

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE



**Département d'hydraulique**

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique

**Thème :**

Contribution à la caractérisation des eaux  
de puits de la palmeraie Est de la commune  
de Ghardaïa

**Présenté par :**  
M<sup>lle</sup> Thanina HASSANI

**Encadré par :**  
Dr J. ARRAR

**Année universitaire 2008/2009**

### **Résumé :**

L'objet de ce travail est de caractériser les eaux de la nappe superficielle de la vallée du M'Zab.

Pour ce faire, nos travaux, qui se sont concentrés sur la palmeraie de la commune de Ghardaïa, ont eu pour but dans un premier temps, de recenser les puits que compte notre zone d'étude et d'établir un système d'information géographique les regroupant.

Puis dans un second temps, de prélever puis caractériser ces eaux en tenant compte des normes de potabilité et d'irrigation.

**Mots clés :** eau souterraine, puits, système d'information géographique, normes.

### **ملخص :**

الهدف من هذا العمل هو تخصيص المياه السطحية لواد ميزاب، من اجل هذا اعمالنا تمركزت على منطقة واحة النخل المتواجدة في منطقة غرداية.

و الهدف منه في اول الأمر تأسيس منهج المعلوماتية الجغرافية بتجميع الآبار المتواجدة في إطار الدراسة.

و من ثم سحب و تمييز عينة من هذه المياه مع الأخذ بعين الاعتبار معايير الصلاحية للشرب و الري.

### **الكلمات المفتاحية:**

المياه الجوفية، الآبار، منهج المعلوماتية الجغرافية، المقاييس.

### **Abstract:**

The object of this work is to characterize water of the surface tablecloth of the valley of M'Zab.

With this intention, the purpose of our work, which concentrated on the palm plantation of the commune of Ghardaïa, was initially, to establish a geographical information system gathering the wells which account our zone of study.

Then in the second time, to sample then to characterize this water by taking account of the standards of drinkability and irrigation.

**Key words:** subsoil water, well, geographical information system, standards.

# Remerciements

*Je tiens à exprimer, en premier lieu, toute ma reconnaissance à ma directrice de thèse Dr .ARRAR, pour son encadrement, ses conseils avisés ainsi que le soutien qu'elle m'a témoigné pour que ce travail puisse être mené à bien, particulièrement lorsque j'effectuais le travail de terrain au sein de la vallée du M'Zab.*

*À la même occasion, je tiens à exprimer mes sincères remerciements au Dr .Benmamar, pour son soutien et conseils qu'elle a su me prodiguer aux meilleurs moments, et pour avoir accepté de me faire l'honneur de présider le jury d'évaluation de ce mémoire de fin d'étude.*

*Ma profonde gratitude s'adresse également à toutes les personnes de la vallée du M'Zab, ayant œuvré à la réussite de ce projet, je cite à ce titre, Mr Rezzag directeur du centre Algérien de contrôle de qualité et d'emballage, Mme Bouameur directrice du laboratoire de l'Algérienne des eaux de Ghardaïa, pour l'ensemble des moyens tant humains que matériels, qu'ils ont su mettre à notre disposition.*

*Je remercie également, Cheikh Ennkhel, Moussa Ouamane, et Mr Barbara pour leur précieuse contribution.*

*Je ne saurais oublier l'ensemble du corps professoral du département d'hydraulique pour l'enseignement qu'on a reçu d'eux, et plus particulièrement Mr Benziada pour sa disponibilité et ses nombreux conseils.*

*Enfin, je remercie les membres du jury pour avoir pris la peine d'examiner ce travail.*

*À mes Parents, et mes Sœurs*

*À mes Amis, et plus particulièrement Fethi, Lamia,  
Yanis, Imène, Hakima, Amina, Mimi, et Dris.*

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

<b>I.1. Présentation de la vallée du M'Zab.....</b>	<b>2</b>
I.1 .1. Cadre géographique.....	3
I.1 .2. Aspect démographique.....	4
I.1 .3. Aspect climatique et hydrologique.....	4
I.1.4. Aspect géologique.....	4
I.1.5. Aspect hydrogéologique.....	5
I.1.5.1. La nappe phréatique.....	5
I.1.5.2. Le Turonien.....	5
I.1.5.3. L'Albien.....	6
I.1.5.4. Les aquifères de la région.....	6

## **CHAPITRE II : TECHNIQUES DE REMEDIATION DES EAUX**

<b>II.1. Les filières de traitement.....</b>	<b>7</b>
II.1.1. Prétraitements physiques ou mécaniques.....	7
II.1.1.1. Dégrillage – tamisage.....	7
II.1.1.2. Déshuilage – dégraissage.....	8
II.1.2. Traitements physico-chimiques.....	8
II.1.3. Traitements biologiques.....	9
II.1.3.1. Les procédés à cultures libres (boues activées).....	9
II.1.3.2. Les procédés à cultures fixées (lits bactériens).....	10

## **CHAPITRE III : TECHNIQUES DE REMEDIATION DES EAUX SOUTERRAINES**

<b>III. 1. Traitements in situ.....</b>	<b>11</b>
III.1.1. Procédés chimiques.....	11
III.1.2. Procédés physiques.....	15
III.1.3. Procédés biologiques.....	15
<b>III2. Traitements ex situ.....</b>	<b>17</b>
III.2.1. Procédés biologiques.....	17
III.2.2. Procédés Physiques.....	17
<b>III.3. Procédés de traitements en voie de développement.....</b>	<b>18</b>
III.3.1. La phytoremédiation.....	18

## CHAPITRE IV : METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE

<b>IV. 1. Introduction</b> .....	21
<b>IV.2. Méthodologie d'échantillonnage</b> .....	22
IV.2.1. Détermination du sens de l'écoulement des eaux de la nappe superficielle...	22
IV.2.1.1. Etablissement d'un maillage.....	24
IV.2.2. Choix des points de prélèvement.....	24
IV.2.3. Exécution des prélèvements.....	26

## CHAPITRE V : METHODOLOGIE D'ELABORATION D'UN SIG

<b>V.1. Présentation du Système d'information géographique</b> .....	27
V.1.1. Introduction.....	27
V.1.2. Historique.....	27
<b>V.2. Présentation du Logiciel MapInfo</b> .....	28
<b>V.3. Elaboration du système d'information géographique</b> .....	29
<b>V.4. Intégration des données dans le SIG MapInfo</b> .....	29

## CHAPITRE VI : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

<b>VI. 1. Présentation des résultats des analyses</b> .....	31
VI. 1.1. Paramètres physico-chimiques.....	31
VI. 1.2. Paramètres microbiologiques.....	34
<b>VI.2. Vérification de la fiabilité des résultats d'analyses</b> .....	35
VI.2.1. Méthode de la balance ionique.....	35
VI.2.2. Évaluation de la balance ionique.....	35
<b>VI. 3. Critères d'usage de l'eau</b> .....	36
VI. 3.1. Évaluation de la potabilité de l'eau.....	36
VI. 3.1.1. Paramètres physiques.....	37
VI. 3.1.2. Minéralisation globale.....	39
VI. 3.1.3. Paramètres de pollution.....	40
VI. 3.1.4. Paramètres bactériologiques.....	41
VI. 3.2. Évaluation de la qualité de l'eau pour les besoins de l'agriculture.....	41
VI. 3.2.1. Paramètres bactériologiques.....	41
VI.3.2.2. Paramètres physico-chimiques.....	42
VI.3.2.3. Rapport sodium-adsorption.....	42
VI.3.2.4 Carbonate de sodium résiduel.....	43

VI.3.2.5. Conclusion.....	44
<b>VI.4. Classification des eaux d'après leur composition chimique.....</b>	<b>44</b>
<b>VI.5. Recommandations.....</b>	<b>46</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>ANNEXES</b>	

## LISTE DES FIGURES

**Figure I.1:** Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa

**Figure I.2 :** Carte de la zone d'étude

**Figure I.3 :** Coupe géologique et schématique de la vallée du M'Zab

**Figure II.1:** Dégraisseur et dessableur combinés

**Figure II.2 :** Schéma représentatif d'un système conventionnel de boues activées.

**Figure III.1 :** Principe des barrières réactives.

**Figure III.2 :** Schéma d'un dispositif de traitement par oxydation in situ

**Figure III.3 :** Principe de la réduction

**Figure III.4 :** Principe du rabattement-écrémage

**Figure III.5 :** Principe du pump and treat

**Figure IV.1 :** Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab

**Figure IV.2 :** Carte de la salinité de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab

**Figure IV.3 :** Carte de positionnement des puits sous Autocad2009

**Figure IV.4:** Carte du maillage établi sous Autocad2009

**Figure IV.5 :** Carte des points de prélèvement.

**Figure V.1 :** Conversion de la carte de la palmeraie de Ghardaïa

**Figure V.2 :** Enregistrement des données sous MAPINFO 8.0

**Figure V.3 :** Puits de la palmeraie digitalisés sous MAPINFO 8.0

**Figure VI.1 :** Relation entre la salinité et la conductivité électrique

**Figure VI.2 :** Relation entre la conductivité électrique et le résidu sec

**Figure VI.3 :** Relation entre la conductivité électrique et la force ionique

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau III-1** : Potentiels d'oxydation des principaux oxydants utilisés en oxydation *in situ*

**Tableau VI-1-a** : Caractéristiques physico-chimiques des puits étudiés

**Tableau VI-1-b** : Caractéristiques physico-chimiques des puits étudiés

**Tableau VI-2** : Résultats des analyses microbiologiques.

**Tableau VI-3** : Résultats de calcul de la balance ionique

**Tableau VI-4** : Résultats de calcul du rapport sodium adsorption.

**Tableau VI-5** : Résultats de calcul du carbonate de sodium résiduel.

**Tableau VI-6** : Résultats de calcul des critères de classification

**Tableau VI-7** : Coordonnées GPS des puits de l'étude menée en 2005

**Tableau VI-8** : Résultats de calcul des critères de classification des eaux de puits de l'étude  
menée en 2005

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

SIG système d'information géographique

ABS absence

PRE présence

UFC unité formant colonie

BPC biphényles polychlorés

TDS total dissolved salt

HAP hydro aromatique polycyclique

# *Introduction Générale*

*«La dernière chose qu'on trouve en  
faisant un ouvrage est celle qu'il faut  
mettre la première»*

*Blaise PASCAL*

---

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenue progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie, et plus particulièrement au Sahara, la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de l'aridité du climat et l'exploitation relativement facile de cette ressource souterraine.

La croissance démographique, les forages albiens, et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine en provoquant un processus de pollution de ces eaux souterraines évolutif dans l'espace et dans le temps, qui au demeurant est difficilement maîtrisable.

Notre zone d'étude, à savoir la vallée du M'Zab, se trouvant être localisée dans une région Saharienne, est donc confrontée, pour les raisons susnommées, à un risque de pollution grandissant qu'il faut caractériser et identifier au plus vite si l'on veut sauvegarder ce patrimoine souterrain.

Une palmeraie étant un espace conjointement dédié à l'habitat d'été et à la culture sous palmiers, elle compte donc un grand nombre de points d'eau, qui se matérialisent par des puits, et qui servent à l'approvisionnement en eau tant pour les besoins humains que pour l'irrigation. C'est pour cela, et en raison du risque de pollution, que le choix de la zone à étudier s'est porté sur la palmeraie de l'une des communes que compte la vallée du M'Zab, qui est la commune de Ghardaïa.

En raison du manque d'éléments historiques retraçant l'évolution de la qualité ainsi que de la répartition spatiale de cette ressource en eau, il apparaît essentiel d'en identifier les caractéristiques hydrodynamiques et physico-chimiques, et d'établir des systèmes d'information géographiques permettant une analyse spatiale, afin de contribuer ainsi à l'enrichissement des bases de données nécessaires à toute action visant à préserver cette précieuse ressource.

Pour ce faire, la démarche suivie a consisté en une introduction à la vallée du M'Zab dans le premier chapitre, une présentation de différents procédés de traitement des eaux dans le chapitre II, et plus particulièrement des eaux souterraines dans le chapitre III.

Le volet comportant les travaux effectués débute par le chapitre IV qui comporte la méthodologie adoptée pour aboutir au prélèvement d'échantillons d'eau destinés à l'analyse. Ce volet se poursuit à travers le chapitre V qui englobe les démarches entreprises pour l'élaboration d'un système d'information géographique.

Vient par la suite, le chapitre VI dans lequel sont présentés et interprétés les résultats d'analyses obtenus.

Pour clôturer ce travail, une conclusion générale viendra faire une synthèse des travaux effectués avec les recommandations qui s'y rapportent.

# *Chapitre I*

## *Présentation de la zone d'étude*

## **I.1. Présentation de la vallée du M'Zab**

La vallée du M'Zab, fondée au XI<sup>ème</sup> siècle, est un véritable musée à ciel ouvert situé en plein désert et couvrant une superficie de 50 km<sup>2</sup> (20 x 2.5 km). Elle est classée comme patrimoine national en 1971 et patrimoine de l'humanité par l'UNESCO depuis 1982.

La particularité de cet héritage humain, est qu'il est de nos jours habité par sa population d'origine qui a mis au point un système ingénieux de structuration et d'aménagement de son territoire d'établissement, réputé par son aridité et son isolement. Cette maîtrise de l'occupation spatiale et la capacité de capitaliser les moindres ressources sont le fruit d'un savoir faire ancestral acquis depuis la fondation du premier état Algérien à Tihert au VII<sup>ème</sup> siècle [8].

Le secret de la réussite prouvée sur plusieurs plans de ce modèle de société, s'explique par l'esprit qui a animé ses bâtisseurs en étant parfaitement conforme à leurs idéaux sociologiques, politiques et religieux. Ceci a donné naissance à une civilisation à part entière qui a permis l'épanouissement de l'individu avec son environnement et son milieu naturel depuis déjà mille ans [8].

Cette symbiose entre l'homme et son milieu naturel, connue particulièrement chez les berbères zénètes du sud, a été aiguisé chez les Ibadites au M'Zab depuis leur premier établissement humain, compte tenu de l'inhospitalité des lieux et de la rareté de l'eau [8]. Mais le génie Mozabite, modelé par ses principes socioreligieux, a su extraire de ce milieu naturel stérile une multitude de richesses. Ainsi, il a instauré une économie du territoire pointue, basée sur l'exploitation rationnelle de l'espace au bénéfice d'une vie communautaire prospère. Ceci, s'est traduit par :

- la mise au point d'un système ingénieux de captage, de stockage et de distribution des rares ressources hydriques
- de créations de vastes étendues de palmeraies avec une culture à trois étages.
- la construction d'un chapelet de ksour (cités fortifiées) d'une architecture avant-gardiste
- la production d'un artisanat riche et varié couvrant les besoins de la vie quotidienne et développé au cours des siècles

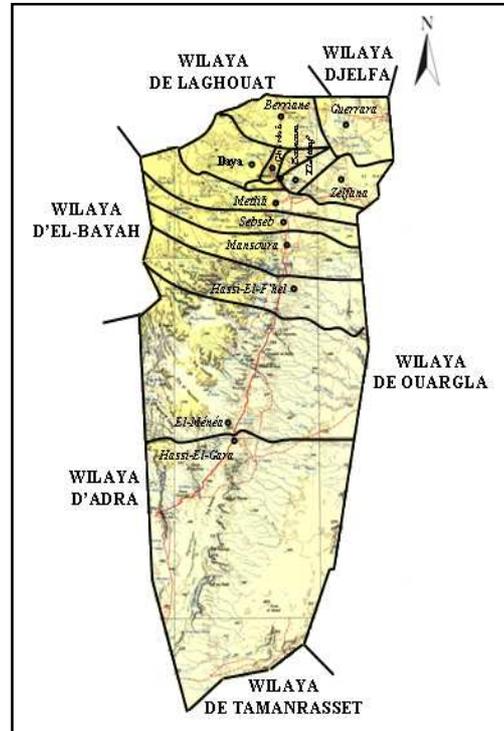
La vallée du M'Zab compte, à cet effet, plusieurs palmeraies, dont celle de la commune de Ghardaïa lieu de localisation de ce projet. Destinée à l'habitat d'été et à la culture sous palmiers, la palmeraie est assise sur un sol alluvionnaire, qui constitue un espace potentiellement inondable en cas de fortes crues, et fait partie de l'espace dont les ressources en eau sont gérées par le système de partage des eaux.

### I.1.1. Cadre géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara de Algérie. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle Wilaya dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat.

La Wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au nord par la Wilaya de Laghouat ;
- Au nord Est par la Wilaya de Djelfa ;
- A l'est par la Wilaya de Ouargla ;
- Au sud par la Wilaya de Tamanrasset ;
- Au sud-ouest par la Wilaya d'Adrar ;
- A l'ouest par la Wilaya d'El-Bayadh ;



**Figure I. 1 : Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa [3]**

Elle est constituée de 13 communes regroupées dans 9 daïras. La Wilaya couvre une superficie de 86560 km<sup>2</sup>.

La vallée du M'Zab, lieu de localisation du projet, est située dans la wilaya de Ghardaïa. Elle se situe à 600 Km au sud de la capitale Alger, sur une altitude moyenne de 600 m environ, une longitude de 3°.45 est, une latitude de 32°.50 nord [3].

La vallée du M'Zab mesure 20 Km de long sur une moyenne de 2,5 Km de largeur. Elle couvre une superficie de 50 Km<sup>2</sup>, et est située dans l'enceinte du bassin versant d'une superficie de 5000Km<sup>2</sup>, traversée par quatre oueds qui drainent les plateaux des dayas et la dorsale du mozabite, son exutoire naturel est la sebkha Sefioune près de Ouargla.

L'aire de la présente étude qui se situe au sein de la vallée du M'Zab, à savoir, la palmeraie de la commune de Ghardaïa, prend naissance à la limite du barrage de Bouchene, et prend fin au niveau de Ahbas ajdid, Elle comprend les quartiers de Takdhite, Bouchemjane, ainsi que Baba Ouassa. (Figure2), et est limitée par :

- Le barrage Touzouz au nord ;
- Le quartier Aouadjrinet et Saloucha à l'ouest ;
- Le quartier Echaaba à l'est ;
- Le quartier Baba ferdas au sud.

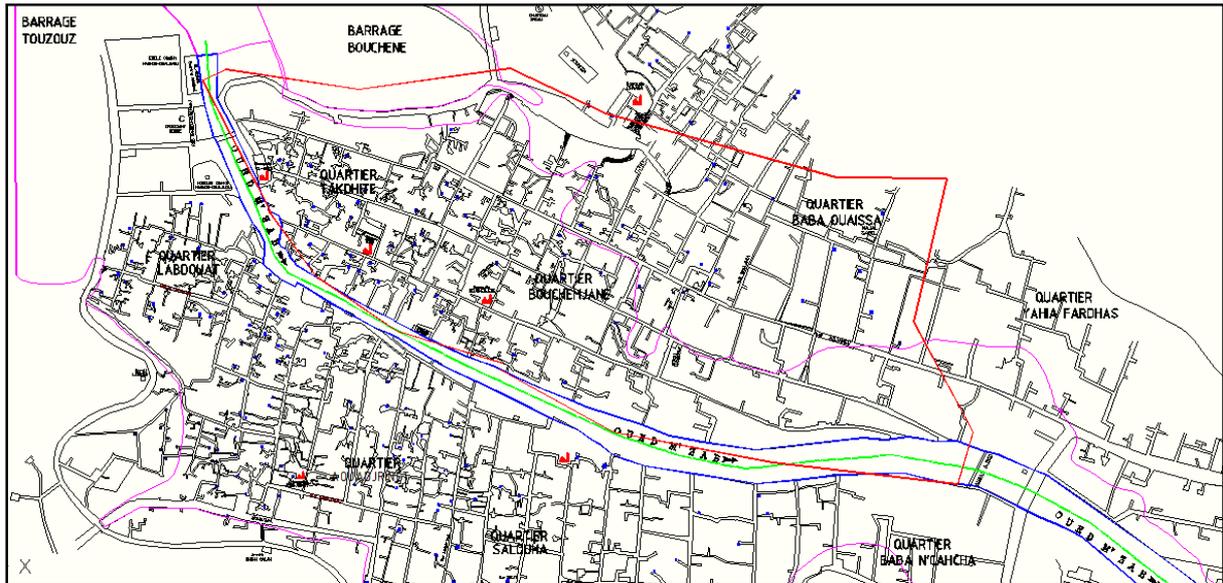


Figure I. 2 : Carte de la zone d'étude [3]

### I.1.2. Aspect démographique

La population de la wilaya est estimée à 309.740 habitants, soit une densité de peuplement de 3,60 habitants au km<sup>2</sup>.

La vallée du M'Zab est entaillée dans les massifs calcaires du Turonien, elle abrite 04 communes, à savoir:

- commune de Dayet ben dahoua en amont de 11.873 habitants ;
- communes de Ghardaïa et Bounoura au centre de respectivement 112.395 et 35.262 habitants ;
- commune d'El-Atteuf en aval de 16.409 habitants [13].

### I.1.3. Aspect climatique et hydrologique

Le climat de la région de Ghardaïa typiquement Saharien, est caractérisé par deux saisons: Une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver.

On enregistre une moyenne annuelle de 25°C, avec une évapotranspiration de l'ordre de 2000 mm par an et une faible hauteur de pluies avec une moyenne de précipitations de 60 mm/an [3].

Ces valeurs moyennes n'ont pas une grande signification car les pluies peuvent faire défaut pendant plusieurs années consécutives et que deux à trois jours de pluies peuvent apporter 50 à 80 mm [17].

### I.1.4. Aspect géologique

Du point de vue géologique la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab". L'épaisseur de ses

massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) [3] (Figure I.3).

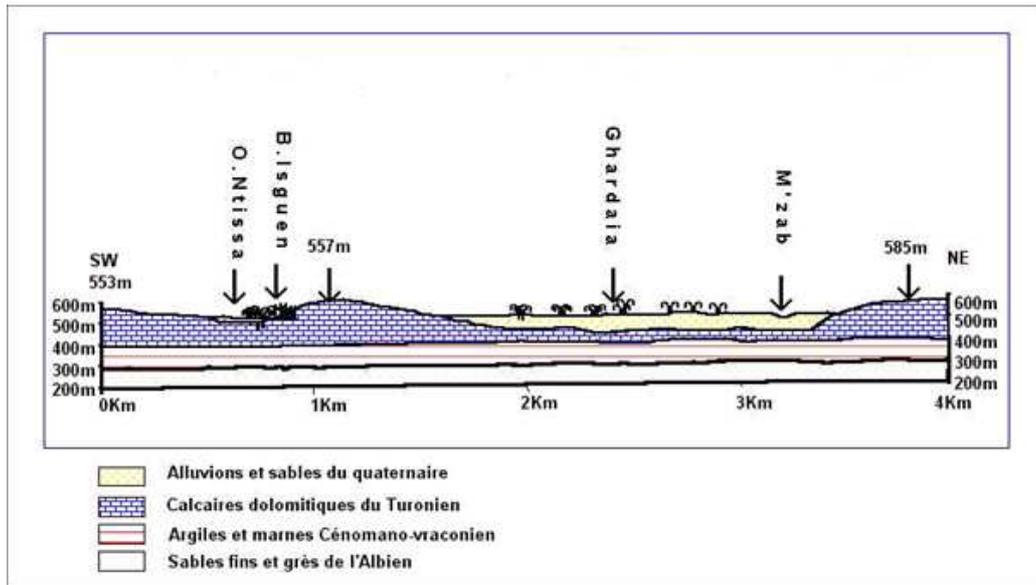


Figure I.3 : Coupe géologique et schématique de la vallée du M'Zab [3]

## I.1.5. Aspect hydrogéologique

### I.1.5.1. La nappe phréatique

Cette nappe présente un intérêt très important dans le domaine agricole pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée. Elle sert également pour l'alimentation en eau potable à l'amont, surtout dans la zone de Dayet ben dahoua, et est exploitée par des puits traditionnels.

Elle est alimentée essentiellement par les eaux de pluies torrentielles et par les eaux de la nappe profonde (albien) de certains forages destinés pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable [2].

### I.1.5.2. Le Turonien

Il est constitué de calcaire dolomitique massif d'une épaisseur de 40 à 50 mètres (mesuré dans la vallée du M'zab). On note que les premiers mètres de ces assises calcaires présentent des fissures dans lesquelles on peut trouver de l'eau. Ces eaux ont pour origine l'infiltration de la nappe phréatique de l'oued M'zab. La plupart des puits en amont de la vallée (Dayet ben dahoua) ont été creusés plus profondément que les alluvions quaternaires. Ils

atteignent les calcaires du Turonien (substratum) de 2 à 4 mètres; expliquant ainsi la baisse du niveau de la nappe qui est provoquée par son exploitation intensive d'une part et les faibles apports d'eaux d'alimentation par les crues des oueds d'autre part.

Sous la formation turonienne, on rencontre une épaisse couche imperméable d'argile bariolée et de marnes gypseuses d'une épaisseur d'environ 300 à 350 mètres qui est le Cénomanién (figure I.3) [2].

### **I.1.5.3. L'Albien**

Constitué d'une masse importante de grès et sables fins argileux, qui est aquifère. Le Cénomanién représente son toit imperméable.

### **I.1.5.4. Les aquifères de la région**

Les aquifères captés dans la région, sont classés par leurs profondeurs comme suit :

- les eaux de la nappe phréatiques contenues dans les alluvions des oueds.
- les eaux de la nappe profonde contenue dans les couches perméables des sables et des grès de l'albien à 300 mètres.

## *Chapitre II*

### *Techniques de remédiation des eaux*

L'eau dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable que ce soit pour la consommation humaine, l'agriculture ou bien encore l'industrie, car lors de sa circulation dans le sol, à la surface de la terre ou même dans l'air, l'eau se pollue et se charge de matières en suspension ou en solution : particules d'argile, déchets de végétation, organismes vivants (plancton, bactéries, virus) , sels divers (chlorures, sulfates, carbonates de sodium, de calcium, fer, manganèse...), matières organiques mobilisant de l'oxygène ou toxiques,...

La présence de ces nombreuses impuretés de différentes natures impose le traitement des eaux avant utilisation, pour les rendre conformes aux exigences [Annexes 1, 2, 3, 4] des applications envisagées (eau potable, irrigation, industrie...), et éviter tout dommage à l'environnement.

Pour parvenir aux résultats recherchés, depuis l'obtention d'un liquide limpide pour la consommation humaine, jusqu'à celle extra-pure demandée pour l'industrie électronique moderne, il faudra appliquer, seuls ou en combinaison, les différents procédés existants et adéquats.

Ainsi, le choix du processus de traitement se fera suivant plusieurs filières de traitement, et ce en fonction du degré, du type (physique, chimique, et/ou biologique) de pollution et l'usage de destination.

## **II.1. Les filières de traitement**

### **II.1.1. Prétraitements physiques ou mécaniques**

On peut avoir recours à une ou plusieurs opérations (dégrillage, dilacération, dessablage, dégraissage, déshuilage) pour éliminer les particules solides ou objets de toutes tailles et de toutes natures, créatrices de dépôts, de dysfonctionnement ou de pannes mécaniques dans les installations de traitement.

#### **II.1.1.1. Dégrillage – tamisage**

Le dégrillage à titre d'exemple vise :

- La protection des ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation ;
- La séparation et d'évacuation des matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution.

On peut distinguer le:

- Tamisage, ouverture maximum de 3 mm.
- Dégrillage fin, pour un écartement entre 3 et 10 mm.
- Dégrillage moyen, pour un espacement de 10 à 30mm.
- Prédégrillage ou dégrillage grossier, pour un écartement supérieur à 30 mm.

### II.1.1.2. Déshuilage – dégraissage

Les opérations de déshuilage et de dégraissage permettent d'assurer un bon traitement en aval en évitant l'inhibition des processus biologiques. En effet, les graisses forment, en surface de la phase liquide, un film qui induit un mauvais transfert d'oxygène entre l'atmosphère et le liquide.

La récupération des graisses flottantes se fait par écumage manuel ou mécanisé. Les graisses sont ensuite stockées jusqu'à leur traitement.

En général, le dégraissage est effectué avec le dessablage. L'ouvrage comporte une zone d'aération (où l'air est insufflé à la partie inférieure) et une zone tranquillisée (destinée à la remontée des graisses en surface). L'évacuation des graisses est réalisée à l'aide d'un raclage de la surface. Le temps de séjour dans l'ouvrage est court (une dizaine de minutes environ) [19].

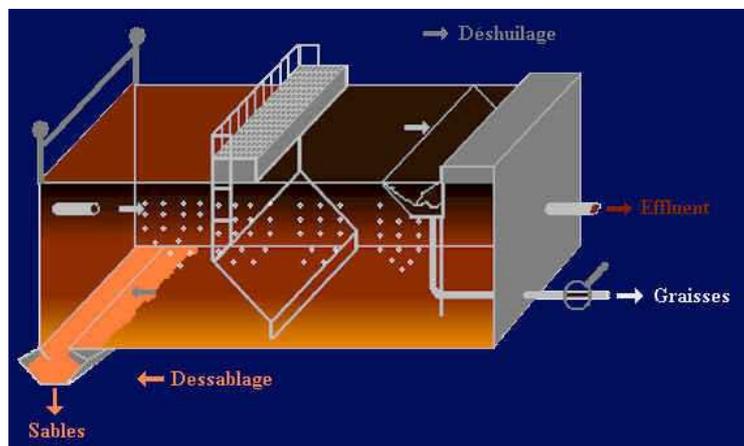


Figure II.1: Dégraisseur et dessableur combinés [19].

### II.1.2. Traitements physico-chimiques

Selon l'usage auquel on destine une eau, le traitement variera d'un traitement classique de neutralisation, oxydation, coagulation-floculation, avec décantation, filtration, à un traitement que l'on complète par des opérations d'affinage qui peut comporter : désinfection (eau potable), une adsorption, l'échange ionique, ... etc

La coagulation-floculation a pour but de déstabiliser les matières en suspension non décantables ou particules colloïdales, par addition de réactifs, et favoriser leur agglomération en formant un floc, qu'on éliminera plus facilement ultérieurement lors de la décantation. Cette dernière, vise à séparer les matières en suspension décantables et les colloïdes rassemblés en floc lors de l'opération de coagulation-floculation, en les laissant atteindre, sous l'effet de la gravité, le fond d'ouvrages appelés décanteurs qui peuvent être statiques ou lamellaires.

Par la suite, un procédé de filtration visant à éliminer par exemple les bactéries, et la couleur, peut être envisagé et ce en faisant passer l'eau à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire qui retient les solides en suspension.

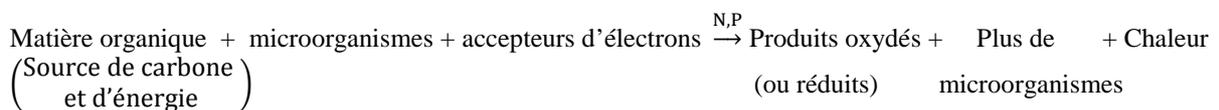
Par soucis d'affinage, les traitements précédents peuvent être, à titre d'exemple, complétés par :

- Une adsorption sur charbon actif qui lui fait partie d'une gamme de substances présentant une très grande porosité et une surface spécifique importante de l'ordre de 500 à 1500m<sup>2</sup> par gramme de charbon. Ces qualités confèrent au charbon actif un grand pouvoir d'adsorption. L'adsorption sur charbon actif est utilisée dans le traitement des eaux potables pour fixer les matières organiques dissoutes, les pesticides et pour éliminer le carbone organique dissous [5].
- Une désinfection pour laquelle l'utilisation du dioxyde de chlore (ClO<sub>2</sub>) et de l'ozone (O<sub>3</sub>) pour leurs pouvoirs oxydant et bactéricide élevés, est de plus en plus préconisée. Les désinfectants permettent de réduire la couleur, les goûts et les odeurs, et d'oxyder les ions ferreux et manganéux solubles en hydroxydes insolubles [7].

### II.1.3. Traitements biologiques

Ils ont pour but de réduire la pollution organique en reproduisant de façon intense et accélérée le processus d'autoépuration des cours d'eau.

Ils font appel à une réaction de type redox qui aboutit à la dégradation des pollutions organiques sous l'action de microorganismes indigènes ou rapportées



Les principaux paramètres de ce traitement sont en conséquence ceux qui influencent les conditions de vie des micro-organismes: le taux d'oxygène, la quantité de nutriments (N et P) disponibles, l'humidité, la température, le pH, et les paramètres physico-chimiques et les concentrations des produits à traiter.

Les installations de traitement secondaires biologiques se présentent donc comme de très vastes cultures bactériennes ou l'on met en contact une population bactérienne et l'eau à traiter en présence d'oxygène. Deux familles de procédés sont utilisés pour ce type de traitement : les procédés biologiques à culture fixées et ceux à cultures libres.

#### II.1.3.1. Les procédés à cultures libres (boues activées)

Les eaux à traiter séjournent dans les bassins aérés, où se développe une flore bactérienne. L'aération sert à maintenir les flocs biologiques en suspension et maximiser le contact entre microorganismes, et la matière organique qu'ils oxydent (figure II.2). Plusieurs schémas peuvent être envisagés selon la charge polluante telle que l'aération tempérée, prolongée, étagée ou la stabilisation par contact.

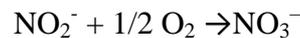
À titre d'exemple, le procédé visant à éliminer l'ammonium par voie biologique, appelé nitrification-dénitrification, intervient dans le processus de boues activées, et consiste à transformer l'ammonium en nitrites puis en nitrates par oxydation, en utilisant des bactéries spécifiques autotrophes, puis les nitrates en azote gazeux par des bactéries hétérotrophes. Ce procédé nécessite un apport important d'oxygène [5].

La nitrification se décompose en deux étapes principales car elle est réalisée par des genres bactériens différents :

- ❖ La nitritation : transformation de l'ammonium en nitrites sous l'influence de bactéries appelées *Nitrosomonas*



- ❖ La nitratisation : transformation des nitrites en nitrates par d'autres bactéries appelées *Nitrobacter*



La dénitrification, quand à elle se déroule comme suit :

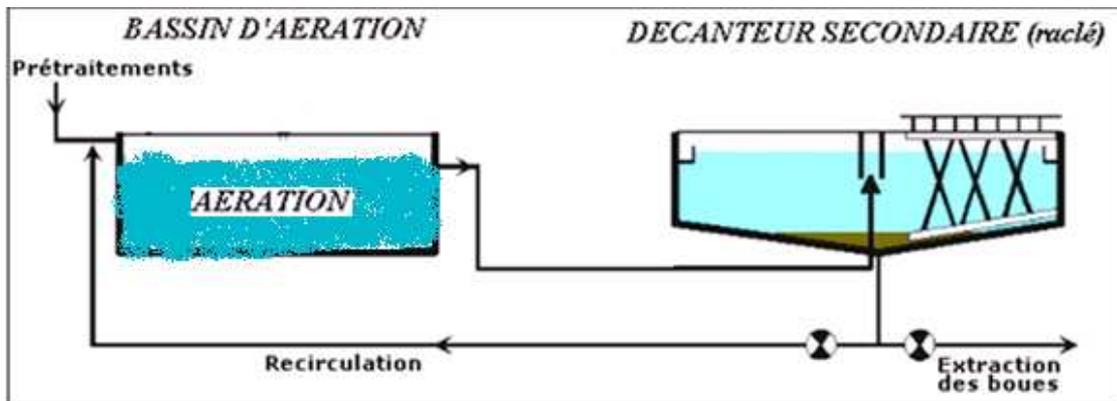
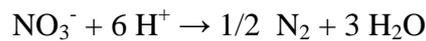


Figure II.2 : Schéma représentatif d'un système conventionnel de boues activées [19].

### II.1.3.2. Les procédés à cultures fixées (lits bactériens)

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien, quelque fois appelé filtre bactérien, consiste à faire ruisseler l'eau à traiter préalablement décantée, sur une masse de matériau de grande surface spécifique servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un feutrage ou un film biologique plus ou moins épais.

Quel que soit le matériau, tous les lits bactériens à ruissellement fonctionnent selon les mêmes principes. Une aération est pratiquée le plus souvent par tirage naturel et quelque fois par ventilation forcée. Cet apport a pour but d'apporter dans toute la masse du lit, l'oxygène nécessaire en aérobiose de la microflore.

## *Chapitre III*

# *Techniques de remédiation des eaux souterraines*

Le traitement des eaux souterraines peut être réalisé suivant deux méthodes, selon que le traitement se fasse directement dans le sol (les traitements in situ), ou que l'eau soit pompée pour être traitée sur site ou hors site (les traitements ex situ).

### III. 1. Traitements in situ

#### III.1.1. Procédés chimiques

##### ➤ Barrières réactives

Ce procédé, développé il y a une quinzaine d'années aux États-Unis, est actuellement commercialisé, et consiste à implanter une barrière perméable depuis la surface du sol jusqu'à la base de l'aquifère pour intercepter un panache de pollution. La barrière est remplie d'un réactif permettant la dégradation des polluants dissous dans l'eau. Le principe actif doit toujours avoir une perméabilité très supérieure à celle du sol. La longueur de la barrière doit être suffisante pour permettre le traitement de tout le panache de pollution. Le volume de réactif et la vitesse d'écoulement de la nappe fixent le temps de séjour de l'eau dans la barrière. Ce temps de séjour est un paramètre important pour le procédé de traitement, quel qu'il soit.

Ce panache, qui passe à travers le principe actif de traitement est ainsi dépollué.

Les dimensions de la barrière sont ajustées de façon à intercepter la totalité du panache de pollution (longueur de la barrière) et à assurer un temps de contact suffisant entre l'eau à traiter et le principe actif de traitement (largeur de la barrière).

Le gros avantage de ce procédé est qu'il s'agit d'un traitement qui ne nécessite pas de pompage. De plus, il peut être installé pour de nombreuses années avec une maintenance réduite.

Les barrières réactives permettent le traitement de nombreux polluants organiques et de certains métaux [14]. Toutefois, dans la majorité des cas, les polluants traités sont des solvants chlorés. En effet, ces polluants, plus denses que l'eau et peu solubles, s'accumulent sur des lentilles de terrain imperméables difficiles à localiser, puis se dissolvent très lentement en formant un panache de pollution. Ils sont difficiles à traiter par les techniques classiques de pompage. En revanche, les barrières réactives permettent l'interception de la totalité du panache de pollution. Dans le cas des solvants chlorés, le principe actif de traitement consiste en une réduction, qu'elle soit catalysée ou non.

Les techniques de réduction sont des procédés chimiques permettant la destruction de certains polluants dissous dans les eaux de nappe. Ces techniques sont appliquées aux solvants chlorés (éthylène chlorés, éthanes chlorés, méthanes chlorés, et le TCE (trichloréthylène), le PCE (perchloréthylène), le chloroforme, le tétrachlorure de carbone...) et basées sur l'utilisation de fer, seul ou en présence de catalyseurs (Figure III.3). Les procédés de réduction, classique et catalysée, sont utilisés comme système de traitement dans les barrières réactives. Le procédé de réduction classique est particulièrement adapté aux barrières perméables classiques (volume de réactif mis en jeu plus important et débit d'eau plus faible) tandis que le procédé de réduction catalysée est utilisé avec les barrières « système porte » (volume de réactif réduit et débit d'eau plus élevé).

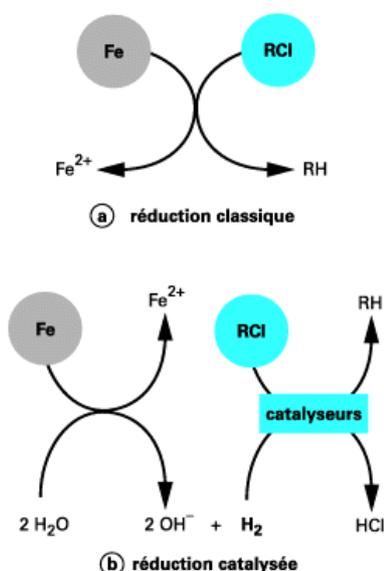
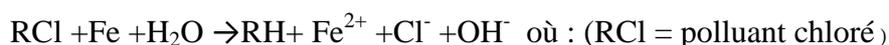


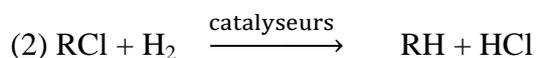
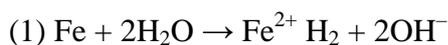
Figure III.3 : Principe de la réduction [14]

La réaction d'oxydoréduction classique :



La réaction d'oxydoréduction est très lente, et trouve une application soit pour le traitement d'un débit d'eau très faible, soit avec des volumes de fer très importants (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de m<sup>3</sup>) [14].

La réduction catalysée consiste à utiliser le fer zéro valent pour sa propriété à produire de l'hydrogène au contact de l'eau (1) et à hydrogéner les solvants chlorés grâce à des catalyseurs d'hydrogénation (2) :



La réduction catalysée présente le gros avantage d'être beaucoup plus rapide que la réduction classique. Toutefois, le coût en réactif de traitement est nettement plus élevé du fait de l'utilisation de catalyseurs.

On trouve deux types de barrières réactives: les barrières perméables classiques et les barrières « système porte » (Figure III.1)

### 1. Les barrières perméables classiques

Ce type de barrière peut être installé à faible profondeur par des techniques de terrassement classiques (trancheuse, pelle mécanique). La largeur de la barrière varie généralement de 20 cm à 1 m. Ce type de barrière est inapplicable à grande

profondeur, il nécessite de très gros volumes de réactif, et l'intervention est très complexe sur le réactif [14].

## 2. Les barrières « système porte »

Elles consistent à canaliser la nappe à traiter à l'aide de parois étanches et à la diriger vers une porte de traitement. La porte consiste en un puits inox (d'un diamètre de l'ordre de 1 m) [14] implantée dans la paroi étanche. Le réactif est placé dans une cartouche inox amovible que l'on descend dans le puits et qui se connecte de façon étanche au fond de l'ouvrage. Cette cartouche amovible permet d'intervenir facilement sur le réactif. Toutefois, la quantité de réactif utilisée est limitée à quelques m<sup>3</sup> maximum [14] et on concentre au niveau de la porte le débit de toute une tranche d'aquifère. Les temps de contact eau / réactif sont donc beaucoup plus faibles que pour une barrière perméable classique et il faut utiliser des réactifs beaucoup plus performants.

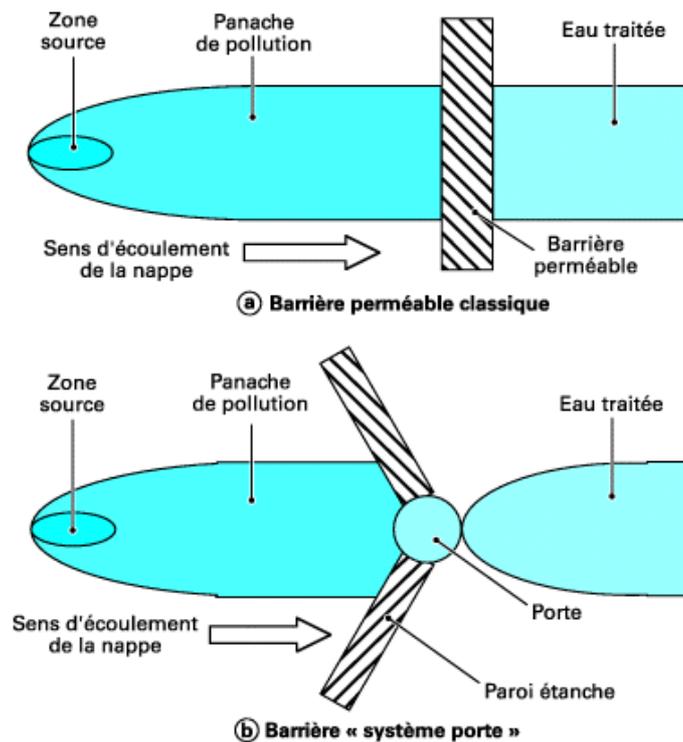


Figure III.1 : Principe des barrières réactives [14].

### ➤ Oxydation *in situ*

L'oxydation *in situ* consiste en une injection dans la zone saturée du sol d'un oxydant qui va détruire les polluants présents dans le milieu. Cette oxydation peut aboutir à une destruction totale du polluant ou à une transformation en un composé moins toxique et/ou plus facilement biodégradable. Différents types d'oxydants, adaptés à la pollution à traiter, sont disponibles sur le marché. Cette technique est actuellement commercialisée.

Les deux grands types de pollution traités sont les zones sources et les panaches de pollution.

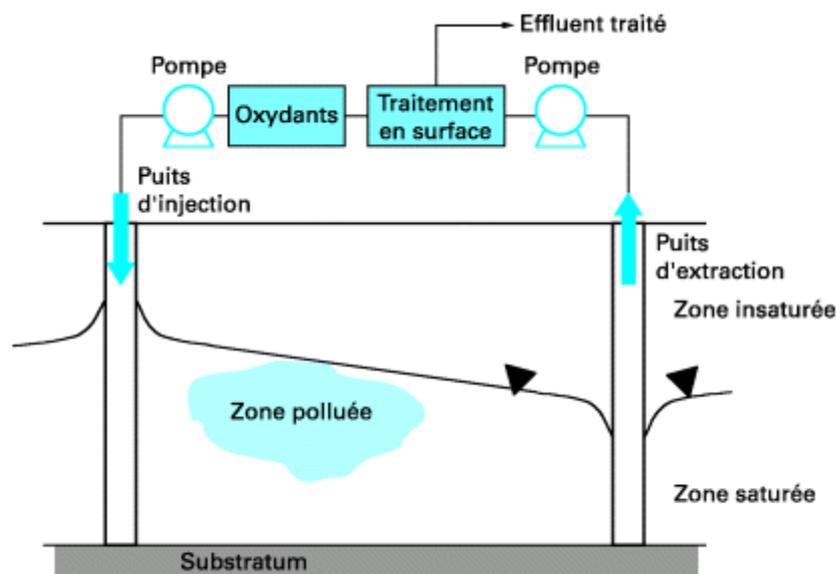
L'oxydation *in situ* présente le gros avantage d'être efficace sur un large spectre de polluants organiques : hydrocarbures, solvants chlorés, pesticides... [14] De plus, c'est un procédé destructif. Toutefois, les oxydants utilisés sont parfois peu sélectifs et réagissent sur toutes les espèces oxydables qu'ils rencontrent (matière organique du sol, composés inorganiques oxydables...), ce qui impose l'utilisation d'une plus grande quantité d'oxydant.

Les principaux oxydants utilisés sont : le permanganate ( $MnO_4^-$ ), le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ), le réactif de Fenton ( $H_2O_2 / Fe^{2+}$ ) et l'ozone ( $O_3$ ). Chacun de ces oxydants est caractérisé par un potentiel d'oxydation (Tableau III-1). Plus le potentiel d'oxydation d'un composé est élevé, plus il s'agit d'un oxydant puissant, capable d'agir sur un grand nombre de composés oxydables.

**Tableau III-1** : Potentiels d'oxydation des principaux oxydants utilisés en oxydation *in situ*

Oxydant	Potentiel d'oxydation (V)
Réactif de Fenton (OH)	2,80
Ozone ( $O_3$ )	2,07
Peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ )	1,78
Permanganate ( $MnO_4^-$ )	1,68

Des pompes d'injection et d'extraction (Figure III.2) sont nécessaires pour la mise en œuvre d'un tel procédé. De nombreux designs existent concernant les points d'injection et d'extraction, dépendant principalement des données du site [14]. On trouve des puits verticaux, horizontaux, des tranchées, des galeries d'infiltration, etc.



**Figure III.2** : Schéma d'un dispositif de traitement par oxydation *in situ* [14]

### III.1.2. Procédés physiques

#### ➤ Rabattement – écrémage

Cette technique est utilisée pour l'extraction de composés organiques purs flottant sur la nappe phréatique. Ce procédé s'applique de façon optimale sur des phases libres en surface de la nappe, contenant peu de composés solubles et volatils (gasoil, fuels...). Une application peut être envisagée sur des hydrocarbures légers (essence, supercarburant...).

Le rabattement-écrémage est un procédé *in situ* permettant de récupérer les composés organiques, de densité inférieure à 1, présents sous forme pure au dessus de la frange capillaire. Le principe de base de ce procédé consiste à créer une dépression localement à la surface de la nappe (opération de rabattement) pour que les substances pures s'écoulent, par gravité, le long du cône de dépression, vers le puits de rabattement (le cône de dépression étant défini par le rayon d'action du rabattement). Une fois dans le puits, le polluant est extrait (Figure III.4) par des moyens mécaniques (écrémage) vers des unités de stockage en surface.

Bien que cette technique concerne des molécules dites insolubles, la dissolution en phase aqueuse n'est cependant pas nulle [14]. Il se crée alors un équilibre entre la phase pure et la phase aqueuse engendrant un horizon de pollution dissoute. Cette pollution dissoute peut être extraite par la pompe de rabattement et traitée si la concentration l'exige.

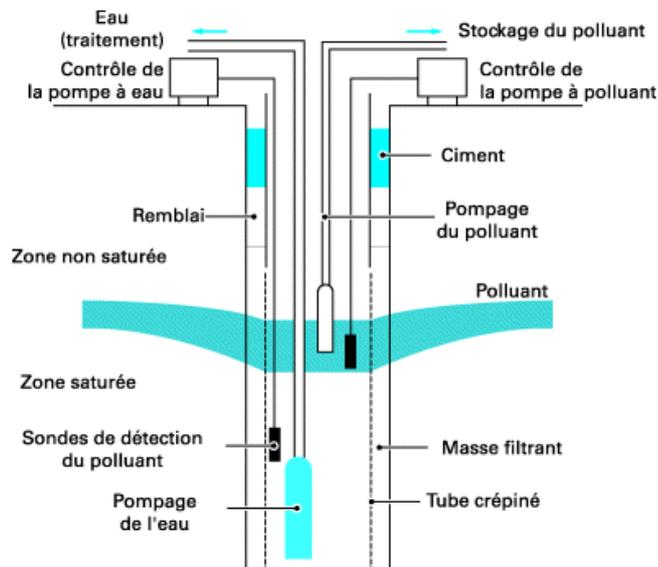


Figure III.4 : Principe du rabattement-écrémage [14]

### III.1.3. Procédés biologiques

Les traitements biologiques *in situ* du sous-sol consistent à réaliser une opération de bio décontamination en place, en prenant en compte à la fois le sol et l'eau souterraine.

Comme dans n'importe quelle technologie utilisée *in situ*, on s'affranchit ainsi de l'excavation du sol et du pompage de l'eau.

Le procédé dans un traitement biologique *in situ* consiste à introduire au sein de la zone contaminée les apports nécessaires en nutriments et en accepteur d'électrons; la voie

classiquement suivie est l'injection d'eau dans le sous-sol, dans laquelle sont dissous le phosphore, l'azote et l'oxygène, la réaction aérobie étant la plus largement utilisée. Les proportions ont été calculées au préalable en fonction de la source de carbone présente et en fonction des débits et des temps d'injection qui sont souhaités.

Deux schémas d'utilisation peuvent être mis en place:

- La solution est injectée dans la nappe (au sommet de la nappe si le polluant est flottant), en amont de la zone à traiter; elle est alors emportée vers l'aval par l'écoulement de la nappe et traverse la zone contaminée qu'elle traite, c'est un système passif;
- la solution est injectée en amont comme dans le cas précédent mais en plus, à l'aval de la zone, l'eau est pompée et recyclée pour être réintroduite dans le circuit, système actif.

### ➤ **Le biosparging**

Cette technique, lors de laquelle, l'air est injecté directement dans la nappe phréatique de traitement in situ allie deux principes de décontamination, la biodégradation et la ventilation.

Cet apport d'oxygène favorise le développement de la biomasse, comme pour une bio décontamination classique, en provoquant la consommation du carbone des composés organiques présents dans le sol et donc leur dégradation.

Dans le biosparging, l'air injecté mobilise, en les vaporisant, les contaminants dissous dans l'eau ou piégés par capillarité dans les pores. Cette phase vaporisée est emportée vers le haut par la remontée des bulles d'air et sera biologiquement dégradé dans le sol non saturé.

Le flux d'air injecté dans le sous sol va être récupéré par aspiration. Cependant, le débit d'injection /aspiration sera maintenu suffisamment faible pour laisser le temps à la flore microbienne du sol de dégrader les composés polluants volatilisés et entraînés par le courant d'air. Cette technique permet ainsi de supprimer (ou de réduire) la nécessité de traiter l'effluent gazeux extrait du sol avant son rejet dans l'atmosphère.

Ce type de procédé s'applique:

- ✓ À différents types de polluants organiques, biodégradables en condition aérobie, volatiles ou non, dont principalement les hydrocarbures (essences),
- ✓ A des sols dont la perméabilité est supérieure à 0,1 darcy [16].
- ✓ Lorsque la microflore du milieu poreux pollué est majoritairement composée de micro-organismes adaptés à la dégradation des polluants du site.

### ➤ **Les bio barrières et écrans biologiques**

Cette technologie est assez récente et est développée pour traiter la nappe in situ. Elle consiste à mettre en place en aval de la pollution (et sur le passage de la nappe) une zone riche en micro-organismes adaptés au contaminant à traiter. Cette zone où il y a une grande activité bactérienne va constituer une véritable barrière biologique, faisant écran à la propagation de pollution. Au passage de la nappe, le contaminant dissous dans l'eau sera dégradé par la biomasse.

Plusieurs types de dispositifs sont possibles. Dans un premier cas, la barrière biologique est installée dans l'aquifère dont la perméabilité pourra être augmentée par fracturation pour créer des niches écologiques. L'augmentation de biomasse est favorisée par l'injection régulière d'une solution nutritive. La zone polluée pourra être isolée physiquement en amont de la barrière ou dirigée vers la barrière biologique.

Un second type de dispositif consiste à réaliser, perpendiculairement au sens de l'écoulement de la nappe et en aval de la zone polluée, une tranchée. On remplit cette tranchée d'un support inerte biologiquement tel que du charbon actif, du sable, de la tourbe qui favorisera le développement des bio films bactériens. L'introduction de micro-organismes sur ce support évite leur dispersion. Ce second dispositif est utilisé lorsque le sous-sol présente une perméabilité insuffisante.

### III.2. Traitements ex situ

Les traitements ex situ peuvent être biologiques ou physiques, et peuvent aussi être entrepris de deux manières, selon que le traitement se fait sur site ou hors site.

#### III.2.1 Procédés biologiques

##### ➤ Le traitement en bio réacteur

Le principe du bioréacteur consiste à réaliser la biodégradation du polluant dans un contenant installé sur le site (cuve fermée, bassin, colonne...) [14], en ajoutant au matériel à traiter, les ingrédients nécessaires à la réaction.

Dans la plupart des cas, deux dispositifs sont envisageables pour le traitement de l'eau.

Le premier dispositif est la technique « en colonne », dans lequel l'eau à dépolluer est envoyée dans une colonne (une ou plusieurs en série), où elle va suivre un chemin en chicanes le long duquel elle sera mise en contact avec un matériau neutre (polyéthylène ou de PVC par exemple). Ce dernier, va servir de support à une biomasse fixée. Au long de ce périple, les polluants organiques présents dans l'eau vont être biodégradés par les micro-organismes fixés.

Dans le second dispositif, l'eau injectée dans une cuve, ouverte ou fermée, et mélangée à une poudre support où est fixée la biomasse (zéolites, algues calcaires...) [16]; le mélange est maintenu en agitation pendant le temps nécessaire à la biodégradation des polluants présents dans l'eau. Après le temps de réaction nécessaire, l'eau traitée est ensuite évacuée et séparée de la biomasse.

#### III.2.2 Procédés Physiques

##### ➤ Pump and Treat

Le *pump and treat* est un procédé *in situ* (pour la partie pompage) et *ex-situ* (pour la partie traitement) (Figure III.5). La traduction littérale du *pump and treat* est le pompage de l'eau souterraine (la nappe phréatique) et le traitement en surface du sol. En réalité, il s'agit simplement d'un moyen de pompage qui permet d'extraire l'eau polluée. Le traitement n'est

pas spécifié et peut varier du simple rejet dans les égouts jusqu'à l'incinération. Le *pump and treat* a été beaucoup utilisé avant que les techniques *in situ* ne soient devenues plus performantes. Cette technique est souvent longue (parfois plusieurs années) du fait des interactions entre le polluant et l'aquifère. Elle reste fréquemment utilisée.

Ce procédé s'utilise en cas de pollution organique ou minérale, libre ou dissoute qui altère la qualité physico-chimique d'une nappe. La phase « libre », non miscible à l'eau n'est généralement pas traitée par ce type de procédé, mais plutôt par le procédé *Rabattement-écrémage* [14].

La zone saturée est traitée à partir des points d'extraction, ces points d'extraction peuvent être des puits verticaux ou des drains horizontaux. Les traitements des eaux en surface sont spécifiques de la nature des polluants et de la physico-chimie des eaux.

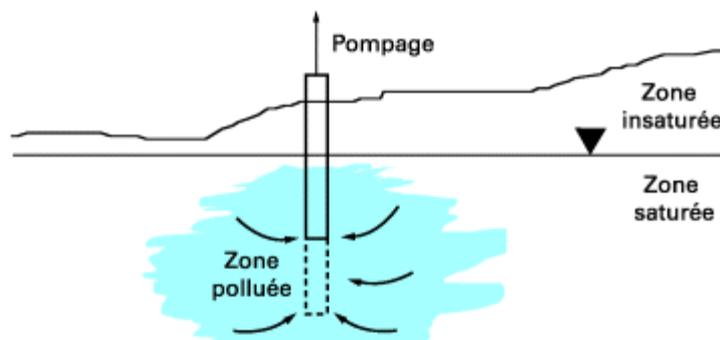


Figure III.5 : Principe du pump and treat

Des mesures de concentration dans l'eau extraite du sol permettent de suivre l'évolution de l'efficacité du procédé et la masse totale de contaminant extraite.

### III.3.Procédés de traitements en voie de développement

#### III.3.1.La phytoremédiation

Sous cette appellation sont regroupées plusieurs processus traitement sur site ou hors site, qui utilisent les végétaux comme épurateurs du milieu. Le principe de base est identique pour tous.

Des végétaux supérieurs spécifiques sont plantés sur la zone à traiter, dans une unité spéciale par où va transiter une eau contaminée.

Les familles des polluants concernées sont d'abord les métaux lourds et les hydrocarbures [4].

##### ➤ La phytoextraction

C'est un processus d'extraction et d'accumulation des contaminants dans les tissus des racines et les parties aériennes des végétaux; la technique est utilisée pour les métaux lourds qui sont littéralement pompés par les plantes et transférés ainsi du sol (à condition qu'ils soient accumulables en quantité suffisantes par les plantes sans devenir toxiques). Au départ, la méthode nécessite la plantation des végétaux spécifiques et l'optimisation de bonnes conditions de croissance. Ensuite, les plantes seront régulièrement coupés et incinérées et les cendres mise en décharge.

Dans le domaine de la phytoextraction, on peut citer les espèces suivantes : le pissenlit, le colza, l'ortie, l'orge, le tournesol, différents crucifères, les saules (souvent utilisés pour l'extraction des métaux lourds) et les peupliers [4].

Diverses espèces de plantes, Brassica, Vernonia, Minuartia, ont été testées sur des sites où les concentrations en zinc, cuivre ou plomb étaient élevées. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec la moutarde indienne (Brassica juncea) qui semble particulièrement efficace pour capter le cuivre et le plomb [12].

➤ **La rhizofiltration**

La rhizofiltration constitue un procédé similaire à la phytoextraction mais elle est généralement utilisée en milieu humide et fait davantage appel à des plantes aquatiques ou semi-aquatiques. C'est une approche qui mise sur la capacité des racines de certaines plantes à « pomper » les métaux et conséquemment à filtrer l'eau. On utilise les racines des végétaux afin d'absorber les métaux présents dans l'eau. En général, les plantes les plus efficaces sont celles qui ont des systèmes de racines très développés.

On trouve de beaux exemples de rhizofiltration dans les systèmes où les plantes aquatiques sont utilisées pour le traitement des eaux usées. On peut citer à ce titre, le roseau est qui la plante filtrante la plus utilisée au monde pour dépolluer les eaux usées que cela soit sous forme de filtre alluvionnaire végétalisé ou sous forme de bassins plantés [12], et le typha qui est une plante très résistante capable de dépolluer des eaux usées très polluées (lisiers, eaux de décharges).. Elle biodégrade très bien les produits pétroliers les H.A.P, les composés chlorés, et résiste à tout : métaux lourds, sels, excès de DCO et DBO<sub>5</sub>.

➤ **la phytodégradation**

La phytodégradation est plutôt applicable aux polluants organiques contenus dans les sols, tels que les produits pétroliers et les BPC. Dans ces situations, on recherchera des végétaux qui vont favoriser la dégradation de ces composés complexes en molécules moins nocives pour l'environnement. Les racines de plusieurs espèces de plantes, ont la capacité de sécréter ou d'exsuder des substances favorisant la dégradation de ce type de polluants. Le maïs (Zea mays), entre autres, est reconnu pour cette aptitude [12].

➤ **La phytostimulation**

Cette technique ne met pas vraiment en contact les polluants et les végétaux. Il s'agit en fait d'une stimulation de la dégradation microbienne et fongique par les exsudats et les enzymes libérées dans la rhizosphère racinaire, ce qui entraîne la destruction des polluants organiques présents;

➤ **Avantages et inconvénients**

La phytoremédiation présente des avantages:

- Elle est sans danger pour l'environnement, économique et esthétiquement plaisante;
- Les métaux absorbés par les plantes peuvent être extraits de la biomasse des plantes récoltées et recyclées;
- Elle peut servir à nettoyer une grande quantité de contaminants.

La phytoremédiation présente également des inconvénients:

- C'est un processus lent puisqu'il dépend du cycle naturel des plantes;
- La phytoremédiation a plus de succès lorsque la contamination se situe à proximité des racines des végétaux, en général à une profondeur de 1 à 1,80m pour les plantes herbacées et de 3 à 4,5m pour les arbres **[4]**;
- Certaines plantes qui absorbent une grande quantité de métaux toxiques pourraient mettre en danger la chaîne alimentaire si des animaux les mangent.

## *Chapitre IV*

### *Méthodologie d'échantillonnage*

*«L'erreur propre aux artistes est de croire qu'ils trouveront mieux en méditant qu'en essayant. Ce qu'on voulait faire c'est en le faisant qu'on le découvre»*

ALAIN (Émile CHARTIER)

---

## IV. 1. Introduction

Les caractéristiques physiques et chimiques des eaux souterraines dépendent d'un certain nombre de facteurs tels que la composition chimique et minéralogique des terrains traversés, la structure géologique, les conditions d'écoulement, les conditions physico-chimiques locales. D'éventuelles pollutions peuvent modifier les caractéristiques naturelles de l'eau. On détermine ces caractéristiques à l'aide de mesures et d'analyses sur des échantillons qui doivent refléter le mieux possible la composition de l'eau dans l'aquifère. Il y a donc lieu de connaître les problèmes potentiels liés à l'échantillonnage ainsi que les diverses méthodes et techniques permettant de les éviter. Dans tous les cas, l'échantillon doit être représentatif de la masse d'eau considérée sans altération aucune entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse.

L'échantillonnage d'une eau comprend les étapes suivantes :

➤ **La préparation des travaux**

Lors de la préparation des travaux, on doit convenir des points de prélèvement, des paramètres à analyser par point de prélèvement, et discuter avec le laboratoire d'analyses des diverses contraintes liées aux techniques et matériels de prélèvement, au stockage et au transport des échantillons en respectant les délais.

➤ **L'établissement d'un programme d'échantillonnage**

En fonction des objectifs de l'étude, il peut s'agir d'une surveillance périodique, de la recherche d'une source de contamination ou de l'évaluation globale de la qualité d'une eau.

➤ **La planification des opérations à chaque point de prélèvement**

Le prélèvement doit être fait en prenant les précautions nécessaires lors des prélèvements pour les mesures et analyses de terrain. Cela passe par le contrôle de la propreté et de l'adéquation du matériel d'échantillonnage, ainsi que du conditionnement éventuel du flacon de l'échantillon.

➤ **Représentativité de l'échantillon et préparation du point d'eau**

Avant de prélever un échantillon d'eau, il faut s'assurer de la représentativité de l'échantillon. Le prélèvement ne peut se faire à un point (puits de captage, forage d'observation, conduite d'eau, bassin, réservoir, etc.) où l'eau a stagné et où sa composition s'est modifiée au cours du temps. Dans de tels cas, il faut absolument renouveler l'eau par pompage ou soutirage jusqu'à ce qu'elle devienne représentative de la portion d'aquifère que l'on veut échantillonner. Pour tester cette représentativité, on contrôlera l'évolution des paramètres physico-chimiques (conductivité, température, oxygène dissous et pH) au cours du renouvellement de l'eau.

- **Stockage des échantillons** Les principes suivants sont à suivre :
- Sitôt après la mise en flacon et l'étiquetage, l'échantillon doit être placé dans une mallette de transport qui permet de le maintenir au frais et qui le préserve de la lumière, des poussières et des salissures.
  - Le transport de l'échantillon au laboratoire se fera dans les plus brefs délais, c'est à dire moins de 12 heures pour les échantillons destinés aux analyses chimiques et moins de 6 heures pour les échantillons destinés aux analyses bactériologiques [4].
  - Au laboratoire, les échantillons doivent être conservés au réfrigérateur entre 3 et 5°C [4].

## IV.2. Méthodologie d'échantillonnage

### IV.2.1. Détermination du sens de l'écoulement des eaux de la nappe superficielle

La détermination du sens de l'écoulement de la nappe superficielle est une étape cruciale au vu du nombre important de puits que compte la zone d'étude, et ce dans le but d'optimiser le nombre d'échantillons d'eau à prélever, et analyser.

À cet égard, l'agence nationale des ressources hydriques a mené en juin 2000 une campagne qui a visé 107 points qui s'étendent tout au long de la vallée, et qui a conduit à l'élaboration d'une carte piézométrique (figure IV.1) et de salinité (figure IV.2). D'autre part, cette étude a mis en évidence que d'une manière générale l'écoulement est généralement d'ouest en est où se déverse toute les eaux du bassin vers l'exutoire naturel à (sebka Sefioune). La qualité chimique de cette nappe est relativement chargée à l'exception de la région de Bounoura où l'eau est douce et présente une qualité chimique très bonne pouvant à l'alimentation en eau potable sous réserve d'une analyse bactériologique (en raison du rejet des eaux usées). La "douceur" de cette eau est due probablement aux apports importants de l'affluent de N'tissa qui se déverse directement dans cette zone [2].

Pour une meilleure connaissance du comportement hydrodynamique et de la qualité chimique de la nappe phréatique de la vallée de l'oued M'Zab, nous avons procédé à une campagne d'inventaire des puits situés dans la zone d'étude, et qui a porté sur les mesures suivantes:

- 1- Positionnement des puits inventoriés ;
- 2- Mesure du niveau hydrostatique de la nappe ;
- 3- Mesure du fond des puits ;
- 4- Prélèvement d'échantillons d'eau pour analyses ;

256 points d'eau (puits) ont été visités. Ils s'étendent tout le long de la palmeraie de la commune de Ghardaïa.

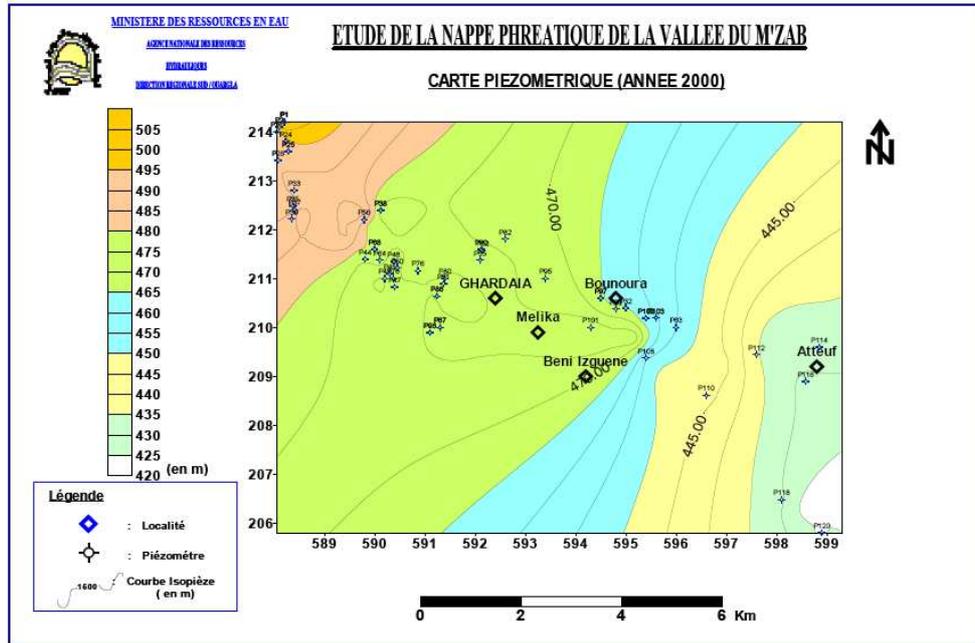


Figure IV.1 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab

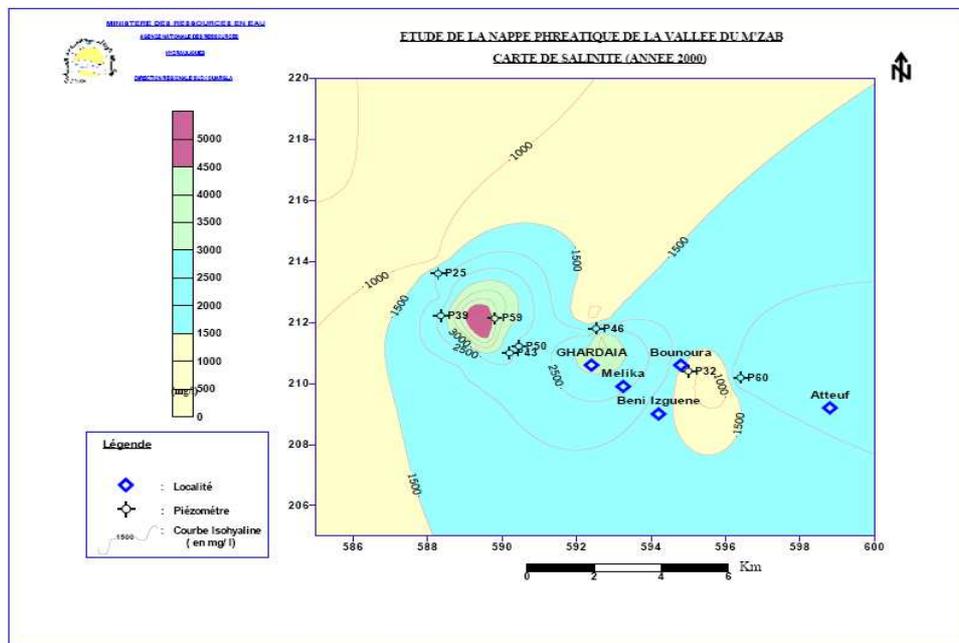
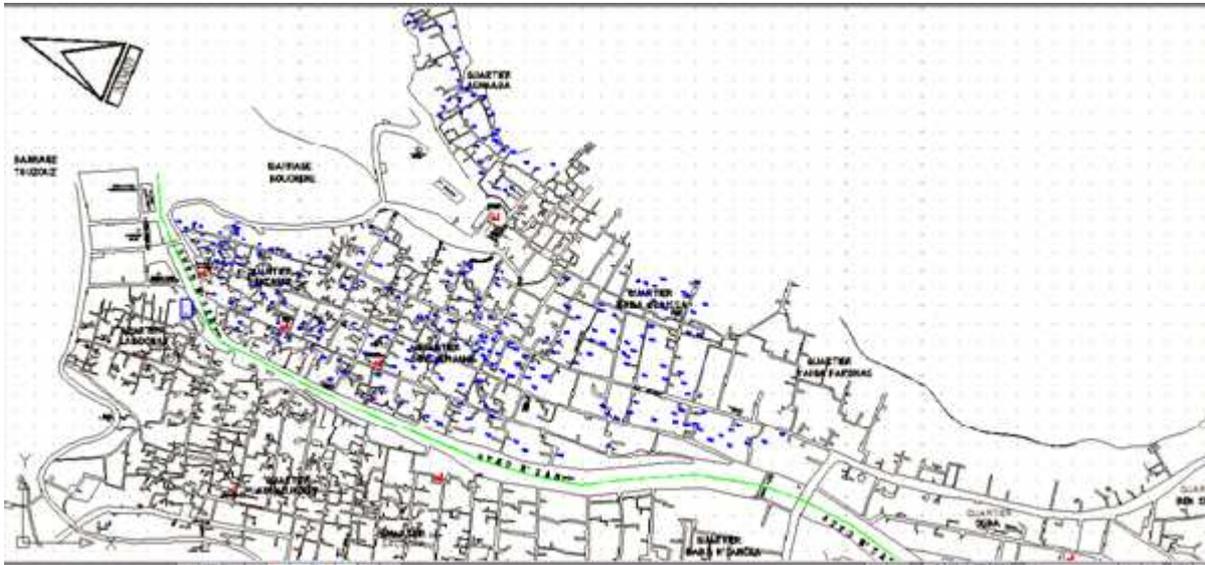


Figure IV.2 : Carte de la salinité de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab

### IV.2.1.1. Etablissement d'un maillage

Dans le but de déterminer le sens d'écoulement de la nappe superficielle, nous avons procédé au positionnement sur carte de l'ensemble des puits recensés figure (Figure IV.3).



**Figure IV.3 :** Carte de positionnement des puits sous Autocad 2009

A partir des données topographiques recueillies[21], des niveaux hydrostatiques mesurés au niveau des points d'eau visités [Annexe5], ainsi que du caractère libre de la nappe de la palmeraie de Ghardaïa, nous avons établi un maillage reliant l'ensemble des puits, et sur lequel figure la direction suivant laquelle s'effectue l'écoulement entre l'ensemble des puits recensés.

Cette direction a été établie sur la base d'un écoulement partant d'une charge hydraulique importante vers une charge moins importante et ceci étant dû à l'absence d'artesianisme dans notre zone d'étude.

Sur la base du dépouillement des données relatives aux mesures et aux résultats analytiques, nous sommes arrivés à la conclusion que le sens de l'écoulement se fait du nord ouest vers le sud est (Figure IV.4), ce qui correspond aux résultats de l'étude menée par l'ANRH à cet égard.

### IV.2.2. Choix des points de prélèvement

Au vu du nombre important de puits que compte la palmeraie, et étant confronté à l'impossibilité d'analyser les eaux de l'ensemble de ces puits, nous avons procédé à la sélection d'un nombre restreint de ces points d'eau.

Sur la base du maillage établi, cette sélection nous a conduits au choix de deux variantes comptant chacune une dizaine de puits.

Ces deux variantes comprennent chacune les puits suivants :

- Variante 1 : 151,255,207,155, 185, 231, 213, 57, 67, 87, 76,21.

- Variante 2 : 125, 59, 1, 49, 224, 93, 197, 184, 150, 154, 206.

Le choix de ces deux scénarios (Figure IV.4) a été guidé par plusieurs critères qui sont :

- ✓ Englober l'ensemble de la palmeraie.
- ✓ Suivre le sens de l'écoulement.
- ✓ L'état des puits, en ce sens que les puits que comptent les deux variantes sont des puits en état de fonctionnement, et que nous avons favorisé ceux qui comptaient le plus grand nombre de pompes afin de garantir au mieux le renouvellement, et donc la représentativité des analyses en vue.

Notre choix (Figure IV.5) s'est finalement porté sur la première variante, et ce pour des raisons de fiabilité des données topographiques relatives aux puits, auxquelles viennent s'ajouter des soucis d'accessibilité des puits en vue de l'exécution des prélèvements.

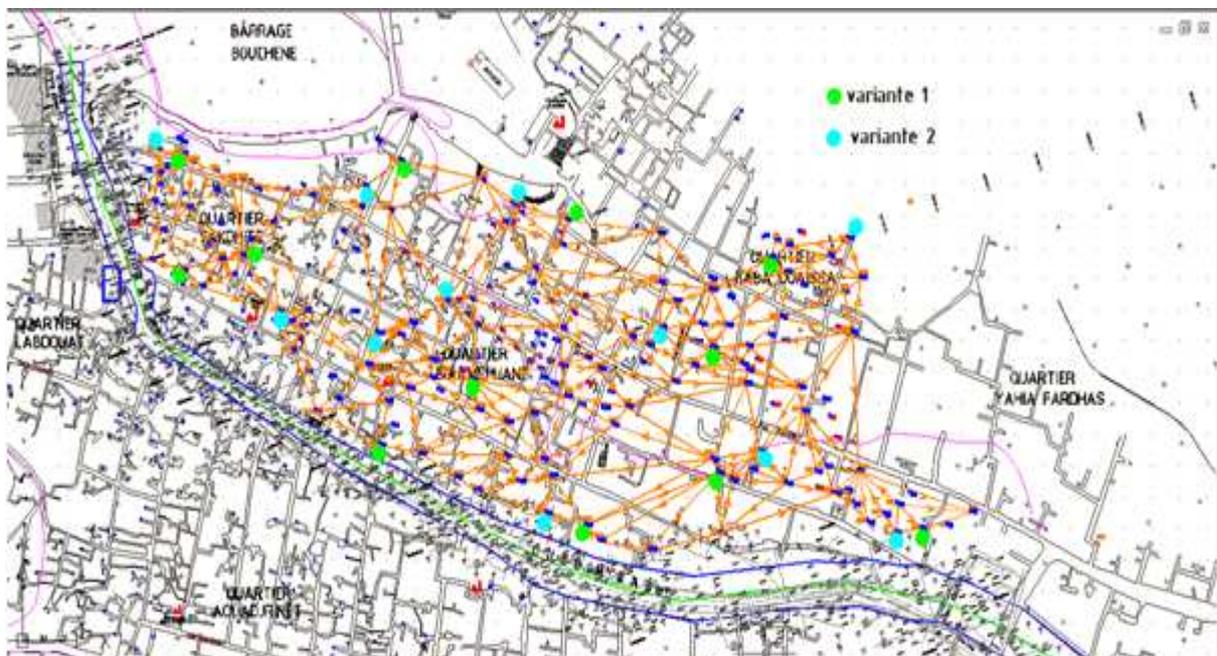


Figure IV.4: Carte du maillage établi sous Autocad 2009

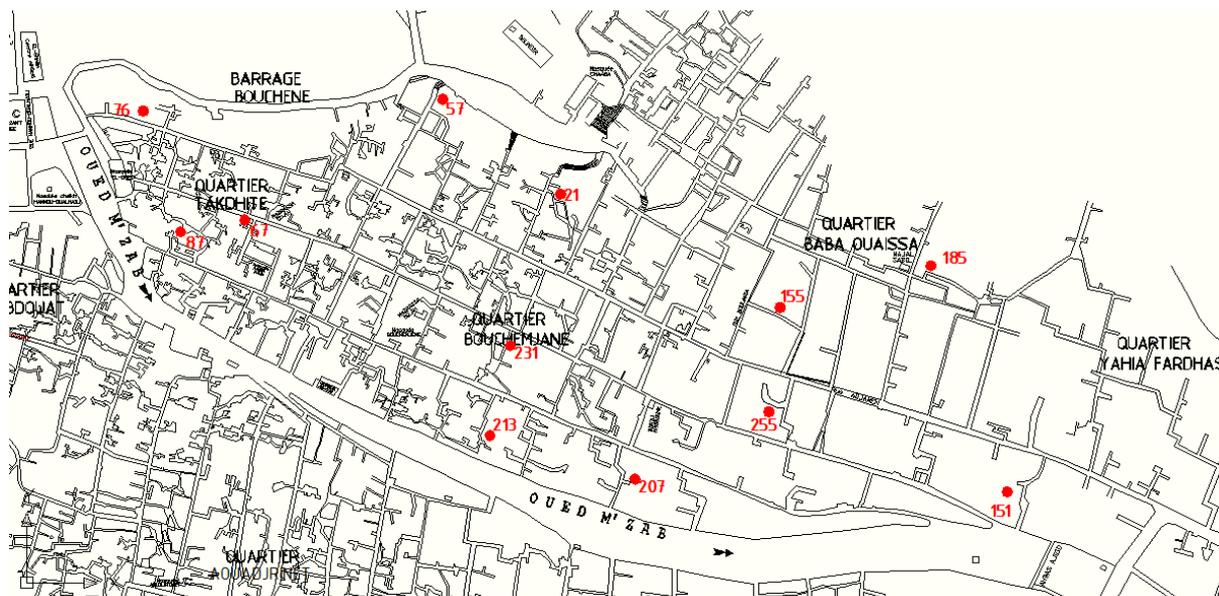


Figure IV.5 : Carte des points de prélèvement.

### IV.2.3. Exécution des prélèvements

Dans le souci de rapporter au mieux les propriétés caractérisant les eaux de la nappe superficielle de la commune de Ghardaïa, la collecte des échantillons s'est déroulée dans le respect des étapes, et consignés suivantes :

- Insertion du dispositif de prélèvement une première fois à mi-profondeur dans le puits afin de le rincer, puis une deuxième fois pour recueillir l'eau à analyser.
- Une fois le préleveur remonté, veiller à ce qu'il ne contienne aucune bulle d'air afin de ne pas modifier les teneurs en gaz.
- Remplissage des flacons destinés aux analyses physico-chimiques en laissant couler l'eau de manière laminaire dans un tube flexible sans entraîner de bulles d'air.
- Remplissage des flacons en verre stériles destinés à l'analyse microbiologique en procédant au flambage de l'embout des flacons à leur ouverture, pendant leur remplissage, ainsi qu'à leur fermeture.
- Mesure in-situ à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductimètre portables des paramètres physiques suivants : pH, température, conductivité électrique.
- Étiquetage des flacons, afin de faciliter leur identification.
- Stockage et transport des échantillons à l'abri de la lumière, et de la chaleur dans un dispositif de transport adéquat prévu à cet effet.
- Transmission des échantillons d'eau ainsi prélevés et transportés aux laboratoires d'analyses.

## *Chapitre V*

### *Méthodologie d'élaboration d'un SIG*

---

*«Le mot "je ferai" a perdu des empires.  
Le futur n'a de sens qu'à la pointe de  
l'outil»*

*ALAIN (Émile CHARTIER)*

---

## **V.1. Présentation du Système d'information géographique**

### **V.1.1. Introduction**

Un système d'information géographique (SIG) est un outil informatique permettant d'organiser et présenter des données alphanumériques spatialement référencées, ainsi que de produire des plans et cartes. Ses usages couvrent les activités géomatiques de traitement et diffusion de l'information géographique.

Le rôle du système d'information est de proposer une représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur des primitives graphiques telles que des points, des vecteurs (arcs), des polygones ou des maillages (raster). À ces primitives sont associées des informations attributaires telles que la nature (route, voie ferrée, forêt, etc.) ou toute autre information contextuelle (nombre d'habitants, type ou superficie d'une commune par ex.).

L'information géographique peut être définie comme l'ensemble de la description d'un objet et de sa position géographique à la surface de la Terre.

Dans son acception courante, le terme fait référence aux outils logiciels. Cependant, le concept englobe l'ensemble constitué par les logiciels, les données, le matériel et les savoir-faire liés à l'utilisation de ces derniers. On peut aussi parler de système d'information à référence spatiale (SIRS) pour les données et leur structuration. L'acronyme SIT (système d'information sur le territoire) est aussi utilisé dans quelques pays francophones. Enfin, les sigles BDU (banque de données urbaine), voire BDT (banque de données sur le territoire), plus anciens, peuvent se rencontrer ici et là [21].

### **V.1.2. Historique**

On cite souvent comme première application des SIG l'étude menée avec succès par le docteur John Snow pendant l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854. Ayant représenté sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau, il détermina que c'était l'eau d'un certain puits qui était le foyer de contamination. On peut faire du SIG sans ordinateur.

Le développement des SIG dans la science et l'aménagement du territoire a été permis par l'avancée de la technologie informatique, et encouragée par prise de conscience environnementale et de nouvelles approches scientifiques transdisciplinaires, intégratrices. Depuis les années 1970, notamment depuis le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 qui a généré une demande croissante de cartes présentant l'état de l'environnement et utiles pour mesurer les impacts du développement.

Maguire *et al.* (1991) distinguent trois périodes principales dans l'évolution des SIG :

- fin des années 1950 – milieu des années 1970 : début de l'informatique, premières cartographies automatiques ;
- milieu des années 1970 - début des années 1980 : diffusion des outils de cartographie automatique/SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...) ;
- depuis les années 1980 : croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données distribuées, avec depuis les années 1990, des applications sur Internet) et une banalisation de l'usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...) [21].

## V.2. Présentation du Logiciel MapInfo

MapInfo est un logiciel utilisé sur PC. Il est caractérisé par son utilisation dans le domaine de la géographie. Il permet de faire une analyse des données à base de couches thématiques. Il a encore la particularité de cartographier les données.

MapInfo est caractérisé par un format vectoriel simple qui est constitué des lignes indépendantes qui se superposent.

Les avantages de MapInfo sont :

- Il permet l'importation et l'exportation des fichiers élaborés sous Autocad ou Arc View (DWG, Shp) ;
- Affichage et collage des images scannées, photo satellite ou image Raster ;
- Possède des fonctions de calcul (surface, périmètre, moyenne...) ;
- Lectures directes des formats : Access, Excel, txt, ASCII ;
- Permet la superposition et la visualisation des informations avec interaction entre les données ;
- Création de légende automatiquement ;
- Gestion d'objet type point, polygone et polyligne ;
- Offre des vues multiple et interactive ;
- Présentation et impression des travaux effectués pour une bonne communication ;
- Un langage de programmation (Map basic) qui permet de développer ou de personnaliser une application ;
- Il permet la localisation d'une donnée par rapport à une autre tout en faisant un lien entre les deux (géocodage).

Les inconvénients sont

- Il offre un faible choix de graphiques pour une analyse thématique des cartes ;
- Ne permet pas le transfert d'un document vers un fichier Word qu'après traitement de celui-ci par un logiciel d'illustration (problèmes d'incorporation).

### V.3. Elaboration du système d'information géographique

Afin de mieux connaître le nombre, ainsi que la répartition spatiale des puits de la palmeraie de la commune de Ghardaïa, nous avons procédé à une campagne de recensement avec positionnement sur carte de ces points d'eau.

Ce recensement a permis la collecte d'informations relatives à ces puits, et ainsi de les classer selon leur état ou leur accessibilité.

Ainsi nous avons constaté que la palmeraie compte 256 puits dont :

- 185 puits fonctionnels dont 2 endommagés par la crue ;
- 33 puits remblayés ;
- 21 puits auxquels nous n'avons pas pu avoir accès ;
- 17 puits non fonctionnels dont 7 endommagés par la crue ;

Une fois l'ensemble de ces puits, et les informations les concernant, recensés, et dans le but de les intégrer dans un système informatique, nous avons jugé utile d'élaborer un Système d'information géographique(SIG) qui synthétiserait toutes les données recueillies.

### V.4. Intégration des données dans le SIG MapInfo

#### Étape n°1 : Intégration de la carte de la palmeraie

Le logiciel MapInfo 8.5 permet, comme cité ci-dessus, l'importation de fichiers Autocad, et leur intégration dans un fichier MapInfo. En important ainsi les fichiers, Mapinfo procède au calage automatique de la carte à travers la conversion directe des coordonnées des points du fichier source Autocad.

L'outil qui permet cette conversion est le traducteur universel, qui permet l'intégration ainsi que le calage de la carte (Figure V.1).

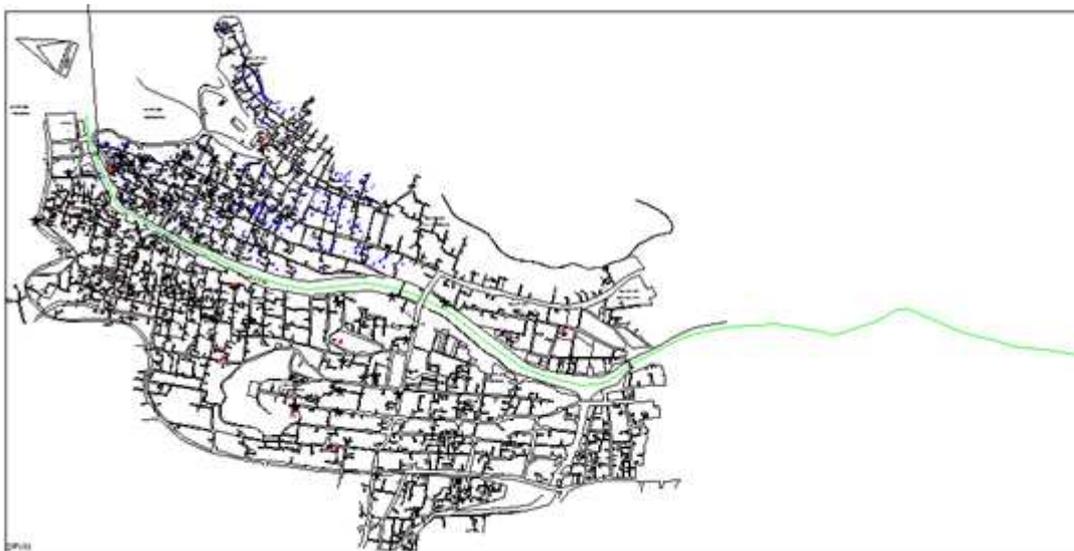


Figure V.1 : Conversion de la carte de la palmeraie de Ghardaïa

## Étape n°2 : Digitalisation

Elle consiste à vectoriser les objets (puits), c'est-à-dire former une couche thématique. Mais l'information dont on aura besoin, n'est pas seulement l'objet lui-même, mais son information attributaire qui est formée des coordonnées planimétriques (x, y), altimétriques z, et des caractéristiques de chaque puits issues des mesures effectuées, et des résultats d'analyses menées.

La création d'une couche thématique consiste en la création d'une nouvelle table dans laquelle nous introduirons les informations relatives aux points de la carte auxquels on s'intéresse.

L'attribution des données (Figure V.2) se fait après avoir structurer la table.

Une fois l'opération terminée (digitalisation de tous les points sur la carte). Nous obtiendrons une couche informatisée des caractéristiques de différents points de la carte (Figure V.3).

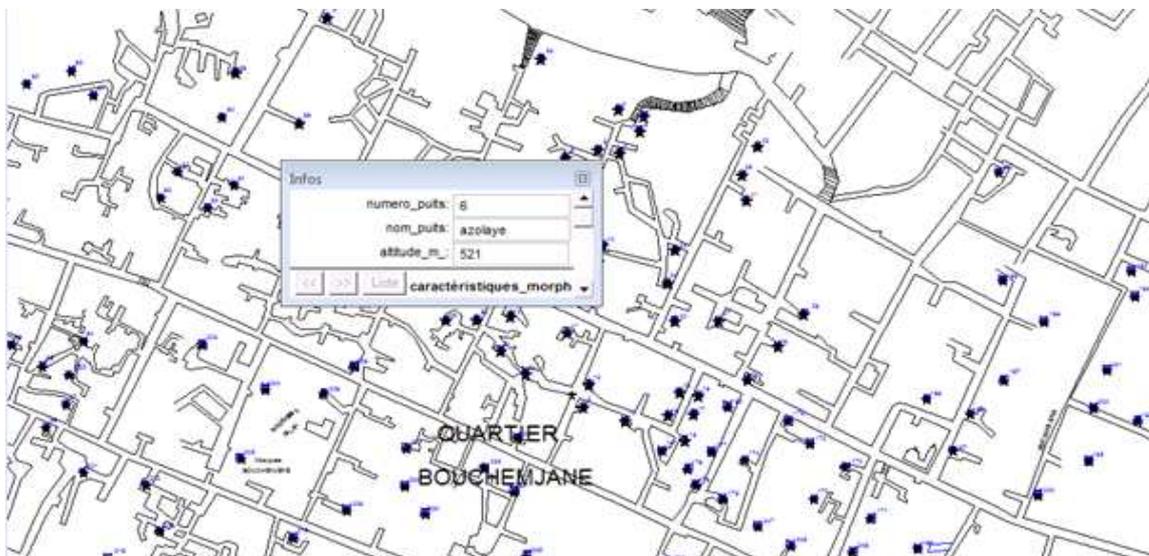


Figure V.2 : Enregistrement des données sous MAPINFO 8.0



Figure V.3 : Puits de la palmeraie digitalisés sous MAPINFO 8.0

## *Chapitre VI*

### *Résultats et interprétations*

---

*«Chaque progrès donne un nouvel espoir, suspendu à la solution d'une nouvelle difficulté. Le dossier n'est jamais clos»*

*Claude LÉVI-STRAUSS*

---

Afin de caractériser au mieux les eaux prélevées au niveau des puits de la palmeraie de Bouchene, nous avons effectué in situ les mesures de pH, de conductivité, de température, et des analyses des paramètres physico-chimiques, et bactériologiques à Ghardaïa respectivement dans les laboratoires de l'Algérienne des eaux (ADE) et dans celui du centre Algérien de contrôle de qualité et d'emballage.

Ces analyses ont porté sur :

1. Paramètres physico-chimiques : pH, température, conductivité électrique, oxygène dissous, résidu sec à 105°C, turbidité, dureté totale (TH), sels totaux dissous (TDS), titre alcalimétrique complet (TAC), demande chimique en oxygène (DCO), calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, ammonium, nitrates, nitrites, phosphates, chlorures, et les sulfates.
2. Paramètres microbiologiques : germes aérobies à 22°C et 37°C, coliformes, coliformes fécaux, Escherichia-coli, streptocoques, anaérobies sulfito-réductrices.

## **VI. 1. Résultats des analyses des puits étudiés**

### **VI. 1.1. Paramètres physico-chimiques**

Les tableaux IV-1-a et IV-1-b illustrent les résultats des analyses physico-chimiques et biologiques des puits étudiés. Nous passerons en revue les différents résultats et leurs conformité vis-à-vis des normes en vigueur notamment celles exigées pour la potabilité et l'irrigation.

Nous discuterons également de la précision et fiabilité des résultats obtenus étant donné que nous n'avons pu réaliser qu'une seule campagne de prélèvements et que les analyses des différents paramètres n'ont pu être dédoublés ou triplés.

Tableau VI-1-a : Caractéristiques physico-chimiques des puits étudiés.

N° puits	Heure	Date	Résidu sec à 105°C (mg/L)	Turbidité (NTU)	Conductivité (µs/cm)		TDS (mg/L)	Salinité ‰	pH		T (c°)	Oxygène dissous (mg/L)	Degré de saturation (%)	TH (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	TAC (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )
					*	**			*	**					
231	10h15	14/06/09	2200	0,45	2990	2945	1497	1,5	6,93	6,93	24,8	7,5	100,7	952	308
76	8h05	14/06/09	2200	0,81	1640	1680	841	0,8	7,3	7,36	22,4	8	103,8	394	146,5
67	7h10	14/06/09	1860	1,34	2450	2502	1287	1,3	6,97	7,03	21,3	8	101,6	674	283,5
87	7h40	14/06/09	688	4,02	862	890	442	0,4	7,38	7,42	21,7	7,9	99,2	292	161,5
57	9h00	14/06/09	1700	0,31	2370	2410	1195	1,2	7,01	6,96	24,2	7,2	92,4	630	213
255	19h35	14/06/09	2782	0,47	3590	3510	1860	1,9	7,55	7,49	21,9	7,6	100	1476	358
155	19h00	14/06/09	3116	0,73	3290	3300	1700	1,7	7,65	7,68	22,4	7,4	96,5	1476	309
207	20h05	14/06/09	4502	1,3	5340	5410	2840	2,9	7,26	7,18	21,7	7,4	95,7	1668	475
185	8h21	15/06/09	3174	0,61	3660	3700	1841	1,9	7,39	7,42	21,9	7,4	95,1	1752	275
21	7h30	15/06/09	2670	0,51	3610	3580	1797	1,8	7,31	7,34	21,1	7,4	95	1772	331
151	20h30	14/06/09	4972	2,74	9210	9200	4820	5	7,21	7,25	23,1	7,5	95,6	2432	315
213	6h45	15/06/09	982	2,95	1168	1194	545	0,5	7,78	7,90	20,9	7,6	96,5	386	167

\* mesures in situ

\*\* mesures ex situ

Tableau VI-1-b : Caractéristiques physico-chimiques des puits étudiés

N° puits	Heure	Date	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	DCO (mg/L)
231	10h15	14/06/2009	242,08	84,57	0,07	0,08	170	28	0,15	0,06	728,44	0,06	309,56	106,12
76	8h05	14/06/2009	72,94	51,51	0	0,03	60	9	0,05	1,19	321	0,01	104,72	675,36
67	7h10	14/06/2009	95,39	105,94	0,02	0,04	150	37,2	0,06	0,09	629,67	0,03	270,86	125,42
87	7h40	14/06/2009	50,5	40,33	0,56	0,19	30	11	0,15	0,18	321	0,01	84,84	115,77
57	9h00	14/06/2009	80,16	104,49	0,2	0,06	195	20	0,04	0	633,78	0,01	305,65	86,832
255	19h35	14/06/2009	145,89	270,21	0,06	0,04	255	32	0,03	0	1057,68	0	459,37	86,832
155	19h00	14/06/2009	286,97	184,68	0,1	0,07	165	17,4	0,32	0	1111,18	0	358,55	89,832
207	20h05	14/06/2009	386,37	171,07	0,76	0,08	195	37,2	0,34	0	1514,5	0,03	830,7	125,42
185	8h21	15/06/2009	464,92	143,85	0,03	0,46	195	22,6	5,59	2,57	1432,19	0,01	376,07	224,57
21	7h30	15/06/2009	202	308,12	0,08	0,08	255	18,6	12,4	0	831,33	0,01	482,8	10,208
151	20h30	14/06/2009	519,43	276,04	0,06	0,18	370	32	9,8	1,31	740,79	0,01	772,48	35,728
213	6h45	15/06/2009	84,96	42,28	0,19	0,08	375	18	0,25	0,49	366,27	0,01	149,1	40,83

## VI. 1.2. Paramètres microbiologiques

Tableau VI-2 : Caractéristiques microbiologiques des puits étudiés

N° puits	Heure	Date	Germes aérobies à 22°C(UFC/mL)	Germes aérobies à 37°C(UFC/mL)	coliformes/100mL	coliformes fécaux /100mL	Escherichia- coli	Streptocoques	Anaérobies sulfito- réducteurs à 46°C
231	10h15	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	272	3,6	3,6	ABS	PRE	ABS
76	8h05	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	470	24	24	PRE	PRE	ABS
67	7h10	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	560	4,3	4,3	ABS	PRE	ABS
87	7h40	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	160	0,36	0,36	ABS	PRE	ABS
57	9h00	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	216	2,1	2,1	PRE	PRE	ABS
255	19h35	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	608	0,36	0,36	ABS	PRE	ABS
155	19h00	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	232	21	21	PRE	PRE	ABS
207	20h05	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	400	0,74	0,74	ABS	PRE	ABS
185	8h21	15/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	460	0,92	0,92	ABS	PRE	ABS
21	7h30	15/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	94	9,3	9,3	ABS	PRE	ABS
151	20h30	14/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	116	21	21	PRE	PRE	ABS
213	6h45	15/06/2009	> 3.10 <sup>2</sup>	400	0,36	0,36	ABS	PRE	ABS

## VI.2. Vérification de la fiabilité des résultats d'analyses

Il n'existe pas de test absolu pour la vérification des résultats analytiques, sinon que la méthode utilisée ne doit pas introduire de sources d'erreur. La méthode la plus satisfaisante est celle de l'établissement de la balance ionique dans le cas d'eau présentant des pH proches de la neutralité.

### VI.2.1. Méthode de la balance ionique

Les solutions sont électriquement équilibrées et donc la somme des charges positives est égale à la somme des charges négatives. La balance électrique doit être correcte. L'écart relatif entre la somme des charges cationiques, et la somme des charges anioniques sert de critère principal pour l'évaluation de la qualité des résultats de l'analyse.

Il est possible de classer les différentes situations rencontrées selon trois cas types :

1. Le défaut de balance est important; il excède 10 à 15% **[18]**. Ces analyses poseront des problèmes. Pour autant, elles ne sont pas forcément à jeter. Il faut étudier la situation de plus près.
  - \*) Le défaut de balance peut être dû à une liste incomplète de paramètres analysés. En fait un élément majeur pour cette solution n'a pas été dosé.
  - \*) le défaut de balance est lié à une précision médiocre de l'ensemble des éléments ou de certains d'entre eux.
2. Le défaut de balance est faible ; il est compris entre 3 et 10% **[18]**. Les données sont de bonne qualité.
3. Le défaut de balance est nul concrètement s'il est inférieur à 1% **[18]**.

### VI.2.2. Évaluation de la balance ionique

Sur la base des résultats d'analyses physico-chimiques présentés dans les tableaux VI-1-a et VI-b, les balances ioniques des différents points de prélèvement ont été calculées, et présentées dans le tableau VI-1-3 :

**Tableau VI-3 : Résultats de calcul de la balance ionique**

N° puits	Somme des cations (méq/L)	Somme des anions (méq/L)	Balance(%)
231	27,2	30,06	4,885
76	10,78	12,61	7,824
67	21,07	26,43	11,28
87	7,50	12,32	25,59
57	21,72	26,09	9,14
255	41,72	42,15	0,71
155	36,74	37,21	0,63
207	42,30	61,15	18,21
185	43,55	43,66	0,12
21	47,13	37,73	11,07
151	65,70	43,69	20,12
213	24,51	15,19	23,49

À partir du tableau ci-dessus on tire les conclusions suivantes :

1. Le défaut de balance est faible pour les puits 231, 76, 67,57, et quasiment nul pour les puits 255, 155, et 185. On en déduit donc que les résultats de ces analyses sont satisfaisants.
2. Les résultats d'analyses des eaux des puits 87, 207, 21,151 et 213 présentent un défaut de balance important qui mettent en doute la validité de ces résultats, d'autant plus que le pH de ces eaux est proche du pH de neutralité. Ces écarts peuvent être dus à la présence d'un ou plusieurs éléments qui n'ont pas été dosés, ou bien à un défaut de manipulation lors de l'analyse au laboratoire.
3. En plus d'une campagne d'analyse nécessaire à la vérification de la reproductibilité des résultats, il apparaît essentiel, au vu des défauts de balance constatés, de réaliser d'autres séries d'analyses avec éventuellement dosage d'éléments supplémentaires, afin de mieux apprécier les propriétés physico-chimiques des ces eaux.

### VI. 3. Critères d'usage de l'eau

Selon l'usage auquel on destine une eau, elle sera soumise à des normes et exigences propres aux applications envisagées.

#### VI. 3.1. Évaluation de la potabilité de l'eau

La comparaison des résultats d'analyses des puits étudiés présentés dans les tableaux VI-1-a, VI-1-b, et VI-1-2, sous réserve de leur conformité, avec les normes fixées par l'organisation mondiale de la santé(OMS) ainsi que celles de l'union européenne(CEE) [**Annexe1, 2,3**], et

sous réserve d'un degré de précision appréciable, nous permet d'évaluer le degré de potabilité des eaux prélevées.

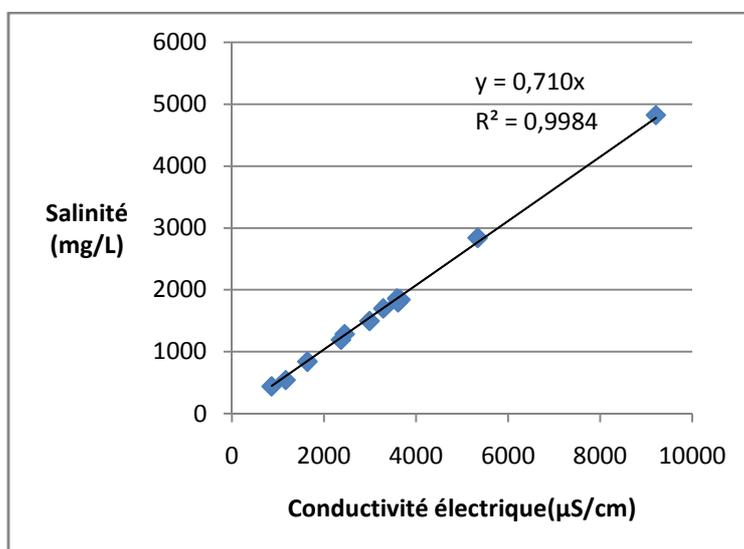
### VI. 3.1.1. Paramètres physiques

- **ph** : Les valeurs du ph obtenus varient entre 6.93 et 7.78, ces valeurs respectent les limites fixées par l'OMS et l'UE [Annexe1].
- **Température** : Toutes les températures mesurées sont inférieures à 25°C, et donc conformes aux normes [Annexe1].
- **Conductivité** : Dans la palmeraie de Ghardaïa, les valeurs de la conductivité électrique sont globalement élevées, et croient suivant le sens de l'écoulement de la nappe. À l'exception du point 87 qui respecte les normes CEE et OMS [Annexe1], et des points 76, 67, 87, 57 ainsi que 213 qui respectent la seule norme OMS, tous les autres points ne respectent pas les limites fixées.

La conductivité électrique d'une eau traduit la concentration des substances qui y sont dissoutes. Les espèces dissoutes dans une eau ne contribuant pas toutes à sa salinité, une relation linéaire lie la conductivité à la quantité totale des sels dissous par la relation suivante :

$$\text{TDS (mg/l)} = 0,758 * \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ [1]}$$

Où : la conductivité électrique varie entre 833 et 10000  $\mu\text{S/cm}$ .



**Figure VI.1** : Relation entre la salinité et la conductivité électrique

La pente du graphe  $\text{TDS}=\text{F}(\text{conductivité})$  est de l'ordre de 0,710, ce qui démontre une bonne corrélation entre ces deux paramètres au vu de la pente théorique (0,758).

Une seconde relation physique lie cette fois-ci la conductivité à la force ionique et au résidu sec:

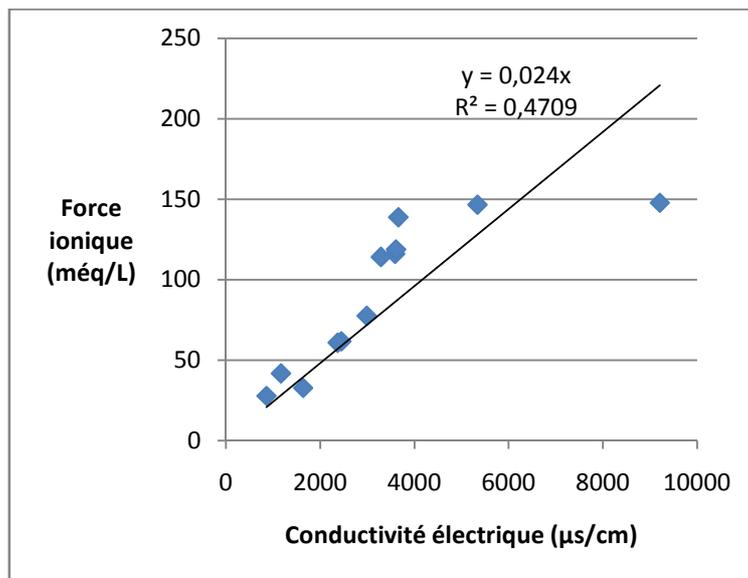
$$\text{Force ionique} = 1,65 \cdot 10^{-5} \times \text{conductivité} = 0,5 \times \sum [C_i \times Z_i^2] = 2,5 \cdot 10^{-5} \times \text{résidu sec}$$

Avec :  $C_i$  : concentrations des différents éléments dosés exprimées en  $\text{éq/L}$   
 $Z_i$  : La valence des différents ions.

La représentation graphique (Figure VI.3) des différentes valeurs de la conductivité et de la force ionique révèle une droite dont la pente est de 0,024 et un coefficient de régression de 0,47 qui ne concorde donc pas avec la pente théorique.

Ayant obtenu des valeurs de la mesure de la conductivité effectuées in situ et au laboratoire qui sont proches, on supposera donc la fiabilité des valeurs de la conductivité.

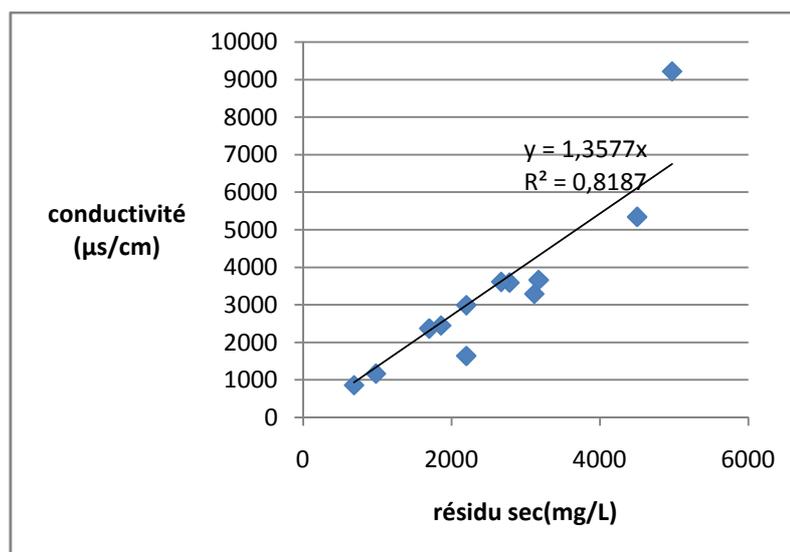
Dans ce contexte, l'écart constaté entre la pente théorique et pratique révèle une surestimation des résultats du dosage de quelque voire plusieurs éléments, et pourrait écarter l'éventualité d'une omission d'éléments non dosés comme énoncé lors du calcul de la balance ionique.



**Figure VI.3 :** Relation entre la conductivité électrique et la force ionique

Une troisième relation découlant de la relation de force ionique lie la conductivité au résidu sec:

$$\text{Conductivité } (\mu\text{s/cm}) = 1,51 \cdot \text{résidu sec filtrable (mg/L)}$$



**Figure VI.2 :** Relation entre la conductivité électrique et le résidu sec

La figure VI.2 représentant l'évolution de la conductivité en fonction du résidu sec ne passant pas par l'origine du repère, indique ainsi une conductivité nulle pour un résidu sec non nul. Cette anomalie est due, en supposant la fiabilité des valeurs de la conductivité, à des valeurs du résidu sec total (non filtrées).

- **Résidu sec total :** Dans la partie amont de la palmeraie, à l'exception du puits 76, les valeurs du résidu sec respectent la norme de l'OMS fixée à 2000mg/L [Annexe1]. Tandis que dans la partie aval, les valeurs dosées dépassent cette norme. Globalement, le résidu sec croît suivant le sens de l'écoulement.
- **Turbidité :** la turbidité de l'ensemble des eaux prélevées est conforme aux normes [Annexe1].
- **Oxygène dissous :** les proportions d'oxygène présentes dans les échantillons analysés donnent des taux de saturation globalement proches de 100%, ce qui est satisfaisant [Annexe1]. Cependant, au niveau des puits 231, 57, 151, on constate des incohérences dans les valeurs de l'oxygène dissous et du degré de saturation sur des températures voisines. Cette anomalie peut provenir d'un défaut de manipulation lors du prélèvement ou de la mesure qu'il faudrait reconsidérer.

### VI. 3.1.2. Minéralisation globale

- **La dureté totale (TH) :** La dureté totale de l'eau est due à la présence de magnésium et de calcium. On observe que la dureté totale est élevée dans l'ensemble de la palmeraie à l'exception des puits 76, 87, 213. Les fortes teneurs en Calcium et en

magnésium sont en relation directe avec la nature géologique des terrains calcaires traversés, et évoluent ainsi suivant le sens de l'écoulement de la nappe.

- **Titre alcalimétrique complet(TAC) :** Il traduit l'alcalinité d'une eau, et permet de connaître la quantité d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogencarbonates. L'ensemble des échantillons analysés présentent des TAC conformes à la norme de l'OMS et augmentent suivant le sens de l'écoulement.
- **Potassium :** On observe que les concentrations de potassium dans les eaux de la nappe phréatique sont comprises entre 9 et 37.2 mg/l. Les teneurs en potassium évoluent suivant les sens de l'écoulement et ne dépassent pas les normes de l'OMS en amont de la palmeraie, contrairement aux puits situés à l'aval à l'exception du puits 155.
- **Sodium :** c'est un des constituants majeurs de l'écorce terrestre en raison de la forte solubilité de ses sels.  
Les teneurs en sodium sont conformes aux normes de l'OMS, sauf aux abords de l'oued M'Zab où la présence du sodium dépassent 200 mg/l.
- **Chlorures :** Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables dont l'origine peut être :
  - La percolation à travers des terrains salés.
  - Rejets humains.On observe des concentrations élevées en chlorures ne respectant pas les normes de l'OMS, sauf au niveau des puits 67 et 87 situés à l'amont de la palmeraie. Ceci doit être dû aux défauts de balance constatés au niveau de ces deux puits.
- **Les sulfates :** Les concentrations en sulfates dépassent largement les limites fixées par l'OMS, et ce dans l'ensemble de la palmeraie. En l'absence d'industrie dans la région, ces valeurs élevées proviennent probablement de la dissolution de gypse constituant les terrains traversés.
- **Fer :** Les teneurs en fer répondent aux normes à l'exception des puits 87 et 207.

### VI. 3.1.3. Paramètres de pollution

- On observe dans l'ensemble de la palmeraie l'absence de pollution azotée (nitrates, nitrites, ammonium) [Annexe2]. Ceci révèle un usage modéré des engrais et fertilisants en amont et dans la palmeraie.
- **Les phosphates :** La présence de phosphates dépasse les normes OMS [Annexe2] de manière ponctuelle en amont au niveau du puits 76, et à l'aval de la palmeraie (puits 151,76 et 185). Ceci peut provenir des défauts de balance ou bien de manière moins probable de l'usage immodéré de fertilisants.

- **La demande chimique en oxygène(DCO) :** La DCO représente l'enveloppe de tout ce qui est susceptible de demander de l'oxygène (composés biodégradables et non biodégradables) [6]. Seuls les puits 185 et 76 présentent des DCO dépassant la limite de 120 mg d'O<sub>2</sub>/L fixée par l'OMS [Annexe 2].

Les teneurs en oxygène dissous étant toutes proches des taux de saturation, ceci nous laisse penser que la matière biodégradable est présente dans de faibles proportions dans les eaux prélevées. Un dénombrement total des microorganismes présents dans l'eau, nous aurait permis de conforter cette déduction et d'établir une corrélation entre la DBO, DCO, et oxygène dissous.

#### VI. 3.1.4. Paramètres bactériologiques

Le tableau VI-3 représente les résultats de la recherche des différents germes rencontrés dans les eaux de puits. On remarque dans l'ensemble des puits un nombre élevé dépassant la norme [Annexe 3] de germes aérobies, ainsi que la présence de streptocoques, de coliformes fécaux et plus particulièrement d'Escherichia-coli au niveau des puits 76, 57, 155, 151 qui pourraient provenir des fosses septiques présentes dans la palmeraie.

Les résultats d'analyses révèlent aussi l'absence de bactéries sulfito-réductrices, ce qui répond à la norme de potabilité [Annexe 3].

Après analyse des résultats des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux de puits, on constate des défauts de balance qui se révèlent être dus à une surestimation lors du dosage des différents éléments, ce qui impose par conséquent d'autres campagnes d'analyses et vérification de la fiabilité et de la précision des résultats.

En supposant conformes les résultats obtenus, on constate que l'eau prélevée présente une minéralisation à priori élevée due à la présence notamment dans de fortes proportions de chlorures et de sulfates, et présente aussi une dureté élevée due aux teneurs importantes en calcium et magnésium. Les eaux sont également exemptes de pollution azotée et de phosphates.

D'un point vu microbiologique, la présence de streptocoques, de coliformes fécaux, et d'Escherichia-coli rendent cette eau impropre à la consommation humaine.

#### VI. 3.2. Évaluation de la qualité de l'eau pour les besoins de l'agriculture

La comparaison des résultats d'analyses présentés, sous réserve de leur conformité, avec les normes concernant les eaux destinées à l'irrigation [Annexe 4], nous permet d'évaluer la qualité de ces eaux pour les besoins de l'irrigation.

##### VI. 3.2.1. Paramètres bactériologiques

- **Coliformes fécaux :** le nombre de coliformes fécaux présents dans l'eau des puits répond à la norme (1000 bactéries coliformes présents dans 100 mL de solution) [Annexe 4] qui concerne les cultures consommées crues.

### VI. 3.2.2. Paramètres physico-chimiques

- **Fer** : les teneurs en fer étant très faibles, elles respectent donc la valeur limite de toxicité [Annexe 4].
- **Sodium** : en raison des teneurs importantes en sodium de l'ensemble des échantillons, ces eaux ne conviennent pas en l'état à l'irrigation par aspersion, ni à l'irrigation en surface [Annexe 4]. En effet, elles pourraient avoir des effets néfastes sur les cultures sensibles.
- **Chlorure** : les échantillons des puits 255, 155, 207, 185, 21, 151 présentent des concentrations en chlorures qui ne conviennent pas en l'état à l'irrigation par aspersion et en surface. Les eaux des puits restant conviennent uniquement à l'irrigation en surface [Annexe 4].
- **Sels totaux dissous(TDS)** : Aucun échantillon d'eau analysé ne présente de teneur en sels dépassant la norme [Annexe 4] fixée pour l'irrigation.
- **pH** : les pH mesurés varient entre 6.93 et 7.78, et sont donc tous conformes à la plage réglementaire.
- **Température** : les températures mesurées ne dépassent pas 35°C, par conséquent elles conviennent [Annexe 4] à l'irrigation.
- **Bicarbonates** : les teneurs en bicarbonates répondent aux normes [Annexe 4] de l'irrigation car elles sont inférieures à 518 mg.
- **Sulfates** : Les concentrations en sulfates dépassent largement les limites d'irrigation [Annexe 4].

### VI.3.2.3. Rapport sodium-adsorption

Le risque de sodium d'une eau d'irrigation dépend de la quantité qu'elle en contient et de son rapport avec les cations bivalents, calcium et magnésium.

L'indice le plus digne de confiance du risque de sodium ou de la tendance d'une eau d'irrigation à former un sodium échangeable dans le sol est le rapport sodium adsorption (RSA). Il est défini par :

$$RSA = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Où les concentrations des ions dans l'eau d'irrigation sont exprimées en méq/L.

Le RSA de la majorité des eaux de surface est faible. Dans certaines eaux souterraines il est élevé. Pour des raisons de sécurité, le RSA d'une eau d'irrigation ne devrait pas être supérieur à environ 8.

Le sodium échangeable tend à rendre imperméable à l'air et à l'eau un sol humide et former des croûtes, de sorte qu'après séchage ce sol est difficile à labourer [16].

Le calcul du RSA des eaux prélevées des puits ont donné les résultats suivants :

**Tableau VI-4 : Résultats de calcul du rapport sodium adsorption.**

N° puits	RSA
231	2,3955355
76	1,31424188
67	2,51208005
87	0,76331183
57	3,37781998
255	2,88581951
155	1,86729498
207	2,07591111
185	2,02553487
21	2,633786
151	3,26206119
213	8,29869454

Au vu des valeurs calculées du RSA, on conclut qu'à l'exception de puits 213, le rapport sodium adsorption répond aux exigences de l'irrigation.

#### VI.3.2.4. Carbonate de sodium résiduel

Les bicarbonates sont un important constituant de l'eau par rapport au calcium et magnésium. Il y a tendance à réaction entre le calcium (et dans une certaine mesure le magnésium) et les bicarbonates, avec précipitation de carbonate de calcium. Quand le calcium et le magnésium sont éliminés de l'eau, la proportion relative de sodium augmente, de même que le risque de sodium.

Eaton a proposé en 1950 le terme de carbonate de sodium résiduel comme mesure de ce risque qui est défini comme :

$$CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

Où les concentrations sont exprimées en milliequivalent par litre.

Le CSR est bas dans la majorité des eaux de surface. Beaucoup d'eaux souterraines ont des teneurs qui sont marginales ou trop élevées. Si le CSR est supérieur à 2,5 méq/L, l'eau n'est pas convenable pour l'irrigation. Les eaux contenant de 1,25 méq/L à 2,5 méq/L sont

marginales, tandis que celles contenant moins de 1,25 méq/L sont probablement sûres. Les effets sont les mêmes que ceux causés par le sodium [16].

Le calcul du CSR a donné les résultats suivants :

**Tableau VI-5 : Résultats de calcul du carbonate de sodium résiduel.**

N° puits	CSR (méq/L)
231	-12,88
76	-4,95
67	-7,81
87	-2,61
57	-8,34
255	-22,36
155	-23,34
207	-23,86
185	-29,54
21	-28,82
151	-42,34
213	-4,38

Les résultats du tableau ci-dessus révèlent des valeurs du CSR négatives qui sont, par conséquent, conformes aux exigences de l'irrigation.

### VI.3.2.5. Conclusion

L'évaluation de la qualité des eaux vis-à-vis des normes de l'irrigation, ainsi que le calcul de paramètres caractérisant ces eaux, permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Le RSA des eaux de la nappe ne constituent pas un frein à la perméabilité du sol, et par conséquent à l'épanouissement des cultures irriguées avec cette eau.
- Au vu des fortes teneurs en sodium, sulfates, et chlorures, l'utilisation de ces eaux en irrigation en surface doit faire l'objet d'élimination des proportions en excès de ces éléments.
- Les cultures sensibles au sodium, chlorures et sulfates devront être évitées.

### VI.4. Classification des eaux d'après leur composition chimique

Selon Alekin les eaux sont classées en quatre catégories, selon le rapport de certains ions (exprimés en méq/L)

- Le premier type : est caractérisé par le rapport  $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ . Les eaux de ce type sont le plus souvent faiblement minéralisées, quoiqu'il y ait des exceptions. Elles sont alcalines et douces. Leur formation a été faite par dissolution de certains

minéraux dans la zone de transformation, le plus souvent au contact de roches magmatiques, lesquelles contiennent des quantités considérables de Na et K.

- Le second type : est caractérisé par le rapport  $\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ . Ce type se trouve le plus souvent au contact de diverses roches sédimentaires, ainsi que dans les zones de décomposition d'autres roches solides. Ce type correspond au plus grand nombre d'eaux de rivières, de lacs et d'eaux souterraines ayant une minéralisation petite ou moyenne.
- Le troisième type : est caractérisé par le rapport  $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  ou par le rapport  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$ . Ce type correspond aux eaux mixtes (mélange d'eaux salines et douces), aux eaux de mer et aux eaux souterraines fortement minéralisées.
- Le quatrième type : est caractérisé par le rapport simple  $\text{HCO}_3^- = 0$ , c'est-à-dire que les eaux de ce type sont acides, et n'appartiennent pas à la classe des eaux carbonatées. Elles appartiennent aux classes d'eaux sulfatées et chlorurée.

Le calcul des différents rapports cités ci-dessus est résumé dans le tableau suivant :

**Tableau VI-6 : Résultats de calcul des critères de classification**

N° puits	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$
231	6,16	19,04	21,3358333
76	2,93	7,88	9,6175
67	5,67	13,48	18,788125
87	3,23	5,84	9,9175
57	4,26	12,6	17,46375
255	7,16	29,52	29,195
155	6,18	29,52	29,3295833
207	9,5	33,36	41,0520833
185	5,5	35,04	35,3372917
21	6,62	35,44	23,939375
151	6,3	48,64	21,733125
213	3,34	7,72	10,970625

Les résultats présentés ci-dessus nous permettent de classer ces eaux, sous réserve que les résultats conformes, de la manière suivante :

- Les eaux souterraines de la palmeraie de la commune de Ghardaïa semblent appartenir au second type. Ces eaux sont au contact de roches sédimentaires, ce qui correspond à la géologie du site, et ont une faible ou moyenne minéralisation.
- À l'aval de la commune, la nature des eaux semble être perturbée. En effet, les rapports calculés classent les eaux des puits 255, 155, 21, 151 dans le troisième type. Ce type correspond à un mélange d'eaux salines et douces fortement minéralisées. Cette perturbation peut être due au défaut de balance qui touche ces puits. Toutefois la connaissance de la géologie des sous-sols est indispensable pour tirer des conclusions.

Une étude menée en 2005 à l'université de Ouargla [11], comprend deux puits situés dans notre zone d'étude, mais ne disposant pas de données planimétriques, nous n'avons pas pu les identifier. Les coordonnées de ces puits mesurées par GPS sont :

**Tableau VI-7 :** Coordonnées GPS des puits de l'étude menée en 2005

N° puits	X	Y
P <sub>6</sub>	560581	3597234
P <sub>8</sub>	560241	3597262

Les résultats d'analyses des eaux de ces puits soumis à la classification précédente donne les résultats suivants :

**Tableau VI-8 :** Résultats de calcul des critères de classification des eaux de puits de l'étude menée en 2005

N° puits	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
P <sub>6</sub>	2,94	5,92	8,4653595
P <sub>8</sub>	4,38	6,05	6,6792314

Ces résultats placent ces eaux dans le second type qui correspond à des eaux qui sont au contact de roches sédimentaires, et ont une faible ou moyenne minéralisation, et confirment donc les résultats auxquels nous avons aboutis.

Les puits de la palmeraie analysés lors de cette étude se situent dans la partie amont de la palmeraie, et on constate que les valeurs du tableau VI-8 se rapprochent des valeurs calculées pour les puits de notre étude situés dans la partie amont de la palmeraie [Tableau VI-6].

## VI.5.Recommandations

Après évaluation de l'adéquation des paramètres caractérisant les eaux de puits analysées vis-à-vis des normes de potabilité et d'irrigation, on arrive à la conclusion que de ces eaux ne conviennent pas à la consommation humaine, et ne peuvent pas être utilisées directement pour l'irrigation.

En effet, la potabilité étant remise en cause par sa minéralisation, et de manière plus importante par la contamination bactériologique, on devra procéder à une désinfection, et, dans le but d'améliorer les caractéristiques organoleptiques de ces eaux, à une élimination facultative des teneurs en excès des minéraux présents dans de trop grandes proportions.

Une première approche qui consisterait à entretenir et normaliser les fosses septiques existant sur la palmeraie pourrait réduire sensiblement le taux de contamination par les coliformes fécaux, et ainsi les efforts à déployer pour une désinfection chimique.

Deux schémas pourront être adoptés pour réaliser une désinfection. Le premier consiste à mettre en place un procédé de pompage et traitement de l'eau sur site ou hors site.

La seconde solution, qui elle requière la connaissance de paramètres hydrodynamiques régissant l'écoulement de la nappe, vise la dépollution de l'ensemble de la nappe via la mise en place d'un traitement in situ.

Dans ce cadre, une oxydation in situ dans laquelle une injection étudiée d'un oxydant (tel que  $\text{ClO}_2$ ) sera envisagée, et permettrait conjointement une désinfection et une réduction de la couleur, du goût, et des odeurs, et également de certains éléments minéraux. D'autre part, l'usage de ces eaux dans le cadre de l'irrigation doit faire l'objet de traitement d'élimination de sodium, sulfates et chlorures et d'un choix judicieux des cultures à cultiver.

## *Conclusion générale*

---

*«A moins d'être un crétin on meurt  
toujours dans l'incertitude de sa propre  
valeur et de celle de ses œuvres»*

FLAUBERT

---

## CONCLUSION GENERALE

Les objectifs de ce travail étaient d'une part d'élaborer un système d'information géographique qui permettrait d'organiser et présenter les éléments d'information référencés et d'autre part, de caractériser, après échantillonnage, les eaux de puits de la palmeraie est de la commune de Ghardaïa.

Une première campagne dédiée au recensement des puits que compte notre aire d'étude a abouti à la répertoriatio n de 256 puits avec positionnement sur carte. L'élaboration du SIG a requis des données altimétriques et planimétriques que nous n'avons pu obtenir. A défaut de données fiables, nous avons eu recours à un logiciel [21] pour obtenir uniquement les altitudes des puits constituant le SIG, et qui par conséquent intègre un facteur d'erreur dont nous ignorons l'étendue.

Après identification du sens de l'écoulement de la nappe, la désignation des points de prélèvement a permis d'effectuer l'échantillonnage, et les analyses portant sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de ces eaux.

L'évaluation de la fiabilité des résultats d'analyses obtenues a permis de mettre en évidence des défauts de balance qui provenaient d'une surestimation des résultats de dosage et mesure des différents paramètres. Lors de l'élaboration de ce projet, nous avons été confrontés au manque d'éléments relatifs aux caractéristiques de la nappe, et retraçant leur évolution. C'est pour cela, et en raison du manque de fiabilité des résultats obtenus, que la campagne d'analyse menée nécessite d'être rééditée pour des raisons de reproductibilité car une seule campagne n'est pas significative, à différentes périodes suivant un programme qui permettrait d'apprécier l'évolution spatio-temporelle des caractéristiques de la nappe.

En supposant la fiabilité des résultats obtenus lors de notre campagne d'analyse, on ressort avec une potabilité de l'eau qui est remise en question par une contamination microbiologique, qu'on pourrait réduire par un entretien des fausses septiques auquel on rajouterait une désinfection à des fins de potabilisation. L'utilisation de ces eaux de puits dans l'irrigation doit faire l'objet d'élimination des teneurs en excès de certains ions (sodium, sulfates, chlorures)

Bon nombre d'études antérieures et semblables à la notre, incluant la palmeraie sur laquelle se sont concentrés nos travaux, ont été menées au sein de la vallée du M'Zab. Ces études à l'image de la notre, incluent des points d'eau dont l'identification reste le plus

souvent propre à l'auteur des travaux, et rendent ainsi la mise en place d'une traçabilité des caractéristiques de la nappe difficile, voire impossible.

L'attribution de coordonnées altimétriques, et planimétriques (latitude, longitude) aux points d'eau, constitue un moyen d'identification concret, et permettant de rassembler l'ensemble des éléments d'information existants relatifs à ces points.

À l'instar de tous travaux effectués sur terrain, les efforts importants déployés afin de mener à bien nos objectifs ont été à la hauteur des difficultés rencontrées lors de l'élaboration de ce projet. Ainsi, les tâches accomplies, restent une contribution à un long travail d'investigation requis pour une caractérisation des eaux de la nappe qui se voudrait fidèle, et concrète.

## *Références bibliographiques*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Abdellatif Hakim, traitement des eaux, université des sciences et de la technologie Oran, 2007.
- [2] ANRH Direction régionale sud Ouargla, note relative à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab, Mars 2003.
- [3] ANRH Direction régionale sud Ouargla, note relative sur les ressources en eau de la wilaya de Ouargla, Mai 2007.
- [4] Claire Bard, les traitements biologiques des sols et des eaux souterraines, université de l'eau et du pays de l'Adour, 2006.
- [5] Claude Cardot, Les traitements de l'eau, Ellipses 1999.
- [6] Degremont, Mémento technique de l'eau Huitième édition, Degremont 1978.
- [7] Degremont, Mémento technique de l'eau Neuvième édition, Degremont 1989.
- [8] Délégation algérienne, Projet de développement des systèmes culturels territoriaux, Plan d'action cas de Ghardaïa, 2004.
- [9] Jean Rodier, Analyse de l'eau, Dunod 1996.
- [10] Kamila Baba Hamed-Abderrazak Bouanani, Echantillonnage des eaux souterraines, mesures et analyses de terrain: Assurance qualité et contrôle de la qualité, université de Tlemcen, 2004.
- [11] Khaled Rezzag, influence des eaux usées sur la nappe phréatique (cas de la vallée du M'Zab), Université de Ouargla, 2005.
- [12] Michel Labrecque et Rosalie Lefebvre, Des plantes pour des sols propres, Institut de recherche en biologie végétale, 2003.
- [13] Office nationale de l'assainissement, 2009.
- [14] Pascal Roudier, Techniques de réhabilitation des sites et sols pollués, Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement, 2004.
- [15] Raymond Desjardins, Le traitement des eaux, Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal 1997.
- [16] Stevan Jankovic, Manuel de chimie de l'environnement, Organisation mondiale de la santé Genève 1974.

[17] Toufik Boukraa, Gestion des ressources hydriques en zones arides -cas de la wilaya de Ghardaïa-, université de Mostaganem, Juin 2003.

[18] Vincent Valles, vérification de la cohérence des données, Laboratoire d'hydrogéologie de l'université d'Avignon, 2007.

[19] Yasmine Mira, Contribution à la conception de la station d'épuration d'ISOLA 2000, école nationale polytechnique, septembre 2008.

## **RESSOURCES WEB**

[20] <http://earth.google.fr/>

[21] <http://Wikipédia.org> : l'encyclopédie en ligne.

## *Annexes*

**Annexe 1 : Tableau des normes physico-chimiques d'une eau potable**

<b>Paramètres physico-chimiques</b>	<b>Unité</b>	<b>Normes OMS</b>	<b>Normes CEE</b>
<b>Température</b>	°C	≤25	≤25
<b>pH</b>	-	6,5-8,5	6,5-9
<b>Turbidité</b>	NTU	5	2
<b>Oxygène dissous</b>	mg/l	5	5
<b>Conductivité</b>	μS/cm	2800	1000
<b>TAC</b>	°F	≥2,5	≥2,5
<b>TH</b>	°F	≤50	≤50
<b>Résidus secs</b>	mg/l après séchage	max 2000	max 1500
<b>Sodium</b>	mg/L	200	150
<b>Magnesium</b>	mg/L	150	-
<b>Calcium</b>	mg/L	200	-
<b>Potassium</b>	mg/L	20	12
<b>Sulfates</b>	mg/L	200	200
<b>Chlorures</b>	mg/L	200	200
<b>Fer total</b>	μg/L	300	200

**Annexe 2 :** Tableau des normes des paramètres de pollution d'une eau potable.

<b>Paramètres de pollution</b>	<b>Unité</b>	<b>Normes OMS</b>	<b>Normes CEE</b>
<b>Nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mg/L	max 50	max 50
<b>Nitrates NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	mg/L	max 0,1	max 0,1
<b>Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	mg/L	max 0,5	max 0,1
<b>Phosphate PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	mg/L	max 0,5	max 0,5
<b>DCO</b>	mg/L d'O <sub>2</sub>	120	/

**Annexe 3 :** Tableau des normes des paramètres bactériologiques d'une eau potable.

<b>Paramètres bactériologiques</b>	<b>Unité</b>	<b>Normes OMS</b>
<b>Germes aérobies à 22°C</b>	Nombre/ml	< 3.10 <sup>2</sup>
<b>Germes aérobies à 37°C</b>	Nombre/ml	< 60
<b>Coliformes totaux</b>	Nombre/100ml	< 100
<b>Coliformes fécaux</b>	Nombre/100ml	0
<b>Escherichia coli</b>	Nombre/100ml	0
<b>Streptocoques fécaux</b>	Nombre/100ml	0
<b>Clostridium sulfite-réducteurs</b>	Nombre/100ml	0

**Annexe 4** : Tableau des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

<b>Paramètres</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeurs limites</b>
<b>Paramètres bactériologiques</b>		
Coliformes fécaux	Nombre/100ml	1000
<b>Paramètres toxiques</b>		
Fer	mg/L	5
<b>Salinité</b>		
Salinité totale (TDS)	mg/L	7680
Conductivité électrique	ms/cm	12
<b>Ions affectant les cultures sensibles</b>		
Sodium (irrigation en surface)	mg/L	69
Sodium (irrigation par aspersion)	mg/L	9
Chlorures (irrigation en surface)	mg/L	350
Chlorures (irrigation par aspersion)	mg/L	15
<b>Paramètres affectant les cultures sensibles</b>		
Température	(°C)	35
PH	-	6,5-8,4
Bicarbonates	mg/L	518
Sulfates	mg/L	250

## Annexe 5 :

Numéro de puits	Nom de puits	Etat de puits	profondeur de puits (m)	plan d'eau (m)	Altitude du puits (m)	Altitude du plan d'eau (m)
1	/	fonctionnel	25,6	9,4	522	512,6
2	Romana	fonctionnel	/	/	/	/
3	/	Remblayé	/	/	/	/
4	/	fonctionnel	/	/	/	/
5	Boulahya	fonctionnel	31,2	10	519	509
6	Azolaye	fonctionnel	46,3	9,6	521	511,4
7	/	Remblayé	/	/	/	/
8	/	Remblayé	/	/	/	/
9	/	Remblayé il y'a 5 ou 6 ans	/	/	/	/
10	/	Fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
11	Bouabone	fonctionnel	/	/	/	/
12	/	fonctionnel	26,9	9,2	515	505,8
13	/	Remblayé	/	/	/	/
14	/	Remblayé	/	/	/	/
15	/	pas d'accès	/	/	/	/
16	/	pas d'accès	/	/	/	/
17	/	pas d'accès	/	/	/	/
18	/	pas d'accès	/	/	/	/
19	/	pas d'accès	/	/	/	/
20	/	pas d'accès	/	/	/	/
21	/	fonctionnel	26,4	9,2	519	509,8
22	/	fonctionnel	24	9,5	521	511,5
23	/	fonctionnel	26,7	9,5	517	507,5
24	/	fonctionnel	/	/	/	/
25	/	fonctionnel, 2 Assefy	34,8	9,5	515	505,5
26	/	fonctionnel	28,35	9,3	516	506,7
27	/	Remblayé	/	/	/	/
28	/	fonctionnel, 1 pompe	26,4	9,3	516	506,7
29	/	Remblayé, 2 Assefy,	/	/	/	/
30	/	fonctionnel, 2 Assefy, 1 pompe	31,1	22,1	/	/
31	/	fonctionnel, pompe	32,9	20,5	/	/
32	/	fonctionnel	31,6	18,3	/	/

33	/	Remblayé	/	/	/	/
34	/	Pas d'accès	/	/	/	/
35	/	fonctionnel, pompe	33,7	21,4		/
36	/	Pas d'accès	/	/	/	/
37	/	fonctionnel	/	/	/	/
38	/	fonctionnel, pompe	30,8	17,9	/	/
39	/	fonctionnel, 4 pompes, 2 Assefy	29,5	17,6	/	/
40	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	30	16,8	/	/
41	/	fonctionnel	29,9	17,2	/	/
42	/	fonctionnel	33,8	21,2	/	/
43	/	fonctionnel	36	20,4	/	/
44	/	Pas d'accès	/	/	/	/
45	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
46	/	Pas d'accès	/	/	/	/
47	/	fonctionnel, pompe	/	/	/	/
48	/	fonctionnel, pompe	/	/	/	/
49	/	fonctionnel, pompe	30,9	9,5	514	504,5
50	/	Remblayé	/	/	/	/
51	/	fonctionnel	/	/	/	/
52	/	fonctionnel, pompe	49,7	10,1	515	504,9
53	/	fonctionnel, pompe	44,1	12,5	521	508,5
54	/	Remblayé	/	/	/	/
55	/	Remblayé	/	/	/	/
56	/	fonctionnel	33,8	10,2	517	506,8
57	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	32,6	10,4	519	508,6
58	/	Pas d'accès	/	/	/	/
59	/	fonctionnel, 1 pompe	36,7	10,4	519	508,6
60	/	fonctionnel	30,9	10,4	517	506,6
61	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
62	/	fonctionnel, 1 pompe	25,5	9	516	507
63	/	Pas d'accès	/	/	/	/

64	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	30,1	9,1	515	505,9
65	/	fonctionnel	33	7,65	515	507,35
66	/	fonctionnel, 2 pompes	19,9	6,4	514	507,6
67	/	fonctionnel, 2 pompes	16	6,6	514	507,4
68	/	fonctionnel, 1 pompe	41,5	8	514	506
69	MAMA HANA	fonctionnel, 3 pompes, 2 Assefy	/	/	/	/
70	/	Remblayé	/	/	/	/
71	/	fonctionnel	/	/	/	/
72	puits TAKDHITE	fonctionnel	/	/	/	/
73	puits NA3LOUFI		/	/	/	/
74	/	fonctionnel, pompe	/	/	/	/
75	puits ADOUAD	fonctionnel	/	/	/	/
76	/	fonctionnel, pompe	19,95	8,2	515	506,8
77	/	fonctionnel, pompe	18,75	7,65	515	507,35
78	puits HANI		20,85	8,45	515	506,55
79	puits Benhadiba	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	21,5	8,1	514	505,9
80	/	fonctionnel, pas pompe	22,75	7,6	515	507,4
81	/	fonctionnel, pas pompe	/	/	/	/
82	/	fonctionnel, pompe	30,2	7,3	516	508,7
83	/	fonctionnel, endommagé par la cru	/	/	/	/
84	/	fonctionnel, endommagé par la cru	/	/	/	/
85	/	fonctionnel, pas de pompe	15,25	4,8	512	507,2
86	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
87	/	fonctionnel, 1 pompe	18,7	6,7	512	505,3

88	/	fonctionnel, pas pompe	13,2	7,4	513	505,6
89	/	fonctionnel, endommagé par la crue	/	/	/	/
90	/	fonctionnel, pompe, endommagé par la crue	/	/	/	/
91	/	fonctionnel, pompe, 2 Assefy, endommagé par la crue	/	/	/	/
92	/	fonctionnel, pompe, 2 Assefy	/	/	/	/
93	/	fonctionnel, 3 pompe, 2 Assefy, endommagé par la crue	41,4	7,8	513	505,2
94	/	fonctionnel, 3 pompes	31,7	8,05	513	504,95
95	/	fonctionnel, 2 pompes	/	/	/	/
96	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	42,8	6,85	513	506,15
97	/	fonctionnel, 2 pompes	/	/	/	/
98	/	fonctionnel, pas de pompe, 2 Assefy	19	12,2	/	/
99	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
100	/	fonctionnel, 2 Assefy	36,5	17,1	/	/
101	Adjeme	Pas d'accès	/	/	/	/
102	Adjeme	Pas d'accès	/	/	/	/
103	/	fonctionnel, 1 pompe	32,2	15,6	/	/
104	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
105	Adjeme	non trouver	/	/	/	/
106	/	fonctionnel, 5 pompes, 2 Assefy	/	/	/	/
107	/	fonctionnel, pompe, 2 Assefy	29,9	16,4	/	/
108	Baba ousma3il	fonctionnel, 2 pompes	29,6	15,9	/	/
109	Adjeme	non trouvé	/	/	/	/
110	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/

111	Adjeme	Rembalyé	/	/	/	/
112	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	37,55	21,95	/	/
113	Adjeme	Pas d'accès	/	/	/	/
114	/	fonctionnel, pas de pompe	/	/	/	/
115	Adjeme	Pas d'accès	/	/	/	/
116	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	/	/	/	/
117	/	fonctionnel	/	/	/	/
118	/	fonctionnel, pas de pompe	/	/	/	/
119	/	fonctionnel	28	16	/	/
120	/	fonctionnel, 1 pompe	22,3	7,15	512	504,85
121	/	fonctionnel, 1 pompe	19,2	6,4	513	506,6
122	/	fonctionnel, pas de pompe	/	/	/	/
123	/	fonctionnel, 5 pompes, 2 Assefy	15,2	8,5	514	505,5
124	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
125	/	fonctionnel, 3 pompes	19	7,5	515	507,5
126	/	endommagé par la crue	/	/	/	/
127	/	fonctionnel, 3 pompe, Assefy remblayé	/	/	/	/
128	/	fonctionnel, 1 pompe, Assefy remblayé	/	/	/	/
129	/	Assefy effondré dans le puits, 1 pompe	/	/	/	/
130	/	fonctionnel, 2 pompe	/	/	/	/
131	/	fonctionnel, 3 pompes, 1 Assefy	/	/	/	/
132	/	fonctionnel, 2 pompes	/	/	/	/
133		fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
134	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/		/

135	Mesbah	fonctionnel, 2 pompes	/	/	/	/
136	Ghabet Ba Zin	fonctionnel, 2 pompes	/	/	/	/
137	/	fonctionnel	14,5	7,5	514	506,5
138	/	fonctionnel, pas de pompe	/	/	/	/
139	/	fonctionnel, pas de pompe, Assefy remblayé	/	/	/	/
140	/	fonctionnel, 1 pompe	30,3	4,6	508	503,4
141	/	Pas d'accès	/	/	/	/
142	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	/	/	/	/
143	/	fonctionnel, pas de pompe, (2 Assefy remblayés)	25,8	3,5	508	504,5
144	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	32,6	6,6	510	503,4
145	/	fonctionnel, 2 pompes.	39,8	4,7	509	504,3
146	/	fonctionnel, 3 pompes, sans Assefy	32,33	5,1	508	502,9
147	/	fonctionnel, 5 pompes, (2 Assefy remblayés)	32,2	4	508	504
148	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	31,25	4,3	507	502,7
149	/	fonctionnel, 4 pompes, 1 Assefy	40,5	4,5	508	503,5
150	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	27,45	4,45	507	502,55
151	/	fonctionnel, 3 pompes, 2 Assefy	23,1	3,7	506	502,3
152	/	fonctionnel, 3 pompes, pas de Assefy	26,7	6,65	513	506,35
153	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	36,3	7,3	513	505,7
154	/	fonctionnel, 2 pompes	31,8	7,5	513	505,5
155	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	31,2	8,5	513	504,5

156	/	fonctionnel, pas de pompe, 2 Assefy	31,8	10,5	513	502,5
157	/	fonctionnel, sans pompe, 2 Assefy	37,1	9,6	513	503,4
158	/	Remblayé	/	/	/	/
159	/	fonctionnel, 2 pompes, 2 Assefy	48,2	9,8	513	503,2
160	/	fonctionnel, 4 pompes, 1 Assefy	41,5	9,55	513	503,45
161	/	fonctionnel, 1 Assefy	/	/	/	/
162	/	fonctionnel	/	/	/	/
163	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	42,1	10,33	514	503,67
164	/	fonctionnel, pas de pompe, 1 Assefy	30,8	8,8	512	503,2
165	Hassi Boulahia	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy, Madjel	44,2	9,6	514	504,4
166	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	39,5	9,5	515	505,5
167	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
168	/	fonctionnel, 7 pompes, 2 Assefy	46,5	10,5	515	504,5
169	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	25	11,3	515	503,7
170	/	fonctionnel, 3 pompes, 1 Assefy, 1 Madjel	34	11,9	515	503,1
171	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy, 1 Madjel	/	/	/	/
172	/	Remblayé	/	/	/	/
173	/	fonctionnel, sans pompe, Madjel	39,7	9	515	506
174	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	31	10,4	514	503,6
175	/	pas d'accès	33	/	/	/
176	/	Remblayé et effondré	/	/	/	/
177	/	Pas d'accès	/	/	/	/
178	/	Pas d'accès	/	/	/	/
179	/	Pas d'accès	/	/	/	/
180	/	Pas d'accès	/	/	/	/
181	/	Remblayé	/	/	/	/
182	/	Remblayé	/	/	/	/
183	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	26,7	10	515	505

184	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	24,7	11	517	506
185	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy, 1 Madjel	25,8	10,5	514	503,5
186	/	fonctionnel, 5 pompes	24	9,9	516	506,1
187	/	Remblayé	/	/	/	/
188	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	37,8	9,5	514	504,5
189	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	30,3	9,85	513	503,15
190	/	fonctionnel, 1 pompe	/	/	/	/
191	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	31,1	9,9	514	504,1
192	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	23,5	10,8	515	504,2
193	/	fonctionnel, pas pompe, 1 Assefy	28,15	13	515	502
194	/	fonctionnel, 1 pompe, 2 Assefy	/	/	/	/
195	/	fonctionnel	18,3	9,8	515	505,2
196	/	Remblayé	/	/	/	/
197	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	42,5	9,5	515	505,5
198	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	40	9	515	506
199	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	27,3	9,2	515	505,8
200	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy, 1 Madjel	30	10,9	515	504,1
201	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy, 1 Madjel	44,3	9,5	514	504,5
202	/	fonctionnel, 2 pompes, 1 Assefy, 1 Madjel	42,3	9,7	514	504,3
203	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	31,8	9,8	514	504,2
204	/	fonctionnel, 1 pompe, pas de Assefy	13,4	3,4	507	503,6
205	/	fonctionnel, 3 pompes, pas de Assefy	16,8	4,2	507	502,8

206	/	fonctionnel, 1 pompe, profondeur real=27-28	23,4	3,8	507	503,2
207	/	fonctionnel, 1 pompe, ps de Assefy	20,7	4,6	507	502,4
208	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	27	5,9	509	503,1
209	/	fonctionnel, 4 pompes, pas de Assefy	33,8	3,5	509	505,5
210	/	fonctionnel, pas pompe, pas Assefy, endommagé par la crue	17	5,5	509	503,5
211	/	fonctionnel, 4 pompes, 2 Assefy	27	8,5	512	503,5
212	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	29,2	8,5	513	504,5
213	/	fonctionnel, 2 pompes, pas de Assefy	26,8	4,25	509	504,75
214	hassi chabchouba	foctionnel, 4 pompes, 2 Assefy	36,6	5,6	510	504,4
215	/	fonctionnel, pas pompe, 1 Assefy	13	4	510	506
216	/	pas de pompe, pas de Assefy, Etat de ruine	24,8	4,5	512	507,5
217	baba Ouamer	Pas d'accès	/	/	/	/
218	/	Pas d'accès	/	/	/	/
219	/	remblayé	/	/	/	/
220	/	Pas d'accès	/	/	/	/
221	/	/	/	/	/	/
222	/	fonctionnel, 3 pompes, 2 Assefy	> 50	7	513	506
223	/	Pas d'accès	/	/	/	/
224(35)	/	fonctionnel, 3 pompes, 1 Assefy	> 50	7,6	514	506,4

225	/	fonctionnel, Pas de pompe, Assefy endommagé	38,4	6,1	513	506,9
226	/	fonctionnel, pas de pompe	18,7	5,6	513	507,4
227	/	pas de pompe, pas de Assefy, Remblayé, profondeur real=30 a 35 m	12,2	8,6	513	504,4
228	/	endommagé et risque de s'effondrer, 3 pompes, non fonctionnel	31,5	8,3	514	505,7
229	/	fonctionnel, pas de pompe, 1 Assefy	23,9	7,8	514	506,2
230		fonctionnel, 1 pompe	43,7	9	512	503
231	/	fonctionnel, 4 pompes,	47,2	8,6	514	505,4
232	/	Pas d'accès	/	/	/	/
233	/	Remblayé	/	/	/	/
234	/	Pas d'accès	/	/	/	/
235	/	fonctionnel, Pas de Assefy, pas pompe	22,9	6,1	512	505,9
236	BIR AZOU	Remblayer	/	/	/	/
237	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy, Hauteur=50 m	31,4	8,7	512	503,3
238	Adjem	Remblayé	/	/	/	/
239	/	fonctionnel, pas de pompe, 1 Assefy	34,8	8,5	512	503,5
240	/	fonctionnel, pas de pompe, Endommagé	33,2	8,5	513	504,5
241	/	Remblayé	/	/	/	/
242	/	Remblayé	/	/	/	/
243	/	Remblayé	/	/	/	/
244	/	foctionnel, 2 pompes, 1 Assefy	47,4	8,5	512	503,5
245	/	fonctionnel, 2 pompes, endommagé par la crue	26,4	3,6	510	506,4
246	/	Pas d'accès	/	/	/	/
247	/	fonctionnel, pas de pompe	39,9	8,9	514	505,1
248	/	Pas d'accès	/	/	/	/

249	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	46,8	9,9	515	505,1
250	/	fonctionnel, 1 pompe, 1 Assefy	28,9	4,1	511	506,9
251	/	fonctionnel, 3 pompes, 1 Assefy	27,8	9,8	510	500,2
252	/	Effondré et remblayé	/	/	/	/
253	/	non fonctionnel, pas de pompe, 1 Assefy	11	9,8	510	500,2
254	/	fonctionnel, 3 pompes, 1 Assefy	19,3	9	510	501
255	/	fonctionnel, 3 pompes, pas de Assefy	27,8	7	514	507
256	/	fonctionnel, 4 pompes, 1 Assefy	35,2	7,7	514	506,3