étanche cet espace annulaire et d'empêcher la pollution pour les eaux de la surface, des nappes mises en production et également le ciment sert comme un support pour l'équipement de pompage installé dans le forage et aussi pour le forage lui même.

PARTIE IV
REMARQUES ET CONCLUSIONS

CHAPITRE I:

Remarques sur la réalisation optimale des forages d'eau

I-1 Diamètre, profondeur, débit :

Le débit optimal d'un forage dépend sur les caractéristiques hydrodynamiques des nappes (la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement)

D'après les études hydrogéologique cité au (chapitre II - Partie I)

La plaine de mitidja constitue un bon réservoir

La transmissivité de la nappe est très variable (entre les valeurs $< 1 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ à $25 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$) cette propriété détermine le potentiel de la nappe. De ce fait les forages dans les régions où la transmissivité est supérieure donnent un grand débit (de l'ordre de 10 à 60 l/s, même jusqu'à 100 l/s), et des forages captent des formations à faible transmissivité donnent faible débit ($< 3 \text{ l/s}$).

La transmissivité ayant un rapport avec l'épaisseur de la nappe et la plupart de la nappe aquifère étant sous forme d'une nappe libre, le débit d'un forage a une relation avec la profondeur.

Donc la profondeur optimale d'un forage doit être déterminé selon les besoins en eau (ou le débit désiré) et la transmissivité de la région

Dans le (chapitre I, Partie III) on a vu que l'augmentation du débit avec le diamètre du forage n'est pas proportionnel.

Donc les facteurs qui interviennent dans le choix de diamètre du forage sont :

Le diamètre des pompes disponible à des débits destinés
et l'ouverture de la crépine pour avoir une vitesse d'entrée dans
les limites optimales.

Les forages à grand diamètres sont coûteuse, donc en considération de
l'économie, il faut toujours choisir un diamètre optimal.

Le diamètre optimal et l'épaisseur de la casing (tube plein) de la
chambre de pompage conseillé par USBR (U.S. Bureau of Reclamation)
est donné ci dessous.

débit l/s	Diamètre nominal de la pompe en cm	Diamètre de casing de chambre de pompage en cm	Épaisseur de casing en cm	Diamètre de la crépine en cm
8	12,5	15,0 - 20,0	1,5 - 3,5	10
20	15,0	20,0 - 25,0	1,5 - 3,5	15
38	20	30	2,0 - 3,5	25
76	30	35	2,0 - 5,0	30
125	40	45	2,0 - 6,0	35
192	40	45	2,0 - 6,0	40

I-2 LES DONNÉES A COLLECTER

Il a été remarqué au cours de visite des chantiers des travaux de réalisation des forages que les observations essentielles comme l'étude de boue, l'avancement, etc. ----- n'ont pas été faites au cours de réalisation.

En général, les entreprises réalisatrices des forages n'ont pas été équipées de laboratoires de chantiers.

Dans le (CHAPITRE II.5 de Partie II) l'importance d'étude de la boue au cours de la réalisation est décrite.

Des divers facteurs qui interviennent sur la qualité et quantité de la boue ont été démontrés.

Donc on conseille d'exiger tous les entreprises réalisatrices des forages d'avoir les moyens nécessaires pour effectuer les mesures.

En même façon, les observations sur l'avancement du forage aussi sont nécessaires pour une meilleure interprétation des lithologie etc. -----

Dans le tableau suivant, les données à collecter sont présentés

En plus, il faut toujours insister d'effectuer les sondages géophysiques et la granulométrie

Pour la réalisation des forages efficaces, il faut prendre en considération tous ces paramètres, En outre la performance du forage dépend sur le choix du marteau convenable du tubage.

Nom du site :
 Situation : Village : Commune : Villages :
 la méthode de réalisation
 Nom de l'entreprise réalisatrice
 Date de début du travail :
 Situation topographique :

Date	
commencement	Temps (heures)
fin	
Durée	
de en m	Profondeurs foré
à en m	
Épaisseur foré en m	
Avancement m/min	
L' échantillonnage Numero et la description	
Remarques sur l'avancement et les formations rencontrés	
la densité de la boue	
la résistivité de la boue	
PH de la boue	

Remarques sur la boue.

Nom du foreur :
 Nom du chef de chantier :
 Nom de l'Agence Géolo Conf. CHARRON :

CHAPITRE II

LES DEFAUTS DE FORAGES ET LES REMEDIES

II-1 LES CAUSES :

La vie d'un forage dépend sur la méthode de construction, et l'environnement (du type de la nappe aquifère et la qualité d'eau) dans laquelle le forage est situé, le débit d'exploitation et le rabattement, et également son maintenance.

des causes communes de défaut de forage sont :

- colmatage et corrosion du tubage
- surpompage (plus que débit critique)
- mauvais équipement et gravillonnage
- mauvais choix de matériaux de tubage.

Pour savoir les raisons particulières pour défaut d'un forage, il faut étudier l'historique d'un forage et l'hydrogéologie du terrain où le forage est situé

II-2 LES DONNÉES DE PERFORMANCE D'UN FORAGE

Afin d'améliorer le rendement des forages (ou réhabilité des forages défauts), il faut étudier les causes, et l'état d'un forage est déterminé par sa performance pendant la durée de son fonctionnement des données sont :

- la variation du débit en temps
- la variation du niveau dynamique en temps
- la granulométrie

- des données sur le tubage (l'ouverture de la crépine, diamètre, etc ----)
- des mesures de profondeur en temps
- la variation de la qualité d'eau de la nappe ---- etc.

des graphes de performance des forages, montrant la variation du débit spécifique (le rapport du débit rabattement) avec le temps nous permet d'étudier les causes de défont des forages (voir fig 14)

Dans le tableau suivant, les renseignements nécessaires pour étudier la performance des forages sont donnés

Fiche de performance de forage

Forage N°: nom:

- 1) Situation: village: commune: village:
- 2) L'année de réalisation
- 3) La méthode de réalisation
- 4) L'entreprise réalisatrice
- 5) la profondeur foré en m
- 6) Les données sur la nappe captée

Situation de la nappe en m		Situation de la crépine en m		Granulométrie			Remarques
de m	à m	de	à	D ₁₀	D ₆₀	$a_x = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	

- 7) casing a) Diamètre b) longueur
- 8) la crepine a) type, b) longueur c) ouverture d) vitesse d'écoulement ~~compté~~
- 9) le gravier a) D_{10} , b) D_{60} , c) Cu:
- 10) La méthode du développement
- 11) La pompe: a) type b) l'aspiration c) débit
- 12) la performance

Les mesures périodique (chaque année)

	Initial	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans
N.O						

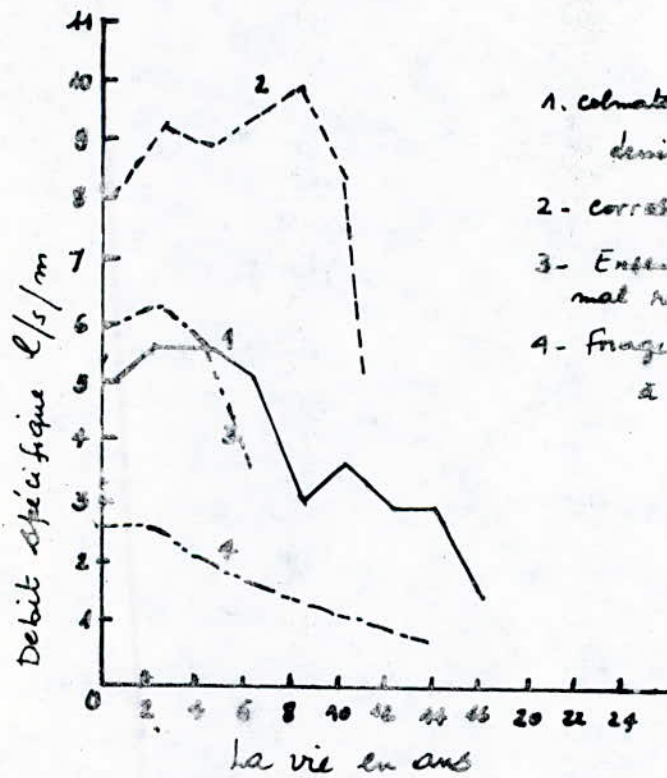
- 13) la teneur de sable en eau pompée et sa granulométrie
- 14) La qualité chimique d'eau (analyse chimique) à déterminer chaque trois ans
- 15) sondage: a mesurer chaque année.

	initial	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans
profondeur						

16) traitement fait

(Date et la méthode de traitement)

17) Remarques.



1. colmatage de la crépine en résultant diminution du débit
2. corrosion du tubage.
3. Envasement du forage dû au mal réalisation du forage.
4. Forage ayant une formation à faible perméabilité.

(FIG 14) Les courbes typiques de performance des forages

II-3 LES REMEDIES :

II-3.1 Prevention de colmatage:

un bon choix de la crépine et la méthode de pompage optimale réduit le colmatage, pour éviter ou réduire le colmatage.

Il faut augmenter la durée de pompage et diminuer le débit, il est préférable de répartir le pompage dans plusieurs forages que pomper un ou quelques forages à des débits importants.

Une maintenance périodique de nettoyage du forage des méthodes de développement tel que l'air lift et l'acidification peuvent aider à récupérer les forages colmatés.

II-3.2 Prevention de corrosion:

Le choix de matériaux selon la qualité chimique de l'eau évitera la corrosion, on peut même fournir une protection cathodique contre la corrosion.

En fin un bon programme de pompage et une maintenance remplie évitera la plupart des défauts de forages.

III CONCLUSIONS :

Dans ce projet, un effort a été fait pour étudier les méthodes de réalisation des forages, dont toutes les techniques des forages, la méthode de forage rotatif est beaucoup plus couramment

utilisée dans les terrains meubles et semi-consolidés.

des divers aspects de réalisation des forages rotatifs ont été décrits en détails

Suite à des études et des observations sur terrain, on remarque que souvent la réalisation des forages aux environs d'Alger est faite

sans avoir effectué des mesures essentielles pour réaliser un forage efficace

De ce fait on conseille de prendre les mesures nécessaires pour établir les laboratoires de chantiers et exiger les entreprises réalisatrices d'effectuer toutes les études nécessaires

des fiches données à remplir au cours de réalisation d'un forage

et également la fiche de performance d'un forage ~~est~~ établies

BIBLIOGRAPHIE

1. ALBERT MABILLOT : Le Forage d'eau, Guide Pratique
Publié par crepines johnson, France 1984
2. BOUWER : Ground water HYDROLOGY
(en anglais). Mc Graw Hill 1978
3. CGG : ETUDES PAR PROSPECTION Electrique
(La plaine de mitidja 1967, 1968)
4. DEMR-H : CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION D'ALGER
(Service Hydrogéologique)
(au 1/200.000) 1973
5. DHWA Note sur la délimitation des zones favorables pour le développement
des ressources en eau souterraines, dans la wilaya d'Alger (1975)
6. GEODYNAMIQUE : Etude hydrogéologique de la plaine de la mitidja
(1970, 73 et 75)
7. JOHNSON - E GROUND water and wells
(en anglais, 1966)
8. MOTARD, P la série de forage Rotary.
(éditions, Technip, 1972)
9. SHARMA, HD et CHAROLL, AS MANUAL of Gramulométrie.
(en anglais published by central board of
irrigation & power, INDIA, 1977)

