

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider- Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil et d'Hydraulique



جامعة محمد خيضر – بسكرة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة المدنية والري

Ref : /2018

## Mémoire de Master

2<sup>ème</sup> année

Option : Ouvrage Hydraulique

### THEME

#### AUSCULTATION ET DIAGNOSTIC DES FORAGES

« Cas de forages captant les formations du Mio-Pliocène  
dans la région de Biskra »

Etudiant :

Amar KHEIRANI

Encadreur :

Dr. Abdallah LABADI

PROMOTION : Juin 2018

# SOMMAIRE

---

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I

### Les techniques de forage

I.1	Introduction.....	3
I.2	Les techniques de forage.....	3
I.2.1	Forage par battage.....	3
I.2.2	Forage rotary.....	7
I.2.3	Forage au marteau fond de trou (MFT).....	10
I.3	Equipement du forage.....	12
I.3.1	Les tubages pleins.....	12
I.3.2	Le tubage crépine.....	12
I.4	Massif filtrante.....	14
I.5	Cimentation.....	16
I.5.1	Cimentation par les tiges.....	16
I.5.2	Cimentation par le tube ancré.....	16
I.5.3	Cimentation par canne dans l'annulaire.....	18
I.6	Développement d'ouvrage.....	18
I.6.1	Développement par surpompage.....	19
I.6.2	Développement par pompage alterné.....	19
I.6.3	Développement par pistonnage.....	19
I.6.4	Développement pneumatique.....	19
I.7	Les essais de pompage.....	19
I.8	Conclusion.....	20

## Chapitre II

### L'entretien et la réhabilitation des forages

II.1	Introduction.....	21
II.2	Les symptômes.....	21
II.3	Le colmatage des crépines.....	22
II.3.1	Le colmatage bactérien.....	23

II.3.2	Le colmatage physico-chimique .....	24
II.3.3	Le colmatage mécanique .....	25
II.4	La corrosion dans le forage .....	26
II.4.1	La corrosion des équipements en acier .....	26
II.4.2	La corrosion des ciments .....	27
II.5	Observations, controles et mesures .....	28
II.5.1	Analyse et observations .....	28
II.5.2	Contrôle du trou .....	29
II.5.3	Camera et diagraphies .....	29
II.6	Entretien des forages .....	31
II.6.1	Essai de pompage .....	31
II.6.2	Démontage de la pompe .....	32
II.6.3	Brossage des parois .....	32
II.6.4	Acidification .....	32
II.6.5	Traitement aux polyphosphates .....	35
II.6.6	Chloration .....	36
II.7	Rehabilitation des forages .....	37
II.7.1	Rechemisage d'un tubage .....	37
II.7.2	Rechemisage d'une crepine.....	37
II.7.3	Remplacement d'une crépine .....	37
II.8	Conclusion.....	38

## **Chapitre III**

### **Moyens d'auscultation des forages**

III.1	Introduction .....	39
III.2	Auscultation d'un forage.....	39
III.3	Camera well-vu .....	40
III.3.1	Description du matériel .....	40
III.4	Les autres instruments de control.....	44
III.4.1	La nautilus 360 duo plus.....	45
III.4.2	La caméra pour puits et forage « well camera ».....	46
III.5	Conclusion .....	47

## **Chapitre IV**

### **Auscultation et diagnostic des forages du Mio-Pliocène**

IV.1	Introduction .....	48
IV.2	Situation géographique et aspect géologique du secteur d'étude.....	48
IV.3	Auscultation et diagnostic .....	50
IV.3.1	Le forage N°1 .....	51
IV.3.2	Le forage 2.....	54
IV.3.3	Le forage 3.....	56
IV.3.4	Le forage 4.....	58
IV.4	Conclusion.....	62
	Conclusion générale.....	63

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Sonde de forage par battage. ....	4
Figure 2 : Sonde de forage par Battage. ....	4
Figure I.3 : Battage au câble (technique pennsylvanienne).....	5
Figure 4 : Battage à tiges pleines (technique canadienne) .....	6
Figure I.5 : Forage rotary.....	7
Figure I.6 : Sonde de forage rotary.....	10
Figure 7 : Type de circulation.....	10
Figure I.8 : Sonde de forage au marteau fond de trou .....	11
Figure 9 : Principe de fonctionnement du Marteau Fond de Trou .....	11
Figure I.10 : Tubage plein .....	12
Figure 11 : Les types des crépines.....	13
Figure I.12 : Graver additional .....	15
Figure I.13 : Gravier additionnel en utilisée.....	15
Figure I.14 :Dispositif de cimentation par les tiges (BRGM). .....	17
Figure I.15 : Cimentation par tube ancré (BRGM). .....	17
Figure I.16 : Cimentation par canne dans l'annulaire (schéma n°1) (BRGM). .....	18
Figure II.1 : Evolution de la courbe débit/rabattement d'un forage en cours de colmatage ....	22
Figure II.2 : Corrosion bactérienne .....	23
Figure II.3 : Colmatage des crépines .....	24
Figure II.4 : Corrosion par la rouille des crépines .....	26
Figure II.5 : Micromoulinet .....	30
Figure III.1 : Treuil motorisé.....	41
Figure III.2 : Consol de commande .....	42
Figure III.3 : Tête de caméra détachable modèle WV-CP .....	43
Figure III.4: Fisheye camera.....	43
Figure III.5 : Pince de fixation.....	44
Figure III.6 : Centralisateur .....	44
Figure III.7 : Nautilus 360 DUO plus.....	45
Figure III.8 : Well camera .....	46
Figure IV.1 : Situation géographique du secteur d'étude.....	49
Figure IV.2 : Logs de forages captant le Mio-Pliocène.....	50
Figure IV.3 : Corrosion de la colonne montante et du tubage.....	51
Figure IV.4 : Dégradation avancée par corrosion des brides de jonction.....	52
Figure IV.5 : Colmatage des crépines .....	52
Figure IV.6 : Réduction du diamètre du tubage par colmatage chimique.....	53
Figure IV.7 : Colonne montante, corde et câble d'alimentation .....	54
Figure IV.8 : Corrosion du tubage.....	54
Figure IV.9 : Augmentation du degré de la corrosion en fonction de la profondeur .....	55
Figure IV.10 : Corrosion dès les premiers mètres du tubage .....	56

Figure IV.11 : Signe d'une attaque externe de la paroi du tubage .....	56
Figure IV.12 : Niveau statique de la nappe du Mio-Pliocène .....	57
Figure IV.13 : Matières en suspension organique et inorganique .....	57
Figure IV.14 : Limite de l'auscultation à 48,2 m .....	58
Figure IV.15 : Raccord des conduites de 5 m .....	58
Figure IV.16 : Altération du tubage et niveau statique.....	59
Figure IV.17 : Matières organiques en suspension et colmatage biologique .....	60
Figure IV.18 : Fin de l'auscultation .....	60
Figure IV.19 : Nettoyage à grande eau d'un forage en utilisant la méthode d'injection d'eau sous haute pression .....	61

## RESUME

La ville de Biskra s'est dotée par un nombre important de forage que ce soit pour l'alimentation en eau potable ou l'irrigation des terres agricoles de la région.

Ces forages, éléments-clés du système de production d'eau sont, comme tout équipement, sujets au vieillissement. Aussi, afin de connaître leur carte d'identité et leur état de santé à un instant de leur vie, il est nécessaire d'en réaliser le diagnostic.

L'objectif de cette étude est l'auscultation de ces ouvrages hydrauliques à travers la caméra vidéo Well-Vu, et de donner un diagnostic aux différents problèmes, ceci peut servir comme un outil d'aide à la décision et la bonne gestion de ressource souterraine.

## ABSTRACT

The city of Biskra is endowed with a large number of boreholes whether it is for the supply of drinking water or the irrigation of the agricultural lands of the region.

These boreholes, key elements of the water production system are, like any equipment, subject to aging. Also, in order to know their identity card and their state of health at a moment of their life, it is necessary to realize the diagnosis.

The objective of this study is the auscultation of these hydraulic structures through the Well-Vu video camera, and to give a diagnosis to the various problems, this can serve as a decisive help tool and the good management of resources. Underground.

## ملخص

تتميز مدينة بسكرة بعدد كبير من ابار المياه ,التي تمحفرها سواءا من اجل المياه الصالحة للشرب او الاستفادة منها في ري الاراضي الفلاحية .

الهدف من هذه الدراسة هي معاينة وتشخيص المشاكل الموجودة في بعض الابار بواسطة كاميرا فيديو Well-Vu هذه الاخيرة يمكن ان تكون اداة مساعدة في تشخيص وتحديد مشاكل الابار في وقت قصير وبدقة .

# INTRODUCTION GENERALE

La réalisation d'un forage d'eau, qu'il soit destiné à l'industrie, l'agriculture, ou l'alimentation humaine, s'inscrit aujourd'hui dans un cadre de développement durable de gestion et de production de la ressource.

Comme pour tout objet de valeur, l'entretien des puits et forages est devenu crucial. Or, la vie de cet ouvrage est très particulière car elle dépend de paramètres actuels comme la qualité de l'eau extraite ou encore du mode d'exploitation, mais également de paramètres initiaux comme la technique de réalisation et la qualité des matériaux utilisés pour la réalisation, et encore des paramètres intrinsèques de l'aquifère exploité.

Le vieillissement d'un ouvrage captant les eaux souterraines est un phénomène naturel et inéluctable, avec des pathologies diverses qui peuvent de temps en temps accentuer son vieillissement et entraîner irrémédiablement sa perte.

C'est pourquoi il importe de suivre son évolution depuis sa création pour observer la manière dont il régit avec le temps, sur le plan hydrodynamique et hydrochimique, au niveau même de sa structure.

Effectuer une inspection vidéo peut déterminer les causes de la plupart des problèmes habituels affectant un puits au cours de sa durée de vie, comme la présence de sable et la baisse du débit d'eau.

Dans ce cadre, nous proposons d'effectuer une étude d'auscultation par vidéo caméra de quatre forages dans la région de Biskra et d'avancer un diagnostic sur l'état de ces forages.

Pour ce faire, nous avons divisé notre travail en quatre chapitres :

Le premier est consacré au forage d'eau, et dans lequel les différentes techniques de forage les plus utilisées sont passées en revue. Nous traiterons aussi les méthodes d'équipement (tubage, crépine, massif filtrant ...) et de développement (essai de pompage) de ces ouvrages.

Le deuxième chapitre traite en premier lieu des causes de vieillissement des forages et les différents aspects de ce phénomène, telles que les corrosions chimiques, biologique ..., ou le vieillissement par colmatage (chimique, mécanique, biologique).

En second lieu, nous abordons les méthodes de réhabilitation des forages suivant chaque type de détérioration, ainsi que les meilleures façons pour entretenir ces ouvrages.

Dans le troisième chapitre, nous nous proposons dans un premier temps de présenter les méthodes de maintenance pour assurer une longévité et une meilleure fonction des forages d'eau, et en second temps. Nous détaillerons les caractéristiques de l'appareillage d'auscultation mis à notre disposition par le laboratoire d'aménagements hydrauliques et d'environnement d'université de Biskra.

Le quater chapitre est consacré, après une description des forages, à l'auscultation et au diagnostic des installations de ces forages, à l'observation des différents aspects de vieillissement et les solutions les plus adéquates pour une éventuelle réhabilitation.

## I.1 I.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous découvrirons le matériel et les méthodes qui entrent dans la réalisation des « forages en petit diamètre » A propos de ce sujet tous les forages réalisés en un diamètre doivent être exploités avec une pompe. Il existe quatre méthodes de perforation qui permettant de réaliser ce type de forage :

- ✓ Le battage, méthode beaucoup plus polyvalente mais qui n'est plus guère employée que dans les roches sédimentaires depuis l'introduction du marteau fond de trou pour la réalisation des forages d'eau dans le socle.
- ✓ Le forage au rotary à la boue adapté aux formations sédimentaires et accessoirement le forage carotté.
- ✓ La percussion rapide à l'air comprimé au marteau fonde de trou adapté aux roches dures et que l'on ne peut séparer du rotary à l'air.
- ✓ Forage rotary circulation direct.

## I.2 LES TECHNIQUES DE FORAGE

Il existe de nombreuses méthodes de forassions dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers. Le Partie présente les méthodes de forages en tant que telles avec leurs avantages et inconvénients relatifs. La partie suivante précisera les modalités de sélection de ces méthodes selon les critères usuels pour le domaine de l'eau minérale.

### I.2.1 Forage par battage

La méthode consiste à soulever un outil lourd (trépan) et à le laisser retomber sur le terrain à traverser. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations. On distingue deux types de battages : le battage au treuil et le battage au câble. Cette dernière méthode est la plus courante. Le trépan est suspendu à un câble qui est alternativement tendu et relâché. Les mouvements sont rapides et le travail de l'outil se fait plus par un effet de martèlement dû à l'énergie cinétique que par un effet de poids comme pour le battage au

treuil. Un émerillon permet au trépan de pivoter automatiquement sur lui-même à chaque coup. Le trou est nettoyé au fur et à mesure de l'avancement par descente d'une soupape permettant de remonter les débris (cuttings). Ce procédé permet de réaliser des forages sans utilisation d'eau ou de boue. (Figure I.1 et I.2).

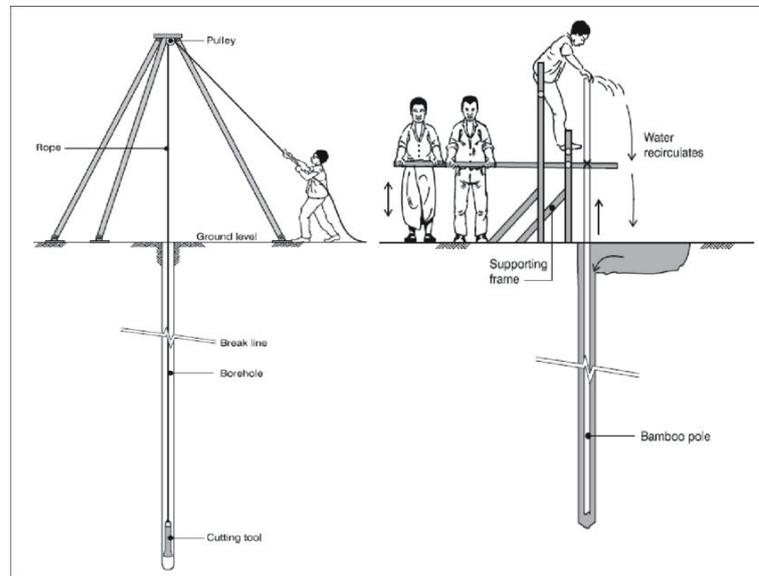


Figure 1 : Sonde de forage par battage.



Figure 2 : Sonde de forage par Battage.

### ***1.2.1.1 Les différents forages par battage***

#### ***1.2.1.1.1 Forage au câble (ou pennsylvanien) :***

Les sondeuses spécialisées en forage au câble s'appellent des batteuses. La fréquence de battage va de 10 à 100 coups par minutes et où le trépan est à accrocher directement au câble sous une masse tige (tige très lourde). Cette méthode est bien développée aux USA.



**Figure I.3 : Battage au câble (technique pennsylvanienne)**

#### ***1.2.1.1.2 Forage aux tiges pleines (ou canadien)***

Cette méthode ressemble à celle des tiges creuses sauf dans l'opération de curage. Cette méthode est très lente et a complètement disparu.



Figure 4 : Battage à tiges pleines (technique canadienne)

#### ***1.2.1.2 Avantages du battage***

- ✓ Investissement moins important.
- ✓ Energie 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.
- ✓ Pas de problèmes dans des zones fissurées (risque lié aux pertes de boue).
- ✓

#### ***1.2.1.3 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.

### I.2.2 Forage rotary

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920. La technique rotary est utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés, pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs. Un outil appelé trépan (tricône ou trilame) 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 (figure I.5).

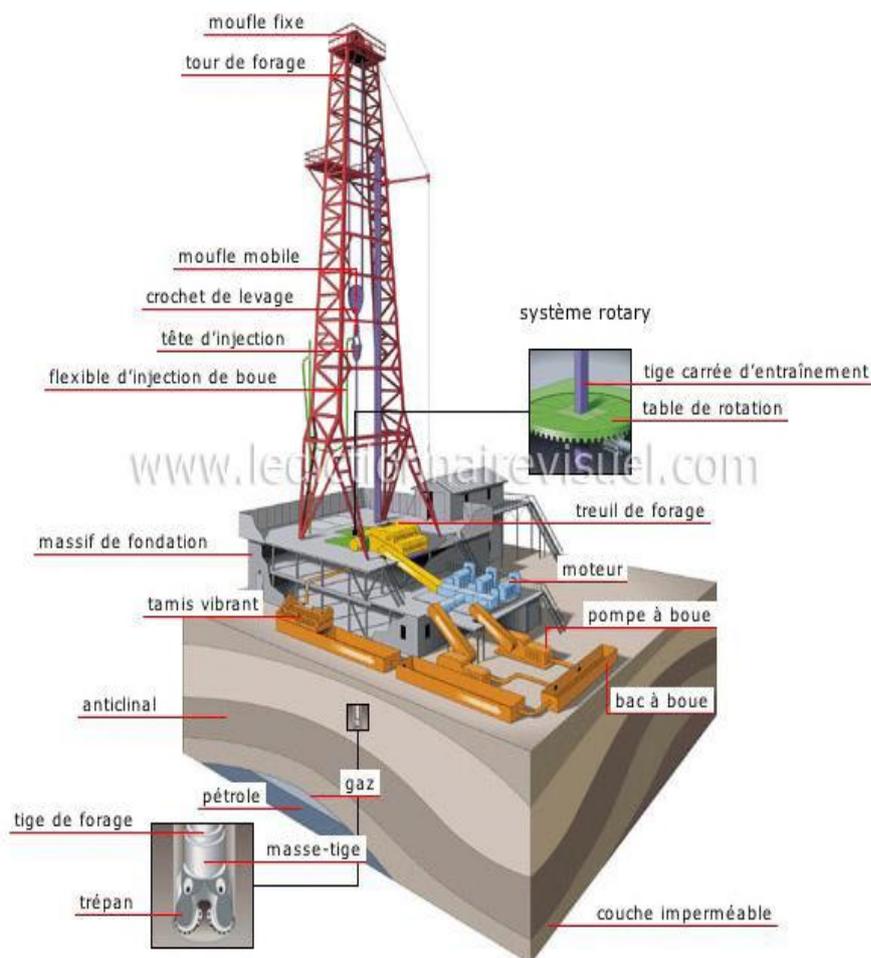


Figure I.5 : Forage rotary

### ***1.2.2.1 Avantages***

- La profondeur du forage peut être très importante, la foration n'est pas perturbée par les terrains peu stables ou plastiques, sous réserve de l'utilisation d'un fluide de forage adapté.
- Ce système permet un bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, débit d'injection de la boue) en fonction des terrains à traverser.
- Le forage au rotary consolide les parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.

### ***1.2.2.2 Inconvénients***

- Nécessité d'un fluide de forage qui ne permet pas d'observation directe de qualité des eaux des formations traversées.
- Colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite).
- Difficulté d'observation des cuttings, la présence de tamis vibrants en circuit retour diminue sensiblement cet inconvénient.

### ***1.2.2.3 Forage rotary circulation direct***

La méthode de forage rotary utilise un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres), animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique. Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits. Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage. Les outils utilisés en rotation sont des trépans de plusieurs types en fonction de la dureté des terrains rencontrés (outils à lames, outils à pastilles, molettes ou tricône, outils diamantés ou à carbures métalliques). Au-dessus du trépan, on peut placer une ou plusieurs masses-tiges très lourdes qui accentuent la pression verticale sur l'outil et favorisent la pénétration et la rectitude du trou. Le forage rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier. Dans le cas de la circulation directe, le fluide est injecté en continu sous pression dans les tiges creuses de la ligne de

sonde, il sort par les événements de l'outil et remonte à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou).

#### ***1.2.2.3.1 Les avantages du forage au rotary***

- 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 économique de l'énergie.

#### ***1.2.2.3.2 Les inconvénients du forage à rotary***

- Nécessite beaucoup d'eau.
- Nécessite un grand investissement (matériel très importants).
- Seuls les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd.
- Nécessité d'un fluide de forage qui ne permet pas d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées.
- Colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite).

#### ***1.2.2.4 Forage en circulation inverse***

Cette méthode de foration diffère des méthodes précédentes par une circulation du fluide (boue, eau ou air) dans l'espace annulaire (entre la formation et les tiges) avec remontée des cuttings par l'intérieur du train de tiges. Il existe également des tiges à double parois qui assurent l'injection et la remontée du fluide par l'intermédiaire des seules tiges.

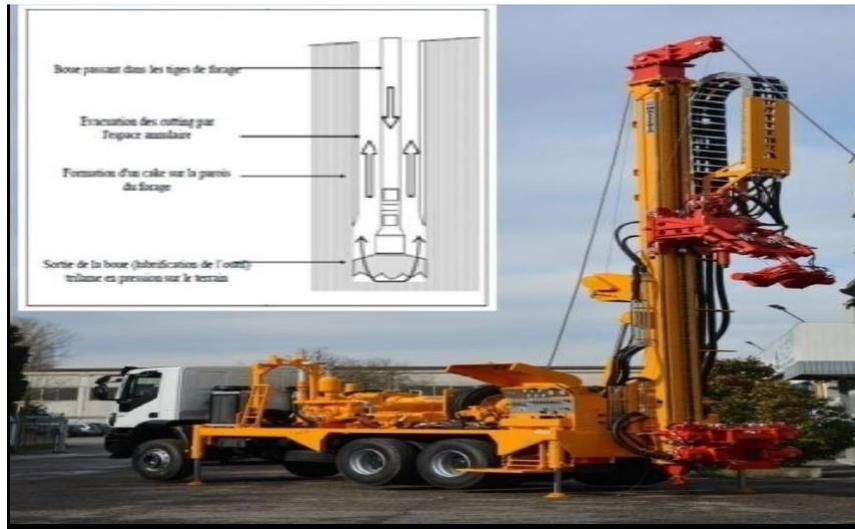


Figure I.6 : Sonde de forage rotary.

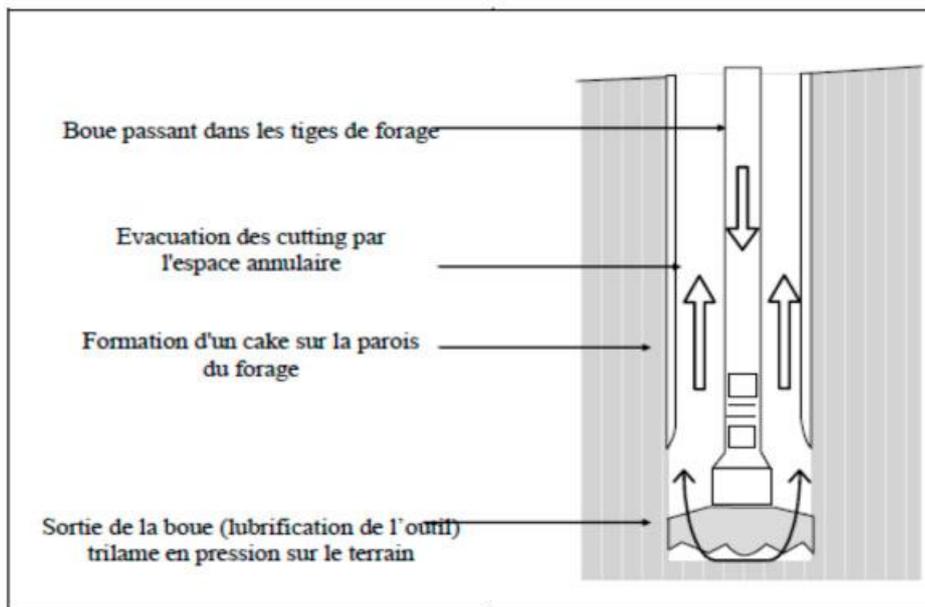


Figure 7 : Type de circulation

### I.2.3 Forage au marteau fond de trou (MFT)

Cette méthode de forage utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil, qui se trouve lui-même en rotation. L'énergie utilisée pour actionner cet outillage est l'air comprimé à haute pression (10-25 bars). C'est un procédé très intéressant en recherche hydrogéologique et principalement en terrains durs. Un marteau pneumatique équipé de taillants est fixé à la base

d'un train de tiges et animé en percussion par envoi d'air comprimé dans la ligne de sonde, d'où le nom de "marteau fond de trou".

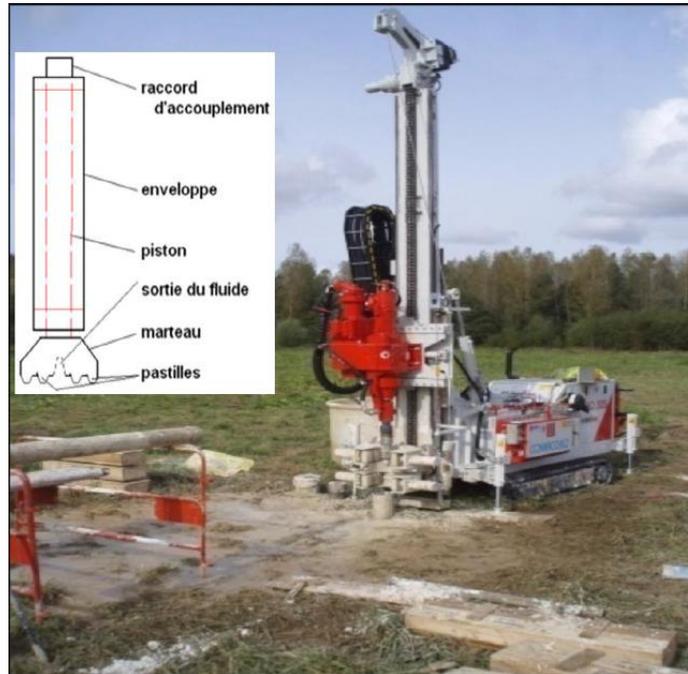


Figure I.8 : Sonde de forage au marteau fond de trou

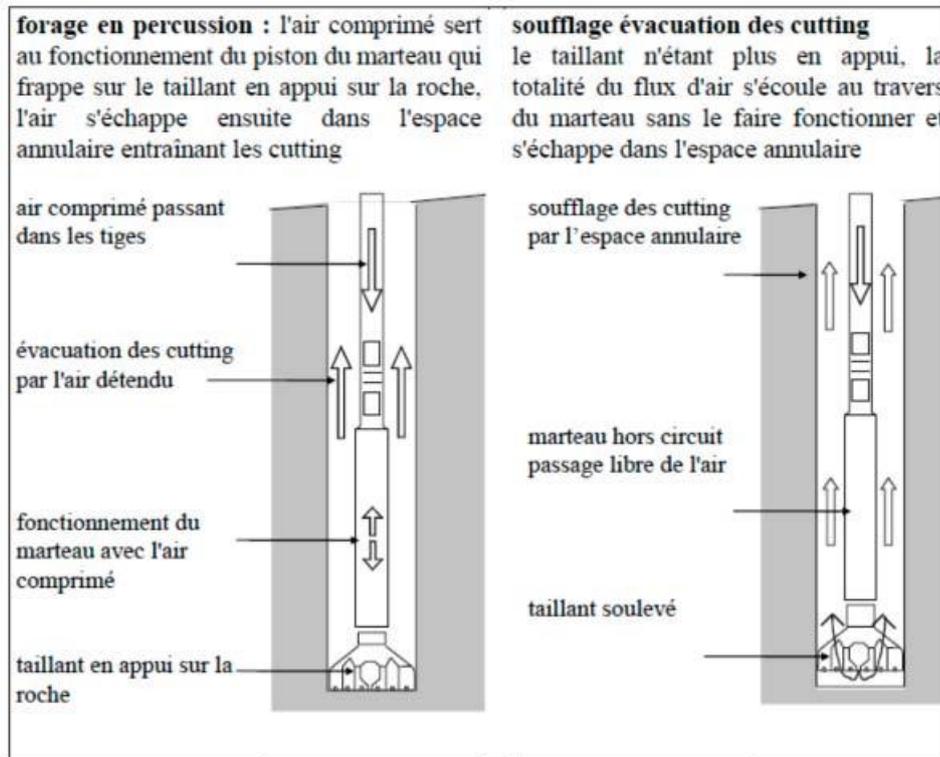


Figure 9 : Principe de fonctionnement du Marteau Fond de Trou

### I.3 EQUIPEMENT DU FORAGE

Trois éléments essentiels constituent l'équipement de forage d'exploitation sont, Les tubages pleins, les crépines ou tubages perforés et le massif filtrant.

#### I.3.1 Les tubages pleins

La fonction de tube plein est 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 et de permettre la fixation du matériel de tête d'ouvrage (supportée la pompe immergée, raccordement au réseau de surface). Le débit d'exploitation espéré et la profondeur finale à atteindre conduisent à déterminer les caractéristiques des outils de forage et le diamètre des tubages à utiliser. D'autre part, en fonction du débit souhaité, le choix de la pompe immergée imposera le diamètre des tubages.



Figure I.10 : Tubage plein

#### I.3.2 Le tubage crépine

La crépine constituée l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Placées à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère, les crépines doivent : Permettre la production maximale d'eau claire sans sable, résister à la corrosion due à des eaux agressives, résister à la pression d'écrasement exercée par la

formation aquifère en cours d'exploitation, avoir une longévité maximale et induire des pertes de charge minimales. Il existe plusieurs types de crépines industrielles en acier.

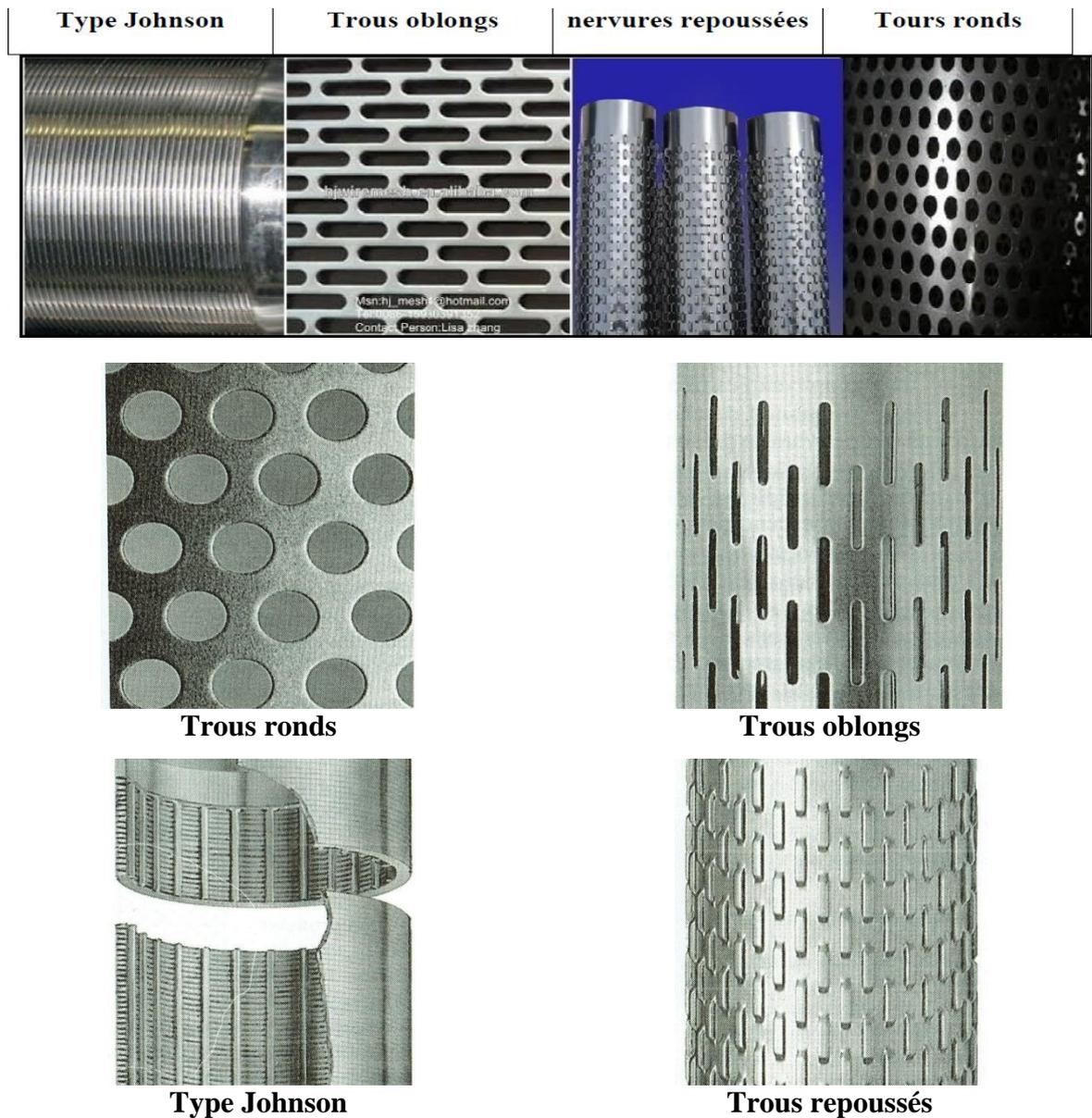


Figure 11 : Les types des crépines.

### 1.3.2.1 Différents types de crépines

La crépine constituée l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Placées à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère, les crépines doivent : Permettre la production maximale d'eau claire sans sable, résister à la

corrosion due à des eaux agressives, résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation, avoir une longévité maximale et induire des pertes de charge minimales. Il existe plusieurs types de crépines industrielles en acier.

- Crépines à trous ronds : utilisé en terrains durs, sa densité de perforation est de 10%
- Crépine à trous oblongs : avec des fentes rectangulaires verticales, de largeur au moins égale à l'épaisseur de la tôle, longueur standard 3 cm, sa densité de perforation varie de 10% à 20%.
- Crépine à prussiennes, avec des perforations rectangulaires horizontales, formant souvent, de bonne résistance mécanique, mais de faible pourcentage de perforation
- Crépine à nervures repoussées, réalisé à plat puis roulé et soudé, de bonne résistance mécanique du fait du faible enlèvement de métal, de pourcentage de vide variant de 3 à 27%.
- Crépine type Johnson, à ouverture horizontale continue sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement en hélice d'un « fil enveloppe profile » souder sur des génératrices métalliques verticales. Les avantages principaux de telle crépine sont: la régularité et la précision des ouvertures, les faibles risques de colmatage et le coefficient d'ouverture le plus élevé par rapport aux autres crépines.

#### I.4 MASSIF FILTRANTE

C'est une opération très importante dans la réalisation du forage parce qu'elle permet d'augmenter la perméabilité autour de la crépine aussi que l'augmentation de la productivité du forage (débit de la pompe) et de diminué le rabattement dans le forage. Le volume du gravier nécessaire est calculé comme suite :

Calcule du volume du gravier, d'après la formule empirique :

$$V=h.0,8(D^2-d^2)$$

avec :

V=volume de gravier, en litres

H=hauteur du massif de gravier, en mètre

D=diamètre du trou, en pouces

d= diamètre des tubes, en pouces



Figure I.12 : Graver additional

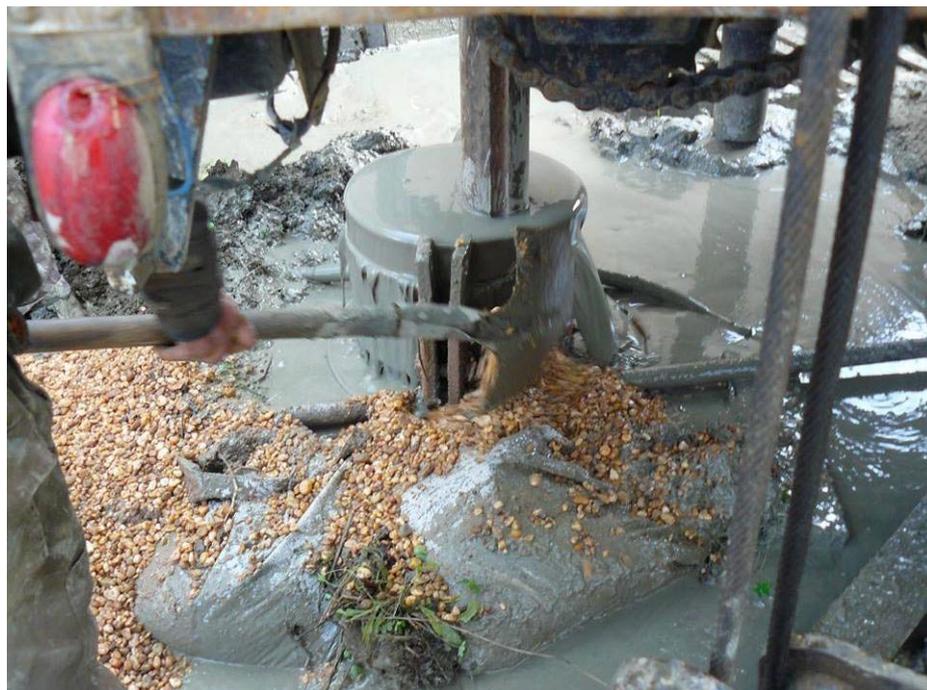


Figure I.13 : Gravier additionnel en utilisée

## I.5 CIMENTATION

Cette méthode consiste à remplir, par mélange à base de ciment, tout ou partie de la hauteur de l'espace annulaire entre un tubage et les parois du trou. La cimentation est utilisée pour les buts suivants :

- Colmater une cavité ou des grosses fissures qui engendrent de fortes pertes de boue lors de forage.
- la préservation de la qualité des eaux souterraines.
- Supprimer des problèmes liés à la géologie des terrains forer (les argiles, les évaporites, terrains meubles, etc.).
- Rendre étanche l'espace annulaire et empêcher la pollution par les eaux de surface, des nappes souterraines mises en exploitation.
- Fixer les colonnes de tubage au terrain et protéger ainsi contre les attaques corrosives de certaines eaux.
- Isolé l'aquifère à exploiter, des autres aquifères (cas des aquifères superposés).
- La longévité de l'installation.

Il existe plusieurs méthodes de cimentation/

### I.5.1 Cimentation par les tiges

Le tubage à cimenter est muni d'un sabot destructible équipé d'une balle plastique (de la grosseur d'une balle de tennis) faisant office de valve. Le ciment injecté sous pression par les tiges pénètre dans l'espace annulaire par l'orifice du sabot qui est obturé par la balle dès l'arrêt de l'injection (Figure. I.14).

### I.5.2 Cimentation par le tube ancré

A la base du tubage à cimenter des fenêtres ont été préalablement percées pour permettre la circulation de boue puis de ciment. Le volume théorique de ciment est introduit dans l'ouvrage et remonte dans l'espace annulaire sous la pression d'un joint séparateur poussé par un volume d'eau ou de boue et qui vient obturer les fenêtres de pied de tubage lorsque la cimentation est terminée (Figure.I.15).

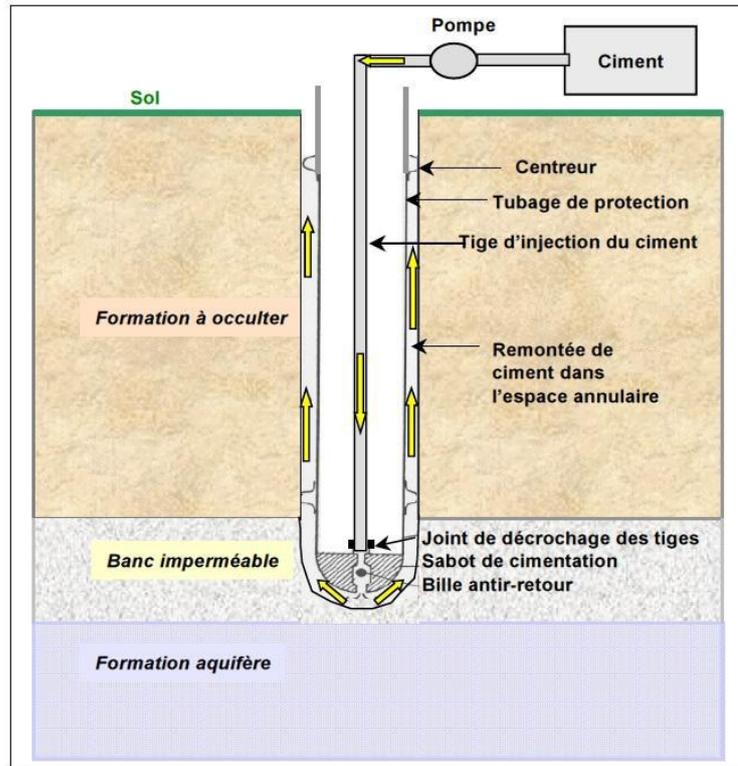


Figure I.14 :Dispositif de cimentation par les tiges (BRGM).

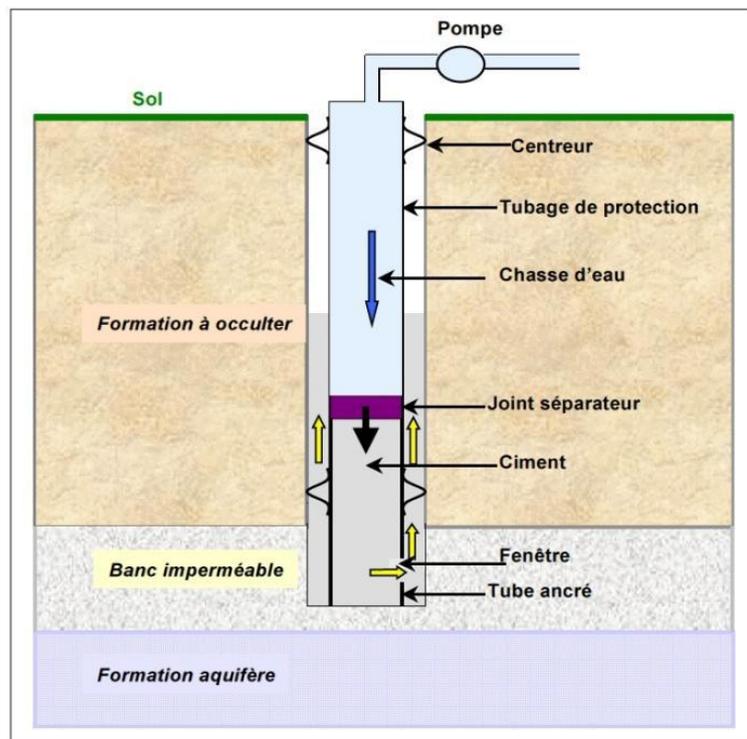


Figure I.15 : Cimentation par tube ancré (BRGM).

### I.5.3 Cimentation par canne dans l'annulaire

Une garniture de petit diamètre (environ 1pouce) est descendue dans l'espace annulaire jusqu'au pied du tubage (ancré dans le terrain)(Figure.I.16). Le ciment y est injecté sous pression, si nécessaire en remontant progressivement la canne de cimentation.

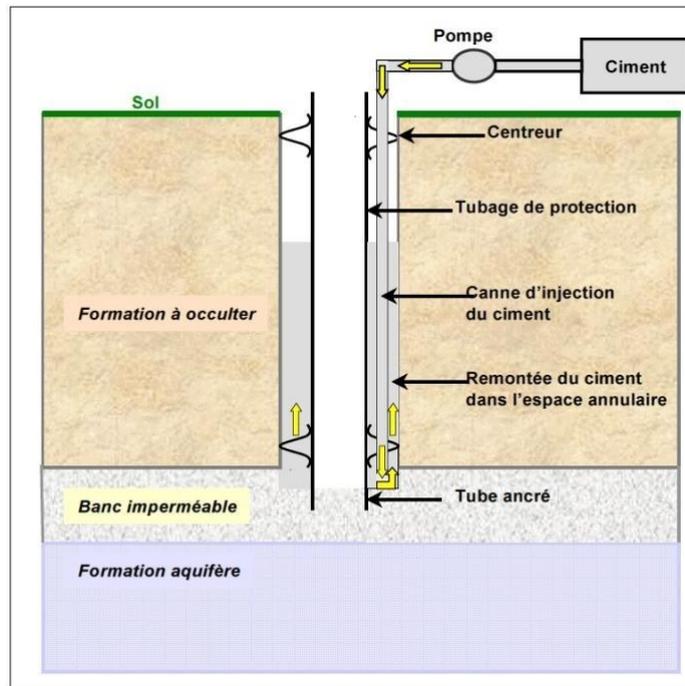


Figure I.16 : Cimentation par canne dans l'annulaire (schéma n°1) (BRGM).

### I.6 DEVELOPPEMENT D'OUVRAGE

On procède au développement d'un forage lorsque celui-ci est totalement équipé (tubage, crépine et massif filtrant). Cette opération consiste à améliorer la perméabilité naturelle de la formation aquifère autour de la crépine. Le développement a également pour but de stabiliser l'aquifère dans la zone de captage, d'éliminer le cake ou fluide de forage qui protège la paroi et d'augmenter la capacité spécifique du forage. Bien sûr, même en l'absence de développement, la mise en exploitation d'un ouvrage permet un certain auto-développement, mais cette opération est lente.

### **I.6.1 Développement par surpompage**

C'est la méthode la plus simple, elle est couramment utilisée, mais ce n'est pas 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

### **I.6.2 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.

### **I.6.3 Développement par pistonnage**

Principe-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.

### **I.6.4 Développement pneumatique**

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 provoquée par de grands volumes d'air introduits dans l'ouvrage avec celle de mise en production par « air lift » (éjecteur ou émulseur).

## **I.7 LES ESSAIS DE POMPAGE**

L'essai de pompage est un essai en place destiné à déterminer les caractéristiques hydrauliques du sol. Il consiste à abaisser par pompage la surface piézométrique de la nappe et à mesurer, en fonction du temps, les variations du niveau de cette surface ainsi que le débit pompé. Le

pompage est effectué dans un puits et l'évolution dans le temps de la surface piézométrique est suivie au moyen de piézomètres implantés aux alentours dupuits.

L'essai permet de déterminer :

- le coefficient de perméabilité de la couche testée.
- le facteur d'emmagasinement.
- le rayon d'action du pompage

## **I.8 CONCLUSION**

Le forage d'eau est une infrastructure inscrite aujourd'hui dans un cadre de développement durable, de gestion et de protection de la ressource. Elle est essentielle pour différentes activités ayant recours aux eaux souterraines : alimentation en eau potable, embouteillage, thermalisme, géothermie, industrie, agriculture, etc. Un forage d'eau est une infrastructure complexe dont la qualité et la longévité dépendent des conditions de réalisation et des matériaux utilisés ainsi que des conditions d'exploitation et d'entretien.

## II.1 INTRODUCTION

Les forages, comme toutes les constructions, se détériorent en vieillissant. Ce dépérissement, qui se traduit en général par une baisse du débit spécifique (rapport débit sur rabattement), intervient plus ou moins vite suivant les matériaux constitutifs, la structure des forages, leur débit et, bien entendu, les terrains qu'ils traversent, l'aquifère qu'ils captent et l'entretien préventif dont ils sont ou non l'objet.

Le vieillissement se traduit le plus souvent par :

- le colmatage des crépines (d'origine organique, physico-chimique, mécanique ou dû à la corrosion)
- la corrosion des tubages (chimique, électrochimique ou bactérienne)
- la disparition totale ou partielle de la cimentation des tubages.

Dans cette partie, nous allons essayer de rappeler les principaux problèmes rencontrés, leurs effets et les remèdes courants qui sont généralement utilisés pour y répondre (sachant qu'il ne s'agit pas d'une science exacte et que l'efficacité des traitements dépend beaucoup des conditions locales).

Les principales réparations, imposées notamment par une corrosion importante, sont évoquées.

## II.2 LES SYMPTOMES

Le vieillissement du forage se traduit en général:

- par une baisse du débit spécifique s'il y a colmatage
- par une brusque modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (conséquence d'une entrée d'eau d'une autre nappe) s'il y a perforation de tubage ou défaillance d'une cimentation de croisement.
- par une arrivée de sable s'il y a eu perforation de la crépine ou surexploitation de l'ouvrage. Il est donc indispensable de disposer d'une fiche d'identité du forage pour suivre son évolution depuis l'origine (plan de récolement, débit spécifique, essais de

pompage, niveaux statiques et dynamiques, caméras, diagraphies, débits d'exploitation, analyses de l'eau, entretiens...).

Compte tenu de la difficulté à retrouver les capacités d'origine d'un forage très colmaté, il est recommandé de mesurer au moins tous les ans le débit spécifique et, au minimum, l'évolution du niveau dynamique du forage à débit constant de la pompe.

Un entretien est recommandé à partir de 15% et si possible avant d'atteindre 25% de

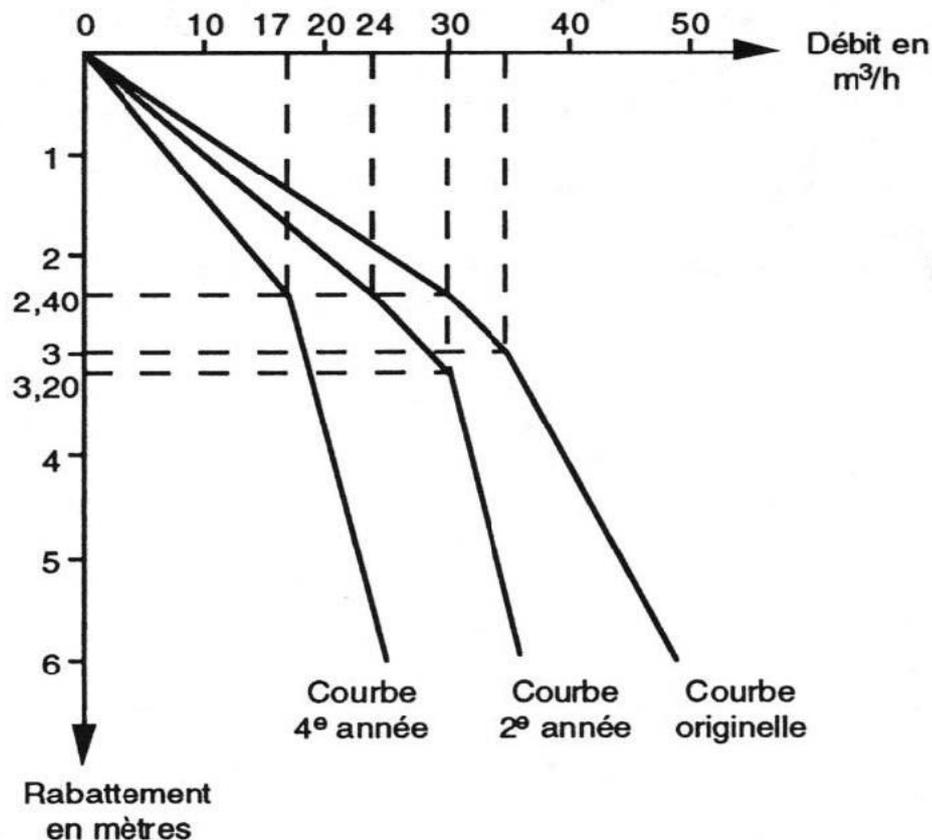


Figure II.1 : Evolution de la courbe débit/rabattement d'un forage en cours de colmatage

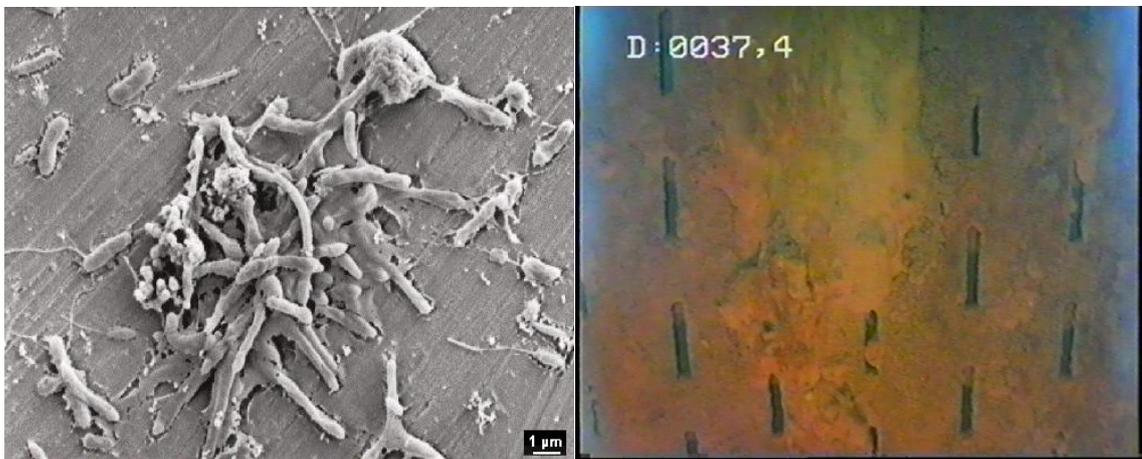
### II.3 LE COLMATAGE DES CREPINES

Il se traduit toujours par une réduction de débit spécifique mais peut provenir de différentes causes et se traduire par des effets très différents dans le forage en fonction des terrains captés (calcaires ou sables) et de la structure du captage (type de crépine et massif filtrant le cas échéant)

### II.3.1 Le colmatage bactérien

Il se traduit le plus souvent par l'adhérence dans les crépines (et parfois les conduites et les pompes) d'éléments filamenteux, gélatineux, ou par des flocons sans grande consistance.

Ce type de colmatage est en général dû aux bactéries du fer et du manganèse. Il a été constaté que leur développement est d'autant plus rapide que la vitesse des filets d'eau qui entrent dans la crépine est grande (ce qui s'expliquerait par la plus grande quantité de nourriture apportée aux bactéries). Elles se développent principalement dans des milieux à tendance acides (pH entre 5,4 et 7,2) contenant entre 0,2 mg/l (en eau mobile) et 10 mg/litre de fer ainsi que du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) dissous.



**Figure II.2 : Corrosion bactérienne**

#### LES REMEDES :

A la conception, il est recommandé de réduire le plus possible la vitesse d'entrée d'eau dans la crépine ( $\leq 3$  cm/sec). A l'exécution, on prendra garde à désinfecter les matériels, équipements et massifs de gravier avec une solution à 50 à 150 mg/litre de chlore préalablement à leur descente dans le forage.

Il n'existe pas de solution préventive parfaite (certains systèmes utilisent une injection de chlore au goutte à goutte directement dans la crépine, voire dans des piézomètres d'injection installé autour du forage).

On évitera toujours de dénoyer la tête des crépines (risque d'oxygénation) et on cherchera à éviter les arrêts-marches de la pompe (un fonctionnement de 20 h, si possible en continu, sur 24 h est souvent recommandé).

L'entretien le plus simple et le plus courant se fait par brossage des parois suivi d'une chloration sous charge d'eau pour bien pénétrer dans l'aquifère autour du captage et un pompage de nettoyage suivi d'un contrôle. Une acidification préalable peut être nécessaire pour détruire la gangue carbonatée dans laquelle les bactéries s'abritent parfois.

### II.3.2 Le colmatage physico-chimique

Il s'agit principalement de:

- la déposition de carbonates
- la précipitation d'oxydes métalliques

Concernant les carbonates, il s'agit d'un phénomène de déposition lié au changement des conditions de température et de pression du milieu. Le gaz carbonique dissous dans l'eau est libéré par la baisse de pression liée au cône de dépression du pompage et à la vitesse des filets d'eau qui provoque un dégazage et la précipitation des bicarbonates sous forme de carbonate de calcium ou de magnésium.

C'est le tartre, dur et cassant, qui se traduit ici par des incrustations qui peuvent inclure des précipités de silice ou des composés ferreux (couleur rouge), souvent provoqués par la réaction acide de redissolution du CO<sub>2</sub> dans l'eau après passage des crépines.



Figure II.3 : Colmatage des crépines

Les oxydes précipités sont principalement:

- l'oxyde de fer (rouille), pâte de couleur brun-rouge.
- l'oxyde ferreux (boue noire)
- l'oxyde de manganèse (substance noire ou brun foncé)

#### **LES REMEDES :**

Il n'existe pas de moyens préventifs contre les incrustations autour et dans les crépines hormis des précautions à la construction pour limiter au maximum la vitesse ( $\leq 3$  cm/sec) d'entrée des filets d'eau dans l'ouvrage (par un bon choix du couple massif de gravier-crépine et par un développement soigné notamment).

Il est conseillé d'éviter les arrêts-marches fréquents de la pompe.

On notera pour mémoire le procédé d'injection sous la pompe d'une petite quantité (2 à 5 gr/m<sup>3</sup>) de polyphosphate de sodium qui augmente la solubilité des carbonates et limitent donc leur dépôt dans la pompe et les circuits (mais n'ont pas d'action sur les incrustations des crépines).

Le remède le plus courant consiste à broser les crépines et tubages puis à réaliser une ou plusieurs passes d'acidification sur la hauteur entartrée, avec de l'acide chlorhydrique ou de l'acide sulfamique passivés, puis à nettoyer par air-lift et curer le fond du forage.

### **II.3.3 Le colmatage mécanique**

C'est le type de colmatage le moins fréquent sur un forage bien réalisé et bien exploité. Il correspond en général à un envahissement du massif de gravier par des particules d'argile ou de sable fin, souvent lié à un développement insuffisant ou à une surexploitation du forage.

#### **LES REMEDES :**

A la construction, limiter la vitesse des filets d'eau ( $\leq 3$  cm/sec). S'assurer du bon choix du couple crépines-massif de gravier. Vérifier la bonne mise en place du gravier (pas de ponts) et

que la réserve à gravier est suffisante. Ne pas installer une pompe pouvant pomper plus que le débit maximum recommandé.

En cours d'exploitation, faire vérifier que le niveau du gravier dans la réserve à gravier est toujours largement supérieure au niveau de la tête des crépines.

En cas de colmatage par les sables, il faut recourir à des solutions de réhabilitation lourdes.

En cas de colmatage par les argiles, traitement à l'hexamétaphosphate, brassé par pompage en circuit fermé avec arrêts-marches (de préférence sans clapet anti-retour pour provoquer des chocs hydrauliques dans la formation) pour les défloculer, suivi d'un pompage pour les évacuer.

## II.4 LA CORROSION DANS LE FORAGE

### II.4.1 La corrosion des équipements en acier

La corrosion, dans les forages, peut être d'origine chimique (rouille classique) d'origine électrochimique (lignes électriques ou passage de trains proches, effets de pile entre aciers différents ou entre parties d'acier traitées différemment ou ayant été chauffées...) ou bactérienne.



Figure II.4 : Corrosion par la rouille des crépines

Plus difficile à déceler car pas toujours associée à une baisse de productivité, la corrosion des crépines et des tubages peut avoir des conséquences graves sur l'ouvrage:

- colmatage des crépines par la rouille
- ensablement par perforation des crépines
- collapse des tubages
- communication entre nappes de nature et de niveau statique différents par perforation des tuages
- coincement de la pompe, fuites dans la colonne de pompage...

#### **LES REMEDES :**

A la construction, choix de matériaux résistant à la corrosion (PVC, Inox, tubes épais, joints diélectriques...). Protections cathodiques (comme, dans un couple cathodique, le métal est arraché à l'anode, on relie les tubages du forage à un métal sacrifié plus "anode" que l'acier, comme le zinc, le magnésium ou l'aluminium notamment. La dite anode est soit enterrée sous le niveau statique soit directement descendue dans l'eau du forage).

En cours d'exploitation, on évitera toujours de dénoyer la tête des crépines (risque d'oxygénation).

La réhabilitation du forage est une opération lourde et qui peut comprendre le rechemisage des crépines et/ou des tubages, voire l'extraction des crépines pour remise à neuf du captage (avec, si possible, des matériaux moins corrodables dans ce milieu).

#### **II.4.2 La corrosion des ciments**

Les ciments courants sont détruits par le gypse. La disparition du ciment autour d'un tubage peut provoquer une corrosion accélérée de l'extrados du tubage et, dans certains cas extrêmes, autoriser des communications entre nappes derrière les tubages, souvent dangereuses pour l'environnement.

**LES REMEDES :**

A la construction, il convient donc d'utiliser des ciments spéciaux pour cimenter les tubages traversant des zones de gypse et vérifier que les cimentations sont réalisées dans les règles de l'art.

En cas de vides constatés près du sommet du tubage, un surforage et une recimentation peuvent être envisagés, sinon la solution doit être étudiée au cas par cas.

**II.5 OBSERVATIONS, CONTROLES ET MESURES**

L'entretien, et surtout la réhabilitation, des forages sont d'abord un travail d'observation et de récolement d'informations, puis de bon sens car, en forage, rien ou presque ne se voit directement. Avant de décider de l'action à mener, il convient de réunir toutes les informations disponibles le forage à réhabiliter. Hormis les informations écrites sur les essais d'origine et les relevés réalisés périodiquement lors de son exploitation, il est important de prendre un "instantané" de la situation actuelle (situation géographique, existence d'un bâtiment de protection, type de pompe, débits d'exploitation, niveaux statiques et dynamiques, etc...). Ces observations pourront avantageusement être complétées par une observation vidéo et des diagraphies.

**II.5.1 Analyse et observations**

Observation du sable éventuellement remonté (s'il est proche du slot et, à fortiori, plus gros, une usure ou un percement de la crépine est probable). Les dépôts dans les circuits auront été analysés s'il y a lieu (mauvaises odeurs, gels ou flocons sont le plus souvent l'œuvre des bactéries, le tartre ou/et une eau basique à  $\text{pH} > 7$ , sont souvent le signe de dépôts carbonatés...).

### **II.5.2 Contrôle du trou**

Mesure du niveau statique à la sonde électrique montée sur enrouleur. Mesure de la cote du fond à la sonde à plomb. Mesure de la cote du gravier dans la réserve à gravier si elle est accessible.

Ces différentes cotes seront notées et comparées aux valeurs de la fiche d'identité du forage (quand elle existe).

### **II.5.3 Camera et diagraphies**

Si nécessaire, d'autres observations peuvent être réalisées par caméra ou diagraphies, le plus souvent par des sociétés de service extérieures spécialisées (voir les principales diagraphies utiles en entretien-réhabilitation ci-dessous)

#### ***II.5.3.1 Caméra vidéo***

Elle sera de préférence en couleurs avec tête pivotante sur  $\pm 90^\circ$  pour observer le forage dans l'axe ou les parois.

Elle nécessite le retrait de la pompe d'exploitation et doit, le plus souvent, être réalisée sous pompage à faible débit (avec une pompe de service en général fournie par le prestataire de service) pour clarifier, si possible, l'eau du forage.

Les observations caméra sont parfois très trompeuses et nécessitent une très bonne expérience et beaucoup de prudence pour en tirer le meilleur parti.

#### ***II.5.3.2 Thermométrie***

Mesure avec précision les variations de température dans le tubage et permet de déceler des perforations ou des circulations d'eau parasites.

A réaliser de préférence sans pompage et, en tous cas en régime stabilisé, pour que les seules variations de température mesurées proviennent des anomalies de circulation d'eau.

### II.5.3.3 Sonique CBL

Permet, en écoutant la réflexion d'une émission sonore sur un tubage d'en déduire si la cimentation est présente ou non (un peu comme une paroi qui sonne plein ou creux)

Interprétation très délicate ; en cas de doute ne pas hésiter à demander avis à un autre spécialiste avant de conclure.

### II.5.3.4 Micro-moulinet

Cette diagraphie qui mesure la vitesse de remontée de l'eau dans le tubage peut être utilisée de plusieurs façons :

- sous pompage pour connaître la répartition du débit sur la hauteur captée.
- sans pompage, immobile ou à vitesse très faible dans un tubage, pour vérifier d'éventuels transferts d'une nappe dans une autre.

Cet appareil est avantageusement couplé à un diamètre pour corriger les variations de vitesse qui seraient liées à des variations de diamètre autour de l'appareil de mesure.

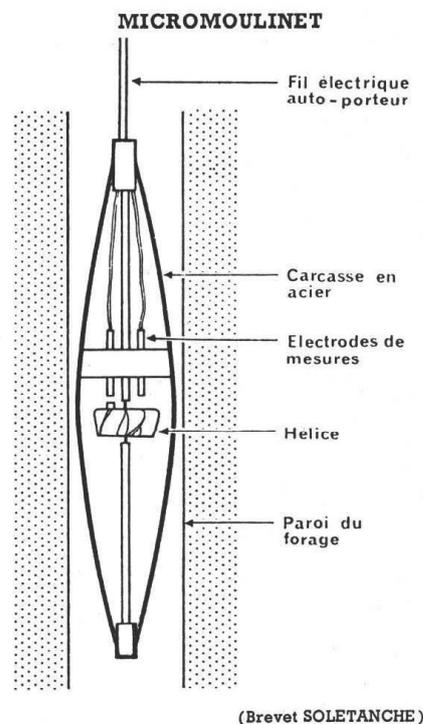


Figure II.5 : Micromoulinet

## II.6 ENTRETIEN DES FORAGES

Il est rappelé que l'entretien et la réhabilitation sont des opérations délicates nécessitant une grande confiance entre Maître d'Ouvrage et Entreprise et/ou la présence d'un Maître d'œuvre expérimenté et impartial.

En effet, un forage ancien est souvent fragilisé et son équilibre est facilement rompu par des manœuvres courantes, même réalisées dans les règles de l'art, pouvant entraîner des frais non prévus par le client, et, à l'extrême, nécessiter la réalisation d'un ouvrage neuf de remplacement.

Il convient donc d'être très prudent notamment si le forage n'a pas fait l'objet d'un entretien suivi par le foreur tous les 3 à 5 ans minimum et il est toujours recommandé de travailler en régie.

Les opérations les plus courantes réalisées dans le cadre de la réhabilitation des puits sont:

- le brossage des parois des crépines, voire des tubages
- les traitements chimiques (acidification, polyphosphates, chloration...)
- les nettoyages à l'air-lift

D'autres opérations plus lourdes peuvent également être réalisées et notamment :

- rechemisage d'un tubage
- rechemisage d'une crépine
- remplacement d'une crépine

Toutes ces interventions sont suivies d'au moins un essai de pompage identique à l'essai de départ permettant de mesurer les améliorations obtenues.

### II.6.1 Essai de pompage

Sauf cas particulier, la pompe d'exploitation sera utilisée pour faire un essai de pompage préliminaire avant toute intervention. Cet essai sera réalisé au minimum pour le débit d'exploitation et, de préférence, par paliers à débits croissants identiques aux pompages de réception de l'ouvrage. Le niveau statique (NS) puis le niveau dynamique stabilisé (ND) seront relevés pour le débit d'essai (D).

Le rabattement ( $R=ND-NS$ ) sera calculé et le débit spécifique correspondant ( $Ds =D/R$ ) sera calculé.

### **II.6.2 Démontage de la pompe**

La pompe et ses tubes d'exhaure seront observés à la remontée (dépôts, corrosion, usure...)

Garder le câble électrique toujours tendu car il a la fâcheuse tendance, lorsque les diamètres de la pompe et du forage sont proches, à se coincer entre pompe et tubage, voire à coincer la pompe.

### **II.6.3 Brossage des parois**

Il est recommandé de brosser les tubes comme les crépines, de préférence en tournant, à l'exception des crépines à fil enroulé qui sont très fragiles et qu'il est préférable de ne pas brosser (sauf, si indispensable, par des personnels ayant une grande expérience de ce type de crépines).

Le fond du forage sera nettoyé (à l'air-lift notamment) avant traitement pour traiter toute la hauteur captante et après traitement pour évacuer les résidus.

### **II.6.4 Acidification**

Principalement utilisée pour éliminer les dépôts de carbonates et/ou les dépôts ferreux ou ferriques associés aux boues des bactéries, elle est réalisée le plus souvent soit avec de l'acide chlorhydrique (appelé aussi acide muriatique) soit avec de l'acide sulfamique. Cette technique s'applique à des forages crépinés en terrains sableux comme à des forages captant un milieu fissuré.

#### **II.6.4.1 Acidification à l'acide chlorhydrique**

L'acide chlorhydrique est livré couramment sous forme liquide en bonbonnes ou en cuves à 22° baumé (33% d'acide pur).

Il devra être passivé pour éviter d'attaquer les équipements et tubages (par exemple par 0,5 à 0,75 kg de gélatine par 100 l d'acide, ou, notamment si l'on craint des bactéries et dépôts ferrugineux, par ajout d'acide acétique qui agit aussi comme retardateur).

L'acide chlorhydrique est l'acide qui nous intéresse dont le PH est le plus bas et dont l'efficacité est, par conséquent, la plus élevée dans un temps très court (de l'ordre de 1 h).

En contrepartie, il est très dangereux tant à toucher qu'à respirer et nécessite un personnel formé et équipé.

Les opérateurs porteront au moins un ciré recouvrant des bottes en caoutchouc, des gants en caoutchouc recouvrant les manches du ciré, des lunettes fermées et, si l'opération est réalisée dans un local fermé, une aération forcée et un appareil respiratoire pour tous les intervenants.

Un bac d'eau passivée (au bicarbonate de soude par exemple) ou, à défaut un plus grand bac d'eau claire, sera disponible sur place pour annuler immédiatement l'effet de l'acide en cas d'accident.

On vérifiera qu'aucun autre forage n'est actif alentour pendant l'opération d'acidification et jusqu'à fin de pompage des résidus d'acide.

L'acide est mixé à de l'eau claire dans un bac pour obtenir un mélange à 15% à 20% d'acide pur environ (1 à 1,5 volumes d'acide 22° baumé pour un volume d'eau). Avec un mélange plus riche en acide, les produits dissous risquent d'être trop visqueux et de s'associer aux impuretés du terrain pour former un gel colmatant (une seconde passe pourra être faite, si nécessaire, avec un mélange plus concentré jusqu'à 22% d'acide soit 2 volumes d'acide 22° baumé pour un volume d'eau)

Une petite quantité d'additif tel que l'acide citrique ou l'acide phosphorique à raison de 3-10 kg par m<sup>3</sup> de mélange évite la précipitation d'oxydes dissous sous forme d'hydroxydes ferriques gélatineux (car pouvant absorber 40 fois leur poids d'eau).

La quantité de mélange nécessaire pour une passe d'acidification est calculée sur la base du volume intérieur des crépines + 30-40% du volume occupé par le massif de gravier (ou, en pratique, vol. des crépines + 50% environ).

Le mélange est injecté, soit gravitairement, soit par un tube 1" ou 2" en PVC ou en acier noir (en une passe depuis le fond ou en remontant par passes). La technique de pose dépend des auteurs mais, hormis le cas d'une technique éprouvée sur une zone donnée, il est assez illusoire d'affirmer qu'une méthode est meilleure qu'une autre, le liquide pénétrant toujours dans le terrain par les chemins naturels les plus faciles. La méthode gravitaire à forage fermé, qui a fait ses preuves dans de nombreux cas, présente l'avantage de la rapidité, gage de sécurité pour le personnel et d'économie pour le client (il nécessite que la ou les cimentations des tubages puissent reprendre les pressions de gaz, ainsi on prendra garde tout particulièrement aux forages courts de gros diamètre, mal cimentés, en terrains très colmatés).

Il est souvent recommandé de pousser l'acide dans le terrain avec un volume d'eau correspondant à peu près au volume de la crépine. Toutefois, sachant que les concrétions sont souvent concentrées immédiatement autour de la crépine (il n'y a plus de dépôts en amont dès qu'un canal est bouché), il peut être préféré de réaliser au moins la première passe sans charge d'eau.

Il convient d'agiter le produit dans le terrain, toutefois, compte tenu des exhalations brutales durant les premières minutes, l'une des méthodes recommandées consiste à fermer le forage en tête et laisser les gaz faire leur propre agitation jusqu'à voir le manomètre se calmer. On pourra ensuite forcer l'agitation alternativement par envoi d'air comprimé en tête puis par ouverture de la vanne de décharge (attention aux dégagements de gaz toxiques, voire de jets d'acide).

Dès que l'acide a fini son effet (après environ 1 à 2 heures maximum) les résidus peuvent être remontés par pompage air-lift.

D'autres traitements pourront être réalisés en injectant immédiatement derrière l'acide une quantité de plus en plus grande d'eau de chasse pour pousser l'acide plus loin dans le terrain, et ceci aussi longtemps que le débit spécifique remontera de façon significative entre deux traitements.

On se renseignera sur les conditions locales de rejet de ces produits et on assurera au minimum la neutralisation du produit par ajout de soude ou par passage dans un filtre calcaire par exemple (le PH devra être autour de 7).

Pour mémoire, on trouve dans la littérature des cas de concrétions qui ont été préalablement disloquées par explosifs pour permettre à l'acide de pénétrer et de remplir mieux son office de dissolution.

#### **II.6.4.2 Acidification à l'acide sulfamique**

Moins acide et donc moins efficace que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfamique, livré en plaquettes, granulés ou en poudre est beaucoup moins dangereux à l'emploi, du moins tant que l'acide n'est pas en contact avec de l'eau. Les plaquettes qui tombent rapidement au fond sont efficaces pour des captages de gros diamètre courts (30 m maxi de hauteur captante). Les granulés seront préférés pour les forages plus profonds. La poudre n'offre que peu d'intérêt pour le foreur car elle doit être mélangée à l'eau en surface et devient alors aussi dangereuse que l'acide chlorhydrique.

La durée de solution est de l'ordre de 4 h, le temps d'action de l'ordre de 15 h.

Il apparaît que l'ajout de sel à raison de 20% du poids d'acide peut aider à traiter les incrustations de fer et de manganèse.

Toujours agiter durant l'action (piston, pompe + jets, air-comprimé...)

#### **II.6.5 Traitement aux polyphosphates**

L'hexamétaphosphate de soude est le plus couramment utilisé. Livré en sacs (on le trouve aussi sous le nom de Giltex en France ou de Calgon aux USA); c'est un polyphosphate qui a montré sa capacité à défloculer les argiles (c'est-à-dire désolidariser les particules d'argile, casser la boue) et sa faculté d'entraînement des oxydes métalliques.

Toutefois, il ne déflocule bien qu'en milieu basique (pH de l'ordre de 9). Il convient de noter qu'un milieu acide (pH  $\leq$  5) peut, au contraire, provoquer la floculation des argiles. On évitera donc un traitement immédiatement après acidification et on cherchera, si nécessaire, à

remonter le pH par ajout d'additif fortement basique (comme la soude caustique, le carbonate de sodium ou du pyrophosphate tétrasodique par exemple).

L'hexamétaphosphate est pratiquement neutre et sans réel danger pour les opérateurs. Par contre, il doit être protégé de l'humidité pour garder ses qualités.

La poudre est mélangée à l'eau dans un bac à raison de 2 à 5 kg d'hexamétaphosphate par m<sup>3</sup> d'eau. Il peut être ajouté un désinfectant, comme le chlore, à raison de 50-150 mg/l soit par exemple 1 litre d'eau de javel à 45° (contenant 140 g de chlore actif/litre) pour 1 m<sup>3</sup>. Il est recommandé de mélanger l'hexamétaphosphate à une petite quantité d'eau (chaude de préférence) puis de verser le mélange dans le réservoir d'eau chlorée.

Le volume total du traitement est en principe basé sur le volume intérieur des crépines + 30-40 % du volume occupé par le massif de graviers.

Il est recommandé de le mettre en place par tube plongeur et sa durée d'action est de 810 heures. Brasser énergiquement (par pompage en circuit fermé de préférence). Eviter de laisser le produit dans le forage plus de 12 à 24 heures.

### **II.6.6 Chloration**

Les boues organiques colmatantes dans les forages d'eau sont principalement le produit des bactéries du fer et du manganèse.

La chloration a pour objectif de brûler les boues organiques et tuer les bactéries qui les ont formées.

Les boues se présentent sous forme de filaments ou gélamines assez aisément destructibles mais les bactéries elles-mêmes sont souvent protégées par une gangue carbonatée d'où, parfois, la nécessité de réaliser un traitement préalable à l'acide.

Les produits les plus couramment utilisés sont le dioxyde de chlore et, surtout, l'hypochlorite de sodium (eau de javel) qui a l'avantage de ne pas présenter de risque pour l'eau pompée.

Les quantités sont néanmoins différentes pour une désinfection (50-150 mg de chlore actif par litre) ou pour une "chloration de choc" (1 à 2 gr/litre soit environ 20 fois plus).

L'eau de Javel, livrée sous forme liquide ou en pastilles, se caractérise par sa teneur en chlore actif ( $1^\circ = 3,17$  gr de chlore actif par litre).

Un litre d'eau de javel domestique à  $12^\circ$  contient 38 gr de chlore actif / litre.

On utilise couramment de l'hypochlorite de sodium à  $48^\circ$  (152 gr de chlore actif / litre).

## **II.7 REHABILITATION DES FORAGES**

Il s'agit de la remise en état d'un forage corrodé ou impossible à décolmater par les moyens classiques. Elle comprend le plus souvent le rechemisage des tubages et/ou des crépines et/ou les opérations d'extraction de crépine pour remise à neuf du captage.

### **II.7.1 Rechemisage d'un tubage**

Ne se différencie pas beaucoup d'un tubage neuf, brosser énergiquement le tubage ancien avant pose du nouveau tubage, s'assurer d'un espace annulaire de 5 cm au moins au rayon, remplir de sable ou poser un bouchon sous le tubage avant cimentation de l'annulaire, laisser sécher, puis reforer le bouchon ou extraire le sable.

### **II.7.2 Rechemisage d'une crepine**

Vérifier que l'espace annulaire est également  $\geq 5$  cm (2") pour la mise en place du gravier et vérifier que la vitesse des filets d'eau reste acceptable ( $\leq 3$  cm/sec) ou réduire le débit d'exploitation.

### **II.7.3 Remplacement d'une crépine**

Il s'agit d'une opération très délicate réalisée en général par surforage de la crépine suivi de son extraction. Prévoir au minimum un brossage des parois de l'aquifère.

Un élargissement du captage peut être nécessaire pour éliminer la partie colmatée de l'aquifère, puis opérer comme pour un forage neuf.

## **II.8 CONCLUSION**

Avant toute intervention, et notamment pour un décolmatage, il convient d'établir un diagnostic sur la base au minimum d'un essai de pompage, d'une mesure du pH de l'eau et d'une analyse des dépôts dans les conduites le cas échéant, (boues, tartre, sable ou gravier filtre...).

L'objectif étant de disposer des nouvelles caractéristiques du puits à comparer avec les précédentes mesures et d'essayer de déterminer la cause principale du problème rencontré et donc le traitement principal à appliquer, soit schématiquement:

- Incrustations de carbonates: Acidification
- Bactéries: Chloration(après éventuelle acidification)
- Colmatage par argile ou oxydes: Polyphosphates (+ éventuel désinfectant)

Il ne s'agit pas d'une science exacte et ce chapitre ne reprend que les cas les plus fréquemment rencontrés.

### III.1 INTRODUCTION

Il est important de contrôler les forages tout au long de leur vie afin de garantir une production stable et pérenne de l'eau ainsi que prévenir d'éventuelles difficultés d'exploitation. En cas de dysfonctionnement, le diagnostic de l'ouvrage permet aussi de déterminer les causes et en déduire les réhabilitations à mettre en œuvre.

### III.2 AUSCULTATION D'UN FORAGE

Pour éviter d'arriver à une situation préjudiciable (arrêt partiel ou complet), la mise en place d'une procédure de maintenance préventive s'impose.

Les actions à mener sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Maintenance	Contrôles et intervention	Type	fréquence
PREVENTIVE	visuel	Installations de surface	1an
		Caméra immergée	10 ans
	hydraulique	Perte de charge	Semestrielle
		Débit d'exploitation	Mensuelle
	structurel	Fond de l'ouvrage	3ans
		Gravier/ Massif filtrant	Annuelle
	Electrique	Consommation, tension, isolation,...	Trimestrielle
nettoyage	Mécanique et chimique	6 à 10 ans	
CORATIVE	Mise aux normes	Tête de puits	Après constat de non-conformité
	Remplacement	Pompe, colonne d'exhaure	Après anomalie majeure constatée en préventif
	Régénération	Traitement mécanique et chimique	
	Réhabilitation	Rechampissage	

La périodicité du control de l'état intérieur du forage sera définie en fonction du contexte hydrogéologique et de l'utilisation du forage : AEP, irrigation... Fixée dans certains cas à 10 ans, elle pourra être réduite à 3 ou 5 ans dans cas particuliers. Ce control se fait par une inspection vidéo par caméra immergée.

Les inspections vidéo peuvent aider efficacement à la détection des défauts de puits et de forage : canalisation et filtres bouchés, profondeurs respectives d'installation, et toute variation dans les diamètres des forages.

Tout point anormal peut non seulement être mis en lumière à un certain niveau de profondeur de la surface mais aussi photographié et même filmé pendant l'étude.

Effectuer une inspection vidéo peut déterminer les causes de la plupart des problèmes habituels affectant un puit au cours de durée vie, comme la présence de sable et la baisse du débit d'eau. De plus il peut détecter des dysfonctionnements dus à la détérioration, déformation, corrosion, fentes, et dépôts excessifs au fond du puits

La caméra vidéo pour puits et forage peut aider à l'évaluation des situations de risque et des mesures appropriées nécessaire à sa réparation. Les opérations de maintenance peuvent donc être convenablement programmées selon les caractéristiques spécifiques des eaux souterraines concernées et les problèmes pouvant en résulter. Enfin il sera possible d'obtenir rapidement les documentations manquantes des puits et forage existants (par ex profondeur totale, profondeur des filtres installés, types et efficacité des conduites etc...) et vérifier les conditions réelles avant d'envisager des réparations pouvant être coûteuses.

### **III.3 CAMERA WELL-VU**

#### **III.3.1 Description du matériel**

L'unité d'inspection vidéo de forage autorise une intervention jusqu'à une profondeur de 500m. Elle est constituée des éléments suivants :

### III.3.1.1 Treuil motorisé

C'est un système de treuil motorisé fonctionnant avec une batterie de 12 volts DC, comprenant un câble de 500 mètres et muni d'une unité de connexion du câble d'alimentation, du boîtier de commande, d'une sortie vidéo format standard NTSC et de mesure des profondeurs.



Figure III.1 : Treuil motorisé

### III.3.1.2 Consol de commande vidéo digitale

La nouvelle plateforme de visualisation / enregistrement pour tous, vision systèmes produit illimités, en arrière.

Compatible avec tous les produits Well- Vu.

- Etui de transport en plastique résistant à l'eau verrouillable.
- Enregistreur vidéo numérique.
- Batterie 12 V CC alimentée par des câbles de dérivation 12.
- Microphone pour l'enregistrement « VOICE OVER » et raconter sur DVR.
- Clavier pour faire (EDITION ONSCREEN) sur le DVR pour plus tard.
- Connexion simple par câble simple à la caméra.

- Connexions de sortie vidéo.
- Moniteur couleur LCD 15.



Figure III.2 : Consol de commande

#### III.3.1.3 *Caméra détachable modèle WV-CP*

Standard pour toutes les caméras WELL-VU, la caméra est détachable. Cette nouvelle tête de caméra incorpore la dernière puce vidéo de Sony fournir l'image la plus haute qualité possible.

- Résolution nette a 550 lignes de résolution.
- Scellé pour submersion à 1000 pieds.
- Boitier de caméra résistant aux chocs.
- Remplaçable sur le terrain.
- Connexion twist-lock.
- 18 LED lumineuse.



Figure III.3 : Tête de caméra détachable modèle WV-CP

#### III.3.1.4 *Fisheye camera model WVQD*

C'est une caméra munie d'une lentille à 180° et qui montre deux fois plus de détails qu'un objectif standard, cela permet de visualiser les parois latérales d'un forage.

- Résolution de Sharp à 550 lignes de résolution.
- Boîtier de la caméra résistant aux chocs.
- Scellé pour une submersion de plus de 300 mètres.



Figure III.4: Fisheye camera

#### III.3.1.5 *Poulie avec pince*

Cette pince permet l'utilisation et de monter de la caméra sur tout type de terrain. Il suffit de monter le support au boîtier et abaissez la caméra, accessoire standard avec toutes les unités sauf la 300 LC.



**Figure III.5 : Pince de fixation**

#### **III.3.1.6 Le Centralisateur**

Se connecte au câble et à la caméra, centre la caméra dans le tubage.



**Figure III.6 : Centralisateur**

### **III.4 LES AUTRES INSTRUMENTS DE CONTROL**

Il existe sur le marché mondial plusieurs modèles de caméra d'endoscopie des puits et forages permettant l'inspection visuelle des ouvrages hydrauliques. Nous pouvons citer les systèmes suivants.

### III.4.1 La nautilus 360 duo plus

Ce système est la solution à toutes les observations sous-marines à grande profondeur. Il permet d'observer simultanément le fond de l'eau à 360° autour du caisson et ce jusqu' à 300m.

La mallette comprend :

- Cable : 60 m (disponible jusqu' à 300 m)
- Double caméra : 1 verticale /1 latérale.
- Caméra latérale rotative à 360° (focus manuel).
- Eclairage LEDS avec variateurs.
- Visibilité de 15-18m en eau claire
- Résistance à la pression : 30 bars
- Ecran de contrôle TFT 8.
- Enregistrement sur carte SD.
- GPS optionnel.
- Affichage de la température, profondeur et direction.



Figure III.7 : Nautilus 360 DUO plus

### III.4.2 La caméra pour puits et forage « well camera »

En standard, le fabricant propose la gamme complète de caméra well avec 7 modèles différents avec une longueur de câble de 500m.

- Well caméra 50
- Wellcaméra 100
- Well caméra 150
- Well caméra 200
- Well caméra 300
- Well caméra 400
- Well caméra 500



Figure III.8 : Well camera

### **III.5 CONCLUSION**

La caméra d'auscultation permet d'observer l'intérieur des forages et des puits pour établir un diagnostic initial (réception des travaux) et périodique. Elle permet aussi de dresser la coupe technique de l'ouvrage et d'évaluer le colmatage des crépines et de faire un premier bilan visuel pour définir l'origine d'un problème.

## IV.1 INTRODUCTION

Rien n'est éternel et les puits d'eau ne font pas exception. La durée de vie d'un forage de production sera réduite s'il n'est pas correctement conçu, pas construit pour produire le rendement maximal, ou s'il a été sur pompé. De nombreux puits de production sont rarement surveillés ou entretenus. Ils sont négligés jusqu'à ce qu'un problème survienne. Mais si un forage est correctement dimensionné, construit avec les bons matériaux et bénéficie d'une attention régulière, il peut produire de l'eau pendant au moins 50 ans.

Nous nous proposons dans cette partie d'étudier quatre forages d'eau captant des formations du Mio-Pliocène de la région de Biskra. L'auscultation a été faite avec la caméra vidéo Well-Vu du laboratoire d'aménagements hydrauliques et environnement de l'université de Biskra.

## IV.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ASPECT GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

Le secteur d'étude est situé au sud de la ville de Biskra, sur la route reliant Biskra à Sidi Okba (figure IV.1). L'analyse porte sur quatre forages destinés à l'irrigation de terrains agricoles réalisés il y a plus d'une trentaine d'années. Ces forages ne possèdent ni fiche technique, ni rapport de fin de travaux et il est donc très difficile de connaître leurs caractéristiques.

FORAGES	CORDONNEES	
	X	Y
Forage 1	05° 47' 04,63''	34° 48' 52,19''
Forage 2	05° 47' 29,89''	34° 48' 36,72''
Forage 3	05° 47' 37,37''	34° 48' 39,18''
Forage 4	05° 47' 35,36''	34° 48' 49,30''

Les terrains traversés par ces forages sont constitués par une alternance de niveaux d'argile, sable et cailloutis d'âge Mio-pliocène. De ce fait, la nappe appartient à la nappe des sables qui couvre une grande superficie de la wilaya. Cette nappe est fortement exploitée dans la partie Est de la Wilaya et notamment dans la zone de M'zirâa.

Du point de vue hydrodynamique l'aquifère présente un système très hétérogène représenté par des couches de diverses perméabilités. La profondeur de cette aquifère est de 100 à 300 m, avec un débit moyen de 15 l/s.

A l'Est de la wilaya de Biskra cette nappe se subdivise en deux aquifères séparés par une épaisse couche d'argile et d'argile sableuse, l'un profond désigné sous le nom du Pontien et l'autre moyennement profond qui est la nappe du Mio-pliocène connue dans cette région.



Figure IV.1 : Situation géographique du secteur d'étude

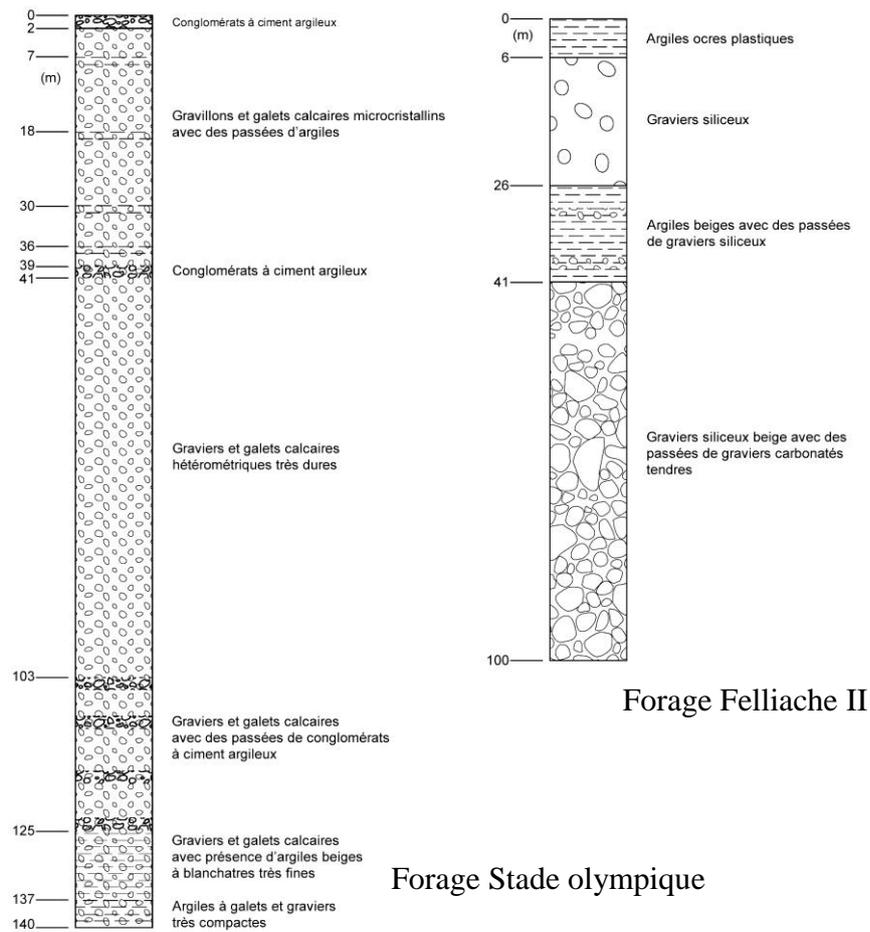


Figure IV.2 : Logs de forages captant le Mio-Pliocène.

Les eaux de cette nappe sont moyennement chargées avec des conductivités qui dépassent les 2 mS/cm et des résidus secs de plus de 3000 mg/l présentant ainsi un faciès chloruré sodique et potassique. Donc, nous sommes en présence d'eaux souterraines agressives avec un pH dépassant les 7,5 à 8,5.

### IV.3 AUSCULTATION ET DIAGNOSTIC

Si faire des travaux dans le forage permet de faire retrouver au système sa fonction hydrodynamique, faire une pré-inspection servira à connaître leur niveau de qualité et donc l'étendue exacte des travaux à réaliser.

Ainsi, une inspection télévisée périodique garantit l'absence de dysfonctionnements tels que l'ensablement, la turbidité..., mais aussi l'absence de perforation du tubage qui constituerait un risque environnemental important.

### IV.3.1 Le forage N°1

L'inspection de forage a permis de constater que les tubages sommitaux et la colonne montante, dans la zone aérée, présentent une dégradation due à la corrosion par oxydation.

La colonne montante est constituée d'un ensemble de tubage de 5 m avec des brides de jonction entre les tubes. A partir de 11 m la corrosion prend de l'ampleur et devient importante.

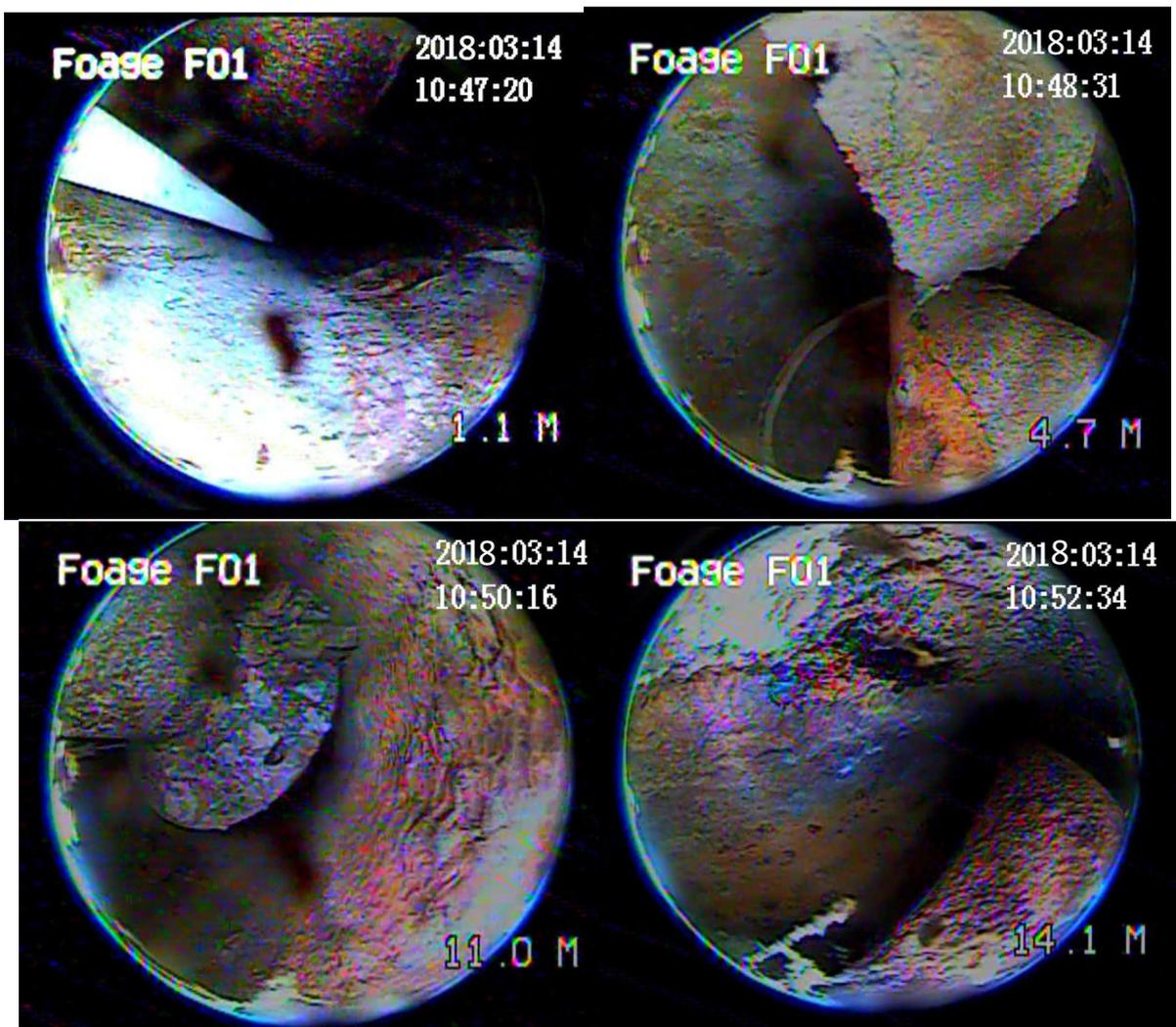


Figure IV.3 : Corrosion de la colonne montante et du tubage

La deuxième bride de jonction est à 17 mètres, celle-ci présente un degré de corrosion avancé et semble être colée à la paroi du forage.

Les premières crépines apparaissent à la profondeur de 31,7 m. Celles-ci sont colmatées par des dépôts carbonatés. L'existence de crépine à ce niveau de l'aquifère, sans qu'il est arrivée d'eau, laisse penser que le niveau initial de la nappe était auparavant à la profondeur de 30 m.

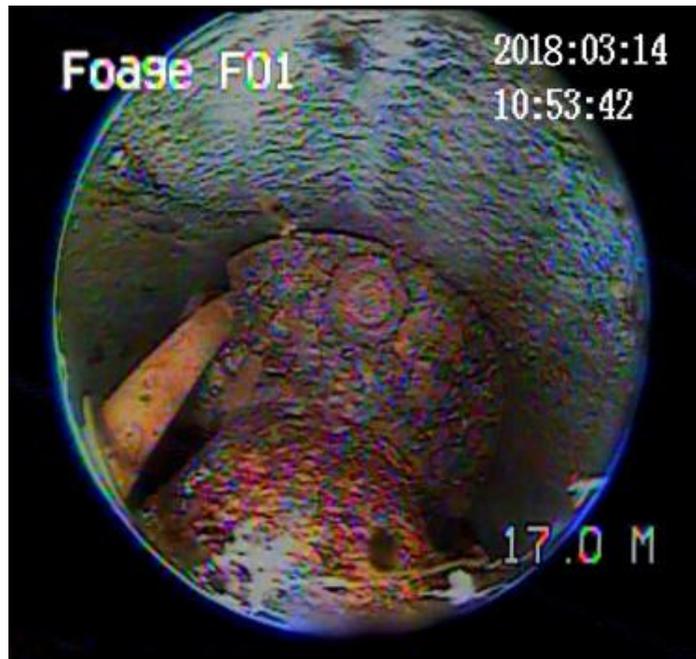


Figure IV.4 : Dégradation avancée par corrosion des brides de jonction

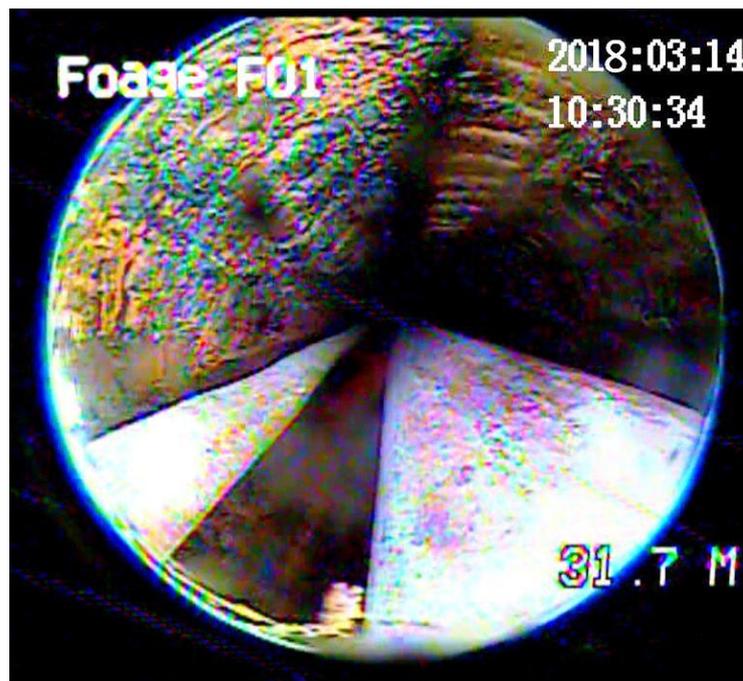


Figure IV.5 : Colmatage des crépines

L'augmentation des dépôts issus du colmatage chimique (carbonates et sels minéraux) s'est très bien développé en profondeur provoquant la réduction du diamètre du tubage. A partir de 34,4 m l'espace n'est plus suffisant pour le passage de la caméra et nous avons demandé au propriétaire de procéder au déséquipement du forage pour continuer l'auscultation.

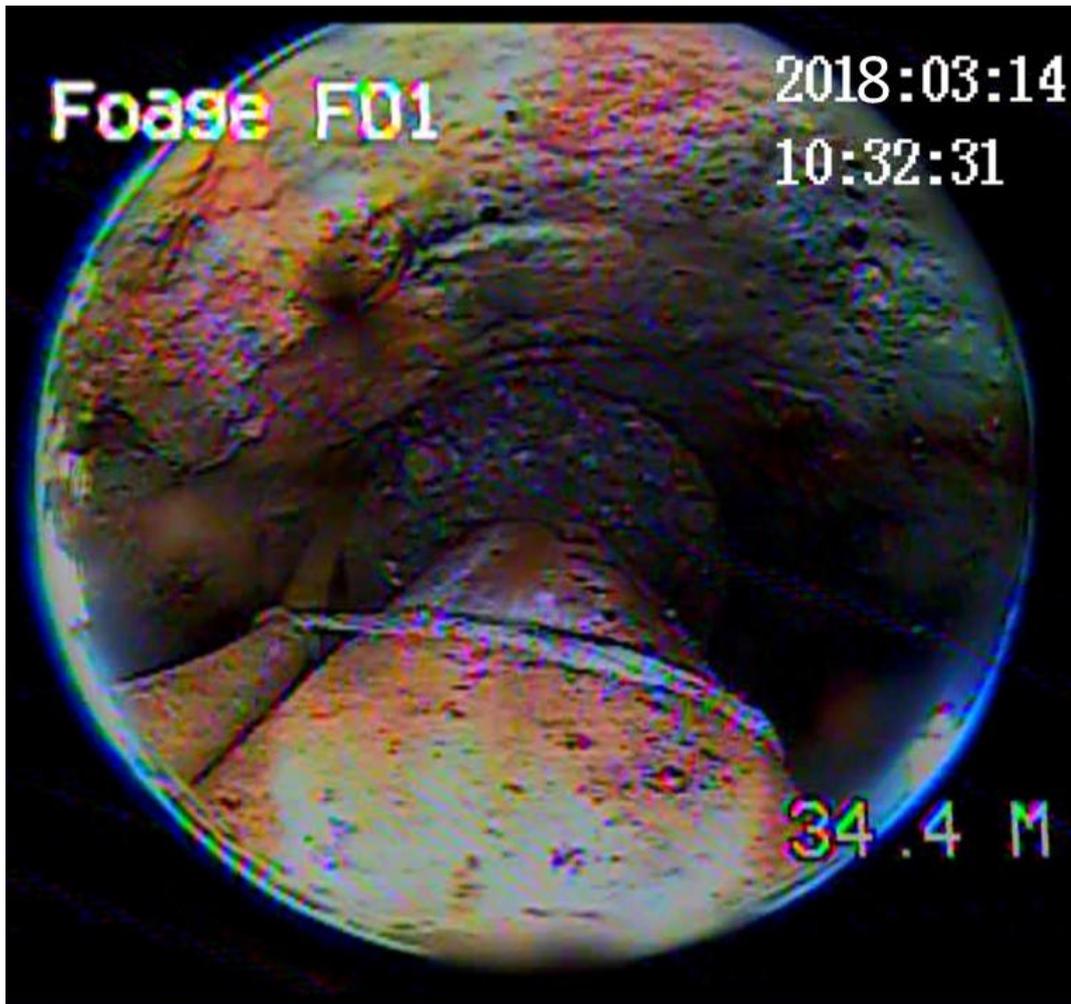


Figure IV.6 : Réduction du diamètre du tubage par colmatage chimique

### IV.3.2 Le forage 2

Nous constatons que la colonne montante est en PEHD et que la corde visible sur la figure IV.7 sert de procéder de maintien de la pompe. Il est à noter que, tout le long du forage, la corde et le câble d'alimentation ne sont pas attachés à la colonne montante.

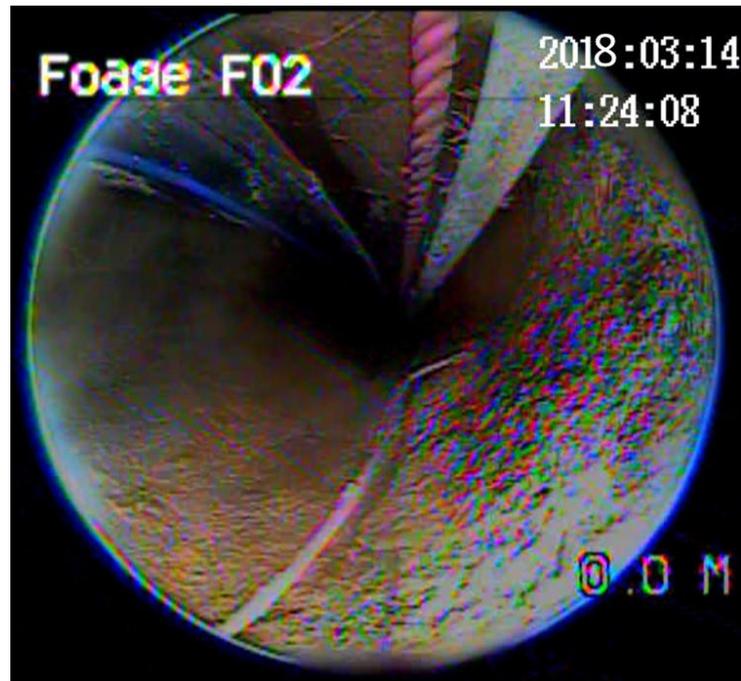


Figure IV.7 : Colonne montante, corde et câble d'alimentation



Figure IV.8 : Corrosion du tubage

D'après l'état du tubage, nous pouvons dire que le forage F2 est plus récent que le forage F1 et que seule la corrosion est présente tout le long du système de captage. Cette corrosion augmente à partir de 17 m, profondeur initiale du niveau statique.

Nous n'avons pas pu poursuivre l'auscultation au-delà de 35,7 m.

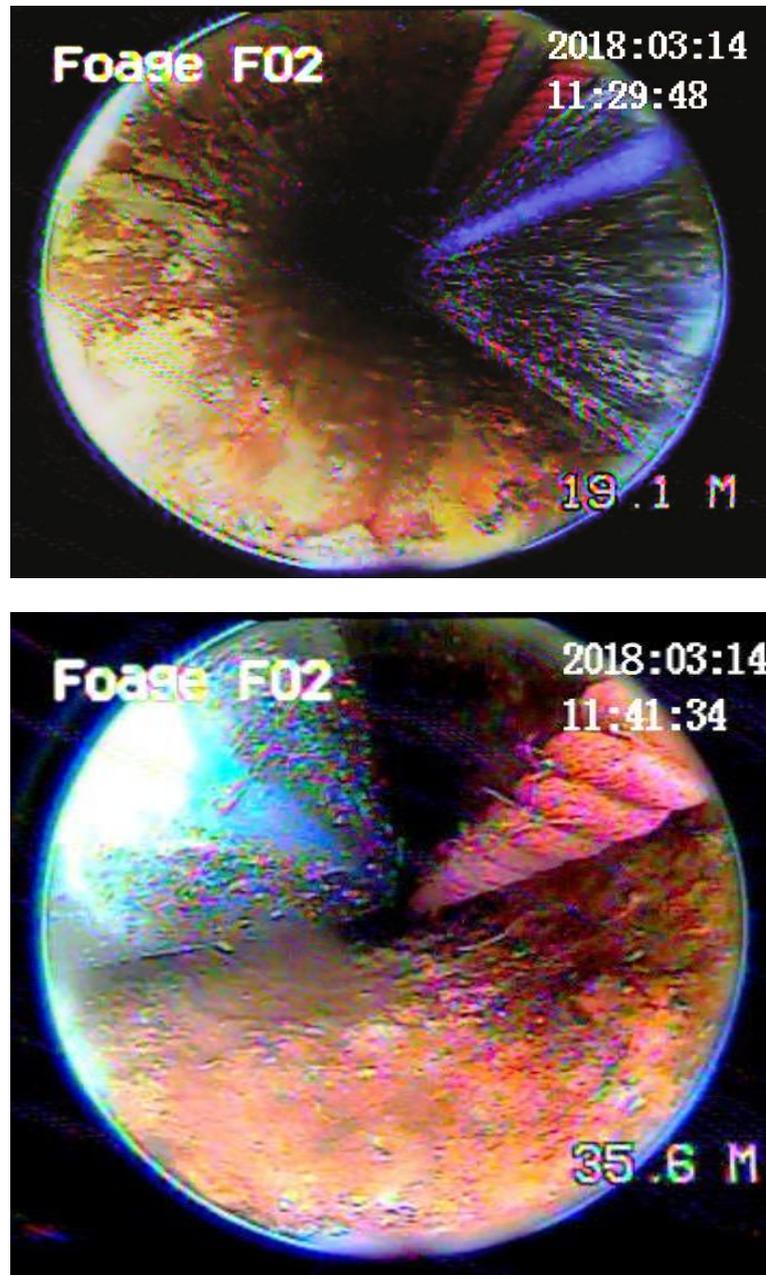


Figure IV.9 : Augmentation du degré de la corrosion en fonction de la profondeur

### IV.3.3 Le forage 3

De la même façon que le forage F2, le forage F3 est équipé d'une colonne montante en PEHD avec présence d'une double corde pour maintenir la pompe. Les effets de la corrosion sont visibles à partir des premiers mètres.

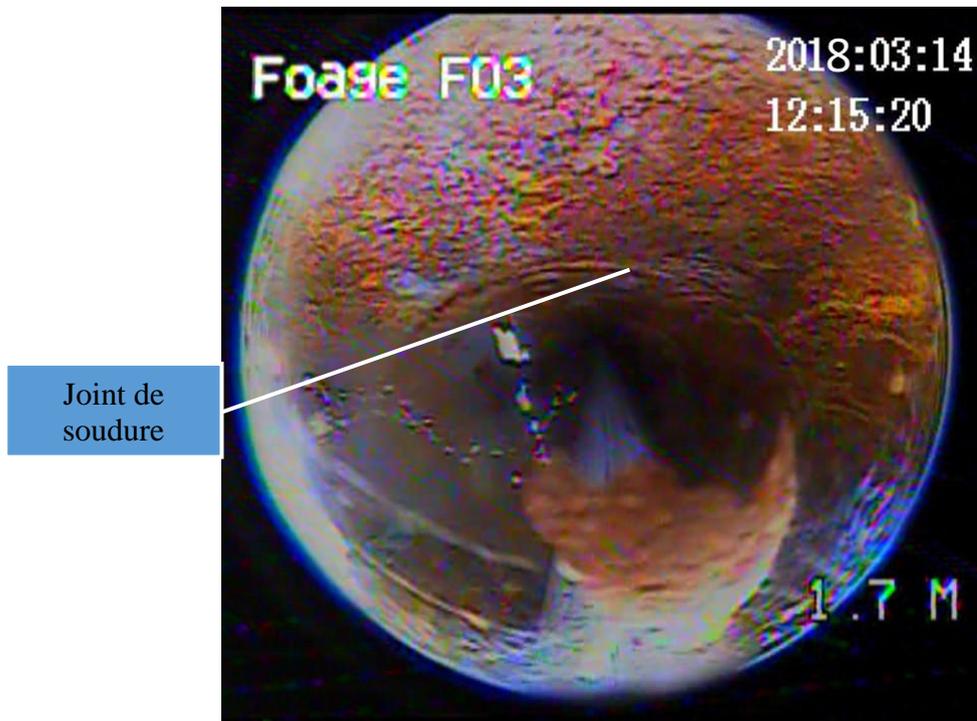


Figure IV.10 : Corrosion dès les premiers mètres du tubage

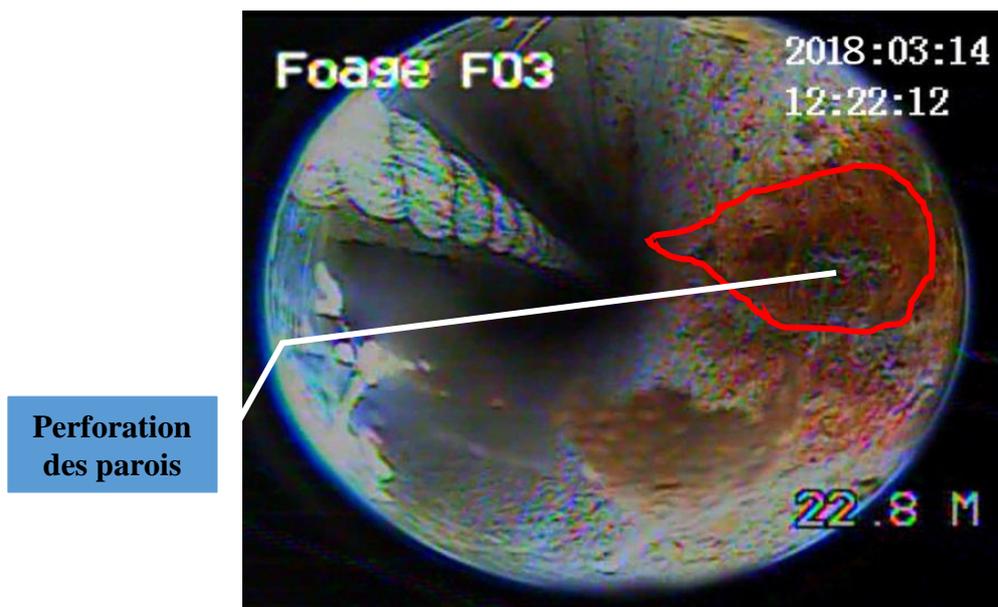


Figure IV.11 : Signe d'une attaque externe de la paroi du tubage

Nous avons remarqué sur plusieurs endroits du tubage la présence d'une oxydation bien développée et même parfois une perforation du tubage avec développement du produit de corrosion du haut vers le bas (figure IV.11). Ceci prouve que l'attaque du tubage s'est faite par l'extérieur, par les eaux de la nappe et met en évidence l'absence ou la dégradation du ciment dans l'espace annulaire qui devait protéger le tubage.

Le niveau statique a été atteint à la profondeur de 35,5 m. On observe une saturation des eaux du forage par les matières en suspension organiques et inorganiques. Nous ne pouvons distinguer les tubes pleins des tubes crépinés, ces derniers sont couverts d'une épaisse couche de produit de colmatage chimique et bactériologique

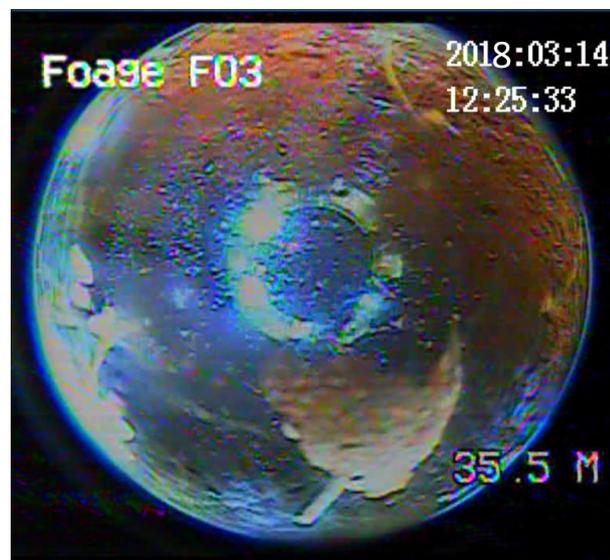


Figure IV.12 : Niveau statique de la nappe du Mio-Pliocène

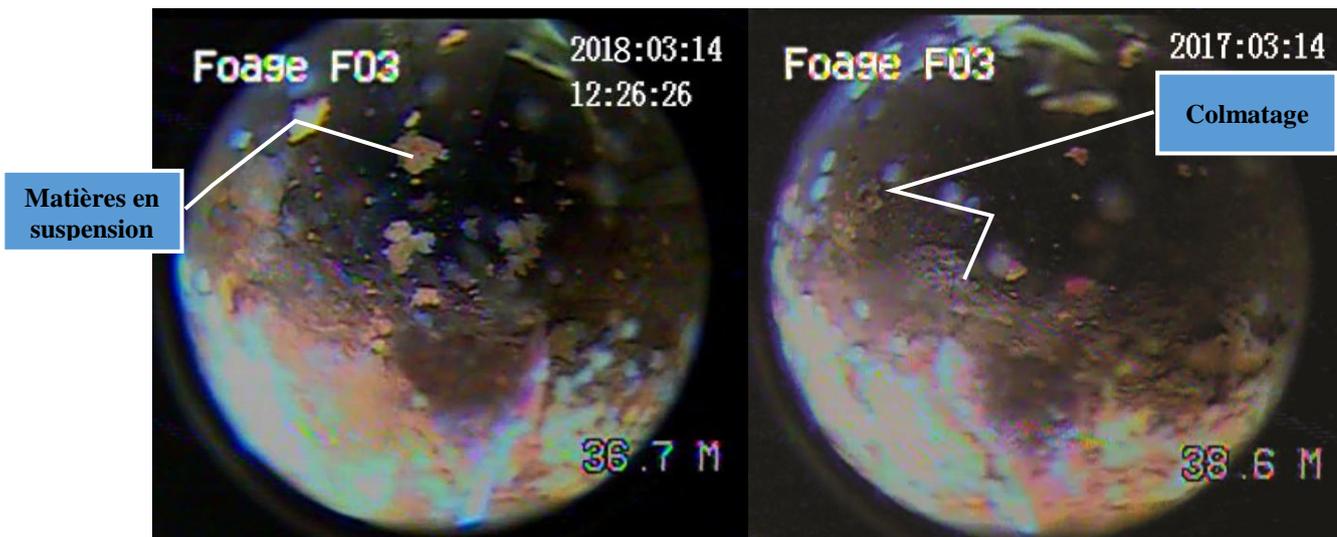


Figure IV.13 : Matières en suspension organique et inorganique

Le rétrécissement du tubage et la présence de la pompe nous a empêchés de descendre au-delà de 48,2 m



Figure IV.14 : Limite de l'auscultation à 48,2 m

#### IV.3.4 Le forage 4

Le présent forage est équipé d'une colonne montante en acier galvanisé de 5 m de longueur ce qui a empêché l'apparition de corrosion au niveau de ces conduites. La jonction des tubes est faite par un raccord de 50 cm (figure IV.15).



Figure IV.15 : Raccord des conduites de 5 m

La corrosion du tubage est très prononcée, avec une augmentation avec la profondeur. Il faut noter l'existence des deux formes de corrosion ; la première interne suite à une oxydation des parois et la seconde externe par les eaux agressives de la nappe prouvant ainsi l'inexistence du ciment annulaire. La colonne montante n'a pas échappé au vieillissement, puisqu'on remarque la prolifération de dépôts organiques sous forme de champignons.

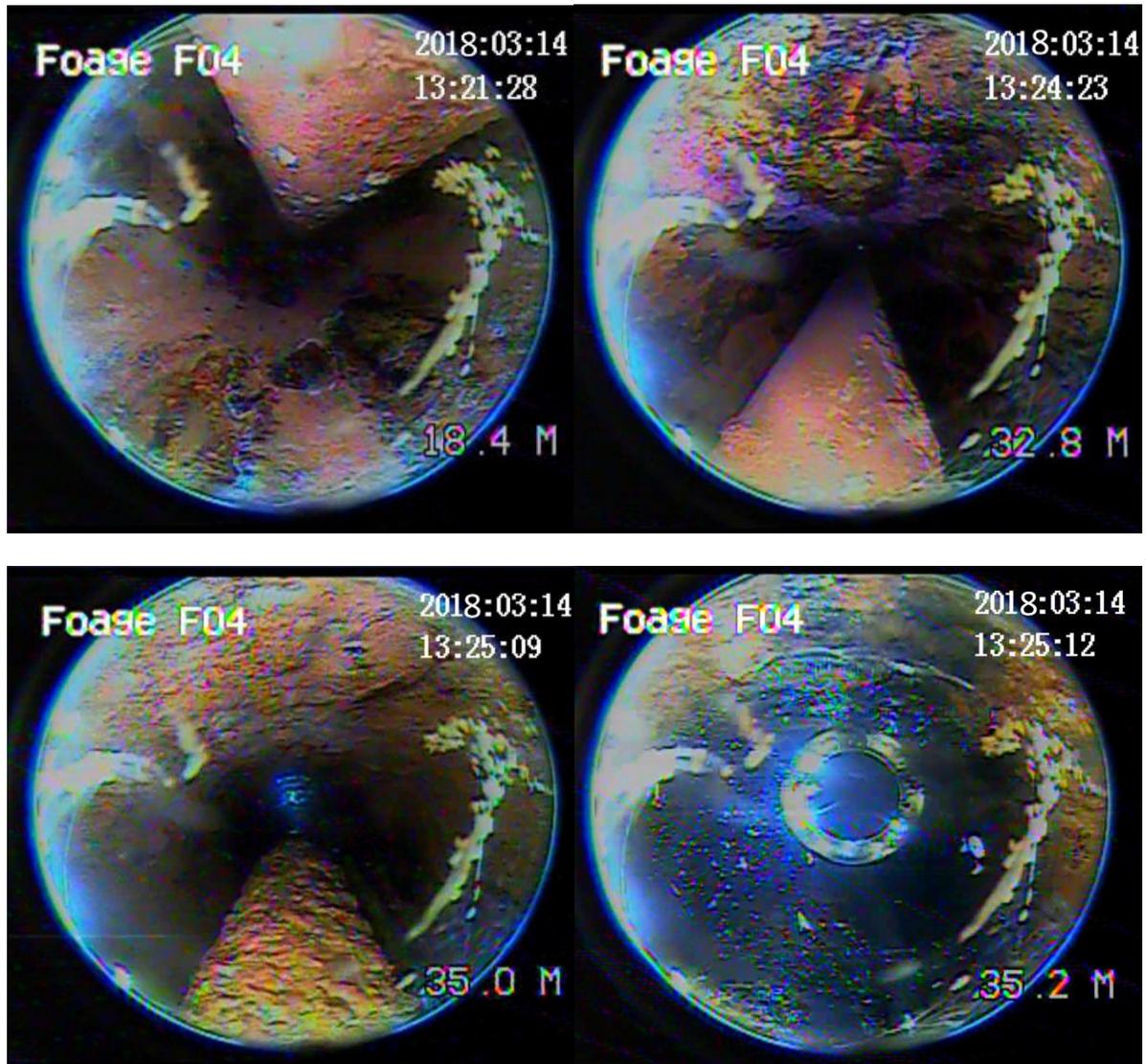


Figure IV.16 : Altération du tubage et niveau statique

Le niveau statique est atteint à 35,2 mètres de profondeur. A partir de cette profondeur les deviennent extrêmement chargées de matières organiques qui ont provoquées un colmatage biologique des parois du tubage et des dépôts très importants sur la colonne montante (figure IV.17).

La caméra n'a pu descendre plus bas que 43,4 m, suite au rétrécissement du tubage par les dépôts et présence de la pompe.

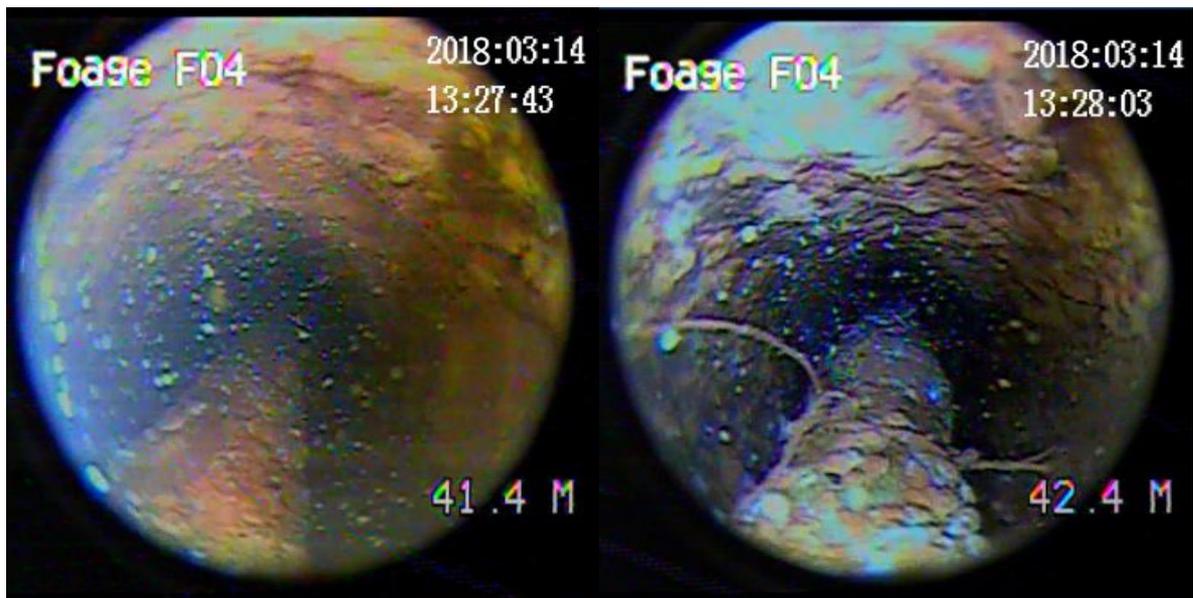


Figure IV.17 : Matières organiques en suspension et colmatage biologique

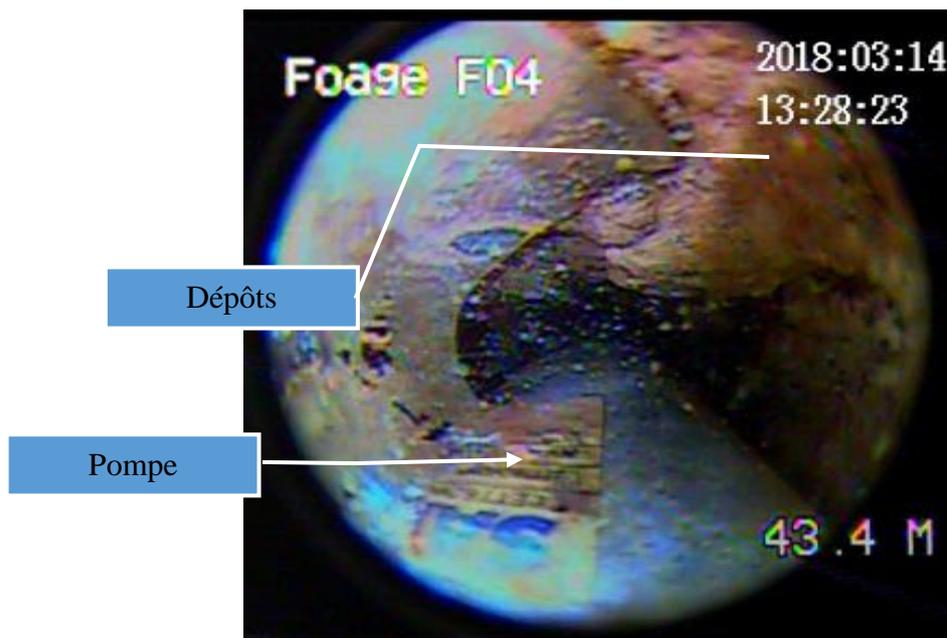


Figure IV.18 : Fin de l'auscultation

**Les remèdes :**

Après déséquipement des forages, une première opération consiste à se débarrasser des matières en suspension et des sédiments au fond du forage et qui peuvent souvent être éliminés en utilisant un jet d'eau sous haute pression.

L'eau sous pression fera remonter les sédiments à la surface au fur et à mesure que l'eau remplira le trou et on continu à injecter de l'eau jusqu'à ce que l'eau qui sort du forage soit claire. De temps en temps il faudra peut-être faire descendre le tuyau d'injection d'eau vers le fond du forage pour s'assurer qu'il reste proche de la couche de dépôts.

Au bout de démarche, il faudrait refaire une autre endoscopie pour vérifier l'état du forage et prendre en fonction les solutions adéquates.

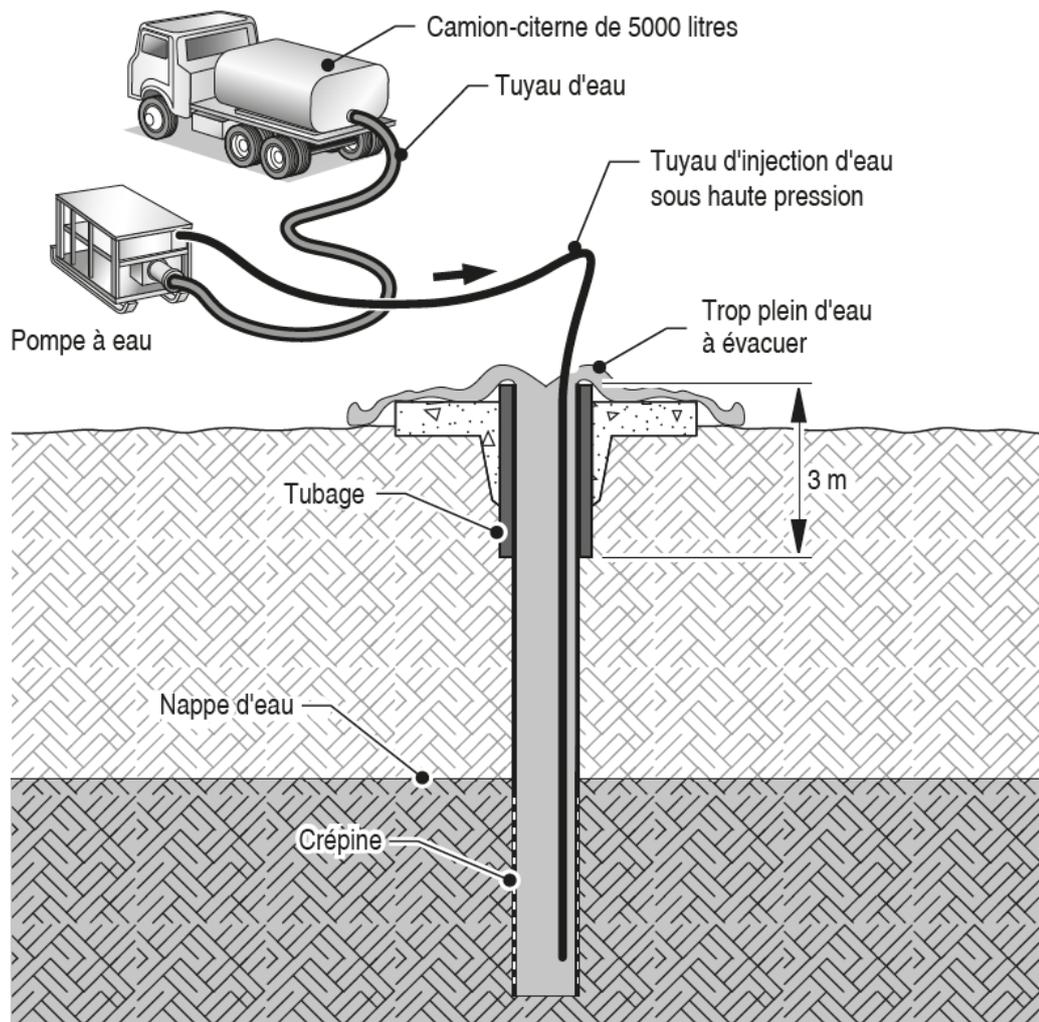


Figure IV.19 : Nettoyage à grande eau d'un forage en utilisant la méthode d'injection d'eau sous haute pression

#### IV.4 CONCLUSION

Les quatre forages de la région d'étude présentent un degré avancé de détérioration et d'épuisement (oxydation des parois, corrosion, dépôts, colmatage, matière en suspension, ...).

Ces phénomènes sont principalement dus :

##### **Baisse du niveau de l'eau**

La production des forages a décliné en raison d'une baisse du niveau de la nappe du Mio-Pliocène, puisque le niveau statique est passé de 17 m à 35 m, probablement due à des causes naturelles telles qu'une sécheresse, mais aussi au surpompage (rabattement excessif).

##### **Incrustation**

La principale cause de détérioration est l'accumulation d'incrustations autour des ouvertures des crépines, ce qui réduit le rendement du forage. A mesure que le forage est exploité, la pression diminue en raison du rabattement local, alors que la vitesse et la turbulence de l'écoulement autour du forage augmentent. Dans cette zone agitée, l'eau libère du dioxyde de carbone, ce qui réduit la solubilité de certains composants de l'eau, tels que le carbonate de calcium. L'incrustation résulte principalement de la précipitation de carbonates insolubles, de bicarbonates, d'hydroxydes, ou de sulfates de calcium, de magnésium, de sodium.

D'importants dépôts minéraux se sont formés sur la partie supérieure des crépines qui est exposée à l'air en raison d'un rabattement excessif. L'argile des formations de la nappe des sables ont aggravé le problème, mais des dépôts organiques ont aussi entré en jeu. L'oxydation du fer, de l'état ferreux à l'état ferrique, sur les parois du forage peut favoriser la croissance de certaines bactéries.

##### **Corrosion**

Le processus de corrosion le plus courant que nous avons observé est électrochimique : le fer est dissous et précipite une nouvelle fois sous forme de dépôt d'hydroxyde.

Dans les forages, la corrosion touche le plus souvent des imperfections physiques localisées sur les tuyaux et les crépines en métal. Ce processus a été favorisé par la forte salinité des eaux souterraines.

La corrosion a provoqué la perforation du tubage métallique, en affaiblissant sa structure.

Il est possible de ralentir l'incrustation ou la corrosion en installant des crépines ayant le plus grand coefficient d'ouverture possible, afin de réduire le débit de pompage et la vitesse d'entrée, et en nettoyant ou en redéveloppant régulièrement le forage.

## **CONCLUSION GENERALE**

Les méthodes et techniques de forage n'ont cessés de se développer et avec eux la mise sur le marché de produits d'équipement de plus en plus innovants. Ainsi, la réalisation des forages d'eau est très couteuse mais elle a une grande importance dans notre vie quotidienne pour l'exploitation de l'eau potable.

Malgré toutes les protections et tous les contrôles réguliers dont peut bénéficier un ouvrage de captage, il est impossible de le maintenir éternellement en bon état. Le vieillissement est donc un phénomène inéluctable. La pérennité, la productivité des captages et le maintien de la qualité de l'eau produite sont des préoccupations permanentes des Maitres d'ouvrage, exploitants et services de l'Etat chargés du contrôle de l'eau de consommation humaine. La réglementation doit imposer une maintenance préventive des forages exploités pour l'eau potable.

La prospection des quatre forages du Mio-Pliocène a démontré qu'il est nécessaire et indispensable d'effectuer une inspection vidéo. Ce procédé peut déterminer les causes de la plupart des problèmes habituels affectant les forages au cours de sa durée de vie, comme la présence de sable et la baisse du débit d'eau. De plus, elle peut détecter des dysfonctionnements dus à la détérioration, déformation, corrosion, fentes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Albert .M (1986), forage d'eau : guide pratique, édition : Johnson filtration systèmes.
2. Michel.D. (1993), le forage d'eau : Réalisation, entretien, réhabilitation.
3. Moulay. O. et Seddiki. Y. (2017), Suivi d'unforage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa), Mémoire, Université Kasdi Mer bah -Ouargla, Département De Génie Civil et Hydraulique.
4. Ghendir.L. (2015/2016), Suivis et étude des forages hydrauliques de la région d'Oued Righ.
5. Cherif. B. (2015) Etude du phénomène de colmatage des pertes de circulation.
6. Dans les forages pétroliers sur le champ de Hassi Messaoud, Mémoire de magister, université Kas di merbah Ouargla, département de génie mécanique.
7. Hadj Abbas A. (2011) Les bourbiers de forage pétrolier et des unités de production. Mémoire de magister de l'Université de Ouargla.
8. Sonatrach Division forage (2003) Procédures de forage horizontal, champ de Hassi Messaoud Sonatrach.
9. SOURISSEAU.B. ' 'Guide de bonne pratique et de contrôle des forages d'eau Pour la protection de l'environnement' ' édition BRGM.
10. P. MOTARD. Institut français de pétrole ' 'forage rotary' '.

13. Boughzala F. (2014). Réalisation des forages hydrauliques dans la région d'El-Oued (SE Algérie). Mémoire de géologie de l'ingénieur. Université d'Oran. 60P.

14. Hydraulique de Touggourt : les rapports fin de sondage dans les trois aquifères.

15. article L. Bourget, C. Gadellier et M. N. Hermine Document généré le 31 mai (2018).

16. Sébastien B. (2009). Les formes de corrosion en forage d'eau.

17. Equipement de forage d'exploitation d'eau minérale. Approche méthodologique. Technique DNEMT n°4-novembre (1995).

18. Forage techniques et procédés Dr Mehdi Metaiche Maître de conférences université de Bouïa Octobre (2013).