



Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme

de licence professionnelle en :

Génie de l'eau

Thème :

Réalisation d'un forage d'eau

Réalisé par :

BOUTOBBA ABDERAOUF

Encadré par :

- M^{lle} AICHOUNE MERZAKA

Grade / Ingénieur d'Etat en hydraulique

Corrigé par :

- Mme. BALOUL D.

Maitre-assistant (IT Bouira)

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier toute l'équipe pédagogique de l'Institut de Technologie de l'Université Akli Mohand Oulhaj de Bouira et les intervenants professionnels responsables de l'intervention, pour leur partie théorique et pratique.

*Je remercie également M^{elle} AÏCHOUNE
MERZAK pour l'aide et les conseils abondants
concernant les informations mentionnées dans ce mémorandum,
qu'elle m'a fournis au cours des différents processus de suivi. Je
tiens également à remercier tout particulièrement et à lui
exprimer ma gratitude.*

Dédicace

À MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentie pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez Depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A MES CHERS ET ADORABLE FRÈRES ET SOEURS

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protégé et vous garde.

A MA GRAND MÈRE

Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et bcp de santé et de bonheur dans les deux vies.

À MES AMIS DE TOUJOURS : ISMAIL, YUCEF, AMINE,
ABDERAHIM, FAYCEL, RAHMI, LAAMOURI, MADJID,
ABD ELHAKIM ...

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

ABD ERAOUF



الملخص:

التنقيب هو مجموع العمليات التي تؤدي الى حفر حفرة قطرها سنتمترات و عادة ما تكون عمودية و تستخدم في اغراض علمية و اقتصادية ، التنقيب يتم من قبل مهندسين لتطوير الموارد العميقة كالابار التقليدية لعدم ضمان الغذاء او التزويد المستدام للناس في سياق تغيير المناخ الذي يتسم بعجز هطول الامطار ،وبالتالي إنخفاض في التغذية بالمياه السطحية ،فالتنقيب الذي يلتقط المياه الجوفية التي لا يمكن الوصول اليها بدون وسائل يبدوا بديلا ، وبالتالي يعتبر استراتيجية للتكيف مع السياق الحالي للمناخ .

الكلمات المفتاحية حفر ، حفر مياه ، آبار ، مناسب ، جمع المياه

Résumé :

Le forage est un ensemble d'opérations qui permet de creuser un trou de diamètre centimétrique à décimétrique, généralement vertical et utilisé à des fins scientifiques ou économiques. Le forage d'eau est un ouvrage réalisé par des professionnels pour la mise en valeur des eaux profondes. Les puits traditionnels ne permettent pas d'assurer une alimentation durable des populations dans un contexte de changement climatique, caractérisé par un déficit pluviométrique et une diminution corrélative de la recharge des nappes superficiels. Le forage qui permet de capter les eaux profondes inaccessibles à partir des moyens traditionnels, apparaît comme une alternative, donc une stratégie d'adaptation au contexte actuel de changement climatique.

Les mots clé : forage, foraged'eau, Les puits, nappes, capter les eaux.

Abstract:

Drilling is a set of operations that allows a hole of centimeter diameter to be dug at decametric, usually vertical and used for scientific or economic purposes. Water drilling is abying professionals for deep water development. Traditional wells do not ensure sustainable food for people in a context of climate change climate change, characterized by a rainfall deficit and a consequentive decrease in the recharge of the water table Superficial. Drilling that captures inaccessible deep water from the means appears to be an alternative, thus a strategy to adapt to the current context of climate change.

The key words: drilling, water drilling, Wells, water tables, collecting water.

List des figures

- Chapitre I : Généralités sur les forages.

Figure I.1 : Les différents types des puits

Figure I.2: Principaux types de forage et de captage.

Figure I.3 : Les différents types de forages

Figure I.4 : Exemple d'un forage à profondeur vertical à Champotran en France

- Chapitre II : Exploration et reconnaissance des forages.

Figure II.1 : Exemple d'une Carte hydrogéologique

Figure II.2 : Exemple d'une Carte hydrogéologique

Figure II.3 : Schéma prospection par sismique de réfraction

- Chapitre III : Les techniques des forages.

Figure III.1 : Battage au câble « Technique Pennsylvanienne »

Figure III.2: Battage à tiges « technique canadienne »

Figure III.3 : Schéma simplifié d'une installation de foragerotary.

- Chapitre VI : Hydrochimie des eaux de forages.

Figure IV.1 : Alourdissement d'une boue par la baryte [5]

Figure IV.2 : Allègement par l'eau d'une boue de forage [5]

Figure IV.3 : Appareil WTW 720 de pH température

Figure IV.4 : Appareil de conductivimètre

Figure IV.5 : Appareil de flamme photomètre 410 pour mesure les cations

Figure IV.6 : Appareil DR 2000 pour mesure les anions

Figure IV.7 : Diagramme de piper

- Chapitre V : La méthodologie de réaliser un forage d'eau.

Figure V.1 : Image d'un forage

Figure V.2 : Exemple de critères d'implantation d'un forage.

Figure V.3 : La hauteur de la rehausse au-dessus du sol est de 0,50 mètres.

Source documentaire : d'après la plaquette « Des forages de qualité en région Centre »

Figure V.4 : Capot de fermeture
Source documentaire : d'après la plaquette « Des forages de qualité en région Centre »

Figure V.5 : Protection de la tête de forage
Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Le forage en Bretagne »

Figure V.6 : Configuration de captage en zone inondable.

Source documentaire BRGM

Figure V.7 : Configuration de captage en zone inondable. Tête de puits submersible

-Source documentaire BRGM-

Liste des tableaux

Tableau II. 1 : Résistivité de sol et saturée.....	14
Tableau IV.1: Les normes de potentiel Hydrogène dans l'eau.....	30
Tableau IV.2: Conductivité et les caractéristiques de l'eau.....	31
Tableau IV.3 : Les méthodes utilisées pour déterminer les éléments.....	35

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

List des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction Générale1

Chapitre I : Généralités sur les forages

I. Introduction2

I.1. Définition d'un forage2

I.2. L'objectifs de réalisation des forages4

I.3. Les différents types de forage5

I.4. Le fonctionnement d'un forage6

I.5. Conclusion7

Chapitre II : Exploration et reconnaissances des forages

II. Introduction8

II.1. Les principaux domaines d'intervention du forage8

II.2. Méthodes géophysiques9

II.3. Conclusion15

Chapitre III : Les techniques de forage

III. Introduction16

III.1. La technique de Battage16

III.2. Paramètres de forage20

III.3. La technique de la circulation inverse (rotary à circulation inverse)21

III.4. La technique marteau fond de trou (MFT)22

III.5. La technique ODEX23

III.6. La technique de Havage23

III.7. Conclusion24

Chapitre IV : Hydrochimie des eaux de forage

IV. Introduction25

IV.1. Les fluides de forage.....25

IV.2. Qualité des données36

IV.3. Conclusion38

Chapitre V : Méthodologie de réalisation d'un forage d'eau

V. Introduction39

V.1. Les étapes de réalisation d'un forage39

V.2. Condition d'implantation d'un forage42

V.3. Organisation d'un chantier de forage et prévention des risques de pollution44

V.4. Condition techniques et précautions45

V.5. Installation du chantier de forage46

V.6. Equipement de la tête d'un forage46

V.7. Conclusion50

Conclusion générale

Conclusion générale51

Introduction Générale

Introduction Générale

Autant qu'un étudiant en troisième année Génie de l'Eau de l'Institut des Sciences Techniques Appliquées (ISTA-Bouira), où je fais partie de la troisième promotion, je suis arrivé à mon dernier stade dans cet institut, et c'est arrivée le temps d'entamer un projet de fin d'étude afin de mettre cette application la formation théorique obtenue pendant les cinq semestres à travers ce mémoire.

L'exploitation et la gestion rationnelle des eaux souterraines repose sur des connaissances théoriques et pratiques que rassemble et coordonne cet ouvrage. Les données théoriques, indispensables pour bien comprendre les phénomènes qui régissent la présence d'eau dans le sol et le sous-sol sont exposées et développées pour permettre de dégager les conditions naturelles de gisement de l'eau et l'adéquation des méthodes de recherche des eaux souterraines dans les différents contextes hydrogéologiques.

Les notions essentielles relatives aux différentes techniques de réalisation de forage sont décrites avec une orientation particulière sur le dimensionnement de l'équipement des ouvrages, les fluides de foration et la cimentation. Les pompages d'essai font l'objet d'un vaste développement axé sur les méthodes d'interprétation et d'identification des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère ; de nombreuses solutions graphiques sont données.

Le présent travail est organisé sous formes de cinq chapitres comme suit :

- Chapitre I : Généralités sur les forages
- Chapitre II : Exploration et reconnaissance des forages.
- Chapitre III : Les techniques des forages.
- Chapitre VI : Méthodologie de réaliser un forage d'eau.

Et enfin, je terminerai mon rapport avec une conclusion générale pour clôturer le travail.

Chapitre I : Généralités sur les forages

I. Introduction

Un ouvrage est un « objet résultant d'un travail (plus précisément du travail d'un ouvrier, d'un artisan ou encore d'un artiste, notamment d'un point de vue technique) », Ce terme s'applique dans différents domaines. [1]

Dans le domaine de l'hydraulique ; Les ouvrages permettant de capter les eaux souterraines, ou points d'eau, sont généralement des forages, des puits ou des sources. Toutes les données sur les forages et ouvrages souterrains du territoire sont conservées dans une base de données organisée et gérée par le BRGM. [2]

I.1. Définition d'un forage

Un puits à eau ou un forage est un ouvrage de captage vertical permettant l'exploitation de l'eau d'une nappe, contenue dans les interstices ou dans les fissures d'une roche du sous-sol qu'on nomme aquifère. L'eau peut être remontée au niveau du sol soit de façon très simple grâce à un récipient (seau par exemple) soit plus facilement grâce à une pompe, manuelle ou motorisée.

Les puits et les forages sont très divers, que ce soit par leur profondeur, leur volume d'eau, leur coût ou la pureté de celle-ci, justiciable ou non d'un traitement avant de pouvoir être consommée (et qu'il convient d'ailleurs de contrôler non seulement à l'achèvement des ouvrages mais régulièrement).

Ces puits sont peu à peu tombés en désuétude. Ils sont sensibles :

- Aux variations saisonnières (maximum de débit en hiver et minimum en automne) et climatiques (baisse marquée des niveaux des nappes en période de sécheresse prolongée, pouvant aller jusqu'à l'assèchement temporaire de l'ouvrage ;
- À la pollution de l'eau, principalement par les nitrates et pesticides.

Actuellement, les puits en anneaux de béton restent adaptés dans les terrains très meubles, en particulier dans les alluvions.

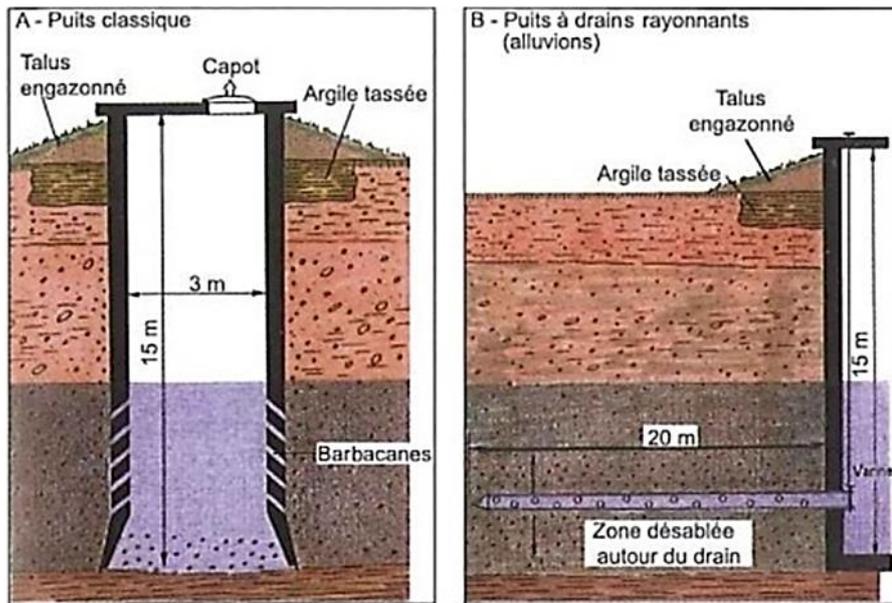


Figure I.3 : Les différents types des puits

Dans la majorité des cas, le captage des nappes d'eaux souterraines nécessite la réalisation de forages, avec l'intervention d'une foreuse. Les forages sont réalisés par des entreprises spécialisées.

Le forage est l'action de creuser un trou (aussi appelé « puits » dans le domaine de la prospection) dans la Terre. L'équipement du puits, tels les tubages, et de manière générale les moyens techniques permettant de creuser, varient en fonction de son dimensionnement et de ses objectifs. On fore pour prospecter et/ou exploiter le sous-sol.

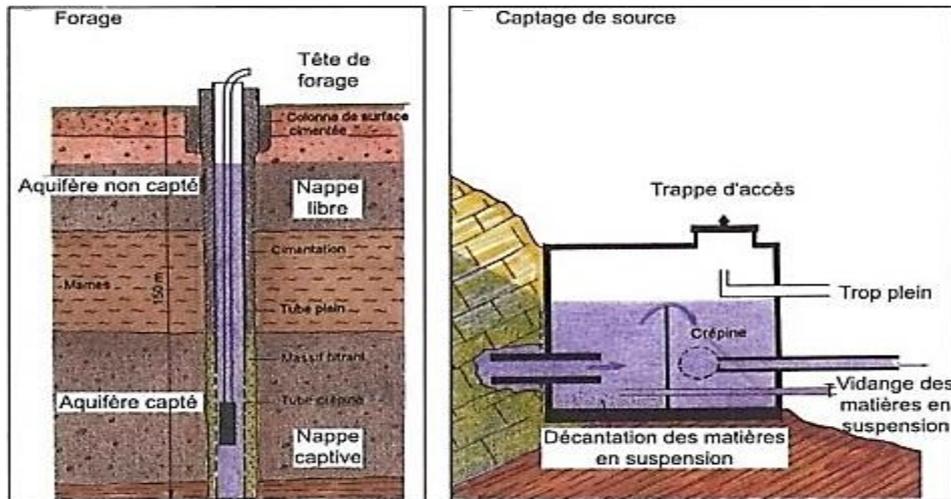


Figure I.4: Principaux types de forage et de captage.

I.2. L'objectifs de réalisation des forages

La réalisation d'un ouvrage répond avant tout à un besoin, un usage auquel on le destine.

Cet usage peut être varié. On peut citer :

- La production d'eau pour la consommation humaine et animale (captages publics, puits domestiques, etc.) ;
- L'irrigation des cultures ;
- Les prélèvements industriels (eaux de process, refroidissement, etc.) ;
- La surveillance des nappes (Piézomètres et Qualitomètres) ;
- La géothermie ;
- Le thermalisme ;
- La dépollution ou lutte contre l'intrusion d'eau salée ;
- Les prélèvements ou stockage d'hydrocarbures ;

- Le stockage de CO2 (à venir) ;

I.3. Les différents types de forage

Si les résultats obtenus lors de la campagne d'acquisition géophysique sont concluants, un forage est réalisé afin de confirmer la présence de pétrole dans le gisement et valider la mise en production d'un puits.

- **Le forage vertical** : permet de forer le puits à l'aplomb vertical de la zone du gisement où le pétrole est susceptible d'être présent dans le sous-sol
- **Le forage dévié** : permet de forer plusieurs cibles depuis un même site de forage. Cela limite le nombre de sites en surface et permet d'utiliser les installations déjà existantes.
- **Le forage horizontal** : permet l'atteinte de plusieurs cibles dans le sous-sol depuis un même site et de maximiser la surface d'échange avec le réservoir, réduisant ainsi le nombre de forages nécessaires.

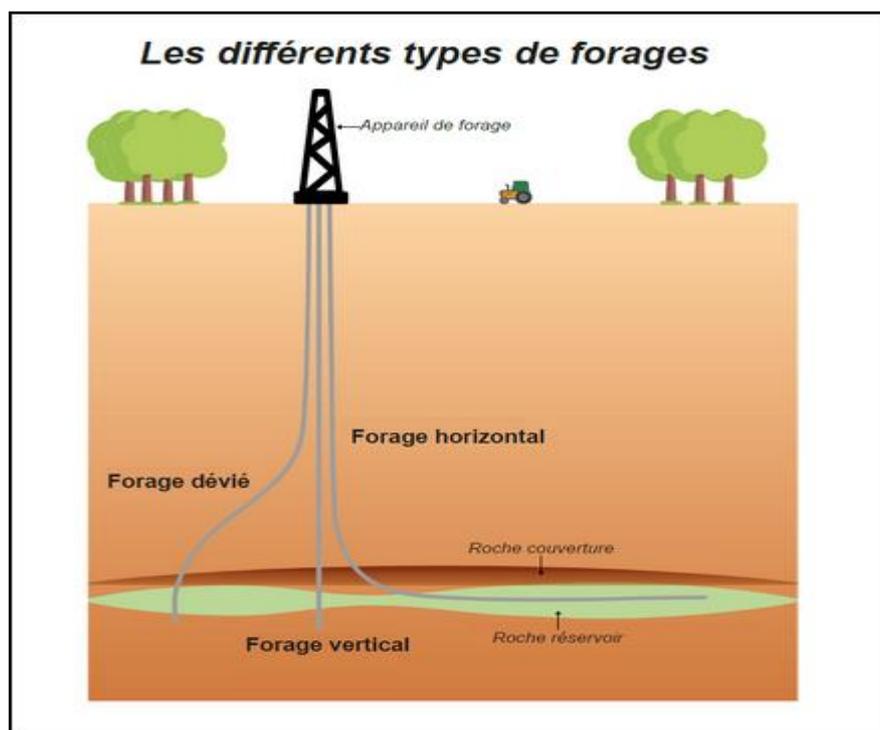


Figure I.3 : Les différents types de forages

I.4. Le fonctionnement d'un forage

Il nécessite un site de surface (ou plateforme) permettant d'installer l'appareil de forage, ses outils et ses équipements. Ceux-ci permettent de creuser profondément dans le sous-sol, de traverser plusieurs couches géologiques comme des sables, des calcaires ou des argiles, Cela fonctionne en quelques sortes comme une perceuse géante !

Un des éléments indispensables pendant le forage est la boue. Ce mélange d'eau et d'argile permet de refroidir l'outil de forage, de l'aider à creuser et de faire remonter les déblais de roche en surface. A la manière d'un circuit fermé, la boue déjà utilisée est tamisée en surface et recyclée constamment.

Il existe 3 sections de forage, chaque fois plus profondes. A chacune de ces étapes, on descend un tube en acier qui permet d'assurer l'étanchéité horizontale du puits et consolider le trou foré vis-à-vis des terrains traversés. On cimente ensuite l'espace entre le tube et la roche afin d'assurer l'étanchéité verticale du puits. Cette opération est essentielle pour préserver la qualité des eaux souterraines et garantir la solidité et la longévité de l'ouvrage.

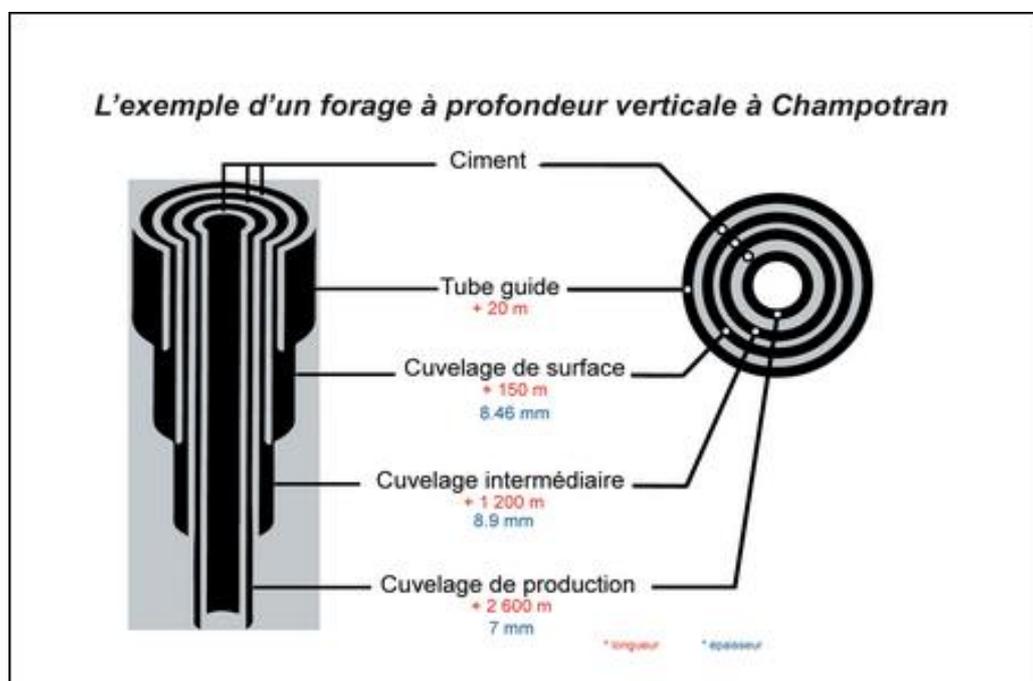


Figure I.4 : Exemple d'un forage à profondeur vertical à Champotran en France

I.5. Conclusion

D'après le chapitre précédent on conclut que les forages ou les puits ont une grande importance pour assurer la présence des eaux surtout dans les régions rurales pour faire face à la sécheresse.

Chapitre II :
Exploration et
reconnaisances des forages

II.Introduction

Parmi les méthodes de reconnaissance géologique et géotechnique, les forages et sondages tiennent une place importante du fait des renseignements qu'ils peuvent fournir par eux-mêmes, ou grâce à l'adjonction de systèmes complémentaires d'information.

II.1. Les domaines intervenant dans les forages

Les principaux domaines d'intervention du forage peuvent être groupés sous les rubriques suivantes :

- Recherche et exploitation de matières utiles : minerais, charbon, eau, pétrole, matériaux de carrières.
- Reconnaissance des sols dans le cadre d'études géologiques, géotechniques, hydrogéologiques, pédologiques.
- Préparation de sols en vue de la réalisation d'ouvrages de génie civil : pieux forés, injections.

Le présent s'intéresse plus particulièrement à la deuxième, en y incluant la reconnaissance de carrières qui s'y relie par la fourniture de matériaux pour la construction et l'empierrement. Bien qu'étant une technique très ancienne, le forage s'est beaucoup développé avec les recherches minières, et il a mis à profit de nombreuses innovations techniques déterminantes comme l'utilisation de matériaux très durs et d'aciers spéciaux, l'air comprimé, la transmission hydraulique.

Le sondage de génie civil utilise des matériels qui sont en quelque sorte des modèles réduits des machines pétrolières. Les matériels existants sont très nombreux et variés, et l'on trouve sur le marché des machines et outillages plus ou moins spécialisés, aptes à répondre aux différents types de problèmes posés.

II.1.1. Cartographie

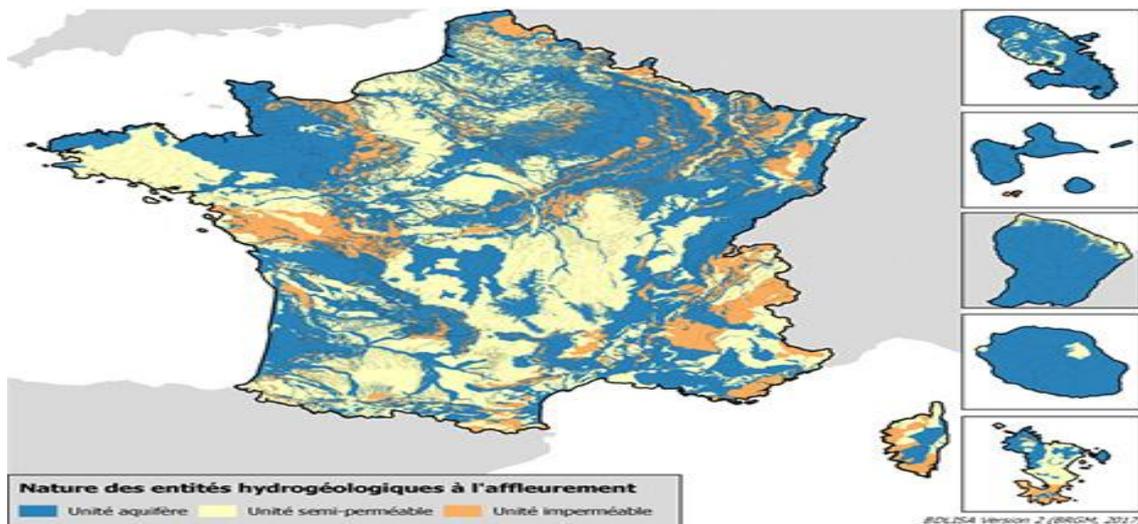
L'utilisation de la cartographie géologique et hydrogéologique permet de disposer des informations concernant les caractéristiques (nature et qualité) de l'aquifère et des différentes formations où se trouve.

Ces informations sont en particulier :

- L'endroit et l'étendue de l'aquifère
- Le type de la nappe (libre, captive, semi captive)
- La structure de l'aquifère (fissures, failles...etc.)
- La structure des limites : toit et substratum
- La liaison et les relations avec les écoulements de surface (cours d'eau, plan d'eau...etc.).

II.1.2. Cartes hydrogéologiques

Les données obtenues par études géologiques et structurales conduisent à la réalisation des cartes et coupes hydrogéologiques. Ces coupes hydrogéologiques sont élaborées par la superposition sur des coupes géologiques, des données de l'écoulement souterrain (la surface piézométrique, la surface d'alimentation directe ou indirecte, le drainage



et les pertes en surface et en profondeur).

Figure II.1 : Exemple d'une Carte hydrogéologique

II.1.3. Cartes structurales

Les cartes structurales dont leur but est de présenter les formations perméables (réservoir), sont élaborées par la synthèse des données géologiques, des conditions aux limites et des paramètres hydrodynamiques (perméabilité, pente, vitesse, gradient hydraulique). Ce type de cartes permet d'établir la carte isohypse (d'égale altitude), la carte isobathe (d'égale profondeur), et la carte isopaches (d'égale épaisseur de l'aquifère).

II.1.4. Cartes piézométriques

Les cartes piézométriques présentes en un temps donné, la distribution spatiale de la charge hydraulique. Elles sont obtenues par les mesures des niveaux piézométriques.



Figure II.2 : Exemple d'une Carte hydrogéologique

L'analyse de la surface piézométrique vise le tracé des lignes de courant et l'indication sur elles le sens d'écoulement ; dont des courbes fermées traduisent des dômes (sommets) caractérisant des zones d'alimentation, ou bien des dépressions des zones de captage.

Pour une section constante d'écoulement, le gradient hydraulique est proportionnel au débit d'écoulement dans la nappe, et inversement proportionnel à la perméabilité de la nappe. Pour une largeur constante de l'aquifère, la variation du gradient hydraulique (Piézométrique) est le résultat de la variation de la perméabilité, de l'épaisseur de la nappe ou bien du débit (infiltration par exemple). Des ruptures de la piézométrie peuvent être le

résultat de présence d'accidents tectoniques. Des accidents sont souvent associés à des alignements de sources artésiennes.

L'analyse des fluctuations temporelles de la piézométrie des nappes libres donne des informations sur la recharge par infiltration, sur la réserve disponible et sur les niveaux et débits d'étiage des cours d'eau.

D'autres cartes sont encore utiles : la carte topographique, la carte hydrologique, la carte pédologique et la carte d'occupation de sol.

II.1.5. Photos aériennes

La photographie aérienne peut fournir des informations qui ne peuvent pas être directement observées sur le terrain ; certaines failles et anciens lits de rivières. Elle forme aussi un moyen efficace pour l'identification et l'analyse des fractures, qui constituent des lignes naturelles d'une taille infra- kilométrique sur la photo aérienne, les traces linéaires dont la largeur dépasse l'ordre de kilomètre sont appelées linéaments ; qui représente fréquemment des zones de grande perméabilité. Elle indique aussi des informations essentielles pour l'implantation des forages et puits.

II.1.6. Télédétection

Réalisée par des images satellitaires, elle permet le traitement numérique des images pour mieux systématiser et simplifier le traitement de l'information, et en même temps la reconstitution des documents à des échelles différentes. Elle permet encore l'identification des structures géologiques et des matériaux de surface, l'identification des zones humides (résurgences, affleurements de nappes, zones de recharge), et l'obtention et la mise à jour de l'occupation de sol pour l'évaluation de la vulnérabilité des nappes.

II.2. Méthodes géophysiques

Les méthodes géophysiques consistent à effectuer depuis la surface du sol, des mesures de paramètres physiques dont l'interprétation permet d'imaginer la nature, la structure et les caractéristiques du sous sol.

II.2.1. Les informations recherchées par ces méthodes

Les informations recherchées sont :

1. L'épaisseur et la nature du recouvrement

2. La présence et la nature des zones fissurées
3. L'existence des fractures
4. La profondeur du substratum
5. La localisation et les caractéristiques de l'aquifère

II.2.2. Prospection par sismique de réfraction [1]

Le principe de la sismique de réfraction est qu'un ébranlement à la surface de sol, se propage dans le sol en s'amortissant à la façon d'une onde sonore. La sismique de réfraction consiste à étudier la propagation des ondes élastiques (ondes longitudinales). Leurs temps d'arrivée, mesurés en différents sismographes ou géophones (récepteurs des ondes sonores) disposés le long d'un profil, sont par la suite portées en graphique en fonction des distances de ces géophones Si au point d'explosion E (point d'ébranlement : point d'impact).

On obtient généralement une ligne brisée ou dromochronique d'où se déduisent les vitesses de propagation des ondes dans les couches et les épaisseurs respectives de ces dernières. On réalise classiquement un tir direct et un tir inverse (on permute l'emplacement des géophones et du point d'impact).

La forme des dromochroniques obtenues, permet de préjuger l'allure du substratum (pente, décrochements) et de la présence d'accidents (failles, cavités...etc.). En plus de l'évaluation des profondeurs, la sismique de réfraction donne aussi des indications sur les caractéristiques mécaniques du sol, grâce à l'évaluation des vitesses de propagation de l'onde.

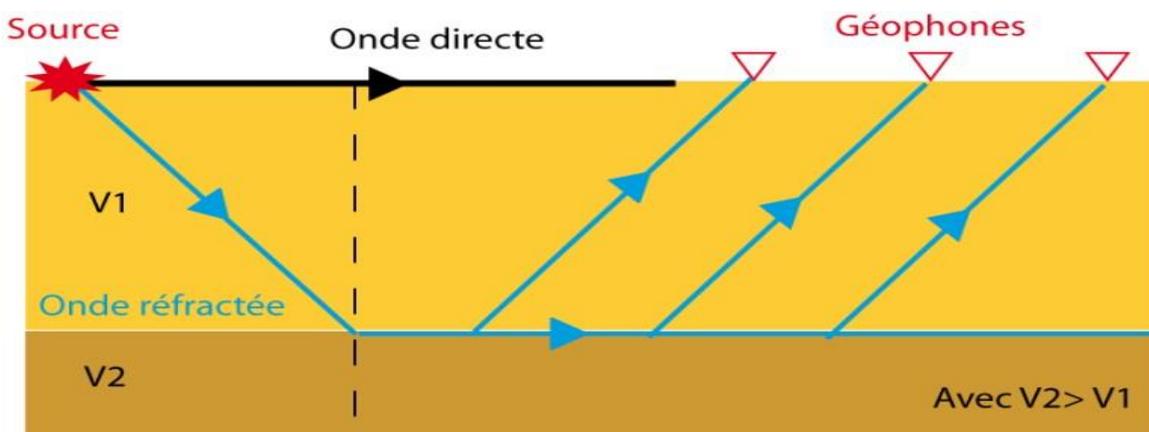


Figure II.3 : Schéma prospection par sismique de réfraction

II.2.3. Prospection électrique

La prospection électrique permet de étudier les variations latérales et verticales de la résistivité apparente du sol. Pour cela, on envoie dans le sol, grâce à des électrodes A et B, un courant d'intensité I , puis on mesure la différence de potentiel ΔV , produit par l'effet d'Ohm, entre deux électrodes de référence M et N (dispositif quadripôle).

En appliquant la loi d'Ohm, on calcule la résistivité apparente par :

$$\rho_a = k \cdot \Delta V / I$$

ρ_a : la résistivité apparente (Ωm)

K : coefficient (selon dispositif)

ΔV : le gradient de potentiel (V)

I : intensité du courant (A)

Tableau II. 1 : Résistivité de sol et saturée

Type de sol	Résistivité	Résistivité du sol saturé
Argile	3 à 5	5 à 10
Sable	40 à 150	50 à 400
Gravier	200 à 500	150 à 500
Schiste cristallin	-	100 à 10.000
Gneiss sain	1000 à 10.000	-
Gneiss altéré sec	300 à 600	-
Gneiss altéré en eau	120 à 200	-
Granites	1000 à 10.000	100 à 50.0000
Calcaire	-	100 à 10.000

Pour bien explorer un sous sol, on réalise deux types d'opérations

A. profil de résistivité :

Effectué pour la reconnaissance latérale d'un terrain où la profondeur d'investigation sera constante. On déplace le long d'un profil, le même dispositif AMNB (écart invariant) : la profondeur d'investigation reste la même, et on explore une tranche du sous sol d'épaisseur sensiblement constante. On peut donc déceler des hétérogénéités induisant des variations de résistivité (changement de nature ou de faciès de roches, failles, fractures, grottes...etc.).

B. sondage électrique :

On effectue en même station, une série de mesures, en augmentant à chaque fois la longueur de la ligne AB qui régit la profondeur d'investigation. Les valeurs de (ρ_a) ainsi obtenues correspondent à des tranches de sol à chaque fois plus épaisses.

La Diagraphie :

Elle consiste à utiliser différents dispositifs d'électrodes afin de mesurer des résistivités directement dans le trou de forage. Réaliser juste à la fin de la foration, pour permettre de localiser avec grande précision les zones productrices d'eau, et donc définir la position optimale des crépines.

II.2.4. Sondages (forages) de reconnaissance

Les sondages de reconnaissances sont des puits de petit diamètre de l'ordre de 6 à 8 cm ; dont leur réalisation et équipement est similaires à ceux des forages d'exploitation. Les sondages (forages) de reconnaissance permettent de vérifier les hypothèses émises et apportent des informations indispensables (investigation, mesures et essais, prélèvement d'échantillons d'eau et de sol, observations périodiques) comme ils permettent d'effectuer des diagraphies et des essais de pompage.

II.3. Conclusion

Pour conclure ce chapitre consacré aux moyens de reconnaissance à mettre en œuvre pour compléter l'étude géologique de surface, nous insisterons sur le fait qu'une campagne de reconnaissance doit toujours être menée avec méthode et précision. Le choix d'un type d'appareil doit se faire en fonction du terrain attendu et surtout de la nature du problème à résoudre. Il est rare qu'une seule méthode donne des résultats escomptés et l'on doit souvent combiner plusieurs observations et/ou plusieurs mesures.

Dans le cas des projets importants, il est nécessaire de conduire la campagne par étapes successives allant de la résolution des problèmes généraux à celles des points particuliers. On réservera toujours les essais ponctuels et coûteux pour la deuxième ou la troisième phase, après que la reconnaissance globale du site et la mise en évidence des principales difficultés seront effectués.

Chapitre III :

Les techniques de forage

III. Introduction

Il existe de nombreuses méthodes de forage dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers. Ce chapitre présente les techniques de forages en tant que telles avec leurs avantages et leurs inconvénients relatifs, il précisera aussi les modalités de sélection de ces méthodes selon les critères usuels pour le domaine de l'eau.

III.1. La technique de Battage

C'est la technique la plus ancienne, utilisée par les Chinois depuis plus de 4000 ans (battage au câble), elle consiste à soulever un outil très lourd (trépan) et le laisser retomber sur la roche à perforer en chute libre. Le forage par battage ne nécessite pas de circuit d'eau ou de boue, et seul un peu d'eau au fond de forage suffit.

Il est tout indiqué pour les terrains durs surtout lorsque le terrain dur est en surface (ça ne permet pas d'utiliser suffisamment de poids en Rotary) comme en terrains karstiques ou fissurés (pas de risque de perte de boue).

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 travaille 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.

III.1.1. 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.

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

Utilise des tiges creuses avec circulation d'eau.

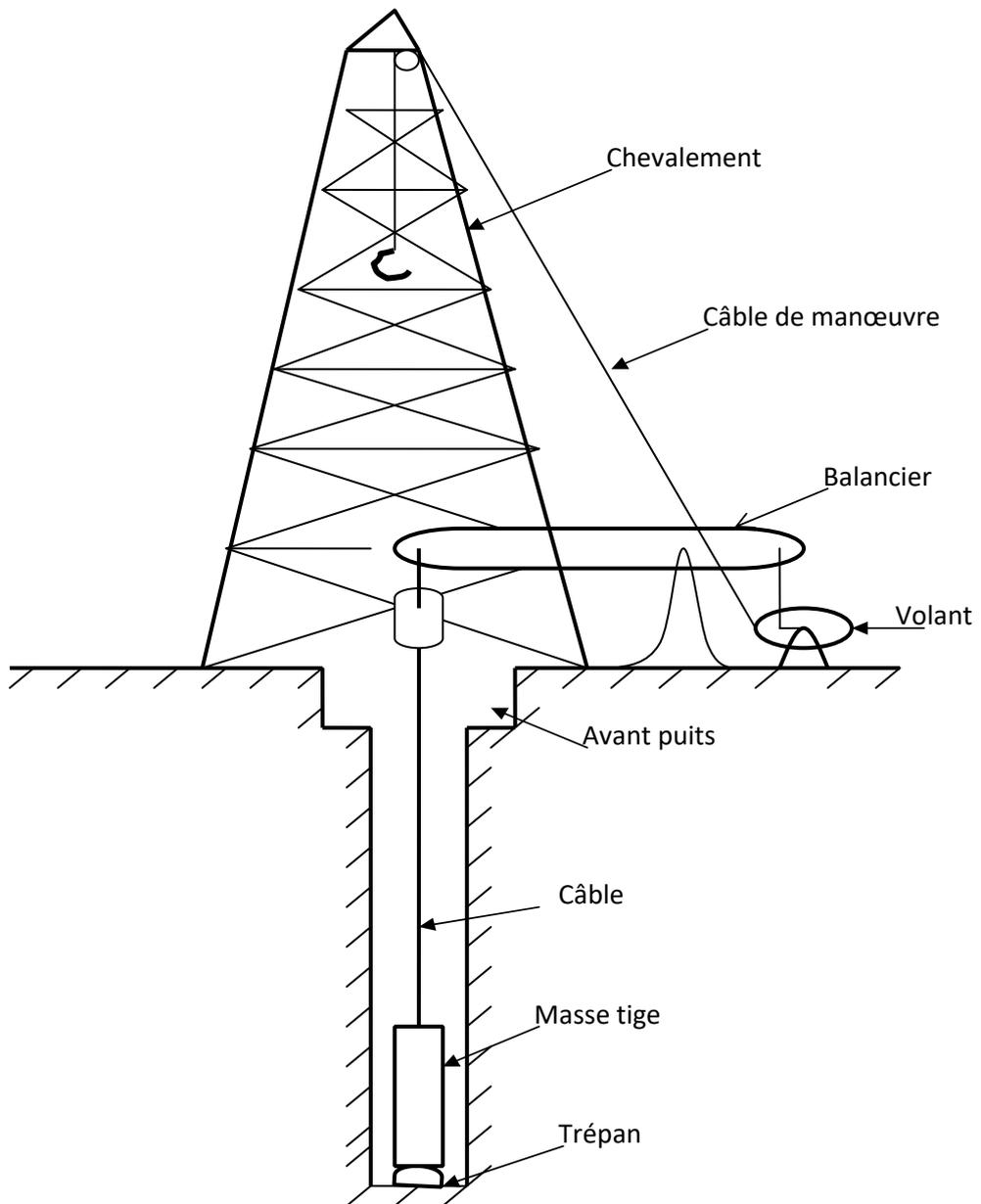


Figure III.1 : Battage au câble « Technique Pennsylvanienne »

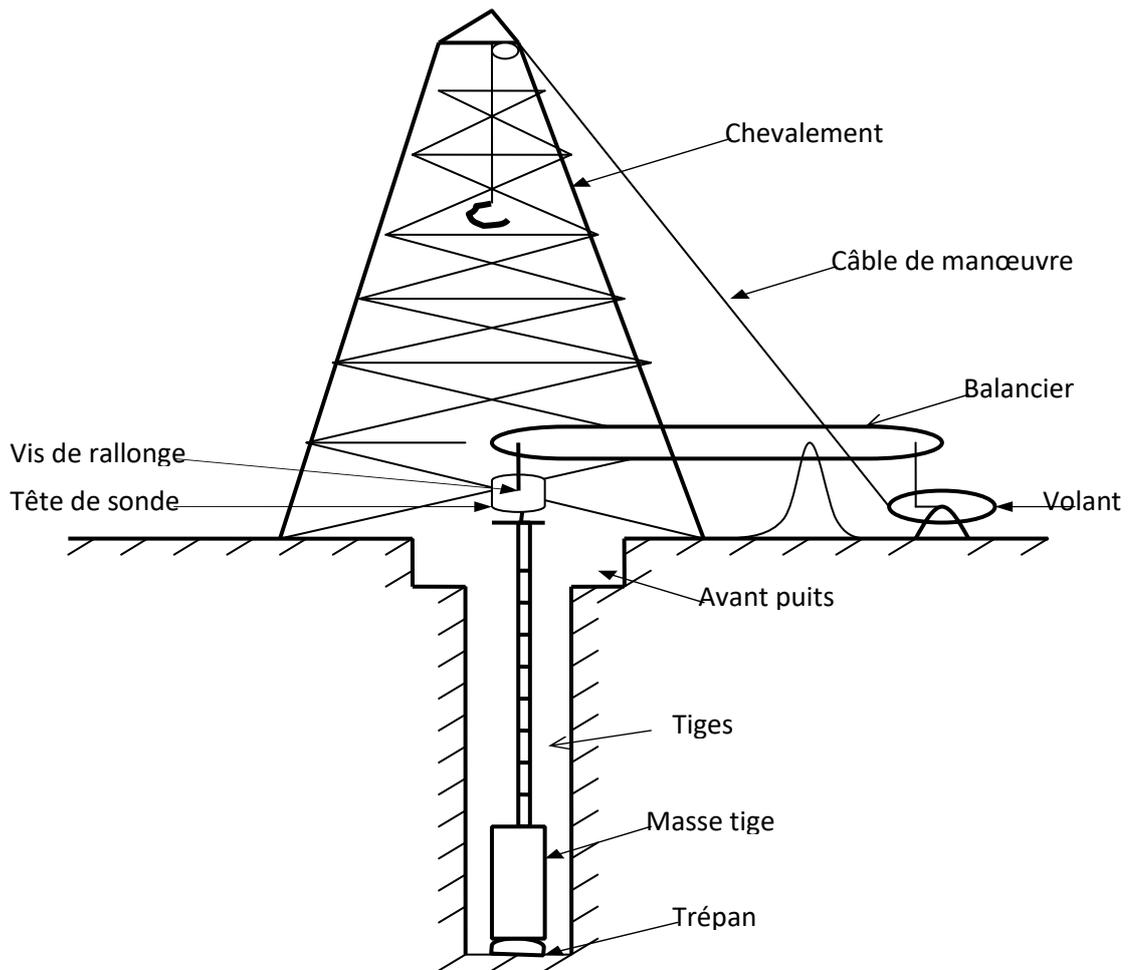


Figure III.2: Battage à tiges « technique canadienne »

III.1.2. 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 aux pertes de boue).

III.1.3. 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.

III.1.4. La technique Rotary

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920. Le technique rotary est utilisé spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs (pétroliers).

Un outil appelé trilame (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 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 circulation d'un fluide (liquide visqueux : la boue) permet de remonter les cuttings à la surface. 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.

Un accroissement du volume de boue est l'indice d'une venue de fluide souterrain dans le forage (eau, huile, gaz). 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.

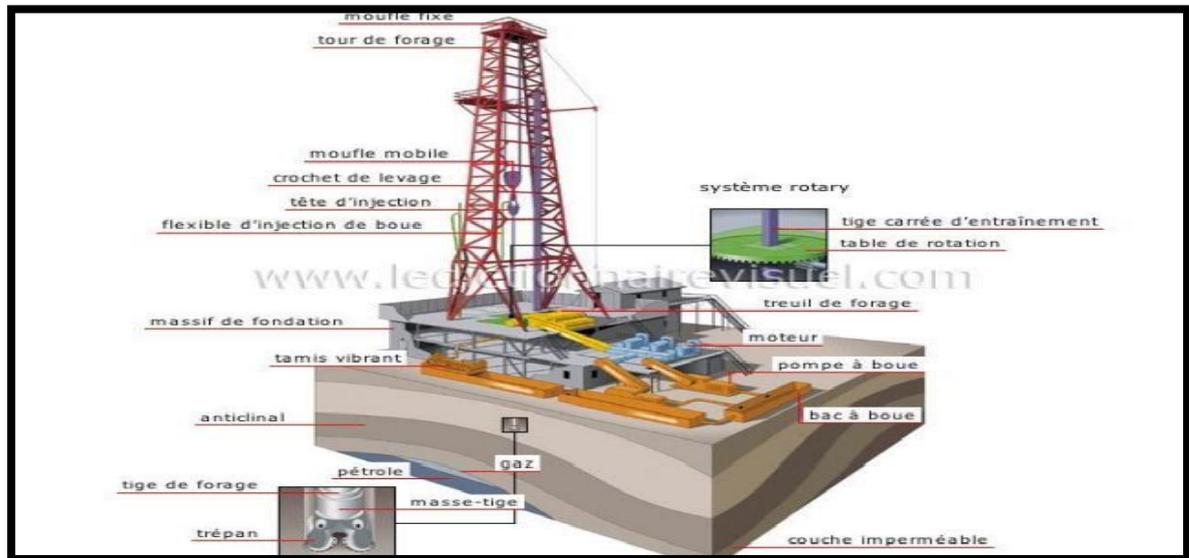


Figure III.3 : Schéma simplifié d'une installation de forage rotary.

III.2. Paramètres de forage :

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'avancant 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 plupart 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 œuvre 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.

III.2.1. Avantages :

- ❖ Grande profondeur de forage quel que soit la nature du terrain (peu stables ou plastiques), à condition d'utiliser un fluide de forage adapté ;
- ❖ Les parois en terrains meubles sont consolidées par dépôt d'un cake ;
- ❖ Bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, débit d'injection de la boue) ;
- ❖ Maîtrise de la rectitude du trou ;
- ❖ Rapidité et économie d'exécution de trou de grands diamètres ;
- ❖ Absence de tubage pendant l'opération de forage ;
- ❖ Consommation économique de l'énergie.

III .2.2. Inconvénients :

- ❖ Difficulté d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées à cause de l'utilisation d'un fluide de forage ;
- ❖ L'utilisation de certaines boues (bentonite) peut provoquer le colmatage des formations aquifères ;
- ❖ Demande un grand volume d'eau ;
- ❖ Investissement coûteux (matériel très importants) ;
- ❖ Pas commode aux sites non accessibles et terrains accidentés.

III.3. La technique de la circulation inverse (rotary à circulation inverse)

Le forage rotary est généralement limité au diamètre 619 mm 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 permet au contraire, de forer en diamètres variant 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 masses 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 assurée 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.

III.3.1. 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

III.3.2. Inconvénients :

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

III.4. La technique marteau fond de trou (MFT)

Cette technique permet de traverser des terrains durs. Le principe repose sur : un taillant à boutons en carbure de tungstène, fixé directement sur un marteau pneumatique, est mis en rotation et percussion pour casser et broyer la roche du terrain. Le marteau fonctionne comme un marteau piqueur, à l'air comprimé à haute pression (10 à 25 bars) qui est délivré par un compresseur, et permettant de remonter les cuttings.

Cette technique est surtout utilisée dans les formations dures car elle permet une vitesse de perforation plus élevée que celles obtenues avec les autres techniques. Elle permet de forer habituellement des trous de 85 à 381 mm Parmi les machines MFT on cite : AcF-PAT 301, AcF-PAT 401, Dando, Stenuik BB.

III.4.1. Avantages :

- ❖ Elle est très intéressante dans les pays où l'eau est très rare.
- ❖ Mise en œuvre rapide et simple.
- ❖ Permet de détecter la présence d'un aquifère lors du forage.

III.5. La technique ODEX :

Elle permet de forer dans des terrains à mauvaise tenue nécessitant un tubage de protection. La perforation est assurée par un taillant pilote surmonté d'un aléreur excentrique permettant d'avoir un trou de diamètre supérieur au diamètre du tubage de revêtement. Ce système permet au tube de revêtement de descendre dans le trou sans rotation à la suite de l'aléreur.

Cette technique peut être utilisée par :

- Un équipement fonctionnant hors du trou, c'est-à-dire avec un marteau et son mécanisme de percussion et de rotation situés en surface.
- Un équipement fonctionnant avec un marteau fond de trou dont la rotation est assurée par un moteur situé à l'extérieur, et l'énergie de percussion est assurée en fond de trou par le marteau fond de trou qui assure la foration par l'intermédiaire d'un guide et de l'outil comprenant le taillant pilote et l'aléreur excentrique.

III.6. La technique de Havage [3]

C'est une technique d'extraction consistant à creuser des entailles parallèlement au plan de stratification des roches pour les détacher plus facilement ; utilisée en génie civil pour l'exécution de pieux forés en gros diamètres, et aussi pour exécuter des forages d'eau.

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 qui ont des diamètres de 0,5 à 1,3 m.

III.7. Conclusion

Il y a beaucoup de méthode pour réaliser un forage chaque méthode à des inconvénients et avantages. La sélection de la méthodea Contrôle par plusieurs factures, prend en considération l'aspect technique et économique.

Mais le forage rotary est la méthode le plus largement utilisée dans le monde cependant.

Chapitre IV :

Les boues de forage

IV. Introduction

L'hydrochimie est la science qui étudie les processus chimiques affectant la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux. Elle est essentiellement basée sur la chimie mais aussi de la biologie et de la géologie. L'hydrochimie inclut l'ensemble des techniques et protocoles d'échantillonnage des eaux, la détermination des fonds géochimiques naturels d'un milieu, l'étude de la pollution des milieux aquatiques. Elle permet de définir la « qualité d'une eau ».

IV.1. Les fluides de forage [4]

Les fluides de forage ont un rôle capital dans l'exécution d'un ouvrage et il convient d'y apporter une attention particulière. Nous ne donnons ici que quelques indications de base suffisantes pour le suivi de forage « simple » à faible profondeur. Pour le contrôle d'ouvrages profonds dans des formations géologiques complexes nous ne saurions trop vous recommander d'approfondir vos connaissances dans des ouvrages spécifiques ou plutôt de faire appel à des entreprises spécialisées qui spécifieront la composition de la boue et les modifications à y apporter en cours de forage.

Le choix et le contrôle des fluides de forage sont des éléments fondamentaux dont dépendent la réussite ou l'échec de l'ouvrage. En effet, les caractéristiques de la boue évoluent dans le temps et en fonction des éléments rapportés par les terrains traversés, ces modifications peuvent apporter de graves avaries : coincement du train de tige, perte totale dans le forage, cake trop épais colmatant l'aquifère.

IV.1.1. Les fonctions de fluide de forage

Le fluide de forage a plusieurs fonctions, notamment :

- Le refroidissement et la lubrification de l'outil de forage (tricot, trépan, etc.) ;
- La remontée des formations géologiques traversées sous une forme broyée (cuttings) ;
- La consolidation des parois nues du trou par dépôt d'une pellicule argileuse (cake) ;
- Une action de contre-pression vis-à-vis de venues d'eau artésiennes
- Jaillissantes (en augmentant la densité) ;
- De donner des renseignements utiles sur d'éventuelles venues d'eau ou pertes de charge grâce au suivi du niveau dans les bacs à boue, étant donné ses multiples

fonctions, la composition du fluide doit être étudiée, avec le plus grand soin on distingue classiquement deux grandes familles :

- Les fluides à base d'eau,
- Les fluides à base d'air.

Le choix du fluide de forage dépendra d'un grand nombre de facteurs (nature des terrains, type d'équipement, possibilité d'approvisionnement en eau et en produits, etc.). En général, les fluides à base d'eau, composés d'argile ou d'additifs polymères, seront utilisés dans les formations non consolidées. Au contraire, l'air sera réservé aux roches compactes ou semi-consolidées (air-lift). Quel que soit le choix effectué, la réussite dépend principalement des dosages, du choix des additifs et des caractéristiques physico-chimiques des terrains et de l'eau des formations rencontrées

IV.1.2. Propriétés des fluides de forage [4]

La gestion de la boue consiste à lui conserver des caractéristiques conformes aux objectifs fixés, spécifiés plus haut. Ce problème n'est pas simple dans la mesure où ses caractéristiques sont en permanence modifiées par la nature des terrains traversés, des sédiments fins peuvent provoquer sa coagulation, des terrains gypseux sa floculation, une formation aquifère en charge va la diluer, etc. La boue est un mélange colloïdal dont les caractéristiques doivent être vérifiées régulièrement et modifiées selon les cas pour conserver les qualités rhéologiques qui lui sont nécessaires : densité, viscosité, filtrat, cake, pH et teneur en sable.

➤ Densité

La densité de l'eau pure (à 4°C) est de 1. Celle d'une boue pourra varier entre 0,8 si on y incorpore de l'air et 2 si on ajoute de la barytine (sulfate de baryte : BaSO_4 , densité 4,3). Une boue bentonitique neuve a une densité de 1,02 à 1,04 mais celle-ci peut varier en cours de foration. La densité est mesurée avec une balance Roberval ou mieux, avec une Baroïd.

La densité de la boue devra être réglée pour permettre en permanence la remontée des débris de forage et l'amélioration de la tenue des parois. De plus, elle peut équilibrer d'éventuelles venues d'eau (cartésianisme). En utilisant la barytine ou l'eau, il est possible d'alourdir ou d'alléger une boue de forage (cf. Figures IV.1 et IV.2).

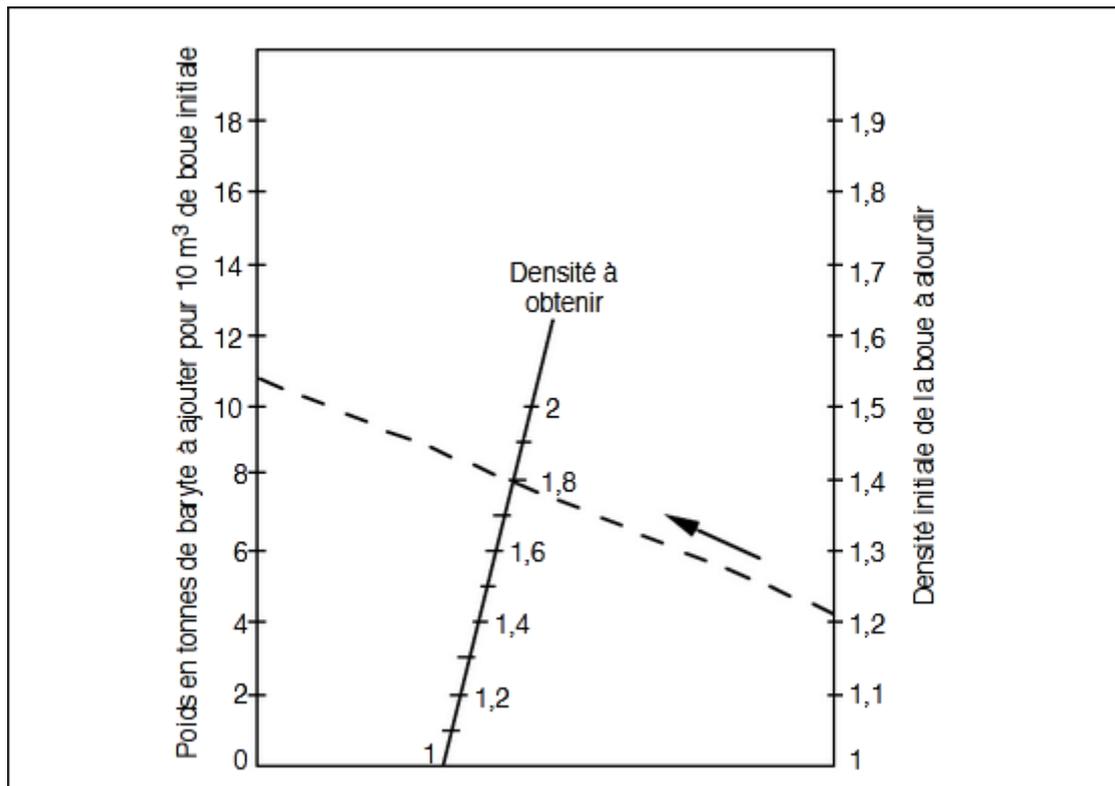


Figure IV.1 : Alourdissement d'une boue par la baryte [5]

Dans cet exemple, pour porter à 1,8 la densité de 10 tonnes de boue à 1,2 il faudra ajouter 10,5 tonnes de baryte.

D'une manière générale la densité de la boue est de l'ordre de 1,1 soit un dosage de bentonite variant de 3 à 8 % soit 30 à 80 kg de produit par mètre cube de boue. Il est fréquent d'observer des variations du volume de la boue, soit une augmentation liée à une dilution par la rencontre d'une couche aquifère dont la pression est supérieure à celle de la colonne de boue, soit une perte de boue liée à la rencontre d'une zone fissurée ou d'une zone en dépression. En cas d'augmentation de volume il convient d'arrêter l'éruption en alourdissant la boue. On considère que la charge au fond du trou est égale à :

$$\frac{Hd}{10}$$

Avec :

H : profondeur du trou en mètres,

d : densité.

Ainsi pour une équation provoquée à 150 m de profondeur par une nappe dont la pression résiduelle au sol est de 7 kg ;

La pression totale de la nappe au fond est égale à :

$$\frac{150}{10} + 7 = 22 \text{ kg}$$

Pour contrebalancer cette pression il convient d'avoir une boue de

$$\frac{22.10}{150} = 1.47$$

Les volumes et le poids de baryte à ajouter sont facilement identifiables à partir de figure empruntée à A MABILLOT suivante :

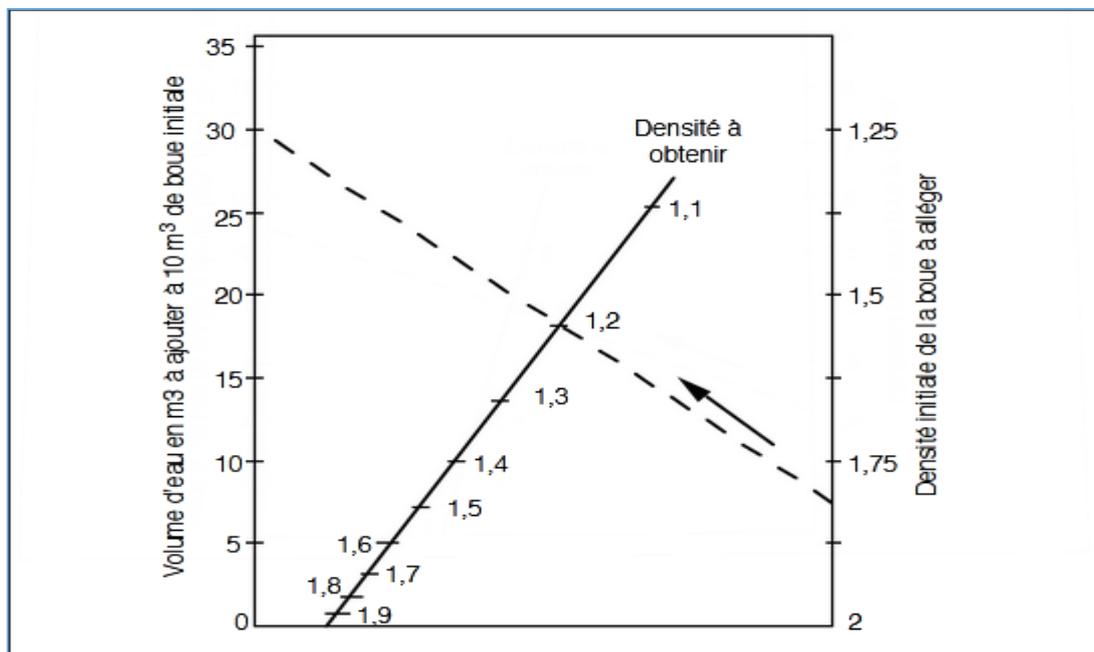


Figure IV.2 : Allégement par l'eau d'une boue de forage [5]

Dans cet exemple, pour ramener à 1,2, la densité de 10 m³ de boue de densité 1,8, il faudra ajouter 10 m³ d'eau. En cas de perte de boue les causes peuvent être très variables : boue trop fluide, terrain fissuré ou fracturé, aquifère à faible pression, etc. Chaque cas particulier doit trouver une solution adaptée, le cas le plus ennuyeux, et pourtant relativement fréquent, est la perte totale qui met réellement l'ouvrage en péril. De multiples solutions existent mais là encore elles doivent être adaptées au cas par cas.

➤ Viscosité

Une viscosité appropriée permet d'avoir un outil bien dégagé ainsi qu'une bonne remontée et un dépôt rapide des débris de forage. De plus, elle permet de réduire les pertes de

charge dans le train de sonde. On peut mesurer la viscosité d'une boue avec le viscomètre Marsh (sur le chantier) ou le viscomètre Störmer (en laboratoire).

➤ **Cake et filtrat**

Dans une formation perméable, la boue a tendance à laisser passer de l'eau au travers de la paroi (filtrat) et à déposer une couche d'argile (cake) sur cette dernière. Dans tous les cas, la nature du cake et du filtrat sera fonction de la composition initiale de la boue. Or, comme nous l'avons vu, ces propriétés peuvent évoluer lors de la foration. Il est donc important de contrôler régulièrement le cake et le filtrat. Si le filtrat est trop grand (cake trop fin), les parois ne sont pas tenues et des éboulements risquent de se produire. Si le filtrat est trop faible (cake trop épais), la boue risque de colmater la formation aquifère. Les mesures sont effectuées avec une presse Baroïd dans laquelle on dispose un échantillon de boue qui sera égoutté. Il faut alors noter le volume de filtrat recueilli en un temps donné ainsi que l'épaisseur et la consistance du cake obtenu.

➤ **La température**

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers (voir normes). Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

➤ **PH Le potentiel hydrogène**

Le pH permet d'apprécier l'acidité ou l'alcalinité de la boue de forage. Si le pH est compris entre 0 et 5, la solution est acide ; entre 6 et 8, elle est neutre ; au-delà de 8, elle est basique (alcaline). La mesure du pH est importante car elle révèle la contamination par le ciment ou par l'eau de la couche aquifère si sa valeur est supérieure à 10 ou 11. Par contre, si elle est inférieure à 7, les risques de floculation sont à redouter. La mesure du pH doit être faite sur le filtrat.



Figure IV.3 : Appareil WTW 720 de pH température

Tableau IV.1: Les normes de potentiel Hydrogène dans l'eau

Ph < 5	- Acidité forte - Présence d'acide minéral ou organique dans les eaux naturelles
PH = 7	PH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	Eaux souterraines
PH > 8	Alcalinité, évaporation intense

➤ Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats doivent donc être présentés pour une conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain font généralement la conversion automatiquement.



Figure IV.4 : Appareil de conductivimètre

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau (T à 25°C) :

Tableau IV.2 : Conductivité et les caractéristiques de l'eau

$T = 0.005 \text{ S/cm}$	Eau déminéralisée
$10 < T < 80 \text{ S/cm}$	Eau de pluie
$30 < T < 100 \text{ S/cm}$	Eau peu minéralisée, domaine granitique
$300 < T < 500 \text{ S/cm}$	Eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées (Karst)
$500 < T < 1000 \text{ S/cm}$	Eau très minéralisée, saumâtre ou saline
$T > 30000 \text{ S/cm}$	Eau de mer

➤ Teneur en sable

Il est évident que la présence de sable dans la boue est néfaste à cause de son caractère abrasif (problèmes d'usure des tubes, flexibles, pompes etc.). Il augmente également la densité de la boue et risque, en cas de dépôts importants sur le fond, de bloquer la garniture. On estime généralement que la teneur maximale admissible de sable dans une boue est de 5%. On peut la mesurer grâce à un élutriomètre. L'élimination du sable se fait par l'intermédiaire de bacs ou fosses de décantation ou par dessableurs centrifuges.

➤ **Thixotropie**

La thixotropie est la faculté, pour un mélange à base de produits en suspension, de passer de l'état solide (gel) à l'état liquide sous l'action d'une agitation et de revenir à l'état initial lorsque l'agitation cesse. Il faut donc maintenir la circulation dans un forage même si la ligne de sonde ne tourne pas, pour éviter que la boue ne se solidifie en bloquant l'outil.

➤ **Conditionnement de la boue**

On estime que les caractéristiques idéales d'une boue neuve sont les suivantes :

- Viscosité : 40 à 45 m².s⁻¹
- Filtrat : 8 cm³ pour un échantillon de 600 cm³,
- PH : 7 à 9,
- Solides : 0,5 %.

➤ **Boues bentonitiques**

Les boues de forage sont généralement des suspensions colloïdales à base d'argile, la plus utilisée étant la bentonite. Un gramme de bentonite dispersé dans l'eau offre une surface de contact de 4 à 5 m². La bentonite est constituée principalement par une argile smectique : la montmorillonite. Ce complexe aluminosilicate contient des substances tels que le fer ou le magnésium qui peuvent se substituer aux ions Si ou Al pour former des bentonites aux caractéristiques différentes. En règle générale, lorsque les ions métalliques d'une bentonite sont remplacés par des ions d'un autre métal, ses propriétés en sont modifiées.

En présence d'eau par exemple, la bentonite s'hydrate en augmentant considérablement de volume (12 à 15 fois et parfois 30 fois). Ces variations proviennent des oxydes métalliques plus ou moins chargés électriquement. Soulignons la caractéristique des boues bentonitiques de réagir et flocculer en présence d'eaux riches en nitrates.

➤ **Ions majeurs**

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 7 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue :

Les cations : Calcium (Ca²⁺), Magnésium (Mg²⁺), Sodium (Na⁺) et Potassium (K⁺)

Les anions : Chlorure (Cl⁻), Sulfate (SO₄)²⁻, bicarbonate (HCO₃)⁻.

1-Calcium et magnésium

Le calcium Ca^{2+} et le magnésium Mg^{2+} sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux.

2-Sodium et potassium

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturés en ion Na^{2+} , par le processus d'échange de bases.

3-Le potassium (K^+)

Est assez abondants sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombéné dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles.



Figure IV.5 : Appareil de flamme photomètre 410 pour mesure les cations

4-Sulfate

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (évaporation d'eau de mer : $1 < C < 20$ mg/l), et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite).

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (qu'on retrouve dans les pluies), et l'utilisation d'engrais chimique et de lessive. D'une façon générale, la présence de sulfate dans des eaux naturelles "non polluées" invoque la présence de gypse ou de pyrite.

5-Chlorures

L'ion Cl^- est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer (où le Cl^- est très présent), ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible.

6-Alcalinité

L'alcalinité correspond à l'ensemble des anions d'acides faibles susceptibles d'agir avec H^+ . Dans la pratique et pour des systèmes dominés par les relations des carbonates dont le pH varie de 7 à 9, l'alcalinité peut être assimilée aux bicarbonates

7- HCO_3^-

C'est un paramètre important, car il joue un rôle prépondérant sur l'effet tampon de l'eau. Il détermine la manière dont le pH va réagir à l'ajout d'acides ou de bases faibles dans l'eau, notamment lors des procédés de traitement (floculation et désinfection).



Figure IV.6 : Appareil DR 2000 pour mesure les anions

IV.1.3. Mesures in situ

Les mesures effectuées sur le terrain concernent les paramètres physiques que sont la température ($T^{\circ}\text{C}$), le potentiel d'hydrogène (pH) et la conductivité électrique (CE).

IV.1.4. Analyses au Laboratoire

Le but pour définir l'origine des eaux et leurs caractéristiques physico-chimiques, les éléments majeurs dissous ceux-ci par la quantification des divers éléments chimiques, le faciès chimique, la dureté, la potabilité de cette eau. Le prélèvement a été effectué manuellement à condition que la javellisation soit arrêtée et la conduite est vidangée pour que l'échantillon soit représentatif de l'eau du forage. L'échantillon a été prélevé dans des bouteilles bien lavées, d'une capacité d'un litre, sans ajouter aucune substance conservatrice pour éviter la contamination.

La fiche de l'échantillon ou l'étiquetage comporte : l'identité du préleveur, la date et l'heure du prélèvement, la ville ou l'établissement que l'eau alimente, l'origine et la température de l'eau.

Plusieurs méthodes analytiques ont été utilisées comme le montre le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Les méthodes utilisées pour déterminer les éléments.

Eléments	Méthodes
(NO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}), le fer total (Fe), le potassium (K^+), le manganèse (Mn^{2+}), l'Aluminium (Al^{3+}), les phosphates (PO_4^{3-}), les silices (SiO_2)	Les méthodes de dosage colorimétrique. À partir spectrophotomètre DR 2400 (précision $\pm 1\text{nm}$).
Le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) et	La méthode volumétrique à l'EDTA. À

déterminer la dureté totale de l'eau.	l'aide du triturateur digital.
Les chlorures (Cl-), au nitrate d'argent et les bicarbonates (HCO ₃ ⁻).	Avec l'acide chlorhydrique 0,1 N à partir du triturateur digital.
Le sodium (Na ⁺)	Par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme

IV.2. Qualité des données

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations (eaux souterraines et eaux de surfaces), il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs.

D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

$$BI = \left(\frac{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}} \right) \times 100$$

Excellentes lorsque $BI < 5\%$

Acceptable lorsque $5\% \leq BI \leq 10\%$,

Douteuse lorsque $BI > 10\%$

➤ Conversion l'unité de l'élément majeur

Changer l'unité de l'élément majeur à partir de (mg/l) à (meq/l).

$$Y = \frac{X}{\frac{ME}{e}} \text{ (Meq/l)}$$

[X] : concentration d'éléments majeurs ME : Masse molaire atomique e : symbole atomique :

➤ **Le faciès chimique**

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- 1- Le diagramme de Piper,
- 2- Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff,
- 3- Le diagramme de Stif,
- 4- Le diagramme à coordonnées rayonnantes...

➤ **Le diagramme de Piper**

C'est une représentation graphique de la chimie d'un ou plusieurs échantillons d'eau. Les anions et les cations sont représentés dans deux diagrammes ternaires distincts. Les sommets du diagramme ternaire des anions sont le sulfate, le chlorure et les carbonate + l'hydrogénocarbonate. Les sommets du diagramme ternaire des cations sont le magnésium, le calcium et sodium plus potassium. Les deux diagrammes ternaires sont projetés dans un losange déterminant le faciès chimique d'une eau.

Les unités de mesures utilisées sont les % de meq/l.

Ce type de représentation est particulièrement adapté pour étudier l'évolution, dans le temps, du faciès des eaux.

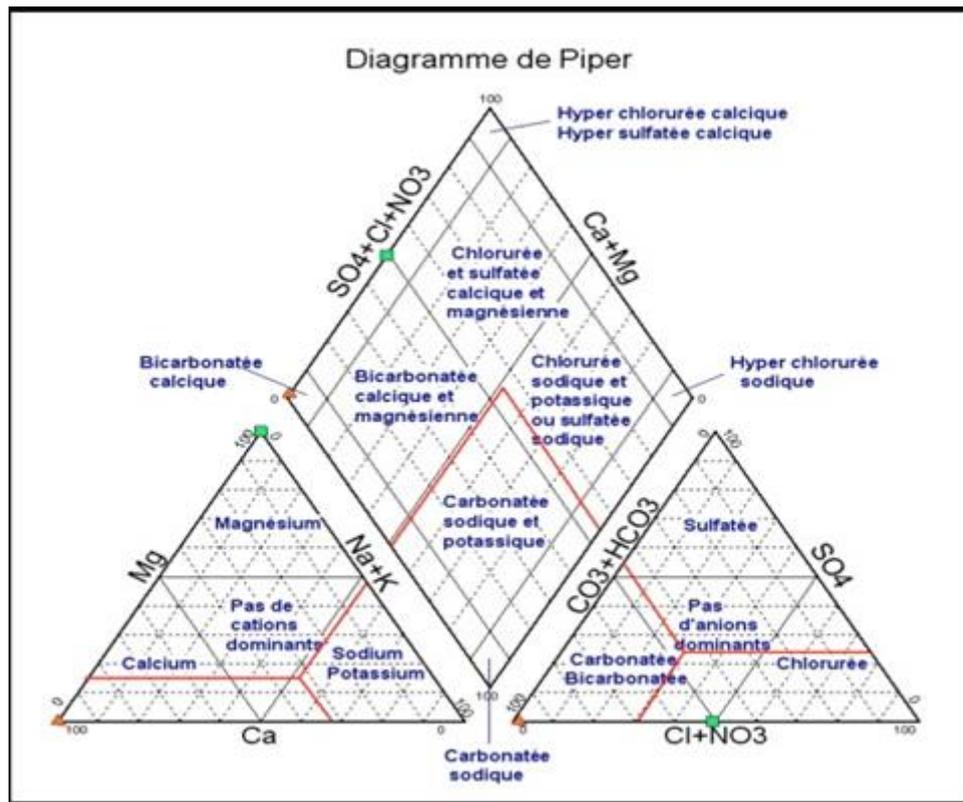


Figure IV.7 : Diagramme de piper

IV.3. Conclusion

L'approche de la qualité chimique des eaux de la région montre que les eaux souterraines sont de bonne qualité par rapport à l'eau de surfaces qui influence une surexploitation qui entraîne des déséquilibres environnementaux majeurs accentués ces dernières années par une évolution industrielle, démographique et par une importante concentration des activités socioéconomiques.

**Chapitre V :
Méthodologie de
réalisation d'un
forage d'eau**

V. Introduction

Les eaux souterraines sont très précieuses et ont une grande importance. Se trouvant à des profondeurs moyennes de 300m à l'horizon du complexe terminal plus ou moins important, il est toujours nécessaire de forer pour les explorer et les exploiter.



Figure V.1 : Image d'un forage

V.1. Les étapes de réalisation d'un forage [6]

V.1.1. Travaux des surfaces

- Terrassement et aménagement de plateforme

Réalisations des fosses à boue et rigoles :

Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage (la boue) et permettent son recyclage par décantation. Elles se forment d'une fosse de décantation, d'une fosse de pompage et de rigoles. Le rôle de rigole pour le prélèvement des échantillons et l'analyse de cuttings permet l'établissement de la courbe granulométrique pour définir les caractéristiques des crépines et du gravier additionnel.

V.1.2. Avant puits

- Tube guide : exécution un forage en 24'' (619 mm) et équipé par un tubage en acier de 20''(508mm) entre (10 à 20m) de la hauteur suivant le poids d'appareil pour assurer la stabilité et la verticalité, et cimenté l'espace annulaire par ciment type CRS.

V.1.3. Sondage (forage) de reconnaissance

Le sondage ou la reconnaissance est un puits de petit diamètre de l'ordre de 8'' à 12'' (203.2mm et 304.8 mm) 1/4. Donc leur réalisation et équipement est similaire à ceux des forages d'exploitation.

Les sondages (forages) de reconnaissance permettent de vérifier les hypothèses émises et apportent des informations indispensables (investigation, mesures et essais, prélèvement d'échantillons d'eau et de sol, observations périodiques) comme ils permettent d'effectuer des diagraphies et des essais de pompage.

V.1.4. La diagraphie

Elle consiste à utiliser différents dispositifs d'électrodes afin de mesurer des résistivités directement dans le trou de forage. Réaliser juste à la fin de la foration, pour permettre de localiser avec grande précision les zones productrices d'eau, et donc définir la position optimale des crépines.

V.1.5. Elargissement et alésage

Est réalisé en 17'' (431.8)1/2

V.1.6. Tubage

Le rôle du tubage en acier 13'' (330.2mm) 3/8. Est le soutènement de talus cylindrique du trou de Forage contre la poussée de terre, l'éboulement et pour éviter les risques d'effondrement dans le trou du forage (qui sont de plus en plus importants si la profondeur du forage devient importante), on recommande de placer le tubage le plus rapidement possible.

V.1.7. Cimentation

Le rôle de cimentation est de protéger le forage contre les pollutions extérieures. L'opération consiste à remplir avec un mélange d'eau et de ciment (laitier de ciment) L'espace annulaire au-dessus du massif filtrant jusqu'à la surface de sol. Le dosage de laitier de ciment est d'environ 50 l d'eau pour 100 kg de ciment.

V.1.8. Exécution d'un forage en 12'' (304.8 mm) 1/4

Avec alésage de l'aquifère pour délimiter la longueur et la position de la crépine.

V.1.9. Tubes et Crépines

Le rôle de la crépine 8'' (203.2mm)5/8 en acier inoxydable est d'éviter l'entrée de sables et des éléments fins de l'aquifère à l'intérieur de la colonne afin de ne pas être aspirés par la pompe, car ils constituent un grand risque pour cette dernière (corrosion, usure).

La crépine doit être placée dans une position où les caractéristiques hydrauliques sont les meilleures. Pour choisir cette position, on doit se baser sur :

- Les diagraphies instantanées.
- L'analyse granulométrique des échantillons.

V.1.10. Massif filtrant (gravier additionnel)

Le rôle du gravier additionnel est d'augmenter les débits d'exploitation, de diminuer les vitesses d'écoulement, et d'éviter le risque d'érosion en évitant l'entrée des sables fins.

Dans la pratique, le gravier additionnel est défini par la granulométrie de la formation espar l'ouverture de la crépine. Il doit être uniforme, propre, calibré et siliceux de préférence. Et descend dans l'espace annulaire le long du tubage. Une remontée de boue par le tube de forage indique une descente correcte du gravier. Lorsque le niveau du gravier atteint le haut des crépines, la boue ne remonte pas par le tube mais par l'espace annulaire : le massif de gravier doit alors dépasser le haut des crépines sur quelques mètres.

Le volume nécessaire du gravier peut être défini théoriquement (volume du trou moins volume de tubage) ou de la manière empirique suivante selon Edouard :

$$V = h \cdot 0,8 \cdot (D - d)$$

D'où

V : le volume de gravier en litre.

h : hauteur du massif de gravier en m.

D : diamètre du trou en pouces.

d : diamètre des tubes en pouces.

V.1.11. Développement du forage

Le développement peut aussi réparer les dommages que le processus de forage a causés à l'aquifère adjacent, développer l'aquifère (accroître la transmissivité) et améliorer le rendement du forage. Par les dispersants (hexa métaphosphate) ou par traitement à l'acide, ou le pistonnage ou débit de purge, compresseurs par air lift, nettoyage mécanique, par pompage (pompe immergée)

V.1.12. Les essais des débits

(Par trois paliers et un palier constant suivi d'une remontée) Il a pour objectifs de :

- Mesurer le débit du forage
- Déterminer le rendement du forage, ou la variation de sa production à différents débits.
- Quantifier les caractéristiques de l'aquifère, notamment la transmissivité, la perméabilité et la capacité de stockage.

V.1.13. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques

L'eau de bonne qualité (potable) qui respecte les paramètres de norme algérienne :

1-Les paramètres chimiques : la dureté (calcium, magnésium), PH (acidité), conductivité électrique (pour connaître la quantité de sels), fer, métaux lourds, les nutriments (azote, phosphate).

2-Les paramètres biologiques : les pathogènes (bactéries, virus, parasites, ... etc.)

3-Les paramètres physiques : la turbidité, couleur, odeur, etc.

La plupart des analyses de qualité de l'eau doivent être réalisées en laboratoire.

V.2. Condition d'implantation d'un forage

« Le choix du site prévoit la maîtrise de l'évacuation des eaux de ruissellement et la prévention de toute accumulation de celles-ci dans un périmètre de 35 mètres autour de la tête du forage ».

Le projet sera donc implanté sur un bombement topographique ; il évitera les basfonds et les cuvettes vers lesquelles peuvent converger les eaux de ruissellement. L'implantation du forage, notamment en zone urbaine, devra préalablement tenir compte de la présence de canalisations et de réseaux enterrés.

Il conviendra de se renseigner auprès des services techniques municipaux ou des établissements gestionnaires des réseaux.

L'information nécessaire peut être collectée auprès des administrations, des collectivités et des

établissements publics spécialisés, notamment : Agence de l'eau, BRGM, DDAF, MISE (Mission Inter Services Eau), DDASS, DDE, DIREN, DRIRE, mairies...

Le site d'un forage est choisi en ayant à l'esprit de prévenir :

- La surexploitation, la perturbation du niveau ou de l'écoulement de la ressource affectée à l'AEP ou à d'autres usages légalement exploités,
- Tout risque de pollution par migration des pollutions de surface ou souterraines ou mélange des différents niveaux aquifères,

Le choix du site doit prendre en compte les restrictions ou les interdictions applicables à la zone concernée :

- Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (ADE), plan de prévention des risques naturels (zones d'expansion des crues), périmètres de protection de captages AEP ou de source d'eau minérale, périmètres de protection de stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques.
- Inventaires départementaux des anciens sites industriels et activités de service, (à l'exception des ouvrages de surveillance ou de dépollution) doit tenir compte des contraintes de proximité par rapport à des sources de pollutions ; ainsi la distance d'un forage doit être supérieure à :
 - 200 m des décharges et stockages de déchets,
 - 35 m des ouvrages d'assainissement,
 - 35 m des stockages d'hydrocarbures, de produits chimiques, de produits phytosanitaires,

L'implantation d'un forage de prélèvement d'eau pour l'AEP ou pour l'arrosage des cultures maraîchères doit tenir compte de contraintes de proximité particulières par rapport à des sources de pollutions : ainsi la distance d'un forage doit être supérieure à :

- 35 mètres des bâtiments d'élevage et annexes (fosse à purin ou à lisier, fumières...), aires d'ensilage, circuits d'écoulement des eaux issus des bâtiments d'élevage, enclos et volières (densité $> 0,75$ animal équivalent / m^2) ;
- 50 m des parcelles potentiellement concernées par l'épandage des déjections animales et effluents d'élevage d'IC ;
- 35 m si la pente du terrain est inférieure à 7 % ou 100 mètres si la pente du terrain est supérieure à 7 % des parcelles concernées par les épandages de boues issues des stations de traitement des eaux usées urbaines ou industrielles et des épandages de déchets issus d'ICPE ;

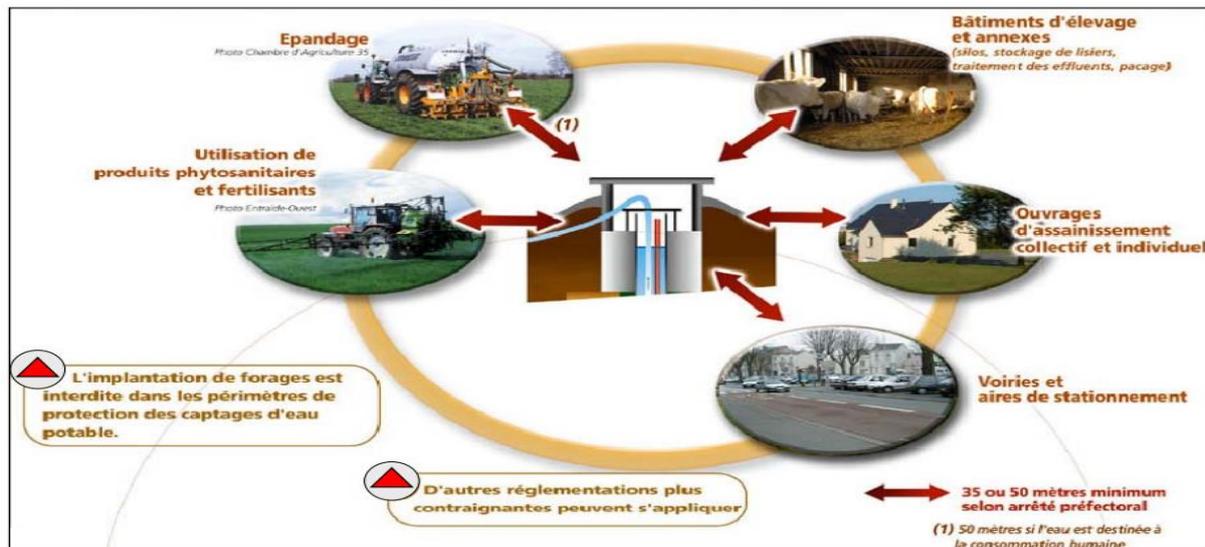


Figure V.2 : Exemple de critères d'implantation d'un forage.

- Le forage doit être implanté dans un environnement propre, éloigné de toute source potentielle de pollution, dans la mesure où celle-ci peut libérer des polluants susceptibles d'être attirés vers le forage.
- Lorsqu'il n'est pas possible de satisfaire à certaines de ces conditions, le pétitionnaire peut demander une dérogation aux prescriptions ministérielles, qui lui sera accordée dès lors que les mesures complémentaires ou techniques alternatives qu'il propose, permettent de garantir un niveau de protection équivalent à celui prévu par l'arrêté. Le dossier doit dans ce cas faire l'objet d'un examen en CDH et le projet est approuvé par arrêté préfectoral.

V.3. Organisation d'un chantier de forage et prévention des risques de pollution

V.3.1. Prévention des risques de pollution accidentelle

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 :
- Eloigner les produits polluants du forage
- Evacuer les boues et déblais de forage
- Evacuer l'eau des pompes d'essai.

V.3.2. Précautions particulières pour la protection des eaux souterraines

Des précautions particulières sont à prendre lors de la réalisation d'un forage et, par la suite, au moment de son exploitation :

- À proximité des installations d'assainissement collectif et non collectif,
- Dans les zones humides,
- Dans les zones karstiques et les roches très solubles (sels, gypse...),
- En bordure du littoral marin ou à proximité des eaux salées,
- À proximité des ouvrages souterrains et sur les tracés des infrastructures souterraines (câbles, canalisations, tunnels...),
- À proximité des digues et barrages,
- Dans les anciennes carrières ou mines à ciel ouvert remblayées et au droit des anciennes carrières et mines souterraines,
- À proximité des anciennes décharges et autres sites ou sols pollués,
- Dans les zones à risques de mouvement de terrain et les zones volcaniques à proximité des circulations d'eau ou de gaz exceptionnellement chauds ou chargés en éléments.

V.4. Condition techniques et précautions

La réalisation des travaux ne doit pas altérer la structure géologique avoisinante et la qualité des eaux, notamment lors des opérations suivantes :

- Injections de boues de forage ;
- Développement de l'ouvrage par acidification ou tout autre procédé ;
- Cimentations ;
- Obturations et autres opérations ;

V.4.1. Prévention de toute pollution du milieu

- Traitement des déblais de forage, des boues et des eaux extraites du forage par décantation, neutralisation ou toute autre méthode adaptée ;
- Dispositifs de traitement adaptés en fonction de la sensibilité des milieux récepteurs ;

A- Information au préfet :

- De tout incident ou accident susceptible d'altérer la qualité des eaux ;
- De la mise en évidence d'une pollution des sols et des eaux ;
- Des premières mesures prises pour y remédier ;

B- Etablissement de la coupe géologique de l'ouvrage :

- Lors des travaux, le déclarant fait établir la coupe géologique de l'ouvrage. En l'absence de supervision par un géologue, cette coupe est établie par le foreur. Cette coupe version « foreur » a minima, figurera dans le rapport de fin de travaux.

L'organisation de chantier de forage doit permettre au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème. Les précautions à prendre doivent conduire à déterminer :

- Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- Le bon choix de site du forage.
- Un approvisionnement en eau (citernes)
- Un accès facile pour le remplissage des fosses
- Une zone de déblais (cuttings)
- L'emplacement et le creusage des fosses à boue
- Le positionnement du compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas la poussière de forage.

V.5. Installation du chantier de forage

D'une façon générale, un projet de forage d'eau ne peut être bien conçu et bien réalisé que s'il s'appuie sur une bonne connaissance du milieu. Les considérations économiques ne doivent pas occulter la phase de collecte et d'analyse de l'information pour connaître :

- **Le milieu physique** depuis la surface jusqu'à l'objectif en profondeur : état du site du forage, sol superficiel et remblais éventuels, couches géologiques, niveaux aquifères ;
- **Les zones à risques** : zones inondables, zones d'instabilité du sous-sol (mouvements de terrain, carrières souterraines, dissolution et corrosion de la roche), zones de pollutions du sol... ;
- **Les contraintes environnementales** : périmètres de protection des captages pour l'eau potable, nappes surexploitées, périmètre du SAGE où les prélèvements de l'ensemble de la nappe sont limités, contrat de rivière, zones de sauvegarde de la ressource pour l'approvisionnement en eau potable, sauvegarde des milieux aquatiques dont les zones humides...

V.6. Equipement de la tête d'un forage

V.6.1. Réalisation d'une margelle bétonnée

- Conçue de manière à éloigner les eaux de la tête du forage

- Surface minimale de 3 m²
- Hauteur de 0,30 m au-dessus du niveau du terrain naturel

V.6.2. Réalisation éventuelle d'un local ou d'une chambre de comptage

- La margelle n'est pas dans ce cas nécessaire
- La hauteur du plafond du local est d'au moins de 0,50 m au-dessus du niveau du terrain naturel

V.6.3 Tête du forage

- La tête du forage située à l'extérieur ou dans une chambre de comptage s'élève au moins à 0,50 m au-dessus du terrain naturel ou du fond de la chambre de comptage dans lequel elle débouche.
- La tête du forage située dans un local s'élève au moins à 0,20 m au-dessus du fond du local dans lequel elle débouche
- La tête est cimentée sur 1 m de profondeur à partir du sol (niveau du terrain naturel)

En zone inondable la tête est rendue étanche ou située dans un local lui-même

- Étanche.

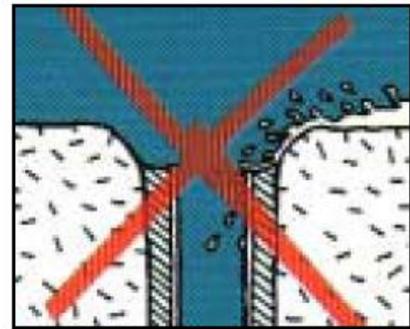
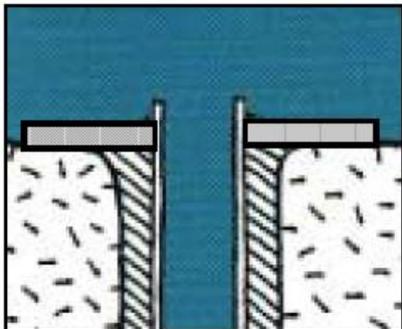


Figure V.3 : La hauteur de la rehausse au-dessus du sol est de 0,50 mètres.
Source documentaire : d'après la plaquette « Des forages de qualité en région

Centre »

V.6.4. Capot de fermeture

- Doit permettre un parfait isolement du forage (inondations, pollutions superficielles)
- Dispositif de sécurité interdisant l'accès à l'intérieur du forage.



Figure V.4 : Capot de fermeture

Source documentaire : d'après la plaquette « Des forages de qualité en région Centre »

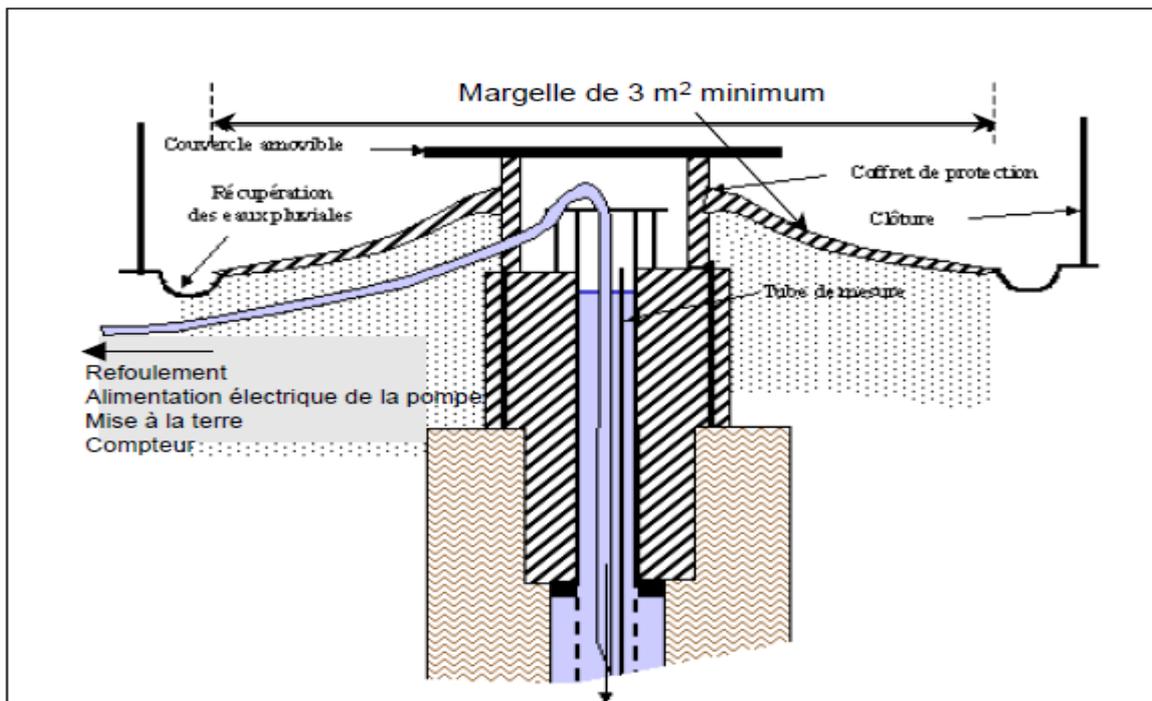


Figure V.5 : Protection de la tête de forage Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Le forage en Bretagne »

V.6.5. Dispositif permettant les mesures de niveau

- Les conditions de réalisation et d'équipement d'un forage doivent permettre de relever le niveau statique de la nappe, au minimum par sonde électrique.

- Pour répondre à cette prescription on installera le cas échéant un tube guide de la sonde de mesure dans le forage, notamment lorsque l'objet principal du forage est la surveillance des eaux souterraines.

V.6.6. Identification du forage

Le forage doit être identifié par une plaque mentionnant les références du récépissé de déclaration.

V.6.7. Cas particulier d'un forage destiné à l'usage AEP

- Des prescriptions spécifiques, notamment au regard des règles d'hygiène applicables, modifient ou complètent les prescriptions générales.

V.6.8. Captage en zone inondable

Tête de puits au-dessus des plus hautes eaux connues. Ce dispositif n'est à envisager qu'en cas d'impossibilité stricte de mise en œuvre d'autres solutions. Les installations électriques sont placées hors de la zone inondable. Le câble de la pompe immergée doit passer à travers un presse-étoupe.

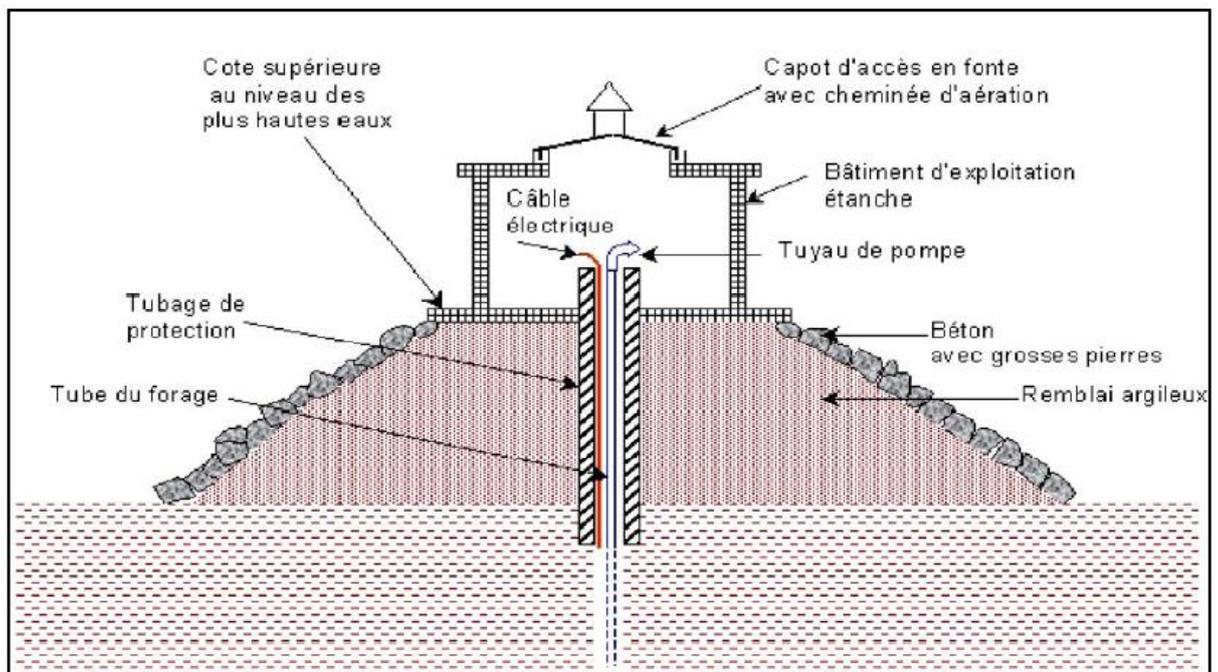


Figure V.6 : Configuration de captage en zone inondable.
Source documentaire BRGM

Tête de puits submersible : Ce dispositif n'est à envisager qu'en cas d'impossibilité stricte de mise en œuvre d'autres solutions.

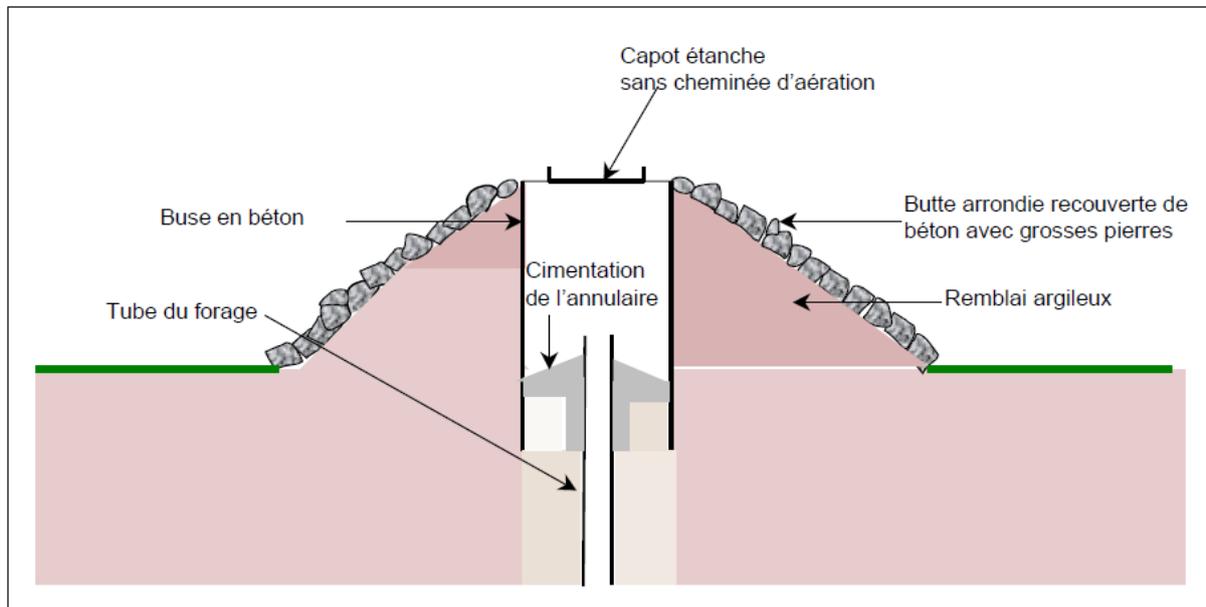


Figure V.7 : Configuration de captage en zone inondable. Tête de puits submersible
-Source documentaire BRGM-

V.7.Conclusion

La réalisation d'un forage est une opération délicate, car la bonne réalisation en adoptant la technique de forage adéquate est en respectant les étapes de réalisation, c'est la clé d'un forage bien conçu et constitue la première étape vers une exploitation et gestion meilleur de cet ouvrage. En conséquence, la bonne conception d'un forage facilite le suivi et le diagnostic des pannes et dysfonctionnements ultérieurement.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

La gestion rationnelle des ressources en eau est l'une des conditions dont dépend l'avenir d'une civilisation en pleine croissance technologique et démographique.

En particulier, l'application des techniques de forage d'eau contribue à exploiter les ressources hydrogéologiques en fonction de réalités économiques et écologiques devenues prioritaires.

Cet ouvrage réunit l'ensemble des données requises pour la compréhension et l'exploitation de ce rapport. À vocation essentiellement pratique, il met l'accent sur les applications et expérimentations sur le terrain.

A la lumière de notre travail ou moment de la recherche bibliographique nous avons conclu que les forages sont des ouvrages hydrotechniques réalisés par des professionnels pour la mise en valeur des eaux profondes. Le forage qui permet de capter les eaux profondes inaccessibles à partir des moyens traditionnels, apparaît comme une alternative, donc une stratégie d'adaptation au contexte actuel de changement climatique.

Références bibliographiques

- [1]Richard La Gabrielle, Édition (1996), Diagraphies et géophysique de forage.
- [3]Cahier5, Édition (Août 2008), Échantillonnage Des Sols, p26.
- [4]Le forage d'eau Réalisation, entretien, réhabilitation. Chapitre III –Réalisation d'un forage In book: Le forage d'eau ; Réalisation, entretien, réhabilitation. (Pp.71-120)Edition: Ingénierie de l'environnement : Masson, Paris.
- [5]A. MABILLOT, Édition (1971), Allégement par l'eau d'une boue de forage.
- [6]Guide d'application, Édition (11 septembre2003), l'arrêté interministériel», relatif à la rubrique 1.1.0 de la nomenclature eau.

Les sites web

- [2]Ouvrage, « Définition d'ouvrage », sur www.cnrtl.fr(consulté le12 juin2018).

Liste des abréviations:

BRGM: Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

AEP : Alimentation en Eau Potable

DDASS: Direction Départementale de l'Action Sanitaire et Sociale.

DDE: Direction Départementale de l'Équipement.

DIREN : Direction Régionale de l'Environnement.

CRS: Ciment Résistant aux Sulfates