

Sommaire

<i>Remerciements</i>	4
<i>Introduction.....</i>	5
<i>I. Les différentes familles de forages.....</i>	6
1. <i>Les Forages d'exploration ou de reconnaissance</i>	6
2. <i>Les forages d'exploitation.....</i>	6
<i>II. Les différentes types de forages</i>	6
1. <i>Les forages destructifs</i>	6
2. <i>Les forages non destructifs.....</i>	6
<i>III. Types de puits.....</i>	7
1. <i>Les puits Creusés.....</i>	7
2. <i>Les puits foncés (ou puits à pointe filtrante).....</i>	7
3. <i>Les puits forés ou forage</i>	7
4. <i>La réalisation d'un forage.....</i>	8
<i>IV. les techniques de forage</i>	9
1. <i>Percussion - Battage :</i>	9
2. <i>Marteau fond de trou :</i>	10
3. <i>Havage</i>	11
4. <i>Rotary.....</i>	12
<i>V. Exécution d'un forage.....</i>	13
1. <i>Les fluides de foration :</i>	13
2. <i>Circulation</i>	14
3. <i>Carottage ROTARY :.....</i>	15
4. <i>Équipements</i>	16
4.1. <i>Le tubage.....</i>	16
5. <i>Gravier additionnel</i>	20
5.1. <i>Rôle du Gravier additionnel</i>	20
5.2. <i>Caractéristiques du gravier additionnel</i>	20
<i>VI. Développement :</i>	20
1. <i>procédés de développement.....</i>	21
2. <i>Diagraphie</i>	21
2.1. <i>Log PS.....</i>	22
2.2. <i>Log électrique</i>	22
2.3. <i>La sonde normale.....</i>	22
2.4. <i>La sonde latérale.....</i>	23
2.5. <i>Les diagraphies nucléaires</i>	23
2.6. <i>Log gamma-ray.....</i>	23
2.7. <i>Log gamma-gamma ou log de densité</i>	23
2.8. <i>Log neutron</i>	23
2.9. <i>Log sonique.....</i>	23
3. <i>Avantage de la diagraphie</i>	24
1. <i>Types de pompes.....</i>	25
<i>VII. Captage des eaux souterraines par forage</i>	26
1. <i>Les essais de pompage</i>	26
<i>VIII. Caméra-vidéo en forage.....</i>	28
<i>OBJECTIF : C'est la mesure de base, elle permet de regarder et d'observer l'intérieur des ouvrages pour :</i>	28
<i>Conclusion.....</i>	30
<i>Webliographie</i>	31

Listes des figures

<i>Figure 1: Forage par battage</i>	9
<i>Figure 2: Forage marteau fond de trou</i>	10
<i>Figure 3: Forage par havage</i>	11
<i>Figure 4: Soupape remonté des débris (cuttings)</i>	11
<i>Figure 5: Forage rotary</i>	12
<i>Figure 6: Schéma explicatif de la formation du cake dans le cas de la bentonite</i>	12
<i>Figure 7: la remontée des cuttings par l'air comprimé</i>	14
<i>Figure 8: Appareil du recyclage de la boue</i>	14
<i>Figure 9: Types de circulation</i>	15
<i>Figure 10: Carottier</i>	15
<i>Figure 11: Récupération des carottes</i>	16
<i>Figure 12: Le tubage soudé Figure 13: Le tubage en PVC</i>	16
<i>Figure 14: Tubage crépiné et tubage plein</i>	18
<i>Figure 15: Les différentes sortes de crépines</i>	18
<i>Figure 16: Placement d'un massif de gravier</i>	19
<i>Figure 17: Aquifère multicouche</i>	19
<i>Figure 18: Gravier additionnel</i>	20
<i>Figure 19: Schéma de l'opération de développement</i>	21
<i>Figure 20: Schéma de principe de la sonde normale</i>	22
<i>Figure 21: corrélation entre diagraphe et lithologie</i>	23
<i>Figure 22: Pompe immergée</i>	25
<i>Figure 23: Courbe rabattement / débit ou courbe caractéristique</i>	27
<i>Figure 24: Caméra en forage</i>	29

Listes des tableaux

<i>Tableau 1: Personnes responsables de quelque opération</i>	13
<i>Tableau 2: Les diamètres intérieurs / débits prévus</i>	17

Remerciements

On tient à remercier infiniment tous ceux qui participent de prêt ou de loin à notre formation, ceux qui nous aident à nous réaliser, ceux qui fond de nous les femmes et les hommes de demain et ceux qui veillent sur nous et sur notre bien.

On remercie également Mr KACEM SOUID notre encadrant Qui nous a aidé à préparé ce Projet de fin d'étude

On remercie enfin nos familles pour leur soutien moral et financier et On leur présente pour la même occasion notre sentiment d'amour et de reconnaissance.

Introduction

Un forage consiste à réaliser un trou subsurface avec un certain diamètre, selon des techniques bien définies et avec un matériel approprié (des machines foreuses). Les informations donné par le forage sont complétées par des mesures qui sont réalisées dans ces trous tel que les diagraphies, qui sont amélioré par plusieurs procédé et qui sont bien équipé.

Plusieurs techniques de forage sont utilisées selon les formations géologiques. Dans ce mémoire on présente différentes techniques de forage afin de reconnaître les formations profondes qui a pour objectif la recherche de l'eau, pétrole, minier génie civil, géotechnique...

L'implantation du forage est très importante, de sa qualité dépend le résultat.

Pourtant Le site retenu devra être accessible au matériel de forage celui-ci lui-même est défini par la profondeur à atteindre et le diamètre de foration nécessaire.

Comme Objectifs du forage :

- *On réalise des sondages mécaniques pour :*
 - *Les reconnaissances des couches en profondeurs.*
 - *Suivre le prolongement d'un gisement.*
 - *Reconnaitre les caractéristiques physiques d'écoulement.*
 - *Les fondations en génie civil.*
 - *Les Capteur des pressions.*
 - *Les pieux forés*
 - *Les canalisations.*
 - *L' extraction d'un fluide : L'eau potable ou non.*
 - *L' eau chaude.*
 - *L' hydrocarbures liquide ou gazeux*
 - *Maintient en pression d'un gisement de pétrole pour que le pétrole continu à monter en réinjectant de eau.*
 - *L'extraction d'un solide: Sel gemme (en injectant l'eau pour le rendre liquide)*

1. Les différentes familles de forages

On considère deux grandes familles de forages

1. Les Forages d'exploration ou de reconnaissance

Pour la recherche de l'eau, il s'agit de déceler la présence de la ressource hydraulique et d'en déterminer les propriétés qualitatives et quantitatives. Ces forages permettent à la fois de reconnaître la nature des horizons géologiques traversés (coupe géologique du terrain), de déceler chacune des nappes rencontrées et de mesurer avec précision les débits disponibles ainsi que la qualité des eaux, les forages d'exploration sont rapide et Caractérisée par le faible diamètre du trou (généralement 6''1/2).

2. Les forages d'exploitation

Caractérisés par leur diamètre relativement grand (généralement supérieur à 10'') et qui permettent la mobilisation de l'eau pour les différents usages socio-économiques : alimentation en eau potable, irrigation, industrie.

II.Les différentes types de forages

1. Les forages destructifs

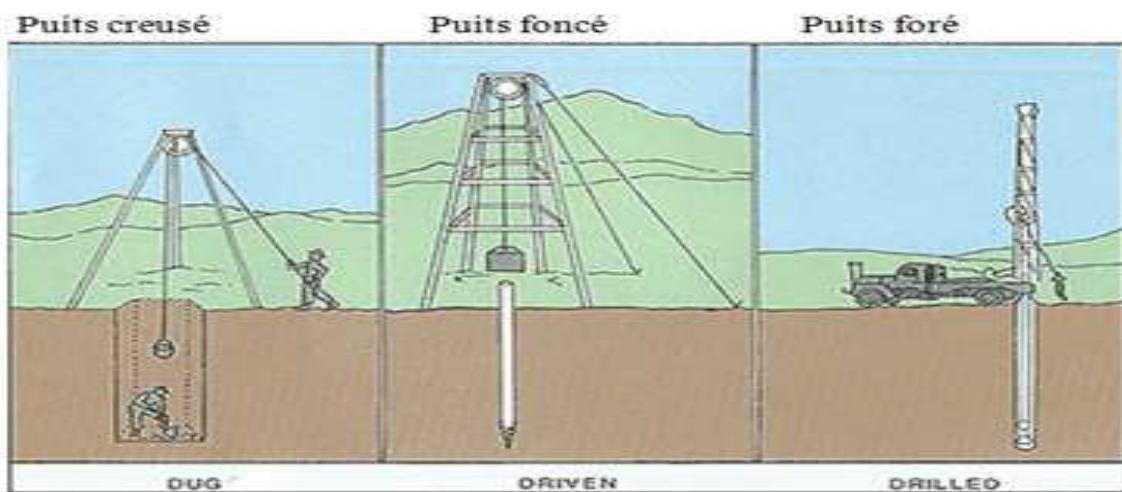
Ces forages peuvent être exécutés par percussion (ou battage), par injection et par rotation.. Le plus souvent, un fluide circule dans le forage et provoque la remontée des échantillons (cuttings) détachés du fond par l'outil et recueillis en surface, ces échantillons ne donnent qu'une information limitée, dans ces conditions l'utilisation des diagrapiques est opportune. Les forages destructifs sont d'exécution rapide et relativement bon marché

2. Les forages non destructifs

La foreuse découpe dans le terrain un cylindre appelé Carotte, puis le remonte à la surface en évitant de le modifier, de le remanier ou de l'altérer. Ce type de sondage fournit une image matérielle des terrains où on pourra faire des mesures de porosité, de perméabilité, etc. Lorsqu'il s'agit de terrains meubles, les propriétés fondamentales des terrains prélevés peuvent être modifiées. Le forage a une action perturbatrice, les efforts mécaniques peuvent provoquer une compaction, les mouvements de torsion introduisent souvent une microfracturation, la circulation de l'eau peut entraîner les particules fines, etc...

III. Types de puits

Les puits peuvent être classés en 3 types :



1. Les puits Creusés

Creuser sur le terrain avec une pelle et une pioche, c'est la technique la plus simple et la plus ancienne. C'est aussi la plus fatigante mais la moins coûteuse. Elle nécessite que le sol soit relativement meuble et la nappe phréatique peu profonde.

2. Les puits foncés (ou puits à pointe filtrante)

Les puits foncés sont réalisés par enfouissement par un mouvement de va et vient vertical d'un tube perforé à bout pointu et de petit diamètre (sauf pour la technique particulière du havage) dans une terre friable, comme le sable ou le gravier.

3. Les puits forés ou forage

Un grand nombre de puits modernes sont des puits forés qui sont creusés par percussion d'un outil dans le sol ou par l'action rotative d'un outil coupant (tarière, foreuse, trépan) tournant autour d'un axe vertical et qui brise et mâche les roches dont les résidus sont remontées le plus souvent par des boues à la surface.

4. La réalisation d'un forage

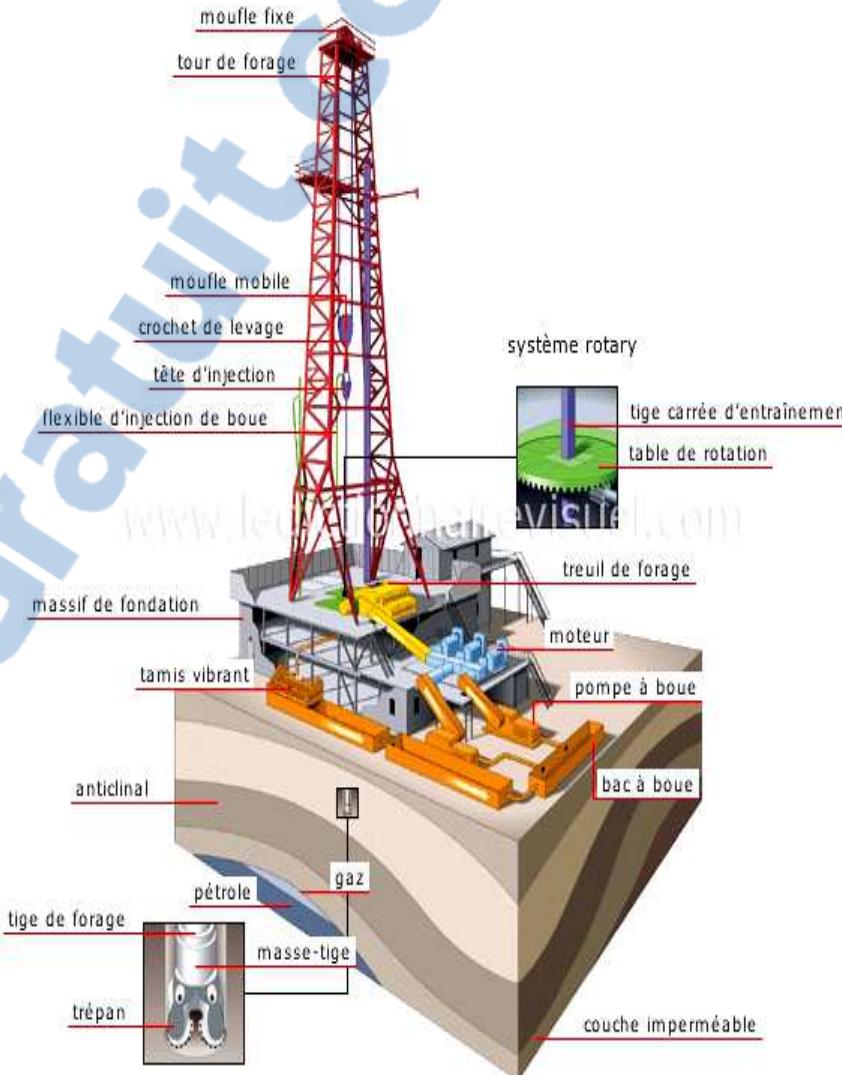
Pour réaliser un forage, on procède en plusieurs étapes :

- on installe tout d'abord un derrick. Il s'agit d'une tour métallique de 30 mètres de hauteur qui sert de support à des tiges de forage. Ceux-ci sont des longues barres métalliques solidement reliées entre elles bout à bout.

- au bout de la première tige de forage, on fixe un outil de forage semblable à une énorme perceuse. Cet outil en trois parties, nommé trépan, est muni de dents ou de pastilles en acier très dur. Si l'on doit forer des roches très résistantes, on n'utilise pas de trépan mais une tête de forage, un seul bloc serti de diamant, beaucoup plus solide ;

- une fois mis en marche, le trépan tourne à grande vitesse. Grâce à ce mouvement rotatif, il broie la roche en petits morceaux ;

- à mesure que l'on s'enfonce dans le sous-sol, on ajoute une nouvelle tige de forage en la vissant à la précédente pour obtenir la longueur souhaitée : on obtient un train de tiges. Pour éviter l'effondrement du trou que l'on est en train de percer, on pose sur toute sa longueur de gros cylindres creux : c'est le tubage. Comme les tiges de forage, les tubes sont installés par segments que l'on fixe les uns aux autres, au fur et à mesure que l'on progresse en profondeur.



IV. les techniques de forage

1. Percussion - Battage :

C'est la méthode la plus ancienne. C'est un bon système si on n'est pas pressé (une moyenne de 20 cm par heure) et si le terrain n'exige pas un tubage sur toute la hauteur. Avec cette technique de forage, on ne ratte jamais l'arrivée à une nappe, mais on ne peut pas détecter les nappes qui sont superposées.

Le forage par battage n'est pas conseillé pour les terrains tendres. C'est l'installation la plus simple et la plus employée pour de petits ouvrages.

L'outil de forage, le trépan est suspendu à un câble relié à un balancier qui communique à l'ensemble un mouvement alternatif. A chaque retombée le trépan désagrège la roche, à la manière d'un burin. Si le trépan est accroché directement au câble, ou sous une masse-tige (fig1), c'est le procédé pensylvanien : s'il se trouve fixé sous un train de tiges, c'est le procédé canadien. Périodiquement, on enlève les débris de roche à l'aide d'un outil cylindrique muni d'un clapet, appelé cuiller de curage

Le forage par battage est encore parfois utilisé aujourd'hui. Il est utilisé pour les puits en gros diamètre.

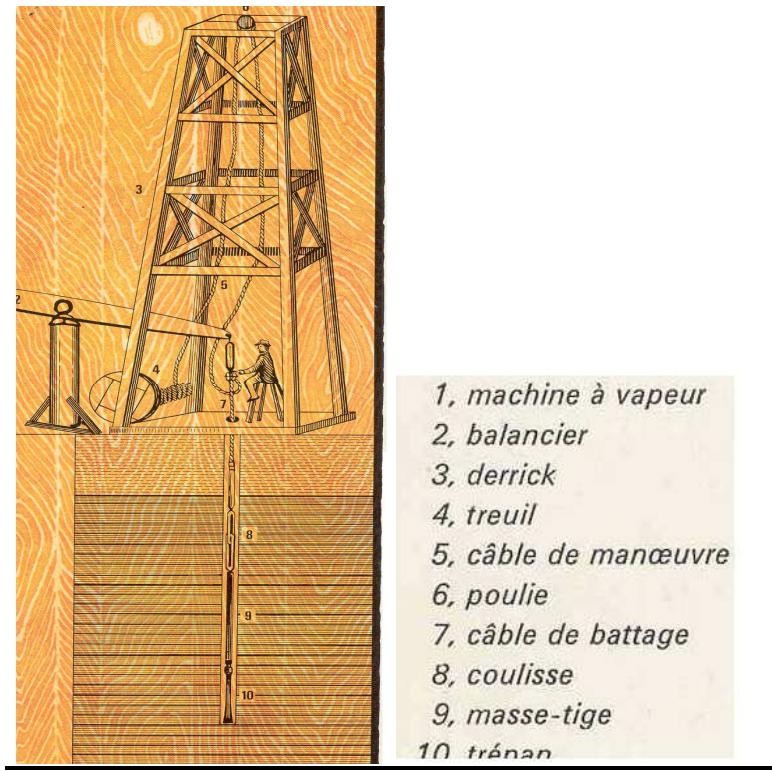


Figure 1: Forage par battage

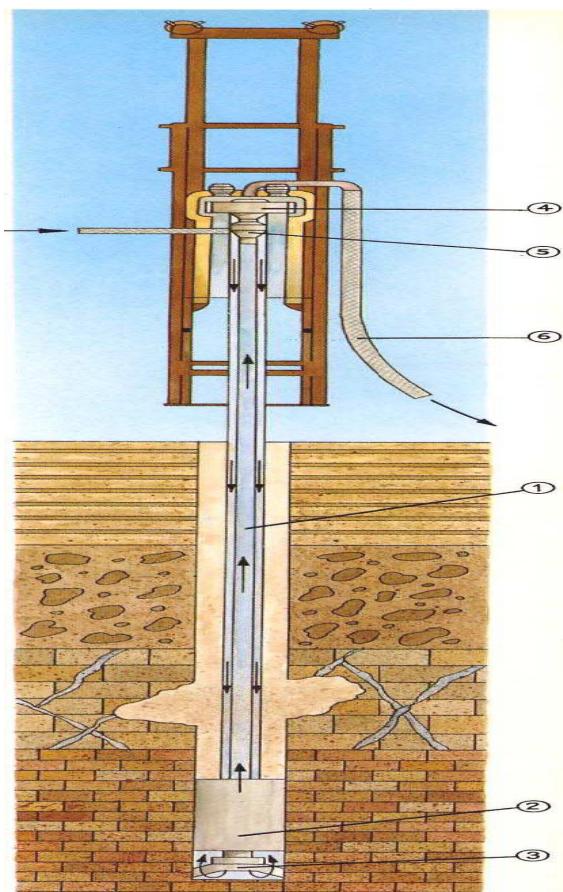
Il présente l'avantage d'être un procédé simple et relativement peu coûteux. Il n'y a pas de fluide de forage (boues) et pas de risques de pollution de la nappe. Le trépan peut être rechargé, reforgé et affûté sur le chantier. C'est une méthode bien adapté pour les forages de moyenne profondeur. Les résultats sont très bons dans les terrains fissurés.

Il a l'inconvénients d'avoir une vitesse d'avancement assez faible. Cette méthode est peu adaptée dans les terrains plastiques ou bouillant dans les lesquels le tubage à l'avancement est nécessaire. Il est impératif de remonter l'outil régulièrement afin de nettoyer le trou (perte de temps). Il y a des difficultés pour équilibrer des venues d'eau artésiennes jaillissantes.

2. Marteau fond de trou :

Ce type de forage (Fig.2) consiste en l'entraînement d'un tubage résistant (acier), par la frappe d'un marteau pneumatique fond de trou prenant appui sur un sabot. Il est comparable au battage, toutes arrivée de l'eau sera visible mais nuisible, l'invasion de boue dans les zones perméables sera une gêne pour l'exploitation. On met moins de bentonites et on ne laisse que le minimum de temps pour l'exploitation. Ce mode de forage est utilisé pour les terrains durs donc la tenue du trou ne se pose pas, il ne fonctionne pas pour les alluvions et les sables, quand on tombe sur une couche sableuse il faut tuber, On peut faire des forages jusqu'à 100m à 200m de profondeur avec un diamètre de 250mm.

Le poids sur l'outil doit avoir une pression suffisante sans l'écraser.



- 1: Tige à double parois filetage
 - 2: Blocs distributeurs stabilisateur
 - 3: Marteau fond de trou
 - 4: Tête de rotation
 - 5: Tête d'injection d'air
 - 6: Récupération des cuttings
- les flèches indiquent le sens de circulation de l'air

Figure 2: Forage marteau fond de trou



3. Havage

Le forage par havage (fig3.), est plus connu sous le nom de procédé Benoto.

Pour des trous peu profonds et de grands diamètres, ce procédé est très employé surtout pour les applications des forages au bâtiment et aux travaux publics.

On place sur le terrain un élément de tubage et on descend à l'intérieur une benne prenante à coquilles qui effectue le forage proprement dit, elle vide progressivement l'intérieur du tubage tant que celui-ci se trouve au-dessus du niveau statique. Au-dessous du niveau statique, l'emploi d'une soupape (fig4.) est recommandé. Le tube descend avec son poids ou par un mouvement provoqué mécaniquement.



Figure 3: Forage par havage



Figure 4: Soupape remonté des débris (cuttings)

Il présente l'avantage d'avoir un avancement rapide à faible profondeur dans les formations meubles notamment alluvionnaires, la réalisation d'ouvrage en gros diamètre

Il a l'inconvénient d'être une méthode inadaptée aux terrains durs. Il présente des frottements des tubages mis en place à l'avancement et des difficultés pour arracher les tubages de soutènement après la mise en place des crépines et du massif filtrant.

4. Rotary

C'est la méthode la plus utilisée pour les forages profonds fig5. La pénétration de l'outil s'effectue par abrasion et broyage du terrain, sans chocs, uniquement par rotation. Le contrôle hydrogéologique est impossible car la boue empêche l'introduction du fluide dans le forage, on fait des diagraphies instantanées ou retardées pour avoir des indications.

On recherche l'eau douce avec la boue saumâtre et l'eau saumâtre avec la boue douce. On établie une courbe de chlorure de boue. Si le forage traverse des formations perméables, le forage consomme plus de boue.

Rotary avec ou sans circulation inverse, utilisé pour les forages très profonds ou de diamètre moyen, nécessite un matériel lourd. Le fluide ici est de la boue bentonitique ou de ses dérivés animée à l'aide d'une pompe à boue. La sédimentation se fait dans des bacs de décantation.

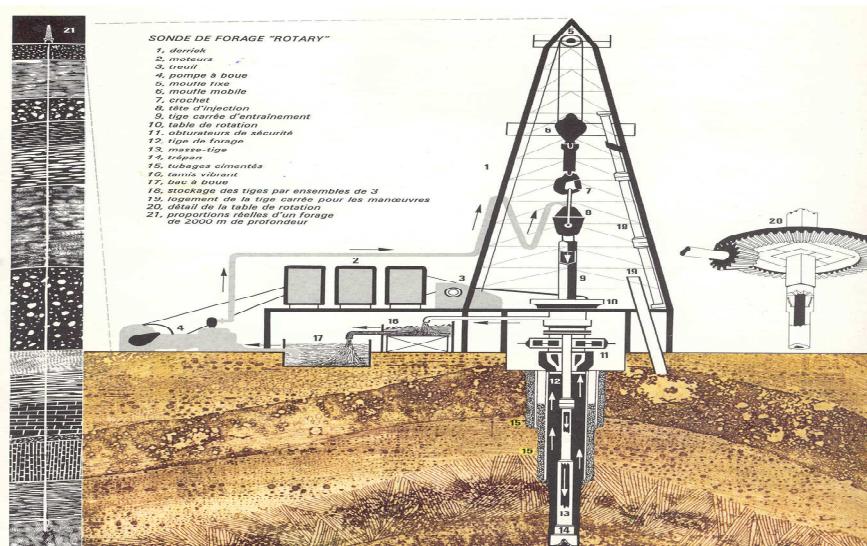


Figure 5: Forage rotary

Il présente l'avantage d'atteindre des profondeurs considérable sans tuber si les terrains s'y prêtent. La vitesse d'avancement en terrains tendres est importante. Ce système permet un bon contrôle des paramètres de forage en fonction des terrains à traverser. Le forage au rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake (fig6.)

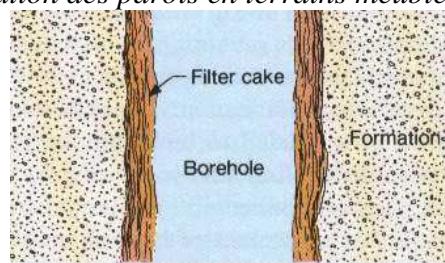


Figure 6: Schéma explicatif de la formation du cake dans le cas de la bentonite

L'inconvénient c'est la nécessité d'un fluide de forage, donc d'un approvisionnement du chantier en eau. Colmatage possible des formations aquifères par la boue à la bentonite. Mélange des cuttings.

V. Exécution d'un forage

Pour exécuter un forage il faut 10 opérations

Personne responsable		
Opérations	Foreur	Géologue
1) <i>Implantation et l'objectif.</i>		+
2) <i>Tubage, carburant, programme du forage, diamètre, point à atteindre</i>	+	+
3) <i>Perforation.</i>	+	
4) <i>Remontée des déblais et creusement (dégagement de ce qu'on sort)</i>	+	+
5) <i>Maintient ouvert du trou (tenu du trou).</i>	+	+
6) <i>Direction du trou.</i>	+	+
7) <i>Remède au incident mécanique.(repêchage)</i>	+	
8) <i>Etablir le logue de forage (coupe verticale).</i>		+
9) <i>Aménagement du forage (complétion).</i>	Exploitation	
10) <i>Conservation du trou.</i>	Exploitation	

Tableau 1: Personnes responsables de quelque opération

1. Les fluides de foration :

Il existe de grandes familles de fluides :

- *Les fluides à base d'eau : composés d'argile (bentonite, montmorillonite).*
- *Les fluides à base d'air : utilisés pour la foration des terrains compacts, semi consolidés (Fig.7)*
- *De l'eau douce ou salée*
- *De la boue constituée d'un mélange colloïdale de bentonite et d'eau ;*
- *De la boue enrichie de 5 à 25 % de gazoil (boue à l'huile)*
- *De la mousse*
- *De l'eau associée à l'air comprimé, etc.*
- *Les fluides de foration ont pour rôle :*
- *L'évacuation des débris ou cuttings de forage*
- *Le refroidissement des parties du trou et de l'outil ;*

- *Le soutènement des parois du trou ;*
- *Le contrôle des pertes d'eau dans les formations perméables ;*
- *Le contrôle des venues d'eau dans le cas des eaux jaillissantes ;*
- *La facilité et l'augmentation du travail de l'outil.*

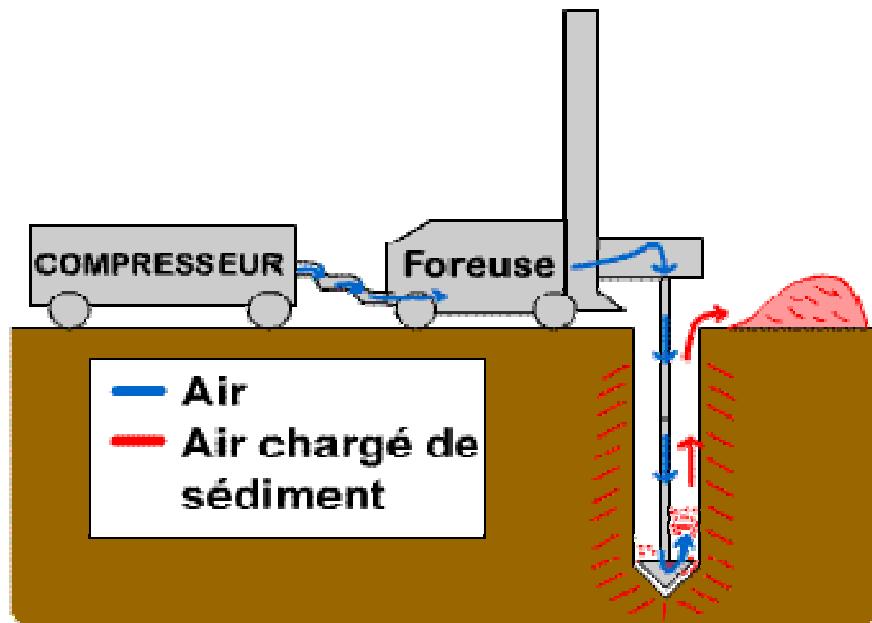


Figure 7: la remontée des cuttings par l'air comprimé

2. Circulation



*Figure 8: Appareil du recyclage de la boue
On a deux types de circulation (fig9.)*

- *Circulation directe*
- *Circulation inverse*

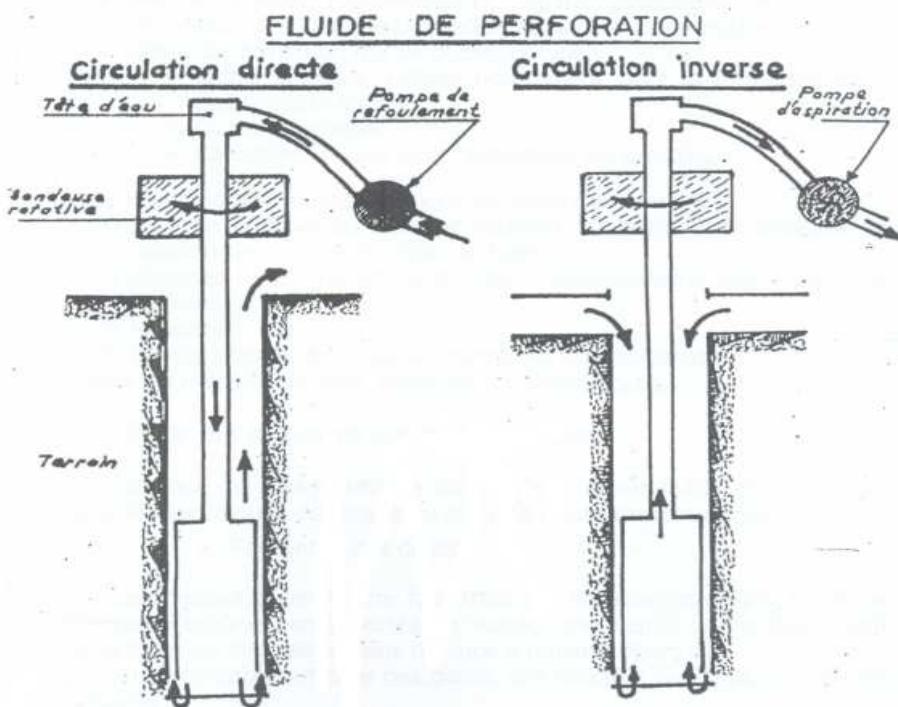


Figure 9: Types de circulation

3. Carottage ROTARY :

L'outil est en diamant, on remonte les tiges, on fixe le carottier et l'outil et on remet les tiges. (fig.10)

La qualité du carottage est égale au taux de récupération, qui dépend de la nature lithologique des terrains et de l'équipe de forage.

Les terrains compacts sont bien carottés, alors que les terrains fracturés sont mal carottés.

Le taux de récupération peut dépasser légèrement 100% et si par exemple, le taux de récupération (fig.11) est inférieur à 100%, on ne peut pas déterminer si la partie manquante est la tête ou le pied.



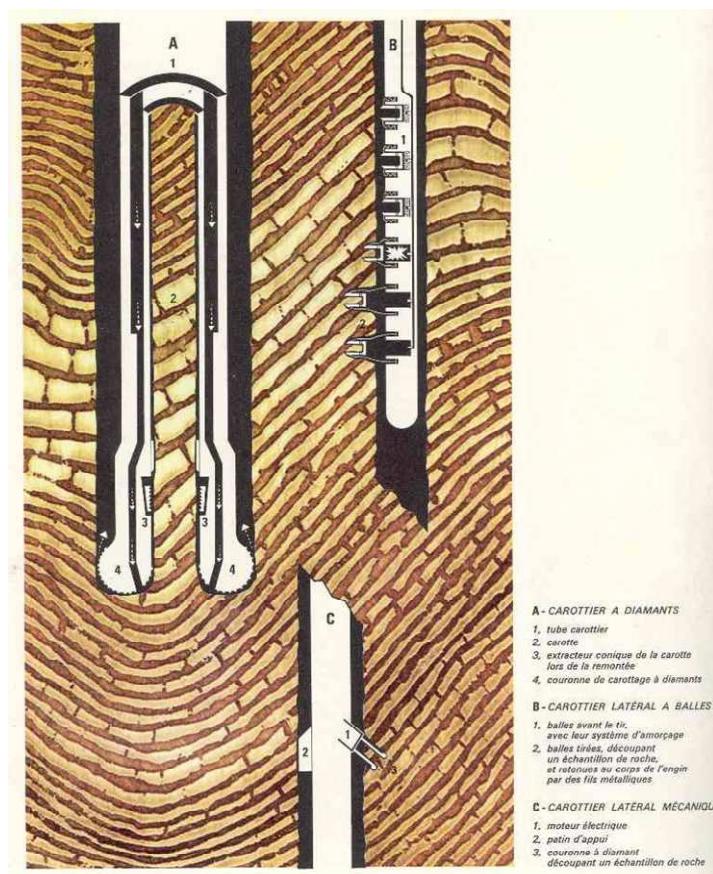


Figure 11: Récupération des carottes

4. Équipements

4.1. Le tubage

4.1.1. Tubes pleins

Le tubage mis en place dès la foration terminée doit supporter la pression latérale d'écrasement.

La pression géostatique, due au poids du terrain qui est au dessus, provoque la dilatation latérale du terrain qui à tendance à s'ébouler si le forage n'est pas équipé par le tubage de revêtement

Le tubage d'un forage est une colonne formée d'éléments en tôle (en acier) roulée, soudé (Fig.12) ou en PVC (Fig.13).



Figure 12: Le tubage soudé



Figure 13: Le tubage en PVC

Pour faciliter le transport, la manutention et le fonçage, la longueur de chaque élément est de 1.5 m ou 2 m.

Un filetage, mâle, existe à chaque extrémité et les raccords de jonction sont double femelle. Les joints de tubes doivent être particulièrement soignés pour résister aux chocs. Ils doivent être étanches à l'air.

Tous les joints sont énergiquement bloqués après nettoyage et graissage soignés des filetages. On pourra avantageusement placer dans le joint une rondelle plastique pour éviter les rentrées d'air.

Pendant le transport, les filetages seront munis de protège-filets. Il en sera de même pour le stockage sur parc entre deux utilisations. Pour être sûr que les joints déjà introduits dans le terrain restent bien serrés, il est bon de donner au tube supérieur une fraction de tour, avec une clef à griffes, après chaque coup de masse ou de mouton.

L'étanchéité d'une colonne de tubes est une condition importante de la réussite des opérations d'essais de nappes et de mesure des débits

4.1.2. Le choix des tubages

a) Le diamètre

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

Il est recommandé de laisser un pouce de jeu entre pompe et tubage.

Le diamètre intérieur sera donc, environ, 5 centimètres plus grand que le diamètre extérieur de la pompe.

Compte tenu des dimensions des groupes électropompes à moteur immergé, couramment utilisés en forages d'eau. Le tableau suivant permet de choisir les diamètres intérieurs d'après les débits prévus :

Diamètres intérieurs minima des tubages (pouces)	Débits maxima prévus (mètres cubes/heure)
4''	3
6''	50
8''	140
10''	250

Tableau 2: Les diamètres intérieurs / débits prévus

4.1.3. La résistance des tubes :

Une colonne peut être exposée :

- Aux efforts de traction
- Aux efforts d'écrasement (pression extérieure centripète)
- Aux efforts d'éclatement (pression intérieure centrifuge) ;
- Aux efforts de flambage et de flexion

4.1.4. Équipement de la zone de captage :

Il s'agit de l'opération de chemisage du trou en vue de son exploitation éventuelle. Dans un forage d'exploitation, On utilise deux types de tubes :

- Les tubes pleins sont placés au niveau des terrains imperméables
- Les tubes perforés (crépines) sont placés au droit des horizons de bonne perméabilité.



Figure 14: Tubage crépiné et tubage plein

4.1.5. Tubes crépines

Le tube crépine est le lien statique entre l'eau de la nappe et le dispositif de pompage. Il doit permettre :

- Le libre passage de l'eau sans entraîner de pertes de charges importantes.
- Empêcher la formation de se détruire par la finesse de ses ouvertures (slot).
- Assurer une filtration primaire efficace.

4-2) La crépine (fig15.): c'est l'élément principal de l'équipement d'un forage d'eau.

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

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

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

Pour déterminer l'ouverture des fentes de crépine et la granulométrie du massif filtrant, il est nécessaire de disposer de la courbe granulométrique des couches des terrains aquifère à exploiter.

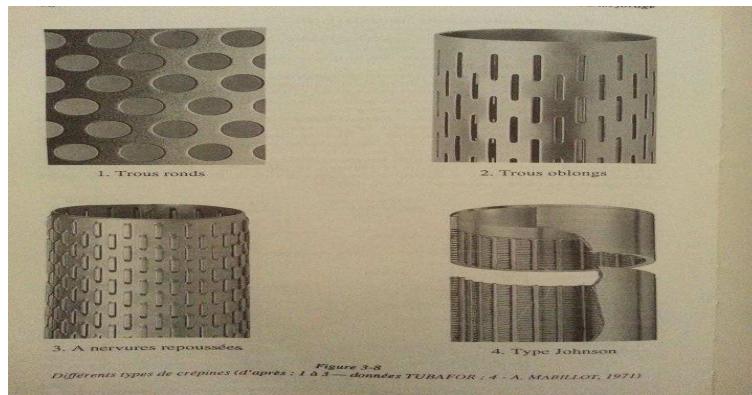


Figure 15: Les différentes sortes de crépines

Les crêpines sont percées de trous (lumières ou slots) qui ont des formes et des dimensions et qui ont une proportion par rapport à l'ensemble, c'est le (coefficients d'ouverture). Le choix de la crêpine appropriée reste fondamental pour la réussite d'un captage.

La forme c'est question de goût;

La crêpine peut être faite de fer, d'acier, de bois et parfois de verre ou de plastique. Les dimensions des ouvertures doivent laisser passer au moins 50% des grains constituant les terrains aquifères ; par la suite, on aura accumulation des grains grossiers autour de la crêpine. Ces grains vont jouer le rôle d'un massif naturel de graviers (dont la porosité et la perméabilité sont élevées vers l'intérieur).

La hauteur de la crêpine doit être sur toute la hauteur exploitable de la couche aquifère et pour économiser, on néglige les couches moins productives. Il faut toujours utiliser une seule crêpine au lieu d'une crêpine composite. Une fois la crêpine placée, on place un massif de gravier à forte perméabilité qui diminue la perte de charge (fig16.)

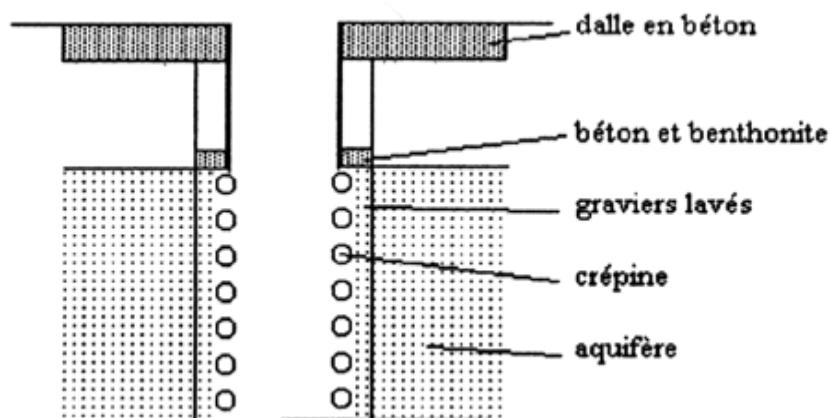


Figure 16: Placement d'un massif de gravier

- *Dans un aquifère multicouche, on crêpine le maximum d'aquifères (fig17.). Dans les nappes libres on ne crêpine que la moitié mouillée inférieure à cause du rabattement.*

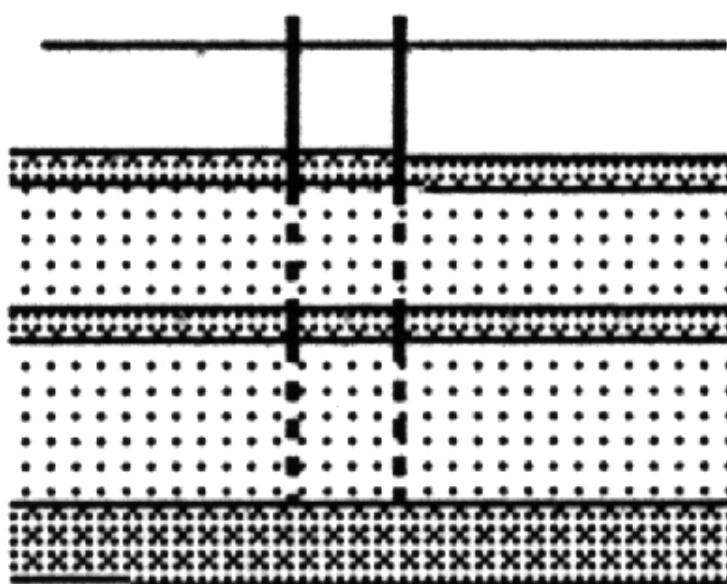


Figure 17: Aquifère multicouche

5. Gravier additionnel



Figure 18: Gravier additionnel

5.1. Rôle du Gravier additionnel

- Améliorer le débit
- Réduire la vitesse de circulation de l'eau à l'entrée de la crête
- Diminuer les risques de l'érosion.

5.2. Caractéristiques du gravier additionnel

Le matériau doit être propre, bien lavé, il doit être rond ou à angles arrondis (fig18.). Le gravier concassé ne convient pas. Enfin, il doit être siliceux, ou en tout cas non calcaire. En effet, s'il est calcaire, il aura tendance à se cimenter au passage de l'eau, ce qui réduirait sa perméabilité.

VI. Développement :

L'ouvrage peut, parfois, ne rien produire ou très peu au premier essai, car les sables situés autour de la crête ferme plus ou moins l'ouverture, alors que d'autres éléments plus fins ont pu aussi pénétrer à l'intérieur. Il faut nettoyer la crête et déplacer les fines particules en procédant à une opération de développement.

Le but de l'opération de développement (fig19.) est de :

- Éliminer la boue (cake) utilisée lors de la perforation
- Améliorer le pouvoir aquifère de l'ouvrage.

-Eliminer de la zone d'influence du forage tous les éléments fins et obstructifs toutes en stabilisant la formation aquifère.

Le développement consiste en l'amélioration de la perméabilité de l'aquifère à proximité du forage. On met en suspension les fines en créant des perturbations dans le fond du forage:

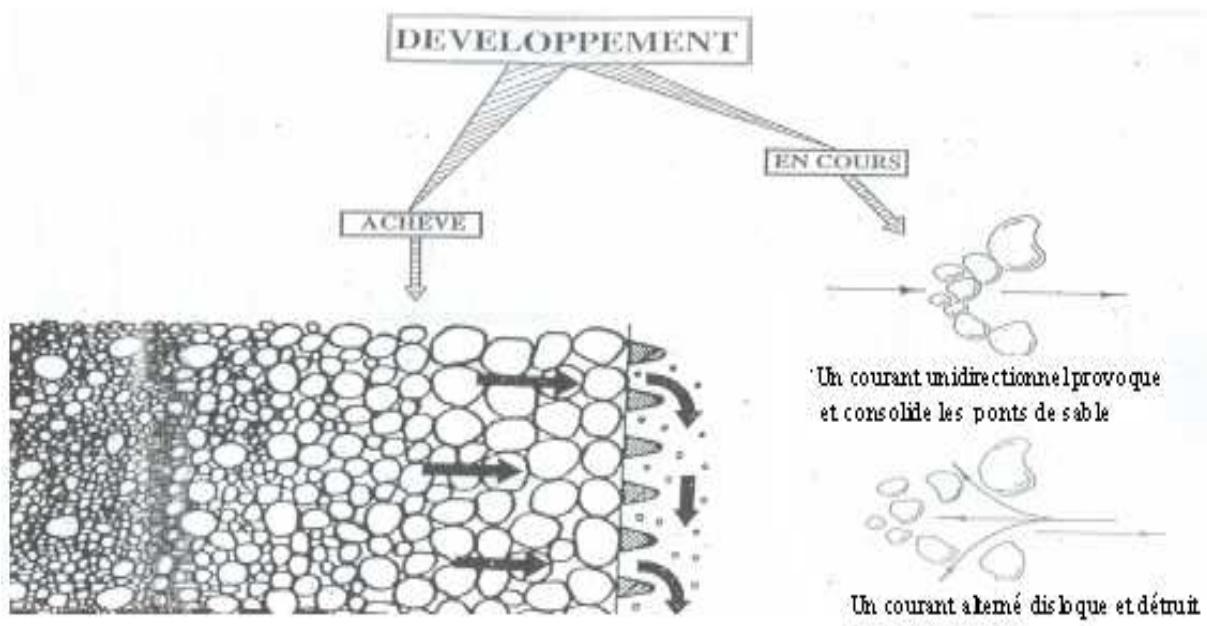


Figure 19: Schéma de l'opération de développement

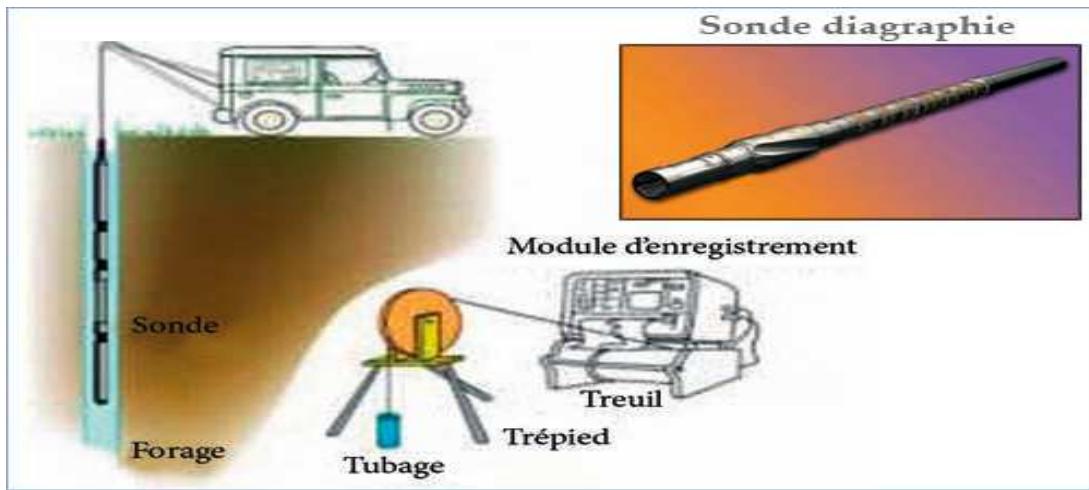
1. procédés de développement

Il existe plusieurs procédés de développement :

- **Air lift** : Elle dure quelques heures avant l'obtention de l'eau claire, son but est le nettoyage préliminaire du forage
- **Pistonnage** : Un piston est actionné dans le forage, la dépression créée au mouvement de remontée attire les fines particules des parois vers l'intérieur du forage où elles seront extraite par les outils. Lors de la descente, l'eau comprimée éloigne dans la formation des particules fines des parois. Durée de l'opération égal 10 à 20 heures
- **Pompage** : Le pompage continu progressivement jusqu'au débit maximum. C'est un moyen simple mais qui entraîne l'usage rapide de la pompe. La durée de l'opération est 12 à 24 heures
- **Secouage** : Le procédé consiste au cours de pompage, à provoquer des arrêts brusques et répétés de la pompe. La variation brutale de pression ainsi créée a pour but le nettoyage de la formation. L'opération peut durer quelques heures jusqu'à l'obtention de l'eau claire.
- **Acidification** : Cette opération ne peut être effectué que pour les roches calcaires. On injecte Hcl dilué sous pression dans le forage en un temps très court afin qu'elle pénètre le plus possible dans les fractures et les fissures de la roches.
- **Explosifs** : utilisation d'explosifs si la formation est résistante.

2. Diagraphie

La diagraphie est un ensemble de techniques qui consistent à collecter et enregistrer en temps réel des informations géologiques sur les entrailles de la terre.
La diagraphie permet, en final, de confirmer les études exécutées précédemment.



2.1. Log PS

Le log P.S. ou log de polarisation spontanée (P.S. en anglais), enregistre des différences de potentiel électrique dues à des causes naturelles.

Ces différences sont mesurées entre une électrode de référence fixe, placée en surface, et une électrode mobile qui parcourt toute la longueur du forage.

2.2. Log électrique

Pour mesurer la résistivité électrique en forage, le principe est le même que pour les méthodes électriques de surface et la résistivité apparente est obtenue par la formule suivante :

$$R_{app} = k * \Delta V / I$$

K : est appelé ici coefficient de sonde.

ΔV : différence de potentiel

I : intensité de courant

Pour chaque outil utilisé, la distance entre électrode d'envoi de courant et électrode de mesure de potentiel est désignée sous le terme d'espacement = **L**.

Plus **L** est grand, plus la profondeur d'investigation de l'outil sera grande.

2.3. La sonde normale

C'est une réalisation de la mesure selon une géométrie très simple. Le potentiel mesuré en **M** est issu de **A** ; **B** et **N** étant considérés à l'infini. **I** étant maintenu constant, le potentiel mesuré varie avec **R** (fig20).

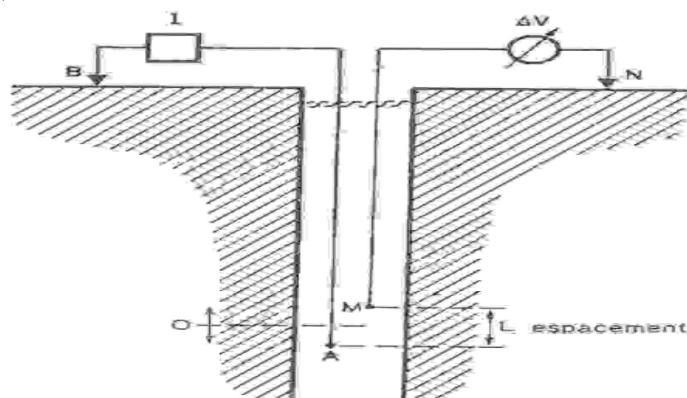


Figure 20: Schéma de principe de la sonde normale

2.4. *La sonde latérale*

Dans ce dispositif, les deux électrodes de mesure M et N sont très proches l'une de l'autre dans le trou de forage. On mesure la différence de potentiel entre ces deux électrodes. Le point de mesure est O , milieu de MN .

2.5. *Les diagraphies nucléaires*

Font usages intensif de la radioactivité dans les forages

2.6. Log gamma-ray

C'est le plus simple et mesure de la radioactivité naturelle

D'autre part, le log gamma permet d'estimer le pourcentage d'argile dans les formations sableuses. Contrairement au log P.S. qui a la même fonction, il peut être utilisé dans les forages tubés, en présence de boues résistantes et dans les forages remplis d'air.

De très nombreux isotopes naturels sont radioactifs. Seuls trois d'entre eux (l'uranium 238U, le thorium 232Th, le potassium 40K) jouent un rôle notable dans la radioactivité naturelle des minéraux et des roches. Les autres sont extrêmement peu stables ou extrêmement rares.

2.7. Log gamma-gamma ou log de densité

Les diagrphies de cette nature sont toutes basées sur le principe de l'interaction entre une radioactivité incidente et les composants de la formation soumis au bombardement radioactif. Permet la mesure de la densité des divers formations traversés par le forage et de déduire les différentes porosités.

2.8. *Log neutron*

La source qui bombarde les formations à étudier émet des neutrons rapides, quant aux récepteurs, ils sont de types variés. En hydrogéologie, on utilise fréquemment le log NEUTRON-NEUTRON dont le récepteur est un compteur de neutrons à un certain niveau d'énergie.

2.9. Log sonique

Le log sonique est basé sur l'étude de la propagation dans les roches d'ondes acoustiques générées par l'outil de diagraphie qui apporte des renseignements sur les propriétés mécaniques des roches traversées.

Le log sonique mesure le temps de transit ΔT ($\mu\text{s/pied}$) entre deux récepteurs, d'ondes longitudinales envoyées dans la formation.

A partir des renseignements apportés par ces différentes diaigraphies on peut déduire la coupe lithologique des terrains traversés. La valeur scientifique de ces coupes a pu être vérifiée à certains endroits, à l'aide des renseignements apportés par le carottage

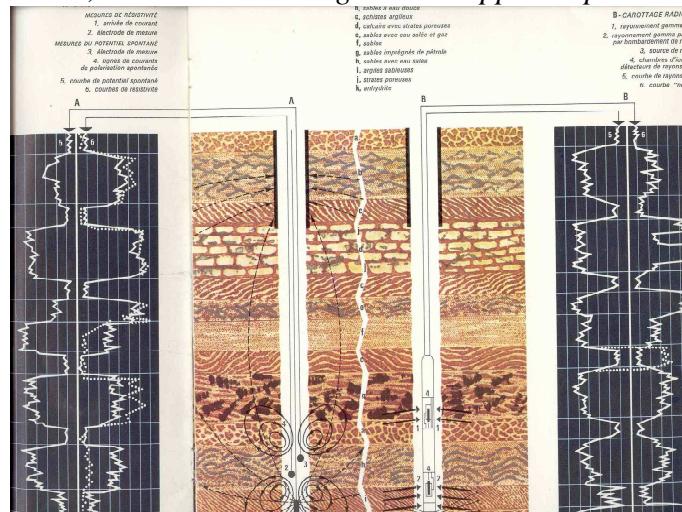
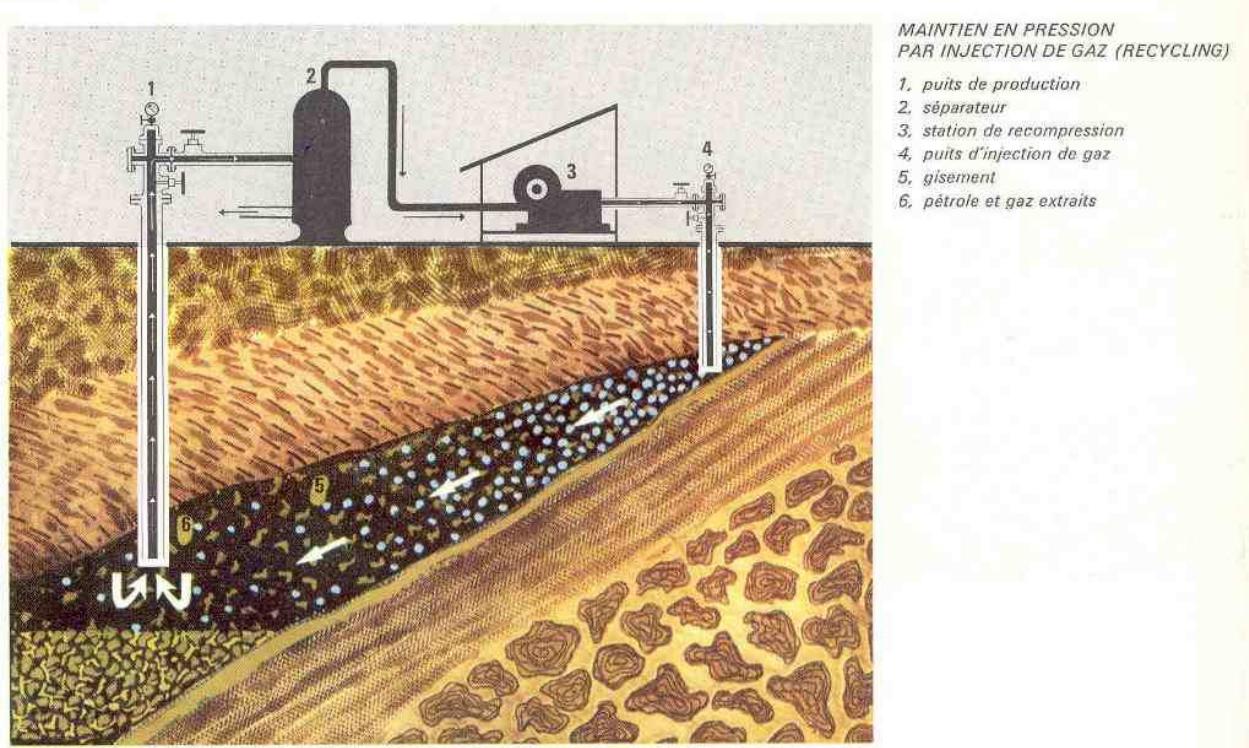


Figure 21: corrélation entre diagraphe et lithologie



pour maintenir la poussée de l'eau sous-jacente. Gaz ou eau, ces fluides de maintien en pression sont envoyés dans le gisement par des puits spécialement forés à cet

effet, les puits d'injection. On peut aussi employer la technique du "balayage" des couches par l'eau ou les solvants, ainsi que la combustion "in situ".

3. Avantage de la diagraphie

Les forages seuls, aussi bien les forages carottés que les forages destructifs, ne fournissent pas une image suffisamment complète des aquifères. Cette carence explique l'emploi de plus en plus systématique des diographies lors des études hydrologiques.

Par rapport au carottage, les diographies présentent les avantages suivants :

- *Un log peut être conservé indéfiniment et réinterprété à tout moment ;*
- *Le volume de roche sur lequel portent les mesures enregistrées est beaucoup plus grand ;*
- *L'enregistrement continu ;*
- *Le coût est beaucoup moins cher ;*
- *La représentation graphique des logs permet une interprétation visuelle rapide directement sur le site de forage.*

1. Types de pompes

Pompe de surface : Il faut que la pompe soit placée à moins de 6m de la surface de l'eau. Il faut faire descendre la pompe au fur et à mesure que le niveau d'eau diminue et la remonter à la fin du pompage.

Pompe immergée : (fig21.)

C'est une pompe qui supporte les eaux salées, elle ne permet pas d'avoir des débits forts entre 1 à 10m³/h.

Pompe à vis d'Archimède :

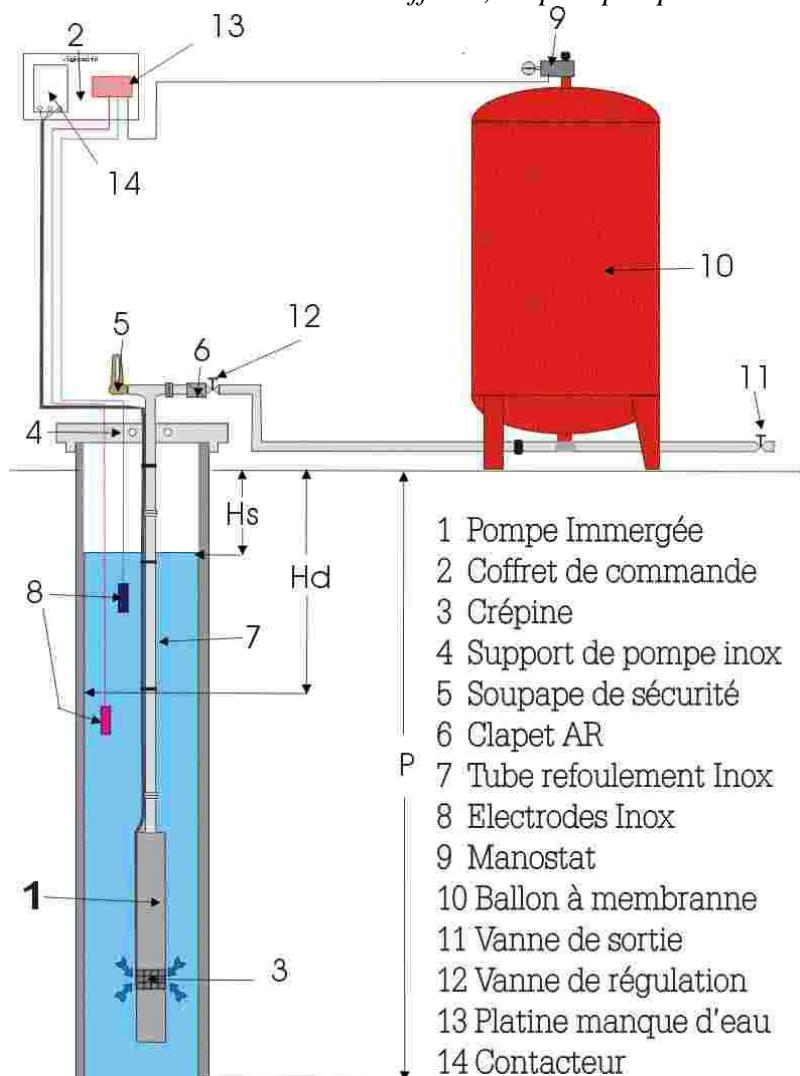
Le débit dépend du diamètre et de la vitesse de rotation, cette pompe supporte le sable et l'eau salée.

Pompe à turbine :

Immergée, fonctionne en rotation mécanique par un moteur électrique, utilisé pour des débits très importants. Ces pompes ne supportent pas l'eau salée, sauf avec un filtre spécial.

Pompe émulseur (air lift):

La mesure des débits est très difficile, on peut pomper l'eau même extrêmement chargée



Type d'installation:
 H_s = Niveau statique de l'eau,
 H_d = Niveau dynamique de l'eau,
 P = Profondeur de l'ouvrage

Figure 22: Pompe immergée

VII. *Captage des eaux souterraines par forage*

Quelque soit le mode de forage et sauf si le terrain est cohérent (trou solide), il faut placer un tubage (un tubage d'acier) constitué par un ensemble d'éléments vissés ou soudés.

Pour les forages importants la résistance de l'acier peut être étudiée en fonction des attractions. Le tubage doit être cimenté au terrain (cimentation) sur toute la hauteur ou sur une partie au moins, pour cela il faut avoir une idée sur le volume à cimenter. Pour les petits forages, on cimente du haut avec un tuyau ; mais pour les forages de grande profondeur, on cimente du bas vers le haut : on met le ciment dans le trou et on exerce une pression par la boue qui le pousse, une fois arrivé en bas il va remonter au niveau des flancs qu'on veut cimenter. Cette méthode est utilisée pour éviter la formation des vides dans la cimentation : phénomène de shanelling (passage différentiel), qui survient lors de l'injection rapide du ciment. On suite on vérifie que le ciment est bien compact par des diagraphies. Il faut aussi bien choisir son ciment, car il y a des corrosions dues à des eaux contenant le chlorure.

1. *Les essais de pompage*

On équipe le puits par l'installation de pompes quelque soit leurs types. Mais il faut tenir compte du débit de la pompe.

Les essais de pompage se réalisent pour deux raisons

La détermination des caractéristiques hydrodynamiques (transmisivité, coefficient d'emmagasinement) de l'aquifère et l'évaluation du débit d'exploitation de l'ouvrage ayant subit l'essai.

La détermination des caractéristiques hydrauliques

pompage par palier

Soit Q le débit pompage (d'après les résultats de développement).

- 1er palier : pompage avec un débit Q pendant un temps t .
- 2ème palier : pompage avec un débit $2Q$ pendant le temps t .

Et ainsi de suite jusqu'au n palier :

A la fin de chaque palier on aura des couples rabattement / débit.

Interprétation des pompages par palier

Les méthodes graphiques constituent à tracer une courbe rabattement / débit

$s = f(Q)$ en coordonnée arithmétique et/ou en coordonnée bi-logarithmiques.

Courbe rabattement / débit ou courbe caractéristique

C'est la représentation graphique de la relation entre débit pompé et les rabattements mesurés dans un ouvrage.

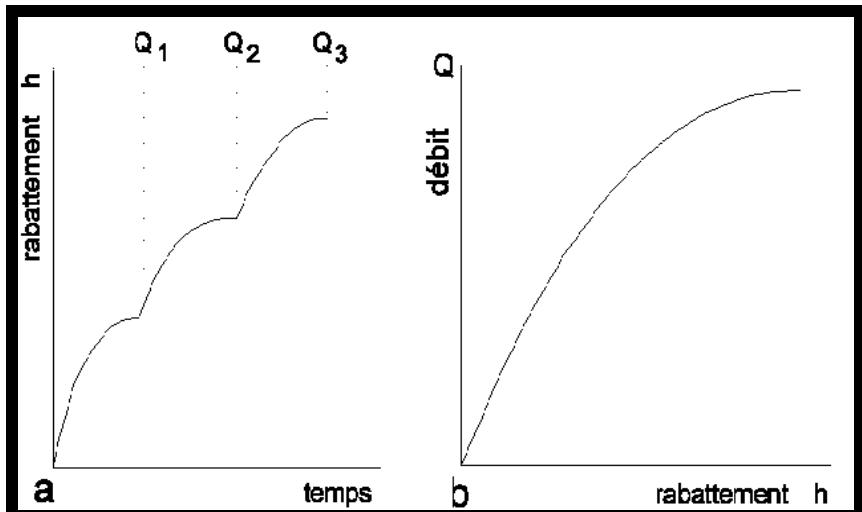


Figure 23: Courbe rabattement / débit ou courbe caractéristique

Mesures des variations d'eau au cours des pompages

On utilise les sondes électriques qu'on plonge dans un tube indexe, car le niveau d'eau n'est pas stable et la sonde électrique risque de s'accrocher.

Mesures divers :

Mesure du temps avec montre ou chrono.

Mesures de la qualité de l'eau, (température, résistivité, PH...).

Pour cela il faut utiliser. Des flacons thermomètre, ph-mètre, Résistivimètre...

Au cours de l'essai de pompage, on va noter tout ce qui concerne le débit et le niveau d'eau au cours du pompage.

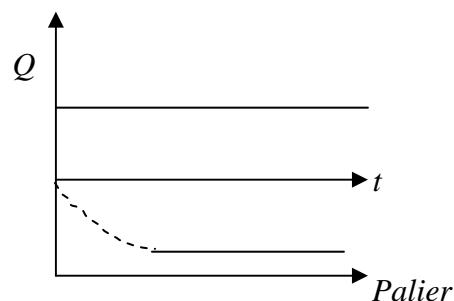
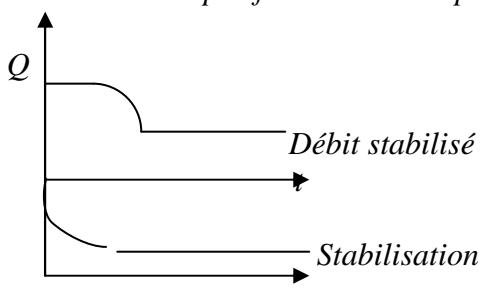
Temps	Profondeur	Débit (Q)
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Interprétation :

Dans un pompage d'essai, on cherche un débit pour un rabattement donné, on cherche la perméabilité, la transmisivité, le rayon d'action et l'emmagasinement. On fait des pompages en :

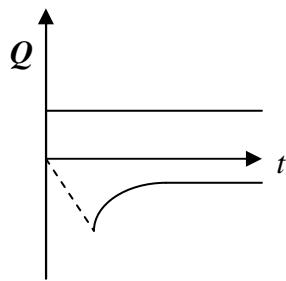
1) Régime permanent :

Le débit ne sera pas fonction du temps :



2) régime transitoire (non permanent) :

On fait intervenir le temps :



On pompe à débit constant, on observe l'évolution du niveau de l'eau dans le puit, on arrête la stabilisation et on observe la remontée.

Pour l'interprétation de ces 2 types d'essais, on a les méthodes suivantes :

- ✓ Méthode de DUPUIT ————— Régime permanent
- ✓ Méthode de PORCKET
- ✓ Méthode de THEIS
- ✓ Méthode de JACOB } Régime non permanent

Toutes ces méthodes ont été établies pour les nappes captives, puis on les a étendues à des nappes libres avec des modifications. Toutes les formules supposent un milieu homogène et isotrope du point de vue perméabilité, on suppose que la nappe est infinie : s'étend latéralement, elle est initialement horizontale reposant sur un substratum horizontale et la loi de DARCY est réalisée.

VIII. Caméra-vidéo en forage

Une inspection caméra de petit diamètre est réalisée avec la pompe en place. Cette première investigation peut être complétée par des diagraphies afin d'affiner l'observation visuelle. Ces mesures permettront de définir les variations de diamètre (pour localiser les réductions éventuelles et estimer l'importance du concrétonnement), contrôler la cimentation du tubage, localiser les principales venues d'eau, déterminer leurs caractéristiques géochimiques, vérifier la verticalité.

OBJECTIF : C'est la mesure de base, elle permet de regarder et d'observer l'intérieur des ouvrages pour :

- réceptionner à la fin des travaux,
- établir un diagnostic en cas d'incident.

Principe

Prise de vue par capteur vidéo dans une caméra, sous éclairage.

Transmission du signal en surface par câble ombilical.

Domaine d'application :

Inspection de forage : chutes d'objets, état du tubage.

Eaux souterraines : venue d'eau chargée, fracturation.

Géothermie : dépôts et corrosion, point de bulle.

Génie Civil : présence de cavité.

Conditions d'application :

Forage sec ou en eau claire.

Interdiction d'application :

Forage avec fluide opaque.

Champ d'investigation :

Local ou ponctuel.

Résultat fourni :

Image vidéo en temps réel de la paroi du forage (vue axiale et/ou radiale).

Enregistrement sur bande vidéo, avec diagnostic de l'auscultation.

Recommandations pour l'expression du besoin par le client :

Préférer un cahier des charges exprimé en terme de besoin à un programme technique préétabli.

Informations utiles pour établir le programme technique : coupe technique de l'ouvrage, régime d'exploitation, qualité de l'eau, niveau statique, diamètre et profondeur du forage.



Figure 24: Caméra en forage

Conclusion

Le forage permet d'avoir accès à une énergie propre et inépuisable. Peuvent faire l'objet d'un suivi et de tests quantitatifs, ce qui permet d'évaluer avec précision les paramètres de l'aquifère (comme lors de la modélisation d'aquifères), le rendement, ainsi que le dimensionnement optimal de la pompe, des systèmes de stockage, de distribution et peut servir à surveiller le niveau des eaux souterraines a d'autres fins, par exemple pour des études sur l'environnement ou l'évacuation des déchets. Mais au contraire, Il peut être fragile à la dégradation et irréparablement détruit sans beaucoup d'efforts s'il n'est pas bien protégé sans avoir un accédé directe, pour l'entretien ou les réparations, aux parties construites qui se trouvent sous terre.

Webliographie

http://www.eurofor.com/fileadmin/user_upload/fichetech/geotechnique/geotechnique_geo305.pdf
[http://www.tec-sas.com/SBC/TecSBC_fr.nsf/0/2051234FB5D43AF6C1257328003BFC35/\\$file/ABYSS.pdf](http://www.tec-sas.com/SBC/TecSBC_fr.nsf/0/2051234FB5D43AF6C1257328003BFC35/$file/ABYSS.pdf)
<http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/cours-forage-dirige-le-forage-horizontal-procedes-generaux-de-construction.pdf>
http://sigessn.brgm.fr/IMG/pdf/fiche6b_Guide-Forages.pdf
<http://www.outils-cetu.fr/didactu/tunnel/reconnaissances/essaisinsitu/MethGeophys/Diagraphiedeclimation.php>
<http://www4.ac-nancy-metz.fr/base-geol/annexe.php?id=17&numpage=4>
<http://www.ideeseaux.com/fileadmin/documents/Diographies.pdf>
http://www.me2i.fr/megs_cont.htm
http://www.stump.ch/dbFile/778/lagevermessung_von_bohrungen_f.pdf.pdf
<http://geo.polymtl.ca/~marcotte/glq3401min/chapitre3.pdf>
<http://www.ideeseaux.com/fr/metiers/diagnosticrehabilitation/>
<http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/plateformes-petrolières>
<http://landrytshibanda.blogspot.com/2012/10/les-avantages-et-inconvénients-du.html>
http://www.dpmf.fr/Produits/Equipement_de_Carottage.html
<http://www.technidrill.com/fr/produits/carottage/couronnes-carottiers-a-cable/>
http://assocsga.org/site/autres/Forage_destructif_en_geotechnique.pdf
http://www-lms.univ-poitiers.fr/IMG/pdf/Journal_Bearing-Francais_v2008.pdf
http://www.stump.ch/dbFile/778/lagevermessung_von_bohrungen_f.pdf.pdf
http://radium.net.espci.fr/esp/CONF/2006/C06_05/conf05_2006.htm