

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

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

المركز الجامعي بلحاج بوشعيب-عين تموشنت-
Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib - Ain-Temouchent-



Institut de Technologie
Département de Génie de l'Eau et de l'Environnement

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Thème :

Etude Comparative Entre Le Forage de SIDI AISSA et
SIDI SAADA Destiné A l'AEP Pour Les Communes
OULHACA Et AGHLAL

Soutenu : Juin 2018

Par: Mr BELAIDI ISMAIL

Mr KHALDI ZENAGUI

Devant le jury composé de

Président : Dr B.GUEMOU

Examineur : Dr H.BELARBI

Examineur : Mr ABABOU H

Encadreur : Mr. M.BENAICHA

Co-Encadreur : Mr OTSMANI Said

Année Universitaire : 2017/2018

الملخص:

من أجل التسيير الأمثل للمياه الجوفية ، نحتاج إلى معلومات مفصلة وموثوقة ومنظمة بشكل جيد عن حالة البيئة الهيدروجيولوجية في الوقت الراهن و مع تطور التكنولوجيا أصبح لدينا عدة وسائل للحفر من بينها ، الروتاريالخ.
بالإضافة إلى بعض المعلومات عن طين الحفر المستخدم للحصول على المر دودية المستحبة، وتعتمد كل هذه الخصائص على جيولوجية موقعنا أين نريد تثبيت الحفر.
بالنسبة لدراستنا ، اخترت حفرتين, حفرة سيدي عيسى المتواجدة ب وهاصة و حفرة سيدي سعادة المتواجدة في اغلال لمعرفة مختلف :
الخصائص المميزة للصخور و نوعية المياه المتحصل عليها.

RESUME :

Pour une bonne gestion des ressources en eau souterraine, on a besoin d'informations détaillées, fiables et bien organisées sur l'état de l'environnement hydrogéologie.
-Dans cette optique le présent travail a permis de produire une série d'information qui parle du choix de forage .Soit forage en MFT, Rotary, Battage ...ex ; suivie par quelque information sur la boue de forage utilisée lors de la réalisation .Tous ces caractéristiques dépendent de la géologie de notre site ou on veut installer notre forage.
Pour le cas pratique on a choisi deux forage : Le Forage de Sidi AISSA (OULHACA) et Sidi SAADA (AGHLAL) a fin de voir les différents caractéristiques des roches et la qualité de notre eau capté.

ABSTRACT:

For good management of groundwater resources, we need itemized information, reliable and well-organized on the state of the hydrogeology environment.
-In this perspective the present work has produced a series of information that speaks of the choice of drilling. Drilling in MFT, Rotary, threshing ... ex; followed by some information on the drilling mud used for the realization. All of these characteristics depend on the geology of our site where we want to install our drilling.
For the practical case I have chosen two drilling: Drilling of Sidi AISSA (OULHACA) and Sidi SAADA (AGHLAL) to see the different characteristics of the rocks and the quality of our collected water.

Remerciements

Je tiens à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux qui ma donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur Mr BENAICHA MOHAMED et mon co-oncadreur Mr OTSMANI SAID pour leurs contribution et leurs précieux conseil et pour leurs aides durant toute la période de ma préparation sur cette thèse.

Je remercie également le Staff de centre universitaire BELHAGE BOUCHAIB de la wilaya D'AIN TEMOUCHENT à leur tête Mr B.GUEMOU qui m'a donné la chance d'être parmi ces étudiants ainsi que Mr ZIADI Directeur des relations extérieures.

Mes remerciements vont aussi a nos bons enseignants pour leur disponibilité et l'effort qu'ils ont accompli pour la réussite de nos études dans les meilleures conditions.

Je remercie également les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail de recherche et les recommandations ou conseils qu'ils ont bien voulu mettre à notre profit .

Je remercie aussi mes parents qui m'ont accompagné tout le long de la confection de ce mémoire par leurs conseils.

Enfin, je marque ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace :

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents qui m'ont tant aidé et prié pour ma réussite ainsi que le soutien moral et affectif qu'ils m'ont apporté , en les remerciant aussi pour m'avoir encouragé et aidé à devenir ce que je suis.

A la famille BENOUSAAD , BEKKAR et BELAIDI .

A mes frères Othman , Zakaria , Mohammed , Abd-El-Salem , Abd-El-Rahim..

A mes chers amis Othmane, Sifo, Karim, Mouad ,Boucif ,Nacer , zoubida, khadij, bouchera et wissem.

A mon encadreur Mr BENAICHA Mohamed et à mon co-oncadreur Mr OTSMANI Said.

A tous mes amis et mes collègues de l'université en leur souhaitant tout le succès et le bonheur.

Et à tous ceux qui me sont proches.

Mr BELAIDI ISMAIL

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau , le pétrole ont été une chance formidable pour l'homme. C'est le concentré d'énergie parfait : liquide, il est facilement transportable. En traitent l'eau on obtient de l'eau potable (douce) pour alimenter la population et aussi pour les êtres vivant animaux et végétaux sont oublier notre nature et en le brulant le pétrole en petites quantités, on obtient suffisamment d'énergie pour faire tourner des moteurs qui entraînent toutes sortes de véhicules et permettent à toutes sortes de machines de fonctionner. De plus, on peut le transformer en une grande quantité de produits qui sont devenus les matières premières de notre environnement quotidien : plastiques, textiles synthétiques...et bien d'autres produits divers et variés.

L'eau se trouve dans les profondeurs du sous-sol. Pour le récupérer, il faut donc aller le chercher, et pour cela il n'existe qu'un seul moyen ; forer jusqu'aux gisements. Un forage d'exploration coûte très cher mieux vaut donc ne pas se tromper quand on se décide.

Le succès d'un forage dépend de plusieurs paramètres dont le sondage, le type de machine de forage qui dépend de la nature des couches géologiques ; tubage et les boues de forage en circulation permanente, refroidit l'outil de forage, aide à attaquer la roche par injection sous pression et nettoie le trou en remontant les morceaux de roche broyée.

Elle est aussi indispensable au maintien du trou, pour éviter son effondrement. Tout sera le cœur de notre travail afin de comparer les caractéristiques hydrodynamiques des deux forages réalisés dans la wilaya D'AIN TEMOUCHENT un qui est situé dans la commune d'AGHLAL situé à l'intérieur de la wilaya et l'autre dans la commune de OULHACA situé à côté de la mer

CHAPITRE I :

Le FORAGE

INTRODUCTION

Les fluides souterrains sont très précieux et ont une grande importance : Eau, Gaz et Pétrole. Se trouvant à des profondeurs plus ou moins importantes, il est toujours nécessaire de forer pour les explorer et les exploiter.

Les profondeurs de forages existants varient de quelques dizaines de mètres pour le cas d'exploitation des nappes superficielles, à quelques dizaines de kilomètres pour l'extraction des réserves pétrolières (17,4 Km à Azerbaïdjan, 9 Km à Oklahoma et 3,35 Km à Hassi Messaoud). Les premiers forages ont été des forages de pétroles réalisés en Allemagne en 1857, alors que la première initiative qui rencontra le plus grand retentissement fut cependant celle d'Edwin L. Drake en 1859 en Pennsylvanie pour extraire le pétrole à 23 m de profondeur. La faisabilité de forage est une fonction directe du rapport économique ; les forages d'eau dépassent des fois quelques kilomètres (forage d'eau à Tindouf de 1000 m en réalisation).

I .1/ LES TECHNIQUES DE FORAGE

Les différentes techniques de forage sont :

I .1.1/ Forage au marteau hors du trou :

- Méthode de forage rapide mais limité en diamètre de taillant (inférieur à 150mm)
- Utilisé en carrière pour forer les trous de mines, en prospection minière rapide et dans la pose de tirants dans les rochers.
- Possibilité de forer dans n'importe quelle direction.
- Forage impossible dans les terrains non consolidés

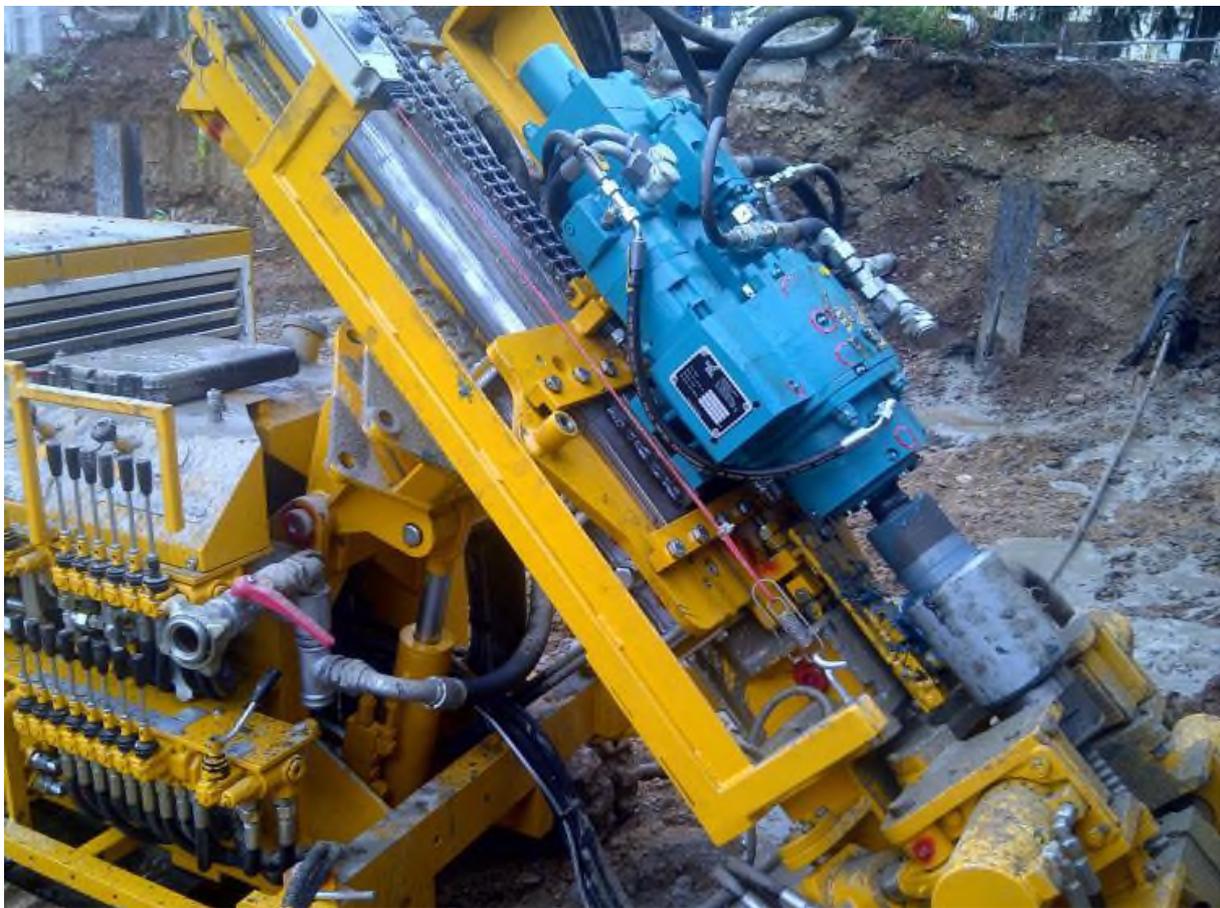


Figure 01 : Tête de forage au marteau hors du trou

I .1.2/ La technique de Battage¹ :

Cette méthode consiste à soulever un outil lourd (trépan) et à le laisser retomber sur le terrain à traverser. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations. Procédé simple et relativement peu coûteux, bien adapté aux terrains fissurés (pas de pertes), mais la vitesse d'avancement est faible, mais la méthode est peu adaptée pour les terrains peu stables ou plastiques.

Le battage se produit par le mouvement alternatif d'un balancier actionné par un arbre à came (ou bien un treuil : cylindre horizontal). Après certain avancement, on tire le trépan et on descend une curette (soupape) pour extraire les déblais (éléments broyés : cuttings). Pour avoir un bon rendement, on travail toujours en milieu humide en ajoutant de l'eau au fond de trou. Le foreur de métier garde une main sur le câble et l'accompagne dans sa course, ce qui lui permet de bien sentir l'intensité des vibrations sur le câble ; et lorsque le fond de trou est encombré par les débris, celui-ci sera nettoyé par soupapes à piston ou à clapet.

Parmi les machines de battage on cite : les machines de type Beneto, et Dando Buffalo 3000.

I.1.2.1/ Les différents procédés de battage :

a- le procédé Pennsylvanien (procédé à câble) :

Où le trépan est à accrocher directement au câble sous une masse tige (tige très lourde), il est bien développé aux USA.

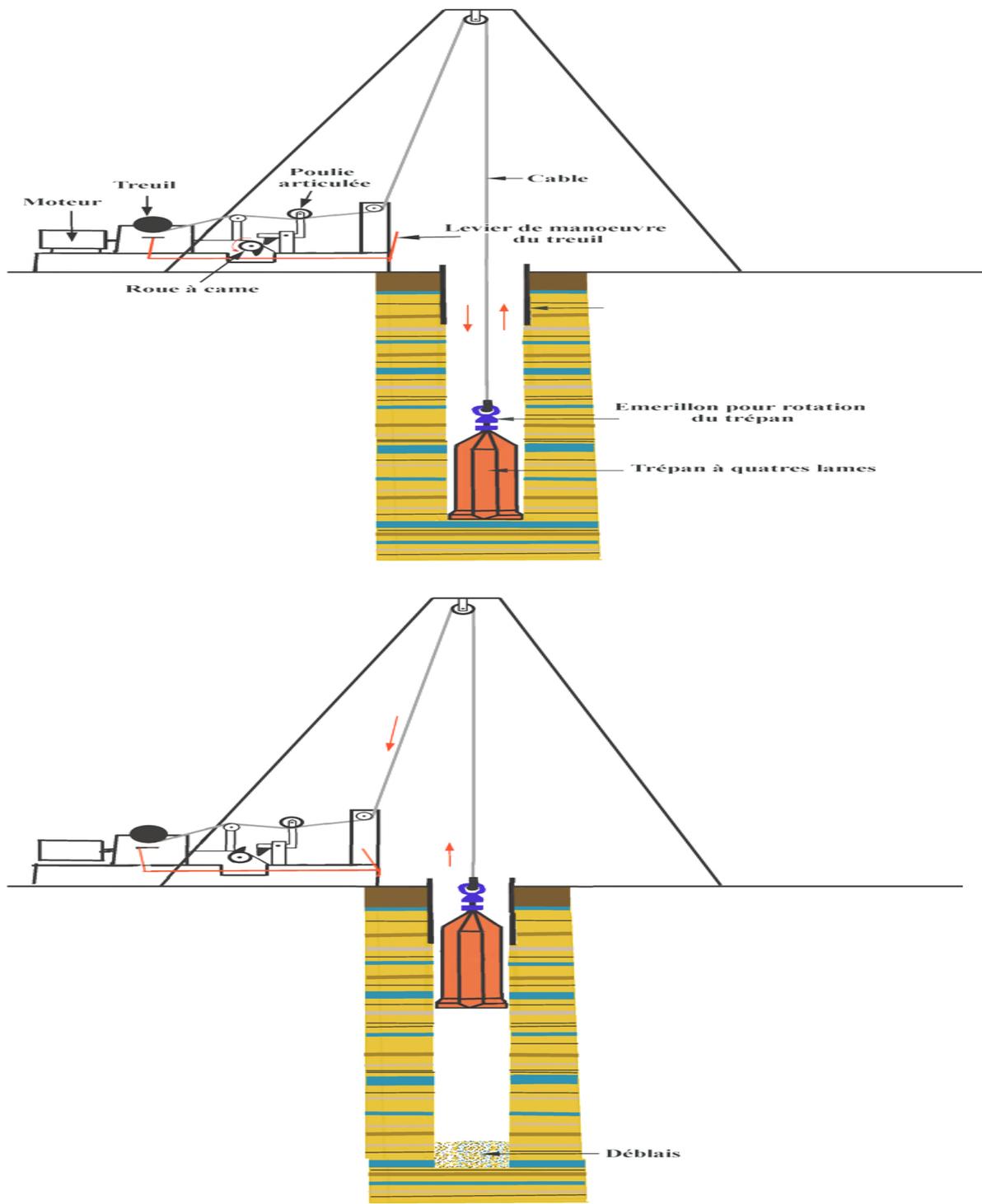
b- procédé Canadien :

Dans ce cas, le trépan est fixé sous un train de tiges pleines. Il est surtout utilisé dans l'Europe de l'est.

¹ Albert Mabillot « Forage d'eau ;guide pratique » ;édition johason filtration systems ;nainte ;1986,p23

c- procédé Raky (s'appelle aussi battage rapide) :

Utilise des tiges creuses avec circulation d'eau.



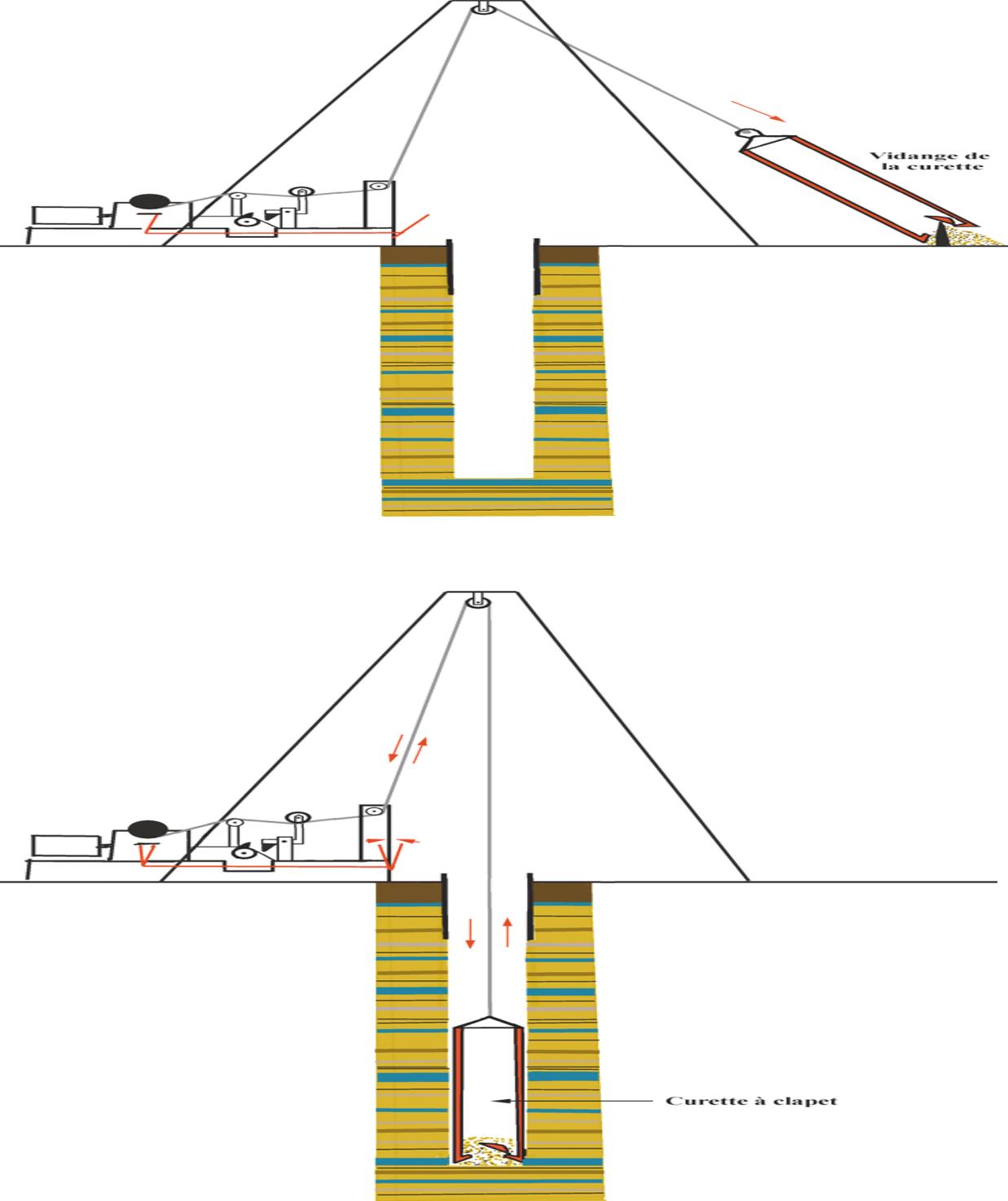


Figure02 : forage par battage

I.1.2.2/ Avantages et inconvénients du battage :

I .1.2.2.1/ Avantages du battage :

- investissement moins important
- énergie dépensée faible
- facilité de mise en œuvre
- pas de boue de forage
- récupération aisée d'échantillons
- nécessite moins d'eau (40 à 50 l/h) et de n'importe quelle qualité.
- la détection de la nappe même à faible pression est facile : la venue de l'eau à basse pression se manifeste directement dans le forage sans être aveuglée par la boue.
- pas de problèmes dans des zones fissurées (risque lié à la perte de boue)

I .1.2.2.2 / inconvénients du battage :

- le forage s'effectue en discontinue (forage puis curage de cuttings et ainsi de suite)
- forage lent
- difficultés pour équilibrer les pressions d'eau jaillissante.
- absence de contrôle de la rectitude
- pas de possibilité de faire le carottage



Figure03 : Trou de forage réalisé au battage

I .1.3/ La technique Rotary ¹:

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920. Les techniques rotary sont adaptées au forage dans des terrains sédimentaires uniquement, éventuellement des terrains sédimentaires durs si la machine utilisée est puissante.

Il faut cependant noter que si l'on utilise une technique rotary à air, ce n'est plus de la boue qui est injectée dans les tubes de forage, mais de l'air. Il faut savoir qu'il n'y aura pas de formation de cake.

Un outil appelé trillames (tricône) est mis en rotation depuis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du

¹ Jean François Maillard « forage et sondages » ; techniques de l'ingénieur volume c2 imprimerie strasbourgeoise ; paris ; 1996 , p 17.

terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au dessus de l'outil. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption. La boue tapisse les parois non encore tubées et les maintiens momentanément en attendant la pose de tubage.

Une perte de volume indique une zone fissurée ou dépressionnaire (vide). Le forage en perte de circulation peut être dangereux pour la ligne de sonde et l'ouvrage.

Le dépôt de la boue qui recouvre les parois d'une formation aquifère de faible pression peut gêner la détection de cette formation.

Parmi les machines de rotary on cite : AcF-PAT 201, AcF-PAT 301, AcF-PAT 401, Eureka, Dando, Stenuik BB.



Figure04 : L'outil de forage au rotary : le tricône

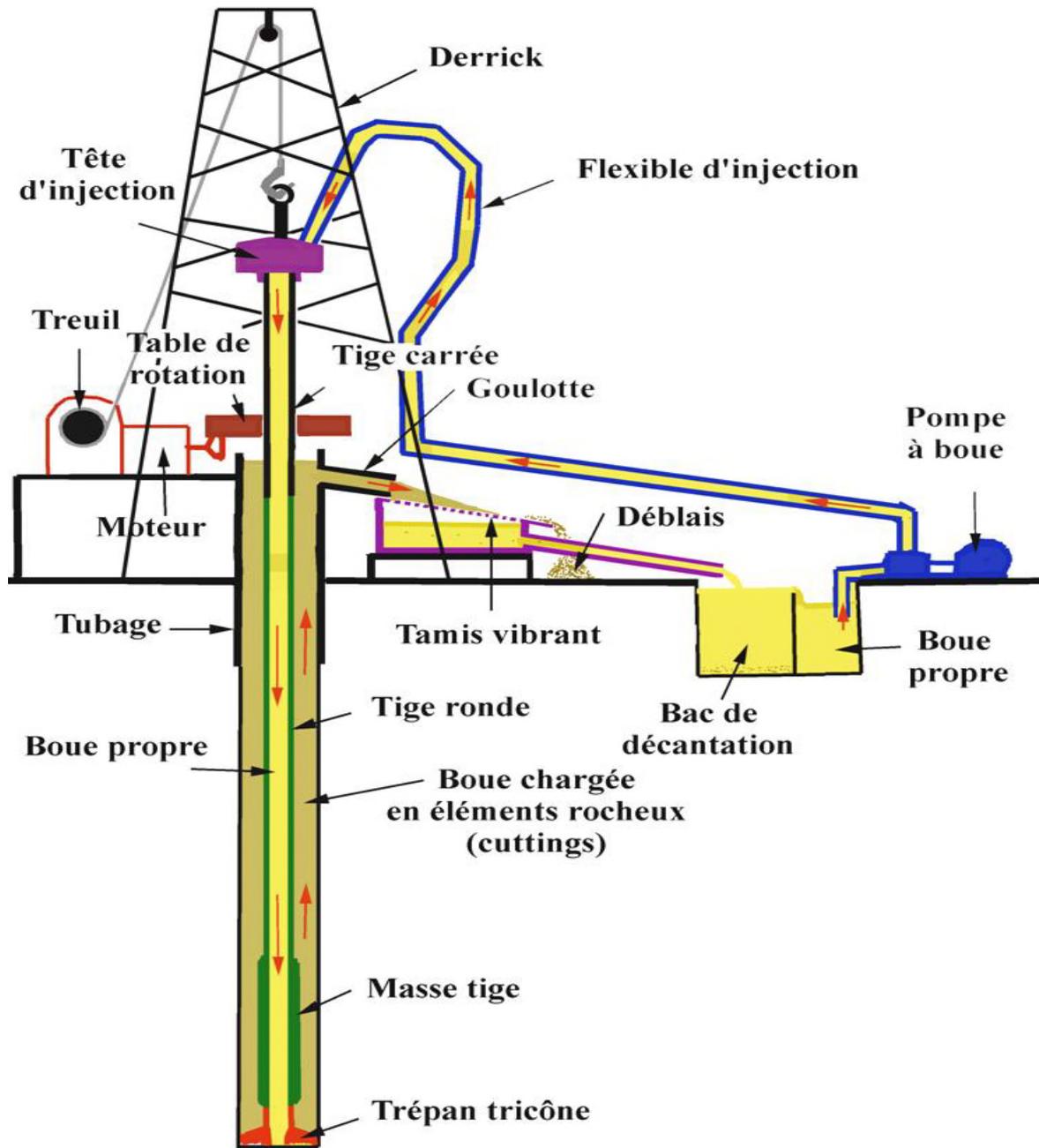


Figure05: L'outil de forage au rotary : le tricône

I .1.3.1/ Paramètres de forage rotary¹:

Pour avoir le meilleur rendement d'un atelier de forage rotary, il convient d'être très vigilant sur les trois paramètres suivants :

-le poids sur l'outil : l'avancement s'accroîtra en fonction du poids sur l'outil (qui s'augmente en s'avançant par le montage au fur et à mesure de tiges), mais on est limité dans cette voie par l'usure rapide des lames et des dents et surtout par détérioration rapide des roulements des outils à molettes. Le contrôle du poids sur l'outil s'opère par le dynamomètre qui mesure la tension du brin (file) mort du câble, il donne le poids de tout ce qui est suspendu au crochet.

-la vitesse de rotation : la plus part des appareils rotary sont munis d'un indicateur donnant la vitesse de rotation de la table (table de rotation). Dans les terrains durs, la vitesse de rotation sera faible ; elle sera plus élevée lorsque les terrains seront tendres. Cette vitesse qui se calcule en fonction de la vitesse des moteurs et le rapport des transmissions, devra être vérifiée par un appareil de contrôle.

-le débit des pompes (à boue, à air) : la vitesse de remontée des cuttings doit se situer autour de 60 m/min. au minimum. Le choix de la puissance de la pompe et de son moteur sera conditionné par le volume total de boue à mettre en oeuvre pour la plus grande profondeur du forage, en tenant compte des pertes de charge, de la viscosité de la boue et de dimensions des tiges.

¹ Dr Mehdi METAICHE ' OP CIT ' Université de Bouira Octobre 2013 ,p 19.

I .1.4/ La technique de la circulation inverse (rotary à circulation inverse)¹:

Le forage rotary est généralement limité au diamètre 619 mm (24”), au-delà de celui-ci, les rendements sont moins bons et le coût des pompes à boue nécessaires pour assurer le nettoyage du forage devient prohibitif.

La méthode de la circulation inverse permettent au contraire, de forer en diamètres varier de 0,6m à 2,5m et plus. Dans ce cas, on utilise un trépan spécial (à tête plate) avec insertion de Plaquettes de métal dur et un nombre suffisant de masse tiges pour assurer une charge importante sur le trépan.

La circulation inverse consiste à l’injection du fluide de forage dans l’espace annulaire, et la remontée des cuttings se fait dans les tiges de gros diamètres.

La circulation inverse peut être assurer par :

- Soit par aspiration du mélange eau- cuttings à travers le train de tiges par une pompe d’aspiration (pompe centrifuge)
- soit par utilisation de l’air comprimé, qui consiste à alléger l’eau ou la boue par injection de L’air comprimé provoquant la remontée du mélange eau-cuttings à travers les tiges de gros diamètres.

I .1.4.1/ avantages et inconvénients :

I .1.4.1.1/ avantages :

- La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage.
- les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement
- pas de tubage pendant la foration
- facilité de mise en place de la crépine
- bons rendements dans les terrains tendres
- consommation de l’énergie économique

¹ Albert Mabillot ; op cit ;1986 ;p40.

I .1.4.1.2/ inconvénients :

- nécessite beaucoup d'eau
- nécessite un grand investissement (matériel très importants)
- seul les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd.

I .1.5/ la technique marteau fond de trou (MFT)¹ :

Est un outil et une méthode de forage à percussion destiné aux sols durs et cassants comme le calcaire, le grès, le basalte. Il utilise comme fluide de forage de l'air comprimé à haute pression produit par un compresseur autonome et parfois l'eau qui permet de remonter les déblais de forage. Il réduit la roche en petits flocons de poussière.

Le marteau pneumatique équipé d'un taillant est fixé à la base d'un train de tiges et animé en percussion par envoi d'air comprimé dans la ligne de sonde, d'où le nom de « marteau fond-de-trou ».

Parmi les machines MFT on cite : AcF-PAT 301, AcF-PAT 401, Dando, Stenuik BB.



Figure06: Les taillants pour marteau fond de trou

¹ Gilbert castany « Hydrogéologie ; principes et méthodes » édition Dunod, paris ; 1998 ; p 20.

I .1.5.1/avantages de cette technique :

- elle très intéressante dans les pays où l'eau est très rare.
- mise en ouvre rapide et simple.
- permet de détecter la présence d'un aquifère lors du forage.

I .1.6/ la technique ODEX ¹:

La méthode ODEX permet de forer et de tuber simultanément des trous profonds dans tous les types de formations y compris les formations comportant des gros blocs.

La méthode est fondée sur l'utilisation conjuguée d'un taillant pilote et d'un aléreur qui forent ensemble un trou légèrement plus large que le diamètre extérieur du tube de revêtement.

Cela permet au tube de revêtement de suivre le taillant au fond du trou.

1. Au début de la foration, le taillant aléreur ODEX se met en position excentrée et alèse le trou pour permettre au tube de revêtement de descendre librement.
2. Lorsque la profondeur requise est atteinte, la rotation est inversée soigneusement pour rétracter l'aléreur et permettre ainsi de remonter l'équipement à l'intérieur des tubes.
3. Les tubes de revêtement qui doivent rester dans le trou foré doivent être scellés au fond du trou par injection de ciment ou de tout autre agent de scellement.
4. La foration dans la roche saine peut être continuée à la profondeur désirée en utilisant un équipement classique.

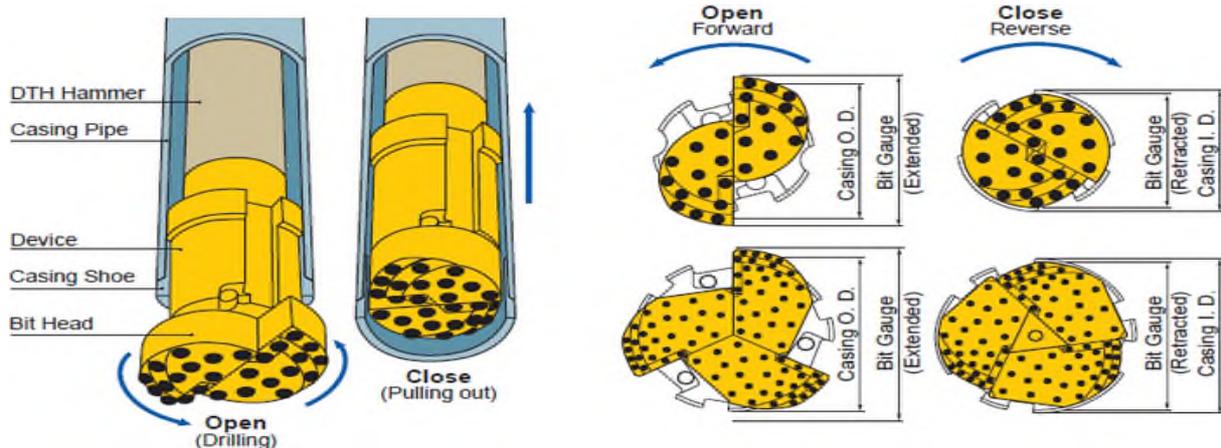


Figure07 : la technique ODEX

¹ Gilbert castany ;op cit ;p27.

I .1.7/ la technique de Havage¹ :

Plus connue sous le nom de procédé Benoto, dans ce type de forage par curage ou havage, les tubages pénètrent dans la formation sous l'effet de leur propre poids ou sous l'action de vérins hydrauliques. Une benne « preneuse » vide progressivement l'intérieur du tubage tant que celui-ci se trouve au-dessus du niveau statique. En-dessous du niveau statique, l'emploi d'une soupape est recommandé.

Méthode adaptée pour des ouvrages de gros diamètre en terrains alluvionnaires (formations meubles).



Figure08 : la technique de Havage

¹ Jean François Maillard ; op cit ; p 31

Le forage peut être effectué :

–soit par bennes à coquilles : où l’attaque du terrain se fait au moyen d’une benne circulaire munie de coquilles ouvertes qui percutent le sol comme un trépan remonte les déblais.

L’ouverture et la fermeture des coquilles sont commandées par câble. Ce matériel permet des forages de profondeurs de 70 à 80 m pour des diamètres de 600 mm à 1,2 m dans des terrains alluvionnaires.



–soit par outils en rotation : ce système de perforation travaille au moyen d’un outil d’extraction circulaire avec un fond verrouillé muni de dents et agit par rotation jusqu’à ce qu’il soit plein de matériaux. L’outil est extrait et le déverrouillage du fond de l’outil permet de vider rapidement celui-ci. Ce matériel permet d’effectuer des forages de 35 à 40 m de profondeur en des diamètres de 0,5 à 1,3 m.

I .2/ REALISATION DE FORAGE

I .2.1/ Installation du chantier de forage¹ :

L'organisation du chantier de forage prend en compte la prévention des risques de pollution accidentelle : accès et stationnements de véhicules, stockage d'hydrocarbures et autres produits.

Par exemple, l'entreprise de forage disposera une bâche plastique sous la machine de forage afin de protéger le forage d'éventuelles fuites d'huile et de carburant.

Il faut :

- éloigner les produits polluants du forage
- évacuer les boues et déblais de forage
- évacuer l'eau des pompes d'essai

De plus il faut : - un périmètre de sécurité autour du chantier, un approvisionnement en eau (citernes), un accès facile pour le remplissage des fosses, une zone de déblais (cuttings), le positionnement du compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas la poussière de forage, et l'installation de toutes les unités de pompage, de pression hydraulique et des moteurs sur un plan horizontal.

I .2.2/ Choix de la technique de forage²:

Le choix d'une technique de forage se fait sur : la nature de terrain, son teneur en eau, l'avancement de l'outil de forage, la quantité d'eau à utiliser, l'endroit du forage...etc.

L'expérience seule permet d'évaluer correctement la remontée de cuttings et l'avancement de l'outil de forage en fonction de la technique utilisée.

¹ G.Schneebeli ; Hydraulique souterraine ; édition Eyrolles ; paris ; 1987 ; p90

² OLIVIER BANTON ET LUMONY M .Bangoy « Hydrogéologie multiscience environnementale des eaux souterraines » ;presse de l'université de Québec ; CANADA ;1997 ;p158.

Au-delà de certaine profondeur, le rotary à l'air comprimé est à éviter car il est difficile à maîtriser (mauvaise remontée du cuttings). Dans les terrains sédimentaires peu consolidés, le rotary à la boue est la plus adéquat.

I .2.3/ Tubages :

Le tubage de réalisation de forage peut se faire suivant trois formes : tubages complet, tubages télescopique et tubage en colonne perdus.

Les différents types de tubages

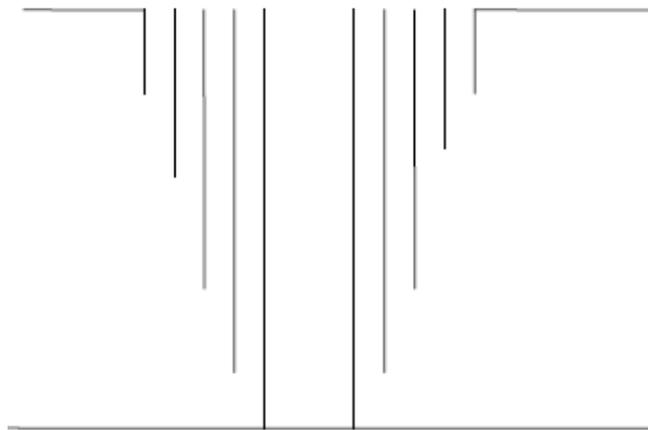


Figure 09 :Tubage complet

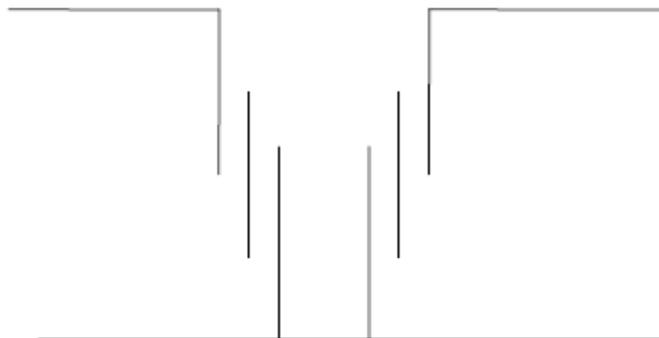


Figure 10 :Tubage télescopique

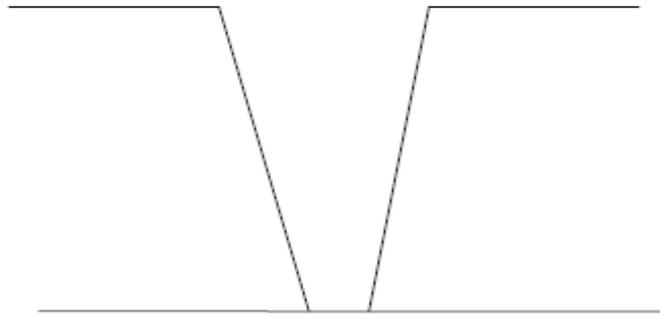


Figure 11 : Colonne perdu

I .2.4/ Contrôle de la rectitude et de la verticalité :

Pour faciliter le tubage : la mise en place d'une colonne rigide de tubes dans un trou coudé n'est pas possible.

Pour un bon fonctionnement de la pompe : dans un trou rectiligne mais incliné, le fonctionnement de la pompe risque d'être compromis par l'augmentation des pertes de charge linéaires, tandis que dans un trou coudé les pertes de charge singulières se multiplient. .

On reconnaît qu'une déviation de 0,25% est insignifiante, mais à partir de 0,5% commence d'être sérieuse.

On mesure la verticalité par les appareils suivants : l'inclinomètre thermique, l'inclinomètre mécanique et l'inclinomètre optique.

I .2.5/ les fosses à boue¹ :

Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage et permettent son recyclage par décantation. Elles se forment d'une fosse de décantation, d'une fosse de pompage et de canaux.

Le premier canal doit être assez long pour que la fosse soit en dehors du trottoir du futur point d'eau pour éviter le tassement différentiel sous la dalle (de largeur ≥ 2 m) et d'une section de 0,2x0,2 m.

¹ G.Schneebeli ;OP CIT ;p105

L'axe du second canal doit être décalé de celui du premier pour favoriser la décantation. Sa section est de 0,2x0,2 m.

Les fosses et les canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage.

Le dimensionnement des fosses à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser.

Une méthode approximative de dimensionnement est avancée par E. Drouart et J.M.

Vouillamoz :

* le volume total des fosses = 3.volume du forage.

* la fosse de décantation :

- largeur (m) = [volume du forage (en litre).0,57]^{1/3} .

- longueur (m) = 1,25 . largeur

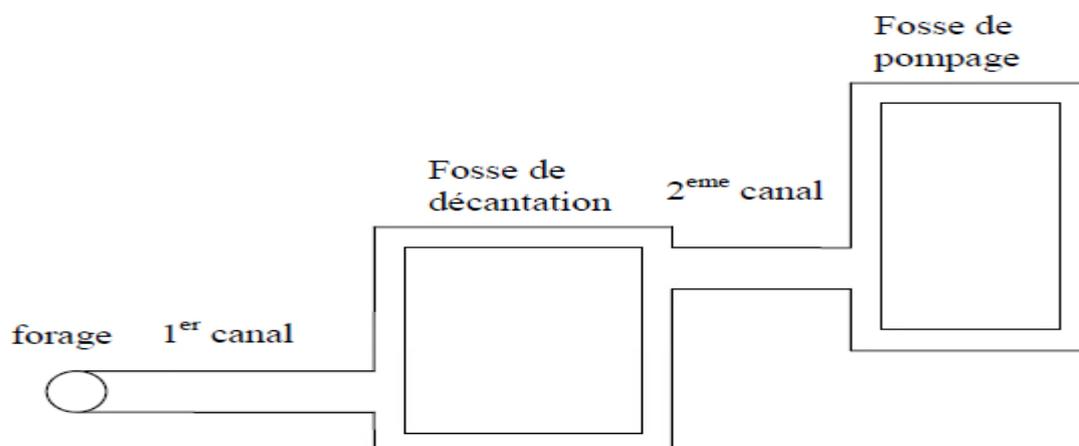
- profondeur (m) = 0,85 . largeur

* fosse de pompage :

- largeur = [volume du forage (en litre).0,57]^{1/3} .

- longueur = 2,5. largeur

- profondeur = 0,85. largeur.



I .2.6/ Prélèvement des échantillons¹ :

I .2.6.1/ *Cuttings* :

l'échantillonnage et l'analyse de cuttings permet l'établissement de la courbe granulométrique pour définir les caractéristiques des crépines et du gravier additionnel. Le forage à la boue permet de fournir à la surface des échantillons broyés ou non du terrain rencontré par l'outil au fond du trou.

S'il s'agit de forage au rotary, ces échantillons contiennent une forte portion de la boue de circulation.

Pour le forage au battage, il procure un échantillonnage nettement plus représentatif de la formation.

L'échantillonnage en forage par battage nécessite des interruptions de l'avancement, la sortie du trépan et l'extraction à la cuillère du sol de fond, tandis qu'au rotary ; ces interruptions ne sont pas nécessaires.

Généralement : on prend un échantillon dès que l'on rencontre une formation aquifère, et à chaque fois qu'il y a changement de formation. Autrement, on prend un échantillon tous les deux mètres.

I .2.6.2/ *Carottage* :

Est un type de forage d'exploration, visant à prélever un échantillon du sous-sol terrestre ou marin obtenu à l'aide d'un tube appelé carottier que l'on fait pénétrer dans le sous-sol.

L'échantillon ainsi obtenu s'appelle une carotte . Celle-ci est qualifiée d'échantillon stratigraphiquement représentatif, donc non perturbé.

¹ OLIVIER BANTON ET LUMONY M .Bangoy ;OP CIT ;p 180.

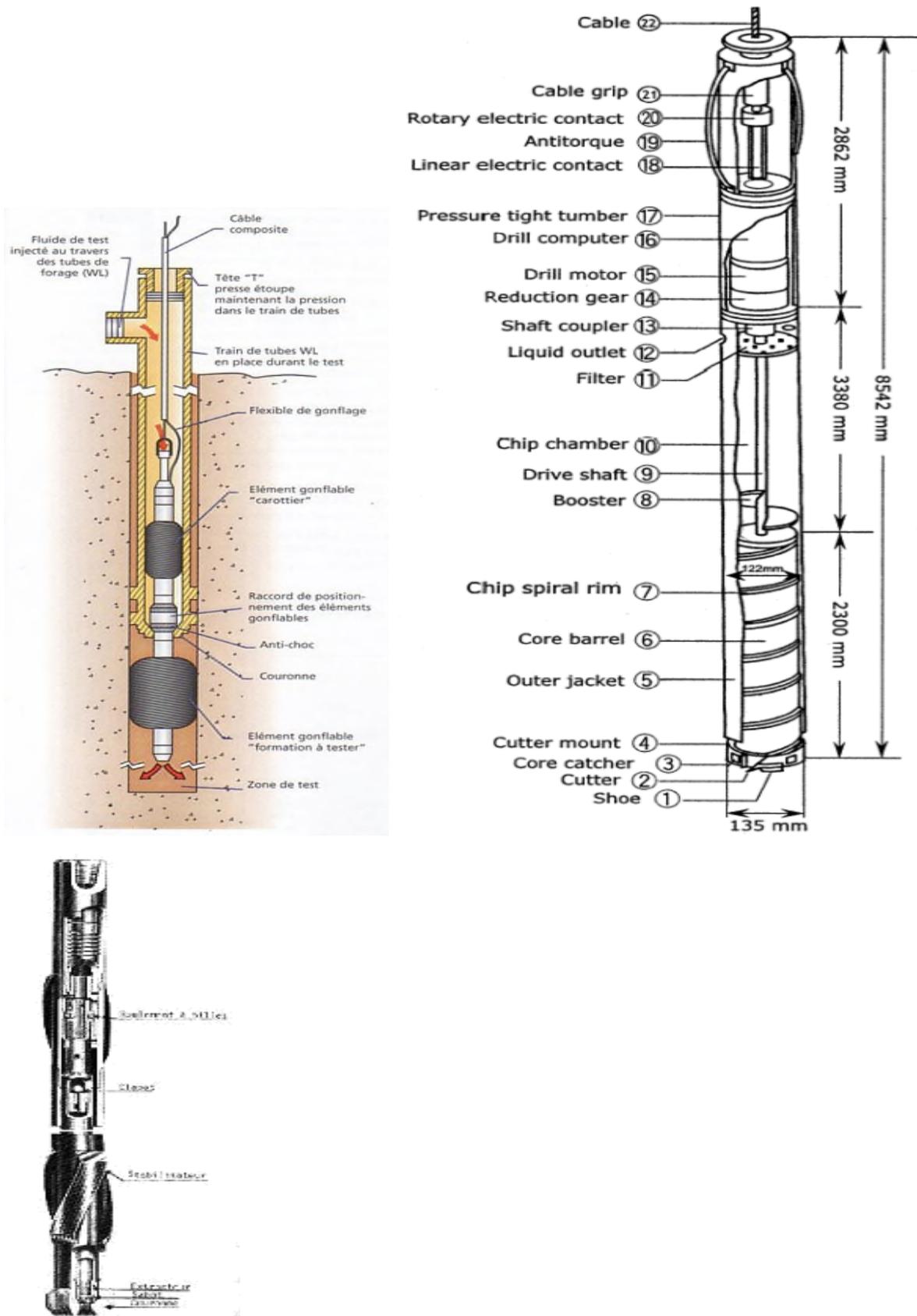


Figure 12 : Carottier double paroi

I .2.6.3/ Mesure de la perméabilité :

Les différents procédés de mesure de la perméabilité sont :

- les procédés de mesure au laboratoire : par utilisation de perméamètres à charge constante où variable.
- les procédés in situ (méthode de Lugeon qui consiste à injecter de l'eau sous une pression constante et on mesure le volume d'eau introduite en une minute)
- utilisation des formules empiriques (formule de Hazen, formule de Slichter) à travers la courbe granulométrique.
- calcul de la perméabilité d'après la détermination de la transmissivité (à travers les essais de pompage).

Chapitre II : boues de forage

Introduction:

La tradition rapporte que c'est sur le champ de spindletop , près de Beaumont (Texas) , que la boue de forage fut utilisée pour la première fois par le capitaine Lucas. Cependant , l'évolution s'est faite au fur et à mesure des problèmes rencontrés et des possibilités de la technique et , bien avant 1901 , on utilisait déjà un mélange d'eau et d'argiles

On peut diviser l'histoire de la boue en quatre périodes :

- Avant 1901 : période artisanale
- De 1901 à 1928 : période empirique
- De 1928 à 1955 : période expérimentale
- A partir de 1955 : période technique .

-Pourquoi cette division ? Avant 1901 , les fluides de forage étaient constitués essentiellement d'eau et l'on n'attachait aucune importance à ces fluides . Le capitaine Lucas passe pour être le premier homme qui s'intéressa à la constitution de la boue. Cependant , jusqu'en 1928 , la littérature est pauvre en articles concernant la boue et il semble que jusqu'à cette époque on n'attacha d'importance qu'à la densité (mesurée par pesée directe à l'aide d'une balance ordinaire), à la viscosité (appréciée visuellement) et à l'eau libre surnageant .Mais déjà en 1920 , on utilisait le sulfate de baryum pour alourdir les boues et s'opposer aux éruptions d'huile ou de gaz.

-A partir de 1928, de nombreux chercheurs se penchent sur l'étude expérimentale des fluides de forage et les progrès deviennent très vite sensibles. La première société de services de boues se crée aux Etats-Unis.

-En 1929 , on commence à employer les bentonites pour augmenter la viscosité et on emploie les phosphates pour la diminuer.

Chapitre II : boues de forage

-En 1930 et 1931, le viscosimètre marsh fait son apparition sur les chantiers et le viscosimètre stormer dans les laboratoires.

L'emploi du tanin de Québracho commence à se généraliser et la boue au silicate de soude est employée pour dorer les argiles gonflantes.

- En 1935 , les premiers électromètres permettent de mesurer la concentration en sable de la boue et la première boue à l'huile est utilisée pour forer une zone productrice.

-En 1936, l'attapulgite est employée pour augmenter la viscosité des boues salées. La division production de l'A.P.I .édite un manuel contenant les recommandations pour rester les boues de forage.

-En 1937, apparait la première balance à boue (construite par P.H.Jones) qui détrônera progressivement l'hydromètre. L'amidon de maïs est introduit sur le marché et employé comme réducteur de filtrat. En même temps, les premiers filtres-presses commencent à se généraliser.

-En 1944 apparait la carboxyméthylcellulose (CMC) comme réducteur de filtrat non fermentescible.

-En 1945 , on emploie pour la première fois , comme réducteur de viscosité, les lignosulfonates de calcium et les lignines. Les premières boues à la chaux sont mises au point et vont influencer pendant plus de 15 ans ,avec l'ion calcium, toutes la technologie des boues.

-En 1949, apparait le viscosimètre Fann qui facilitera la mesure des caractéristiques rhéologiques des boues de forage.

-En 1955, la mise au point des lignosulfonates de ferrochrome permet l'emploi de la boue au gypse qui va progressivement détronner la boue à la chaux .

-A partir de 1955, les progrès sont très rapides et les produits dont on dispose actuellement permettent de faire face à peu près à tous les problèmes.

II .1/ PRINCIPALES FONCTIONS DES BOUES DE FORAGE (ROLE DE LA BOUE)¹ :

Les boues de forage doivent avoir les propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes :

- nettoyage du trou.
- maintien des déblais en suspension.
- sédimentation des déblais fins en surface.
- refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde
- prévention du cavage et des resserments des parois du puits.
- dépôt d'un cake imperméable.
- Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile.
- augmentation de la vitesse d'avancement.
- entraînement de l'outil.
- diminution du poids apparent du matériel de sondage.
- apport de renseignements sur le sondage.
- contamination des formations productrices.
- corrosion et usure du matériel.
- Toxicité et sécurité.

➤ Nettoyage du trou

-La boue doit débarrasser le trou des formations forées qui se présentent sous formes de débris appelés plus couramment « cuttings ». Mais ,si la boue doit transporter ces débris du fond du

¹ C.GARCIA et P.PARIGOT « Boues de forage » ; édition technip ; 1968 ;p12

trou jusqu'en surface, elle doit être aussi capable de les maintenir en suspension lors des arrêts plus ou moins longs de la circulation.

-L'aptitude de la boue à entraîner les « cuttings » dépend de sa viscosité et de sa densité, mais aussi de sa vitesse de circulation dans l'espace annulaire. Si viscosité et densité relèvent des produits employés, il n'en va pas de même de la vitesse de remontée qui dépend du débit des pompes à boue, du diamètre de forage et du diamètre du train de sonde.

-Pendant longtemps on a pensé que seul un fluide possédant des gels élevés était capable de s'opposer à la sédimentation des débris ou de l'alourdisant dans le trou. Cette opinion ne prévaut plus et il est actuellement facile de fabriquer des boues à gels nuls sans risques de sédimentation.

➤ **Maintien des déblais en suspension** Le fluide de forage doit non seulement débarrasser le puits des déblais de forage durant les périodes de circulation, mais il doit également les maintenir en suspension pendant les arrêts de circulation.

➤ **Sédimentation des déblais fins en surface** Alors que la boue doit permettre le maintien en suspension des déblais dans le puits durant les arrêts de circulation, ce même fluide doit tasser et sédimenter les déblais fins en surface, afin de les éliminer. Bien qu'apparemment ces deux aptitudes semblent contradictoires, elles ne sont pas incompatibles.

➤ **Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde** Du fait de son passage en surface, la boue en circulation se trouve à une température inférieure à celle des formations ce qui lui permet de réduire efficacement le réchauffement de la garniture de forage et de l'outil. Cet échauffement est dû à la transformation d'une partie de l'énergie mécanique en énergie calorifique.

➤ **Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits** La boue doit posséder des caractéristiques physiques et chimiques telles, que le trou conserve un diamètre voisin du diamètre nominal de l'outil. Le cavage est causé par des éboulements, par la dissolution du sel,

par la dispersion des argiles, par une érosion due à la circulation de la boue au droit des formations fragiles, etc.

Les resserrements ont souvent pour cause une insuffisance de la pression hydrostatique de la colonne de boue qui ne peut équilibrer la pression des roches.

- Dépôt d'un cake imperméable La filtration dans les formations perméables d'une partie de la phase liquide de la boue crée un film sur les parois du sondage, ce film est appelé cake. Le dépôt du cake permet de consolider et de réduire la perméabilité des parois du puits.
- Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile Afin d'éviter le débit dans le puits des fluides contenus dans les réservoirs rencontrés en cours de forage, le boue doit exercer une pression hydrostatique suffisante pour équilibrer les pressions de gisement. La pression hydrostatique souhaitée est maintenue en ajustant la densité entre des valeurs maximum et minimum.
- Augmentation de la vitesse d'avancement Au même titre que le poids sur l'outil, la vitesse de rotation et le débit du fluide, le choix du type et des caractéristiques de la boue conditionnent les vitesses d'avancement instantanées, la durée de vie des outils, les temps de manœuvre, en un mot, les performances du forage. Un filtrat élevé augmente la vitesse d'avancement. Les très faibles viscosités sont aussi un facteur favorable à la pénétration des outils.
- Entraînement d'outils (turbine, MWD, etc.) Dans le cas du turboforage la boue entraîne la turbine en rotation. Cette fonction, l'amenant à passer à travers une série d'évents et à mettre en mouvement des aubages, implique certaines caractéristiques et rend impossible ou très délicat l'utilisation de certains produits (colmatant).
- Diminution du poids apparent du matériel de sondage Bien que ce soit beaucoup plus une conséquence qu'une fonction, la présence d'un fluide d'une certaine densité dans le puits permet de diminuer le poids apparent du matériel de sondage, garniture de forage et tubages, ceci permet de réduire la puissance exigée au levage.

- Apport de renseignements sur le sondage La boue permet d'obtenir des renseignements permanents sur l'évolution des formations et fluides rencontrés. Ces renseignements sont obtenus :
 - Par les déblais remontés avec la circulation du fluide,
 - L'évolution des caractéristiques physiques et/ou chimiques de la boue,
 - La détection de gaz ou autres fluides mélangés à la boue.
- Contamination des formations productrices La présence d'un fluide au droit de formations poreuses et perméables peut exercer une pression hydrostatique supérieure à la pression de gisement. Cela peut nuire à la future mise en production de cette zone. III.5.13. Corrosion et usure du matériel Le fluide peut accélérer l'usure du matériel de sondage, par une action mécanique, si elle contient des matériaux abrasifs. 3e peut aussi être corrosive par une action électrolytique (présence d'ions) due à un déséquilibre chimique.
- Toxicité et sécurité La boue de forage ne devra pas présenter de danger pour la santé du personnel . Et ne devra pas non plus créer de risques d'incendie, tout particulièrement dans le

II .2/ CIRCUIT DE FLUIDE FORAGE¹

- La boue est mélangée et conservée dans le bassin de décantation.
- Une pompe achemine la boue dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond du puits.
- La boue sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où le trépan est en train de forer la formation rocheuse.
- La boue emprunte ensuite le chemin inverse en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par le trépan.

¹ J.P.NGYUEN « le forage » édition technip ;paris ; 1993 ;p115.

Chapitre II : boues de forage

-La boue remonte jusqu'à l'espace annulaire, entre la tige de forage et les parois du puits. Le diamètre type d'une tige de forage est d'environ 10 centimètres (4 pouces). Au bas d'un puits profond, le puits peut mesurer 20 centimètres (8 pouces) de diamètre.

-A la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue, une tige qui mène au tamis vibrant.

-Les tamis vibrants se composent d'un ensemble de crépines métalliques vibrantes servant à séparer la boue des déblais. La boue s'égoutte dans les crépines et est renvoyée vers le bassin de décantation.

-Un traitement plus élaboré est effectué par un ensemble d'équipements d'épuration mécanique.

-Les déblais de la roche glissent le long de la glissière du tamis pour être rejetés. En fonction des impératifs environnementaux, notamment, ils peuvent être lavés avant leur rejet. Une partie des déblais est prélevée pour être examinée par des géologues afin d'étudier les propriétés des roches souterraines présentes au fond du puits .

II .3/ Composition des boues :

-En plus de l'eau et du gazoil utilisé comme phase continue ou émulsionnée, un très grand nombre de produits entrent dans la fabrication et le traitement des fluides de forage dont certains ont un rôle spécifique et d'autres ont des actions multiples. Ces produits sont classés par familles.

II .3.1/ Colloïdes argileux¹ :

II .3.1.1/ Les bentonites :

Les bentonites sont employées pour augmenter la viscosité et les gels des boues douces et diminuer leur filtrat. En milieu salé (plus de 35 g/l de Na Cl), les bentonites sont inefficaces et ne servent alors que de support colloïdal.

¹ Manuel Pratique Des Fluides De Forage ;édition techip ;paris ;1969 ;p168.

II .3.1.2/ Les attapulgites

Présentent la propriété de gonfler et de rester en suspension en milieu salé. Cette propriété est employée pour augmenter la viscosité et les gels des boues salées (> 35 g/l de NaCl). Cependant, ces argiles ne présentent aucune capacité à réduire le filtrat.

II .3.2/ Colloïdes organiques¹

II .3.2.1/ L'amidons :

L'amidon est ajouté dans les boues douces ou salées pour réduire le filtrat. Son emploi exige cependant que l'une de ces trois conditions soit satisfaite :

- pH > 12,
- présence anti-ferment,
- salinité supérieure à 200/250 g/l

II .3.2..2/ CMC (Carboxy Méthyl Cellulose)

Les C.M.C. sont classées en deux catégories, fonction de la viscosité qu'elles confèrent au fluide :

- basse viscosité (L.V.),
- haute viscosité (H.V. ou Regular).

II .3.3/ Les fluidifiants et défloculants :

II .3.3.1/ Les lignosulfonates :

Les lignosulfonates de ferrochrome fonctionnent pratiquement, dans toutes les boues à base d'eau. Ces produits possèdent la particularité de se comporter, comme un fluidifiant entre 2 et 8 g/l de concentration, et comme un inhibiteur de gonflement et de dispersion des argiles à des doses plus élevées.

¹ C.GARCIA et P.PARIGOT ;OP CIT ;P80.

Chapitre II : boues de forage

Les autres fluidifiants et défloculants sont les poly phosphates, Les tanins, Les lignines chromées

II .3.4/ Les additifs minéraux :

II .3.4.1/ La soude caustique (Na OH) :

La soude est employée pour :

- Accroître le rendement des argiles : 1 à 2 kg par mètre cube de boue, 3 à 4 kg/m³ pour les boues à l'eau de mer,
- Augmenter le pH et accroître le rendement des produits organiques (fluidifiants et réducteurs du filtrat).

II .3.4.2/ Le carbonate de soude (Na₂ CO₃) :

Le carbonate de soude est employé pour :

- Accroître le rendement des argiles : 1 à 2 kg par mètre cube de boue,
- Précipiter le calcium.

II .3.4.3/ Le bicarbonate de soude (Na HCO₃)

Le bicarbonate de soude est employé lors des reforges ciment pour précipiter la chaux libérée par le ciment (il faut approximativement ajouter 500 kg de bicarbonate de soude à la boue pour traiter 1 m³ de ciment à reforge).

II .3.4.4/ Le gypse (Ca SO₄, 2 H₂O)

Le gypse est employé pour :

- Fabriquer les boues au gypse (utilisés lors du forage de gypse ou d'anhydrite). La solubilité du gypse est de 2,14 g/l en eau douce à la température de 20 °C. Les ions calcium apportés par le gypse empêchent le gonflement des argiles forées, ce qui permet de travailler avec des viscosités plus faibles.
- Traiter les contaminations à base de carbonate.

II .3.4.5/ La chaux éteinte ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

La chaux éteinte est employée pour :

- Augmenter la viscosité d'une suspension d'argile préalablement hydratée dans de l'eau (ceci entraîne une augmentation de filtrat) ;
- Fluidifier certains types de boues salées saturées (Na Cl).

II .3.4.6/ Le chlorure de calcium (Ca Cl_2) :

Le chlorure de calcium est employé lorsque l'on désire confectionner des boues contenant une concentration en calcium dans le filtrat plus élevée que celle que peut fournir le gypse. Il est utilisé, pour certaines boues à émulsion inverse.

II .3.5/ Les produits organiques spéciaux ¹:

II .3.5.1/ Les anti-ferments :

Ces produits sont utilisés pour empêcher ou stopper la fermentation des colloïdes organiques (amidon, gommes, etc.) en milieu aqueux. On utilise généralement des dérivés phénoliques.
Doses d'emploi : 0,5 à 1,5 kg/m³.

II .3.5.2/ Les anti-mousses :

Ces produits favorisent le dégazage de la boue. Il en existe une infinité. Citons :
le stéarate d'alumine, les alcools supérieurs (octylique, etc...),

II .3.5.3/ Les agents de décoincement :

Les statistiques montrent que 70 à 80 % des coincements sont des coincements par pression différentielle

II .3.5.4/ Les antifrictions et extrême pression :

Ces produits ont été mis au point pour réduire l'usure des outils, de la garniture, des

¹ C.GARCIA et P.PARIGOT ;OP CIT ;P 90.

pièces en mouvement, des pompes, etc.

II .3.5.5/ Les anticorrosion

Les boues aérées, les boues salées saturées et en général les boues ayant un pH inférieur à 10 corrodent les parties métalliques avec lesquelles elles sont en contact. Pour réduire ce phénomène, on peut ajouter dans la boue des produits anticorrosion. Citons : le chromate de soude, le bichromate de potassium, etc., et les dérivés d'amines grasses

II .3.6/ Les alourdissant :

II .3.6.1/ La barytine ou sulfate de baryum (Ba S04 densité : 4,2) :

C'est l'alourdissant le plus couramment utilisé. La barytine, plus communément appelée baryte, ne doit pas contenir d'argile ni de sel soluble et sa densité doit être d'au moins 4,20.

II .3.6.2/ Le carbonate de calcium (Ca C03 densité : 2,7) :

Il est aussi employé comme alourdissant dans les fluides ayant une faible viscosité parce qu'il ne sédimente pas facilement.

II .3.7/ Les colmatant :

II .3.7.1/ Colmatants granulaires :

De par leur forme anguleuse et leur répartition granulométrique, ils agissent en bloquant en profondeur les fissures. Ils ont une grande résistance mécanique aux pressions différentielles. On emploie des produits durs et calibrés. Citons :

Les coquilles de noix Les granulométries utilisées sont les suivantes :

- produit brut tout venant,
- de 1,6 à 5 mm Gros,
- de 0,5 à 1,6 mm Moyen,
- de 0,16 à 1,6 mm Fin.

II .3.7.2/ Colmatants fibreux :

Leur but est de «tisser une trame» autour des colmatants granulaires. Ils ont une faible résistance mécanique à l'extension (rupture des fibres sous l'influence des pressions différentielles). Citons :
Les fibres de bois, de cannes à sucres, cellulosiques, le tissu.

II .3.7.3/ Colmatants lamellaires :

Ils forment un colmatage surtout superficiel. Ils sont en général utilisés pour parfaire le colmatage réalisé par les colmatants granulaires et fibreux. Citons :
la cellophane, le mica.

II .3.7.4/ Colmatants gonflants :

Ils permettent d'obtenir très vite un fluide à très haute viscosité. Citons, les gommages de GUAR, qui à l'aide d'un catalyseur, fournissent une gelée extrêmement visqueuse.

II .3.7.5/ Colmatants à prise :

Injectés liquides, ils deviennent au bout d'un certain temps rigides. Citons :
Le ciment, le ciment magnésien, le plâtre, les bouchons de baryte ou de bentonite.

II .4/ Composants indésirables ¹

Les composants indésirables les plus présents dans les fluides de forage sont les hydrocarbures, les métaux lourds, et les sels. Une brève description est donnée ci-dessous:

II .4.1/ Hydrocarbures :

Quand une formation traversée contient des hydrocarbures, le fluide de forage se trouve contaminé par l'huile de la formation. L'huile de certaines formations est un composant indésirable car il contamine les déblais.

¹ Khadja Mohamed « les fluides de forage » ; institue national polytechnique de Toulouse ;2008 ; P96.

II .4.2/ Métaux lourds :

Les métaux lourds peuvent se mélanger avec les fluides de forage selon deux cas :

- Les formations forées contiennent l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le plomb et le mercure.

- Les additifs des fluides de forage contiennent du baryum qui vient des agents alourdissant de la baryte et du chrome qui vient des défloculants chrome-lignosulfonate. baryte minéral, utilisée pour le contrôle de la densité, peut avoir de grandes quantités naturelles de cadmium et de mercure.

II .4.3/ Sels :

- La concentration des sels, comme le chlorure de sodium ou de potassium dans les fluides de forage peut aussi considérablement augmenter, spécialement quand les puits forés traversent des dômes de sel ou des formations ayant de l'eau très salée.

II .5/ Types des fluides de forage (Composition des boues)¹ :

-En plus de l'eau et du gasoil utilisé comme phase contenue ou émulsionnée, un très grand nombre de produits entrent dans la fabrication et le traitement des fluides de forage dont certains ont un rôle spécifique et d'autres ont des actions multiples.

-Ces produits sont classés par familles.

-Les boues de forage peuvent être divisées en deux groupes :

- Les boues dont la phase continue est l'eau.
- Les boues dont la Phase continue est l'huile.

II .5.1/ Les boues dont la phase continue est l'eau

-Ces boues sont constituées par trois groupes d'éléments distincts :

¹ Manuel Pratique Des Fluides De Forage :OP CIT ;p138.

- L'eau qui est la phase la plus importante en volume et qui peut contenir de l'huile émulsifiée, en émulsion du type huile dans l'eau et des produits chimiques solubles.
- Les argiles ajoutées volontairement ou en provenance des formations forées. Les colloïdes organiques, les produits solubles mais à sursaturation..
- Les solides inertes : sables, calcaires, dolomies, barytine, etc...insensibles à l'action chimique.

II .5.1.1/ L'eau de fabrication

L'eau de fabrication peut être de l'eau douce contenant peu ou pas de sels de sodium, calcium, magnésium et autres. Plus l'eau contiendra d'ions calcium et d'ions magnésium et plus l'eau sera dite " dure ".

Une eau dure diminue le rendement des argiles et des produits chimiques. L'addition de 1 à 2 kg de soude caustique ou de carbonate de soude par m³ d'eau permet de " l'adoucir " par précipitation du calcium et du magnésien.

L'eau de fabrication peut être aussi plus ou moins salée : de 7 à 35 g/l. Il n'est pas possible de diminuer la salinité d'une eau autrement que par dilution à l'aide d'eau douce. Il est cependant facile de fabriquer des boues à l'aide d'eau salée, mais avec un prix de revient en produits plus élevé.

L'eau de fabrication peut être aussi de l'eau salée saturée au Na Cl. Lorsque la saturation est obtenue la salinité de l'eau est comprise entre 315 et 318 g de Na Cl/L de saumure et la densité avoisine 1,20.

On peut ajouter de l'huile et former une émulsion du type huile dans l'eau.

La phase aqueuse peut contenir aussi des produits chimiques ajoutés pour traiter la boue.

II .5.1.2/ Les argiles¹

Les argiles sont employées dans les boues à base d'eau pour donner de la viscosité et pour réduire le filtrat.

¹ C.GARCIA et P.PARIGOT ;OP CIT ;p121.

Chapitre II : boues de forage

Mise en suspension dans l'eau, l'argile gonfle en absorbant de grandes quantités de liquide, il en résulte une viscosité du mélange plus ou moins élevée suivant la qualité de l'argile et la composition électrolytique de l'eau.

Les argiles les plus couramment employées sont du type MONTMORILLONITE (de Montmorillon dans la Vienne) et sont plus connues des foreurs sous le nom de Bentonites (de FORT BENTON, Wyoming). Ces argiles sont extraites de gisement et subissent un traitement d'activation en usine.

Pendant le forage, l'outil traverse des formations argileuses d'épaisseur variable et, suivant le type de boue employé les "cuttings" se dispersent et gonflent en augmentant dangereusement la viscosité de la boue. De ce point de vue, l'argile est un contaminant que l'on combat par un certain nombre de moyens : additions de produits fluidifiants, et d'inhibiteur de gonflement. Ajout d'eau, centrifugation, etc...

Toutefois, les bentonites commerciales gonflent peu ou pas en milieu salé et il faut employer dans ce cas, pour augmenter la viscosité. Des argiles spéciales, appelé attapulgites (de Attapulgus en Géorgie USA).

II .5.1.3/ Les solides inertes

Il sont constitués généralement par tout ce qui est insoluble dans l'eau et qui par conséquent, ne réagit pas. Ils n'agissent que par "effet de masse". Ainsi le sulfate de Baryum ($Ba\ So_4$) ou Barytine, plus connu des foreurs sous le nom impropre de Baryte, est employé pour augmenter la densité. Parallèlement, la viscosité augmentera mais simplement parce qu'il faut de très grandes quantités de Barytine pour augmenter la densité d'une boue. Le sable, les calcaires, les dolomies ; etc... "chargent" la boue mais sont chimiquement inertes.

II .5.2/ Les boues dont la phase continue est l'huile¹

-On distingue les boues à l'huile contenant 5 à 15 % d'eau au maximum et les boues à émulsion inverse pouvant contenir jusqu'à plus de 50% d'eau. Pour ces deux types de boues, l'émulsion formée est toujours du type eau dans l'huile.

Tout comme les boues à base d'eau, les boues à base d'huile sont constituées par trois groupes d'éléments distincts :

- L'huile qui peut-être une huile raffinée ou du brut et l'eau d'émulsion qui peut-être douce, salée ou salée saturée.
- Les savons et argiles organophiles qui confèrent de la viscosité, du corps à la boue et qui réduisent le filtrat.
- Les produits inertes : argiles (les argiles sont généralement oléophobes), barytine, carbonate de calcium, sables, dolomies, etc..

Plusieurs classifications des types de boue peuvent être adoptées. Il est cependant habituel de présenter les boues en fonction de la phase continue. Nous allons donc rencontrer :

- Fluide ou boue à base d'eau (Water Based Mud),
- Fluide ou boue à base d'huile (Oil Based Mud).

II .5.2.1/ Boues à base d'eau:

-Sont des boues dont la phase continue est l'eau, éventuellement chargée en NaCl.Elles sont généralement utilisées pour forer les sections supérieures d'un puits. Pendant le forage, les matériaux des formations traversés s'incorporent dans la boue et peuvent ainsi changer sa composition et ses propriétés. Elles se présentent essentiellement comme suit :

-Les boues douces dont la teneur en NaCl ne dépasse pas quelques g/l. Ces boues douces (bentonitiques) sont principalement constituées par une suspension colloïdale d'argiles, plus

¹ C.GARCIA et P.PARIGOT ;OP CIT ;p17.

précisément de la bentonite sodique dans l'eau. La concentration en bentonite varie généralement de 30 à 70 kg/m selon le rendement de la bentonite et les caractéristiques de la boue désirées. Cependant, occasionnellement, des traitements supplémentaires pourront être faits avec des phosphates.

- Les boues salées dont la teneur en NaCl peut être comprise entre quelques dizaines de g/l et la saturation. Ces boues sont utilisées pour la traversée des zones salifères pour éviter le cavage et elles sont constituées d'eau, de sel (généralement NaCl), de colloïdes minéraux (attapulgitite ou sépiolite), de colloïdes organiques (amidon), d'un fluidifiant minéral ou organique (chaux, soude).

II .5.2.2/ Boues à base d'huile

La phase de ces fluides est une huile minérale (pétrole brut, gaz oïl, etc.) et la phase dispersée (discontinue) est de l'eau, dont la proportion peut atteindre 50% ou plus en un volume.

Tout en gardant l'avantage d'une phase externe contenant plus de 50% d'eau sont appelés boue de forage à émulsion inverse et au-dessous on a des boues à huile.

II .6/ INTERACTIONS PHYSIQUES OU CONTAMINATION PHYSIQUE DE LA BOUE¹ :

- Teneur en solides inertes élevée.
- Teneur en solides colloïdaux élevée.
- Formation gonflante et / ou fluante.
- Forte pression (venue d'eau, gaz, huile).
- Faible pression (perte de circulation).

¹ Vedat Batu « Aquifer hydraulics » ; édition Wiley interscience ; USA ;1998 ; P233.

II .7/ INTERACTIONS CHIMIQUES OU CONTAMINATION CHIMIQUE DE LA BOUE¹ :

- Gypse et anhydrite.
- Ciment.
- Chlorures.
- Sulfures.
- Venue d'eau, de gaz ou d'huile.
- Température élevée.

II .8/ Contaminations²

L'équilibre réalisé entre d'une part, le filtrat du fluide de forage et, d'autre part, l'argile dispersée dans la boue et celle des parois, peut être perturbé par des contaminants rencontrés dans le puits soit :

- sous forme gazeuse (CO_2 - H_2S),
- soit sous forme solide (Ca SO_4 - Na Cl - Ciment),
- soit en solution (eau chlorurée calcique).

II .8.1/ Anhydrite – Gypse (Ca SO_4)

La contamination résulte ici de l'apport d'ion sulfate, surtout gênant pour les caractéristiques rhéologiques, et d'ion calcium. Ce dernier est beaucoup plus nocif puisqu'en excès il peut rendre instable les colloïdes organiques et déplacer l'équilibre échange de cation dans l'argile. Filtrat et rhéologie seront donc ainsi perturbés.

Cette contamination par le calcium va être traitée par :

¹ Robert Lauga « Pratique de forage d'eau » ; édition seesan ; Paris ;1990 ; P153.

² Robert Lauga OP CIT ; P190.

- ajout de produit précipitant le calcium (principalement des carbonates),
- diminution de la solubilité du Ca^{++} (en augmentant le pH),
- ajout de colloïdes qui vont protéger l'argile par maintien dans le filtrat et dans la boue d'un équilibre ionique,
- conversion en boue calcique.

N.B. : Les boues salées saturées, ou l'argile, sont par définition sous forme essentiellement sodique, restent insensibles aux variations de calcium soluble puisque celui-ci est presque toujours en quantité négligeable par rapport au sodium.

II .8.2/ Sel (Na Cl)

Le sel peut se présenter sous la forme soit d'inclusions dans les argiles, soit de venues d'eau salée, soit de bancs plus ou moins massifs. Dans ce dernier cas, le maintien d'une géométrie correcte des parois impose la conversion en boue salée saturée, même si la boue semble pouvoir résister facilement à la contamination.

Le cavage est finalement plus dangereux dans de fines intercalations de sel et argile par exemple, que dans un banc massif de sel, où la saturation du fluide de forage provoquera plus rarement des éboulements.

Dans le cas de faibles contaminations, il n'existe aucun procédé pratique et économique de diminution de la teneur en chlorures, excepté bien entendu la dilution à l'eau douce. Par ailleurs, il n'est pas possible de fixer une limite précise de résistance au Na Cl pour chaque type de boue puisque celle-ci va dépendre essentiellement de la concentration et de la résistivité des argiles présentes dans la boue. Le seul traitement réellement efficace, consistera à transformer notre fluide en fluides salés saturés.

II .8.38 Ciment

-Le reforage de ciment mis en place pour un tubage, des pertes, un "side track", etc se traduit par l'apport de chaux contenue dans le ciment au moment de la prise (20 % pour le classe G).

-Cette chaux peut être neutralisée par ajout de bicarbonate de soude à des doses de 400 kg/m³ de ciment à refoyer. L'ajout se fait directement au mixer, ou en solution dans la boue.

-Dans le cas de ciment dur, l'utilisation des dessableurs ou desilteurs permettra d'éliminer une part importante de particules de ciment qui, sans cela, sous l'effet du rebroyage auraient peu à peu relargué leur chaux et augmenté ainsi la durée et l'importance de la contamination.

II .8.4/ Gaz carbonique (CO₂)

-Le CO₂ se rencontre quelquefois seul, mais le plus souvent associé à de l'eau, telle l'eau chlorurée calcique d'Hassi Messaoud. Après dégazage de la boue par passage dans un dégazeur ou brassage et repos dans un bassin, l'alcalinité détruite doit être rétablie par traitement à la soude ou à la chaux suivant le type de boue, y compris les boues à émulsion inverse.

II .8.5/ Hydrogène sulfuré (H₂S)

-Cette contamination extrêmement dangereuse pour l'homme se traite, en principe, par ajout de soude et de produit spécifique à base de zinc qui vont précipiter le soufre. Une attention particulière sera portée à ce genre de contamination compte tenu de sa dangerosité.

II .8.6/ Eau

-Une venue d'eau douce n'est un contaminant au sens strict que pour les boues émulsionnées inverses. Le seul traitement consiste à ramener le rapport eau/huile à la valeur prescrite par ajout d'huile en maintenant constante la teneur en émulsifiants.

-Les venues d'eau salées (Na Cl) équivalentes à une contamination par le sel se traitent comme telles. Il faut noter que, dans le cas de gisement à faible perméabilité, il peut y avoir contamination par osmose sans débit réel d'eau ni augmentation du volume.

-Plus complexes sont les contaminations par l'eau chlorurée calcique (Ca Cl₂) du Sahara car celle-ci contient en plus du CO₂ ; en boue salée saturée c'est ce dernier qui est tout compte fait le plus gênant et doit être traité d'abord.

-En boue à l'huile ou inverse, une telle venue est donc particulièrement dangereuse, puisqu'elle entraîne à la fois une augmentation néfaste du rapport eau/huile et une dégradation par le CO₂ des émulsifiants alcalins.

II .8.7/ Huile

-Une venue de brut de la formation ou, ce qui revient au même, un ajout volontaire de gas-oil, va entraîner dans une boue à l'eau une augmentation de la viscosité plastique et souvent une chute du filtrat. En général une émulsion de ce type «huile dans eau» se stabilise spontanément grâce à la présence dans la boue de produits favorisant cette émulsion : bentonite, C.M.C.

Chapitre III géologie

INTRODUCTION :

Notre secteur d'étude se situe dans la région d'Ain TEMOUCHENT il appartient au domaine tellien qui est caractérisé par une succession de nappes de charriage .Dont les racines se situaient à l'emplacement de la méditerranée actuelle.

Après la mise en place des nappes de charriage, une alternance de transgressions et de régressions marines devant engendrer une série de dépôts marins et continentaux d'âge Miocène à Quaternaire.

-L'activité volcanique est apparue après la mise en place des nappes datée du Mio – Plio – Quaternaire.

-Les déjections volcaniques du massif d'Ain TEMOUCHENT sont uniformément répandues dans la partie centrale du plateau néogène qui limite à l'ouest la plaine d'effondrement de la Sebkha d'Oran.

-Les bassins versant de L'OUED SENNANE et l'OUED SOUF et tell appartiennent au plateau d'Ain TEMOUCHENT ; terrasses Néogène et Quaternaire faiblement inclinés vers la mer entre lesquelles percent des îlots secondaires, donnant naissance à des accidents sur une topographie généralement calme.

Le long de sa bordure septentrionale, le plateau d'Ain Témouchent est bordé par une ligne de reliefs côtiers secondaires découpés en plusieurs pointements , séparés les uns des autres par des étendues variables de formation néogène.

III.1/ HISTORIQUE DES RECHERCHES¹ :

Les anciennes recherche géologique avaient pour but essentiel l'intérêt économique qui aboutit a un inventaire assez complet des gites minéraux (villes 1852 et 1857). En 1903 L.Gentil décrit deux formation miocènes représentées par les deux cycles du Miocène post-Nappe dans le tell oranais. A partir de 1915 (M.Dalloni) fournit un important travail de cartographie et décrit des formations néotectonique a l'échelle régionale.

-Une nouvelle phase de recherche dirigées pas les pétroliers conduit a la rédaction de la remarquable synthèse de A.Perrodon (1957) qui intègre les données de nombreux forages et les résultat de la géophysique .En 1958 G.Sadran publie ses études concernant les formation volcanique tertiaire et Quaternaires du tell oranais , tandis que M.Mattauer généraliste dans l'Ouarsenis admet la notion des nappes suivit par les recherches de J.Polvèche 1960 plus a l'ouest.

-Après l'indépendance, la démarche se poursuit par les travaux de C.Addadi , J.Delteil et J.Magué (1968).

-Les années soixante-dix caractérisent l'apparition des travaux menues par B.Fenet (1972-1973,1975-1976) ainsi que celle de P.Guardia, aboutissant a la rédaction d'une notice explicative de la carte géologique de notre région d'étude et a la thèse de P.Guardia (1975) intitulée « géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranis Nord-occidental » notre base de travail.

-Les travaux les plus récents restent celles de P.Guardia et Megartsi (1982) et G.Thomas (1985) qui a présenté sa thèse sur le bassin du bas Chelif occidental durant le Moi-Plio-Quaternaire. M.L Hassani 1987 a donnée une synthèse de la nomenclature des termes utilisés dans le

¹ Mr OTSMANI Said ;these d'ingénieur d'état en géologie 'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE L4AQUIFERE DES BASALTES (MASSIF VOLCANIQUE D'AIN TEMOUCHENT) ;univ oran ;1999 ;p 73.

découpage du néogène d'Oranie pour terminer l'histoire des recherches Géologique dans le Tell.

III.2/ CADRE GEOLOGIQUE GENERALE : carte N 01

2.1/ Généralités sur la géologie de l'Afrique du Nord :

L'Afrique du nord s'insère entre la Méditerranée et le craton africain, elle est subdivisée en trois parties :

III .2.1.1/ Le domaine Tello–Rifain :

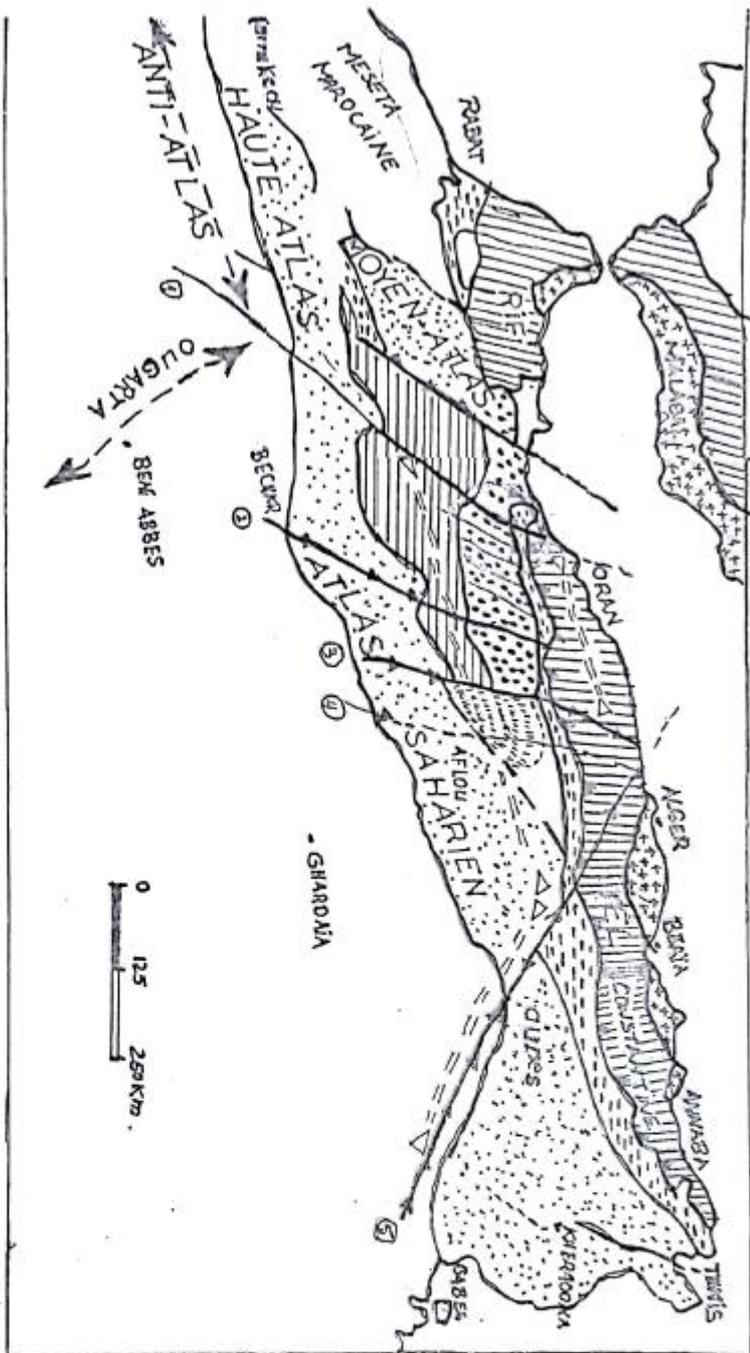
–Fait partie de la chaîne alpine s'arrachant à l'ouest au chaîne Bético–Baléares , au niveau de l'arc de Gibraltar et à l'Est au système Sicilo–Calabrais.

III .2.1.2/ Le domaine Atlasique :

–Avant paye tellien de la chaîne alpine, se bordant au nord dans sa parties centrale par l'ensemble de la méséta Oranaise et le domaine Tlemcenien.

III .2.1.3/ Le domaine Saharien :

Il s'agit d'une zone stable et faisant partie de la plaque Africaine.



Carte N° 01 LES GRANDS TRAIS DE LA MOSAÏQUE

DE L'AFRIQUE DU (NW)

(d'après S.ELMI 1977)

LEGENDE

-  Domaine "Alpines"
-  Noyaux Rif-Kabyles
-  Avant fosse Miocène
-  Domaine Timgad
-  Nador : rides préféralines
-  plaine Oranaise
-  Domaine Atlasique
-  Front des Nappes
-  Grands Accidents
-  Transversales

-  Axes actuels de subsidence
- 1- Transversale de la Tafna.
- 2- Transversale d'Ain Sefra.
- 3- Transversale de Tiaret.
- 4- Transversale de Téniet-el-Hadad
- 5- Cicatrice Aures-Hodna.

III.3/ CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE DE LA REGION ETUDIEE¹ :

L'histoire géologique de la région d'Ain Témouchent, peut être présentée rapidement par les événements successifs suivants :

A/ En discordance sur les reliefs primaires mésozoïque, on assiste à une transgression marine au Miocène, dans un vaste bassin de sédimentations situé approximativement entre Ain Témouchent et les Monts de Tlemcen.

-Cette avant fosse dite « Synchro-Nappes » a été le siège d'accumulation d'épaisses séries marno-gréseuses au Miocène, tandis que se déversaient vers elles une succession de nappes de charriage dont « racines » (géosynclinal) se situaient à l'emplacement de la Méditerranée actuelle. Les déplacements tangentiels, étaient dirigés Nord-Sud.

B/ Les unités charriées se sont mises en place au cours des deux phases tectonique paroxysmales, l'une Intratellieme l'autre Miocène. Ces formations constituent un matériel déplacé « allochtone » qui surmonte le substratum constituant l'autochtone de la région d'Ain Témouchent.

-L'allochtone charrié est composé des unités suivant :

B.1/ Allochtone métamorphique à affinité rifaine :

-On le trouve en bordure du littoral ou il comprend :

- L'unité de Haouriya (cap Oulhassa).
- L'unité des massifs d'El Malah.

B.2/ Allochtone non métamorphique à affinité tellienne :

-Il est mis en place dans la région d'Aghlal – Oued Berkeche et comprend :

- L'unité chouala.
- L'unité Sénonienne.

¹ Mr OTSMANI Said ;OP CIT ;P76

- L'unité Oligo - Miocène.

-Nous ne ferons que citer pour mémoire l'unité Numidienne peu développée dans la région et le « complexe triasique », ensemble chaotique de terrains sédimentaires et éruptifs, toujours en contact anormal avec les terrains antérieurs au Miocène post-Nappe accompagné d'une activité volcanique de l'Oranie avec l'apparition du massif volcanique d'Ain Témouchent .

C/ Après la mise en place des nappes, des alternances de transgression et régression marines se sont traduites par le dépôts de formation marine ou continentales depuis le Miocène jusqu'au Quaternaire c'est au cours de cet épisode post-Nappe qui est apparue l'activité volcanique de l'Oranie et que s'est constitué le massif volcanique d'Ain Témouchent.

III.4/ VOLCANISMES : CARTE N :02

-D'après G.Sadran 1958 et P.Guardia 1980, un volcanisme basaltique alcalin s'est manifesté durant le Pléistocène dans la région d'Ain Témouchent et dans la basse Tafna.

-Dans la région d'Ain Témouchent la phase volcanique principale a été rapporté au Quaternaire (-5 M.A).

-Ces coulées ont un substratum Miocène supérieur ou villafranchien (oued El Hallouf).

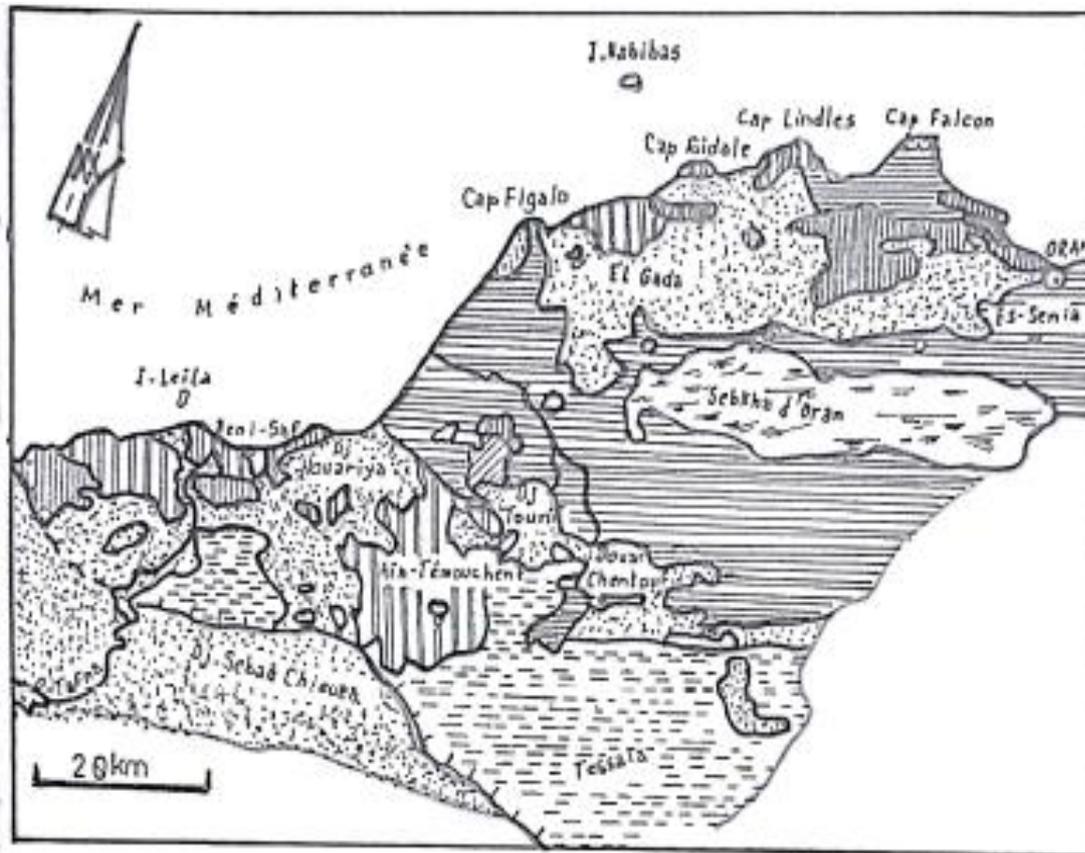
III.4.1/ Localisation :

-Les déjections volcaniques du massif d'Ain Témouchent sont uniformément répandues dans la partie centrale du plateau néogène qui limite à l'Ouest la plaine d'effondrement de la sebkha d'Oran.

-Elles sont adossées au Sud, aux premiers contreforts occidentaux de la chaîne du Tessala et à la terminaison orientale du massif de Sebaa Chioukh.

-A l'ouest, elle sont séparées du massif volcanique de la basse Tafna (pointements secondaire de Cap Oulhassa et de la zone minière de Sidi Safi).

-Au nord, elles parviennent au pied des massifs secondaires du Dj Sidi Kacem et d'El Melah.



Carte N°02 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE
DU MASSIF VOLCANIQUE D'AIN TÉOUCHENT (in MÉGARTS, 1985)

ALLOCHTONE

-  unités de type rifain.
-  unités telliennes.
-  unités numidiennes.
-  front des nappes.

AUTOCHTONE

-  plio-quaternaire
-  miocène : bassin synchrone de 1^{er} et 2^{ème} cycle post nappe.
-  secondaire.
-  volcanisme néogène

III.4.2/ Aperçu géographique :

Malgré une destruction intense par les agents d'érosion. le massif d'Ain Témouchent avec le massif de tifaraouine, conserve nettement les caractères morphologique d'un pays volcanique.

Les cratères : carte N =03

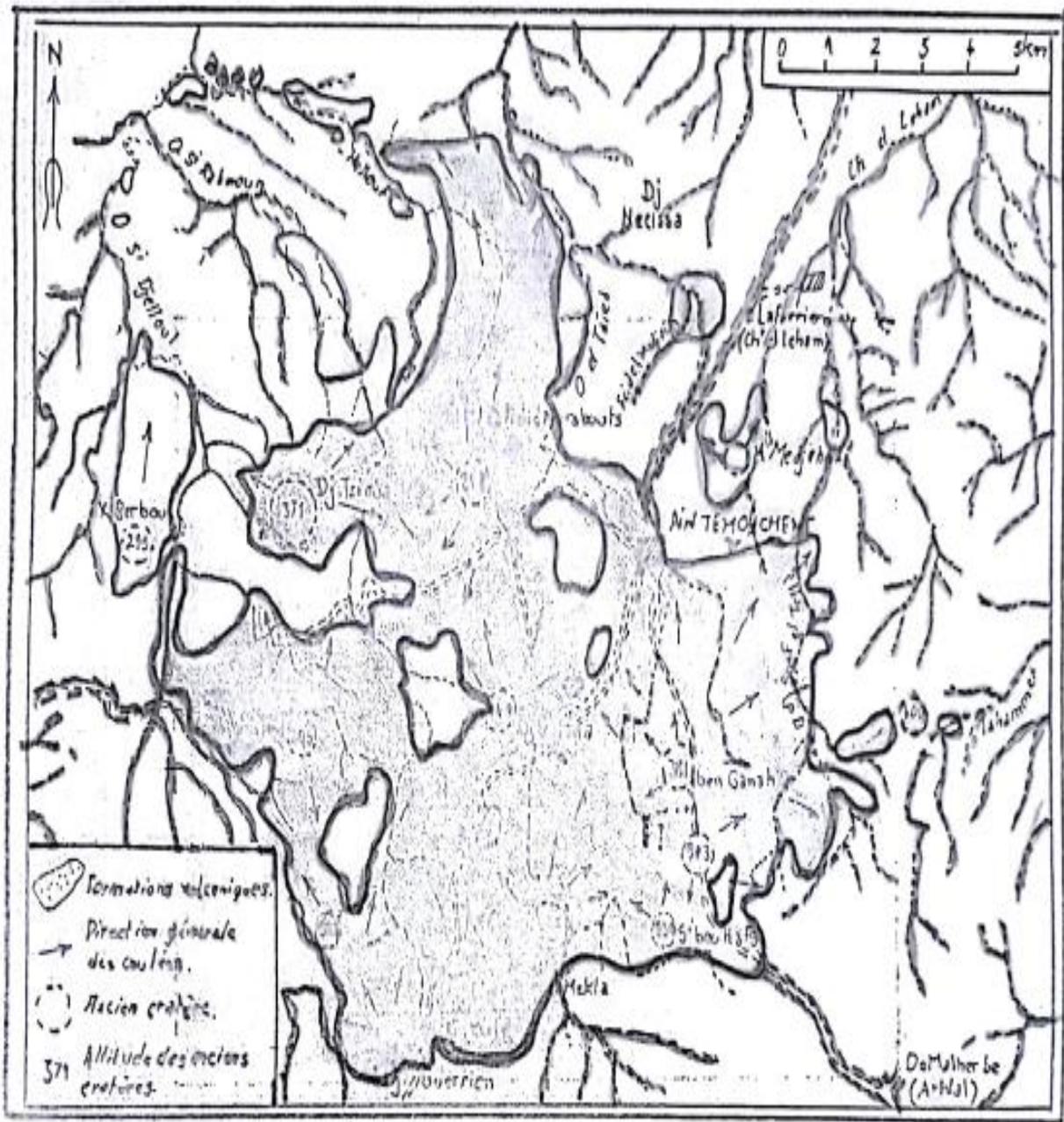
-Les principales bouches d'émission restent encore apparentes et donnent naissance à des cuvettes marécageuses dénommées « dayas ».

-Les mieux à caractérisées sont les dayas du Dj Tzioua , Sidi Ben Adda , de Ben Gana et daya El Medjehari à 2 KM au Nord – Est D'Ain Témouchent .

-Les reliefs volcaniques dominant actuellement de 100 à 150 m d'altitude.

-Les principaux appareils de ce massif sont les suivants :

- le volcan de Koudiat Berbous : 299 m.
- le volcan de Dj Tzioua : 371 m.
- le volcan de Sidi Ben Adda : 304 m.
- le volcan de Bled Medjehari : 231 m.
- le volcan de Ain El Tolba : 385 m.
- le volcan de Dj Dokma : 448 m.
- le volcan de Ben Ganna : 381 m.
- le volcan de Dj Hafsa : 522 m.
- le volcan Dayet El chami : 468 m.
- le volcan de Ouled Khalfâ : 503 m.
- le volcan de Dj Guréen : 585 m.
- le volcan de Hammar El Mekla : 591 m.
- le volcan de Sidi Bou Hafs : 530 m.



Carte N° 03 RÉPARTITION DES FORMATIONS
VOLCANIQUES DU MASSIF D'AIN TEMOUCHENT,
D'après (SADRAN 1958)

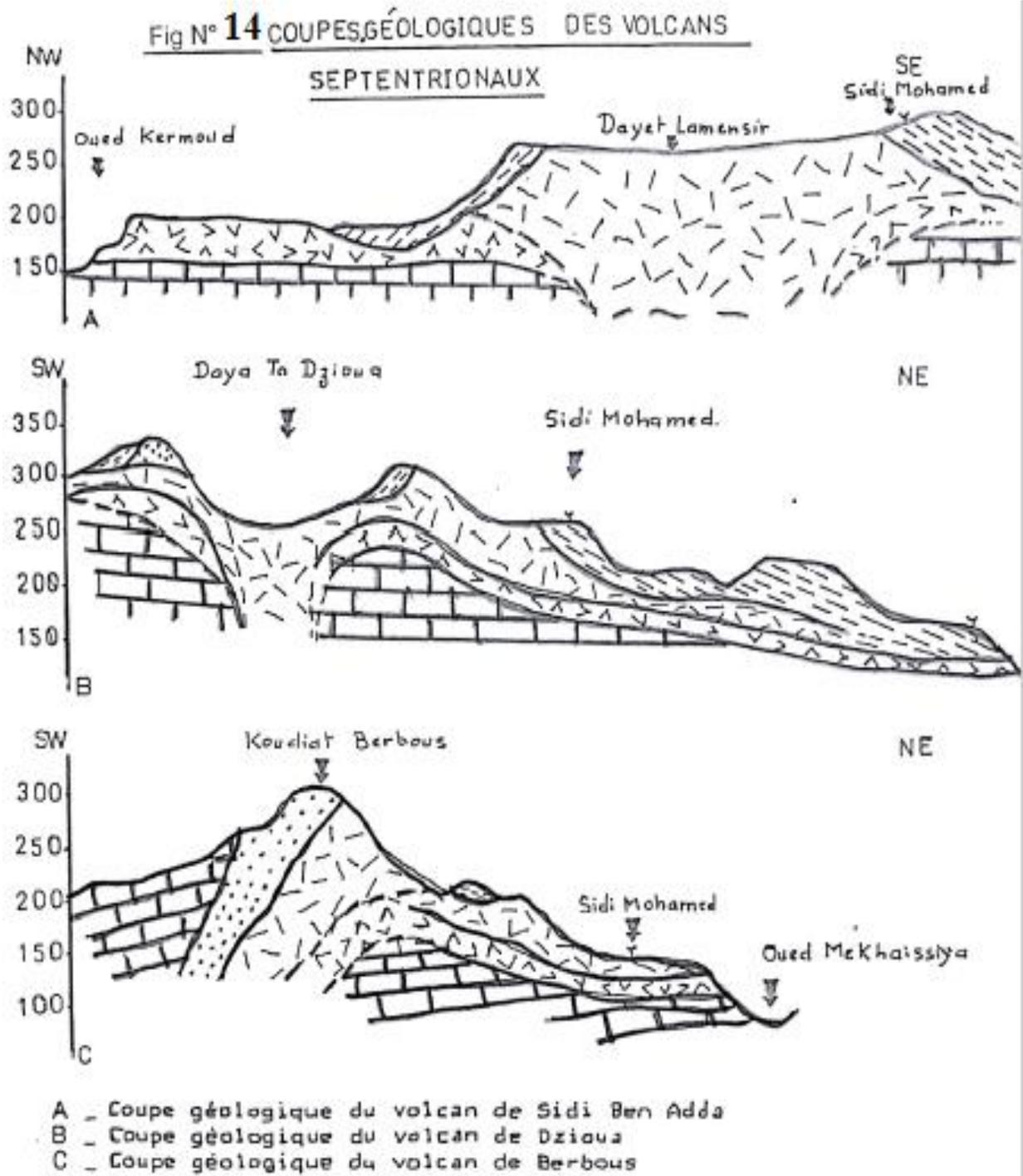
III .4.3/ Description des différentes formations volcaniques¹ :

-Les formations volcaniques d'Ain Témouchent sont caractérisées par trois types de roches : les coulées, les tuffés et les brèches.

III .4.3.1/ Les Coulés : CARTE N 04

Elles occupent de vastes étendues de très faible pente, généralement elles constituent des plateaux légèrement inclinés vers la mer. Elles sont massives, rarement prismatique de couleur sombre quand elles affleurent. Les écoulements sont dirigés en générale du sud vers le Nord, en raison de leur fluidité, et son accumulés dans les thalwegs des topographies ancien ; en donnant de grandes ' coulées de vallées ' . Les laves de nature basaltique présente des cristaux d'olivine, avec de gros cristaux d'augite, on note parfois la présence d'enclaves, avec l'absence de feldspaths.

¹ Mr OTSMANI Said ;OP CIT ;P97.



- | | | | |
|--|---------------------------------|--|------------|
| | Coulée basaltique supérieure. | | Brèches. |
| | Coulée basaltique inférieure. | | Calcaires. |
| | Formation volcano-sédimentaire. | | |

-Les composition minéralogique ainsi définies correspondent aux laves du massif d'Ain Témouchent et en particulier, les roches émises par les principaux appareils (Koudiat Berbous , Djebel Tzioua , Ben Guena, ext).

III .4.3.2/ **Les tufs** :

-Les cendres et les lapillis ont donnés lieux à d'épaisses formations de tufs volcano - sédimentaires d'aspect lithologique très variés.

-L'apport sédimentaire est représenté par des fragments de grés et de calcaires Mésinien et l'apport igné par des élément vitreux et vacuolaires des roches basaltique, le tout est cimenté par la calcite.

-Les tuffs renforment des cristaux d'olivine, Augite, Hornblende, brune et spinelle.

III .4.4/ **Composition chimique des roches** :

-Les roches basaltiques du massif volcanique d'Ain Témouchent présentent plusieurs types pétrographique (basaltes, cendres ,lapillis , enclaves).

A.LACROIX (1927) pour l'ensemble de L'Afrique du Nord, il place les roches du massif d'Ain Témouchent dans un ensemble beaucoup plus alcalins, pour lequel la teneur en potasse se maintient en dessous de la normale.

-Les projections vitreuses ont conservés les traits marquant du magma original ou la teneur en Na_2O est élevée.

CONCLUSION :

L'histoire géologique de la région d'Ain Témouchent est passée par plusieurs évènements qu'on peut synthétiser comme suit :

-Au cours du Miocène moyen, on assiste a une transgression marine d'un vaste bassin sédimentaire situé approximativement entre Ain Témouchent et les monts de Tlemcen (P.Guardia1975) , cet avant fosse qui présente un haut font émergé autour d'Ain Témouchent (B.Fenet 1969) , était lesiège d'accumulation d'une épaisse série de formations marno - gréseuses d'âge Miocène Synchro- nappe. Une succession de nappes de charriages constitués essentiellement par des dépôts marneux se déplacent tangentiellement du Nord vers l'Est, ensuite elles se superposent sur le Miocène sur une surface d'érosion troquant les formation du Jurassique de l'autochtone autour d'Ain Témouchent (B.Fenet 1968, P.Guardia 1975).

-Co temporairement avec la mise en place des nappes de charriages au Sud, les dépôts du premier cycle post- Nappe commencent à s'individualiser au Nord , en se déposant directement sur l'allochtone. L'ensemble a connu plusieurs phases tectonique mineurs avant la naissance du deuxième cycle post-nappe (G.Thomas 1985).

-Après cette démarche on assiste à une période relativement calme, elle n'est troublée que par la néotectonique et les manifestations volcaniques basaltiques du plio - Quaternaire caractérisant la région d'Ain Témouchent.

chapitre IV

INTRODUCTION :

Pour préciser les niveaux aquifères dans notre étude, nous nous sommes basés sur les données recueillies à partir des différents logs stratigraphiques des différents forages réalisés au niveau de la région .

-A l'aide des campagnes piézométrique au niveau des différents points d'eau (puits, forages et sources) au niveau de la région d'Ain Témouchent et on se basant sur une carte piézométrique on a l'échelle 1/50.000 on a déterminé les différents types de nappes.

Enfin, pour aboutir à l'identification des aquifères ; leur épaisseur et la variation du niveau du substratum imperméable, on s'est servi d'une étude géophysique faite au paravent.

IV.1/ IDENTIFICATION HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES :

Pour aborder cette étude, on s'est intéressé plus particulièrement à l'identification hydrogéologique des aquifères à leur propriétés hydrodynamiques et au potentiel du système aquifère basaltique du massif volcanique et les calcaires d'une Miocène d'Ain Témouchent .

- L'analyse litho stratigraphique des différentes formations a mis en évidence 3 types aquifères d'importance hydrogéologique inégale qui sont cités comme suit :

- Aquifère bicouche des basaltes du Plio-Quaternaire et des grès quartziteux (d'Ain Kihal) du l'Eocène supérieur au Sud.
- Aquifère des basaltes Plio-Quaternaire à substratum marneux au centre.
- Aquifère bicouche des basaltes de Mio-Plio-Quaternaire et des Calcaires du Messinien au Nord.

IV.1.1/ Substratum Imperméable :

-Il est représenté essentiellement de formation marneuse de l'unité de chouala.

IV.1.2/ Les aquifères :

-B.SOURSSEAU : a établi une carte schématique au 1/200 000 représentant les principaux nappes et le substratum imperméable qui peuvent exister dans la région.

IV.2/ Les coulées : FIG N°13

-Les coulées sont très généralement dirigées du sud vers le Nord, elles sont constituées de laves très fluides, qui sont largement répandues en vastes plateaux tout autour des cratères. Mais parfois sont accumulés dans les thalwegs de la topographie ancienne des oueds en donnant de grandes coulées de vallées d'une dizaine de kilomètres de distance.

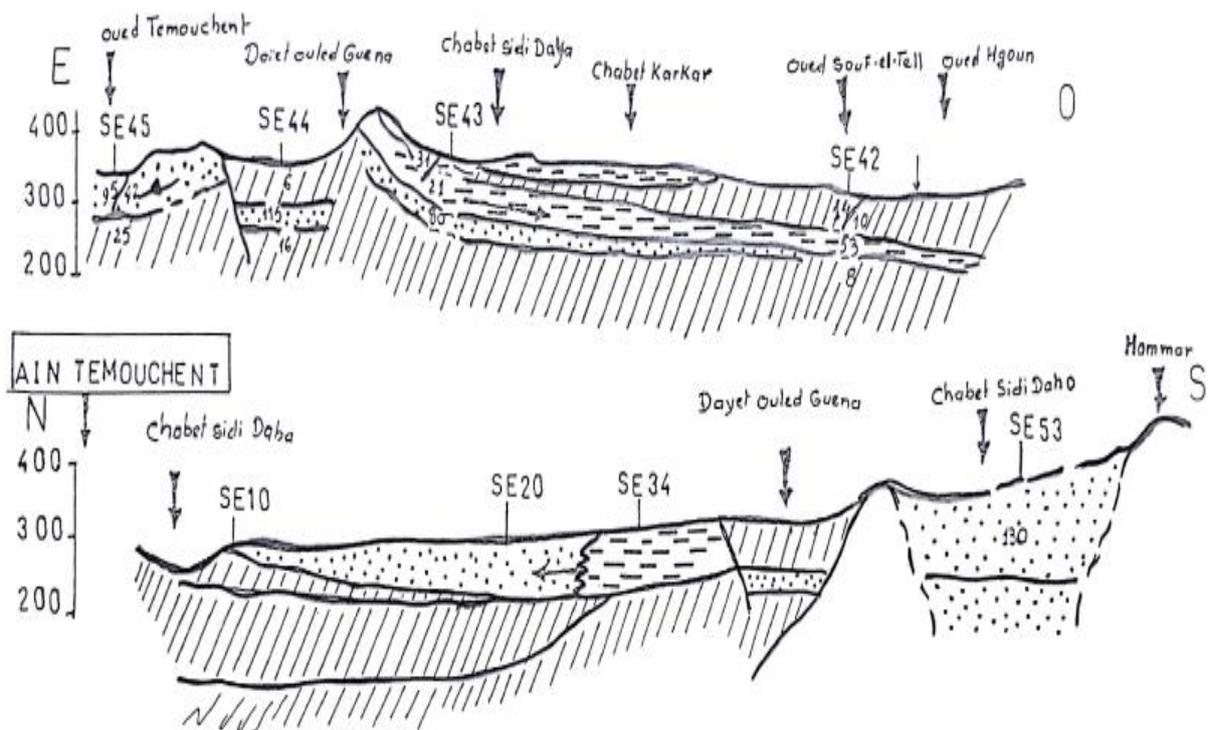
- Elles sont caractérisées par la présence d'un réseau de fissures très dense et d'orientation variable, nous citerons comme exemple :

CHAPITRE IV HYDROGEOLOGIE

-Les laves du volcan de Ben Guena avec orientation Nord 00° à Nord 18° et parfois Nord 80° à Nord 98°.

-A cet effet ce type de formations présente une perméabilité de fissures qu sont à l'origine de plusieurs émergences de sources le long des Oueds.

Fig N° 13 COUPES GÉOÉLECTRIQUES
À TRAVERS LE MASSIF VOLCANIQUE
D'AIN TEMOUCHENT



LEGENDE

-  Collée perméable aquifère.
-  Coullée d'intérêt moyen.
-  Coullée peu perméable conductrice sans intérêt.

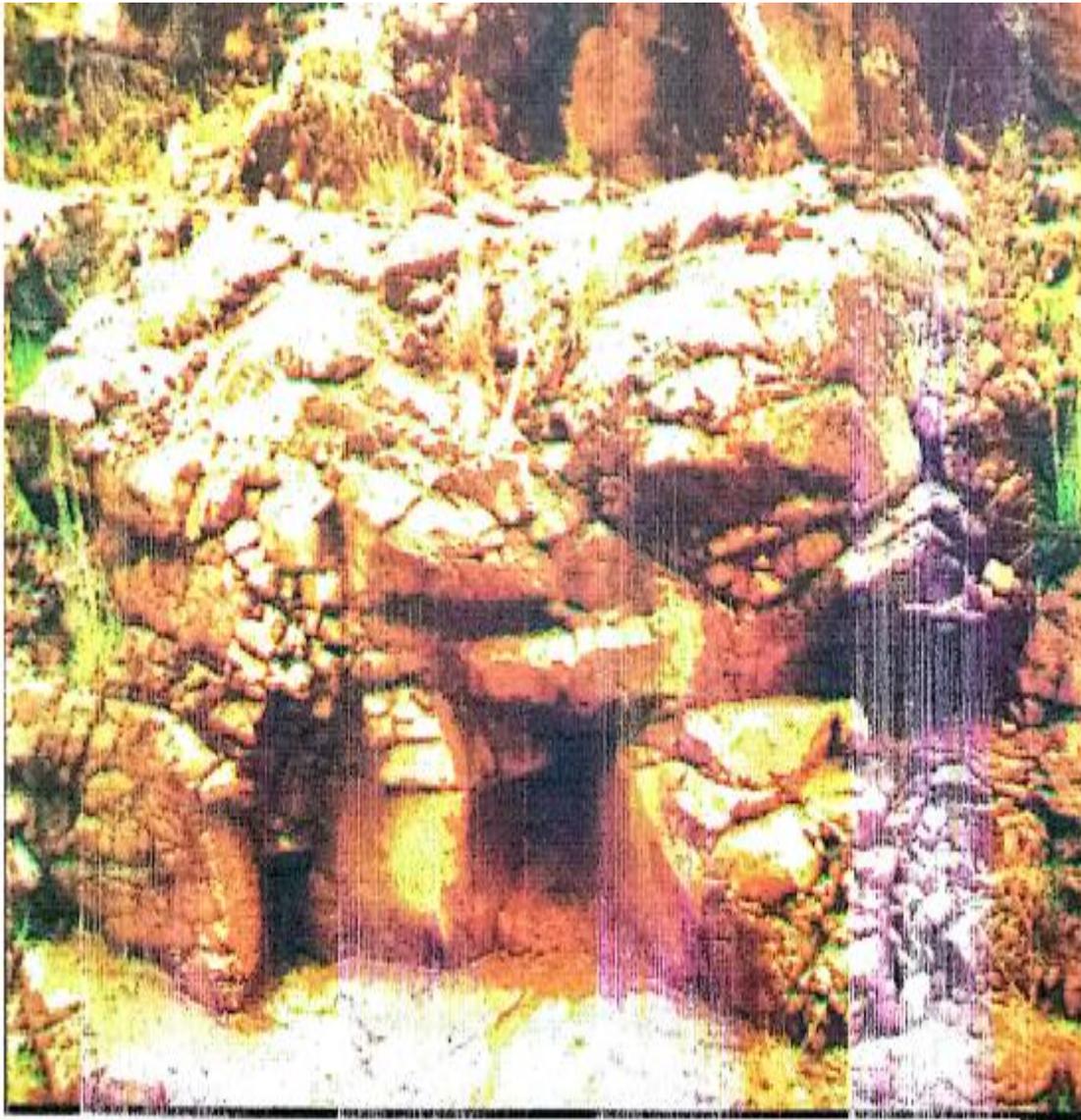


Figure n= 14

Basaltes fissurés du volcan

IV.3/ HYDODYNAMIQUE SOUTERRAINE :

Une batterie de forage pour L'AEP (Alimentation en Eau Potable) à été réalisé à travers la wilaya d'Ain Témouchent , parmi eus on a choisis deux forages, un réalisé dans la commune d'AGHLAL et l'autre dans la commune de OULHACA qui sont comme suit :

- Forage de Sidi Saada (AGHLAL) de coordonnées lamber ($x= 157.050$ y 216.100), situé à l'intérieur de la wilaya et réalisé pour alimenté un réservoir de capacité 500 m^3 .
- Forage de Sidi Aissa (OULHACA) de coordonnés lamber ($x= 117.550$ y $= 225.300$), situé a coté de la mer dans la région dite Zouanif réalisé pour alimenté un réservoir de capacité 1000 m^3 .

-Pour calculer les différents paramètres de l'hydrodynamique souterraine et tester la potentialité hydraulique de notre aquifère, pour cela nous avons utilisé la méthode d'approximation semi-logarithmique de JACOB et d'autre part le principe de superposition pour interpréter le phénomène de drainance.

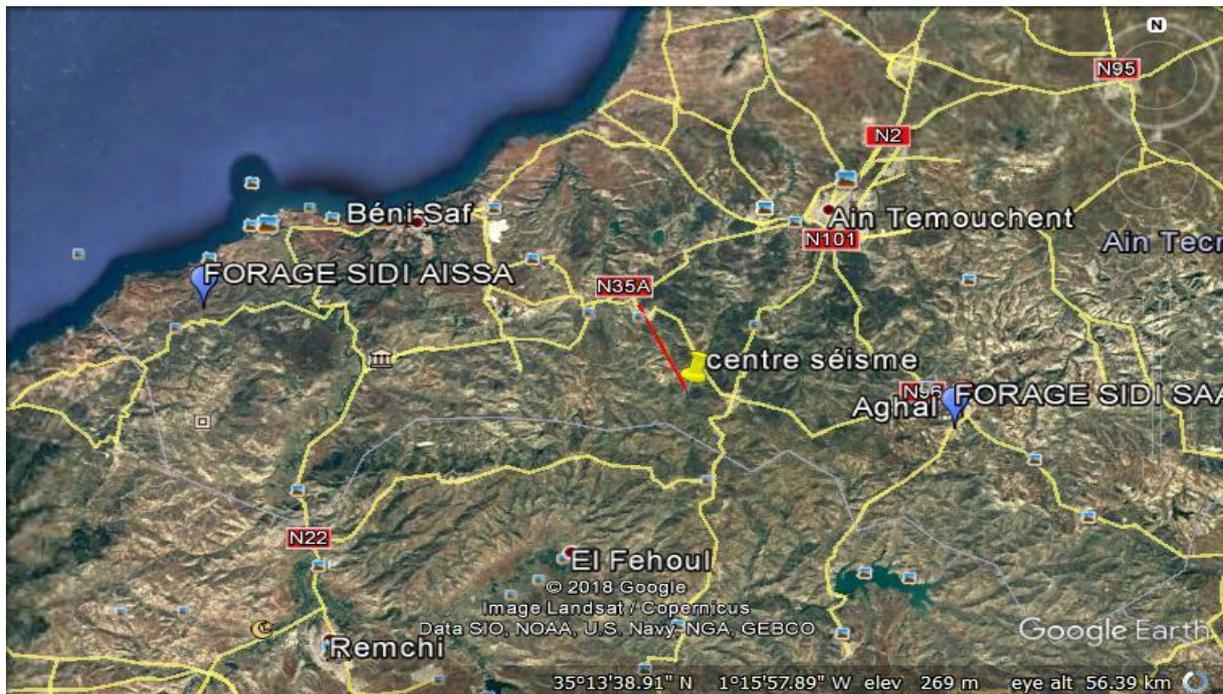


Figure N15 : position des deux forages au niveau de la wilaya d'AIN TEMOUCHENT



Figure N16 : capture satellitaire (position Du forage sidi AISSA)



Figure N17: capture satellitaire (position Du forage sidi SAADA)

IV.3.1/ Pompages d'Essais :

IV.3.1.1/ Forage de Sidi AISSA (Oulhaca)

- Forage de Sidi AISSA (Oulhaca) de profondeur 1061 m captée les formations de différents types de basalte avec quelque passage mélangé d'argile et de calcaire.

- Dans ce forage le niveau statique est de 147.05 m, après pompage à un débit constant de 22 l/s le niveau dynamique atteint 154.87 m pour cela un essai de pompage a été réalisé pour suivre le comportement hydrodynamique de la nappe de l'aquifère ce pompage a duré 72 H.



Cote	Tubage (m)	N.S (m)	coupe	description	Age
1				Terre végétale	
13				Roche volcanique basaltique altéré	
5				Argile beige tendre avec présence de basalte altéré	
19	TP			Roche volcanique basaltique avec présence du quartz	
42	TP			Argile rougeatre pateuse basaltique altéré	
51	TP			Roche volcanique	
3				Basalte rougeatre altéré argileuse	
5				Basalte noir avec présence de basalte altéré et argile grisatre fin	
2	TC	NS = 147,05		Basalte argileuse rougeatre pateuse	
9				Calcaire grise avec présence de calcite	
29		ND = 154,87		Basalte noir + basalte altéré avec présence d'argile rougeatre	
16				Basalte altéré	
29	TP			Basalte altéré avec présence d'argile rougeatre	
11	TC			Basalte altéré avec présence d'argile noir	
2	TP			Argile rougeatre pateuse avec trace de basalte	
4	TC			Argile beige avec présence de grés beige et trace de basalte noir	
18				Argile jaunatre pateuses avec des grés beige et trace basalte	
241	TP			Marne grise pateuse à induré	
47	Bouchon ciment.			Marne grise sombre noir induré avec trace de calcite	
63				Mélange calcaire-grés-marne schisteuse sombre et marne et marne gris sombre noir avec trace de calcite	
377				Intercalation de marne schisteuse gris sombre à noir et marne gris sombre noir induré feuilleté avec trace de calcite	
74				Dolomie noir schisteuse à marnouse avec présence de calcite	

Plio-Quaternaire

IV.3.1.1.1/ Pompage par palier et Essai de nappe :

But : Au cour d'un pompage d'essai, deux phénomènes parasites interviennent :

- Tout d'abord par débit de pompage une partie de l'eau vient du puits sans avoir transité dans l'aquifère elle est dite « l'effet de capacité de puits ».
- Ensuite, la réalisation technique du captage entraine des perturbations d'écoulement et crée des pertes de charge supplémentaire.

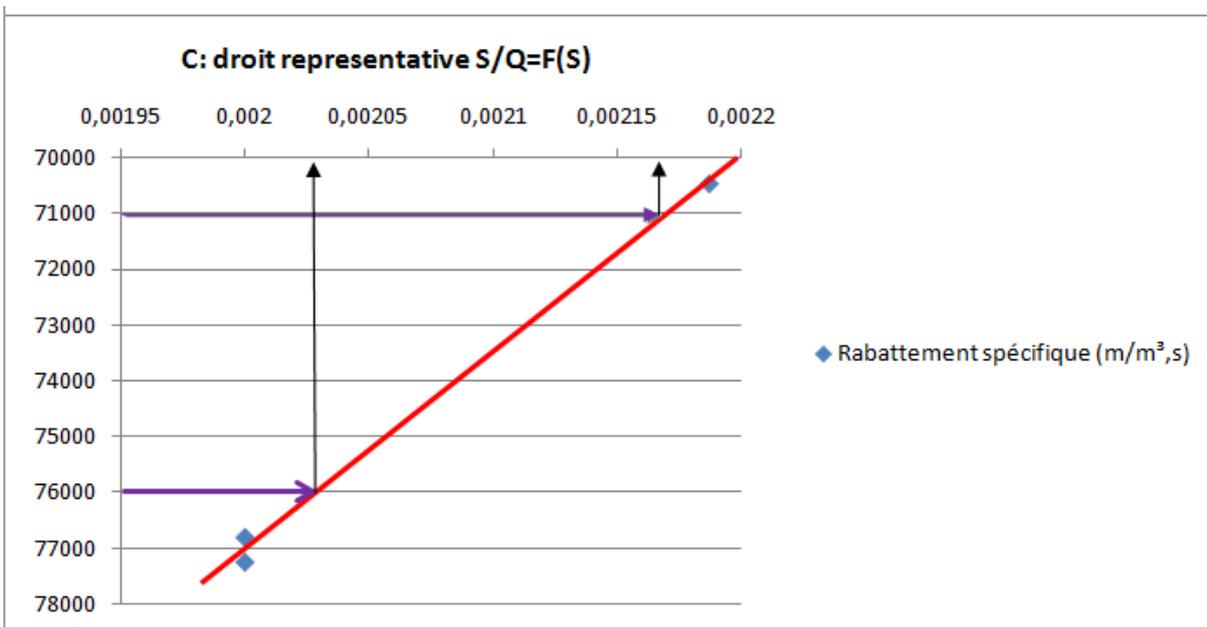
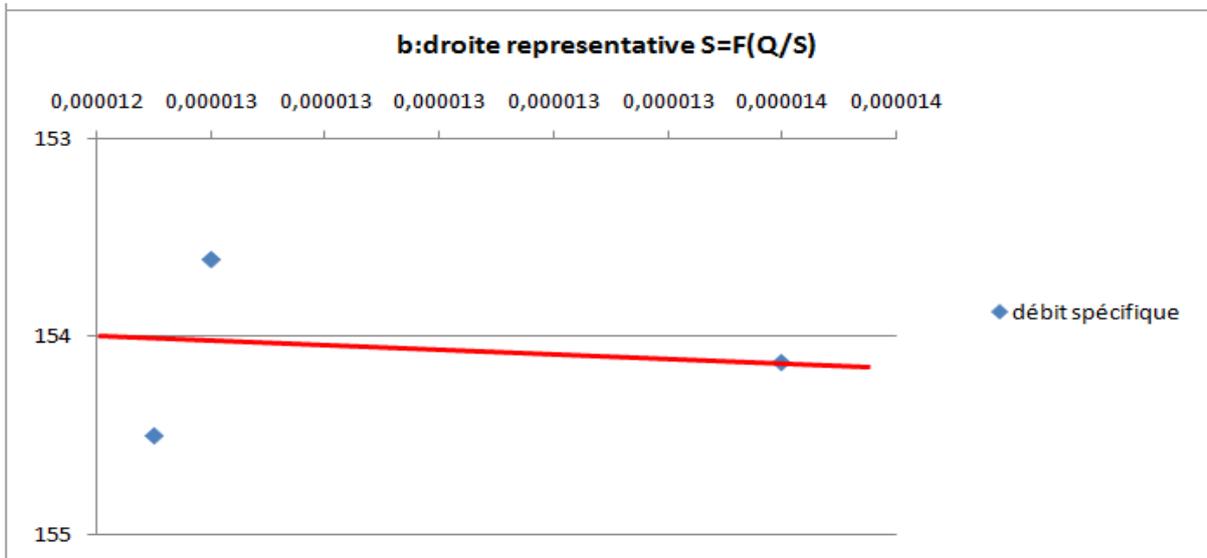
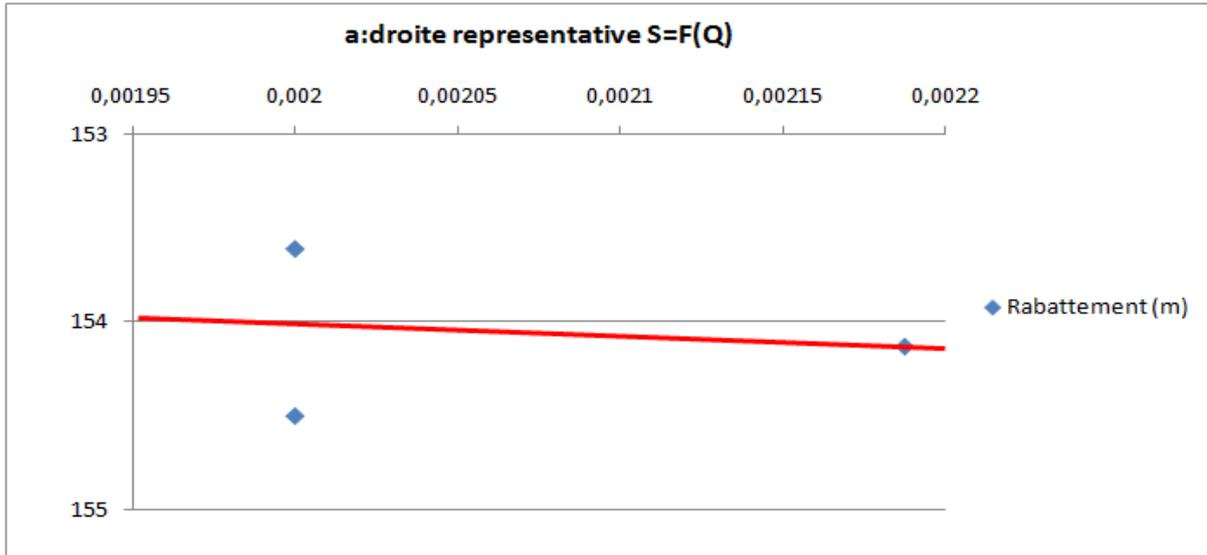
A l'aide du pompage en palier on calcule les paramètres suivant :

- Le débit critique.
- Le rabattement maximal.
- Les pertes de charges.

Le pompage est subdivisé en trois paliers, en rapportant pour chacune la descente et la remontée avec un débit variable, les résultats sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau N= 01 : résultat de pompage par palier (sidi aissa)

Palier	Débit (m ³ /s)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /m.s.)	Rabattement spécifique (m/m ³ .s)
1	0,002	154,5	0,0000129	77250
2	0,002	153,61	0,000013	76805
3	0,0021873	154,13	0,000014	70465,87117



A/ courbe caractéristique : Débit / Rabattement.

- Cette courbe représente la fonction $Q=f(S)$; elle est dressée en portant en échelle arithmétique, sur l'axe des abscisses les rabattements (S) en m et sur l'axe des ordonnées les débits (Q) en m^3/s .

-Après qu'on a dressé la courbe caractéristique, on voit que les trois points obtenus sont alignés en donnant une droite d'ajustement, dans ce cas on n'a pas atteint un débit critique.

B/ Droite représentative : Débit spécifique/ Rabattement.

- Cette droite représente la fonction $Q/S=f(S)$ elle est obtenue en portant sur échelle arithmétique sur l'axe des abscisses les rabattement (S) en m et sur l'axe des ordonnées les débits spécifiques (Q/S) en $m^3/m.s$.

- Calcul du débit spécifique relatif : (Q_s relatif)

Q_s relatif est obtenu par la droite d'ajustement, il correspond au rabattement $S= 1m$ dans ce cas on obtient :

Q_s relatif= $m^3/m.s$.

C/ Droite représentative : Rabattement spécifique/ Débit.

- Cette droite est obtenue en portant sur échelle arithmétique sur l'axe des abscisses les débits (Q) en m^3/s et sur l'axe des ordonnées les rabattements spécifique (S/Q) en $m/m^3.s$, dans l'équation s'écrit de la forme :

$$S= BQ+CQ^2$$

En mettant : $y= S/ Q$ $x = Q$

$$C = \text{tg } \beta$$

Avec : $C= 34482758$ $B= 5000$

On obtient : $S= 5000 Q + 34482758 Q^2$

IV.3.1.1.2/ Pompage long durée :

A/ Etude de la descente :

Méthode d'approximative semi-logarithmique de JACOB

Cette méthode consiste à représenter sur papier semi-logarithmique les rabattements (S) en fonction du temps (t), en portant sur l'axe des abscisses à échelle arithmétique les rabattements (S) en mètre et sur l'axe des ordonnées à échelle logarithmique le temps (t) de pompage en minute. (Figure N°19).

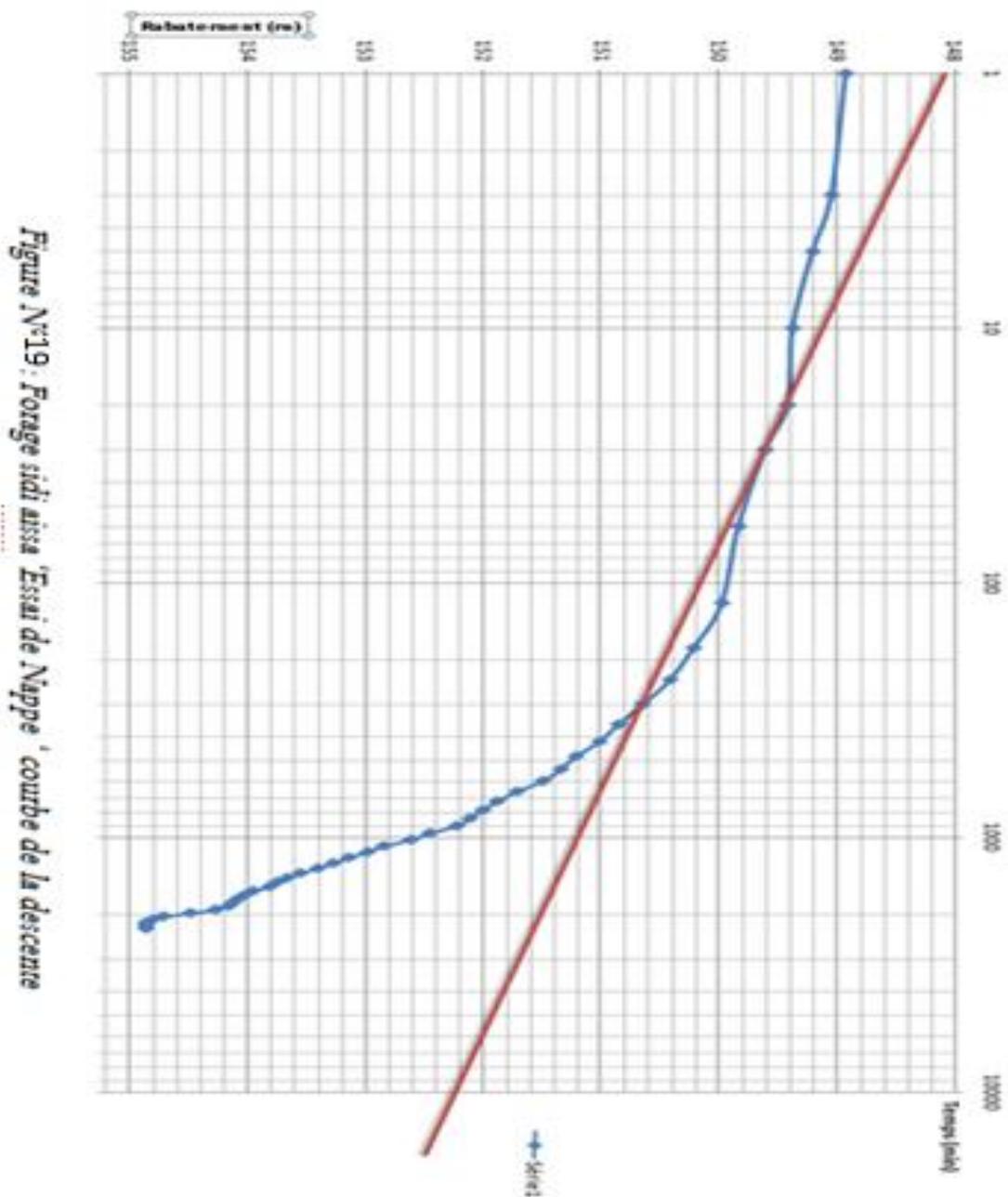


Figure N°19 : Forage sidi aissa 'Essai de Nappe' 'courbe de la descente'

A.1/ Interprétation de la courbe :

A partir de la courbe de la descente on trace la droite d'ajustement, cette dernière passe en dessous de la valeur « 00m » des rabattements (s) on se basant sur le principe de superposition on dit qu'elle existe une libre.

1^{ère} partie : indique un effet de capacité, qui est due probablement à un rabattement à un apport d'eau qui a provoqué une perte de charge considérable

2^{ème} partie : après 20 min de pompage on observe un petit changement de pente, suivi d'un 2^{ème} changement de pente après 120 min de pompage et cette dernière suivie par une tendance à la stabilisation du niveau d'eau.

3^{ème} partie : Après 23 h de pompage, on observe un palier de stabilisation qui est expliqué par l'évolution de cône de dépression ou les eaux souterraines s'écoulant vers d'autres formations aquifères qui jouent le rôle d'un drain au cours du pompage, le cône de dépression se développe dans l'aquifère (en régime transitoire) jusqu'à la limite à potentiel imposé, l'écoulement dans l'aquifère des basaltes est alors inversé, dans ce cas le forage est alimenté en partie par les eaux d'arrivée des calcaires à travers l'aquifère.

A.2/ Calcul de la TRANSMISSIVITE : T

La transmissivité est le produit du coefficient de perméabilité moyen par l'épaisseur de l'aquifère. Elle est donc égale au débit traversant une section normale à l'écoulement, de largeur unitaire prise sur toute l'épaisseur de l'aquifère et sous un gradient hydraulique égal à l'unité. On l'écrit T et on l'exprime par m²/s.

On obtient la transmissivité (T) à partir du rapport suivant :

$$T = \frac{2.3 * Q}{4 * i}$$

T : transmissivité en m²/s.

Q : débit de pompage en l/s : la pente de la droite d'ajustement.

i = Δs pour un cycle logarithmique du temps.

$$i = \frac{\Delta s}{\log t_2 - \log t_1}$$

En mettant $I = \Delta s$ pour un cycle logarithmique du temps on obtient :

$$T = (0.183 * Q) / \Delta s$$

Dans ce cas la transmissivité calculée est : $T=4.4983 \text{ m}^2/\text{s}$

A.3/ Calcule de la perméabilité : K

Le coefficient de perméabilité K représente la quantité de fluide traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement, sous un gradient égal à l'unité.

On obtient la perméabilité du rapport suivant :

$$T = K * E$$

Avec : T : transmissivité E en m^2/s .

E : épaisseur de la couche aquifère en m .

M : perméabilité de la couche aquifère en m/s .

$$E = 260 - 55 = 205 \text{ m} \quad K = 0.02194 \text{ m}/\text{s}.$$

B/Etude de la remontée :

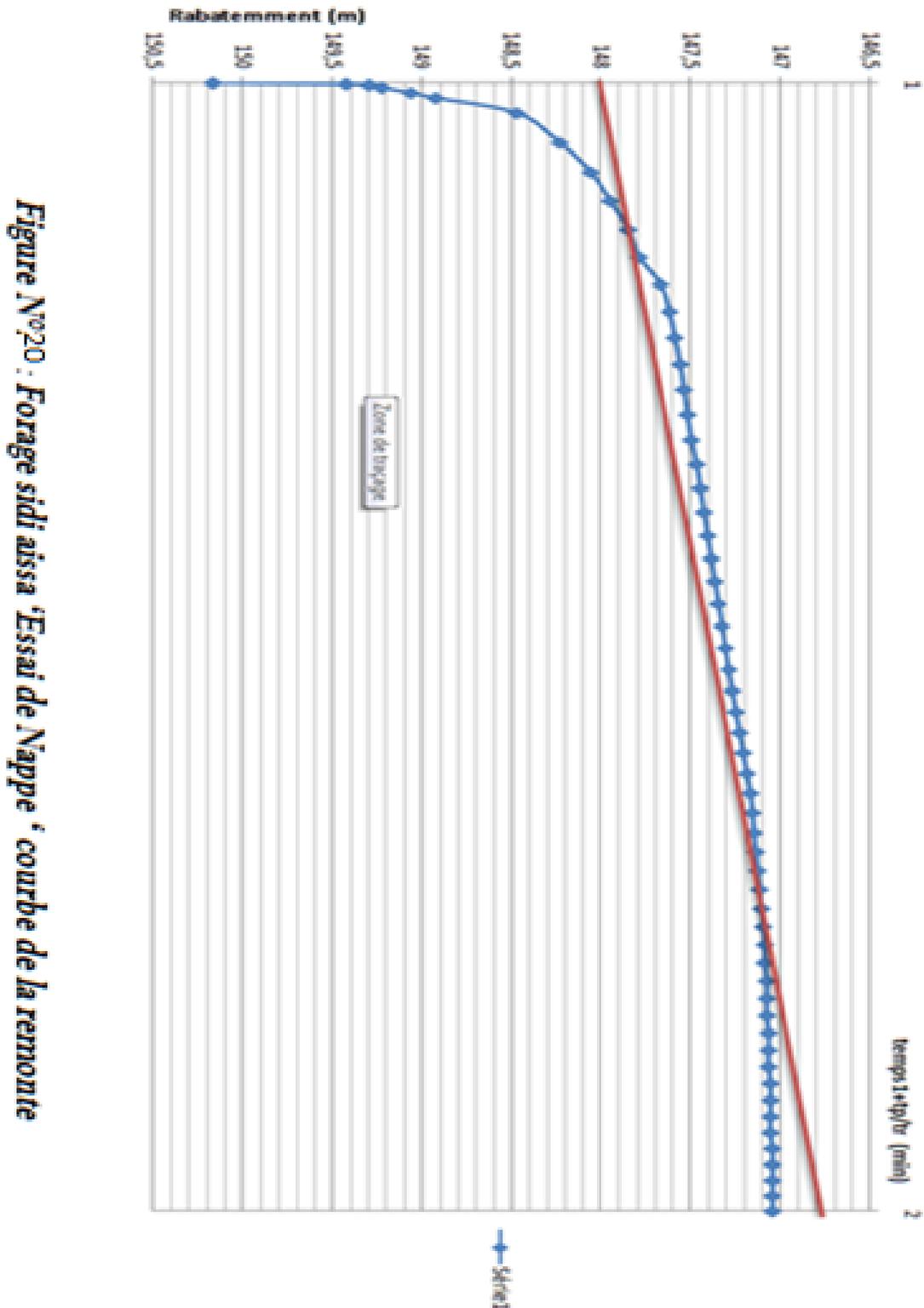


Figure N°20 : Forage sidi aïssa 'Essai de Nappe' 'courbe de la remontée

L'équation de la courbe de la remontée, s'obtient par l'application du ' principe de superposition' des écoulements.

Supposons qu'un débit (+Q) soit pompé dans le puits à l'instant ($T_p=2280$ mn) ou le pompage est arrêté. On peut imaginer que l'ouvrage continue à libérer le même débit (Q) et d'autre part on a l'injection de débit (Q).

Dans ce cas l'équation s'écrit comme suit :

$$S_r = \frac{0.183 \times Q}{T} \log(1+t_p/t_r)$$

t_p :Durée de pompage en mn .

t_r : Temps écoulé depuis l'arrêt des pompage en mn.

b.1 /Calcul de la transmissivité (T):

La transmissivité (T) est obtenue à partir du rapport :

$$T = 0.183 \frac{Q}{i}$$

$$i = \frac{\Delta s}{\log t_2 - \log t_1}$$

$$i = \frac{0.67}{\log 1.64150 - \log 1.11320} \quad i = 3.97$$

$$T = 1.014 \text{ m}^2/\text{s}$$

Calcul de la perméabilité : K

$$T = K * E$$

$$K = 0.0049 \text{ m/s} .$$

Calcul du rabattement réel : (Sr)

$$S_r = \frac{0.183 \times Q}{T} \log(1+t_p/t_r)$$

$$\text{En mettant : } (1+t_p/t_r) = 0.21524$$

$$S_r = 0.85 \text{ m}.$$

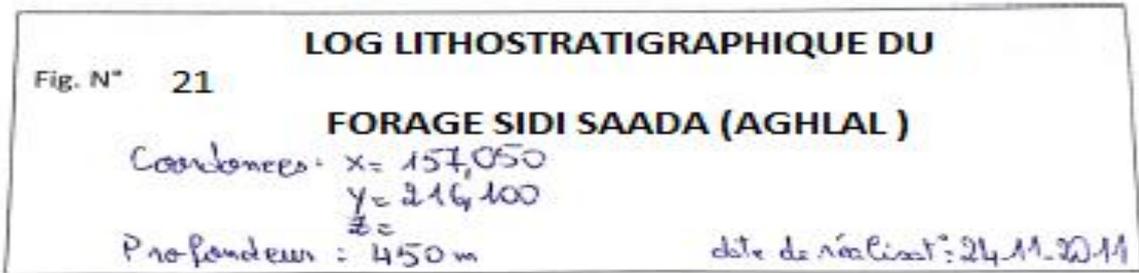
Conclusion:

En conclu que la transmissivité autour de ce forage implanté dans l'aquifere des basalts est comprise entre 1.014 et 4.4983 m^2/s avec une perméabilité de 0.0049 à 0.0219 m/s indiquant un milieu calcaire.

IV.3.1.2/ Forage de Sidi Saada (AGHLAL) :

Forage de Sidi Saada (AGHLAL) de profondeur 450 m captée les formations de différent marno-calcaire avec quelque passage de grée.

-Dans ce forage le niveau statique est de 41.09 m, après pompage à un débit constant de 14 l/s le niveau dynamique attente 159.91 m pour cela un essai de pompage a été réalisé pour suivre le comportement hydrodynamique de la nappe de l'aquifère de grés beige avec présence de calcaire grés et sable grossier ce pompage à duré 72 H.



Cote	Tubage (m)	N.S (m)	coupe	description	Age
2				Terre végétale	
33	TP	N.S = 41,09		Grés jaunâtre mameux avec ciment d'argile beige	MIOCENE
28	TC			Marne grise avec présence de grés jaunâtre	
6				Grés jaunâtre avec présence de marne grise dur	
1				Marne gréseuse	
8	TC			Grés beige grossier avec trace de sable	
1				Marne grise gréseux	
4				Grés beige sableux avec trace de marne grise dur	
7	TP			Grés mameux beige avec trace de sable grossier	
14	TC			Grés beige calcaireux grisâtre avec sable grossier	
3				Marne grisâtre avec présence de calcaire et trace de grés beige	
3	TP			Calcaire gréseux beige avec présence de sable grossier	
1				Calcaire mameux avec trace de grés beige	
2				Grés beige avec calcaire et sable grossier	
1	TC			Calcaire mameux avec trace de grés beige et sable grossier	
5				Grés beige calcaireux grisâtre avec trace de sable grossier	
1				Calcaire gréseux	
41	TP	N.D = 159,91		Gré beige avec présence de calcaire gré et sable grossier	
19	TC			Calcaire mameux grisâtre avec trace de grés beige	
39	TP			Calcaire gris gréseux avec présence de sable beige	
19	TC			Calcaire mameux avec grés et calcite	
5	TP			Calcaire gréseux	
12				Marne pateuse calcaireuse avec trace de grés	
1				Formation de calcaire gréseux	
14				Marne pateuse de couleur grisâtre +/- dure avec calcaire et grés beige	
21	TP			Calcaire gréseux avec marne pateuse et calcite	
63	TC			Marne pateuse +/- induré parfois feuilleté avec présence de calcaire et gré et trace d'argile	
16	TP			Intercalation entre le formation du calcaire gréseux avec faible % de sable et marne pateuse verdâtre avec trace de calcaire et grés	
80	TC			Marne verdâtre +/- dur avec trace de calcaire gris et calcite	
	TP+SABOT				
	Remblait				

IV.3.1.2.1/ Pompage par palier et Essai de nappe :

-Le pompage est subdivisé en trois paliers, en rapportant pour chacune la descente et la remontée avec un débit variable, les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N= 02: résultat de pompage par palier (forage sidi saada)

Palier	Débit (m ³ /s)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /m.s)	Rabattement spécifique (m/m ³ .s)
1	0,0006	52,49	0,00001143	87483,33333
2	0,001	68,77	0,00001454	68770
3	0,0013	119,08	0,00001091	91600

A/ courbe caractéristique : Débit / Rabattement.

Cette courbe représente la fonction $Q=f(S)$; elle est dressée en portant en échelle arithmétique, sur l'axe des abscisses les rabattements (S) en m et sur l'axe des ordonnées les débits (Q) en m³/s.

Après qu'on a dressé la courbe caractéristique, on voit que les trois points obtenus sont alignés en donnant une droite d'ajustement, dans ce cas on n'a pas atteint un débit critique.

B/ Droit représentative : Débit spécifique/ Rabattement.

Cette droite représente la fonction $Q/S=f(S)$ elle est obtenue en portant sur échelle arithmétique sur l'axe des abscisses les rabattement (S) en m et sur l'axe des ordonnées les débits spécifiques (Q/S) en m³/m.s.

- Calcul du débit spécifique relatif : (Qs relatif)

Qs relatif est obtenu par la droite d'ajustement, il correspond au rabattement S= 1m dans ce cas on obtient :

Qs relatif= 0.00001475 m³/m.s.

C/ Droite représentative : Rabattement spécifique/ Débit.

Cette droite est obtenue en portant sur échelle arithmétique sur l'axe des abscisses les débits (Q) en m³/s et sur l'axe des ordonnées les rabattements spécifique (S/Q) en m/m³.s, dans l'équation s'écrit de la forme :

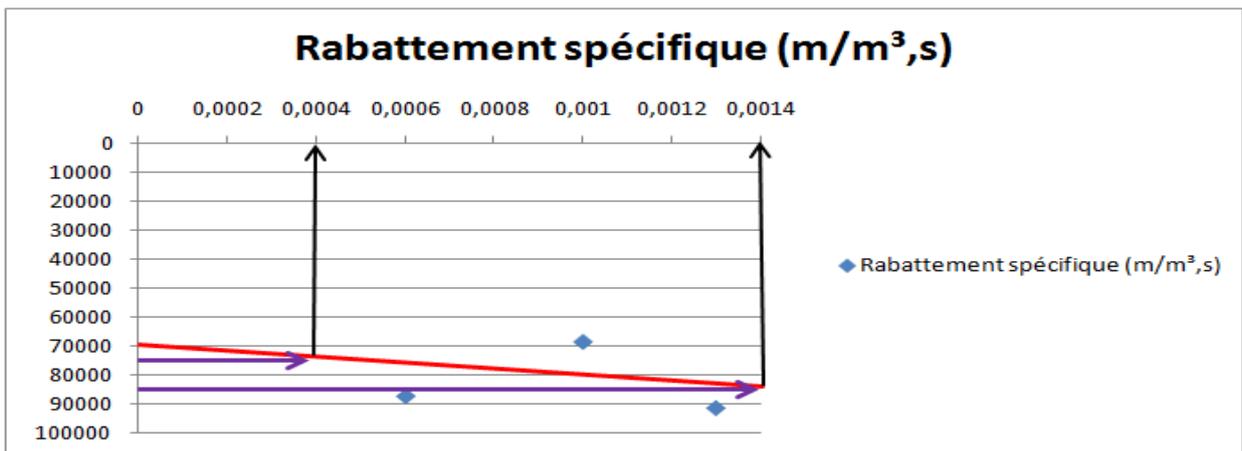
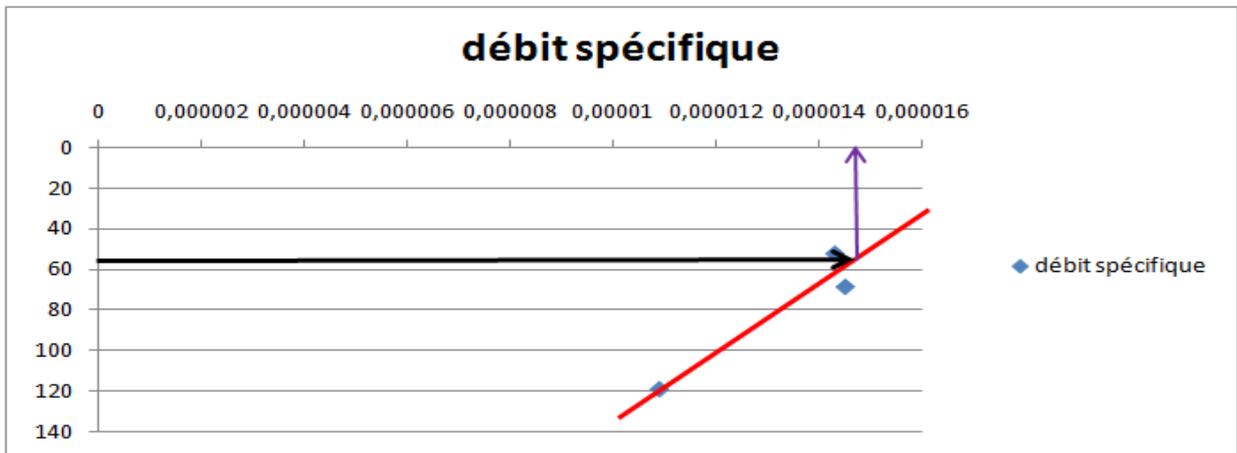
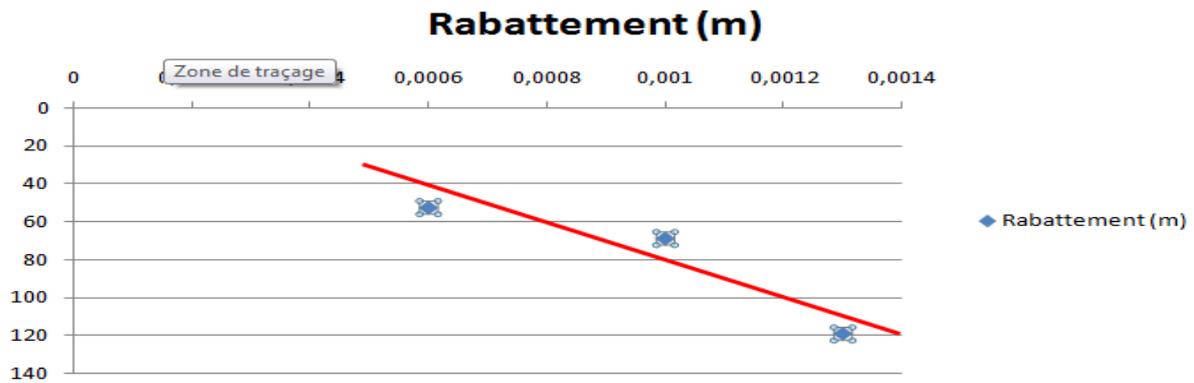
$$S = BQ + CQ^2$$

En mettant : $y = S/Q$ $x = Q$

$$C = \text{tg } \beta$$

Avec : $C = 10000$ $B = 10 \cdot 10^6$

On obtien : $S = 10 \cdot 10^6 Q + 10000 Q^2$



IV.3.1.2.2/ **Pompage long durée :**

A/ Etude de la descente :

Méthode d'approximative semi-logarithmique de JACOB

Cette méthode consiste à représenter sur papier semi-logarithmique les rabattements (S) en fonction du temps (t), en portant sur l'axe des abscisses en échelle arithmétique les rabattements (S) en mètre et sur l'axe des ordonnées en échelle logarithmique le temps (t) de pompage en minute. (Figure N°22).

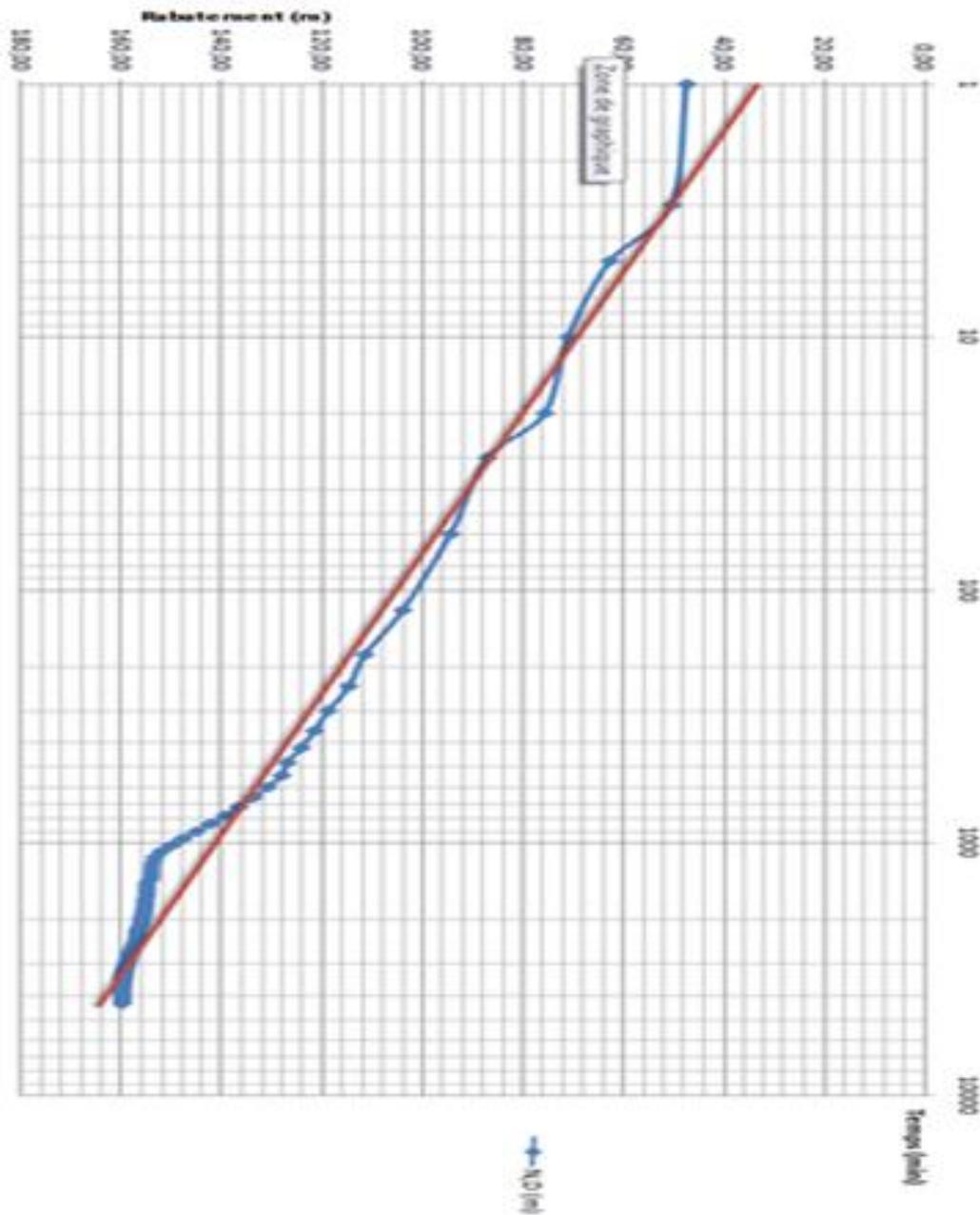


Figure N° 22: Forage sidi saada 'Essai de Nappe' 'courbe de la descente

A.1/ Interprétation de la courbe :

A t= 0 min en commence notre pompage avec un débit constant égale à 14 l/s en remarque une petite capacité d'emménagement suivi d'une diminution du niveau d'eau simple est constant de l'instant t = 3 min à t = 540 min suivi d'une tendance de stabilité qui va jusqu'à t = 1740 min, et elle se termine par une stabilité totale à t = 3840 min à un niveau qui correspond à 159.91 m.

A.2/ Calcul de la transmissivité : T

La transmissivité est le produit du coefficient de perméabilité moyen par l'épaisseur de l'aquifère. Elle est donc égale au débit traversant une section normale à l'écoulement, de largeur unitaire prise sur toute l'épaisseur de l'aquifère et sous un gradient hydraulique égal à l'unité. On l'écrit T et on l'exprime par m²/s.

On obtient la transmissivité (T) à partir du rapport suivant :

$$T = \frac{2.3 * Q}{4\pi i}$$

T : transmissivité en m²/s.

Q : débit de pompage en l/s ; la pente de la droite d'ajustement.

i = Δs pour un cycle logarithmique du temps.

$$i = \frac{\Delta s}{\log t_2 - \log t_1}$$

En mettant I = Δs pour un cycle logarithmique du temps on obtient :

$$i = \Delta s = 100 - 70.92 = 29.08 \text{ m}$$

$$T = (0.183 * Q) / \Delta s$$

Dans ce cas la transmissivité calculée est : T=0.0881 m²/s.

A.3/ Calcul de la perméabilité : K

Le coefficient de perméabilité K représente la quantité de fluide traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement, sous un gradient égal à l'unité.

On obtient la perméabilité du rapport suivant :

$$T = K * E$$

Avec : T : transmissivité E en m.

E : épaisseur de la couche aquifère en m .

M : perméabilité de la couche aquifère en m/s .

$$E = 360 - 40 = 320 \text{ m} \quad K = 0.000275 \text{ m/s.}$$

B/Etude de la remontée :

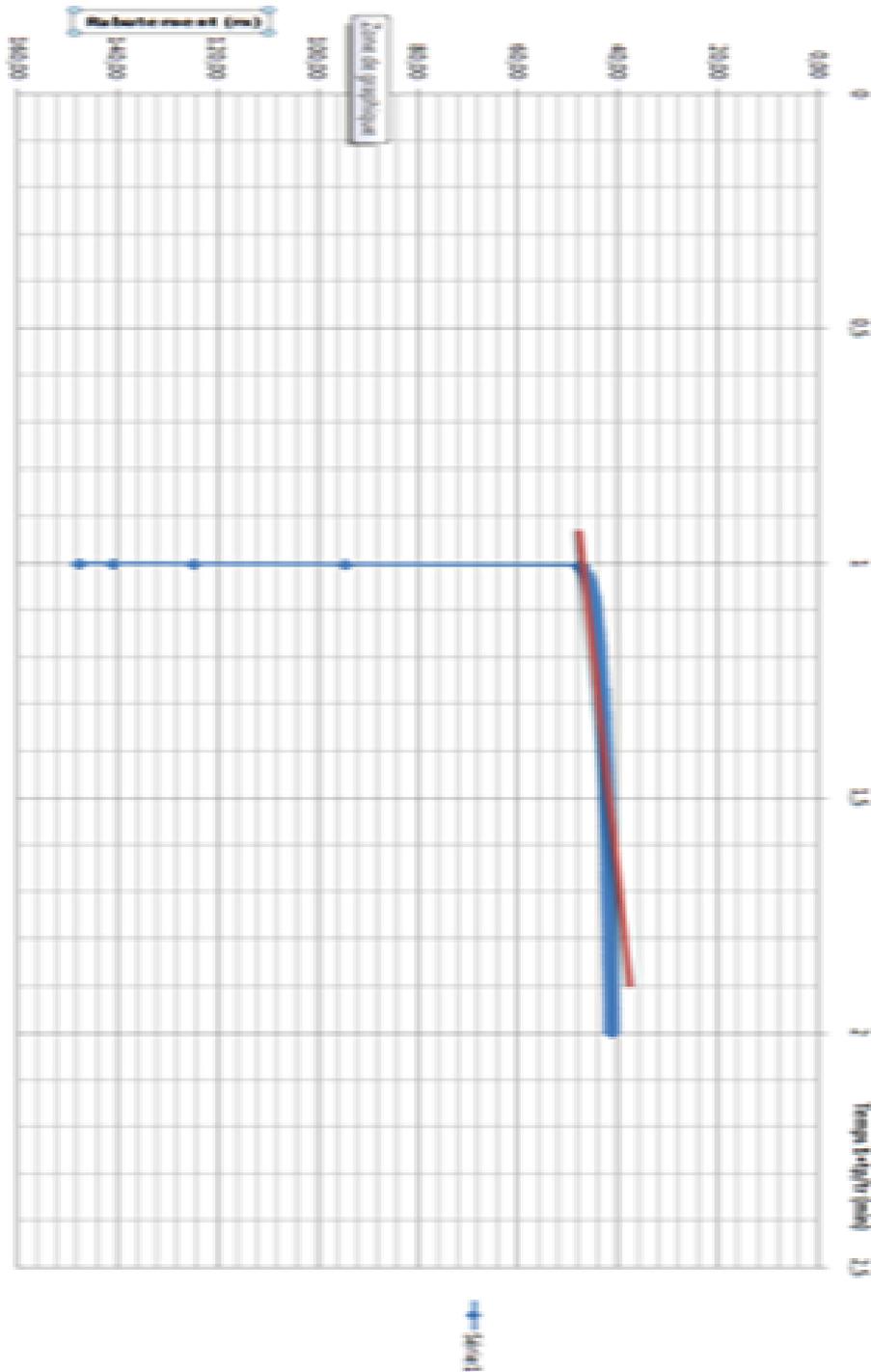


Figure N° 23 Forage sidi saada 'Essai de Nappe' courbe de la remontée

- L'équation de la courbe de la remontée, s'obtient par l'application du ' principe de superposition' des écoulements.

Supposons qu'un débit (+Q) soit pompé dans le puits à l'instant ($T_p=4320mn$) ou le pompage est arrêté. On peut imaginer que l'ouvrage continue à libéré le même débit (Q) et d'autre part on a l'injection de débit (Q).

Dans ce cas l'équation s'écrit comme suit :

$$S_r = \frac{0.183 \times Q}{T} \log(1+t_p/t_r)$$

t_p :Durée de pompage en mn .

t_r : Temps écoulé depuis l'arrêt des pompage en mn.

B.1 /Calcul de la transmissivité (T):

La transmissivité (T) est obtenue à partir du rapport :

$$T = 0.183 \frac{Q}{i}$$

$$i = \frac{\Delta s}{\log t_2 - \log t_1}$$

$$i = \frac{5.39}{\log 1.55670 - \log 1.00343} \quad i = 28.26$$

$$T = 0.09065 \text{ m}^2/\text{s}$$

B.2 /Calcule de la perméabilité : K

$$T = K * E$$

$$K = 0.0002832 \text{ m/s} .$$

Conclusion :

On conclut que la transmissivité autour du forage sidi saada est comprise entre 0.0881 et 0.09065 m²/s avec une perméabilité de 0.000275 et 0.0002832 m/s indiquant un milieu argileux.

Tableaux récapitulatif N03 : méthode Semi-logarithmique de « Jacob »

Forage		Sidi SAADA	Sidi AISSA
Aquifère à Nappe		Libre	Libre
Régime d'écoulement		Permanent	Permanent
Méthode d'interprétation		Semi-logarithmique de « Jacob »	Semi-logarithmique de « Jacob »
Profondeur		450 m	1061 m
NS (m)		41.09 m	147.05 m
ND (m)		159.91 m	154.87 m
Débit (l/s)		14 l/s	22 l/s
Paramètres Hydrodynamique	Transmissivité T (m ² /s)	0.0881 – 0.09065	1.014 - 4.4983
	Perméabilité K (m/s)	0.000275 – 0.0002832	0.0049 – 0.0219

IV.4/ETUDE PIEZOMETRIQUE :

La représentation graphique des propriétés des nappes se fait à partir de carte piézométrique qui donnent d'importance renseignements sur les écoulements souterrains, l'alimentation des nappes et d'exploitation éventuelle des ressources en eau souterraines se fait en tenant compte des facteurs physiques tels que la géométrie de l'aquifère, la perméabilité et la transmissivité.

IV.5/Condition au limite :

La nappe de l'aquifère des basaltes du massif volcanique D'AIN TEMOUCHENT du Plio-Quaternaire représente deux types de condition au limite.

1. Limite étanche :

L'aquifère des basaltes est limité généralement vers le bas par les marnes d'âges Miocène et parfois par des Argiles.

2. Limite d'échange :

Les principales limites d'échange sont deux en générale :

- Basalte fissurés / Marne.
- Marne / calcaire.

Le rôle de fissuration :

Leur rôle subsiste dans l'augmentation de l'infiltration au niveau des systèmes aquifères à porosité de fissure, dont elle est liée soit :

- A la densité de réseau de fissuration.
- A l'ouverture de ces fissures.

Conclusion :

La carte piézométrique établie à partir des données recueillies du terrain a permis d'indiquer le sens des eaux souterraines de l'aquifère des basaltes fissurés d'âge Plio-Quaternaire du massif volcanique de la région D'AIN TEMOUCHENT, qui est en généralement de Sud vers le Nord.

Aussi grâce au forage de SIDI AISSA et SIDI SAADA, on a pu déterminer les paramètres hydrodynamiques de ces aquifères, dont la transmissivité calculée est de 1.014 à 4.4983 m²/s et 0.0881 à 0.09065 m²/s.

Les valeurs de T calculées indiquent l'existence d'un milieu à forte porosité.

IV.6/PARTIE HYDROCHIMIE :

L'hydrochimie est une science qui permet à l'hydrogéologie de différencier les zones polluées à celle qui ne le sont pas

Elle permet aussi avant l'exploitation des eaux souterraine soit pour l'AEP ou pour l'irrigation, d'indiquer les eaux qui possèdent une qualité chimique bonne.

Pour cela on fait des prélèvements et on la dose. Les résultats obtenus servant à dresser dans un diagrammes d'analyse d'eau intitulé (Shoeller et Berkallof).

L'analyse physico-chimique à portée sur 2 échantillons prélevés au niveau de 2 forage des dosages qui ont été analysées au laboratoire de l'ANRH .

CHAPITRE IV HYDROGEOLOGIE

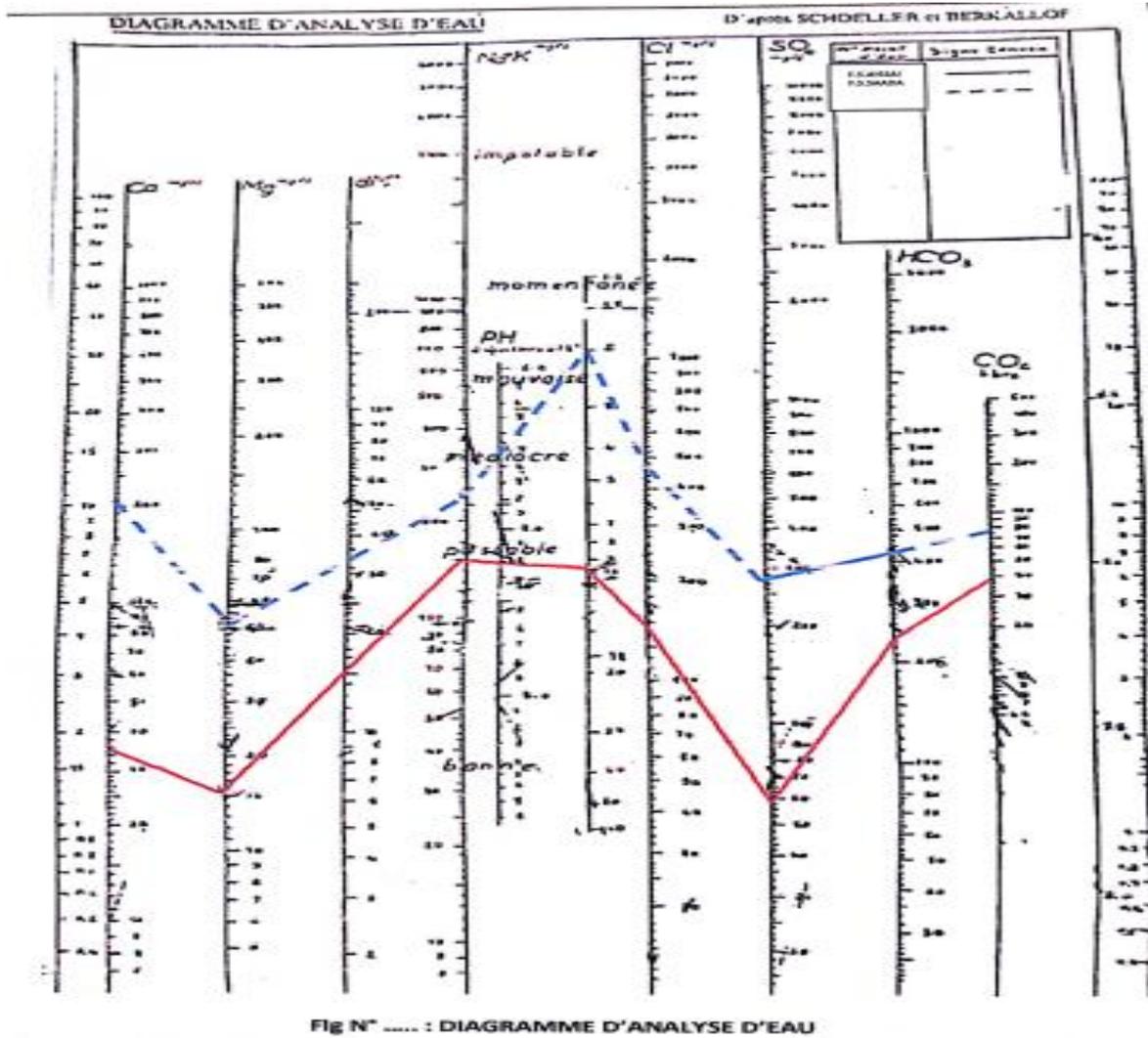


Tableau N04 : analyse physico-chimique a la fin de la réalisation

point d'eau	sidi aissa	sidi saada
T°c	/	/
PH	-7,73	6,75
cond Meq/l	2360	847
Miner Meq/l	643	1791
Ca ⁺⁺	35	209
Mg ⁺⁺	15	51
Na ⁺	154	230
K ⁺	10	2

Cl⁻	150	464
So₄⁻	47	271
Hco₃⁻	235	427
No₃⁻	39	76
TAC ° F	19	35
X m	117,55	157,05
Y m	225,3	216,1

A/Paramètre D'ANALYSE :

Les principaux paramètres utiles à l'analyse physico-chimique sont déterminés par les méthodes suivant :

- T°c température : mesurée à l'aide d'un thermomètre en degré Celsius.
- PH mesuré à l'aide d'un PH mètre.
- La conductivité en ms/cm a été mesurée à l'aide d'un conductivimètre qui donne aussi directement la minéralisation en mg/l.
- Les teneurs ont été mesurés par les méthodes de dosage et à l'aide d'un spectrophotomètre données en meq/l et mg/l.

B/Les facies chimique :

Au cours de leur trajet à travers les terrains encaissants les eaux prennent des faciès très différents les analyses classés par faciès seront reportées sur un diagramme semi-logarithmique de Shoeller-Berkalof.

Dans ce cas pour les anions nous avons retenus les éléments suivants :

Cl⁻ , Hco₃⁻ , So₄⁻ , No₃⁻

Et pour les cations :

Na⁺ , Ca⁺⁺ , Mg⁺⁺ , K⁺ .

Tableaux 05 : les teneur décroissante des anion et des cation

point d'eau	teneur décroissante des anion	teneur décroissante des cation	cond Meq/l	miniralisaion Meq/l	PH
sidi aissa	Hco3 ⁻ >Cl ⁻ >So4 ⁻ >No3 ⁻	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	847	643	-7,73
sidi saada	Cl ⁻ >Hco3 ⁻ >So4 ⁻ >No3 ⁻	Na ⁺ >Ca ⁺⁺ >Mg ⁺⁺ >K ⁺	2360	1791	6,75

B.1/Interprétation :

Le forage de sidi aissa représente un faciès bicarbonaté sodique .

Le forage de sidi saada un faciès chloruré sodique à bicarbonaté calcique

Tableau N06 : RAPPORTS CARACTERISTIQUES :

point d'eau	(Mg ⁺⁺ /Ca ⁺⁺)	((Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺)/Na ⁺)	(So4 ⁻ /Cl ⁻)	((Cl ⁻ -Na ⁺)/Cl ⁻)	((Cl ⁻ -Na ⁺)/So4 ⁻ +Hco3 ⁻ +No3 ⁻)
sidi aissa	0,428571429	0,324675325	0,313333333	0,026666667	-0,012461059
sidi saada	0,244019139	1,130434783	0,584051724	0,504310345	0,302325581

Mg⁺⁺/Ca⁺⁺ : Ce rapport présente des valeurs généralement inférieure à l'unité (<1).

Dans le cas contraire ou en trouve une valeur x >1 elle est due à l'infiltration de leur eaux dans les formation basaltiques constitué de minéraux Ferromagnétiques.

(Ca⁺⁺+Mg⁺⁺)/Na⁺ : Dans ce rapport o remarque deux valeur qui sont 0.32 mg/l et 1.13 mg/l ce qui veut dire ce sont très éloignée l'un par rapport a l'autre ; par rapport au forage de sidi aissa

en trouve la relation égal a 0.32 mg/l ce qui veut dire que la teneur en Na^+ est dominant dans cette eau et c'est le contraire pour le forage de sidi saada qu'and ont leur valeur égale à 1.13 mg/l.

$\text{So}_4^{--}/\text{Cl}^-$: les valeurs obtenues par ce rapport sont inférieure à l'unité.

Donc en remarque sue es chlorures sont dominant par rapport au sulfates à cause de la présence de formations de calcaires. Dans le cas ou en trouve les sulfates dominant probablement c a cause du lessivage des formations volcaniques basaltiques fissurées riche en pyrite (F_2S).

$(\text{Cl}^- - \text{Na}^+)/\text{Cl}^-$: En ce qui concerne ce rapport tous les résultats sont inférieure à l'unité ou il y'a prédominances des chlorures jugé par la présence de la mer méditerrané pour le forage de sidi aissa ; et pour le forage de sidi saada en 'a une estimation de passage de formation géologique salique.

$(\text{Cl}^- - \text{Na}^+)/\text{So}_4^{--} + \text{Hco}_3^- + \text{No}_3^-$: Pour ce rapport o, remarque qu'il est généralement inférieure à l'unité, ce dernier indique la prédominance de l'ensemble des anion suivant : So_4^{--} Hco_3^- No_3^- .

Conclusion:

A l'aide des résultants obtenues par l'analyse physico –chimique au niveau de la région OULHACA et AGHLAL on peut émettre les observations suivantes :

- Eau passable pour l'aquifère formé par les formations basaltiques.
- Eau pour l'aquifère formé par les formations marneuse.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les fluides souterrains sont très précieux et ont une grande importance : Eau, gaz et pétrole. Se trouvent à des profondeurs plus ou moins importantes, il est toujours nécessaire de forer pour les explorer et les exploiter.

-Pour cela la technologie a été développée dans le domaine de foration des puits en mettant dans notre main cinq méthodes de forage qui sont : Forage au marteau hors du trou ; par battage, Rotary ; circulation inverse, le MFT (marteau fond du trou), Forage ODEX et le forage par Havage.

-Toutes ces techniques ont leur avantage et leur inconvénient, mais ils ont un point commun appelée la boue de forage qu'elle est essentielle dans notre travail à cause de leur principal fonctionnement cité parmi eux les plus connus : elle sert au nettoyage du trou, le refroidissement de l'outil et du train de sonde et l'augmentation de la vitesse d'avancement.

-Cette dernière se passe par un traitement après chaque utilisation à cause de leur composition chimique et les produits organiques qu'elle contient avec l'interaction dans le puits avec les composants indésirables comme les huiles, les cels et le ciment.... ex.

-En présume qu'il y'a deux types de fluides de forage :

- La boue dont la phase continue est l'eau.
- La boue dont la phase continue est l'huile.

Mais avant toute réalisation d'un forage, il est important de savoir la géologie de notre zone. Dans notre cas en s'adresse à la région D'AIN TEMOUCHENT.

Cette dernière leur histoire géologique est passée par plusieurs événements qu'on peut synthétiser comment suit :

-Au cours du Miocène moyen, on assiste à une transgression marine d'un vaste bassin sédimentaire situé approximativement entre Ain Témouchent et les monts de Tlemcen, cet avant fosse qui présente un haut fond émergé autour d'Ain

CONCLUSION GENERALE

Témouchent, était le siège d'accumulation d'une épaisse série de formations Marno - gréseuses d'âge Miocène Synchro- nappe. Une succession de nappes de charriages constitués essentiellement par des dépôts marneux se déplacent tangentiellement du Nord vers l'Est, ensuite elles se superposent sur le Miocène sur une surface d'érosion troquant les formations du Jurassique de l'autochtone autour d'Ain Témouchent.

-Co temporairement avec la mise en place des nappes de charriages au Sud, les dépôts du premier cycle post- Nappe commencent à s'individualiser au Nord, en se déposant directement sur l'allochtone. L'ensemble a connu plusieurs phases tectonique mineurs avant la naissance du deuxième cycle post-nappe.

- Après cette démarche en assiste à une période relativement calme, elle n'est troublée que par la néotectonique et les manifestations volcaniques basaltiques du Plio - Quaternaire caractérisant la région d'Ain Témouchent.

-En finalisent notre travail par deux forage déjà exploité ce sont comme suit : Sidi SAADA (AGHLAL) et Sidi AISSA (OULHACA) en voyant leur géologie à traves un Log litho stratigraphique et en remarquant leur différent paramètre hydrodynamique suivi par des analyse chimique des récipients a fin de savoir la qualité d'eau capté.

LISTE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	01
CHAPITRE I : Le FORAGE.....	03
INTRODUCTION.....	04
I .1/ LES TECHNIQUES DE FORAGE.....	05
I .1.1/ Forage au marteau hors du trou	05
<i>I .1.2/ La technique de Battage.....</i>	<i>06</i>
<i>I.1.2.1/ Les différents procédés de battage</i>	<i>06.</i>
<i>I .1.2.2.1/ le procédé Pennsylvanien (procédé à câble) ...</i>	<i>06</i>
<i>I .1.2.2.2/procédé Canadien</i>	<i>06.</i>
<i>I .1.2.2.3/procédé Raky (s'appelle aussi battage rapide) ...</i>	<i>07.</i>
I.1.2.2/ Avantages et inconvénients du battage.....	09.
<i>I .1.2.2.1/ Avantages du battage</i>	<i>09</i>
<i>I .1.2.2.2 / inconvénients du battage.....</i>	<i>09</i>
<i>I .1.3/ La technique Rotary.....</i>	<i>10</i>
I .1.3.1/ Paramètres de forage rotary.....	13
I .1.4/ La technique de la circulation inverse (rotary à circulation inverse):	14
I .1.4.1/ avantages et inconvénients.....	14

I .1.4.1.1/ avantages.....	14.
I .1.4.1.2/ inconvénients.....	15
I .1.5/ la technique marteau fond de trou (MFT)	15
I .1.5.1/avantages de cette technique.....	16
I .1.6/ la technique ODEX	16
I .1.7/ la technique de Havage	17
I .2/ REALISATION DE FORAGE.....	19
I .2.1/ Installation du chantier de forage	19
I .2.2/ Choix de la technique de forage.....	19
I .2.3/ Tubages	20
I .2.4/ Contrôle de la rectitude et de la verticalité	21
I .2.5/ les fosses à boue	21
I .2.6/ Prélèvement des échantillons.....	23
I .2.6.1/ <i>Cuttings</i>	23
I .2.6.2/ <i>Carottage</i>	23
I .2.6.3/ Mesure de la perméabilité	25

Chapitre II : boues de forage	27
Introduction	28
II .1/ PRINCIPALES FONCTIONS DES BOUES DE FORAGE (ROLE DE LA BOUE)	30
II .2/ CIRCUIT DE FLUIDE FORAGE	33.
II .3/ Composition des boues	34.
II .3.1/ Colloïdes argileux	34
II .3.1.1/ Les bentonites	34
II .3.1.2/ Les attapulgites.....	35
II .3.2/ Colloïdes organiques	35
II .3.2.1/ L'amidons	35
II .3.2..2/ CMC (Carboxy Méthyl Cellulose)	35
II .3.3/ Les fluidifiants et défloculants	35
II .3.3.1/ Les lignosulfonates.....	35
II .3.4/ Les additifs minéraux	36
II .3.4.1/ La soude caustique (Na OH)	36
II .3.4.2/ Le carbonate de soude (Na ₂ CO ₃)	36
II .3.4.3/ Le bicarbonate de soude (Na HCO ₃).....	36
II .3.4.4/ Le gypse (Ca SO ₄ , 2 H ₂ O).....	36
II .3.4.5/ La chaux éteinte (Ca (OH) 2)	37.
II .3.4.6/ Le chlorure de calcium (Ca Cl ₂)	37

II .3.5/ Les produits organiques spéciaux	37
II .3.5.1/ Les anti-ferments	37.
II .3.5.2/ Les anti-mousses	37
II .3.5.3/ Les agents de décoincement	37
II .3.5.4/ Les antifrictions et extrême pression	37
II .3.5.5/ Les anticorrosion.....	38
II .3.6/ Les alourdissant	38
II .3.6.1/ La barytine ou sulfate de baryum (Ba SO ₄ densité4,2).	38
II .3.6.2/ Le carbonate de calcium (Ca CO ₃ densité : 2,7)	38
II .3.7/ Les colmatant	38
II .3.7.1/ Colmatants granulaires	38
II .3.7.2/ Colmatants fibreux	39.
II .3.7.3/ Colmatants lamellaires	39
II .3.7.4/ Colmatants gonflants	39
II .3.7.5/ Colmatants à prise	39
II .4/ Composants indésirables	39
II .4.1/ Hydrocarbures	39
II .4.2/ Métaux lourds :	40
II .4.3/ Sels.....	40
II .5/ Types des fluides de forage (Composition des boues)	40
II .5.1/ Les boues dont la phase continue est l'eau.....	40
II .5.1.1/ L'eau de fabrication.....	41

II .5.1.2/ Les argiles.....	41
II .5.1.3/ Les solides inertes.....	42.
II .5.2/ Les boues dont la phase continue est l'huile	43
II .5.2.2/ Boues à base d'eau	43
II .5.2.2/ Boues à base d'huile	44
II .6/ INTERACTIONS PHYSIQUES OU CONTAMINATION PHYSIQUE DE LA BOUE	44
II .7/ INTERACTIONS CHIMIQUES OU CONTAMINATION CHIMIQUE DE LA BOUE	45
II .8/ Contaminations.....	45
II .8.1/ Anhydrite – Gypse (Ca SO_4)	45
II .8.2/ Sel (Na Cl)	46
II .8.3/ Ciment.....	46
II .8.4/ Gaz carbonique (CO_2)	47
II .8.5/ Hydrogène sulfuré (H_2S)	47
II .8.6/ Eau.....	47
II .8.7/ Huile.....	48..

CHAPITRE III GEOLOGIE.....	49
INTRODUCTION	50
III.1/ HISTORIQUE DES RECHERCHES.....	51
III.2/ CADRE GEOLOGIQUE GENERALE.....	52
III.2.1/ Généralités sur la géologie de l’Afrique du Nord.....	52
III .2.1.1/ Le domaine Tello–Rifain.....	52
III .2.1.2/ Le domaine Atlasique.....	52
III .2.1.3/ Le domaine Saharien.....	52
III.3/ CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE DE LA REGION ETUDIEE.....	54
B.1/ Allochtone métamorphique à affinité rifaine.....	54
B.2/ Allochtone non métamorphique à affinité tellienne...54	
III.4/ VOLCANISMES.....	55
III.4.1/ Localisation.....	55
III.4.2/ Aperçu géographique.....	57.
III .4.3/ Description des différentes formations volcaniques...59.	
III .4.3.1/ Les Coulés	59
III .4.3.2/ Les tufs.....	61
III .4.4/ Composition chimique des roches.....	61
CONCLUSION.....	62.

CHAPITRE IV HYDROGEOLOGIE.....	63
INTRODUCTION.....	64.
IV.1/ IDENTIFICATION HUDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES.....	65
IV.1.1/ Substratum Imperméable.....	65
<i>IV.1.2/ Les aquifères.....</i>	<i>65.</i>
IV.2/ Les coulées.....	65
IV.3/ HYDODYNAMIQUE SOUTERRAINE.....	68.
IV.3.1/ Pompages d'Essais.....	70
IV.3.1.1/ Forage de Sidi AISSA (Oulhaca).....	70
IV.3.1.1.1/ Pompage par palier et Essai de nappe.....	71
IV.3.1.1.2/ Pompage long durée.....	74
IV.3.1.2/ Forage de Sidi SAADA (AGHLAL).....	79
IV.3.1.2.1/ Pompage par palier et Essai de nappe.....	80
IV.3.1.2.2/ Pompage long durée.....	82
Conclusion.....	86
IV.4/ETUDE PIEZOMETRIQUE.....	86
IV.5/Condition au limite.....	87
IV.6/PARTIE HYDROCHIMIE	88

CONCLUSION GENERALE.....	94
LISTE DES MATIERES.....	97
LISTE DES FIGURES.....	104
LISTE DES TABLEAUX.....	107
LISTE DES CARTES.....	109
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	111
ANNEXES.....	114

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Tête de forage au marteau hors du trou	05
Figure02 : forage par battage	07-08
Figure03 : Trou de forage réalisé au battage	10
Figure04 : L'outil de forage au rotary : le tricône	11
Figure05: L'outil de forage au rotary : le tricône	12
<i>Figure06: Les taillants pour marteau fond de trou</i>	15
Fugure07 : la technique ODEX	16
Figure08 : la technique de Havage	17
Figure 09 : Tubage complet	20
<i>Figure 10 : Tubage télescopique</i>	20
Figure 11 : Colonne perdu	21
Figure 12 : <i>Carottier double paroi</i>	24
<i>Figure N°13 : coupes, géologiques des volcans septentionaux</i>	60
<i>FIG N13 : coupes géoélectriques a travers s le massif volcanique d'Ain Temouchent</i>	66
<i>Figure N°14 : Basaltes fissurés du volcan</i>	67
Figure N15 : position des deux forages au niveau de la wilaya d'AIN TEMOUCHENT	68
Figure N16 : capture satellitaire (position Du forage sidi AISSA	69
Figure N17: capture satellitaire (position Du forage sidi SAADA	69

FIG N 18 :LOG LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU FORAGE SIDI AISSA (OULHACA)	70
<i>Figure N°19 : Forage sidi AISSA ‘Essai de Nappe ‘ courbe de la descente</i>	74
<i>Figure N°20 : Forage sidi AISSA ‘Essai de Nappe ‘ courbe de la remonte</i>	77
FIG N 21 :Log Lithostratigraphique Du Forage Sidi Saada (Aghlal)	79
<i>Figure N°22: Forage sidi SAADA ‘Essai de Nappe ‘ courbe de la descente</i>	82
<i>Figure N°23: Forage sidi SAADA ‘Essai de Nappe ‘ courbe de la remonte</i>	84
<i>Figure N°24 : Diagramme D’analyse D’eau</i>	89

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N= 01 : résultat de pompage par palier (sidi aissa)	71
Tableau N= 02 : résultat de pompage par palier (forage sidi saada)	80
Tableaux N03 : méthode Semi-logarithmique de « Jacob »	86
Tableau 04 : analyse physico-chimique a la fin de la réalisation	89
Tableaux 05 : les teneur décroissante des anion et des cation	91
Tableau N06 : rapports caracteristiques	91

LISTE DES CARTES

LISTE DES CARTES

<i>Carte n 01 : les grands traits de la mosique de l'afrique du(NW)</i>	53
<i>Carte n02 : contexte geologique et structurale du massif volcanique d ain temouchent</i>	56
<i>Carte n 03 : répartition des formatons volcaniques du massif d'ain temouchent</i>	58

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE :

- 1-Albert Mabillot « Forage d'eau ;guide pratique » ;édition johason filtration systems ; nainte ;1986.
- 2- C.GARCIA et P.PARIGOT « Boues de forage » ; édition technip ; 1968 .
- 3- *Jean françois maillard « forage et sondages » ;techniques de l'ingénieur volume c2 imprimerie strasbourgeoise ;paris ;1996 .*
- 4- J.P.NGYUEN « le forage » édition technip ;paris ; 1993 .
- 5-Gilbert castany « Hydrogéologie ;principes et méthodes » édition Dunod,paris ;1998 .
- 6- G.Schneebeli ; Hydraulique souterraine ; édition Eyrolles ; paris ; 1987 .
- 7-*Dr Mehdi METAICHE ' Forage techniques et procides ' Université de Bouira*
Octobre 2013.
- 8- Manuel Pratique Des Fluides De Forage ;édition techip ;paris ;1969 .
- 9- Mr OTSMANI Said ;these d'ingénieur d'état en géologie 'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE L'AQUIFERE DES BASALTES (MASSIF VOLCANIQUE D'AIN TEMOUCHENT) ;univ oran ;1999 .
- 10- OLIVIER BANTON ET LUMONY M .Bangoy « Hydrogéologie multiscience enviromentale des eaux souterraines » ;presse de l'université de Québec ; CANADA .

11- Khadja Mohamed « les fluides de forage » ; institue national polytechnique de Toulouse ;2008.

12- Robert Lauga « Pratique de forage d'eau » ; édition seesan ; Paris ;1990 .

13- Vedat Batu « Aquifer hydraulics » ; édition Wiley interscience ; USA ;1998.