

**Université Badji Mokhtar-Annaba**  
**Faculté des Sciences de la Terre**  
**Département de Géologie**

**Master I**

**TECHNIQUES DE FORAGE**

**Option: HYDROGÉOLOGIE**

**Responsable de la matière : Pr CHAFFAI Hicham**

**Année 2019**

# ***Master 1***

## **HYDROGEOLOGIE**

### **Matière: Techniques de Forage**

*Pr CHAFFAI Hicham*

#### **Support de cours :**

\* Méthodes de Forage

-Le rotary, -Le battage...

\*Chronologie de l'exécution d'un forage

- Méthodes utilisées pour le choix des sites de forage

-Géologie, -Hydrogéologie, -Géophysique.

\*Déroulement du forage :

-Forage de reconnaissance, -Alésage

\*Équipement de forage :

-Crépines, -Gravier, -Développement.

#### **Introduction**

Les méthodes de forage sont diverses et doivent être adaptées au but poursuivi lors de la réalisation d'un ouvrage dans un gisement d'eau minérale.

Le forage constitue la méthode d'approche directe des caractéristiques d'un gisement que ce soit pour l'acquisition de données, où il s'agit alors de parfaire la connaissance d'un site ou que ce soit pour l'exploitation d'un niveau identifié, quand il s'agit de préciser des conditions de production.

Ainsi, si les techniques de forages à mettre en oeuvre doivent être étudiées au cas par cas, la conception d'un forage doit entrer dans la réflexion globale d'étude d'un gisement et le suivi de l'opération doit faire l'objet d'une méthodologie précise. Sous réserve d'une prise en compte de ces deux conditions, le forage apportera des informations utiles sur le gisement et l'opération pourra ainsi être valorisée.

## **1. Méthodes de Forage :**

On peut citer plusieurs méthodes de réalisation de sondages (Reconnaissance, Carottage et exploitation).

- 1.1. FORAGE AU MARTEAU FOND DE TROU (MFT)
- 1.2. FORAGE AU MARTEAU FOND DE TROU AVEC TUBAGE À L'AVANCEMENT
- 1.3. FORAGE ROTARY CIRCULATION DIRECTE
- 1.4. FORAGE EN CIRCULATION INVERSE
- 1.5. FORAGE CAROTTE
- 1.6. FORAGE PAR BATTAGE
- 1.7. FORAGE PAR HAVAGE

## **2. Chronologie de l'exécution d'un forage :**

A défaut de ressources locales, apparentes en surface, l'approvisionnement en eau, par forage, des populations ou des industries, est incontestablement la solution la plus avantageuse.

### ***2.1. Méthodes utilisées pour le choix des sites de forage***

C'est tout naturellement, le plus près possible, et de préférence, au-dessus du lieu d'utilisation ou de stockage qu'on recherchera le point le plus favorable pour l'implantation de l'ouvrage.

La recherche s'effectuera, généralement, de la façon suivante :

#### ***- Visite des lieux***

- position et caractéristiques des sources ou résurgences, des puits ou des forages du voisinage

- examen de la végétation naturelle (prairies – arbres, etc.)

#### ***- Etude hydrogéologique***

- consultation des services techniques officiels compétents pour obtenir tous renseignements sur la structure des terrains de la région

L'efficacité des études hydrogéologiques pour la prospection hydraulique s'accroît considérablement avec le développement des cartes géologiques et la précision de leurs indications.

En résumé, voici quelques données géologiques fondamentales :

- Dans le sol, l'eau se trouve, soit dans des roches compactes et fissurées, soit dans des formations non cimentées.

- Toutes les roches peuvent être aquifères, si leur porosité et leur perméabilité sont suffisantes.

### **- Etude expérimentale superficielle**

- prospection géophysique : sismique, résistivité, gravimétrie

La prospection électrique est un moyen puissant de détection des structures superficielles.

Elle doit être interprétée avec soin car les terrains conducteurs peuvent masquer les terrains sous-jacents.

Son déploiement est relativement bon marché, ce qui en fait une méthode de choix pour les aspects hydrogéologiques et géotechniques.

Résistivités moyennes de quelques formations

■ Argiles et marnes	4 à 30	ohm.m
■ Schistes	40 à 250	
■ Craie	100 à 300	
■ Calcaire	100 à 5000	
■ Grès	500 à 10000	
■ Sable	30 à 10000	
■ Roches cristallines	x 1000	(3 ordres supérieurs)

### **Echelle relative des résistivités des roches saines**

Gangues > Roches volcaniques > Roches sédimentaires > Marnes > Argiles > Minerais  
Isolant            x 1000                    x 100                                    x 10                    x1            Conducteur

## **3. Déroulement du forage :**

### **3.1. Forage de reconnaissance, Alésage**

Généralement, le forage d'exploitation est réalisé par alésage [élargissage] de forage de reconnaissance.

Cependant, il est souvent préférable d'équiper en piézomètre ce forage de reconnaissance, en y introduisant un tube de 2 pouces, puis d'exécuter à quelques

mètres [3 à 5m] un nouvel ouvrage pour l'exploitation. Ce piézomètre sera fort utile pour les essais par pompage.

### **3.2. Tubage**

L'équipement de forage d'exploitation d'eau constitue la dernière étape avant la mise en production de la ressource d'un gisement. Cette étape est aussi essentielle que celle qui a permis d'identifier le niveau aquifère à capter puisqu'il s'agit de garantir la qualité de l'eau exploitée au cours du temps.

Il a pour fonction :

- de canaliser l'eau depuis la ressource jusqu'en surface,
- de tenir mécaniquement les terrains traversés,
- de participer à l'individualisation de l'eau captée du reste du forage ou de la surface,
- de permettre la fixation du matériel de tête d'ouvrage (supportage de pompe immergée, raccordement au réseau de surface).

### **3.3. Cimentation**

Cette opération consiste à remplir par un mélange à base de ciment, tout ou une partie de la hauteur de l'espace annulaire entre un tubage et les parois du trou foré.

Le but à atteindre est de rendre étanche cet espace annulaire et d'empêcher la pollution par les eaux de surface, des nappes aquifères mises en production.

La cimentation du tubage est destinée à atteindre les objectifs suivants :

- ancrer les tubages dans le terrain ou les tubes provisoires,
- empêcher toute migration de fluide d'une formation dans une autre et surtout celles productrices qui constituent l'objectif de ce forage,
- rendre l'espace annulaire étanche et empêcher la pollution par les eaux de surface,
- protéger le tubage de l'action corrosive de certains fluides ou terrain.

Pour atteindre ces objectifs, la "gaine de ciment" mise en place entre le terrain et le tubage doit être : continue, homogène, imperméable et adhérente aux parois du forage et au tubage.

## **4. Equipement de forage :**

### **4.1. Les crépines :**

Schématiquement la crépine est un tube ajouré laissant le passage à l'eau tout en maintenant la formation. En tant qu'interface avec la ressource, elle constitue l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation.

Sa longueur, son type, sa nature sont directement fonction de l'épaisseur de la formation à capter, du niveau de rabattement maximal, de la nature de l'aquifère.

Elle devra répondre aux critères suivants :

- permettre la production de fluide sans particule fine,
- rester inerte vis à vis du fluide à capter (interaction de matériaux mais aussi turbulence),
- résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation,
- ne pas risquer un vieillissement prématuré,
- induire des pertes de charges minimales.

### ***Types de crépines (Fig.1)***

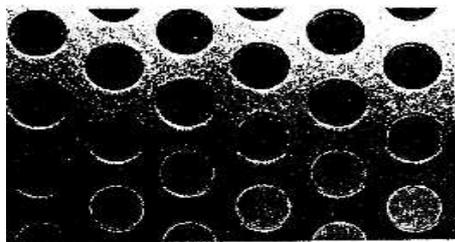
Une crépine se caractérise :

- par la nature du matériau qui la constitue,
- par la forme des ouvertures,
- par la taille des ouvertures,
- par le coefficient d'ouverture.

Les caractéristiques géométriques (taille, densité et forme des ouvertures) dépendent de la nature et des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère définies lors du suivi de forage (analyse granulométrique, diagrapie...).

Dans certains types de terrain très consolidés comme des carbonates ou des terrains cristallins, la présence de crépine n'est pas forcément utile, elle peut induire une augmentation des pertes de charges quadratiques (liées à l'ouvrage).

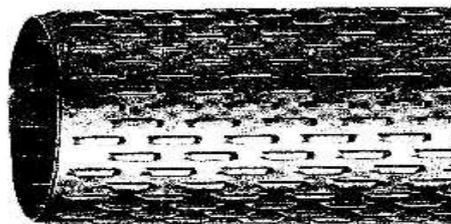
- les crépines perforées (à trous oblongues, à nervures repoussées, ou à fentes rectangulaires pour le PVC). Le coefficient d'ouverture est limité de 10 à 20 %,
- les crépines à fente continue sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement hélicoïdal d'un "fil enveloppe profilée" soudé sur des génératrices métalliques verticales. Le coefficient d'ouverture est nettement supérieur (jusqu'à 50 %). Ce type de crépine n'existe pas en PVC.



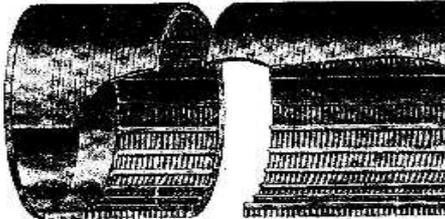
1. Trous ronds



2. Trous oblongs



3. A nervures repoussées



4. Type Johnson

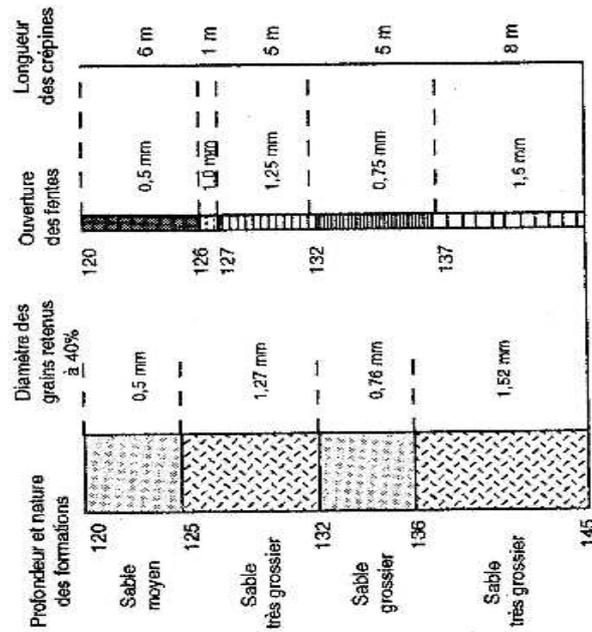


Fig. 1 : Les différents types de crépines - critères de choix des fentes en formation hétérogène

#### 4.2. Le Gravier :

Il s'agit de mettre en place, entre la crépine et l'aquifère, un massif de gravier dont la granulométrie doit être élevée (limitation de perte de charge) tout en assurant une filtration efficace.

La mise en place d'un massif de gravier permet d'augmenter la taille des ouvertures des crépines (ou slot), de réduire la vitesse de circulation de l'eau à l'entrée de la crépine et donc d'augmenter le débit de production ainsi que la longévité de l'ensemble.

Le massif sera constitué d'un matériau propre sans élément fin, de forme arrondie pour limiter les pertes de charge. Enfin, il sera caractérisé par une courbe granulométrique précise définie à partir de la courbe granulométrique propre de l'aquifère.

Il ne sera pas nécessaire de mettre en place de massif filtrant artificiel :

- lorsque la granulométrie de l'aquifère est grossière, on peut réaliser un développement naturel ou auto développement,
- lorsque l'encaissant est consolidé.

Par contre, lorsque dans les aquifères consolidés ou semis consolidés, présentent des risques d'éboulements, la mise en place d'un massif de blocage n'a pas un effet de filtre mais de soutènement.

Tout comme pour les crépines, la physico chimie du fluide capté doit être prise en compte pour choisir un massif filtrant dont les éléments n'interféreront pas avec l'eau minérale (sable siliceux).

### **4.3. Le Développement :**

L'objectif du développement d'un forage consiste à améliorer la productivité de la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation.

Cette opération s'effectue le plus souvent lorsque la colonne de captage est en place avant la mise en production du forage.

#### ***Types de développements les plus couramment utilisés :***

**4.3.1. Le développement par surpompage :** C'est la méthode la plus simple, elle est couramment utilisée, mais ce n'est pas la plus efficace.

Le procédé consiste à mettre, provisoirement, le forage en production par un pompage à un régime supérieur à celui fixé pour l'exploitation.

Son avantage réside surtout dans le fait qu'il permet d'obtenir une production régulière, plutôt que dans celui d'un développement absolu, même si ce surpompage a, apparemment, débarrassé la zone critique de la formation du sable fin qu'elle contenait.

Un forage qui aura été surpompe à un débit de **100 mètres cubes/ heure** ne produira généralement pas de sable si on se borne à ne l'exploiter qu'à **80 mètres cubes/heure**.

Cela ne saurait signifier que l'ouvrage a été convenablement développé, car, d'abord, rien ne prouve qu'il n'aurait pas débité **plus de 100 mètres cubes/heure** s'il avait été traité par l'un des autres procédés ; d'autre part, si pour une raison quelconque, le débit était, même pour un temps très court, **porté à 120 mètres cubes/heure**, le forage produirait du sable.

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

Il est sans effet sur les "ponts de sable" qui ne peuvent être rompus que par un flux alterné. Enfin, le procédé entraîne une détérioration rapide de la pompe utilisée.

**4.3.2. Le développement par pompage alterné :** Comme dans le cas précédent, on met le forage en production par pompage et on provoque, à plusieurs reprises, des arrêts brusques de la pompe. On crée ainsi des variations brutales de pression qui ont pour effet de développer la formation.

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

**1<sup>er</sup> procédé :** On utilise la pompe à sa capacité maximum jusqu'à obtenir le plus grand rabattement possible du niveau de l'eau.

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

On recommence l'opération autant de fois que nécessaire.

**2<sup>ème</sup> procédé :** même processus que précédemment, mais dès qu'on a obtenu le rabattement maximum et arrêté la pompe, au lieu d'attendre que le niveau remonte à sa cote de départ, on recommence le pompage presque aussitôt.

Cela a pour effet d'agiter fortement l'eau au fond de la crépine.

Il faut cependant prendre garde de ne pas remettre la pompe en marche avant son arrêt complet pour ne pas risquer une rupture de l'arbre.

**3<sup>ème</sup> procédé :** Sans chercher à obtenir le rabattement maximum, on pompe jusqu'à ce que l'eau se déverse à la surface ; on arrête la pompe, ce qui libère toute la colonne d'eau, et on recommence.

Il s'en suit de brefs et puissants chocs de pression sur la couche productrice, à une fréquence beaucoup plus grande que dans les autres procédés.

**4.3.3. Le développement par pistonnage :** l'outil est un piston actionné verticalement dans les deux sens à l'intérieur d'un forage tubé et crépiné. Dans son

mouvement de remontée, le piston crée une dépression, au-dessous de lui, qui attire l'eau et le sable fin de la formation vers la crépine.

Ce sable traverse la crépine et s'accumule à l'intérieur. On l'extrait ensuite par cuillérage. On peut prévoir, sous la crépine, un tronçon de tube plein de même diamètre, précisément pour recevoir le sable introduit par la course ascendante du piston.

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

Ils restent en ces points éloignés car la vitesse de l'eau ne sera pas suffisante pour les en chasser.

Le classement des matériaux de la formation, tout autour et au voisinage immédiat de la crépine, s'opère progressivement dans cette zone sensible.

Les plus gros touchent la crépine et les plus fins en demeurent les plus éloignés, mais **chacun finit par rester à sa place** et les ponts de sable ne peuvent se produire à cause de l'alternance du flux.

**4.3.4. Le développement à l'air lift ou émulseur ou pneumatique :** Il s'agit de stimuler alternativement le forage par injection d'air filtré créant un phénomène, de flux et de reflux dans le réservoir.

Cette méthode est certainement la plus efficace si elle est bien adaptée et bien conduite. Elle présente l'avantage de n'entraîner aucune détérioration du matériel employé. Elle permet de combiner l'action de flux et de reflux provoqué par de grands volumes d'air introduits dans l'ouvrage avec celle de mise en production par "air lift" (éjecteur ou émulseur).

**4.3.5. Les développements par fracturation hydraulique;** Cette technique permet d'élargir les fractures existantes ou d'en créer de nouvelles et de les maintenir ouvertes par des agents de soutènement.

Cette méthode est particulièrement adaptée aux réservoirs consolidés fissurés.

**4.3.6. Le développement par adjonction de produit chimique,** le plus fréquent étant l'acide chlorhydrique utilisé dans les terrains carbonatés. Il est utilisé des

polyphosphates pour des réservoirs à tendance argileuse, ou d'autres types d'acide et mélange au cas par cas : acide sulfamique, acide fluorhydrique...

Cette méthode nécessite le traitement des effluents avant rejet des eaux d'exhaure dans l'environnement.

**Choix de la méthode de développement :** On ne peut pas parler d'une méthode unique pour un type de forage et une combinaison de techniques peut être nécessaire. Il n'y a pas de règle générale, le choix est plus guidé par l'expertise technique, l'expérience acquise sur l'aquifère, le suivi du forage et les objectifs fixés de réussite de l'ouvrage.

Une méthode de développement non maîtrisée ou utilisée dans un contexte qui ne convient pas, peut se révéler dommageable pour l'ouvrage et éventuellement pour la ressource. Par exemple, le surpompage peut créer une compaction des sédiments fins entraînant une réduction de la perméabilité ; une acidification mal menée peut aboutir à la formation de gel sur les crépines ; et certaines fracturations peuvent créer des communications inopportunes.

## BIBLIOGRAPHIE

- PRATIQUE DU FORAGE D'EAU - R. LAUGA - EDITION SEESAM (1990).
- FORMULAIRE DU FOREUR - EDITION TECHNIP (1978).
- LE FORAGE D'EAU - A. MABILLOT - EDITION JOHNSON FILTRATION SYSTEM (1988).
- SUPPORT DE COURS ANTEA : LES TECHNIQUES DU FORAGE D'EAU (1994) - E. BERTHET.
- LES TECHNIQUES DE FORAGE UTILISEES EN EAU MINERALE. NOTE TECHNIQUE N° 2, NOVEMBRE 1995. DIVISION NATIONALE DES EAUX MINÉRALES ET THERMALES. B.R.G.M.
- ÉQUIPEMENT DE FORAGE D'EXPLOITATION D'EAU MINERALE. APPROCHE METHODOLOGIQUE. *NOTE TECHNIQUE DNEMT N° 4*, NOVEMBRE 1995. DIVISION NATIONALE DES EAUX MINÉRALES ET THERMALES. B.R.G.M.
- LES EAUX MINERALES ET LES MATERIAUX EN CONTACT (1990) - G. POPOFF - JL. HONEGGER, JOURNAL HYDROGEOLOGIE 1990 N°4.
- MATERIAUX AU CONTACT DES DONNEES ALIMENTAIRES - PRODUITS DE NETTOYAGE DE CES MATERIAUX (1994) - JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE FRANÇAISE.
- EFFET DES MATERIAUX SUR LA QUALITE DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE : INFLUENCE DE LA NORMALISATION EUROPEENNE ET DE LA RECHERCHE PRENORMATIVE SUR LA REGLEMENTATION NATIONALE ET EUROPEENNE (1994) - JL. GODET - S. RIGAL - P. LEROY - JOURNAL AGHTM N° 10 OCTOBRE 94.
- LE FORAGE D'EAU (1993)- MICHEL DETAY - ED MASSON.
- LA PRATIQUE DU FORAGE D'EAU (1990) - ROBERT LAUGAT - ED SEESAM.
- DIAGRAPHIES APPLIQUEES A L'HYDROGEOLOGIE (1987) - DOMINIQUE CHAPPELLIER - ED LAVOIRSIER TEC/DOC.
- HYDROCHIMIE EN FORAGE - APPROCHE METHODOLOGIQUE (1995) - ALAIN GADALIA - JEAN LUC HONEGGER - JOURNAL HYDROGEOLOGIE BRGM.95.