

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed**



**Mémoire de fin d'étude**

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en

Domaine : Géologie

Filière : Géologie appliquée

Spécialité: Hydrogéologie

**THEME**

**IMPLANTATION ET SUIVI HYDROGEOLOGIQUE DES TRAVAUX  
DE FORAGE D'EAU POUR L'ALIMENTATION EN EAU  
POTABLE DE LA COMMUNE D'AIN SOLTANE  
(Wilaya de SAIDA) (NW ALGERIE)**

Présenté et soutenue par :

Mr. SAIDI Zakaria      &      Mr. KANOUN Hichem

Devant le jury composé de :

HAMIDI Mansour	Professeur	Univ. Oran 2	président
ABLAOUI Halima	M.A.A	Univ. Oran 2	Rapporteur
SAFA Aissa	M.C.A	Univ. Oran 2	Examineur
BOUABDELLI Sahraoui		Univ. Oran 2	Co-encadreur

Année 2019-2020

# ***REMERCIEMENTS***

Nous tenons à exprimer tout d'abord nos remerciements à Allah le tout puissant, de nous avoir guidé au cours de toutes nos années d'études et nous avoir donnés la volonté, et le courage pour terminer notre travail.

Nous remercions également **Mr. BOUABDELLI Sahraoui**, directeur d'ANRH Saida, pour ses efforts et considérations.

Aussi, nous tenons à exprimer nos remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer notre travail de mémoire.

Merci à **Mr. MANSOUR Hamidi** Professeur à l'université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed d'avoir accepté de présider le jury, **Mr. SAFA Aissa** maitre de conférence de classe A d'examiner notre mémoire, **Mlle Ablaoui Halima** maitre de conférence de classe A de nous avoir encadré, orienté et surtout ses conseils précieux.

Nos vifs remerciements à **Mr. Sahraoui Bouabdelli** et également aux personnes qui nous ont encouragés et aider à la réalisation de ce travail (**BOUARRARA SARA**).

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre de l'université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, nos camarades étudiants, l'ensemble du personnel de l'ANRH SAIDA ainsi que l'entreprise de réalisation du forage d'Ain Soltane.

# ***DEDICACE***

## ***Je dédie ce modeste travail à:***

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

*Mes dédicaces s'adressent également à mon frère Ilyas. À tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom SAIDI, et n'oublier pas Mes oncles, Mes tantes que Dieu les sauve pour moi.*

*Aussi, je dédie ce travail à toutes mes chères amies Ahmed, Ali, Mohammed, Mimoune.*

*Sans oublier tous mes collègues du groupe HYDROGEOLOGIE*

***SAIDI ZAKARIA***

# ***DEDICACE***

## ***Je dédie ce modeste travail à:***

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

*Mes dédicaces s'adressent également à mon frère Ilyas.*

*À tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom KANOUN, et n'oublier pas Mes oncles, Mes tantes que Dieu les sauve pour moi.*

*Aussi, je dédie ce travail à toutes mes chères amies Hamza*

*Et Nedjmeddin, Fathallah, Oussama*

*Sans oublier tous mes collègues du groupe HYDROGEOLOGIE*

***KANOUN HICHEM***

## Résumé

La région d'étude renferme deux types de nappes, une nappe superficielle localisée exclusivement dans la vallée de l'Oued Saida et une autre, plus importante et plus intéressante située dans les sédiments carbonatés du jurassique inférieur et moyen.

L'objectif de ce travail est d'implanter et réalisé un forage dans la région d'Ain Soltane qui permettra d'évalué, les potentialités hydriques ainsi que l'alimentation en eau potable, la région d'Ain Soltane et sa zone éparce.

La connaissance géologique et lithostratigraphique des formations. Connaitre les horizons hydrogéologiques et de préciser la géométrie des niveaux aquifères.

Les résultats obtenus montrent que ce forage dans la région d'étude est caractérisée par :

- Sa qualité de l'eau ;
- Le facies chimique de cette eau bicarbonaté magnésienne ;
- Le débit très important 31L/s ;

**Mots clés :** Niveau dynamique, Débit, Perte de charge, Essai de nappe, Cutting, Forage.

## Abstract

The study region contains two types of water tables, a surface water table located exclusively in the Oued Saida valley and another, larger and more interesting, located in the carbonate sediments of the lower and middle jurassic.

The objective of this work is to implant and carry out a borehole in the region of Ain Soltane which will allow the evaluation of the water potential as well as the supply of drinking water to the region of Ain Soltane and its sparse zone.

The geological and lithostratigraphic knowledge of the formations. Know the hydrogeological horizons and specify the geometry of the aquifer levels.

The results obtained that this borehole in the study region is characterized by;

- The quality of the water.
- The chemical facies of this magnesian bicarbonate water.
- The flow very important 31L/s.

**Key words:** Dynamic level, Debit, Loss of charge, Try tablecloth, Cutting, Drilling.

# SOMMAIRE

Remerciement .....	
Résumé .....	
Sommaire .....	
Liste des tableaux .....	
Liste des Abréviation .....	
Liste des figures .....	
Introduction générale .....	01

## CHAPITRE I Considérations générales

Introduction .....	02
I - Cadre géographique de Saida .....	02
I.1-Cadre géographique de la région d'étude .....	02
I.2-Cadre géologique .....	03
I.2.1- Introduction .....	03
I.2.2-Description litho stratigraphie .....	04
Le paléozoïque .....	06
Le mésozoïque .....	06
Le trias.....	06
Le jurassique .....	06
Le kimméridgien .....	07
Le crétacé .....	08
Le cénozoïque .....	08
Le tertiaire continentale.....	08
Le plio quaternaire.....	09
I.3-Cadre structurale.....	11
I.4-Cadre hydrogéologie.....	12
I.4-1-Distinction des Aquifères .....	12
• L'aquifère superficiel .....	12
• L'aquifère karstique.....	12
• L'aquifère du Callovo-Oxfordien .....	14
• L'aquifère du Lusitanien.....	14
• L'aquifère du Kimméridgien.....	14
• La nappe superficielle.....	14
I.5-Géomorphologie .....	14
I.6-Climatologie .....	15
I.7-Réseau hydrographique .....	21
Conclusion.....	23

## CHAPITRE II Réalisation de forage

Introduction .....	24
II.1-Phase implantation .....	25
II.2-Phase installation.....	25
II.3-Construction de la plate forme .....	27
II.4-Construction des bassines et rigoles.....	27
II.5-Phase avant puits .....	28
II.6-Phase forage .....	30
II.6.1-Reconnaissance.....	30
II.6.2-Enregistrement des diagraphies ou carottage électriques .....	31
II.6.3-Essai de nappe .....	32
II.6.4-Elargissement (Alésage).....	33
Conclusion.....	33

## CHAPITRE III Equipement de forage

Introduction .....	34
III.1-L'équipement de forage .....	34
III.1.1-Chambre de pompage.....	34
III.1.2-Colonne de captage .....	34
III.2-Massif filtrant (gravier additionnel).....	35
Quantité nécessaire de gravier additionnel .....	36
Mise en place du gravier additionnel .....	36
III.3-Développement .....	37
III.3.1-Développement à l'air lift .....	37
III.3.2-Traitement à l'hexamétaphosphate .....	38
III.3.3-Développement par pompage .....	38
Conclusion.....	38

## CHAPITRE IV Exploitation du forage

Introduction .....	39
IV.1- Essai de pompage .....	39
Définition et but .....	39
Caractéristique de la pompe utilisée .....	39
IV.1.1-pompage d'essai par palier .....	39
IV.1.2-Essai de pompage de longue durée .....	42
IV.2- Analyse chimique .....	44
IV.2.1-type de faciès de l'eau.....	45
IV.2.2-présentation graphique des analyses .....	46
Conclusion.....	48

## CHAPITRE V Les périmètres de protection

Introduction .....	49
V.1-Vulnérabilité à la pollution .....	49
V.2- la Pollution .....	49
V.3 -Méthode utilisée pour le dimensionnement des zones de protection.....	50
V.3.1- Critères de détermination des zones de protection.....	50
V.4-Temps de transfert.....	51
V.4.1-Détermination des temps de transfert par calcul .....	51
V.4.2 Méthodes de calcul de l'isochrone 50 j.....	51
V.5-Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines .....	53
V.6. Les différents types de périmètres de protection .....	53
V.6.1-Evolution de la législation.....	53
V.7-Objectif de la Protection du champ captant d'Ain Soltane .....	55
V.7.1-Zone de protection immédiate.....	55
V.7.2-Zone de protection rapprochée.....	55
V.7.3-Zone de protection éloignée .....	55
Conclusion.....	56
Conclusion générale .....	57
Références bibliographiques .....	

## Liste des tableaux

<b>Tableau I:</b> Précipitations moyennes mensuelles et cumul annuel des stations de Saida et Ain Soltane.....	16
<b>Tableau II:</b> Variations interannuelles des précipitations pour la période (1975-2012).....	17
<b>Tableau III:</b> Moyennes mensuelles et annuelles des températures.....	18
<b>Tableau IV:</b> Essai de débit par palier du forage d'Ain Soltane .....	40
<b>Tableau V:</b> calcul des pertes de charge.....	42
<b>Tableau VI:</b> donnée de la remontée .....	40
<b>Tableau VII:</b> les résultats des analyses .....	45

## Liste Des Abréviation

<b>ANRH</b>	Agence Nationale des Ressources Hydriques
<b>TNRS</b>	Tôle noire roulée soudée
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale De La Santé
<b>NS</b>	Niveau statique
<b>ND</b>	Niveau Dynamique
<b>Q</b>	Débit
<b>AEP</b>	Alimentation en eau potable

## Liste des figures

<b>Figure 01:</b> Localisation géographique de Saida .....	02
<b>Figure 02:</b> Localisation géographique de la zone d'étude .....	03
<b>Figure 03:</b> Carte géologique de la région de Saida .....	05
<b>Figure 04:</b> Log stratigraphique de la région de Saida .....	10
<b>Figure 05:</b> Coupe géologique E-W graben Saïda.....	11
<b>Figure 06:</b> Précipitations moyennes mensuelles des stations de Saida et Ain Soltane .....	16
<b>Figure 07:</b> Variation des précipitations moyennes annuelles aux stations de Saida et d'A.S.....	17
<b>Figure 08:</b> Variation des températures moyennes mensuelle à la station de Saida.....	18
<b>Figure 09:</b> Courbe pluvio-thermique de la station Ain soltane.....	19
<b>Figure 10:</b> Abaque d'indice d'aridité de DE Martonne .....	20
<b>Figure 11:</b> Abaque d'indice d'aridité d'Enberger .....	21
<b>Figure 12:</b> Réseau hydrographique du sous bassin versant d'Ain soltane .....	23
<b>Figure 13:</b> Schéma d'un forage rotary .....	24
<b>Figure 14:</b> L'appareil de forage rotary sur le chantier .....	26
<b>Figure 15:</b> Les tiges .....	27
<b>Figure 16:</b> Le trépan .....	27
<b>Figure 17:</b> Les bassins et les rigoles.....	28
<b>Figure 18:</b> Tube guide 20" .....	29
<b>Figure 19:</b> Cimentation d'une colonne de tubage .....	30
<b>Figure 20:</b> Tamis vibrant avec les cutting .....	31
<b>Figure 21:</b> Les éléments de pompage .....	32
<b>Figure 22:</b> Compresseur .....	33
<b>Figure 23:</b> Tube d'eau .....	33
<b>Figure 24:</b> Tubes pleins 13"3/8 .....	34
<b>Figure 25:</b> Tube crépines 13 " TNRS.....	35
<b>Figure 26:</b> Les crépines .....	35
<b>Figure 27:</b> Le gravier additionnel .....	36
<b>Figure 28:</b> Mise en place du gravier additionnel.....	36
<b>Figure 29:</b> Droite de rabattement en fonction de débit .....	40
<b>Figure 30:</b> Droit représentative rabattement spécifique en fonction de débit .....	41
<b>Figure 31:</b> La courbe de la descente.....	43
<b>Figure 32:</b> La courbe de la remonte .....	44
<b>Figure 33:</b> Diagramme de Piper d'un forage d'eau d'Ain Soltane .....	46
<b>Figure 34:</b> Diagramme de « Schoeler – Berkaloff » d'un forage d'eau d'Ain Soltane .....	47
<b>Figure 35:</b> Détermination des isochrones (Méthode Wyssling).....	52
<b>Figure 36:</b> Délimitation des périmètres de protection de captage d'eau .....	54
<b>Figure 37 :</b> Délimitation des périmètres de protection de captage d'eau d'Ain Soltane.....	56

# **Introduction Générale**

### Introduction Générale

Les ressources en eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées pour couvrir les besoins en eau qui ne cesse est de croître dans divers domaines (Alimentation en eau potable, irrigation, industrie... etc.). Ces ressources en eaux souterraines sont toutefois menacées par plusieurs facteurs liés à la mauvaise gestion, la surexploitation et l'utilisation intensive des engrais et pesticides dans le domaine agricole (Milieu anthropique).

Avec le développement Socio-économique d'une part et la forte pression démographique et urbanistique d'autre part la demande en eau ne cesse de s'accroître.

La pérennisation des ressources en eau souterraines nécessite donc la mise en place des périmètres de protection destinés à éviter les diverses pollutions pouvant altérer la qualité des nappes phréatiques.

L'objectif de notre étude est de suivre les travaux de la réalisation d'un forage d'eau implanté dans la plaine d'Ain Soltane (Région de Saida). Cet ouvrage est destiné à alimenter en eau potable une agglomération de 6765 habitants de la ville d'Ain Soltane.

Ce travail est structuré en Cinq chapitres:

Le premier chapitre donne une présentation du secteur d'étude, à savoir un aperçu sur :

L'hydro climatologie, la géologie et l'hydrogéologie,

Le second chapitre, une description de l'appareil de forage ou la sondeuse,

Le troisième chapitre, le déroulement des travaux de fonçage,

Le quatrième chapitre, étude hydraulique des différents forages d'eau,

Le dernier chapitre traite le dimensionnement des périmètres de protection,

## **CHAPITRE I**

# **Considérations générales**

## Introduction

La région de Saida est située dans le domaine atlastique qui constitue, avec le domaine tello-rifain au Nord et le domaine saharien au Sud, l'un des trois ensembles structuraux qui caractérisent la géologie Algérienne.

### I. Cadre géographique de la wilaya de Saida (Figure 01)

La wilaya de Saida couvre une superficie totale de 6765 km<sup>2</sup>, Localisée au Nord-Ouest de l'Algérie, elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Mascara,
- Au Sud par celle d'El Bayadh,
- A l'Est par la wilaya de Tiaret,
- A l'Ouest par la wilaya de Sidi Bel Abbas,



**Figure 01** : Localisation géographique de Saida (Internet)

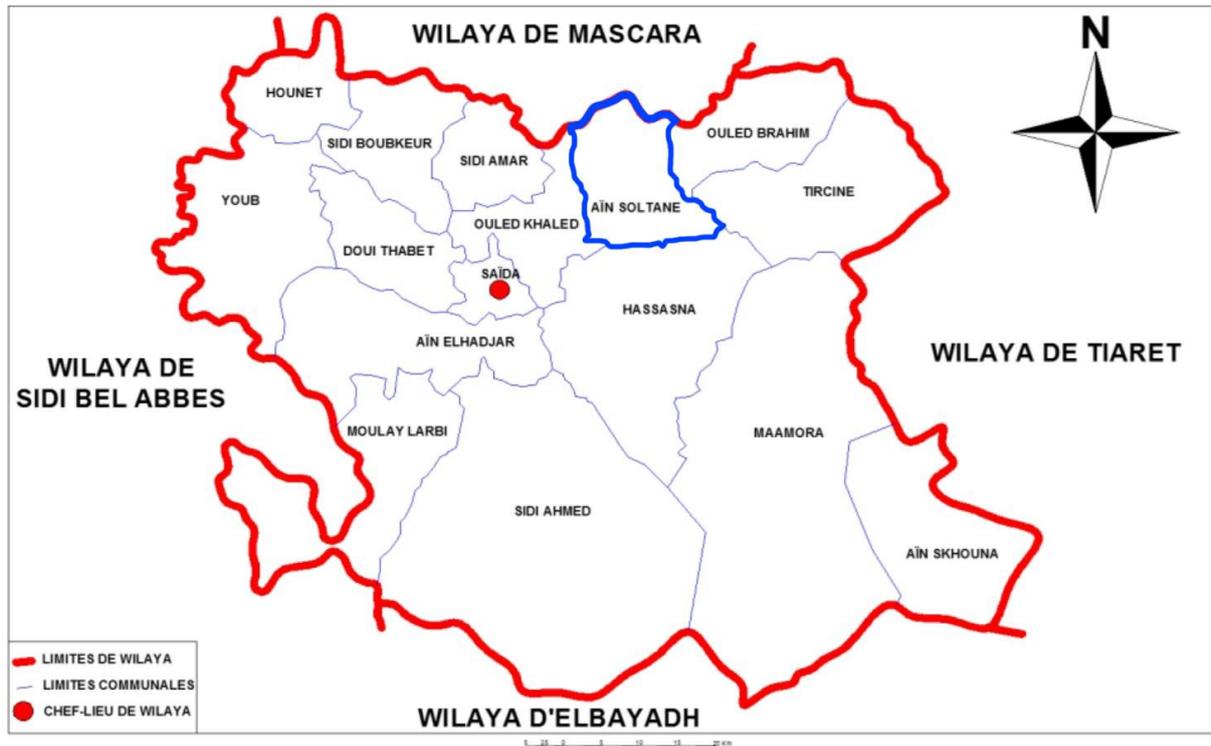
Le territoire de la wilaya se distingue par une palette d'entités géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, bioclimatiques, pédologiques et sociales en plus des richesses naturelles importantes et variées.

#### I.1-Cadre Géographique de la région étude (Figure 02)

La région d'étude (Ain Soltane), située à 20 Km au Sud du Chef-lieu de la wilaya de Saida.

Les communes limitrophes sont:

- Au Nord, la commune d'Aouf wilaya de Mascara ;
- Au Sud, la commune de Hassasna ;
- A l'Ouest, la commune de Sidi Amar et Ouled Khaled ;
- A l'Est, les communes d'Ouled Brahim et Tircine ;



**Figure 02 :** Localisation géographique de la zone d'étude

## I.2-Cadre géologique

### I.2.1-Introduction

Entre les Hauts Plateaux Oranais au Sud et l'Atlas Tellien au Nord, d'âge tertiaire, apparaît une unité géologique d'âge secondaire constituée par les monts de Saida et qui s'étend jusqu'à la région d'Oum Djerane (Hessasna) au Sud.

Cette région est caractérisée par des roches paléozoïques constituant le socle de la plateforme épi hercynienne et par des formations Méso-Cénozoïque constituant la couverture.

La région d'étude (Ain Soltane) correspond à l'extrémité occidentale du vaste plateau carbonaté parsemé de dépressions fermées et de zones caillouteuses qui dominent nettement la vallée de l'Oued Tifrit et celle de Saida (Dénivelée = 200 m) qui constituent respectivement les limites Nord Ouest et Ouest. Il affleure largement au Sud d'une ligne allant de Saida à Takhmaret sur une superficie de 2500 km<sup>2</sup>. Il s'agit là du plus grand affleurement karstique de l'Algérie. (Pitaud 1973).

Sur le plan morpho structural, les monts de Saida se présentent comme un vaste anticlinal à grand rayon de courbure orienté WSW-ENE. Cet ensemble, topographiquement élevé, appartient au domaine des hauts plateaux qui forment la limite septentrionale des hautes plaines Oranaises.

Ce plateau est formé par une série sédimentaire discordante sur un socle hercynien (Schistes et Quartzites). L'éventail de cette série s'étend du Trias au Pliocène.

Cependant, ce sont les terrains Calcaro-Dolomitiques du jurassique inférieur et moyen qui y forment l'essentiel des affleurements. Le pendage des couches est faible; Orienté vers le NW, il ne dépasse pas 15° et traduit une structure tabulaire. (Pitaud 1973).

### **I.2.2-Description Litho stratigraphique générale** (Figure 03)

Le plateau de Saïda se situe dans les monts de Saïda. Il est constitué essentiellement de terrains jurassiques ainsi que quelques terrains primaires et des terrains éruptifs.

Dans les dépressions, ainsi que dans les vallées et lits d'Oueds, on trouve des terrains d'origine continentale (Fluviatiles et Eoliens) d'âge tertiaire souvent indifférenciés.

La région est également caractérisée par la présence de tufs et de travertins calcaires plus ou moins récents et correspondants à d'anciens griffons de sources. (Pitaud, 1973).

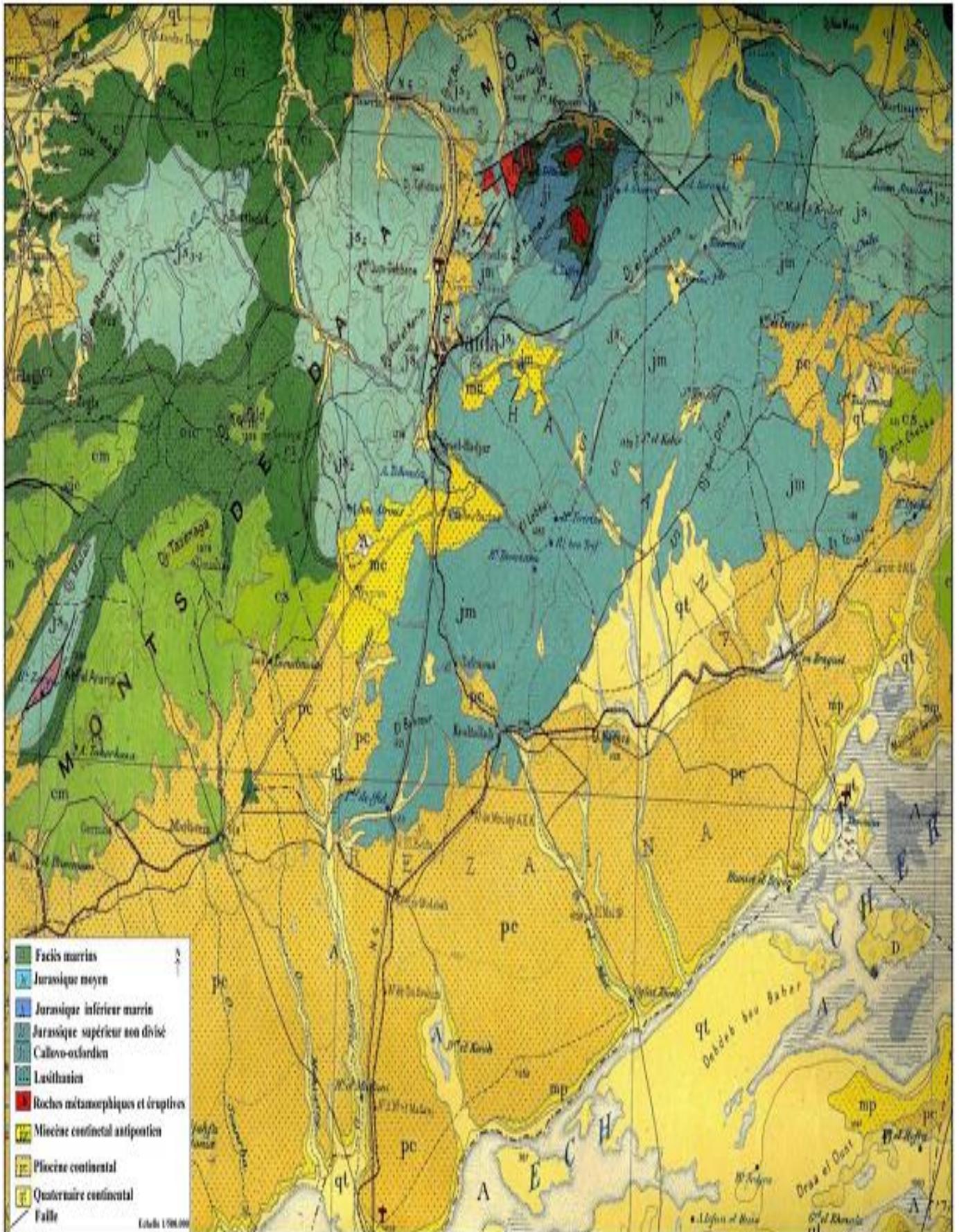


Figure 03: Extrait de la carte géologique de la région de Saida (ANRH, 1952), Echelle 1/500.000

De bas en haut nous avons :

- **Le Paléozoïque**

Cet ensemble ancien (Silurien), très plissé, affleure dans la vallée de l'Oued Tifrit et les vallées afférentes. Il dépasse certainement 100 m d'épaisseur et l'on ne connaît pas son substratum. C'est à l'intérieur de cet ensemble que l'on peut noter la présence d'intrusions granitiques et granulitiques, ainsi que des coulées de laves basaltiques. Les schistes et quartzites de Tifrit constituent un substratum imperméable. (Pitaud, 1973).

- **Le Mésozoïque**

Avec

### **Le Trias**

Cet ensemble repose en discordance sur l'ensemble paléozoïque arasé à la fin du primaire. Il se rencontre en affleurements ou dans les données géologiques de forages en position stratigraphique normale avec de bas en haut :

- Un membre inférieur (Faciès Carbonaté) : marnes jaunâtres avec de rares intercalations de minces bancs calcaires ;
- Un membre basaltique avec des calcaires marneux plus ou moins dolomitiques, verdâtres à rougeâtres et des tufs dolomitiques gris verdâtres clairs ;
- Un membre supérieur qui, dans la région de Tifrit, se présente sous la forme d'un mince ensemble d'argile rouge à concrétions ferrugineuses

### **Le Jurassique**

La couverture jurassique peut être subdivisée en un certain nombre de formations agencées au sein de trois grands groupes sédimentaires superposés et bien distincts :

- Groupe carbonaté inférieur constitué du jurassique inférieur et moyen dolomitique ;
- Groupe carbonaté détritique intermédiaire constitué du Callovo-Oxfordien argileux gréseux et du Lusitanien gréseux ;
- Groupe carbonaté supérieur constitué du Kimméridgien dolomitique ;

Seuls les groupes carbonatés inférieur et détritiques affleurent dans la région considérée

### **Le Jurassique Inférieur et Moyen**

Il est largement répandu et constitue l'aquifère le plus important, Cette formation est mieux connue sous le nom de «Dolomies de Tifrit». Plusieurs membres peuvent être distingués :

- La formation carbonatée de Bounouel (Hétangien - Plienbachien)
- La formation des marnes d'Es Safeh (Toarcien)
- La formation carbonatée d'Ain Dez (Aaléno-Bajocien)
- La formation des argiles bigarrées de Sidi Youcef (Bajocien)
- La formation carbonatée de Zerzour (Bathonien)
- La formation des marnes de Modzab (Bajo-Bathonien) qui se substitue progressivement par variation latérale de faciès aux deux dernières formations vers le Nord-Ouest.

L'épaisseur de cet ensemble est très variable. Elle atteint 400 m au Sud de la région et se biseaute vers le Nord au contact du Trias.

### **Le Callovo-Oxfordien et Lusitanien**

Cette formation est constituée par les "Argiles de Saïda" qui comportent quelques bancs gréseux. Elle est très répandue dans les vallées et principalement dans celle de l'Oued Saïda.

Elle apparaît aussi en reliefs mous, plus ou moins isolés, sur le plateau et les flancs des vallées. Son épaisseur totale est de 250 m environ. Le Lusitanien est représenté par les "Grès de Franchetti" qui dominent les vallées, au Nord des stations PK 50, Hassasna, Guernida et Sidi Mimoun, et sur le flanc ouest de la vallée de l'Oued Saïda jusqu'à la latitude de cette ville. Cette formation gréseuse, puissante de 350 m, est perméable et située en altitude.

### **Le Kimméridgien**

Il est très peu représenté dans la région. Il est constitué par les "Calcaires et Dolomies de Tlemcen". Au Nord-Ouest, sa situation topographique comme celle du Lusitanien fait qu'il est, lui aussi, complètement drainée

## **Le Crétacé**

Flamand signale un niveau Valanginien, épais d'une cinquantaine de mètres, à quelques mètres au-dessus des premières assises gréseuses à l'ENE de Dombasle et à l'Est de Taghia, puis un ensemble de calcaires jaunes et de Marno-Calcaires représentant l'Hauterivien et le Barrémien.

Le Crétacé inférieur se trouve avec un faciès semblable à l'Ouest dans les monts de Daïa mais, immédiatement à l'Ouest et au Nord-Ouest de Saïda, les grès deviennent prépondérants et l'ensemble passe rapidement à une série gréseuse de type continental où on retrouve cependant un petit niveau calcaire. Si l'on excepte le sénonien, représenté par des calcaires blancs à pâte fine, à joints stylolithiques, montrant, près de Hassi Djedid, des Foraminifères du Maestrichtien, et qui, transgressif, recouvre par lambeaux la partie Sud de l'extrémité orientale des monts de Saïda, les autres termes du crétacé, constituant la majeure partie des monts de Daïa, n'affleurent pas dans la région étudiée.

### **• Le Cénozoïque**

#### **Le Tertiaire Continental**

Les formations tertiaires recouvrant les monts de Saïda sont toutes d'origine continentale et constituent deux ensembles souvent séparés par une discordance. Flamand (1911) attribue les termes les plus inférieurs au Miocène: Ce sont des marnes argileuses brique clair à cailloutis, montrant à la base un niveau conglomératique important constitué souvent par de gros éléments mal roulés provenant de l'altération du substratum et par des rognons siliceux.

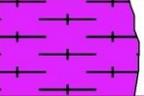
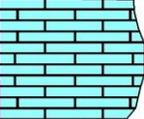
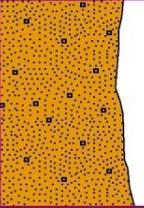
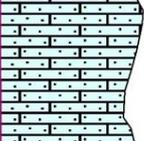
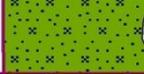
La partie supérieure est essentiellement marneuse, de teinte brique ou ocre. Ces atterrissements « Miocènes » sont largement développés au SE et au Sud de Saïda dans la plaine des Maalifs où ils passent au Sud sous des formations plus récentes, pliocène et quaternaire, comblant la large vallée de l'Oued Falette.

Le flanc Sud des monts de Saïda s'enfouit sous les atterrissements tertiaires de la dépression du Chott Chergui, montrant souvent en bordure du substratum marin un conglomérat de piedmont passant ensuite à un conglomérat de base. Ce remplissage, essentiellement argileux, présente un épisode lacustre, tectonisé et recouvert en discordance par des atterrissements surmontés d'une carapace calcaire probablement d'origine lacustre pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

- **Le Plio Quaternaire**

Ses sédiments apparaissent par faibles tranches d'épaisseurs dans les creux des vallées et dans les dépressions du plateau. Ils sont constitués de conglomérats, d'argiles, de limons et de croûtes calcaires

Des massifs de travertins apparaissent au bord de certaines falaises dolomitiques (Tifrit, Saïda) et constituent des témoins produits par l'ancien ruissellement superficiel sur les terrains carbonatés avant que ne soit amorcée la karstification. L'ensemble de ces formations est argileux et vraisemblablement peu perméable.

<b>Ere</b>	<b>Log stratigraphique</b>		<b>Déscription Lithologique</b>
<b>Quaternaire</b>		60m	Limons plus ou moins stableux-Travertins
<b>Tertiaire</b>		75m	Argiles briques sableuses ou gypseuse Intercalation calcaire graviers ou galets
<b>Sénonien</b>		100m	Calcaires grés clairs à pate fine très altérée a la partie superficielle
<b>Barémien</b>		200m	Grés de berthelot (Youb)
<b>Kimméridgien</b>		80 à 100m	Dolomies de Sidi Boubekeur Marnes calcaires de Roura Calcaires de stah Dolomies de tlemcen
<b>Lusitanien</b>		50m	Grés de Sidi Amar passées carbonatiées ou argiles sableuses
<b>Callovo - Oxfordien</b>		250 à 300m	Argiles de saida intercalation de grés
<b>Aaléno -Bajo Bathonien</b>		150m	Dolomies cristallines et fissurées
<b>Toarcien</b>		100m	Marnes d'Essateh et calcaire-marneux
<b>Hitangien</b>			Dolomies cristallines bréchiqes argiles
<b>Trias</b>		65m	Argiles salines, grés argileux, basaltes
<b>Primaire</b>		100m	Shistes, granites, dorites

**Figure 04** : Log stratigraphique de la région de Saida (A.N.R.H)

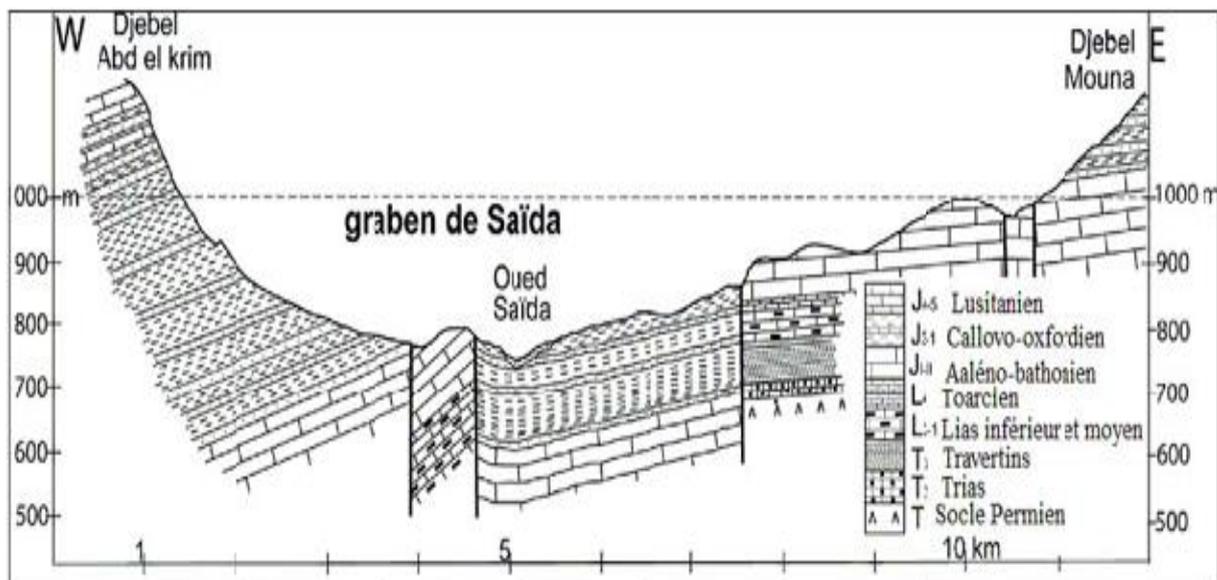
(D'après Clair, 1952 et Pitaud, 1973).

### I.3-Cadre structural

Sur le plan structural, l'observation de la coupe géologique (Figure 05) de la région de Saïda révèle un nombre important de failles, dont les rejets peuvent atteindre parfois 150 m, mettant ainsi en évidence la tectonique cassante des terrains carbonatés avec constitution de blocs effondrés formant des grabens et d'autres surélevés apparaissent sous forme de horst.

Les plissements de la chaîne tellienne qui forme le socle de la région de Saïda ont résulté de mouvements verticaux du socle, ce qui a provoqué d'importantes fractures. Ces mouvements tectoniques sont aussi responsables de la formation des dômes et des différents fossés d'effondrement. La surrection de môle a aussi provoqué la déformation de la couverture dolomitique du jurassique, alors qu'un fossé d'effondrement d'axe N-S s'est développé dans la vallée de Saïda.

Ces différents mouvements de surrection ont engendré une tectonique cassante à la région. Les directions privilégiées sont approximativement SW-NE à NNE-SSW. Les accidents tectoniques sont subverticaux pour la plupart. (Pitaud, 1973).



**Figure 05:** Coupe géologique E-W du graben de Saïda (Pitaud 1972)

## I.4-Cadre hydrogéologique

La lithologie des formations observées en affleurement est mise en évidence par les forages permettant ainsi de différencier les formations aquifères.

### I.4-1-Description des aquifères

À partir de la nature et de l'âge des roches composantes, il est possible de définir les aquifères suivants :

- **L'aquifère superficiel** : Formé par les remplissages Mio-Plio-Quaternaires et l'aquifère des grès Callovo-Oxfordiens très représentés dans la vallée effondrée de Oued Saida.

- **L'aquifère karstique** : Représenté par les faciès Calcaro-Dolomitiques de l'Aléno-Bajo-Bathonien. Toutefois, la région d'Ain Soltane où l'usine d'hydraulique est circonscrite sur le plateau karstique des monts de Saida, ce dernier qui est de loin le plus étendu et potentiellement le plus important dans la région, fera l'objet de notre étude hydrogéologique proprement dite pour l'implantation du forage. Il est composé de deux unités hydrogéologiques séparées par une couche marneuse du Toarcien (30 à 50 m):

- Unité des dolomies inférieures (50 m), correspondant au membre carbonaté de Bounoual attribué à l'Hettangien-Pliensbachien. Cette unité, épaisse de 50 m, affleure essentiellement dans les plateaux d'Ain Soltane et Ain Balloul au Sud du môle primaire de Tifrit sur environ 100 km<sup>2</sup> de superficie.

L'aquifère, constitué de calcaires et dolomies très fissurés, repose sur un substratum Volcano-Sédimentaire semi-étanche (Trias). Il retient une nappe importante, dont les eaux apparaissent au grand jour par l'intermédiaire de plusieurs sources : Ain Kerma, Ain Soltane, etc. ... (Pitaud, 1973).

- Unité des dolomies supérieures (100 à 150 m), correspondant à la formation des carbonates de Nador, qui est subdivisée en deux membres séparés, localement, par les argiles bigarrées de Sidi-Youssef datées Bajocien. On y distingue :

- Le membre d'Ain Dez attribué à l'Aaléno-Bajocien,
- Le membre des dolomies de Zerzour attribué au Bajo-Bathonien.

L'ensemble, d'une puissance (de 150 à 200 m), est bien développé sur le causse. Cependant, dans la région du Djebel Modzbab, au NE de Saida, les membres de Zerzour et de Sidi-Youssef, disparaissent, par variation latérale de faciès, en faveur d'une formation marneuse.

Ces terrains de nature Calcaro-Dolomitique reposent sur l'ensemble marneux imperméable du Toarcien. Celui-ci forme le substratum d'une nappe importante qui alimente plusieurs sources (Ain Zerga, Ain bent Soltane, source du Poirier...) émergeant sur la rive droite de l'Oued Saida à la faveur de failles mettant en contact argiles Callovo-Oxfordiennes (Ou parfois Mio-Pliocènes) et les terrains aquifères karstiques.

Cette nappe est libre dans le plateau d'Oum Djerane, Ain El Hadjar et le Tidernatine à l'Est et au Sud-Est de la vallée d'Oued Saida, mais il devient captif lorsqu'il est surmonté par le Callovo-Oxfordien (Argilo-Gréseux).

Le découpage tectonique selon des failles NW-SE et NE-SW divise le causse en plusieurs compartiments, dont l'isolement hydrogéologique n'est pas toujours réalisé, car les fractures peuvent juxtaposer les aquifères et permettre un passage des écoulements souterrains. Aussi, en raison de ces intercommunications hydrauliques, le compartimentage stratigraphique de l'aquifère, défini ci-dessus, devient caduc et les unités de Bounoual, de Ain Dez et de Zerzour se comportent alors comme un aquifère unique au niveau de toute la région.

Ces terrains aquifères affleurent largement au sud d'une ligne allant de Saida à Takhmaret sur une superficie dépassant les 2500 km<sup>2</sup>. Il s'agit là, du plus grand affleurement karstique d'Algérie. Cependant, certaines limites hydrogéologiques ont été définies :

Se biseautant au Nord sur les terrains triasiques et paléozoïques du horst de Tifrit, l'aquifère karstique est limité au NE et à l'Ouest par un système de failles « étanches » le mettant en contact avec les formations des argiles de Saida, et au Sud et au SE par une ligne de partage des eaux souterraines limitant la nappe des dolomites de Saida et la nappe Bajo-Bathonienne du Chott Chergui.

A l'Est, l'aquifère s'étend jusqu'au fossé de Takhmaret, où les dolomies sont en contact avec des formations imperméables du jurassique supérieur. Néanmoins, certains auteurs, ont défini une limite hydrogéologique superposable à la ligne topographique du sous bassin versant de l'Oued Taghia. Cette limite correspond en fait à une ligne d'inversion du sens du pendage des couches aquifères qui s'inclinent vers le Sud et le Sud-Est.

Les écoulements souterrains semblent suivre le sens des pendages des couches d'une part et la direction de fissuration NE.

▪ **L'aquifère du Callovo-Oxfordien** : Les bancs de grès formant ce réservoir, peu aquifères où les débits mobilisés n'excèdent pas 2 L/s, seuls les bancs en contact avec le Bajo-Bathonien qui sont près de la zone faillée offrent des débits intéressants. Dans la région d'étude cet ensemble est absent à l'affleurement.

▪ **L'aquifère du Lusitanien** : Représenté par des grès qui sont peu aquifères. La nappe est libre, le mur est constitué par les argiles de Saida, du Callovo -Oxfordien.

▪ **L'aquifère du Kimméridgien** : Le réservoir associé à cet aquifère est dolomitique. On le retrouve à Sidi Boubekeur.

▪ **La nappe superficielle** : Localisée exclusivement dans le graben de la vallée de l'Oued Saida dont l'aquifère est formé par les couches supérieures de la formation de Saida et leur couverture Plio-Quaternaire, avec altération de la partie supérieure (Argilo-Gréseuse) de cette formation constituant avec les dépôts récents du Plio-Quaternaire un réservoir commun, peu profond drainé par plusieurs exutoires sous forme de sources. Elle est alimentée exclusivement par les précipitations sur toute sa surface découverte, certaines failles à rejet vertical donnant une structuration en Horst et Graben qui la mettent en communication avec la nappe karstique, ce qui rend possible un déversement des eaux karstiques au réservoir superficiel.

### **I.5-Aperçu géomorphologique**

Le relief de la région est constitué de zones montagneuses et de plateaux culminant à ,1240 m et 1300 m aux Djebels Sidi Youssef et Khenifer. Une légère concavité apparaît dans la région d'Oum Djerane et de Ghar Amira. Elle abrite un bassin topographique connectée, à la perte de Ghar Amira qui absorbe de gros débits à l'occasion des pointes des très fortes crues.

Ce plateau, bordé à l'Ouest par la vallée de l'Oued Saïda, d'altitude moyenne 700 m, redescend en pente douce vers les hautes plaines du Chott-Chergui par l'intermédiaire de la région des Hassasna.

La tranche d'altitude la plus fréquente est comprise entre 900 et 1100 m.

La végétation est de type Sub-Humide. Le chêne vert existe surtout dans les zones montagneuses et couvre une superficie plus importante dans la partie Nord du secteur d'étude. Le pin d'Alep est beaucoup moins dense que le chêne vert et se trouve surtout au Sud de la ville de Saïda, le long des axes routiers grâce au reboisement entrepris durant ces dernières décennies pratiquement toutes exploitées en céréales et très peu en légumineuses et fruits. Le plateau présente un bombement avec une pente générale vers le Nord.

Les principaux bassins versants correspondent aux Oueds Saïda, Hasna, Guernida, Sidi Mimoun et Taghia, constitué par la confluence des trois Oueds précédents. Tous ces Oueds sont pérennes à l'exception de l'Oued Guernida. Ils s'écoulent du Sud vers le Nord. En revanche, aucun écoulement de surface pérenne ne se manifeste vers le Sud, en direction de la dépression du Chott Chergui.

Les principaux Oueds sont l'Oued Saïda et l'Oued Taghia qui font partie du bassin versant de la Macta, tous deux alimentés par des petits Oueds affluents.

Ce sont les Oueds de Nazreg, Ben Fakroun, Tafrent et Bou Hamar pour l'Oued Saida tandis que la confluence des Oueds El Kebir, Ziane et Berroukia forme l'Oued Beniane dont le prolongement vers l'Ouest avec l'Oued Hasna constitue l'Oued Taghia. (Klimchouk A. 2004)

## **I.6-Hydroclimatologie**

L'Algérie est caractérisée par une variabilité climatique liée aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara. Les conditions climatiques d'un bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau.

### **▪ Le Climat**

Comparativement à l'ensemble du pays qui est caractérisé par un contraste entre le climat méditerranéen au littoral et désertique au Sud, la wilaya de Saida est affectée par des conditions intermédiaires chaudes et sèches en été, froides et pluvieuses en hiver.

### **▪ Les Précipitation**

L'étude des précipitations est basée essentiellement sur les mesures effectuées de 1975 jusqu'à 2012 au niveau des stations météorologiques de Saida et d'Ain Soltane. Fournies par l'ANRH, les coordonnées de la station d'Ain Soltane ( $x = 268.250$  ;  $y = 173.050$ ), et les coordonnées de station de Saida est : (Latitude = 34.8333, Longitude = 0.15).

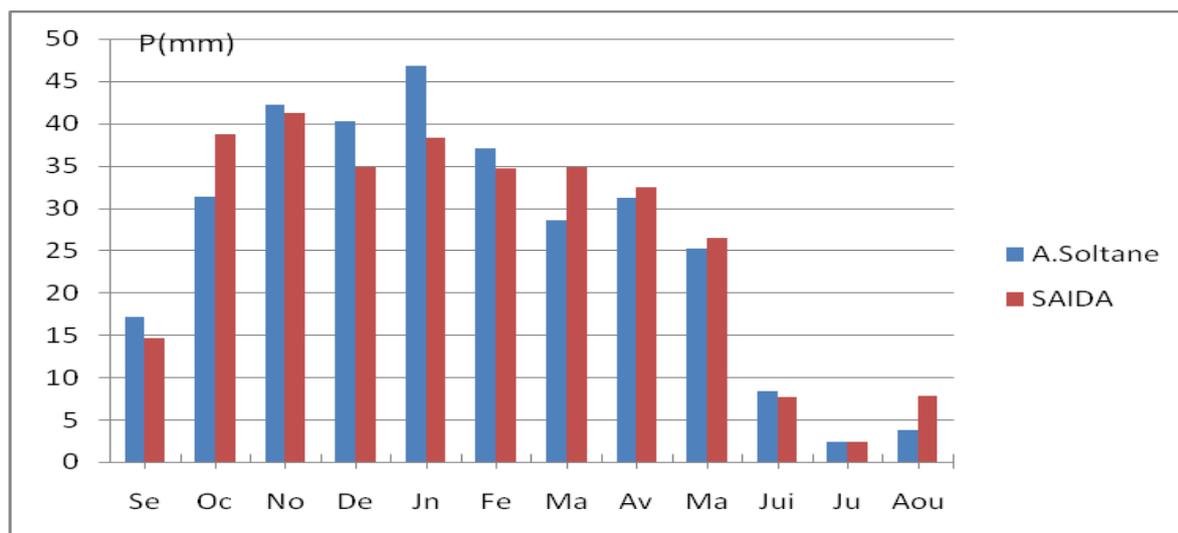
### **Les précipitations moyennes mensuelles**

L'analyse des précipitations mensuelles mesurées à la station de Saida et d'Ain Soltane montre que les valeurs maximales sont observées au mois de janvier avec 46.8 et

38.3 mm respectivement. Le minimum est enregistré au mois de juillet avec une valeur de 2.4 mm.

**Tableau I :** Précipitations moyennes mensuelles et cumul annuel des stations de Saida et Ain Soltane.

Mois	Se	Oc	No	De	Jn	Fe	Ma	Av	Ma	Jui	Ju	Aou	Moyen
<b>A. Soltane</b>	17,2	31,3	42,2	40,3	46,8	37	28,6	31,2	25,2	8,3	2,4	3,7	314,2
<b>SAIDA</b>	14,6	38,7	41,2	34,8	38,3	34,7	34,8	32,5	26,5	7,7	2,4	7,8	314



**Figure 06:** Précipitations moyennes mensuelles à stations de Saida et Ain Soltane en mm (1975-2012)

Le cumul annuel des précipitations est pratiquement le même pour les deux stations et il est de 314 mm.

La distribution annuelle des précipitations par mois (Figure 06), illustre bien l'irrégularité de la pluviométrie dans ces zones.

## Variation interannuelle des précipitations :

Tableau II : Variations interannuelles des précipitations pour la période 1975-2012 en mm

Année	Ain Soltane	SAIDA	Année	Ain Soltane	SAIDA
1975	442,8	374,5	1994	286,6	209,1
1976	418	393,2	1995	311,7	354,7
1977	278,6	257,6	1996	567,8	595,6
1978	245,1	258,7	1997	227,7	296,8
1979	390	392,7	1998	296,8	270,8
1980	400	407,8	1999	221,8	210,8
1981	168,9	244,6	2000	246	297
1982	179,3	228,1	2001	280,2	296,5
1983	212,3	225,8	2002	305,7	279,4
1984	273,3	224,6	2003	359	350,9
1985	300	304,2	2004	371,2	418,8
1986	314,8	367,2	2005	276	250,8
1987	243,4	194,4	2006	445,2	468,8
1988	300	296,2	2007	334,1	340
1989	485,6	462	2008	444,6	429
1990	380	347,2	2009	555,1	518
1991	450	418,9	2010	422,3	411
1992	200	176	2011	428,5	416
1993	231,7	173,5	2012	522,8	492

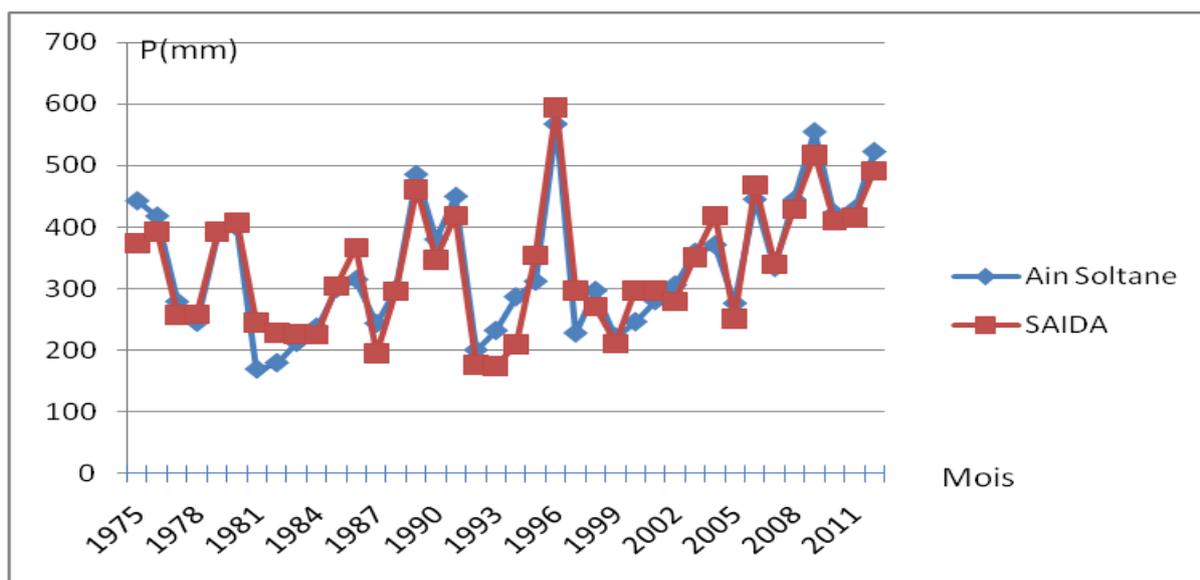


Figure 07 : Variation des précipitations moyennes annuelles aux stations de Saida et d'Ain Soltane.

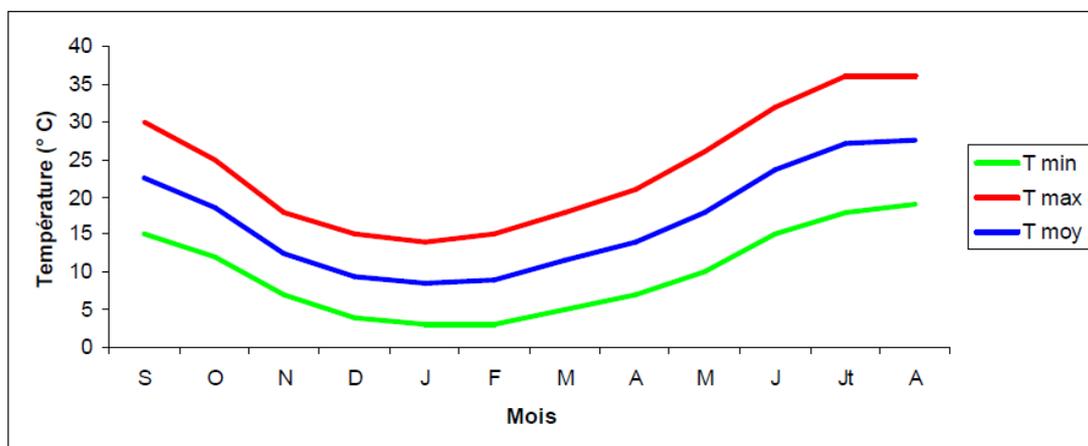
La courbe de la (Figure 07) illustre la distribution des précipitations moyennes annuelles aux deux stations (Période 1975-2012). On remarque sur les mêmes stations une grande irrégularité et variabilité des moyennes annuelles, dont les cumuls atteignent 335 mm.

### La Température

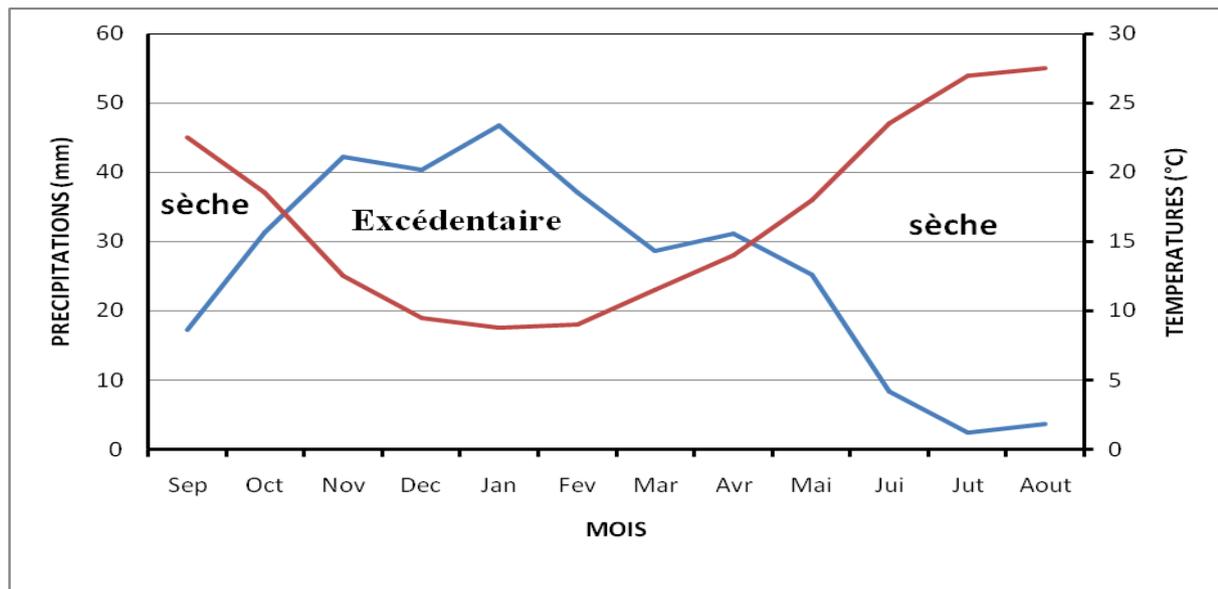
La température moyenne mensuelle et annuelle agit directement sur le climat interaction avec les autres facteurs météorologiques. L'étude des températures mensuelles permet de constater que le mois de Aout est le plus chaud ( $27.5^{\circ}\text{C}$ ) de l'année, alors que le mois de janvier est le plus froid avec  $8.5^{\circ}\text{C}$ . La moyenne annuelle est de  $16.83^{\circ}\text{C}$  (tableau III et Figure 08).

**Tableau III:** Moyennes mensuelles et annuelles des températures

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
T.min [C°]	15	12	7	4	3	3	5	7	10	15	18	19	9,83
T.max [C°]	30	25	18	15	14	15	18	21	26	32	36	36	23,83
T.moy [C°]	22,5	18,5	12,5	9,5	8,5	9	11,5	14	18	23,5	27	27,5	16,83



**Figure 08 :** Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Saïda (1975-2012)



**Figure 09:** Courbe Pluvio-Thermique de la station Ain Soltane (1975-2012)

Pour la station d'Ain Soltane (Figure 09) la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations de Mai à Octobre définissant ainsi la période sèche et déficitaire, tandis que la période humide et excédentaire occupe les autres mois de l'année (de Novembre à Avril).

### ▪ Les indices climatiques

#### ➤ Indices de De Martonne

L'indice d'aridité annuelle de MARTONNE, permet de calculer le degré d'aridité annuelle d'une station quelconque. DE MARTONNE utilise, pour une station donnée, la moyenne annuelle des températures et le total annuel des pluies. Il s'écrit de la manière suivante :

$$I = P / T + 10 \quad \text{où}$$

I : est l'indice d'aridité annuelle.

P : est le total annuel des pluies en mm.

T : est la moyenne thermique annuelle en (°C).

Suivant les valeurs de (I), **De Martonne** a établi la classification suivante :

- ❖ **I<5**: climat hyperaride.
- ❖ **5<I<7,5**: climat désertique.
- ❖ **7,5<I<10**: climat steppique.
- ❖ **10<I<20**: climat semi-aride.
- ❖ **20<I<30**: climat tempère.

Pour la station d'Ain Soltane,  $P = 314.2\text{mm}$  et  $T = 16.83^\circ\text{C}$ .

L'indice de De Martonne  $I = 11.71$

$10 < I < 20$  témoigne d'un climat semi-aride

Le rapport sur l'abaque montre que notre région d'étude est caractérisée par un régime semi-aride à écoulement temporaire.

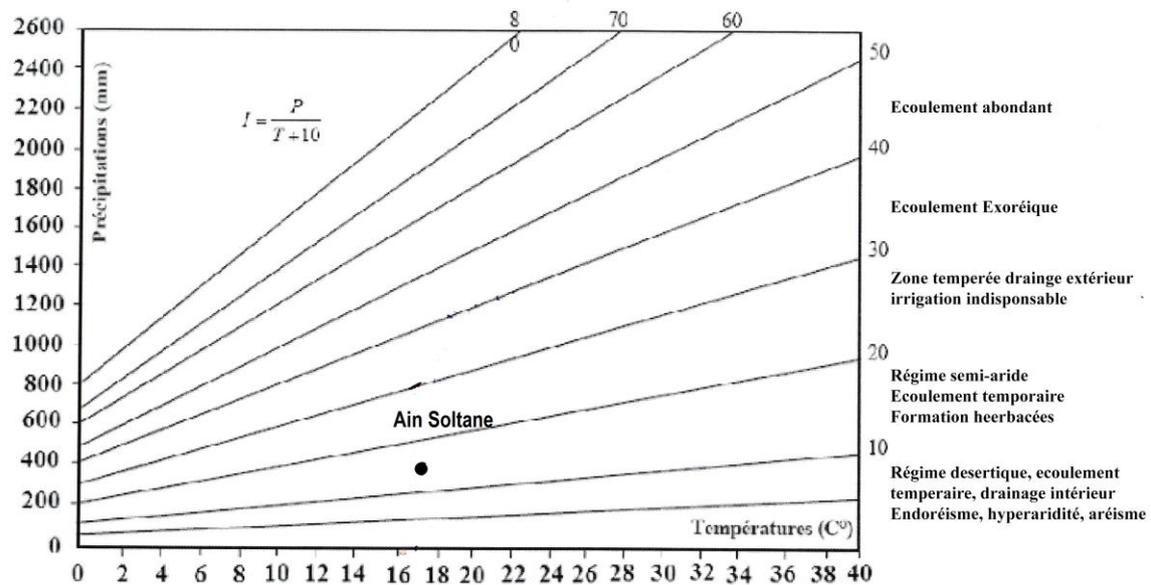


Figure 10: Abaque d'indice d'aridité de De Martonne.

### ➤ Indices d'Emberger

Climagramme d'Emberger : La méthode basée sur les limites des aires occupées par les différentes associations végétales, consiste à reporter sur un climagramme établi par Louis Emberger, en ordonnée la valeur de  $Q_2$  et en abscisse, la moyenne des minima du mois le plus froid en  $^\circ\text{C}$ .

$$Q_2 = \frac{P}{\frac{(M + m)(M - m)}{2}} \times 1000$$

Avec :

$Q_2$  : quotient pluviométrique d'Emberger.

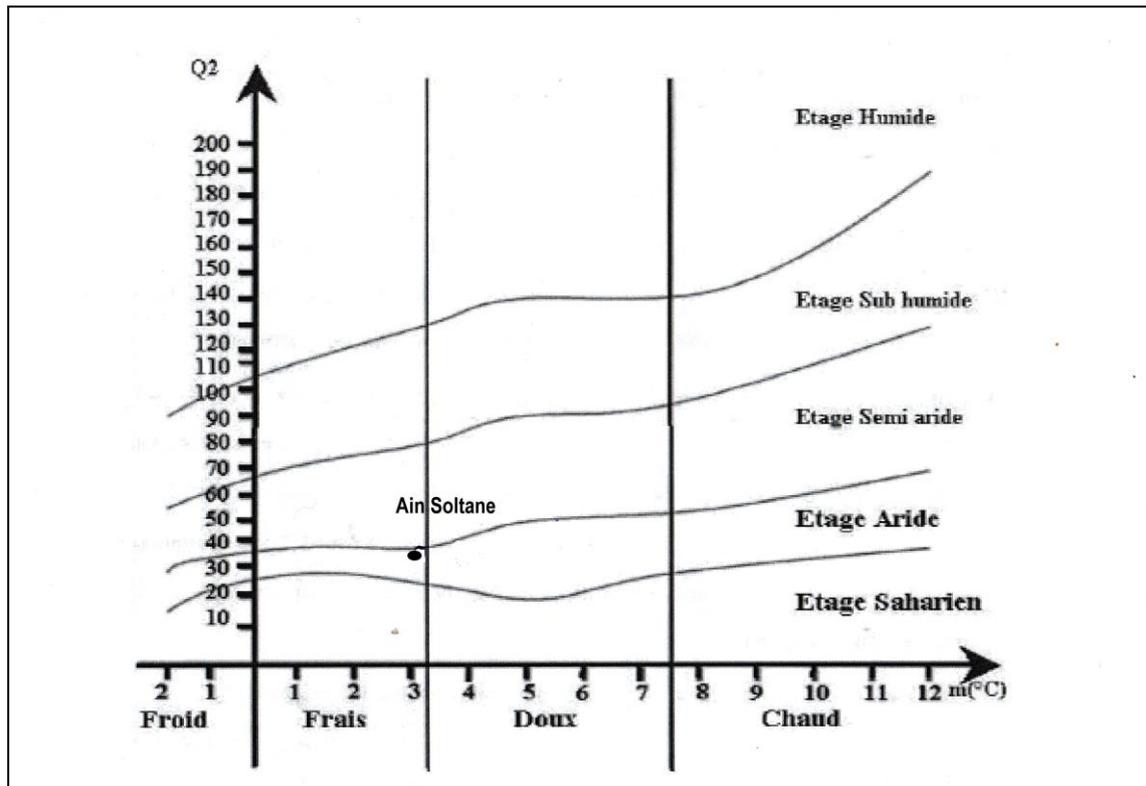
$P$  : précipitations moyennes mensuelles (mm).

$m$  : moyenne des minima du mois le plus froid (degrés/Kelvin).

$M$  : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degrés/Kelvin).

Pour la station d'Ain Soltane  $Q_2 = 32.53$ .

En reportant cette valeur de  $Q_2$  sur le climagramme d'Emberger, nous pouvons constater que notre région d'étude présente un climat aride à hiver Frais.



**Figure 11:** Abaque d'indice d'aridité d'Emberger

D'après les résultats climatiques, on peut dire que les monts de Saïda sont caractérisés par un climat Aride- Semi-aride qui se traduit par un hiver relativement froid et pluvieux et un été très chaud et sec, la saison humide s'étale depuis le mois d'octobre jusqu'à Avril et la saison sèche s'étend sur le restant de l'année.

La lame d'eau précipitée est de 314.2 mm et la température moyenne mesurée à la station d'Ain Soltane est 16.83°C.

### **I.7-Réseau hydrographique**

Quatre principaux cours d'eaux traversent le territoire de la commune d'Ain Soltane. Il s'agit de l'Oued Hasna (Débit1980 =10 l/s) à l'Oued Guernida (Débit 1980 =1.5 l/s) au Nord et l'Oued Tifrit qui aboutit à oued Sidi Mimoun (Débit 1980=3.7 l/s) à l'Est et au Nord Est. D'autre Oueds de moindre importance parcourent l'espace communal : il s'agit d'Oued Chaaba, d'Oued Belguerinat, d'Oued Ain Soltane. Ces Oued sont intermittents et constituent les affluents pour les principaux Oueds, notamment en période de crue.

A titre d'exemple la commune d'Ouled Brahim exploite en partie les eaux d'Oued Tifrit et Sidi-Mimoun.

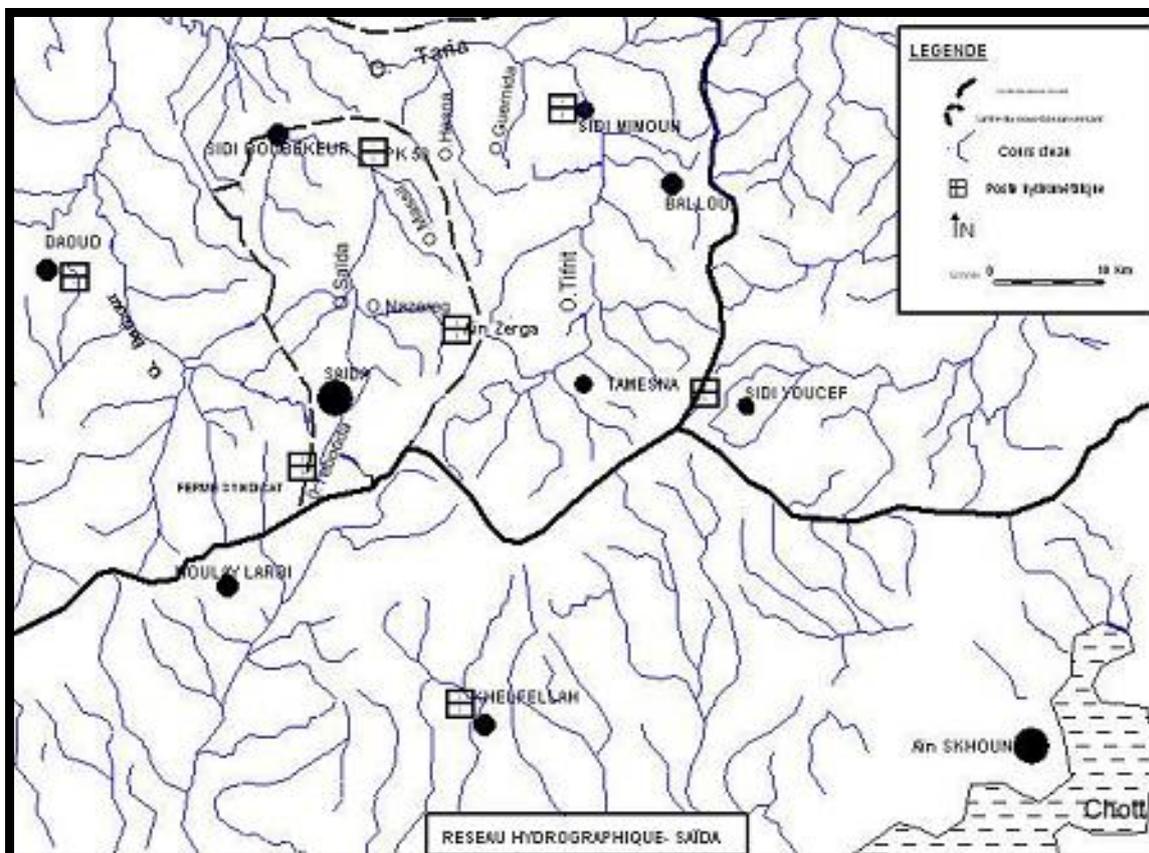
Une forte densité du réseau hydrographique (Figure 12) qui se justifie par l'existence des pentes plus fortes et une formation superficielles moins perméables, accroissant les grandes exportations des terres qui sont liées aux ruissellements.

Les grandes exportations sont liées aux ruissellements exceptionnels qui sont enregistrés en automne où les conditions optimales du ruissellement sont réunis (Pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croute de battance) (Source A.B.H).

Ces ruissellements qui gênent beaucoup de griffes et de rigoles surtout les sols argileux sont à l'origine de dégradations spectaculaires qui marquent souvent le paysage pour plusieurs années.

Cette présentation des différents facteurs Physico-Géographiques permet d'émettre les conclusions suivantes:

- Les facteurs morphométriques sont très favorables à l'écoulement superficiel,
- Les facteurs lithologiques sont favorables à l'infiltration des eaux, la végétation est favorable au ruissellement et par conséquent à l'érosion et au transport solide.



**Figure12:** Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Saïda (A N R H ,1994)

**Conclusion**

D'un point de vue géologique, les monts de Saida sont caractérisés par l'échelle stratigraphique suivante :

- Le Paléozoïque : qui constitue le socle (Schiste, Granite);
- Le Jurassique : une formation carbonatée du Bajo-Bathonien ;
- Le Callovo-Oxfordien : formation détritique (Argile, Grès) ;
- Le Kimméridgien : formation carbonatée à dolomies calcaires ;
- Le Plio-Quaternaire : dépôts continentaux.

## **CHAPITRE II**

# **Réalisation du forage**

## Introduction

Il existe plusieurs techniques de forage d'eau qui ont été développées en fonction du type d'ouvrage de recherche et du contexte géologique.

### Appareil de forage

Le choix du forage par la méthode rotary avec circulation de boue benthonitique est dans le but de rechercher et exploiter l'eau en profondeur.

### Description de la machine

Il existe deux types de procédés de forage rotary :

- Foreuse à table de rotation,
- Foreuse à tête de rotation,

### Foreuse à table de rotation

L'appareil de forage rotatif à entraînement à table de rotation applique le mouvement rotatif au trépan à travers une table de rotation fixe située au pied du mat conjointement avec la barre de commande qui s'appelle (KELLY) ou (tige carré).

### Foreuse à tête de rotation

L'appareil de forage à tête rotative fournit une rotation par une tête rotative qui monte et descend le mât (Figure 13).

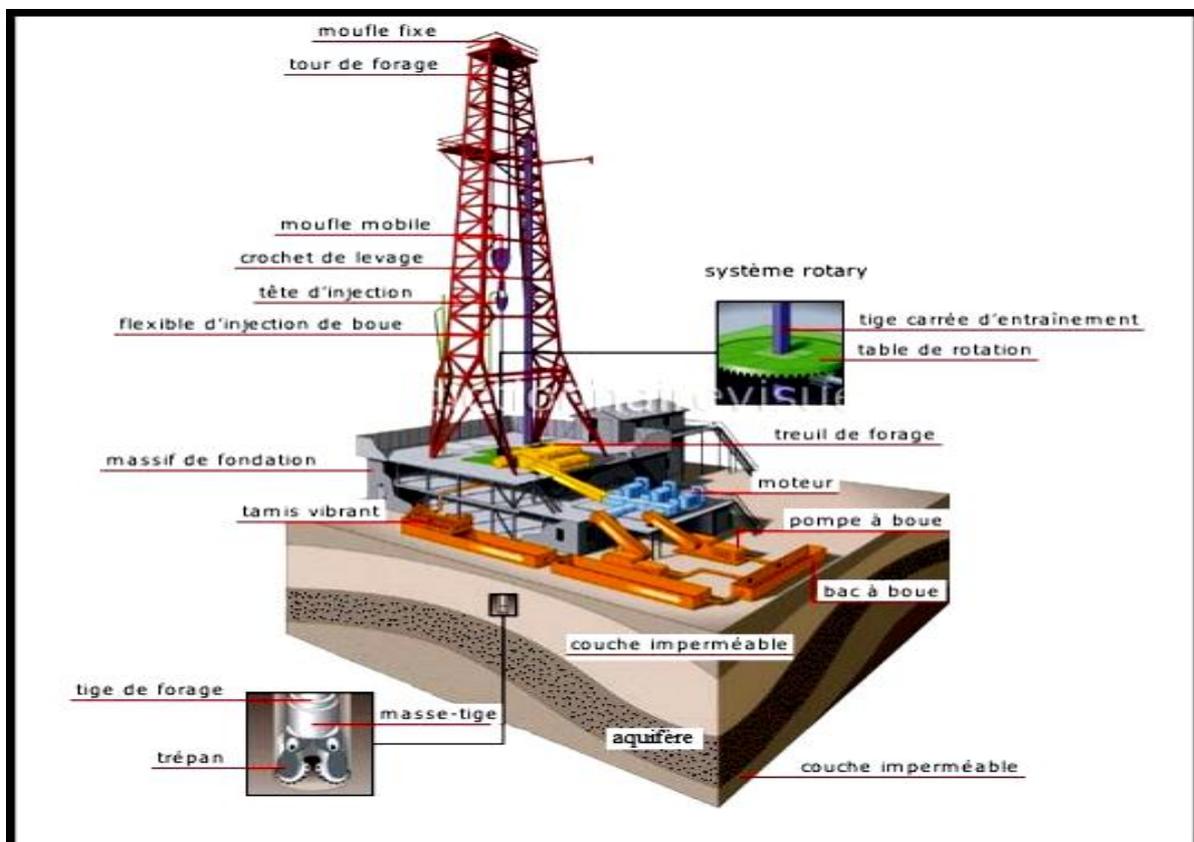


Figure 13 : Schéma d'un forage rotary

## II.1-Phase implantation

L'hydrogéologue est le premier intervenant pour la réalisation d'un forage hydraulique ou pétrolier.

Une investigation et une reconnaissance de terrain du point de vue géologique, hydrogéologique avec les services techniques de l'Agence Nationale des Ressources en Eau (Régionale de Saida) ont été effectuées.

- Prospection géophysique

La Géophysique ou physique de la Terre a pour but d'étudier les propriétés physiques du globe terrestre. Son objectif principal est de déduire ces propriétés à partir de phénomènes physiques qui leur sont associés, par exemple, le champ géomagnétique, la pesanteur, les courants telluriques, etc... Le géologue, par exemple utilise l'observation directe et visuelle, il examine les roches qui affleurent, prélève des échantillons, les étudie et en déduit l'architecture du sous-sol.

À partir des phases de documentation et d'investigation chantier a été installé.

### Implantation du forage

Le point d'impact a été matérialisé comme suit :

Localisation	Coordonnées du point d'eau		
	Lambert	UTM 31	Géographiques
Wilaya : Saida			
Daira : Ouled Brahim	X=268.250	/	X=34 "58'4N
Commune : Ain Soltane	Y=173.050		Y=0"18'8"E
<b>Carte: Saida au 1/50000</b>			

## II.2-Phase installation

### Installation du chantier

#### Organisation du chantier

L'organisation du chantier doit permettre au foreur de visualiser la totalité et donc d'intervenir rapidement en cas de problème.

Les précautions pratiques à prendre sont les suivantes :

- Déterminer un périmètre de sécurité autour du chantier
- Un accès pour les véhicules.
- Un approvisionnement en eau (Citernes)
- Un accès facile pour le remplissage des fosses
- Une cabine géologue pour la rédaction (Bureau)

- Une zone de déblais (Cuttings)
- Un terrain aplani pour faciliter le calage de la machine
- L'emplacement et le creusage des fosses à boue
- Le positionnement du compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas de la poussière de forage
- L'installation de toutes les unités de pompage, de pression hydraulique et des moteurs sur un plan horizontal
- L'outil de mesure de la pression hydraulique doit être protégé du soleil.

L'appareil de forage utilisé est de type (PORTADRILL), c'est un appareil de capacité moyenne au crochet de 80 tonnes qui peut atteindre une profondeur de 300 à 500 mètres (Figure 14).



**Figure 14** : L'appareil de forage rotary sur le chantier

### La garniture du forage et les outils

La garniture du forage est l'ensemble du train de tiges qui tourne et entraîne l'outil par l'intermédiaire de la table de rotation (Figure 15 et 16).



Figure 15 : Les tiges



Figure 16 : Le trépan

### II.3-Construction de la plate forme

Pour maintenir l'appareil de forage droit et éviter le coincement de l'outillage, une plate forme de 30 m<sup>2</sup> de surface a été construite grâce à la pelle mécanique. Par la suite, une dalle de béton armé a été coulée afin de consolider cette plate forme et éviter tout risque d'effondrement du terrain durant le forage du puits jusqu'à sa finalité.

Deux bassins (L'un pour la circulation et l'autre pour la décantation) ont été aménagés pour la préparation de la boue de forage.

Le volume de ces deux bassins doit être égal au moins à trois fois le volume de forage probable.

### II.4-Construction des bassins et rigoles

Deux bassins sont construits : La première fosse (Fosse de décontation) pour faciliter la sédimentation.

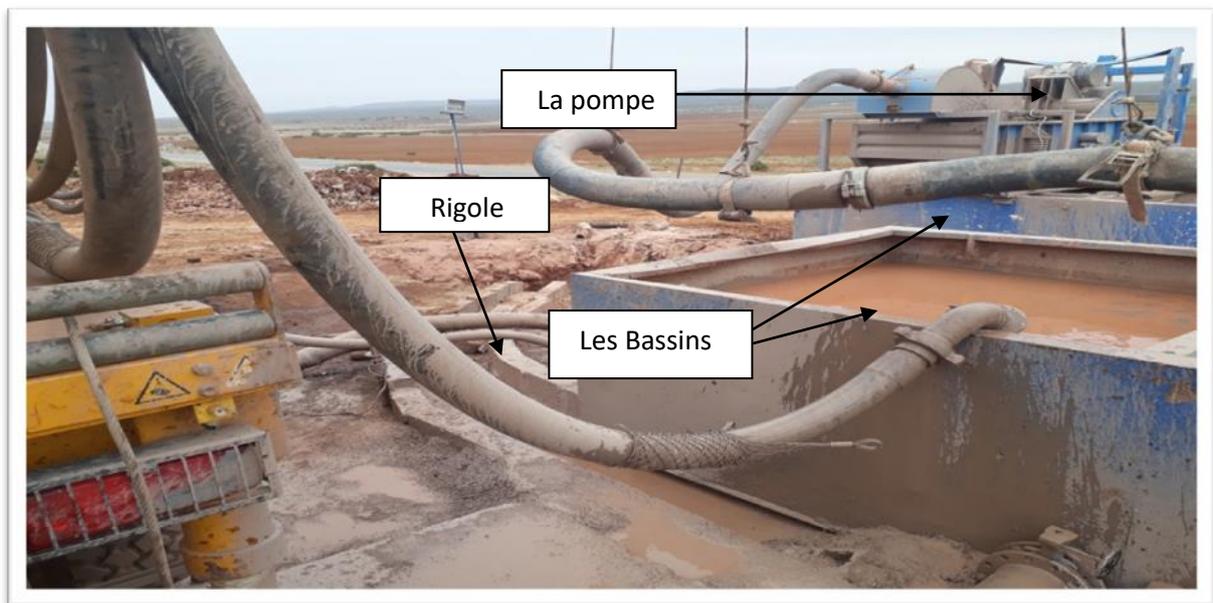
Dans le canal tandis que la seconde fosse (Fosse de pompage) facilite la réserve de la boue à pomper pour être injectée dans le train de tige (Figure17).

Le dimensionnement des fosses à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser : Idéalement, le volume total des fosses doit être égal à 3 fois le volume du forage.

Le volume des fosses de forage ( $v$ ) pour un diamètre ( $d$ ) de 17 pouces et une profondeur de 200 m est :

$$V = \pi \cdot D^2 / 4 \cdot h \quad V = 3,14 \cdot 0,444^2 / 4 \cdot 200 \quad V = 6,9 \text{ m}^3$$

Les fosses et les canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés au cours du forage, la rigole permettra la circulation et le retour de la boue de forage vers les bassins de décantation et lors de la circulation des fluides et la remontée des cuttings elles nous permettent de prendre des échantillons pour une éventuelle lecture et corrélation géologique mètre par mètre entre différentes formations.



**Figure 17** : les bassins et les rigoles (sur chantier)

## II.5-Phase avant puits

### ▪ Tube guide

Il permet l'orientation de l'outil en maintenant les Parois du forage contre les l'effondrement des formations non consolidées et pour avancer avec un diamètre uniforme.

L'installation d'un tube guide 22" ou 20" de diamètre est nécessaire pour la garniture, foré en 24" ou 26" ne pas dépassée 30 m et cimenté au terrain par un mélange à base de ciment, l'espace annulaire est compris entre le tube guide et les parois des trous foré (Figure 18).

Le dosage du laitier de ciment (ciment+eau) est de 50 litre d'eau pour 100 kg de ciment ce qui donne 75 litre de laitier de ciment à 1.5 de densité.



**Figure 18 :** Tube guide 20"

▪ **Mode opératoire**

Il faut calculer avec précision le volume de laitier de ciment à injecter, puis le volume de boue qui sert comme volume de gâchage.

➤ **Calcul du volume de laitier de ciment**

Le volume de laitier de ciment est égal au volume de l'espace annulaire entre le terrain foré en 24" et le tube guide 20".

$$V_1 = h/2 \cdot (d_2^2 - d_1^2) \quad V_1 = 10/2 \cdot (24^2 - 22^2) \quad V_1 = 660 \text{ litres}$$

Pour obtenir 660 litres de laitier de ciment, l'abaque montre qu'il faut environ 551 kg de ciment et 3200 litres d'eau.

$V_1$  : Volume de laitier de ciment en litre

$h$  : Hauteur du forage tubé en mètre

$d_1$  : Diamètres du tube en pouce

$d_2$  : Diamètres du trou en pouce

➤ **Calcul du volume de boue**

$$V_2 = (h \cdot d^2) / 2 \quad V_2 = 10 \cdot 24^2 / 2 \quad V_2 = 2,88 \text{ m}^3$$

$V_2$  : Volume de boue en litres

$h$  : Profondeur du forage tubé en mètres

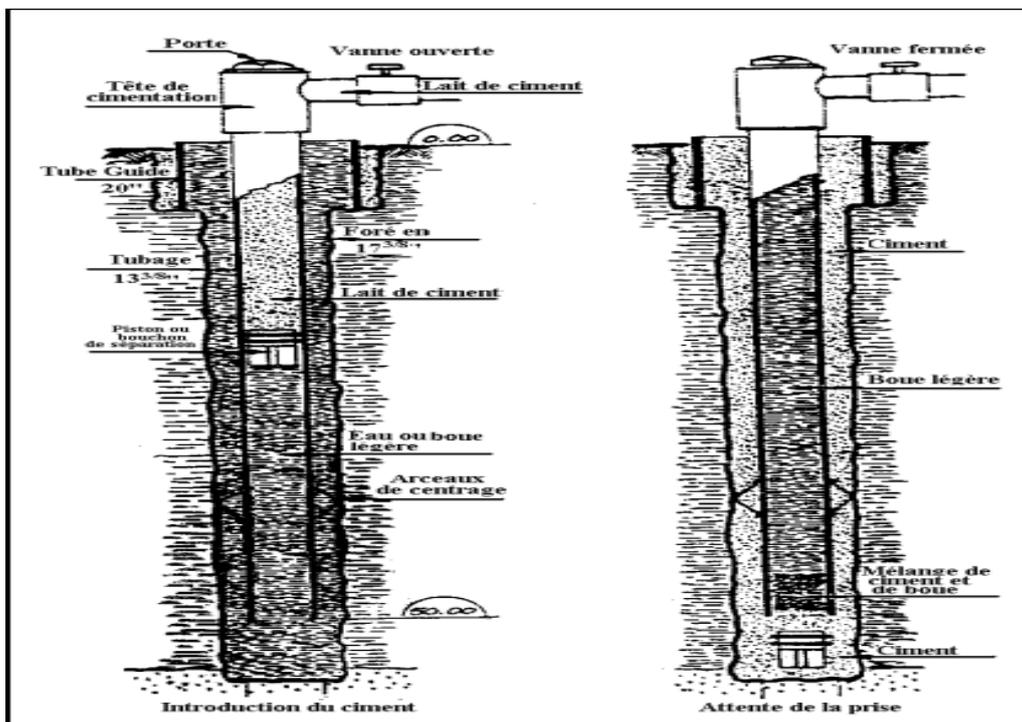
$d$  : Diamètre du tube en pouces

▪ **Procédé de cimentation gravitaire**

Le tube guide de 20" est suspendue librement dans le trou de forage par deux colliers prenant appui sur les parois de ce trou, munie de deux rangées d'arceaux de centrage pour qu'elle tienne bien dans l'axe de forage.

Le tube est coiffé par la tête de cimentation qui est réalisée par deux tubes, le premier par l'injection de ciment, elle-même reliée au bassin dont sera fabriqué le laitier de ciment ; Le deuxième à la pompe d'injection de la boue connectée au bassin à boue (Figure 19).

La quantité du laitier est refoulée par la pompe à travers le ciment et descend dans la colonne de tubage.



**Figure 19** : Cimentation d'une colonne de tubage (Source : Le forage d'eau A. Mabillot)

## II.6-Phase forage

### II.6.1-Reconnaissance

Après 24 heures d'attente nécessaire pour la prise du ciment, on poursuit les travaux. Un outil de diamètre réduit 8" est d'abord utilisé jusqu'à la profondeur 200 m, pour vérifier et préciser le nombre de formations.

Au cours de cette opération, les cuttings (Figure 20) sont remontés à la surface mètre par mètre, sous l'action d'une circulation continue de la boue à l'intérieur des tiges et dans l'espace annulaire. Le dépouillement des cuttings permet d'établir une coupe géologique réelle du forage.

La boue est un mélange colloïdal dont le produit de base est une variété d'argile appelé bentonite de densité 2.6, elle s'hydrate au passage de l'eau et forme un produit visqueux ou une masse gélatineuse.

Le dosage est de 10% de bentonite soit 100 kg de produit par mètre cube d'eau.



**Figure 20 :** Tamis vibrant avec les cuttings (sur chantier)

#### ▪ **Caractéristique physique de la boue**

La boue joue un rôle essentiel dans la mise en œuvre du forage, la remontée des cuttings, la stabilisation des parois et lubrification de l'outil. Les caractéristiques intrinsèques de cette boue (Densité, Viscosité) sont contrôlées régulièrement et modifiées selon les besoins (Allègement ou épaissement de la boue en cours de forage).

- La densité de la boue, influe sur la remontée des cuttings et la stabilisation des parois
- La température de la boue permet de refroidir l'outil de forage
- La viscosité influe sur la lubrification de l'outil

#### **II.6.2-Enregistrement des diagraphies ou carottage électrique**

La diagraphie est une technique géophysique mise en œuvre à l'intérieur d'un forage de faible diamètre.

Elle sert à mesuré en place les paramètres physiques du terrain, avec la meilleure résolution verticale possible (Résistivité, Radioactivité, Vitesse de song) ou des paramètres géométriques tels que le diamètre intérieur du forage et l'épaisseur des dépôts de la boue (Cake).

Elle consiste à descendre une sonde électrique à l'intérieur du forage avec un enregistrement en surface par l'intermédiaire d'un appareillage bien spécifique.

Les enregistrements effectués dans notre forage sont :

- Polarisation Spontanée (P.S)
- Les résistivités électriques : Grandes Normales (G.N) et Petit Normale (P.N)
- Gamma ray
- Diamètreur (Caliper)

### II.6.3-Essai de nappe

Le procédé essai de nappe consiste à injecter l'air comprimé dans le trou, au bout d'un certains temps, nous avons une émulsion d'air au fond qui fait remonter la boue emmagasinée ainsi que l'eau.

L'essai de nappe nous permet de noter les caractéristiques hydrauliques d'un aquifère (Le débit, les niveaux statique et dynamique, ainsi que la qualité chimique de l'eau).

La côte de l'essai a été déterminée en fonction des cuttings et de la lecture des diagraphies. Le premier horizon a été déterminé à la côte 120 m, avant de commencer cette opération, il a fallu élargir par décente l'outil alésage de diamètre 12 pouces. Après alésage nous avons injecté un bouchon constitué de bentonite et argile pour isoler la partie supérieur (en 12<sup>1/4</sup>pouce) de celle, en diamètre 8<sup>1/2</sup> pouce afin de tester uniquement les 120 premier mètres (Figure 21).



**Figure 21:** Les éléments de pompage

#### ▪ Principe de la méthode

On descend une colonne de 120 m de longueur et d'un diamètre de 5 pouces contenant à l'intérieur un tube d'air de 110 m de longueur et de 2 pouces de diamètre.

A l'aide d'un compresseur, on injecte l'air comprimé à une pression de 12 bar (1bar chaque 10 m).

Cette opération dure quelque minute pour que le volume de chasse soit injecté à la surface (Figure 22 et 23). Au cours de cet essai un échantillon d'eau été prélevé pour analyse physico-chimique et des mesures des niveaux statistiques, dynamiques et du débit :

- Débit : 31 l/s
- Niveaux statique : 58 m
- Niveaux dynamique : 83 m



**Figure 22 :** Compresseur



**Figure 23 :** Tube d'eau

#### **II.6.4-Elargissement (Alésage)**

Après avoir testé l'aquifère, un alésage a été effectué de 10 à 195 m, de diamètre 17 pouce et ensuite avec l'outil 19 pouce pour pouvoir équiper le forage.

L'alésage effectué en 19 pouces permettra d'agrandir l'espace annulaire afin que le massif filtrant soit important pour freiner les venues de sable.

#### **Conclusion**

Les techniques de forage on distingue trois catégories les plus utilisés sont classés comme suit :

- Forage par mouvement alternatif (Battage ou Percussion),
- Forage par combinaison des deux mouvements (Rotation-Percussion),
- Forage par rotation (Rotary),

## **Chapitre III**

# **Equipement du forage**

## Introduction

Le forage doit être considéré comme la source essentielle des outils de production de l'eau potable ou industrielle, en cas de défaillance les conséquences sont souvent importantes et coûteuses.

### III.1-L'équipement de forage

Un forage d'eau est destiné à permettre l'extraction de l'eau contenue dans une formation aquifère.

L'équipement comporte toujours une colonne d'exploitation maintenue sur le terrain dans la partie supérieure.

Trois éléments essentiels constituent l'équipement de forage d'exploitation :

- Les tubages plein
- Les crépines (Tubage perforé)
- Le massif filtrant

#### III.1.1-Chambre de pompage

Après l'alésage, le forage est équipé de 0.5 m jusqu' à 200 m par un ensemble de tube pleins et crépine à diamètre 13<sup>3/8</sup> pouces et de 6 mm d'épaisseur.



**Figure 24** : Tubes pleins 13<sup>3/8</sup> (sur chantier)

#### III.1.2-Colonne de captage

Cette colonne est constituée d'un ensemble de tubes pleins et crépines à diamètre 13 pouces jusqu'à 90 m, les crépines sont placées dans les niveaux aquifères.

Le log géologique du forage nous a révélé la possibilité d'exploiter un niveau constitué par les calcaires liasique.

La composition de la colonne captante est présentée ci- après de haut en bas (Figure 25 et 26):

- De 0.5 à 86 m : Tube Plein de diamètre 13 pouces (épaisseur 06 mm)
- De 86 à 116 m : Tube Crépiné TNRS 13 pouces (épaisseur 06 mm) massif de graviers à l'extérieur.
- De 116 à 122 m : Tube Plein TNRS 13 pouces (épaisseur 06 mm) massif de graviers à l'extérieur.
- De 122 à 152 m : Tube Crépiné TNRS 13 pouces (épaisseur 06 mm) massif de graviers à l'extérieur.
- De 152 à 158 m : Tube Plein TNRS 13 pouces (épaisseur 06 mm) massif de graviers à l'extérieur.
- De 158 à 188 m : Tube Crépiné TNRS 13 pouces (épaisseur 06 mm) massif de graviers à l'extérieur.
- De 188 à 200 m : Tube Crépiné TNRS 13 pouces (épaisseur 06 mm) massif de graviers à l'extérieur.



**Figure 25 :** Tube crépiné 13 ” TNRS



**Figure 26 :** Les crépines

### III.2-Massif filtrant (gravier additionnel)

La mise en place d'un massif filtrant permet d'augmenter le slot de crépine, de réduire la vitesse de circulation de l'eau à l'entrée de la crépine et donc l'augmentation du débit de production (Figure 27).

Le gravier filtre doit être assez uniforme, calibré, propre, rond et siliceux de préférence. Il ne doit pas être calcaire, latéritique ni concassé ; Il doit être aussi le plus fin possible sans pour autant passer à travers de la crépine.



**Figure 27 :** Le gravier additionnel

- **Quantité nécessaire de gravier additionnel**

**Volume du gravier**

Le calcul du volume du massif du gravier additionnel s'établit d'après la formule empirique :

$$V = h/2 \cdot (D^2 - d^2) \quad \text{avec :}$$

**V** = Volume de gravier, en litres

**h** = Hauteur de massif de gravier, en mètres

**D** = Diamètre du trou, en pouces

**d** = Diamètre des tubes, en pouces

Le volume du gravier du massif à préparer pour l'opération correspond au volume de l'espace annulaire sur une profondeur de 180 m.

➤ Le volume de la partie tubée 180 m :  $V = 200/2[(17^{1/2})^2 - (13^{3/8})^2] = 12225$  litre.

➤ Le volume théorique est de l'ordre de : 12.25 m<sup>3</sup>

- **Mise en place du gravier additionnel**

Comme le forage est profond, l'injection du gravier s'est faite de bas en haut jusqu'à la cote 180 mètre avec une circulation de boue légère de bas en haut (Figure 28).



**Figure 28 :** Mise en place du gravier additionnel

### III.3-Le développement

Le développement d'un forage est une étape très importante qui permet d'éliminer la plupart des particules fines du terrain et du gravier filtre qui pourraient pénétrer dans le forage ainsi que le reste du cake de boue et d'arranger le terrain autour de la crépine afin d'en augmenter la perméabilité.

Cette opération permet d'augmenter de façon significative le débit du forage initialement estimé. La nappe est en effet progressivement mise en production, l'aquifère est libéré de ses particules fines, la perméabilité et le débit instantané augmentent.

#### Méthode de développement

L'opération du développement a été réalisée par le procédé « air lift » comme suit :

- Développement à l'air lift au compresseur.
- Traitement à l'hexamétaphosphate.
- Développement à l'air lift.
- Traitement à l'hexamétaphosphate.
- Pompage jusqu'à obtention d'une eau claire.

#### III.3.1-Développement à l'Air lift

Le développement pneumatique (L'air lift) est le plus efficace et le plus répandu. L'avantage est que le matériel de pompage ne subit pas de détérioration. Il s'agit de faire subir au captage des comprains assez fortes dans toutes les directions, pression et dépression en introduisant d'important volume d'air et de mettre en production l'ouvrage par " air lift ".

L'opération consiste à alterner les phases de pompage à l'air lift et les phases de soufflage direct d'air au niveau des crépines.

Pratiquement, cela consiste à introduire deux tubes dans le forage :

- Un tube de diamètre 5 pouces, appelé tube d'eau, par lequel l'eau pompée remontera à la surface.
- Un tube de diamètre 2 pouces, appelé tube d'air qui est introduit dans le tube d'eau et par lequel l'air comprimé est injecté.

A l'aide d'un compresseur on injecte de l'air comprimé jusqu'à ce que le volume de chasse soit projeté à la surface. On mesure le débit et on prend un échantillon pour l'analyse chimique, de même qu'on mesure le niveau dynamique.

- Niveau statique : 58 m
- Niveau dynamique : 83 m
- Débit : 31 l/s

### III.3.2-Traitement à l'hexamétaphosphate

Ce traitement chimique comprendra l'injection de deux phases d'hexamétaphosphate de sodium de 100 kilogramme chacune avec attente d'effet de 24 heures max, puis développer le forage entre les phases jusqu'à eau claire.

L'objectif du traitement chimique du forage est d'améliorer les capacités d'exploitation de l'ouvrage par un décolmatage, des formations et un nettoyage des crépines.

Le traitement chimique sera par un développement à l'air lift.

Le 28/11/2019

- premier traitement l'hexamétaphosphate 100 kilogramme de produit.
- pompage air-lift pendant un total de 24 heures.

### III.3.3-Développement par pompage

Une pompe immergée a été placée à la cote 178 m pour pouvoir dégager les sables qui ont pénétré dans le forage ainsi que les éléments fins restés au voisinage des crépines.

Le principe consiste à pomper à différents débits jusqu'à obtention d'une eau claire.

### Conclusion

Le forage de Ain Soltane a été réalisé dans le but d'identifier les potentialités de l'aquifère du lias (Jurassique inférieur). Cet aquifère a été recoupé par le forage de profondeur 200 m. L'équipement du forage a pu être effectué dans de très bonnes conditions et grâce à la lecture de l'enregistrement de la diagraphie en corrélation avec les cuttings. Le forage Ain Soltane nécessite des tubes crépines du type TNRS.

## **CHAPITRE IV**

# **Exploitation du forage**

## Introduction

Les forages visant à prélever de l'eau, selon leur importance peuvent induire un cône de rabattement de nappe, voire une baisse de la nappe et du niveau piézométrique.

### IV.1-Essai de pompage

#### Définition et but

Les pompages d'essai sont la base de toute étude de nappe. Ils sont effectués au moyen d'une pompe immergée électrique, facile à mettre en œuvre et régulière quant au régime.

Un pompage d'essai doit répondre à un double objectif :

- D'une part, la détermination des caractéristiques propres au forage, dit essai par palier (Essais de puits)
- D'autre part, la détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe : Essai de nappe (Longue durée). C'est un facteur très important pour la gestion de la ressource.

#### ➤ Caractéristique de la pompe utilisée

- Débit min : 12 l/s
- Débit max : 35 l/s
- Profondeur min : 50 m
- Profondeur max : 300 m

#### IV.1.1-Pompage d'essai par paliers

Les essais de pompages par paliers à débit croissant, ont pour but l'évaluation des paramètres hydrauliques de l'ouvrage (Pertes de charge, débit critique et le débit spécifique relatif).

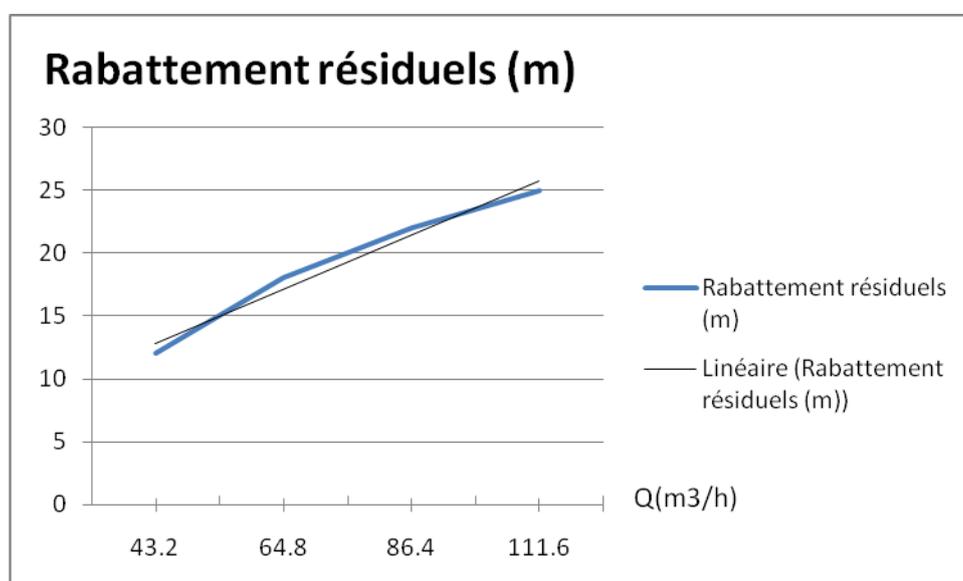
Le pompage a été réalisé le 25/12/2019, il comporte 04 palier de 12 heures chacun, séparés par des remontées de durée équivalente. Les résultats enregistrés lors de cet essai sont résumés dans le tableau IV (Le niveau statique mesuré est égale à 58 m).

**Tableau IV:** Essai de débit par palier du forage d'Ain Soltane

Palier	Débits pompés (m <sup>3</sup> /h)	Rabattement résiduels (m)	Débit spécifiques (m <sup>3</sup> /h/m)	Rabattement spécifique (m/h/m)
01	43.2	12	3.6	3.3
02	64.8	18	1	5
03	86.4	22	1.09	20.18
04	111.6	25	1.24	6.94

➤ **Droite débit/rabattement (Débit Critique)**

La droite  $S = f(Q)$  qui correspond le débit critique de l'ouvrage n'ayant pas été atteint (Figure 29).



**Figure 29 :** Droite de rabattement en fonction de débit  $S = f(Q)$

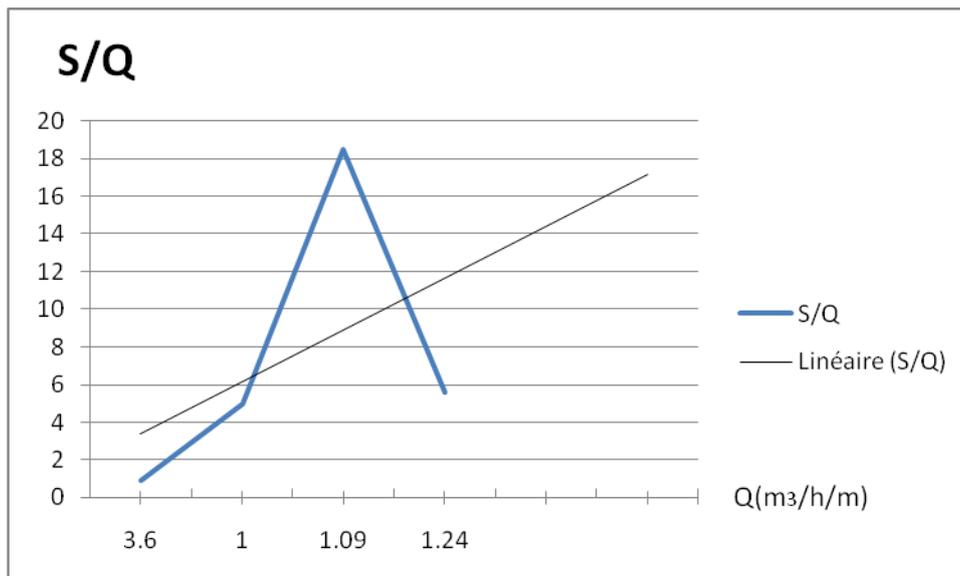
➤ **Droite débit/rabattement spécifique (Perte de charge)**

Le rabattement spécifique ( $S/Q$ ) est le rabattement mesuré dans le puits rapporté au débit pompé dans les conditions d'essais de puits définies (Paliers de débit). Il est exprimé en m/m<sup>3</sup>/h.

La droite ( $S/Q$ ) (Figure 30) permet de déterminer les coefficients B et C de l'équation :

$$S=BQ+CQ^2.$$

$$S/Q= B+CQ.$$



**Figure 30 :** Droite représentative rabattement spécifique en fonction de débit

Le coefficient (B) est obtenu par l'intersection de la droite représentative avec l'axe des rabattements spécifiques.

$$B = 0.46 \text{ h/m}^2$$

Le coefficient (B) représente les pertes de charge linéaires.

Le coefficient (C) est égal à la pente de la droite représentative.

$$C = \text{tg } \alpha = \frac{a}{b} = \frac{6}{68} = 0.088$$

$$C = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ h}^2/\text{m}^5$$

Le coefficient C représente les pertes de charge quadratiques. Les pertes de charge quadratiques générées par l'équipement du forage (Crépine, Massif de gravier) sont faibles.

L'équation de la droite représentative est de forme :

$$S = 9 \cdot 10^{-2} Q + 1.5 \cdot 10^{-3} Q^2$$

Par cette expression on calcule les rabattements correspondants à chaque palier de débit.

**Tableau V:** Calcul des pertes de charge

Palier	1	2	3	4
Débit (m <sup>3</sup> /h)	43.2	64.8	86.4	111.6
Rabattement observé (m)	12	18	22	25
Rabattement calculé (m)	13	22	26	31
Pertes de charge linéaires BQ(m)	19.87	29.8	39.7	51.33
Pertes de charge quadratiques CQ2 (m)	1.5 10 <sup>-3</sup>	1.5 10 <sup>-3</sup>	1.5 10 <sup>-3</sup>	1.5 10 <sup>-3</sup>

#### IV.1.2-Essai de pompage de longue durée

Le pompage d'essai de longue durée, est exécuté par un seul palier à débit constant débit (31.l/s) durant 72 heures. La remontée des niveaux d'eau est observée pendant une heure (tableau VI).

Le but principale de ce pompage ; est de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère, la transmissivité (T) et le coefficient d'emmagasinement (S).

**Tableau VI :** Donnée de la remontée

Temps(h)	ND (m)	Rabattement
24	83	31
48	83	31
72	83	31

Les paramètres ont été calculés par la méthode graphique d'approximation logarithmique de Jacob dont l'équation est la suivante :

$$\Delta s = 0.183 Q \frac{\log 2025 Tt}{r^2 S}$$

**Δs** : Abaissement de niveau par cycle logarithmique de temps.

**Q** : Le débit de pompage en (m<sup>3</sup>/h).

**t** : Le premier temps de pompage en (s).

**T** : La transmissivité (m<sup>2</sup>/s).

**r** : Rayon d'action.

**S** : Coefficient d'emmagasinement.

Dans l'absence d'un piézomètre, le coefficient d'emmagasinement n'a pas été évalué, et le seul paramètre à évaluer est la transmissivité.

$$T = 0.183 Q/\Delta s$$

Pour cela, sur un papier semi-log, nous avons porté le rabattement (s) en ordonnées et le logarithme du temps en abscisse.

**La courbe de la descente:** (Figure 30)

$$\Delta s = 50 \text{ m}$$

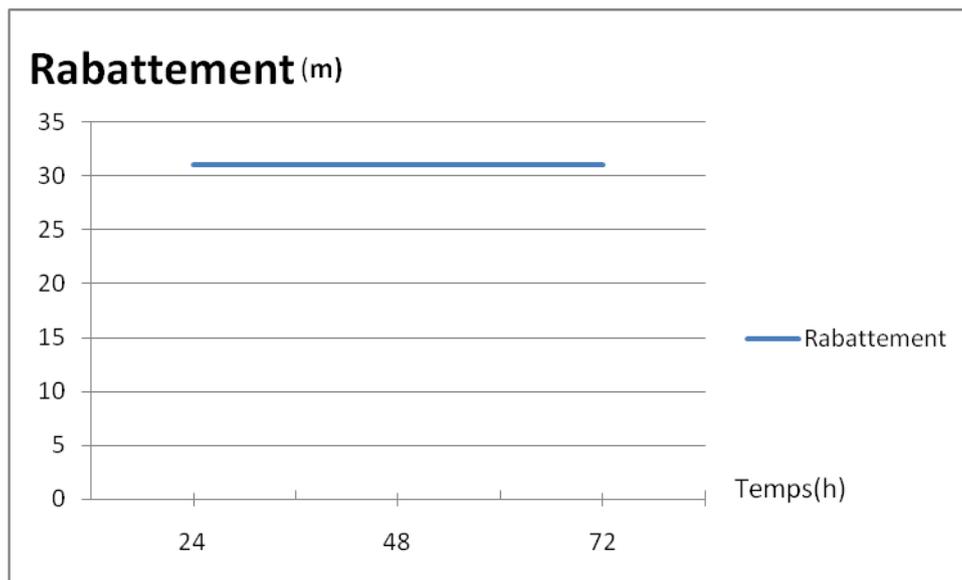
$$T = 0,183Q/\Delta s$$

**La courbe de la remontée** (Figure 31)

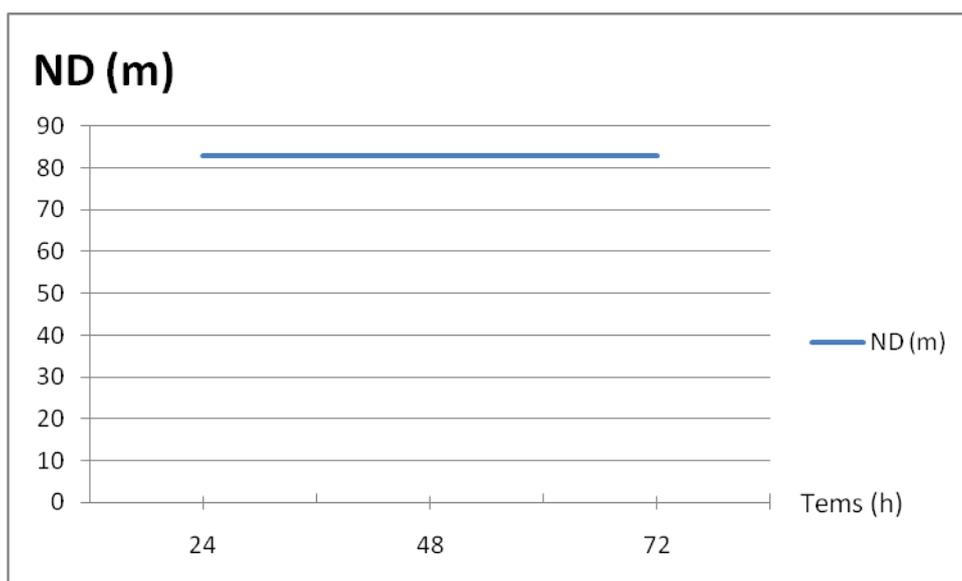
$$\Delta s = 25 \text{ m}$$

$$T = 0,183Q/\Delta s$$

La transmissivité des calcaires liasiques est comprise entre :  $10^{-2}$  et  $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , on peut noter que le niveau aquifère des calcaires liasiques présente une karstification assez développée en profondeur. C.D.T.N. (1994)



**Figure 31 :** La courbe de la descente



**Figure 32** : La courbe de la remontée

### Interpréter les deux figures

Les résultats des deux courbes (Figure 31 et 32) après le pompage de longue durée. Le rabattement et le niveau dynamique constant. donc on peut dire qu'il n'y a pas de perte de charge dans un forage.

### IV.2-Analyse chimique

Une analyse physico-chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique ANRH de Saida qui ont porté sur :

- Le dosage des cations : Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), Magnésium ( $\text{Mg}^{+}$ ), Potassium ( $\text{k}^{+}$ ) et Sodium ( $\text{Na}^{+}$ ).
- Le dosage des anions : Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^{-}$ ), Sulfates ( $\text{SO}_4^{-}$ ), Chlorures (Cl) et Nitrates ( $\text{NO}_3^{-}$ ).
- La mesure des paramètres suivants : La conductivité électrique, le résidu sec et PH.

Pour déterminer la qualité chimique de l'eau nous avons pris un échantillon à analyser en mois de décembre 2019.

Les résultats de l'analyse est synthétisée sur le tableau VII, il sont également représentés graphiquement par les diagrammes de « Schoeller – Berkloff » et de « Piper »

**Tableau VII : Les résultats des analyses**

N°	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sub>2+</sub>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σr <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σr <sup>-</sup>	PH	Th	Cond μs/cm	R.S mg/l
Mg/l	45.40	42.28	18	1	106.6	17.75	74.9	260.3	16.61	369.5	7.82	340	553	395.9
Méq/l	2.26	3.47	0.78	0.02	6.53	0.5	1.56	4.26	0.26	6.58	/	/	/	/

**IV.2.1-Type de faciès de l'eau**

Pour déterminer la formule caractéristique de l'eau ainsi que le faciès, nous avons vérifié l'électro-neutralité de cette eau.

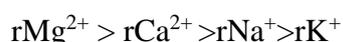
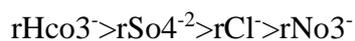
D'après le tableau (VII) nous distinguons que :

- La balance ionique de cette eau  $e\% = \frac{\Sigma r^+ - \Sigma r^-}{\Sigma r^+ + \Sigma r^-} \times 100$

$e\% = 0.38 \%$

$E\% < 2$  donc : bonne **Analyse**

- La formule caractéristique de cette eau est la suivant :



Eau bicarbonatée magnésienne

- Le PH de l'eau du forage est 7.82 signifiant une eau basique

La conductivité électrique est égale à 553μs/cm (Seuil bas de la référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine).

- Par rapport à la conductivité, on peut estimer la minéralisation :

Cond. réelle μs/cm	Classe de la Cond. μs/cm	Facteur min.	Miniralisation mg/l = Cond × 0.715
<b>533</b>	<b>333 &lt;&lt; 833</b>	<b>0.715</b>	<b>381.10</b>

Nous remarquons que la valeur de la minéralisation est égale à 381.10 mg/l caractérisant une eau minérale de **Bonne qualité chimique**.

IV.2.2-Présentation graphique des analyses

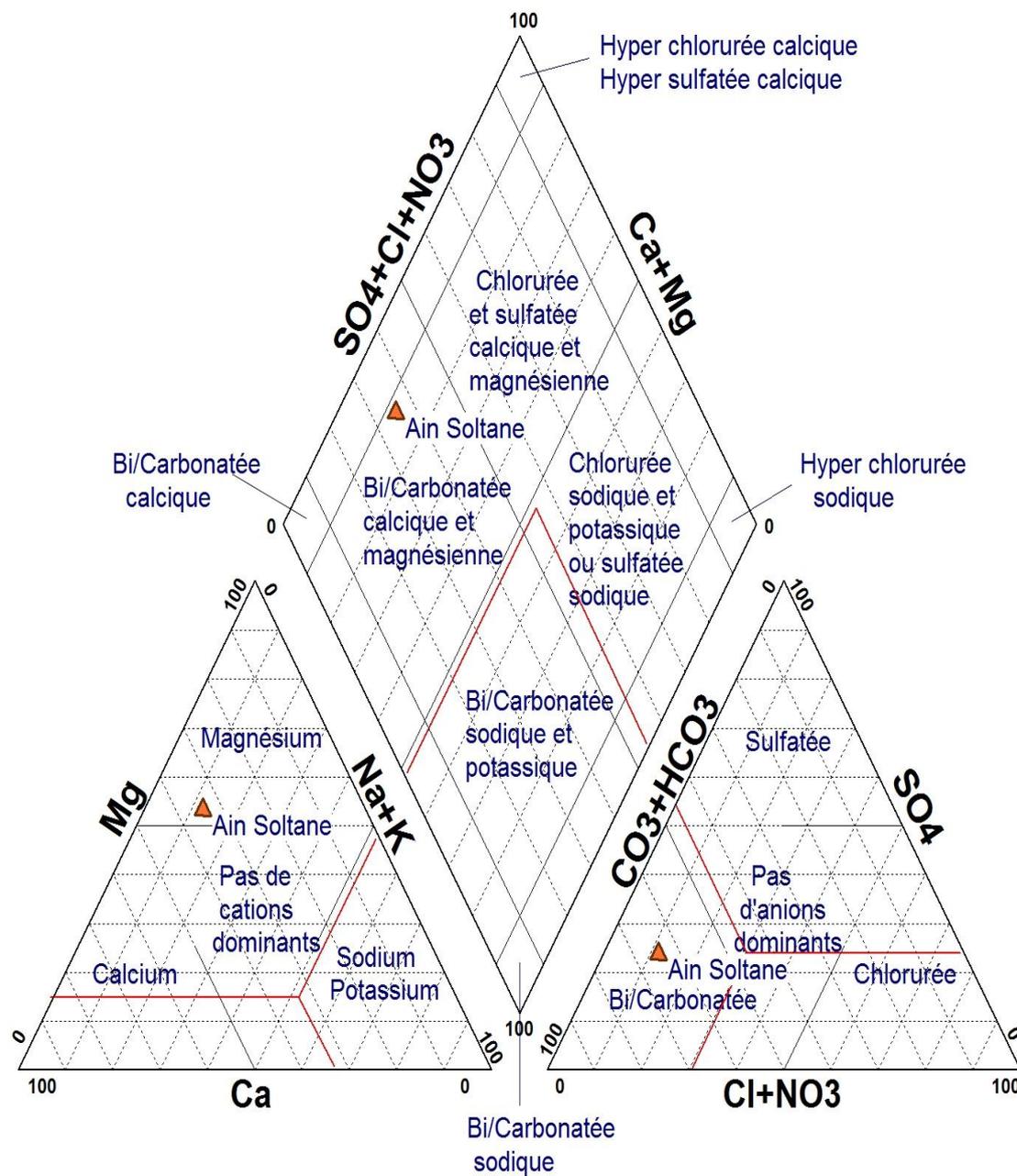


Figure 33 : Diagramme de Piper d'un forage d'eau d'Ain Soltane

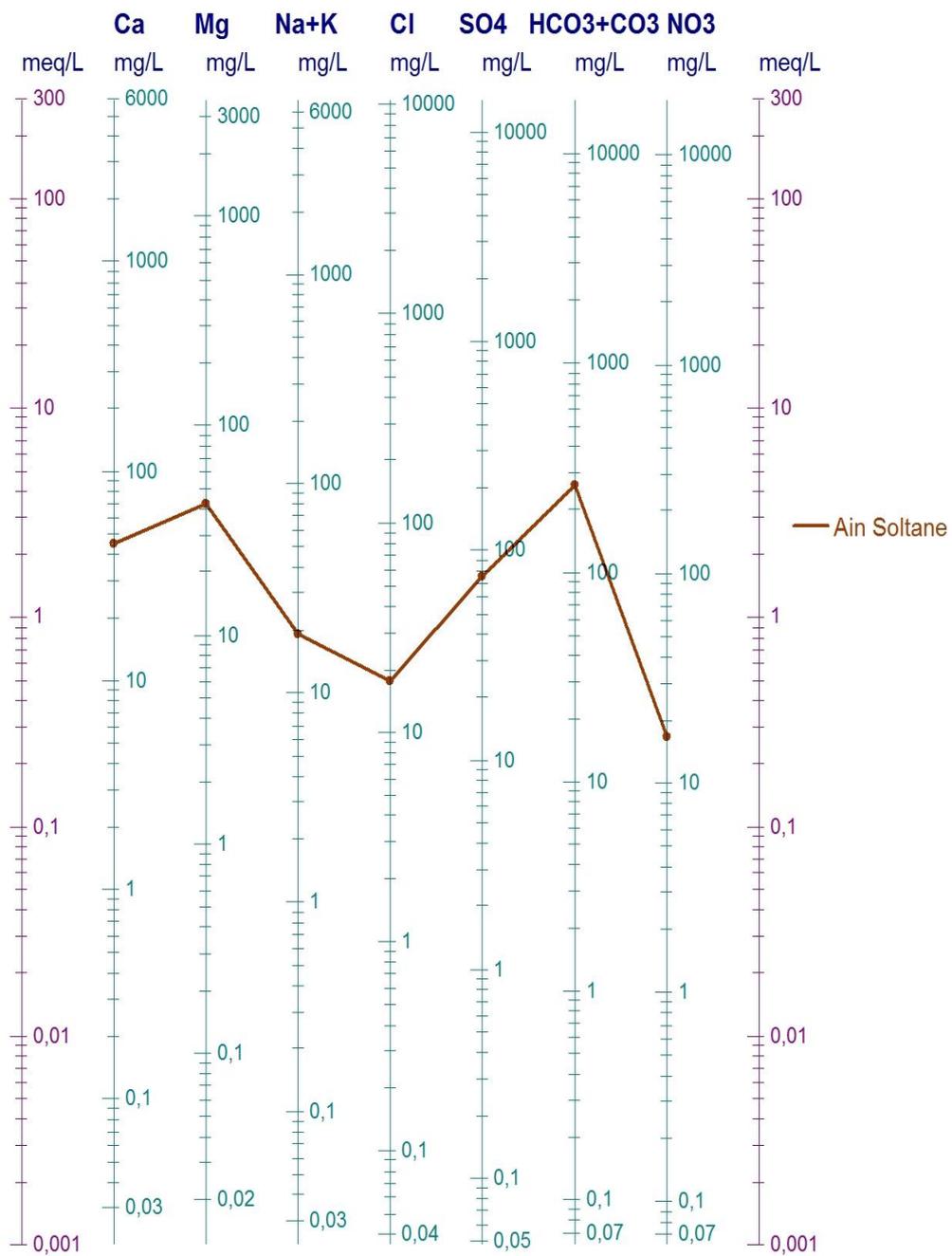


Figure 34 : Diagramme de « Schoeller – Berkaloff » d'un forage d'eau d'Ain Soltane

**Conclusion**

Les classifications de l'eau d'après Piper, Le diagramme de Piper montre un faciès principal : Bicarbonaté magnésien Diagramme de potabilité de l'eau.

C'est un diagramme très important pour déterminer la potabilité de l'eau, ce diagramme montre une eau de qualité chimique bonne et signifiant une eau basique.

## **CHAPITRE V**

# **Les périmètres de protection**

## **Introduction**

Dans le cadre d'un forage AEP pour lequel la ressource ne peut être traitée avant distribution la plus grande attention sera prise pour éviter toute les pollutions par surface, et la protéger contre la contamination.

### **V.1-Vulnérabilité à la pollution**

La vulnérabilité caractérise l'aptitude d'un point d'eau à être atteint par une pollution quelconque. Elle est fonction des facteurs du milieu qui déterminent les grands types de circulation d'eau et de l'occupation du sol.

Ainsi, la vulnérabilité se définit comme la sensibilité d'un territoire à un aléa.

L'étude de vulnérabilité aux pollutions constitue une base d'information essentielle pour la gestion de l'aquifère et par conséquent la mise en place des mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles.

C'est à cet effet que les hydrogéologues ont inventé le système de périmètre de protection pour protéger les points de prélèvement ou champs de captage (Forage, puits, sources).

D'après une étude par l'ANRH réalisée, notre zone d'étude se situe dans une zone moyennement vulnérable.

### **V.2 la Pollution**

On dit qu'une eau souterraine est polluée, lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la structure naturelle des terrains où elle a séjournée, et en particulier, lorsque les concentrations des éléments dissous ou en suspensions dépassent les concentrations maximales admissibles fixée par L'OMS.

Durant ces dernières années, la nappe alluviale d'Ain Soltane a été affectée par trois types de pollution :

1. La pollution agricole : l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et des pesticides
2. La pollution industrielle : elle a été définie par les rejets d'eaux industrielles non traitées.
3. La pollution d'origine domestique et urbaine : ce sont les rejets d'eaux usées domestique et municipaux sans traitement.

Le principal risque de pollution de la nappe a été identifié par les nitrates. La présence de nitrates est produite par l'infiltration des eaux chargées en azote apporté en excès aux cultures maraichères et aux agrumes qui sont les principaux produits utilisés dans la région.

Néanmoins les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines prélevées durant les essais de pompage indiquent des valeurs inférieures à 50 mg/l, donc les concentrations sont admissibles. D'autre part, il est à signaler l'absence totale d'activités industrielles dans notre zone d'étude, cela est un paramètre avantageux pour la préservation de la nappe.

### **V.3 Méthode utilisée pour le dimensionnement des zones de protection**

#### **V.3.1 Critères de détermination des zones de protection**

Les méthodes analytiques utilisent les mêmes critères retenus par la réglementation internationale actuelle, pour délimiter les zones de protection. Les valeurs attribuées aux critères représentent des limites au-dessus ou au-dessous desquelles les critères considérés fournissent le degré de protection souhaité.

Les critères pris en compte sont :

- Pouvoir protecteur ou épurateur du recouvrement ;
- Rabattement ;
- Temps de transfert ;
- Distance ;
- Limites d'écoulement ;

Le choix de l'un des critères dépendra à la fois des considérations techniques et des considérations socio-économiques et réglementaires.

Le but à atteindre est :

➤ Soit la délimitation d'une zone à travers laquelle la concentration du polluant sera atténuée avant d'atteindre le captage, dans ce cas, on choisit le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée selon Andrée L-B et Jean-Claude R, 1989

➤ Soit la délimitation d'une zone permettant un temps d'intervention suffisant en cas de pollution, pour que le captage ne soit pas contaminé. Dans ce cas, le critère choisi sera le temps de transfert.

Dans le cas d'une pollution qui se produit à la surface du sol, le temps de transfert inclut le temps de migration verticale dans la zone non saturée puis le temps de migration horizontale dans la nappe vers le captage.

On choisit le rabattement, dans le cas de l'aménagement d'une zone de protection autour d'un champ de captage sur une grande partie de la zone d'appel.

➤ Soit la détermination d'un rayon ou d'une distance mesurée entre le point de pompage et un point concerné, dans ce cas le critère choisi sera la distance.

- Soit la protection de toute l'aire d'alimentation du captage, on utilise dans ce cas les limites d'écoulement.

#### **V.4. Temps de transfert**

Le temps de transfert est un critère basé sur le temps qu'il faut à un polluant pour se déplacer du point d'entrée dans la nappe jusqu'à l'arrivée au captage, il faut également tenir compte du transfert en zone non saturée. Ce critère inclut plus de processus physique que les autres critères, il comprend en effet la convection, la dispersion et l'interaction solid-soluté.

La convection est le facteur prédominant pour les champs captant où les vitesses d'écoulement sont élevées, dans les nappes à vitesses faibles, la dispersion et les particules de substances polluantes n'arrivent pas simultanément au point d'eau.

##### **V.4.1 Détermination des temps de transfert (par calcul)**

Différentes méthodes consistent à calculer la distance correspondante à un temps de transfert, dans notre pays, ce temps choisi est égal à 50 jours (Nassah H-Omdi F.E ; 2010-2011). Comme critère de délimitation du périmètre de protection rapprochée ; c'est le temps minimal nécessaire à l'élimination d'une pollution bactériologique, et permettant un délai d'intervention suffisant en cas de pollution chimique accidentelle.

Le temps de transfert est déterminé soit par la technique de HOFMANN et LILLICH, Technique de WYSSLING ou bien celle d'EPA soit par des abaques (Mis au point par SAUTY & THIERY (1987).

##### **V.4.2 Méthodes de calcul de l'isochrone 50 j**

Concernant la détermination de l'isochrone 50 jours, on a procédé de la manière suivante :

Calcul de la vitesse de transfert vertical par les différentes méthodes (Formule de cylindre, Wyssling, etc...) à l'aide d'un programme spécifique. Le choix de l'une ou l'autre de ces méthodes se fait selon le contexte étudié.

###### **V.4.2.1 Sauty et Thiery**

La méthode SAUTY et THIERY présente un moyen pratique pour la détermination des courbes d'égal temps de transfert. Dans le cas d'une nappe en équilibre hydrostatique (Avant pompage) ainsi que pour une nappe en écoulement uniforme dans un aquifère (Soumis à un pompage à un débit constant).



## **V.5 Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines**

Un périmètre de protection est un espace délimité physiquement (Clôture, cercle de pierres...) afin de sauvegarder et protéger l'accès à un espace qui présente un intérêt esthétique ou patrimonial, ou bien une dangerosité certaine.

Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines sont définis comme un outil idéal pour aviser et réduire toute cause de pollution susceptible de nuire à la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable.

La mise en place des périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation et la surveillance des prescriptions associées, améliore la sécurité sanitaire en réduisant le risque de pollution microbienne ou toxique massive et brutale en contrôlant les activités susceptibles de générer des pollutions accidentelles pouvant avoir un impact sur la qualité de l'eau.

La notion des périmètres de protection est largement traitée dans la littérature internationale. Au niveau national, l'article 38 de la loi n° 05-12 du 28 jourada Etania 1426 correspondant au 04 aout 2005, susvisé, et selon les nécessités de prévention des risques de pollution, la protection qualitative des ressources en eau est assurée par trois types de protection des ressources en eau (Forages, champs captant, barrages, sources, etc...) La zone de protection immédiate ; La zone de protection rapprochée et la zone de protection éloignée

## **V.6. Les différents types de périmètres de protection**

### **V.6.1 Evolution de la législation**

#### **Article 1**

En application des dispositions de l'article 40 de loi n 05-12 du 28 jourada ethania 1426 correspondant au 4 aout 2005, le présent décrit a pour objet de fixer les conditions des périmètres de protections qualitatives des ressources en eau, la nomenclature des périmètres de protection requise pour chaque type d'ouvrage ou de stockage d'eau, ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative (J.O. 30 rajab 1426, 4 septembre 2005).

#### **Article 2**

Conformément à la disposition de l'article précédent, et selon les nécessités de prévention des risques de pollution, la protection qualitative des ressources en eau est assurée par trois types de périmètres de protection (J.O. 30 rajab 1426, 4 septembre 2005).

**Périmètre de protection immédiate (P.P.I)**

Le périmètre de protection immédiate qui a pour but d'empêcher l'introduction directe de substances polluantes dans l'eau.

**Périmètre de protection rapprochée (P.P.R)**

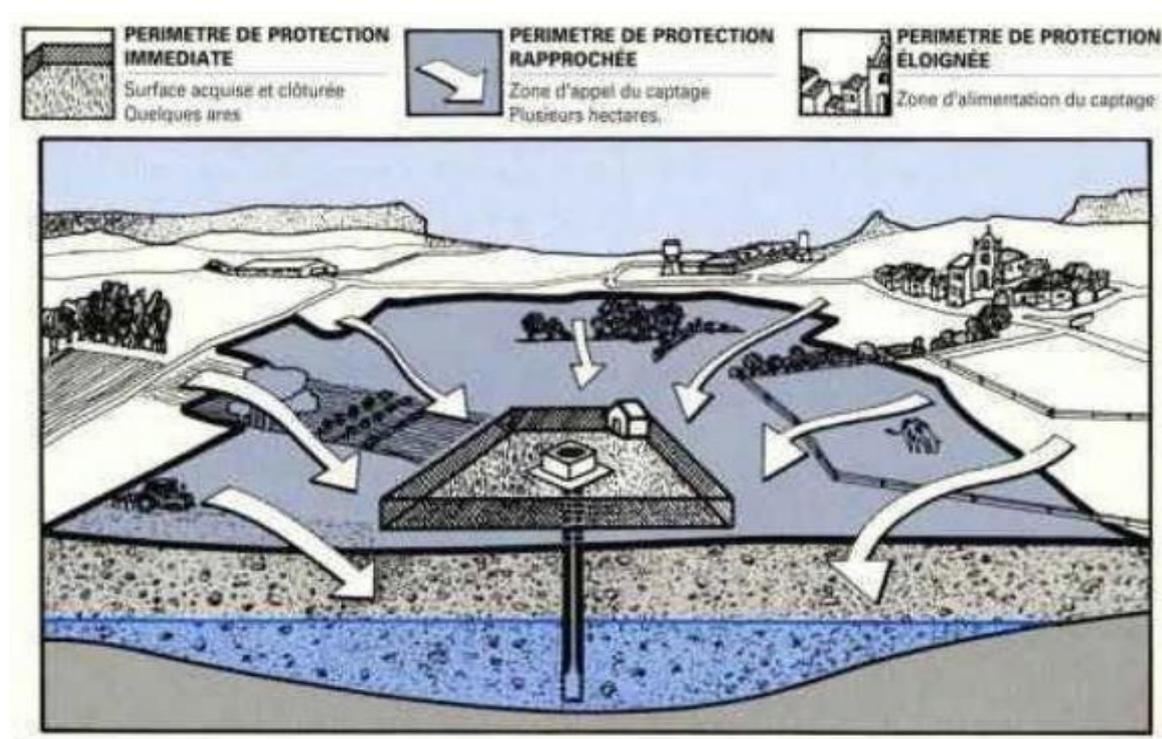
Le périmètre de protection rapprochée qui a pour but d'empêcher la dégradation de la qualité de l'eau par migration souterraine ou superficielle de substances dangereuses, toxiques ou indésirables à partir des lieux d'émission des pollution, son étendue le lieu d'émission de la pollution et le point de prélèvement de la ressource en eau.

**Périmètre de protection éloignée (P.P.E)**

Le périmètre de protection éloignée qui a pour but de prolonger le périmètre de protection rapprochée pour renforcer la protection contre les risques de pollution chroniques, diffuses ou accidentelles, son étendue périmètre de protection rapproché à la limite du bassin versant pour les eaux superficielles ou du bassin d'alimentation pour les nappes d'eau souterraines.

La (Figure 36) ci-dessous représente les périmètres de protection :

1. Périmètre de protection immédiate ;
2. Périmètre de protection rapprochée ;
3. Périmètre de protection éloignée ;



**Figure 36:** Délimitation des périmètres de protection de captage d'eau. (Internet)

**Article 3**

La récupération suffisante des couts d'intervention publique liés à la protection quantitative et qualitative des ressources en eau et des milieux aquatiques, à travers des systèmes de redevances d'économie d'eau et de protection de sa qualité. (J.O. 30 rajab 1426, 4 septembre 2005).

**Article 4**

La protection qualitative autour des parties vulnérables des nappes d'eau souterraine ou des oueds est assurée exclusivement par l'établissement d'un périmètre de protection rapprochée et d'un périmètre de protection éloignée. (J.O. 30 rajab 1426, 4 septembre 2005).

**V.7. Objectif de la Protection du champ captant d'Ain Soltane**

Dans un champ de captage les eaux souterraines sont menacées par les différents types de pollution engendrés par les diverses activités que connaît la région. A cet effet, il est nécessaire de prendre des mesures adéquates afin de réduire le risque de contamination de ces ressources. Ce qui rend la délimitation des périmètres de protection une priorité.

**V.7.1 Zone de protection immédiate**

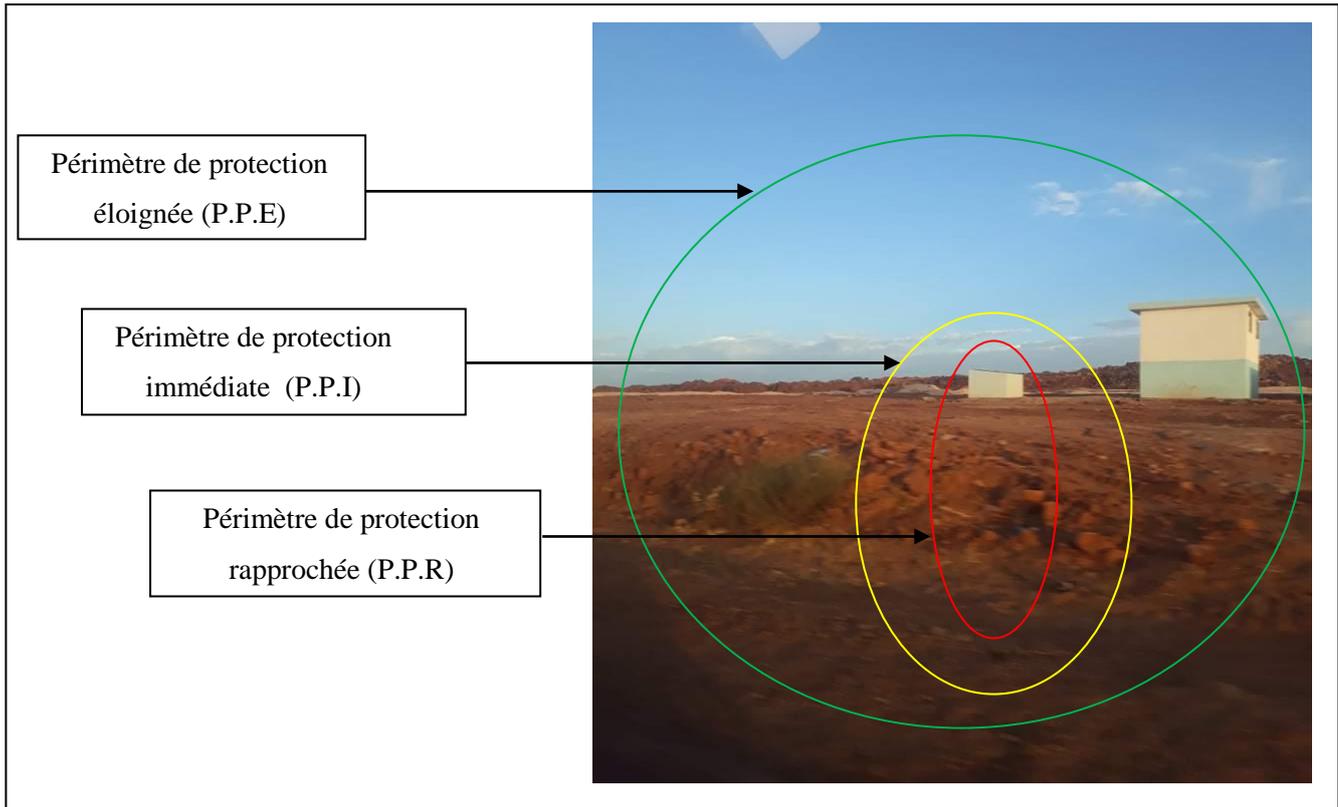
La zone de protection immédiate varie entre 10 à 20 m autour du captage. En ce qui concerne le puits du champ captant d'Ain Soltane de la zone de protection immédiate présentera un carré de 15 m de côté.

**V.7.2 Zone de protection rapprochée**

Pour la délimitation du périmètre de protection rapprochée, il faut calculer dans un premier temps la zone d'appel du captage, puis à chercher la distance correspondante au temps de transfert souhaité, dans la direction d'écoulement. Cette méthode demande un pompage d'essais et certaines données : Porosité efficace, perméabilité, épaisseur de l'aquifère, gradient hydraulique.

**V.7.3 Zone de protection éloignée**

La fonction d'une zone d'étude tampon autour de la zone rapprochée, elle constitue une protection contre les installations et activités qui représentent un risque important pour les eaux souterraines, elle permet de disposer de suffisamment d'espace et de temps pour intervenir et pour prendre les mesures d'assainissement nécessaires.



**Figure 37** : Délimitation des périmètres de protection de captage d'eau d'Ain Soltane (sur chantier)

## Conclusion

La connaissance de l'impact des éventuelles activités sur la ressource est fondamentale, d'où l'intérêt de confier cette mission à l'opérateur du service d'eau. Il est souvent le mieux placé car le plus présent sur le site. Surveiller les périmètres relève par ailleurs de son intérêt, puisqu'il est en charge de la production d'eau potable et donc de sa qualité. La gestion du périmètre immédiat et celle du périmètre éloigné sont relativement faciles. C'est la gestion du périmètre rapproché qui est la plus délicate, en raison des contraintes qui sont imposées aux occupants de l'espace.

# **Conclusion générale**

Nos ressources en eau subissent de nombreuses pressions. Il nous faut encore acquérir davantage d'informations fiables sur la qualité et la quantité d'eau disponible ainsi que sur la manière dont cette disponibilité varie dans le temps et d'un endroit à l'autre.

Les activités humaines influent de bien des façons sur le cycle de l'eau, et leur impact doit être compris et quantifié afin de gérer les ressources en eau de manière responsable et durable.

L'eau est une ressource naturelle stratégique qui est non seulement indispensable à l'entretien de la vie humaine, animale ou végétale, mais aussi d'une importance vitale pour tout les secteurs socio-économiques. Au cours des dernières décennies, les idées de l'approche de la protection et la préservation des ressources hydriques en Algérie ont bien évolué suite aux premières alertes de pénurie en eau.

L'implantation et la réalisation d'un forage d'eau dans la région d'Ain Soltane (wilaya de Saida) destiné à l'alimentation en eau potable pour une agglomération de 6765 habitants de cette commune a permis d'évaluer les potentialités hydriques de cette région.

De point de vue géologique la région d'Ain Soltane se caractérise par une succession litho- stratigraphique dont de bas en haut :

- Le paléozoïque : qui constitue le socle (schiste, granite);
- Le Jurassique : une formation carbonatée du Bajo-bathonien ;
- Le Callovo-oxfordien : formation détritique (argile, grès) ;
- Le Kimméridgien : formation carbonatée à dolomies calcaires ;
- Le Plio-quadernaire : dépôts continentaux.

L'étude hydro climatologique montre que la région d'Ain Soltane se caractérise par un climat Aride à Semi-aride qui se traduit par un hiver relativement froid et pluvieux et un été très chaud et sec, la saison humide s'étale depuis le mois d'octobre jusqu'à Avril et la saison sèche s'étend sur le restant de l'année. La lame d'eau précipitée est de 314.2 mm et la température moyenne mesurée à la station d'Ain Soltane est 16.83°C.

Hydrogéologiquement, la région renferme deux types de nappes, une nappe superficielle localisée exclusivement dans la vallée de l'Oued Saida et une autre, plus importante et plus intéressante située dans les sédiments carbonatés du Jurassique inférieur et moyen.

Cette dernière située dans un aquifère d'âge Trias a été recoupée par un forage de 200 m de profondeur. L'équipement du forage a pu être effectué dans de très bonnes conditions grâce à la lecture de l'enregistrement de la diagraphie en corrélation avec les cuttings.

Le forage Ain Soltane nécessite des tubes crépines du type TNRS.

Les travaux de creusement et de réalisation du forage d'eau ont été exécuté par plusieurs étapes de : fonçages (forage de reconnaissances, l'enregistrement du diagraphes électriques), l'alésage, réalésage, mise en place de tubage, l'injection du gravier additionnel, le développement à l'air lift, traitement chimique et essais de pompages de longue durée qui a permis de déterminer la transmissivité, les vitesses sont très différentes selon la direction considérée.

Au cours de cet essai des mesures des niveaux statistiques, dynamiques et du débit on été effectué :

- Débit : 31 l/s
- Niveaux statistique : 58 m
- Niveaux dynamique : 83 m

Les analyses chimiques effectuées montrent que l'eau est de bonnes qualités chimiques et conforme aux normes de l'OMS.

Les périmètres de protection sont très indispensables pour la protection du captage dont pour la région d'Ain Soltane le périmètre immédiat est d'environ 10 m<sup>2</sup>.

La délimitation du périmètre de protection rapproché est établie en se basant sur le calcul des zones d'appel des captages et en calculant la distance correspondant à un temps de transfert d'une pollution égal à 50 jours. Pour le périmètre de protection éloigné protection soit environ 250 m, autour de chaque forage.

La préservation de la santé de la population vient en premier lieu. Pour cela une protection contenue doit être garantie, une surveillance et des contrôles rigoureuses de la qualité de l'eau de boisson depuis la source d'approvisionnement jusqu'au aux consommateurs sont impératifs et l'application des traitements appropriés des microorganismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses sont plus que obligatoire pour assurer la qualité de l'eau de consommation et la santé humaine ainsi que le respect des périmètres de protection qui sont d'un rôle majeur pour la protection de la ressource et en particulier de cette eau minérale d'Ain Soltane.

# **Références Bibliographiques**

1. **A.B.H.** Agence de Bassin Hydrographique. Les cahiers de l'Agence.
2. **Albert M. (1986)** : Forage d'eau, guide pratique, ingénieur A& M- ICF 237P.
3. **Andrée L-B et Jean-Claude R, (1989)**
4. **Augier C. (1966)** : Quelques éléments essentiels de la couverture sédimentaire des hauts plateaux. Pub.Serv.Géol. Algérie.
5. **-Bakir K. et Rebhi F., (1993)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée d'O.Saida. Activité thermale des eaux de Hammam Rabi...
6. **Belaoul A. (1986)** : Notice explicative de la carte de vulnérabilité à la pollution. SAIDA 1/50000
7. **Birbent J.N., (1950)** : Exploration souterraines dans l'ouest algérien. Ann.Spéléo.
8. **Bouselsal B.** Forage d'eau 2015
9. **C.D.T.N. (1994)** : Étude isotopique et hydrochimique des eaux souterraines de la région de Saïda.
10. **Castany G. (1982)** : Principe et méthode de l'hydrogéologie, BORDAS, paris : ISBN, 236p.
11. **Clair A., (1952)** : Etude hydrogéologique des monts de Saïda.Act XIXème .Cong.Géol...intern. (Alger 1952).
12. **Collignon B. (1987)** : Quelques notes sur les rivières souterraines des monts de Saïda et leur vulnérabilité à la pollution. Spéléologie Alg.1985/1987 pp.55-68.
13. **Décamps P. (1970)** : Etude hydrogéologique de la région de Saïda.
14. **IFRI (1988)** : Expédition rivière souterraines et plongée de siphons dans l'ouest d'Algérie.Rev Spé. Club. Boufarik...
15. **Ganev M. Khristchev J. et Moev M. (1969)** : Carte géologique du djebel Sidi Youcef .Serv. Geol. d'Algérie.
16. **Hallonet M; et Kemmel M. (1975)** : Etude géophysique de la région de Ain el hadjar.
17. **Klimchouk A. (2004)** : Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution .Speleogenesis and Evolution of Karst aquifers The Virtual Scientific Journal.
18. **Larra Y. (1964)** : Inventaire spéléologique du Tell oranais. Bull.Soc.Hist.Nat.
19. **Michel D. (1993)** : Forage d'eau, réalisation, entretien et réhabilitations, Masson paris 1993,376p.
20. **Nassah H.Omdi F E. (2010-2011)** : Mémoire de fin d'études.
21. **Pitaud G. (1973)** : Etude hydrogéologique de la région de Saïda - Sidi Youcef.

- 22. Pitaud G. (1973) :** Etude hydrogéologique de la vallée de l'oued Saïda (Algérie), DEMRH.
- 23. Journal.O :** 30 rajab 1426, 4 septembre (2005).
- 24. Said R. et Zouzou H. (1993) :** Contribution à l'étude hydrogéologique du cause des monts de Saida-aspect hydrologique et hydrodynamique de l'aquifère karstique.
- 25. S.ET.HY.OR. (1982) :** Protection de la nappe de Saida
- 26. Techno-Export-Stroy. (1972) :** Etude géophysique de la région de Saida.