

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

CENTRE UNIVERSITAIRE DE GHARDAIA



INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Licence académique en écologie de
l'environnement

Thème

Contamination des eaux phréatique dans la
région de Sebseb (Ghardaia)

Présenté par :

- HADDAR Aicha

- OULED HADDAR Meriem

Encadré par :

Mr. BENBRAHIM Fouzi

Examiné par:

Mr. HADJ SEYED A.

JUIN 2012

Dédicaces

A mes chers parents;

A qui je dois ce que je suis;

*Qu'ils trouvent dans ce site, le fruit de leurs sacrifices consentis pour mon éducation,
et l'expression de mon amour et de ma gratitude pour la bienveillance avec laquelle
ils m'ont toujours entouré.*

Que Dieu leur préserve longue vie et bonne santé;

A mes grands parents;

A mes sœurs ;

A mes frères ;

A toute ma famille;

A tous mes amis (es);

A mon binôme OULED HADDAR et sa famille

HADDAR Aicha.

Dédicaces

A mes chers parents;

A qui je dois ce que je suis;

*Qu'ils trouvent dans ce site, le fruit de leurs sacrifices consentis pour mon éducation,
et l'expression de mon amour et de ma gratitude pour la bienveillance avec laquelle
ils m'ont toujours entouré.*

Que Dieu leur préserve longue vie et bonne santé;

A mes grands parents;

A mes sœurs ;

A mes frères ;

A toute ma famille;

A tous mes amis (es);

A mon binôme HADDAR et sa famille

OULED HADDAR Meriem

Avant-propos

Nous tenant tout d'abord à exprimer nos remerciements et toute nos reconnaissance à l'égard de :

Monsieur BENBRAHIM Fouzi, maitre-assistant au centre universitaire de Ghardaïa, non seulement pour l'aide très précieuse qu'il nous à apporter, mais aussi pour son enthousiasme communicatif, sa patience et sa totale disponibilité, pour l'encadrement de ce travail.

Monsieur HADJ SEYED A., pour avoir accepter d'examiner ce travail.

A tous les enseignants du Département des Sciences de la nature et de la vie et spécialement: Mr KEMASSI A., Mr KEBAB. et Mr BEN ADDA.

A tous le personnel du laboratoire de chimie du département des Sciences de la Nature et de la Vie et surtout Mr. MSAITFA N.

A tous le personnel de la direction de département des sciences de la nature et de la vie.

Aux ingénieurs qui nous ont aidés : OULED HADDAR R. (Directeur du Bureau d'étude SARL vallée vert), HADDAR A. (hydraulique) et ZHAFE M.

Nous remercions infiniment nos amies qui n'ont économisés aucun effort pour nous aider : ADJILA Z., DAOUADI S., LAOUAR F ., GUASSOUM H., et tous nos collègues de la 2^{ème} promotion de Licence " Ecologie de l'environnement"

En fin à tous ce qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Résumé

Les ressources en eaux souterraines en régions sahariennes constituent la seule source en eau et conditionnent l'existence de la vie dans ces régions

Notre travail réalisé dans la région de Sebseb, met en évidence la contamination de la nappe phréatique dans la région d'étude par le biais d'une caractérisation physico-chimique des eaux de six puits.

De point de vue qualité pour l'irrigation, les résultats d'analyses ont montrés que la qualité des eaux des six puits échantillonnés oscille entre des eaux non salines à très fortement salines et correspond aux classes C1S1 pour le puits P0, C3S1 pour les puits P1 et P3, C4S1 pour les puits P2 et P5 et C5S1 puits P4. La qualité de ces eaux en irrigation varie de bonne (P0) à très mauvaise (P4).

De point de vue potabilité, il n'y a que le puits P3 qui ne présente aucun risque sur la santé humaine de point de vue physico-chimique, suivie par le puits P0 qui présente un risque unique vis-à-vis la teneur en nitrites.

Les eaux des puits P1, P2, P4 et P5 ne sont pas à utiliser en alimentation en eau potable.

Les eaux phréatiques des puits échantillonnées dans la région de Sebseb, présentent une grande variabilité physico-chimique, cette variabilité est forcément liée à l'emplacement de ces puits à proximité du milieu urbain, à proximité de la palmeraie ou à proximité du lit d'oued.

Les analyses réalisées permettent de détecter l'état de la contamination de la nappe phréatique dans la région de Sebseb, les puits les plus pollués sont ceux proches des fosses septiques à savoir P4 et P5.

Il est à noter que la contamination de la nappe phréatique constitue un danger sur la population et l'agriculture dans la région de Sebseb d'où la nécessité d'intervenir avant que ce soit trop tard.

Mots clés : Sebseb, Physico-chimique, eau phréatique, irrigation, potable.

Liste des abréviations

ADE	: Algérienne des eaux
A.N.R.H	: Agence nationale des ressources hydriques
C°	: Degré Celsius
CE	: Conductivité Electrice.
DBO	: Demande Biochimique en Oxygène.
DCO	: Demande chimique en Oxygène.
ds/m	: Di Siemens par mètre.
F.A.O	: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
Mg	: Mili gramme
O.N.M.	: Office National de Météorologie.
OMS	: Organisation mondiale de la santé
PH	: Potentiel d'Hydrogène
S.A.R.	: Sodium Adsorption Ratio (taux d'adsorption de sodium)
U.S.S.L	: United State Salinity Laboratory
µs/m	: Micro Siemens par centimètre

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 1	Classe de risque salin sur l'eau.....	04
Tableau 2	Classification des eaux suivant leur pH	06
Tableau 3	Les propriétés écologiques de l'eau	06
Tableau 4	Les classes d'eau par DURAND (1958).....	12
Tableau 5	Classification de Christiansen.....	13
Tableau 6	Données météorologique de la Wilaya de Ghardaïa (2000-2010).....	30

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure n°01	Représentation de la molécule d'eau.....	03
Figure n°02	Diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux en fonction de C.E. à 25°C et du S.A.R.....	09
Figure n°03	Processus de contamination de la nappe par des polluants chimiques.....	18
Figure n°04	Parcours hydrique de contamination.....	20
Figure n°05	Pollution par un produit soluble n'atteignant pas la nappe.....	23
Figure n°06	Pollution par un produit plus léger que l'eau et qui atteint la nappe.....	23
Figure n°07	Pollution de la nappe par un produit plus lourd que l'eau.....	24
Figure n°08	Limites administratives de la wilaya de GHARDAIA.....	29
Figure n°09	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa 2000-2010.....	31
Figure n°10	Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER.....	32
Figure n°11	Milieu physique de la wilaya de GHARDAIA.....	34
Figure n°12	Esquisse hydrogéologique du M'Zab.....	35
Figure n°13	Bassin versant de la région du M'Zab.....	36
Figure n°14	Photo satellite de l'ensemble de la zone d'étude (les points échantillonnés sont en rouge).....	43
Figure n°15	Conductimètre.....	44

Figure n°16	pH mètre.....	44
Figure n°17	Classification des eaux d'irrigation du site d'étude (Diagramme de RIVERSIDE modifié par DURAND).....	48
Figure n°18	Variation de la conductivité électrique des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	49
Figure n°19	Variation du pH des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	49
Figure n°20	Variation de la turbidité des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	50
Figure n°21	Variation de la teneur en magnésium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	51
Figure n°22	Variation de la teneur en chlorure des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	51
Figure n°23	Variation de la teneur en calcium des eaux phréatiques de la région de Sebseb...	52
Figure n°24	Variation de la teneur en sodium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	53
Figure n°25	Variation de la teneur en potassium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	53
Figure n°26	Variation de la teneur en ammonium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	54
Figure n°27	Variation de la teneur en nitrites des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	55
Figure n°28	Variation de la teneur en nitrates des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	56
Figure n°29	Variation de la teneur en fer des eaux phréatiques de la région de Sebseb.....	56

Sommaire

Introduction.....	01
Première partie : Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Généralité sur l'eau.....	
1 - Propriétés physico- chimiques des eaux.....	02
2- Mouvement de l'eau.....	07
3-Classification des eaux d'irrigation.....	08
Chapitre II: Pollution de l'eau.....	
1 -Définition.....	15
2- types de la pollution des eaux.....	15
3- Origine de la pollution.....	19
4 - Les paramètres de la pollution	21
5- Evolution de la pollution en milieu saturé	22
6 - Les effets de pollution.....	24
Chapitre III : présentation de la région de Ghardaïa	
1-situation géographique	28
2-climat.....	28
3- géomorphologie.....	33
4- géologie.....	35
5- hydrogéologie.....	35
6- réseau hydrographiques.....	36
7- pédologie.....	37
8- agriculture.....	37
9 –Industrie.....	38
10- Tourisme.....	38
11- Artisanat.....	39
Chapitre IV : Matériels et Méthodes	
1- Approche méthodologique.	40
2- Choix de la région d'étude.....	40
3- Présentation de la région de SEBSEB	40
4- Echantillonnage.....	43
5- Mesures et analyses au laboratoire.....	44
Troisième partie : Résultats et discussions	
Chapitre V : Résultats et Discussions.....	

Sommaire

1-Evaluation de l'aptitude des eaux à l'irrigation.....	46
2-Evaluation de la potabilité des eaux.....	48
3-Discussion	57
Conclusion.....	58
Références bibliographiques.....	60

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la vie, comme eau potable pour l'alimentation et les usages domestiques et pour l'agriculture afin de produire des denrées alimentaires (HACQUEMAND, 2008)

La composition chimique de l'eau est très importante à connaître, la détermination permet de préciser la qualité et par conséquent la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages, tels que: l'agriculture et l'industrie.

La contamination décelée dans les régions sahariennes est le plus souvent, d'origine anthropique due aux rejets directs d'eaux usées et à l'utilisation intensive en agriculture.

Dans la wilaya de Ghardaïa, la principale source de satisfaction de la demande en eau est les eaux souterraines du fait de l'aridité du climat et de l'exploitation relativement facile de cette ressource. Mais, la croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent des grands problèmes de disponibilité de la ressource tant quantitative que qualitative.

La qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région de Ghardaïa dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent cette eau.

Notre travail réalisé, dans la région de Sebseb, vise à caractériser la qualité physico-chimique des eaux phréatiques et de juger leurs utilisations en agriculture et en alimentation en eau potable

Ce travail comporte trois parties :

La première partie est une synthèse bibliographique

La deuxième prendra en compte le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail.

La troisième partie traitera les résultats.

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. Généralités sur l'eau

Ce chapitre condense en quelques pages sur l'eau et leurs propriétés, mobilités et quelles classes de l'eau irriguée?

L'eau est le moteur de la vie, l'élément indispensable à fixer en un lieu toute population, la source des activités agricoles, la substance la plus consommée par les industries et l'économie domestique au quotidien (TOUCHAT, 2003).

Dans la nature, l'eau existe sous trois forme, liquide, solide et gazeu, selon BLIFERT et PERRAUD en (2008); VILAGINE en (2003) cela dépend des conditions particulières de températures et de la pression .Sous sa forme liquide; l'eau constitue avant tout les océans, les cours d'eau, les eaux côtières et les déférentes nappes sous-terraines (phréatique; albiennne, ...)

1 - Propriétés physico- chimiques des eaux

L'eau est un élément qui possède des propriétés particulières, compliquées par les teneurs en substances dissoutes (TOUCHAT, 2003).

La composition de l'eau:

La structure moléculaire de l'eau et sa charge ont de nombreux effets géographiques. Les propriétés de l'eau pure sont à l'origine des échanges à plusieurs échelles entre l'eau et l'atmosphère et entre les différentes masses d'eau. Les substances dissoutes ajoutent à la stratification des eaux (TOUCHAT, 2003).

H₂O, est formée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (Fig.01). Chaque atome consiste en un noyau dense, porteur d'une charge électrique positive, autour de laquelle gravitent des électrons, particules élémentaires porteuses d'une charge électrique négative. L'atome d'oxygène possède deux électrons dans sa couche intérieure et six électrons dans sa couche extérieure. L'atome hydrogène ne dispose que d'un seul électron (PERRAUD, 2009).

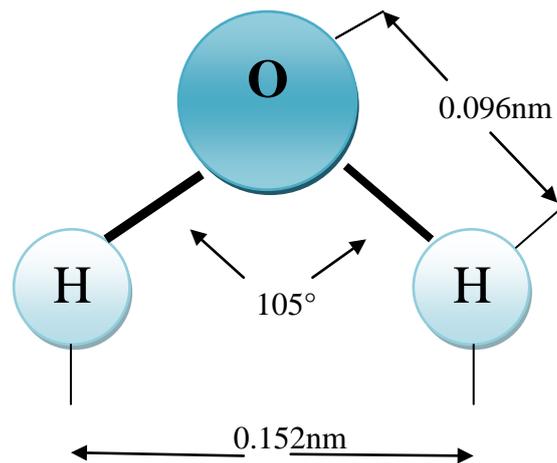


Figure 01: Représentation de la molécule d'eau (PERRAUD, 2009).

Propriétés thermique de l'eau:

Chaleur massique de l'eau : est déterminée par la quantité d'énergie qu'il faut apporter lors d'un échange thermique pour accroître d'un degré la température de l'unité de masse. L'eau à l'état liquide: 4.18Kj/Kg. C°, à l'état gazeux: 1.85Kj/Kg. C°, à l'état solide: 2.06 KJ/Kg. C°. Elle varie avec la température en un minimum à + 35°C (HAUBRY et al, 1989).

Chaleur latentes: c'est la chaleur échangée avec le milieu extérieur lors d'un changement d'état: solidification, fusion, ébullition (HAUBRY et al, 1989).

L'importance de la Chaleur massique et Chaleur latentes de vaporisation que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison d'utilisation de l'eau dans l'industrie comme fluide caloporteur (HAUBRY et al, 1989).

La viscosité:

Elle caractérise une propriété des interfaces (surfaces limitant deux phases). Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface du telle qu'elle provoque une ascension capillaire de 15 cm à 18°C dans un tube de 0.1 mm de diamètre (HAUBRY et al, 1989).la tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température.

C'est la propriété qu'un liquide d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes, soit globaux, comme l'écoulement est basse des pertes de charge joue donc un rôle important en traitement d'eau .elle diminue lorsque la température croit (HAUBRY et al, 1989).

Tension superficielle: Elle caractérise une propriété des interfaces (surfaces limitant deux phases). Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface du telle qu'elle provoque une ascension capillaire de 15 cm à 18°C dans un tube de 0.1 mm de diamètre (HAUBRY et al, 1989).la tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température.

Conductivité électrique: L'eau est un légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure qu'ait obtenue est de 4.2 mS/m à 20°C (correspondant à une résistivité de 23.8mΩ-cm). Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température (HAUBRY et al, 1989). Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau.

Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration... La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire (MELLAK, 2009).

Tableau 01 : Classe de risque salin sur l'eau (MARC et al, 2007)

C1 risque faible	$CE \leq 250$
C2 risque moyen	$250 < CE \leq 750$
C3 risque élevé	$750 < CE \leq 2250$
C4 risque très élevé	$2250 < CE$

Conductivité électrique de l'eau CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C).

Suspension-Emulsions: Des que les particules sont visibles au microscope optique, elles constituent des suspensions (solides) ou émulsion (liquide). Ces particules en suspensions sont responsables de la turbidité ou opacité de l'eau (HAUBRY et al, 1989).

D'après BOISLEVE (2010) l'eau a toujours été et continue d'être un mystère habituel des composés chimiques:

- ✓ Son point d'ébullition est élevé (100°C);
- ✓ Sa densité maximale est obtenue autour de 4°C;
- ✓ Sa tension superficielle est élevée (73mN/m à 20°C);
- ✓ Son moment dipolaire est marqué ($\mu=1.83\text{D}$).

Au-delà de l'aspect technique de ces données, il est important de noter que ces propriétés très particulières favorisent des comportements qui répondent aux exigences du processus vivant (BOISLEVE, 2010).

L'eau est un élément qui possède des propriétés particulières, compliquées par les teneurs en substances dissoutes (TOUCHAT, 2003). Les molécules HOH aiment bien partager leur domaine avec d'autres types de molécules. L'eau en débutant par les sels et les gaz dissous, ont une grande incidence sur l'écosystème aquatique. Les quantités dissoutes confèrent notamment à l'eau sa qualité acide, alcaline ou dure.

La dissolution est également un des mécanismes par lequel l'eau fragmente les roches et produit des sédiments: un phénomène nommé altération (ANCTIL, 2008).

Le pH

Le pH d'une solution est le logarithme ordinaire négatif de l'activité d'ions d'hydrogène :
$$\text{pH} = - \text{Log} [\text{H}^+]$$

Dans les solutions diluées, l'activité d'ions d'hydrogène est approximativement égale à la concentration d'ions d'hydrogène (MELLAK, 2009).

Le pH de l'eau est une mesure de l'équilibre d'acide-base et, dans la plupart des eaux naturelles, est commandé par le système d'équilibre de carbone : dioxyde-bicarbonate-carbonate. Une concentration accrue en anhydride carbonique entraîne une baisse du pH, tandis qu'une diminution le fera monter. La température affectera également les équilibres et le pH (MELLAK, 2009).

Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont celui de l'origine de l'eau (MELLAK, 2009).

Le tableau suivant nous permet d'avoir une approche sur la classification des eaux en fonction de leurs pH (MELLAK, 2009).

Tableau 02: Classification des eaux suivant leur pH.

Valeur du pH	Interprétation
pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques
pH = 7	dans les eaux naturelles pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

On représente en général l'analyse chimique de l'eau en ions. Il faut noter que dans une solution les molécules de sels se décomposent en cations chargés positivement et en anions chargés négativement. Les uns et les autres doivent être en quantité équivalente (MELLAK, 2009).

- ✓ Les éléments chimiques majeurs : Ca^{++} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} .
- ✓ Élément en trace : P^{2-} , NO_3^- , Br^- .
- ✓ Gaz : O_2 , CO_2 , H_2S , N (MELLAK, 2009).

I. 1. Propriétés écologiques de l'eau :

Les propriétés écologiques de l'eau renseignent sur la signification pour la biosphère (Tabl.03).

Tableau 03 : Les propriétés écologiques de l'eau (RAMADE, 2002).

Propriétés écologiques	Comparaison avec les autres liquides	Signification physique pour la biosphère
Capacité calorifique	La plus élevée de tous les liquides	Volant thermique face aux températures extrêmes
Points de fusion et d'ébullition	Elevés	Possibilité d'être à l'état liquide à la surface de la terre
Tension superficielle	Elevés	Favoris la formation d'aérosols dans les nuages, de condensation et de précipitations

Densité	Maximale à 4°C	Stratification dans les lacs et les océans
Absorption lumineuse	Forte, en particulier dans l'UV et l'IR	Effet de serre et rôle important au plan biologique
Propriétés de solvant	Structure dipolaire favorisant la dissolution des sels et des molécules polaires	Transport aisé de substances dissoutes dans la biomasse et les cycles biochimiques

I.2. Mouvement de l'eau

L'eau de sol a une importance considérable; d'une part elle intervient dans la nutrition des plantes, à la fois directement et indirectement, en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous; d'autre part, c'est un des principaux facteurs de la pédogenèse, qui conditionne la plupart des processus de formation des sols.

Les sources principales de l'eau du sol sont d'une part l'eau de précipitation, et aussi, dans certaines stations, l'eau souterraine (nappe phréatique permanente, alimentée souterrainement) (DUCHAUFOR, 2001).

I.3. Cycle de l'eau

La vapeur d'eau constitue la forme à partir de laquelle s'effectue le cycle de ce composé. Pourtant la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère est dérisoire, si elle était condensée, elle occuperait une hauteur moyenne à peine 3cm à la surface de terre (RAMADE, 2002).

Le déplacement des masses d'air chargées de vapeur d'eau assure la distribution des précipitations. Leur refroidissement ramène l'eau à la surface sous la forme de pluie, neige ou grêle. Cependant la majorité des précipitations retombent sur l'océan, et seulement 22.8% atteignent la surface des continents qui occupent pourtant 29% de la surface totale de la planète (RAMADE, 2002).

A la surface des continents, l'eau subit trois phénomènes différents: l'évaporation et l'évapotranspiration par les plantes, ce dernier phénomène est très important: une forêt pouvant dégager dans l'air de 20 à 50t d'eau par hectare et par jour selon les conditions météorologiques

locales et la nature du sol. L'infiltration est un autre phénomène très important car c'est d'elle que dépend la réhydratation des sols et l'approvisionnement des nappes phréatiques, des rivières souterraines et des résurgences (RAMADE, 2002).

Enfin, le ruissellement assure l'alimentation des cours d'eau et donc boucle le cycle par retour des fleuves à l'océan (RAMADE, 2002).

I.4. Mouvements de l'eau dans le sol

Si on laisse de côté les phénomènes de ruissellement et de drainage oblique, qui sont des cas particuliers, les mouvements de l'eau dans le sol relèvent de deux processus opposés: 1° les mouvements descendant de l'eau de gravité, qui infiltre après les pluies, et qui sont liés à la perméabilité du profil; 2° les mouvements ascendants, beaucoup plus limités, qui interviennent en saison sèche et compensent de manière imparfaite les pertes par évaporation (ou évapotranspiration, si le sol est occupé par une végétation continue).

La répartition de l'eau en profondeur dans le sol est la résultante de ces deux processus, elle se traduit par un profil hydrique, qui, à un instant donné, est lié, d'une part aux propriétés physiques permanentes du sol, d'autre part aux conditions météorologiques, évidemment très variables (DUCHAUFOR, 2001).

I.5. Classification des eaux d'irrigation

Le Laboratoire de Riverside a classé les eaux en fonction de leurs salinités et le danger d'alcalinisation qui peut se produire dans le sol (U.S.S.L., 1954), ce classement a été modifié par DURAND (1958) en ajoutant une cinquième classe de salinité C5, correspondant à des salinités supérieures à celles des eaux utilisées aux Etats-Unis.

❖ Diagramme de l'U.S.S.L. modifié :

Le diagramme de l'U.S.S.L. (1954) modifié par DURAND (1958) est établi essentiellement sur la base des observations réalisées en Afrique du nord, cette classification suppose des conditions correctes de cultures, un bon drainage et des sols suffisamment perméables (Fig.02).

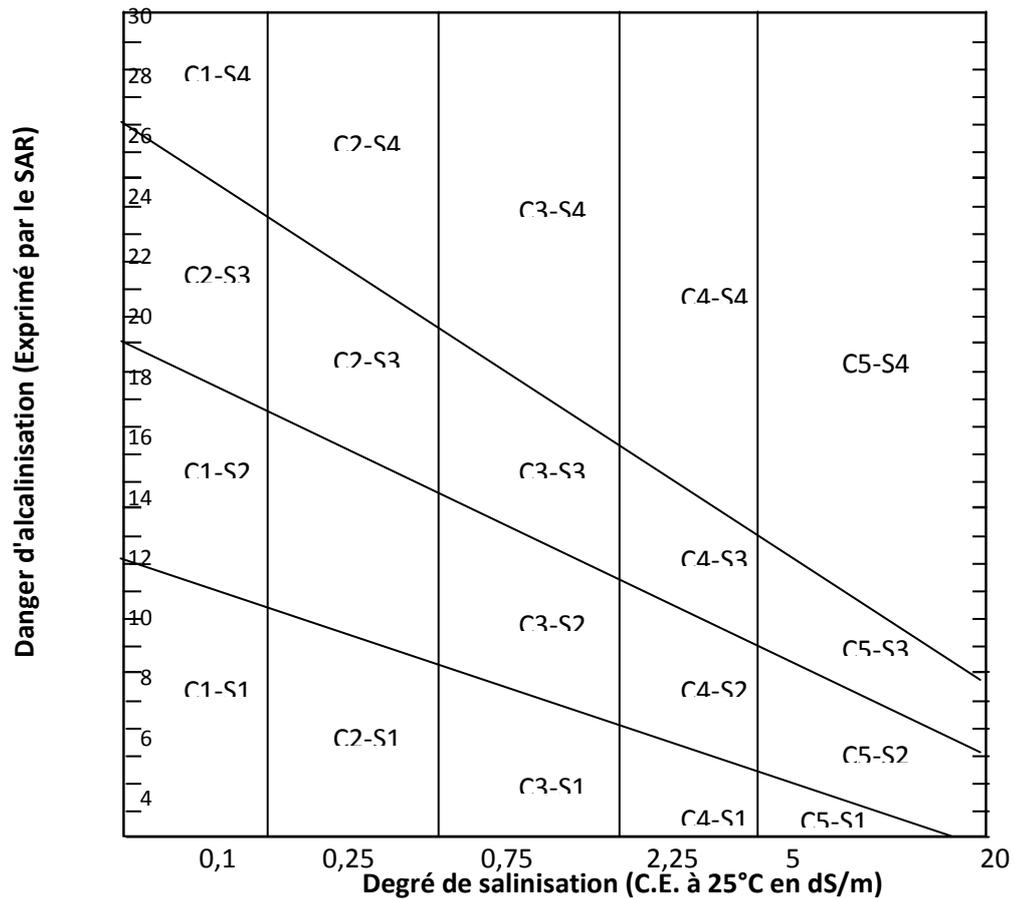


Figure 02. Diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux en fonction de C.E. à 25°C et du S.A.R. (DURAND, 1958).

I.6. Salinité de l'eau :

D'après DURAND (1958), ce caractère permet de déterminer cinq classes d'eau d'après la relation entre la conductivité électrique à 25°C de l'eau et le danger de salinisation du sol :

C1 : C.E. à 25°C < 0,25 dS/m : eaux non salines, utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol.

C2 : C.E. à 25°C comprise entre 0,25 et 0,75 dS/m : eaux à salinité moyenne, utilisables avec un léger lessivage.

C3 : C.E. à 25°C comprise entre 0,75 et 2,25 dS/m : eaux à forte salinité, inutilisables même avec un bon drainage ; il faut des pratiques spéciales de contrôle de salinité, et seules les plantes tolérantes qui peuvent être cultivées.

C4 : C.E. à 25°C comprise entre 2,25 et 5 dS/m : eaux à très forte salinité, inutilisables normalement pour l'irrigation ; exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très

perméables avec un bon drainage et avec une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

C5 : C.E. à 25°C >5 dS/m : eaux à salinité excessive, inutilisables sauf sur sable drainé et pour des cultures très tolérantes comme le palmier dattier.

Ce diagramme se base sur le paramètre de salinité de l'eau (C.E à 25°C) et le danger d'alcalinisation des sols exprimé par le S.A.R

- **Problèmes de salinité**

La qualité des eaux d'irrigation doit être de bonne qualité parce que une eau de mauvaise qualité peut avoir des incidences graves sur le développement des plantes. La plante peut absorber l'eau de deux façons soit par les organes aériens (cas de l'irrigation par aspersion) soit par les racines, mais la quantité d'eau absorbée par les feuilles est toujours faible, ce sont les racines qui assurent la quantité d'eau nécessaire à la plante (MEDJBOUR, 2005).

La présence de sels dans le sol et l'eau d'irrigation pose trois groupes principaux de problèmes:

a) Un problème d'alimentation en eau des plantes:

- ✓ le passage de l'eau du sol à la plante est due en partie à la pression osmotique développée par les cellules racinaires.
- ✓ la présence ou l'accumulation des sels dans la zone racinaire diminue le potentiel osmotique des plantes.
- ✓ l'augmentation de la concentration saline dans la solution du sol peut arriver à annuler la pression osmotique et entraîner pour la plante un phénomène de sécheresse physiologique fatale.

b) Un problème lié à la dispersion des argiles et à l'imperméabilisation du sol

L'imperméabilité peut être engendré par l'arrosage avec des eaux salées de sol bien structurés, et a teneur en sodium en regard de la teneur en ion flocculant (et notamment l'ion calcium) renseignera sur les risques de défloculation entraînée par une eau salée.

c) Un problème de rendement et de toxicité

Les éléments chimiques qui sont importants à considérer dans l'étude de la salinité sont:

- ✓ Cations : Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , k^+ , Li^+
- ✓ Anions : Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^-
- ✓ Autres éléments chimiques: Si, B, Se

D'après DUBOST (1991) il y a un risqué de contamination des eaux souterraines si elles ne sont pas salées au préalable.

Nous signalons que par une ETP annuelle de 2000 mm (20000m³ /ha) et en irriguant avec une eau de concentration en sel de 1g/l nous risquerons d'accumuler 20 tonnes de sel par hectare (DUBOST, 1991).

I.7. Danger d'alcalinisation du sol :

En fonction du risque d'alcalinisation des sols, quatre classes ont été distinguées par l'U.S.S.L. (1954), ces classes ne sont pas délimitées par des valeurs absolues mais par des droites à pente négatives en fonction de l'accroissement de la salinité. Donc cette classification tient aussi compte non seulement du S.A.R mais aussi de la quantité totale des sels dissous dans l'eau. Elle se calcule par la formule suivante : (GAPON, 1933 in DURAND, 1958).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad \text{Avec: } Na^+, Ca^{++} \text{ et } Mg^{++} \text{ en méq/l.}$$

S1: S.A.R. de 0 à 10 : eaux faiblement sodiques, utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées (avocatier).

S2 : S.A.R. de 10 à 18 : eaux moyennement sodiques, le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et a forte capacité d'échange. Ces eaux sont utilisables sur les sols à texture grossière ou en présence de gypse.

S3 : S.A.R. de 18 à 26 : eaux fortement sodiques, pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, leur emploi exigera la mise en œuvre d'un aménagement spéciale ; bon drainage, fort lessivage, addition de matières organiques.

S4 : S.A.R. de 26 à plus de 30 : eaux très fortement sodiques, le danger d'alcalinisation est très fort, de telles eaux sont impropres à l'irrigation sauf si leur salinité est faible et permet l'addition de calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment.

I.8. Classes d'eau :

Il y'a 20 classes d'eau dans le diagramme de l'U.S.S.L. (1954) modifiée par DURAND(1958) dont la qualité pour l'irrigation varie en fonction de la salinité et la sodicité en même temps (Tableau 6).

Tableau 04. Les classes d'eau par DURAND (1958)

Classe	Qualité	Interprétation
C1 – S1	<i>Bonne qualité</i>	Précaution avec les plantes sensibles
C1 – S2 C2 – S1	<i>Qualité moyenne à bonne</i>	A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitières).
C2 – S2 C1 – S3 C3 – S1	<i>Qualité moyenne à médiocre</i>	A utiliser avec précaution. Nécessite de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse
C1 – S4 C2 – S3 C3 – S2 C4 – S1	<i>Qualité médiocre à mauvaise</i>	Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers, bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
C2 – S1 C4 – S2 C3 – S3	<i>Qualité mauvaise</i>	A utiliser, avec beaucoup de précautions que dans les sols légers et bien drainés et pour des plantes résistantes. Risque élevés. Lessivage et apports de gypse indispensable
C3 – S4 C4 – S3	<i>Qualité très mauvaise</i>	A utiliser que dans des circonstances exceptionnelles
C4 – S4	<i>Déconseiller pour l'irrigation</i>	
C5 – S1 C5 – S2 C5 – S3 C5 – S4	<i>Très déconseillé pour l'irrigation</i>	

Les études réalisées par DURAND (1958) sur la qualité des eaux en Algérie montrent que:

- **5% des eaux en classe C1**
- **28% des eaux en classe C2**
- **28% des eaux en classe C3**
- **21% au delà de 6 mmho/cm**

I.8.1. Classification de Christiansen et al. (1977) :

C'est une classification fondée sur sept critères:

- La conductivité électrique.
- Le pourcentage en Na
- Le SAR
- La teneur en Na₂CO₃
- La teneur en Cl⁻.
- La salinité effective : ES
- La teneur en Bore

Les différentes classes sont représentées dans le tableau ci-après:

Tableau 05 : Classification de Christiansen et al. (1977)

Classe	CE en mmhos/cm	Na en %	SAR	Na ₂ CO ₃ en méq/l	Cl - en méq/l	ES en méq/l	Bore en ppm
1	0.5	40	3	0.5	3	4	0.5
2	1.0	60	6	1.0	6	8	1.0
3	2.0	70	9	2.0	10	16	2.0
4	3.0	80	12	3.0	15	24	3.0
5	4.0	90	15	4.0	20	32	4.0
6	Valeurs supérieures aux limites de 5						

I.8.2. Classification mondiale (F.A.O):

D'après CHALI (2003), La classification donnée en fonction de la concentration des sels :

- 1 g/l bonne irrigation
- 1 – 3 g/l faiblement salée
- 3 – 5 g/l moyennement salée
- 5 – 10 g/l fortement salée
- > 10 g/l extrêmement salée

Chapitre II. Pollution de l'eau

L'importance, le type et le degré de pollution dans les régions sahariennes sont le plus souvent liés au développement urbain, L'usage de l'eau et les spécificités physico- chimiques des effluents. Ces données sont indispensables pour évaluer le degré de pollution et de concevoir les méthodes et les ouvrages adaptés au contexte environnemental du bassin versant et ce, en vue d'améliorer ou d'atténuer les effets néfastes engendrés par la pollution sur l'environnement (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la crise globale de l'environnement. En effet, à la différence de divers phénomènes de pollution qui ne constituent qu'une menace potentielle susceptible d'affecter à l'avenir les activités humaines, la crise de l'eau sévit déjà depuis longtemps et avec une gravité sans cesse accrue, affectant aussi bien les pays industrialisés que ceux du tiers monde (RAMADE, 2002)

Le terme de pollution peut être défini comme "*une modification défavorable du milieu naturel qui résulte en totalité ou en partie de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes*" (BARBAULT, 2008).

1. Définition :

La pollution de l'eau est une dégradation de celle-ci par l'introduction de substances toxiques, qui nuisent directement à la chaîne alimentaire. Les rejets anthropiques dans l'eau concernent une grande surface géographique (TOUCHART, 2003).

2. Types de pollution des eaux :

2.1. Pollution physique :

Elle est due à la présence des matières en suspension parfois des colloïdes, elle se traduit par un trouble ou coloration prononcée (GUERBOUZ, 2005-2006). La pollution physique des eaux à trois aspects:

2.1.1. La pollution thermique des eaux :

Les activités humaines peuvent réchauffer directement les eaux, principalement par les rejets des centrales thermiques, le réchauffement de la tamise est du à 75% aux rejets des centrales et à 6% à ceux de l'industrie, les 19% restants représentant toutes les autres activités réunies. (TOUCHART, 2003).

Les bouleversements thermiques indirects concernent la construction de barrages sur les cours d'eau. si les sorties sont celles de vannes de fond, les eaux fluviales sont en général refroidies pendant l'été, tandis que si l'eau s'échappe par un déversoir de surface, l'émissaire tend à être réchauffé. En Dehors de la saison estivale, le changement est très faible. (TOUCHART, 2003).

Elle se traduit par l'accroissement de la température due à des circuits de refroidissement dont le plus souvent relevant de centrales énergétiques (BERNARD, 1999).

II.1.2. Transport de matière solide en suspension :

Elle agit en augmentant la turbidité de l'eau qui réduit la pénétration de la lumière (NORE, 2007).

2.1.3. La pollution radioactive :

C'est la pollution générée par la radioactivité. Elle peut avoir plusieurs origines : naturelle, Industrielle, militaire, médicale...

La pollution radioactive est nocive pour l'homme : en effet, les radioéléments ont une durée de vie plus ou moins longue et se désintègrent en émettant des rayonnements dangereux. Lorsque des radioéléments sont fixés dans le corps humain, ils peuvent être dangereux même si la quantité totale de rayonnements émis est relativement faible, car ils atteignent les cellules environnantes de manière très concentrée, pouvant créer des tumeurs (caractère mutagène des radiations) (MNT, 1994).

Les agents physiques de pollution sont : la chaleur, le transport de la matière et la radioactivité.

La chaleur, par augmentation de la température de l'eau, surtout de sulfates, provoque des effets écologiques sur la vie aquatique (développement des microorganismes telles que les algues). Elle diminue la solubilité de l'oxygène, déficit renforcé par l'accroissement de l'activité biologique qui le consomme.

Les matières solides en suspension sont entraînées par les eaux d'infiltration efficace. Certaines particules de l'ordre du micron, peuvent ainsi transiter et atteindre la nappe.

La radioactivité est proportionnellement la plus dangereuse des polluants physiques. C'est pourquoi tous les rejets sont sévèrement contrôlés.

2.2. Pollution biologique :

La pollution biologique des eaux se traduit par une forte contamination bactérienne, les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou que sont transportés dans l'eau sont: les bactéries, les virus, les parasites, les champignons et les algues (NORE, 2007).

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau. Les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les eaux souterraines en limitent cependant la diversité. Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles (ABDELMALEK, 2005).

2.3. Pollution chimique :

La pollution chimique est engendrée par des rejets de produits chimiques à la fois d'origine industrielle et domestique. Dans ce qui suit, on déterminera les polluants responsables qu'ils soient organiques ou inorganiques (AMARA, 1993).

Les micropolluants chimiques organiques sont représentés essentiellement par :

- Les hydrocarbures :

Les eaux continentales sont polluées par les hydrocarbures essentiellement de manière régulière, et souvent diffuse, par les effluents des raffineries, le lessivage des routes par les pluies et les vidanges d'automobile non contrôlées (TOUCHART, 2003).

- Les pesticides :

Ces substances chimiques (on en dénombre aujourd'hui plus de 300 types) destinées à protéger les végétaux contre les insectes, les champignons ou les mauvaises herbes peuvent pénétrer dans le sol pour atteindre les eaux souterraines ou se déverser directement dans les cours d'eau. Dans l'environnement, certains de ces pesticides se transforment en métabolites qui deviennent très difficiles à détecter (BENZIADA et BENMAMAR, 2007).

- **Les détergents :**

Un détergent est un produit complexe contenant un ou plusieurs agents de surface et des composés minéraux (carbonates, phosphates, poly phosphates, perborates), souvent associés à des matières organiques améliorantes, à des enzymes hydrolysant et à des séquestrant.

La biodégradabilité de ces substances est très variable. Les détergents sont rares dans les eaux souterraines, ils sont peu toxiques mais ils facilitent par leur pouvoir mouillant la dispersion et le transfert d'autres polluants comme les pesticides.

La figure ci-après, schématise le processus de contamination de la nappe par des polluants chimiques.

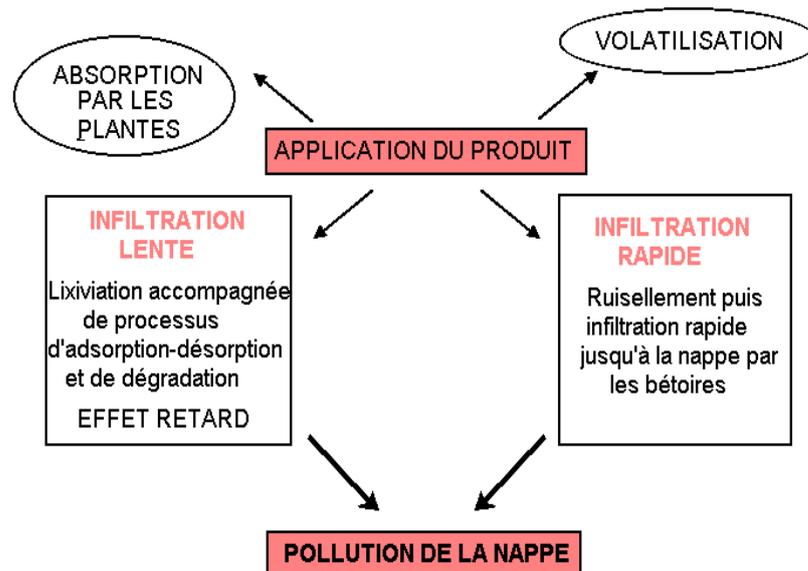


Figure 03 : Processus de contamination de la nappe par des polluants chimiques (VILAGINER, 1989)

Alors que les micropolluants chimiques inorganiques sont :

- **Métaux lourds :**

Les métaux lourds polluants de l'eau sont : l'arsenic, le cadmium, le chrome, le mercure, le zinc et le nickel. Ils existent à l'état naturel dans le sol et certains d'entre eux comme le fer, le cuivre, le chrome...sont des oligoéléments nécessaires au fonctionnement de certains enzymes indispensables à l'organisme.

En revanche, d'autres éléments comme le plomb, le cadmium et le mercure sont toxiques pour l'homme (VILAGINES, 2003).

- **Ammoniaque :**

L'ammoniaque est un gaz soluble dans l'eau mais suivant les conditions de pH il se transforme, soit en un composé non combiné, En plus, génèrent de mauvais goûts (BREMOND et PERRODON, 1976).

- **Nitrites:**

Les nitrites peuvent être rencontrés dans l'eau, mais à des doses faibles. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant (BREMOND et PERRODON, 1976).

- **Phosphatés :**

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol; leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (LADJEL et TODEFT, 2002).

III. Origine de la pollution :

Selon l'origine de la pollution, on distingue trois catégories : pollution urbaine, pollution industrielle et pollution agricole.

3.1. Pollution urbaine :

Due principalement aux rejets domestiques (eaux domestiques, eaux collectives de lavage, huiles de vidange, médicaments périmés, Elle est liée aux grandes concentrations urbain matières fécales, etc.)

Les eaux usées des habitations et des commerces entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les déchets domestiques, les eaux d'égouts et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération. Le flot déversé est très variable en fonction de l'importance de l'agglomération et de son activité (ABDELKARIM, 2003).

Le «tout à l'égout» est une expression significative, elle exprime cette diversité. On trouve les excréments, les restes d'aliments, les déversements d'abattoirs, les déversements hospitaliers, les lessives, les détergents, les insecticides, les hydrocarbures, les déchets de la petite industrie et divers produits toxiques (ABDELKARIM, 2003).

Parmi les problèmes environnementaux auxquels se trouve confronté le bassin versant, ceux engendrés par les déchets solides sont préoccupants. L'urbanisation accélérée, le plus

souvent incontrôlée, la croissance démographique et la densité de la population, ainsi que le changement de mode de consommation, ont fait que les quantités de déchets urbains générés quotidiennement sont de plus en plus importantes et leur gestion de manière écologiquement rationnelle est devenue de plus en plus problématique, que ce soit au niveau de la collecte et de l'évacuation qu'au niveau de l'élimination. (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

3.2. Pollution industrielle :

Les rejets liquides industriels véhiculent une importante pollution organique et toxique. IL s'agit de différents déchets provenant des industries diverses qui sont principalement installées au niveau du rivage à la fois pour se débarrasser des déchets directement et pour faire refroidir leurs machines (Industrie alimentaire, Industrie agricole, Tannerie et textile, Papeterie, Industrie physique, Industrie chimique, Industrie pétrochimie) (AMARA, 1993).

Ce type de pollution peut avoir un effet toxique sur les organismes vivants et nuire au pouvoir d'auto épuration de l'eau, ou causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, radioactivité, etc.) (AMARA, 1993).

L'impact des rejets industriels sur la qualité de l'eau est fonction de leur affinité avec l'oxygène, de la quantité de solides en suspension, et de leurs teneurs en substances organiques et inorganiques. Dans le meilleur des cas, une première étape d'épuration se fait sur le site même de production, le reste des eaux usées étant ensuite dirigé vers les systèmes de traitement municipaux. Malheureusement, pour de nombreuses unités de production, les eaux usées retournent dans un cours d'eau sans traitement préalable, ou insuffisamment assainies (AMARA, 1993).

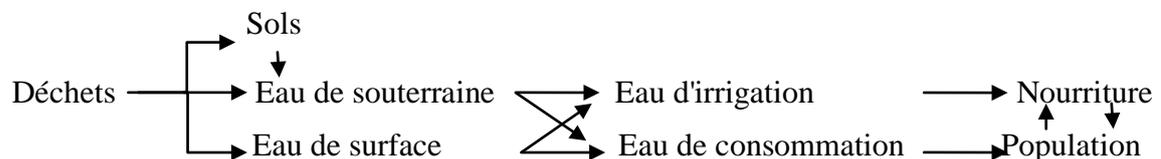


Figure 04: Parcours hydrique de contamination (ANCTIL, 2008)

3.3. Pollution agricole

L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterrains. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux, notamment des nitrates (BELLAN et PERES, 1994).

Cette activité constitue une source de pollution des ressources en eau. La culture la plus répandue dans la région d'étude est la phoeniciculture avec près de 2.4 millions de palmiers, couvrant au total 23000 ha. Pour le moment le problème de la pollution des eaux des nappes phréatiques dans ces régions agricoles ne se pose, car les agriculteurs et surtout pour ce type de cultures (palmiers) n'utilisent pas souvent des engrais, mais plutôt du fumier. Cette problématique peut et pourra se rencontrer dans les zones de mise en valeur agricole de type maraicher, notamment sous serres. (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

4. Paramètres de pollution :

4.1. Paramètres chimiques:

Les matières organiques nécessitent de l'oxygène pour leur métabolisation par les micro-organismes. Cette demande en oxygène peut être représentée biologiquement ou chimiquement, suivant divers paramètres tels que la DBO (demande biochimique en oxygène), la DCO (demande chimique en oxygène) (GAID, 1985).

4.1.1. La demande biochimique en oxygène:

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau avec le concours des microorganismes qui se développent dans des conditions données du milieu (BREMONDE et PERRODON, 1976).

4.1.2. La demande chimique en oxygène (D.C.O) :

La demande chimique en oxygène traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques et minérales contenues dans l'effluent. La mesure de la D.C.O. se fait à l'aide d'un oxydant énergétique comme le bichromate de potassium, en milieu acide, et à chaud pendant deux heures. On estime que cette oxydation détruit à 90-95 % des composés (GAID, 1985).

4.2. Paramètres physique:

4.2.1. Les matières en suspension :

Il s'agit de matières qui ne sont ni solubilisées ni colloïdales. On peut considérer qu'ils représentent un intermédiaire entre les particules minérales du type sable ou poussières de charbon et les particules minérales du type mucilagineuse. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales (GAID, 1985).

Deux techniques sont actuellement utilisées pour le dosage des matières en suspension:

- Séparation par filtration (filtres en papier, membranes filtrantes). -

- Centrifugation.

4.2.2. Les matières volatiles en suspension :

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension (GAID, 1985).

4.2.3. Les matières minérales :

C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles. Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspondent à la présence de sels, silice poussières (GAID, 1985).

5. Evolution de la pollution en milieu saturé :

Dans l'aquifère, en raison de la rareté ou de l'absence d'oxygène, de matières organiques et de microorganismes, le rôle épurateur est réduit, comparativement à la zone non saturée. Les mécanismes de transport du soluté dans l'aquifère sont complexes. Ils sont la conséquence de l'hétérogénéité du réservoir. La dispersion du soluté se fait à la verticale du foyer de contamination (zone non saturée), puis selon un étalement latéral dans le sens de l'écoulement de l'eau souterraine (zone saturée) (BREDEHOEFT, 1973).

La dilution est d'autant plus importante que le débit de la nappe, la vitesse et la transmissivité sont élevées. La vitesse d'écoulement est assez lente en aquifère homogène, mais peut être extrêmement rapide en milieu karstique (BREDEHOEFT, 1973).

Dans la nappe, l'extension du panache de pollution dépend essentiellement de la direction et de la vitesse d'écoulement de l'eau, mais aussi des caractéristiques du polluant :

- La viscosité d'un polluant non miscible,
- L'adsorption et la désorption sur les particules de la matrice argilo humique,
- L'évolution chimique du polluant (BREDEHOEFT, 1973).

Il faut distinguer les éléments chimiques solubles des insolubles plus légers ou plus lourds que l'eau (Fig.05, 06, 07), et les polluants bactériologiques (BREDEHOEFT, 1973).

Les substances organiques solubles sont maintenues en solution sous forme moléculaire par des liaisons hydrogènes. Les produits organiques peuvent être totalement détruits dans l'eau, ou transformés en produits non toxiques, par des réactions chimiques. La dégradation transforme un produit complexe en produits simples. L'activation est la transformation d'une substance non toxique en une molécule toxique. La détoxification consiste en la perte du caractère toxique (BREDEHOEFT, 1973).

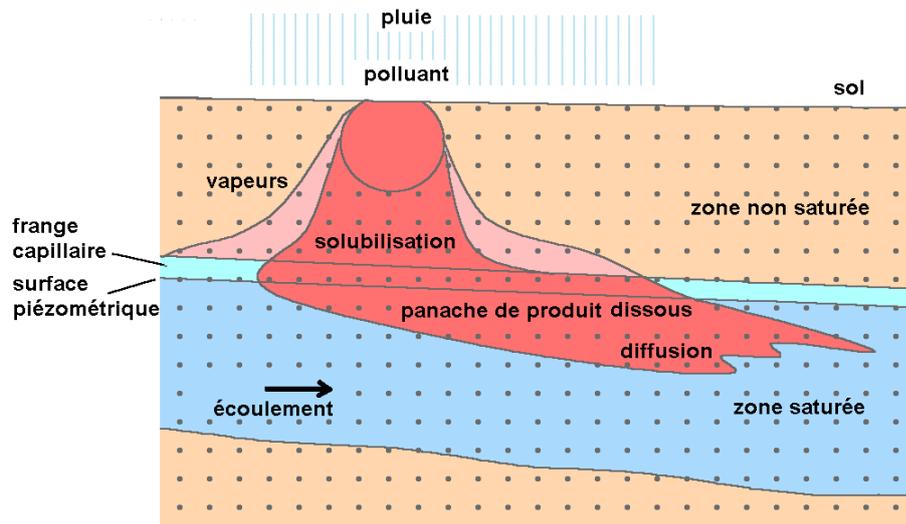


Figure 05: Pollution par un produit soluble n'atteignant pas la nappe (BREDEHOEFT, 1973)

Les polluants insolubles plus légers que l'eau restent à la surface de la nappe où ils s'étalent. C'est principalement le cas des hydrocarbures, même si quelques uns sont légèrement solubles (phénols, aromatiques). Pour circuler dans le sol et rejoindre la nappe, les hydrocarbures doivent être en quantité suffisante pour former une phase continue. S'ils sont présents sous forme discontinue (gouttelettes piégées dans les pores), la pollution sera plus lente. (BREDEHOEFT, 1973).

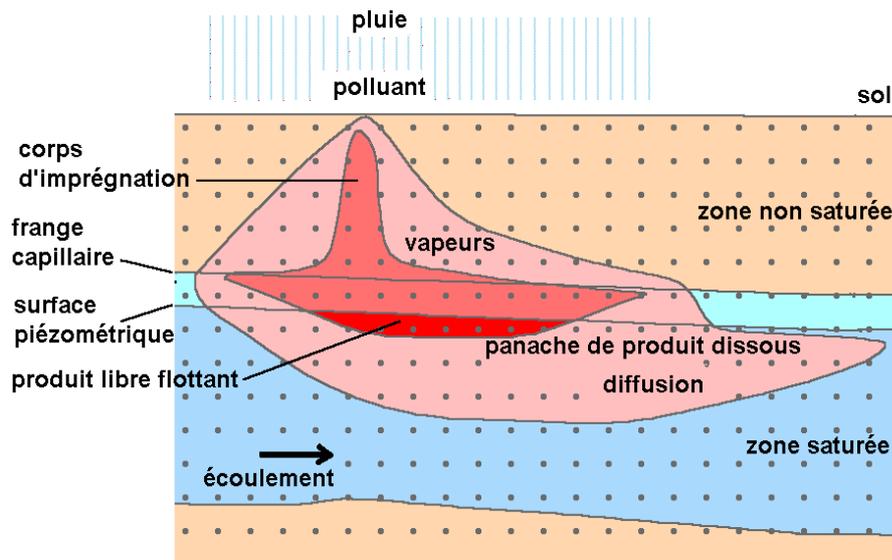


Figure 06: Pollution par un produit plus léger que l'eau et qui atteint la nappe. (BREDEHOEFT, 1973).

Les polluants insolubles et plus denses que l'eau comme les organochlorés migrent jusqu'à la nappe sans laisser de traces derrière eux. Une fois arrivés à la nappe, ils continuent à descendre jusqu'à la base, puis migrent dans le sens du pendage. Peu ou pas biodégradables, ils polluent la nappe pour des durées très longues. Ils sont très difficiles à localiser et à éliminer (BREDEHOEFT, 1973).

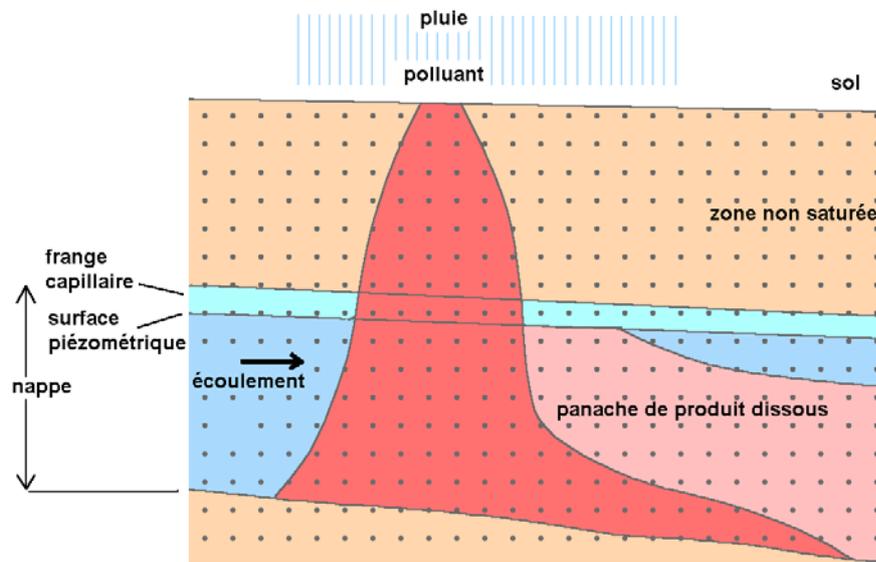


Figure 07: Pollution de la nappe par un produit plus lourd que l'eau. (BREDEHOEFT, 1973).

6. Les effets de pollution:

L'utilisation irrationnelle des ressources en eau souterraines, notamment dans les régions bien pourvues en eau (Sahara septentrional) a engendré des conséquences négatives sur le milieu. En effet, L'accroissement rapide de L'utilisation de ces ressources sans une politique de planification et de gestion a créé des situations graves pouvant avoir des conséquences néfastes et irréversibles. Actuellement, les zones de palmeraies connaissent d'énormes problèmes liés directement aux conditions naturelles de la région (morphologie du terrain, forte évaporation, salinité des eaux et des sols) et la mauvaise exploitation hydro-agricole (travaux culturaux et entretien, mode d'irrigation) (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

La pollution n'est pas toujours visible. L'eau d'un cours d'eau peut sembler limpide alors, qu'elle est polluée. Par ailleurs, les polluants sont particulièrement difficiles à détecter. Aussi, les effets de la pollution ne sont pas nécessairement immédiats; ils peuvent prendre des années à se manifester.

Cette pollution rendant l'eau impropre à la consommation, est une menace éventuelle pour la santé humaine. Les effets sur la santé de l'homme sont essentiellement dus aux pollutions bactériennes et chimiques.

Cet apport en excès de nitrates des engrais ne peut être absorbé en totalité par les plantes. Le surplus reste sur les sols et est lessivé par les pluies. On finit par retrouver ces engrais dans les eaux superficielles ou dans les eaux souterraines (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

L'effet de pollution n'est pas nécessairement lié à la libération dans l'environnement de substances toxiques: la production excessive de composés naturels impliqués dans les cycles biogéochimiques est aussi une grave source de déséquilibre.

Ainsi, les quantités de polluants rejetées dans l'atmosphère peuvent être si élevées par rapport aux sources naturelles dans le cas des dérivés gazeux du carbone et de ceux du soufre, par exemple, que la circulation des éléments correspondants dans la biosphère en est fortement modifiée (BARBAULT, 2008).

6.1. Impact de la mauvaise qualité des eaux sur le milieu:

6.1.1. Salinité des eaux et des sols:

D'une manière générale, la salinité des eaux au Sahara est due généralement aux nombreux massifs à affleurements gypso- salins. L'excès de sels dans les sols a pour origine, la nature des alluvions du quaternaire, la qualité de l'eau d'irrigation et la remontée des niveaux des nappes phréatiques salées. Ce phénomène est aggravé par une accumulation de différents types de sel (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

Ce phénomène de salinisation, que affecte la majorité des sols du Sahara est associé dans la majorité des cas à une texture grossière (sableuse) ce qui accélère la migration (lessivage) des sels dans les sols.

La salure des sols d'oasis est étroitement liée au mode d'irrigation et aux méthodes culturales. La salinité des sols agricoles au Sahara se pose avec acuité et a engendré des contraintes importantes notamment, dans les palmeraies (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

6.1.2. Excès d'eau dans les zones urbaines et agricoles:

L'utilisation accrue de façon anarchique de ces eaux souterraines pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable a engendré des problèmes dus, notamment à la création et/ou la remontée des niveaux de nappes phréatiques nuisibles pour l'agriculture et l'environnement. Les problèmes liés à cette remontée des eaux dans certaines agglomérations sont significatifs et

illustrent parfaitement la mauvaise gestion de la ressource en eaux souterraine au sahara septentrional.

En effet, la plupart des zones de palmeraies connaissent d'énormes problème liés directement aux condition naturelles de la région (morphologie du terrain, forte évaporation, salinité des eaux et des sols) et la mauvaise exploitation hydro-agricole (travaux culturaux et entretien, mode d'irrigation) (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

6.1.3. Conséquences de la contamination des eaux souterraines :

La contamination des eaux souterraines par les composés xénobiotiques toxiques même en faibles concentrations peut compromettre l'exploitation de la ressource pour de longues périodes de temps. La persistance élevée et la faible mobilité de certains polluants (ex. : les métaux lourds) dans l'aquifère imposeront malgré tout une restriction prolongée de l'usage de points d'eau.

L'intensification des activités industrielles et agricoles, ainsi que la diversification des modes de sous-produits de production ou des déchets après consommation, rendent vulnérables les ressources en eau souterraines. Les modifications de régimes induisant des variations de niveau piézométrique par des pompages excessifs dans les zones urbaines peuvent aussi causer des contaminations par interconnexion des flux. L'impact peut être d'ordre hydrologique dans la mesure où une importante exploitation de la ressource a une action sur le fonctionnement hydraulique de la nappe (avec possibilité d'intrusion marine) (COLLIN et MELLOUL, 2003).

L'intrusion saline peut se définir comme la migration des eaux salées dans les eaux douces de l'aquifère, sous l'influence de l'évolution des ressources en eau de la nappe (FREEZE et CHERRY, 1979).

Le mouvement se fait naturellement, soit à l'intérieur des terres - on parle ainsi de mouvement descendant des sources de surface et des eaux d'irrigation vers l'aquifère et de mouvement ascendant des formations inférieures vers l'aquifère (MAIMONE et FITZGERALD, 2001).

Soit dans les zones côtières, où les eaux de l'aquifère sont connectées hydrauliquement avec l'eau de mer (EL ACHLEB et al., 2001; TRABELSI et al., 2005) .

A des teneurs en chlorures supérieures ou égales à 700 mg/L, la salinité peut causer des problèmes de toxémie gravidique ou pré éclampsie chez les femmes enceintes, et d'hypertension (ERB, 1999).

6.1.4. Conséquences écologiques de la pollution des eaux:

Le rejet d'un affluent urbain pollué par des matières organiques fermentescibles constitue la cause la plus répandue et prépondérante de dégradation de la qualité des eaux de surface. Un rejet d'égout induit une dégradation considérable tant de la qualité physico-chimique des eaux que de la biocénose aquatique, ce rejet se manifeste en effet sur le plan écologique par l'apparition d'espèces bio-indicatrices positives de pollution et par l'élimination des populations des espèces bio-indicatrices négatives (RAMADE, 2002).

DEUXIÈME PARTIE

MATERIELS & METHODES

Chapitre III. Présentation de la région de Ghardaïa

1. Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara. À environ 600 Km de la capitale Alger. Ses coordonnées géographiques sont (BICHI et BEN TAMER, 2006) :

- Altitude 480 m.
- Latitude 32° 30' Nord.
- Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km², elle est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470Km) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'el-Bayadh (350 Km) .

La wilaya comporte actuellement 11 communes regroupées en 8 daïras pour une population 396.452 habitants, soit une densité de 4,68 habitants/ km² (D.P.A.T., 2009).

2. Climat

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien, se caractérise 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 (A.N.R.H., 2007).

La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de 10 ans entre 2001-2010 ; à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie (**Tabl.06**).

2.1. Température

La température moyenne annuelle est de **22,28°C**, avec **34,1°C** en **Août** pour le mois plus chaud, et **11,2°C** en janvier pour le mois plus froid.

2.2. Précipitation

D'une manière générale, les précipitations sont faibles et d'origine orageuse, caractérisées par des écarts annuels et interannuels très importants et également. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de **61,24** mm.

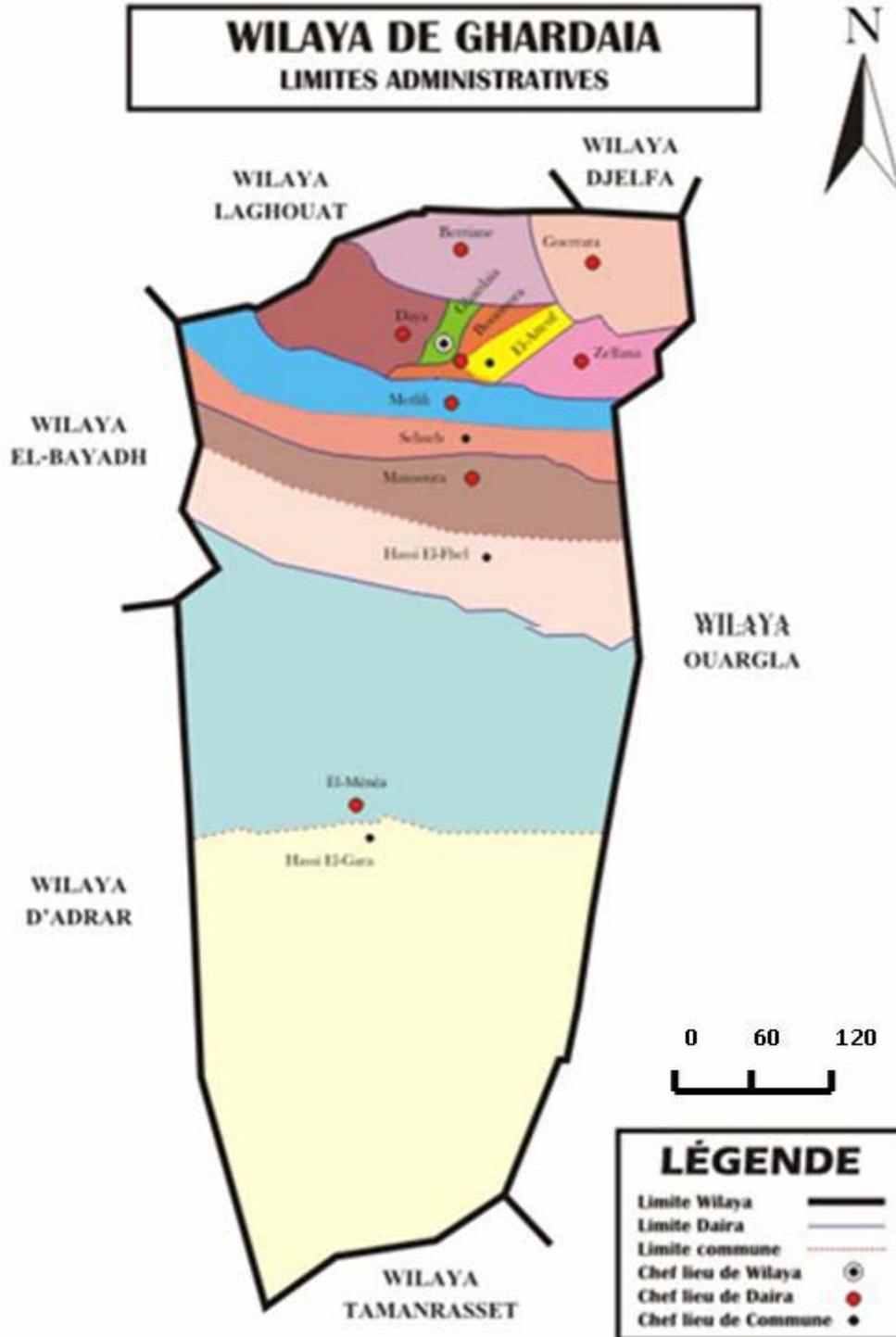


Figure N° 08 : Limites administratives de la wilaya de GHARDAIA (Atlas, 2004)

Tableau N°06: Données météorologique de la Wilaya de Ghardaïa (2000-2010) (O.N.M., 2011)

	T. (°C)	P. (mm)	I. (h)	E. (mm)	H. (%)	V.V (m/s)
Janvier	11,2	13,4	248	93	44	1,6
Février	13,4	1,94	240	112	37	1,64
Mars	17,9	6,16	275	178	30	1,45
Avril	21,4	8,38	292	224	29	1,79
Mai	26,0	1,36	314	279	24	1,68
Juin	31,5	1,83	334	344	20	1,74
Juillet	31,0	3,18	337	392	18	1,86
Août	34,1	9,46	322	351	21	1,61
Septembre	28,6	2,24	271	239	31	1,39
Octobre	23,9	9,55	256	174	33	1,2
Novembre	16,2	5,12	251	113	37	1,08
Décembre	12,2	7	235	157	44	1,34
Moyenne	22,28	61,24*	3375*	2656*	30,66	1,53

H. : Humidité relative

T. : Température

P. : Pluviométrie

I. : Insolation

V.V. : Vitesse de vent

E. : Evaporation

* :Cumule annuel

2.3. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible, elle est de l'ordre de **18%** en juillet, atteignant un maximum de **44%** en mois de décembre et janvier et une moyenne annuelle de **30,66%**.

2.4. Evaporation

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de **2656 mm /an**, avec un maximum mensuel de **392 mm** au mois de Juillet et un minimum de **93 mm** au mois de Janvier.

2.5. Insolation

La durée moyenne de l'insolation est de **281,85 heures/mois**, avec un maximum de **337** au mois Juillet ; et un minimum de **235** au mois de Décembre. La durée moyenne annuelle est de l'ordre **3375 heures/an**, soit approximativement ? heures/jour.

2.6. Vent

Ils sont de deux types :

- Les vents de sables en automne, printemps et hiver de direction nord –ouest.

- Les vents chauds (Sirocco) dominant en été, de direction sud nord ; sont très sec et entraînent une forte évapotranspiration (BENSEMAOUNE, 2007).

D'après les données de l'O.N.M. (2011) pour la période de 2000-2010, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de **1.53** m/s.

2.7. Classification du climat

2.7.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Selon le tableau n° 05 qui se base sur l'enregistrement des données de précipitations et des données de températures mensuelles sur une période de 10 ans, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche.

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté (Fig.09) :

- en abscisse par les mois de l'année.
- en ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- une échelle de $P=2T$.
- L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Dans la région de Ghardaïa, nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année.

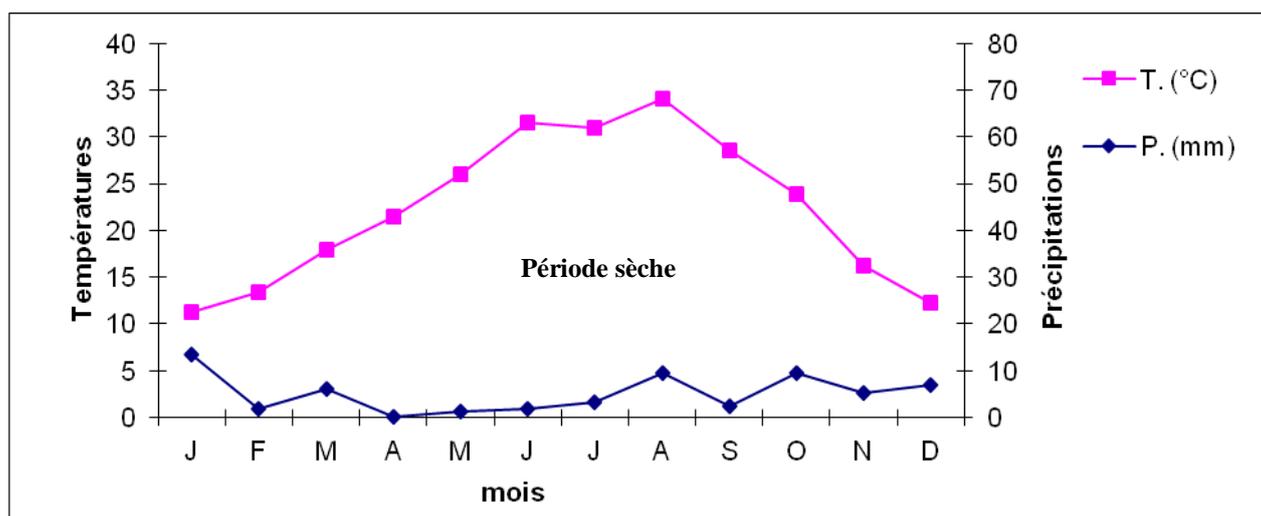


Figure N°09 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa 2000-2010

2.7.2. Climagramme d'EMBERGER

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté :

- en abscisse par la moyenne des minima du mois le plus froid.
- en ordonnées par le quotient pluviométrique (Q2) d'EMBERGER (1933 in LE HOUEROU, 1995).

Nous avons utilisés la formule de STEWART (1969 in LE HOUEROU, 1995) adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q2 = 3,43 P/Mm$$

Q2 : quotient thermique d'EMBERGER

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm $Q2 = 3,43 P/Mm$

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C

m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C

D'après la figure (10), Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique (Q2) est de 7,57.

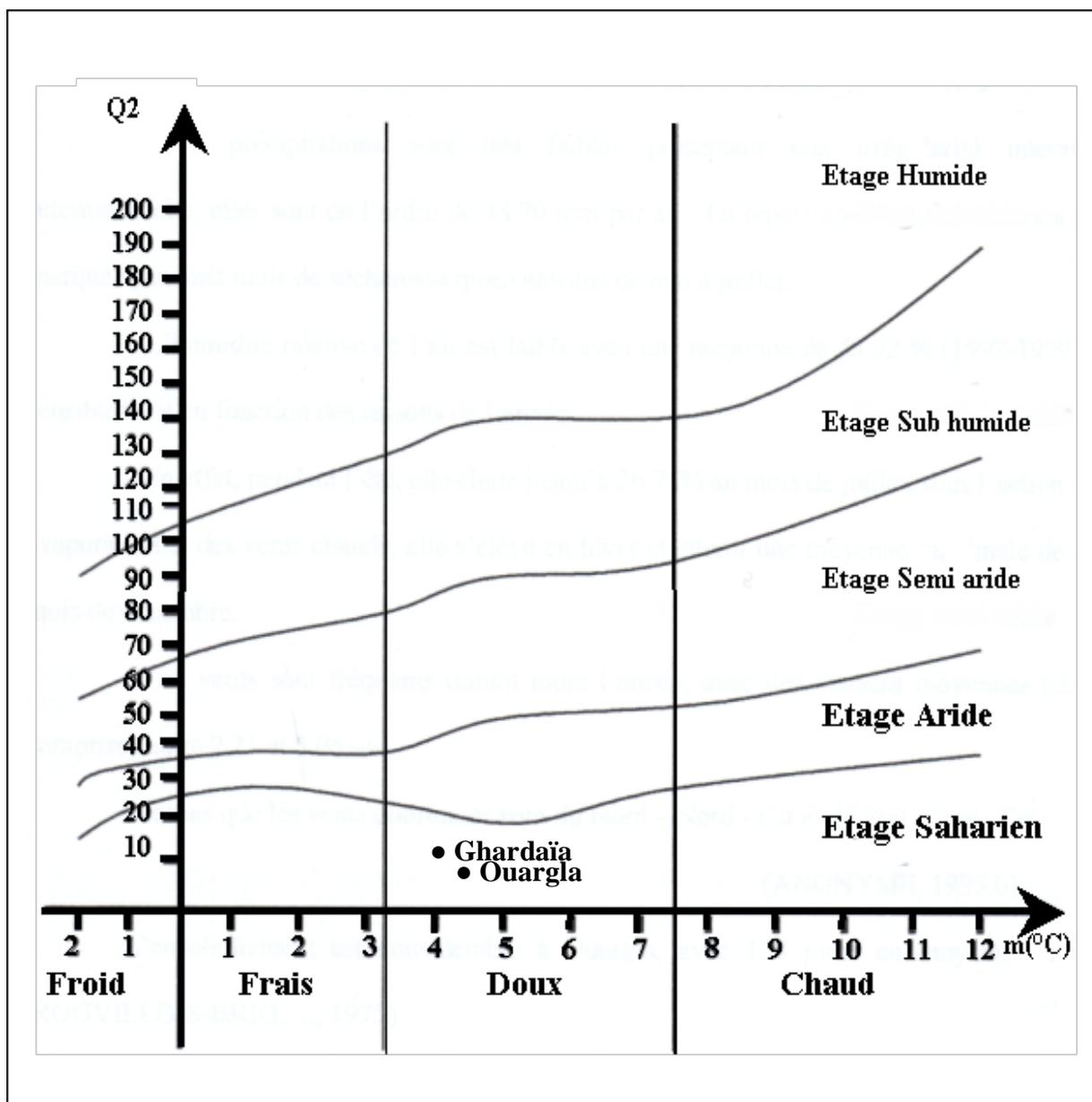


Figure N° 10. Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER

3. Géomorphologie :

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (fig.11) (D.P.A.T., 2005).

-La Chabka du M'Zab.

-La région des dayas.

-La région des Ergs.

3.1.1. Chabka du M'Zab :

C'est un plateau crétacé rocheux et découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles. Leur pente est dirigée vers l'Est (D.P.A.T. ,2005).

La hauteur des vallées du M'Zab est assez variable et n'atteint pas les cent mètres. Leur largeur est parfois de plusieurs kilomètres. Les formations encaissantes comprennent des calcaires, et au dessous des marnes ; les calcaires généralement dolomitiques constituent le plateau et le haut des berges (D.P.A.T. ,2005).

Le plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km², représentant 21 % de la région du M'Zab (COYNE, 1989). Vers l'Ouest, il se lève d'une manière continue et se termine brusquement à la grande falaise d'El loua, qui représente la coupe naturelle et oblique de ce bombement.

Mis à part, Zelfana et Guerrara, les neuf autres communes (Ghardaïa, Berriane, Daïa, Bounoura, El Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoura et Hassi L'Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau.

3.1.2. Région des dayas

Au sud de l'Atlas saharien d'une part et d'autre part du méridien de Laghouat s'étend une partie communément appelée «plateau des dayas» en raison de l'abondance de ces entités physiologiques et biologiques qualifiées des dayas.

Dans la région de Ghardaïa seule la commune de Guerrara, située au nord-est, occupe une petite partie du pays des dayas.

De substratum géologique miopliocène, les dayas sont des dépressions de dimensions très variables, grossièrement circulaires. Elles ont résulté des phénomènes karstiques de dissolution

souterraine qui entraînent à la fois un approfondissement de la daya et son extension par corrosion périphérique (BARRY et FAUREL, 1971 in LEBATT et MAHMA, 1997).

3.1.3. Région des Regs

Située à l'Est de la région de Ghardaïa, et de substratum géologique pliocène, cette région est caractérisée par l'abondance des Regs, qui sont des sols solides et caillouteux.

Les Regs sont le résultat de la déflation éolienne, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf (BELERAGUEB, 1996 in MIHOUB, 2008).

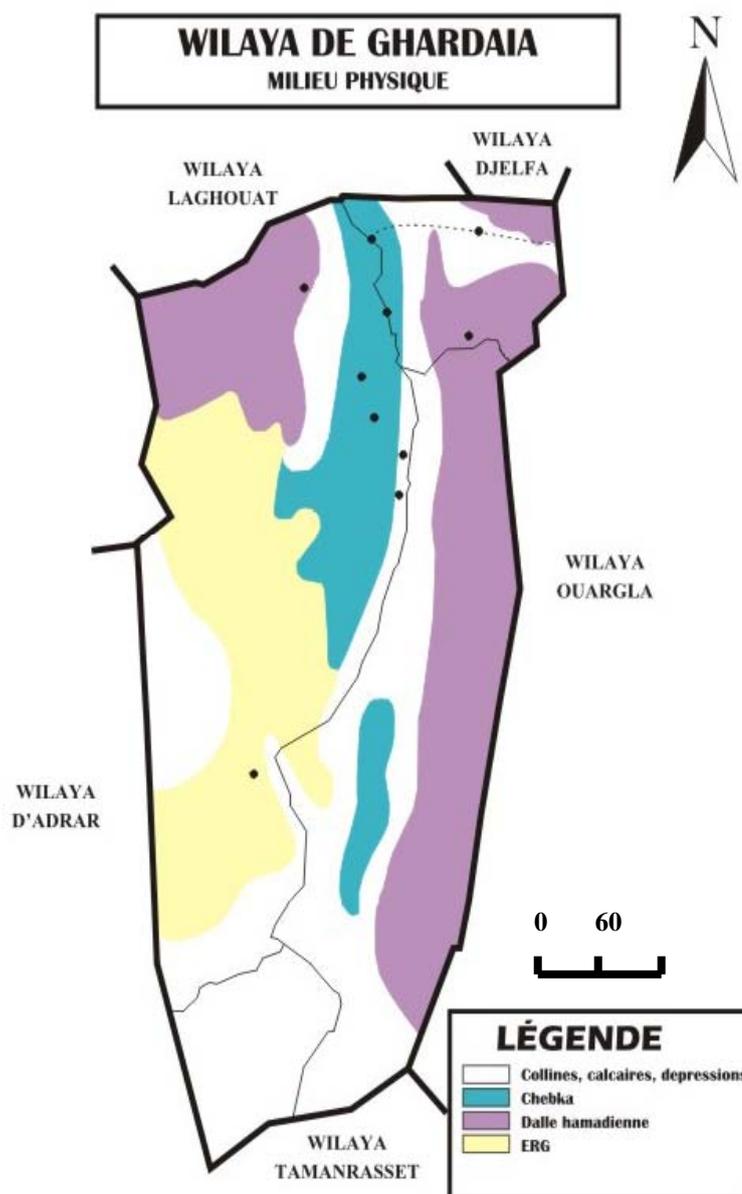


Figure N° 11. Milieu physique de la wilaya de GHARDAIA (Atlas, 2004)

4. Géologie

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'Infero-flux (nappes phréatiques) (fig.12) (A.N.R.H., 2009).

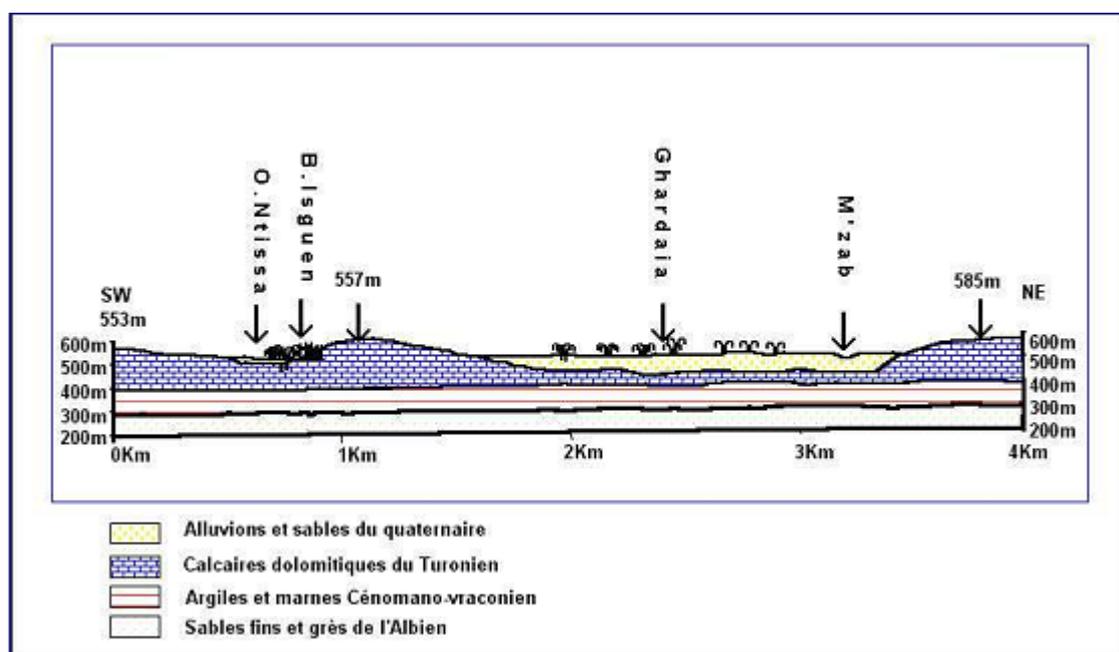


Figure N°12 : Esquisse hydrogéologique du M'Zab

5. Hydrologie :

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir.

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (fig.13), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses qui connaît la région.

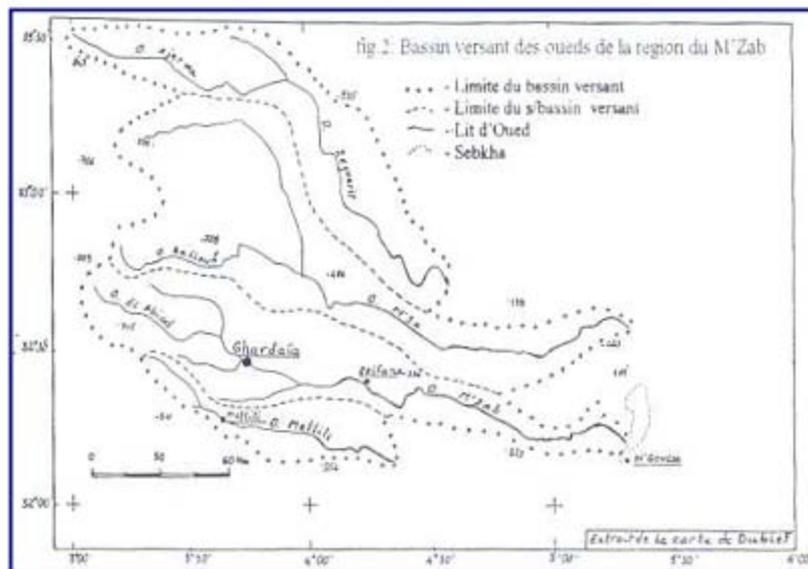


Figure N°13 : Bassin versant de la région du M'Zab

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, ces oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Une étude des crues de l'oued Mzab a estimé les débits de crue décennale et centennale à 205 et 722 m³/s (A.N.R.H., 1994).

Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment pour l'oued M'Zab et Metlili où chaque pluie exceptionnelle cause beaucoup de dommages principalement dans les agglomérations (A.N.R.H., 2007).

6. Réseau Hydrographiques

6.1. Nappe phréatique

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier des dattiers. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie.

La qualité chimique des eaux est comme suit :

- à l'amont, elle est bonne à la consommation.

- à l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines (A.N.R.H., 2007).

6.2. Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m.

Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud Atlasique.

La nappe du continental intercalaire, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au continental intercalaire, elle est :

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120 m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia) (A.N.R.H., 2009).

7. Pédologie

La région du M'zab est caractérisée par des sols peu évolués, meubles, profonds, peu salés et sablo-limoneux. Elle possède une texture assez constante qui permet un drainage naturel suffisant. Par contre la dorsale du M'zab qui entoure la vallée appartient aux regs autochtones (BENZAYET, 2010).

8. agriculture :

Selon les données des services agricole (DSA, 2009) La superficie totale de la Wilaya s'étend sur 8.656.000 hectares et se répartit comme suit :

- Surface Agricole totale : 1.370.911 ha
- Terres improductives non affectées à l'agriculture : 7.285.089 ha

Le secteur agricole est caractérisé par deux systèmes d'exploitation :

- Oasien.
- A.P.F.A (accession à la propriété foncière agricole).

Le patrimoine phoenicicole de la wilaya compte 1049000 palmiers dont 696500 productifs pour une production annuelle moyenne de 321700 quintaux dont 20.000 tonnes Deglet nour. Avec l'extension des surfaces, ce secteur offre de grandes perspectives de développement.

9 -Industrie

La wilaya de Ghardaïa a connu, ces dernières années, une forte implantation de l'investissement industriel, le tissu industriel de la Wilaya est composé de 189 unités industrielles dans les branches d'activité :

- ISMME : 26 unités dont : 25 unités du secteur privé
- Matériaux de construction, céramique et verre : 52 unités dont : 52 unités du secteur privé
- Textile : 57 unités dont : 57 unités du secteur privé
- Agroalimentaire : 10 unités dont : 10 unités du secteur privé
- Chimie, caoutchouc et plastique : 25 unités dont : 23 unités du secteur privé
- Bois, liège, papier et impression : 19 unités dont : 19 unités du secteur privé (Atlas, 2004).

10. Tourisme

La Wilaya touristique de GHARDAIA offre une multitude de curiosités (naturelles, historique et culturelles) telles que la vallée du M'ZAB constituant un joyau architectural classé par L'UNESCO, la région de METLILI, les oasis de ZELFANA, SEBSEB et EL-MENEA avec son désert constituant un début de l'Erg occidental.

La Wilaya de GHARDAIA présente un intérêt important, elle a l'avantage d'être un point d'escale pour les touristes allant vers d'autres régions touristiques. Elle en effet, un passage obligatoire pour se rendre vers le grand Sud (TAMANRASSET) et la région de la SAOURA (TIMIMOUN).

La vallée du M'ZAB, véritable musée à ciel ouvert est classée par l'UNESCO patrimoine historique mondial. Ce « musée du temps » et ce « musée de l'espace », ainsi que le qualifient nombreux chercheurs, est le produit d'une relation toute particulière entre l'homme et la nature qui se sont mutuellement façonnés selon un schéma de peuplement unique en son genre et accordant à La vallée du M'ZAB un cachet historique et un label touristique radicalement différent des autres « Sud Algériens ».

La région de la vallée du M'ZAB est très visitée. L'infrastructure d'accueil aussi bien que les autres équipements touristiques sont disponibles (D.P.A.T., 2009).

11. Artisanat :

Le secteur de l'artisanat dans la wilaya de Ghardaïa se caractérise par la diversité des activités et la qualité des produits fabriqués, le tissage occupe une place toute particulière dans l'artisanat de la wilaya, la tapis symbolise l'activité artisanale de la région.

Les activités de sculpture sur le bois, de céramique, de bijouterie, de broderie, de maroquinerie, et de tannerie complètent la gamme de produits artisanaux de la wilaya (D.P.A.T., 2009).

La wilaya de Ghardaïa présente comme principale atouts, sa position géographique (centre de la partie nord de SAHARA) privilégiant les transactions commerciales, les échanges socio –culturels, malgré son climat désertique, la population locale a élaboré un système performant et ingénieux pour la gestion des ressources hydrologique par le captage et distribution équitable de l'eau.

Grace a cette organisation sociale, une agriculture diversifié s'est développé autour du palmier dattier qui constitué la base de l'agriculture saharienne et en général et un moyen de fixation de la population cependant ajouté aux cultures herbacées, céréalières, maraichère, fourragères et beaucoup plus l'arboriculture fruitières.

A coté de secteur tertiaire (commerce et tourisme), la région dispose une activité industrielle très variée notamment dans les domaines de textile et des matériaux de construction, la transformation agroalimentaire est en perpétuel développement (industrie litière), alors que la transformation dattier est presque inexistante.

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

1. Approche méthodologique :

L'approche méthodologique choisie dans notre étude permet de caractériser la qualité physico-chimique des eaux phréatiques dans la région de Sebseb et d'étudier leurs aptitudes à l'irrigation et à la consommation humaine en comparant les résultats obtenus aux normes nationales et internationales

2. Choix de la région d'étude :

Nous avons sélectionnés la région de Sebseb pour effectuer ce travail. Plusieurs critères déterminent le choix de la région d'étude, les plus importants sont :

- La présence de puits à la nappe phréatique à proximité des rejets urbains (fosses septiques traditionnelles)
- L'existence des exploitations agricoles utilisant ces eaux pour l'irrigation et même pour l'alimentation en eau potable.

3. Présentation de la région de SEBSEB :

Sebseb est située à 60 km du chef lieu de wilaya de Ghardaïa et à 663 km au sud d'Alger. Elle est limitée au nord par la commune de Metlili Chaanba, au sud par la commune d'Ain Beida relevant d'Ouargla, à l'ouest par la commune de Brisina relevant de la wilaya d'El Baydh et enfin à l'est par la commune de Mansourah.

Sebseb a été implantée sur une vallée riche en eaux souterraines peu profondes, il s'agit du lit d'oued qui porte le même nom (Oued Sebseb) (HOUICHITI, 2009).

La vallée de Sebseb est la plus large entre les oueds de la Chebka, ainsi qu'elle est reconnue par ses potentialités en eaux phréatiques, l'endroit a été nommé "les cent puits" (REGNIER, 1939).

Etant donnée que sebseb se situe dans le sud Algérien, et du fait que son altitude s'élève à 429 m au dessus du niveau de la mer, la région se caractérise par un climat saharien sec, Chaud et sec en été et froid en hiver.

Les indices climatiques déterminés par YUCEF (2003), montrent que la zone est caractérisée par un climat hyper aride et présente un caractère xérique , une continentalité

pluviale et thermique, ce qui accentue l'aridité, et une durée d'évaporation de la tranche annuelle de pluie très courte, ainsi, la classification bioclimatique de la station étudiée, suivent le climagramme d'EMBERGER, qui inclut le degré de fraîcheur hivernale, montre qu'il s'agit d'un climat saharien à hiver tempéré.

Le climat et la géologie sont des facteurs déterminants pour les ressources hydriques, sur leur importance, leurs formes et leur mobilisation (HOUICHITI, 2009).

L'eau mobilisée pour l'irrigation provient principalement de la nappe phréatique, exploitée par des puits traditionnels. Selon la surface de la parcelle, on réalise un ou deux puits. Ceci est valable pour les exploitations dotées de forage albiens, réalisés par les services agricoles (HOUICHITI, 2009).

La vallée de Sebseb est une formation qui appartient au quaternaire continental. Cette structure se présente sous forme de lits d'oueds, de dépressions et de dunes. Le plateau rocheux de la chebka est la formation la plus ancienne, elle appartient au secondaire, représentée par le crétacé moyen (le turonien) et le crétacé supérieur marin (le sénonien) (URBATIA, 1996).

La hamada de l'Est et la plaine de l'Ouest sont formées de poudingues calcaires lacustres du pliocène continental (URBATIA, 1996).

Au niveau de la chebka, on ne trouve que des roches calcaires ou dolomitiques, dont le sous-sol est riche en marnes. Les hamadas ne sont que de vastes étendues pierreuses. On ne rencontre du sol qu'au niveau des bas fonds, daya ou lit d'oued suffisamment large, comme celui de Sebseb (HOUICHITI, 2009).

Dans cette vallée on retrouve 3 types d'horizons superficiels : sur l'axe de l'oued, la texture du sol se compose de sable grossier, les éléments fins sont périodiquement lessivés par le ruissellement des crues. Le côté sud est couvert d'une nappe de sable éolien, l'arène présente une profondeur qui varie de 10 cm à 1 m. C'est un sable plus ou moins vif selon son état d'humidité, sa couleur jaunâtre indique la dominance d'un faciès gypseux. Dans la rive nord, on rencontre un mélange compact de terre fine et de cailloux (reg) (HOUICHITI, 2009).

Le terrain présente une surface globalement plane, sauf dans les zones de ruissellement et auprès des obstacles et lieux favorables à l'accumulation du sable, comme les clôtures, les touffes de végétation spontanée, les pistes et les constructions (HOUICHITI, 2009).

L'horizon inférieur, à le plus souvent une texture fine et plus ou moins équilibrée, dite

localement Tkouri (mélange de sable et d'éléments fins). Ce profil n'est pas totalement homogène, car il contient une succession de minces couches argilo-limoneuses. Dans les dépressions et lieux d'épandages des eaux de crue, l'horizon argileux est plus important ; il mesure entre 30cm et 1m et prend une structure massive assez dure.

La profondeur totale du sol augmente des marges vers l'axe de la vallée, ou elle est d'environ 7 m, après quoi la roche mère (El Safia) apparaît, très peu altérée à sa surface (HOUICHITI, 2009).

Deux nappes différentes sont exploitées par la population de Sebseb, l'une depuis des siècles, la nappe phréatique, l'autre depuis des années, la nappe du continental intercalaire (Albien).

- **La nappe phréatique:**

L'existence d'eaux souterraines dans la région du M'Zab, s'explique par la présence d'assises marneuses imperméables de l'étage cénomanien, sous les calcaires turoniens de la Chebka (MOULIAS, 1927).

La nappe phréatique est la principale source pour l'irrigation. Chaque parcelle exploitée a son propre puits. D'ailleurs, vers cette règle tendent les périmètres munis de réseaux collectifs, alimentés par des forages albiens, établis par les autorités (HOUICHITI, 2009).

La profondeur de pompages des eaux de la nappe phréatique varie entre 15 et 25 mètres à partir de la surface du sol. Cette profondeur augmente chaque fois que l'on s'éloigne de l'ancienne oasis. Les puits de la nappe phréatique se trouvent également à l'extérieur de l'oasis. Ils sont nécessaires pour les nomades, et constituent des sources d'eau et des repères pour les terrains et les parcours (HOUICHITI, 2009).

- **La nappe du continental intercalaire :**

En vue d'augmenter les disponibilités en eau pour les besoins agricoles et domestiques des habitants, 11 forages ont été réalisés dans la nappe albienne (DJEKAOUA, 2006).

La profondeur de ces forages est la même (500m), mais le débit varie de 22 à 60 litres par seconde. Pour amener l'eau à la surface, le pompage est nécessaire (HOUICHITI, 2009).

- **Caractéristiques des eaux d'irrigation de la commune de Sebseb:**

Les eaux phréatiques dans la commune Sebseb n'ont pas la même qualité. Certains puits ont une eau relativement douce, d'autres par contre sont plus ou moins chargées en sels.

Quelques puits sont même abandonnés, en raison de leur forte salinité. En revanche, les différents forages de la nappe albienne ont la même qualité d'eau (HOUICHITI, 2009).

L'eau d'irrigation exploitée à cette nappe est fortement saline (0,78 dS/m à 25°C) à excessivement saline (5,86 dS/m à 25°C) avec une moyenne de $2,33 \pm 1,33$ dS/m à 25°C. Ces eaux appartiennent aux classes C3, C4 et C5 (DAOUADI et OULAD SIDI OMAR, 2011)

Dans la commune de Sebseb, I) ; les eaux de la nappe albienne sont caractérisées par une forte salinité (1,62 à 2,19 dS/m à 25°C) avec une moyenne de $1,9 \pm 0,21$ dS/m à 25°C. Tous les forages analysés appartiennent à la classe C3 (DAOUADI et OULAD SIDI OMAR, 2011).

4. Echantillonnage

L'échantillon doit être représentatif de la masse d'eau considérée sans aucune altération entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse.

4.1. Zone d'échantillonnage

Nous avons sélectionné six points d'eau pour la réalisation de ce travail. Ils sont répartis uniformément à travers le lit de l'oued SEBSEB dans la commune de SEBSEB (Fig.14).

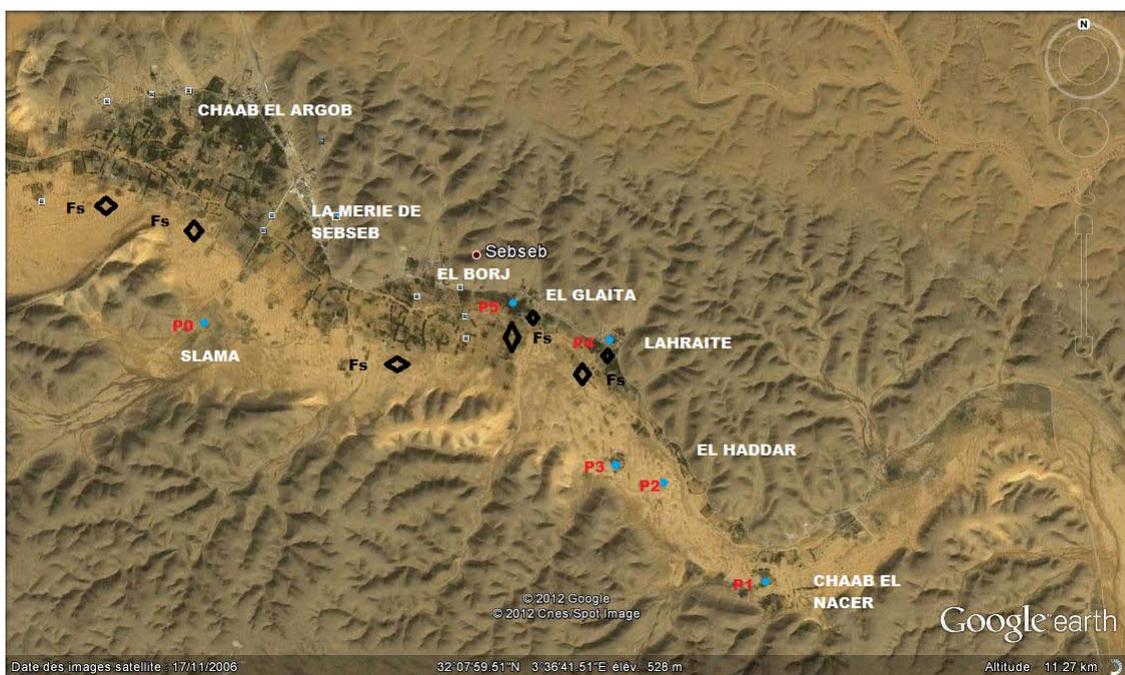


Figure 14: Photo satellite de l'ensemble de la zone d'étude (les points échantillonnés sont en rouge).

4.2. Représentativité des échantillons :

Avant de prélever un échantillon d'eau, il faut s'assurer de la représentativité de

l'échantillon. Une bonne représentativité des échantillons repose sur :

- Une bonne répartition spatiale des puits ;
- L'utilisation de l'eau pour des besoins agricoles ;
- L'accessibilité pour les prélèvements des points d'eau ;
- Renouvellement de l'eau par pompage ou soutirage jusqu'à ce qu'elle devienne représentative de la portion d'aquifère que l'on veut échantillonner (RODIER, 2005).

4.3. Stockage des échantillons

Les prélèvements, au nombre de 06 ont été effectués manuellement dans des flacons en matière plastique de 0,5 litre de capacité. Les flacons sont rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'à bord, le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air.

Les échantillons ont été parfaitement identifiés portant le code de puits et la date de prélèvement.

5. Mesures et analyses au laboratoire

Les mesures physico-chimiques et les analyses chimiques sont effectuées au niveau du laboratoire d'ADE de Ghardaïa.

5.1. pH

La mesure du pH a été faite à l'aide d'un pH mètre au laboratoire de chimie centre universitaire de GHARDAIA.

5.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre et ramené à la température de 25°C, au laboratoire de chimie centre universitaire de GHARDAIA.



Figure 15 : Conductimètre.

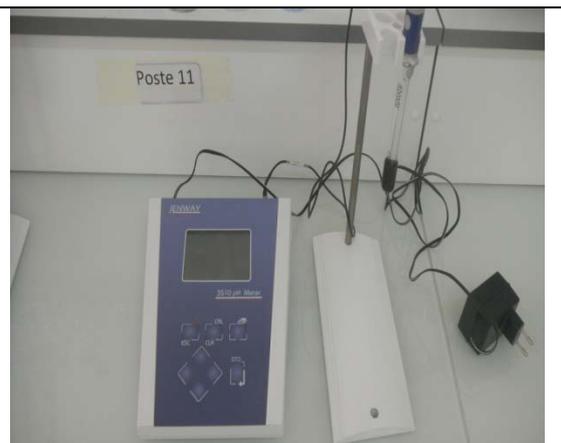


Figure 16 : pH mètre.

5.3. Dosages des cations : Calcium, sodium et potassium

Le dosage de calcium, sodium et potassium ont été faits par spectrométrie à flamme (JENWAY).

Principe

Pour doser les cations Ca^{++} , Na^+ et K^+ , la technique spectrophotométrique est utilisée dans un spectrophotomètre d'émission. Elle consiste à faire passer tout d'abord une solution de gamme d'étalonnage. A fin dressée la courbe d'étalonnage qui serve par la suite comme référence de mesure et par la suite les échantillons sont passés l'un après l'autre dans le système photomètre d'émission. Pour les extraits, dans des tubes à essai, introduire 2 ml de la solution à analyser et 2 ml de la solution et introduit dans la cuve et faire passer pour la lecture au spectrophotomètre à flamme (RODIER, 1984).

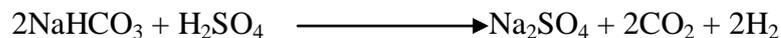
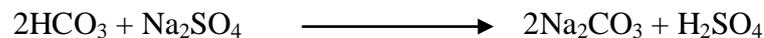
5.4. Dosages des anions

5.4.1. Dosage du chlorure

La méthode de MOHR est présenté ici : le chlore est précipité par du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge de chromate d'argent (RODIER, 1984).

5.4.2. Dosage des carbonates et bicarbonates

Lors d'une attaque acide, les carbonates se décomposent en 2 étapes:



En présence d'indicateurs, La fin de la réaction est indiquée par un changement de couleur, soit un virage (RODIER, 1984).

Les analyses de CE et pH ont été réalisées au laboratoire du centre universitaire de Ghardaïa, les autres analyses ont été réalisées dans le laboratoire de l'ADE.

TROISIEME PARTIE

RESULTATS & DISCUSSION

Chapitre V : Résultats et Discussions

1. Evaluation de l'aptitude des eaux à l'irrigation:

1.1. Risque de salinisation de la nappe phréatique:

L'eau du puits P0 appartient à la classe de salinité C1 avec une conductivité électrique de 361 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C, cette classe est caractérisée par des eaux non salines, utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol.

Alors que les eaux d'irrigation échantillonnées des puits P1 et P3 correspondent à la classe de salinité C3, la conductivité électrique enregistrée est de 1280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1209 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C pour les deux puits respectivement, cette classe est caractérisée par des eaux à forte salinité, inutilisables même avec un bon drainage; il faut un contrôle permanent des taux de sels dans ces eaux. En effet, peu des plantes ont la capacité de se croître dans des sols irrigués par des eaux chargées en sels solubles, des catégories des plantes bien définies sont dotées des mécanismes de régulations physiologiques permettant l'adaptation à ces contraintes abiotiques (halophytes).

Les échantillonnages des eaux de puits P2 et P5 appartiennent à la classe de salinité C4 avec une conductivité électrique de 3240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 4520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C pour les deux puits respectivement, cette classe est caractérisée par des eaux à très forte salinité, inutilisables normalement pour l'irrigation ; exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et avec une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

L'eau de puits P4 appartient à la classe de salinité C5 avec une conductivité électrique de 7040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C, cette classe est caractérisée par des eaux à salinité excessive, inutilisables sauf sur sable drainé et pour des cultures très tolérantes comme le palmier dattier.

1.2. Risque d'alcalinisation du sol

L'irrigation du sol par une eau sodique favorise la dispersion des argiles et affect la structure du sol, où le sol devienne imperméable et asphyxiant.

Le danger d'alcalinisation du sol est estimé en fonction du sodium adsorbable par le sol, Ce risque est déterminé à partir du rapport du sodium adsorbable (sodium adsorption ratio, SAR)

Les eaux analysées de la nappe phréatique de la région Sebseb appartiennent à la même classe S1 avec un S.A.R de 0.50 pour le puits P0, de 1.21 pour le puits P1, de 3.38 pour le puits P2, de 1.83 pour le puits P3, de 6.26 pour le puits P3 et de 2.64 pour le puits P5, cette classe est caractérisée par des eaux faiblement sodiques, utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation bien que certains cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

1.3. Détermination des classes d'irrigation

Il y'a 20 classes d'eau dans le diagramme de l'U.S.S.L. (1954) modifié par DURAND (1958) dont la qualité pour l'irrigation variée en fonction de la salinité et la sodicité en même temps.

D'après la figure (17), qui représente le diagramme de classification des eaux d'irrigation des puits étudiés, on constate que :

- L'eau de puits P0 appartient à la classe d'irrigation **C1S1** qui est caractérisée par une bonne qualité. Des précautions sont à prendre lors de l'irrigation des plantes sensibles.
- Les eaux des puits P1 et P3 appartiennent à la classe d'irrigation **C3S1** qui est caractérisée par une qualité moyenne à médiocre, à utiliser avec précaution. L'utilisation de cette eau en irrigation nécessite un drainage adéquat avec l'application de doses de lessivage.
- Les eaux des puits P2 et P5 appartiennent à la classe d'irrigation **C4S1** qui est caractérisée par une qualité médiocre à mauvaise. Cette eau est inutilisable sur des sols lourds et pour les plantes sensibles. Elle est utilisable avec beaucoup de précautions sur des sols légers, bien drainés avec l'application de doses de lessivage.
- Les eaux de puits P4 appartiennent à la classe d'irrigation de **C5S1** qui est caractérisée par une qualité très déconseillée pour l'irrigation.

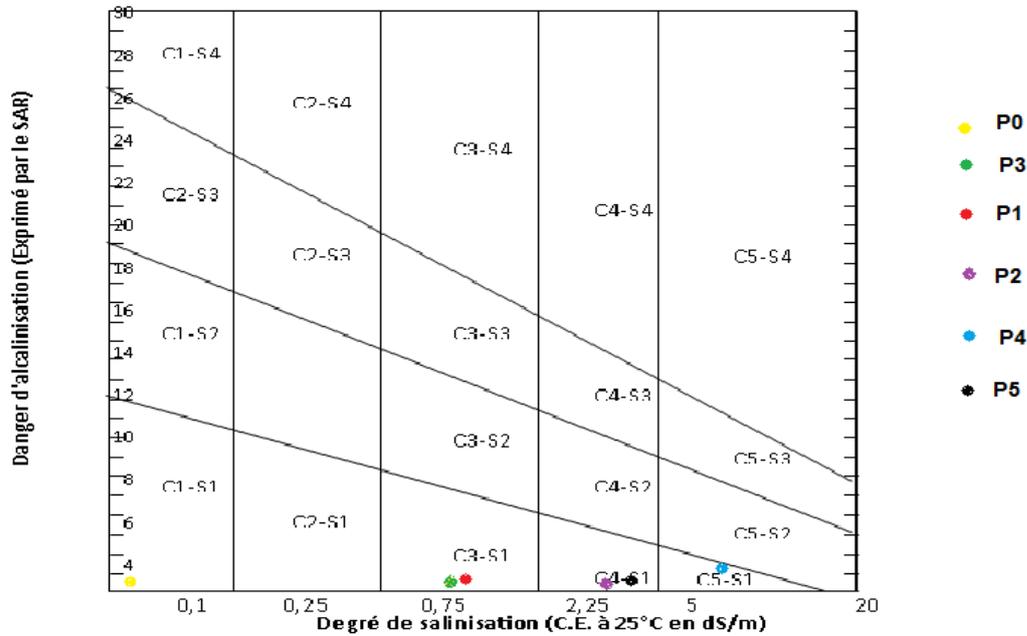


Figure 17 : Classification des eaux d'irrigation du site d'étude (Diagramme de RIVERSIDE modifié par DURAND).

2. Evaluation de la potabilité des eaux:

2.1. Conductivité électrique :

Selon la figure (18), les valeurs de la conductivité électrique (CE) des échantillons d'eau analysés sont divisées en deux parties :

- La 1^{ère} partie inférieure par rapport à la norme OMS et Algérienne pour les puits P0, P1 et P3. Ce qui indique que ces eaux peuvent être utilisées pour la consommation et elles ne présentent aucun effet sur la santé des consommateurs de point de vue salinité.
- La 2^{ème} partie supérieure par rapport à la norme OMS et Algérienne pour les puits P2, P4 et P5. Ce qui indique que ces eaux sont non utilisables pour la consommation humaine et elles peuvent présenter un risque sur la santé des consommateurs.

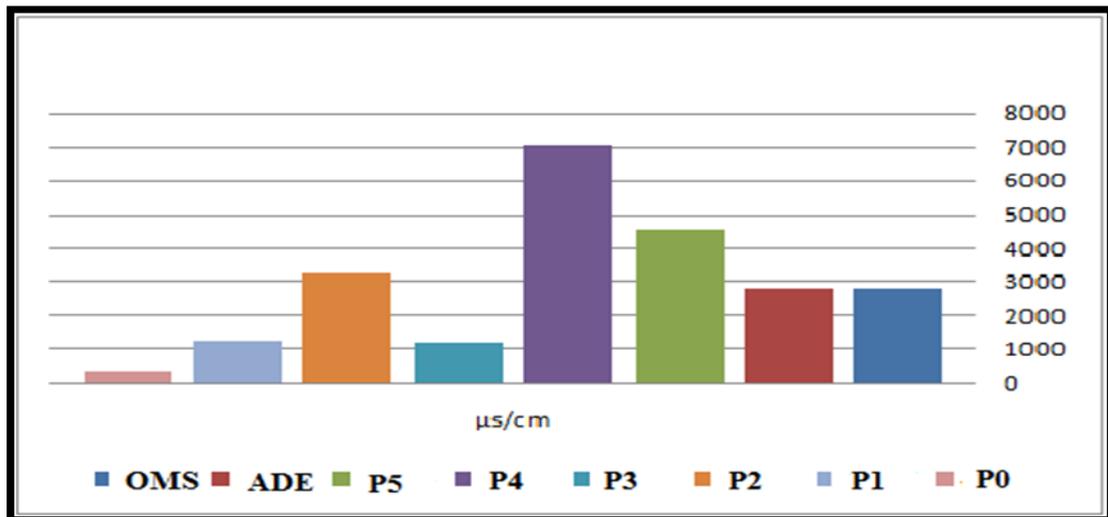


Figure 18: Variation de la conductivité électrique des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.2. pH :

Selon la figure (19), les valeurs de pH des eaux de la nappe phréatique de la région de Sebseb sont inférieures aux valeurs citées dans l'index de l'OMS, et de la norme Algérienne.

Ces eaux ne présentent aucun inconvénient vis-à-vis du pH des eaux potables.

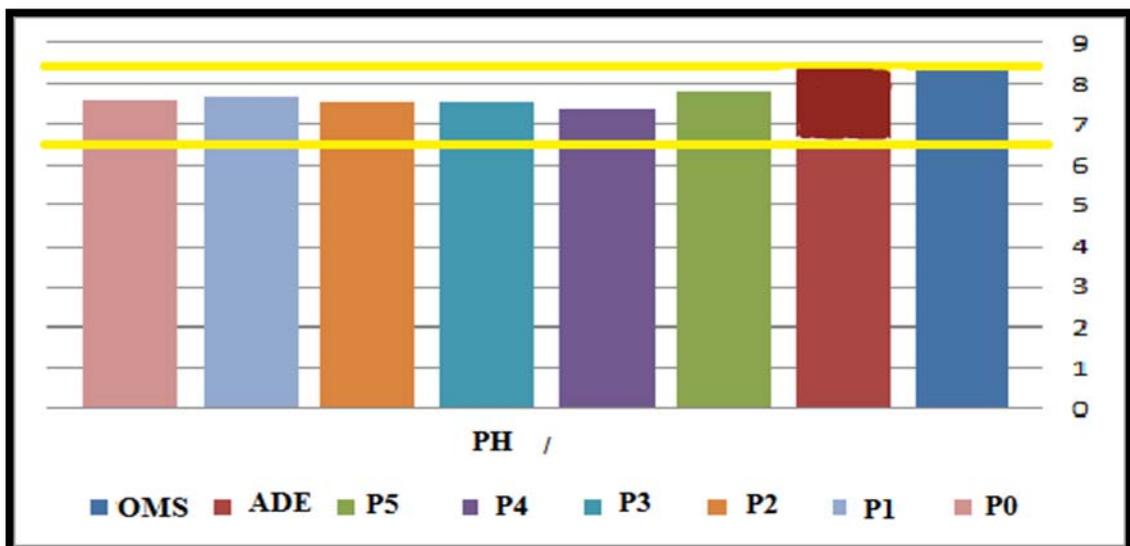


Figure 19: Variation du pH des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.3. Turbidité :

Selon la figure (20), les valeurs de Turbidité des eaux de la nappe phréatique de la région de Sebseb sont inférieures aux valeurs citées dans l'index de l'OMS, et de la norme Algérienne.

Les eaux des puits échantillonnées sont claires d'où les valeurs faible de turbidité.

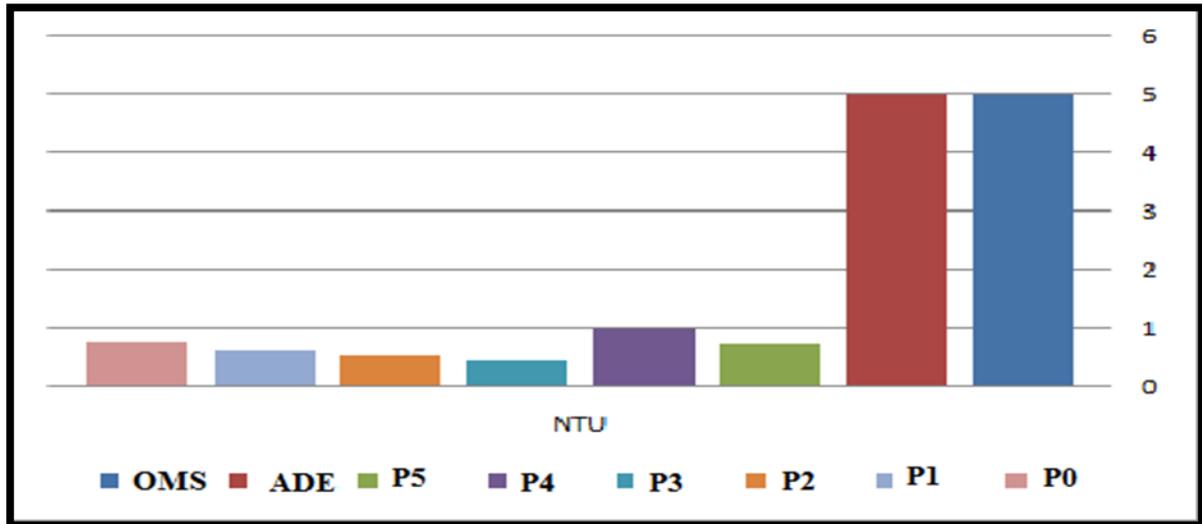


Figure (20) : Variation de la turbidité des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.4. Magnésium :

La figure (21), montre que la teneur en magnésium des eaux des puits P0, P1 et P3 sont inférieures par rapport à la norme d'OMS. Les autres puits P2, P4 et P5 ont des valeurs supérieures par rapport à la norme d'OMS.

Selon les normes de l'OMS, les eaux des puits P0, P1 et P3 ne présentent aucun impact sur la santé, par contre les eaux des puits P2, P4 et P5 peuvent provoquées un impact nocif et des risques sanitaires lors de leurs utilisation en consommation en eau potable.

En ce qui concerne les normes Algérienne, les eaux de tous les puits sont potables vis-à-vis de la teneur en magnésium à part le puits P4. Cela est due probablement à l'emplacement de ce dernier à proximité de la fosse septique.

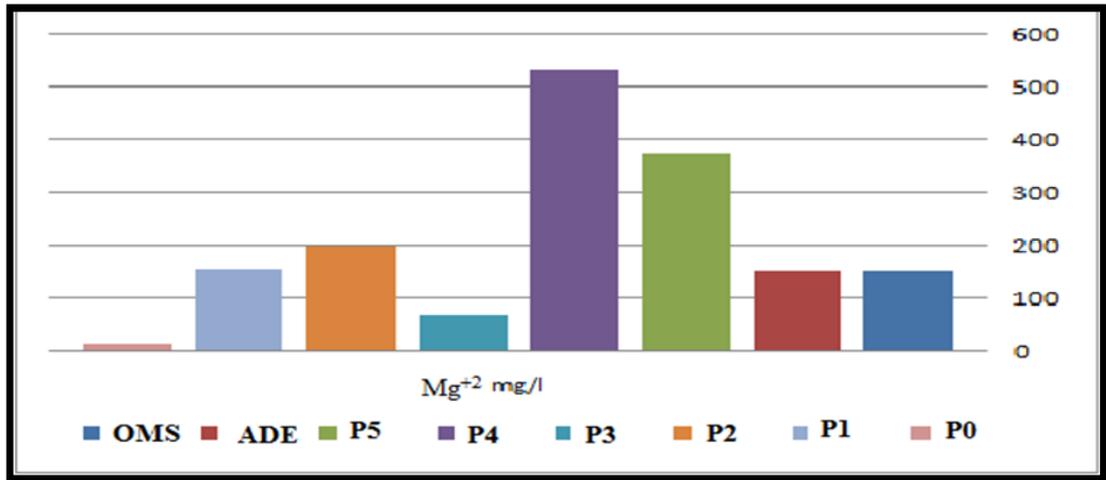


Figure 21 : Variation de la teneur en magnésium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.5. Chlorure :

Selon les normes de l'OMS et les normes Algériennes, les eaux des puits P0 et P3 sont potable de point de vue teneur en chlorures. Alors que les eaux des puits P1, P2, P4 et P5 ne sont pas potables vis-à-vis de la teneur en chlorures (Fig.22).

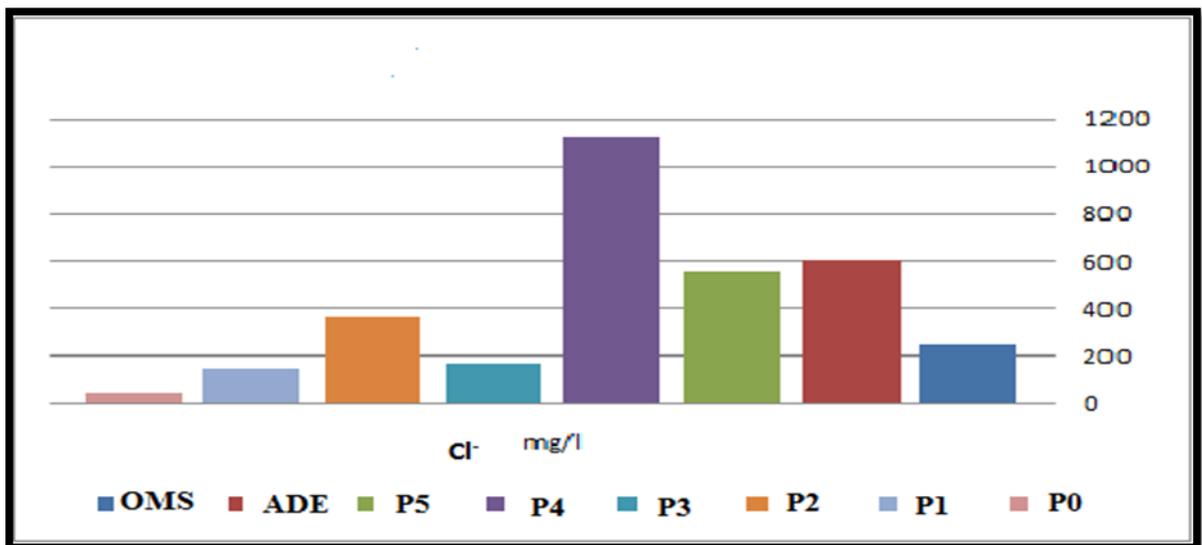


Figure 22 : Variation de la teneur en chlorure des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.6. Calcium :

D'après la figure (23), les puits P2, P4 et P5 ont une concentration de calcium (Ca^{++}) supérieure par rapport aux normes de l'OMS et les normes Algérienne. Alors que les puits P0, P1 et P3 ont des concentrations inférieures à celles des deux normes.

Les eaux des puits P2, P4 et P5 ne sont pas potables vis-à-vis de la teneur en calcium, alors que celles des puits P0, P1 et P3 sont potables.

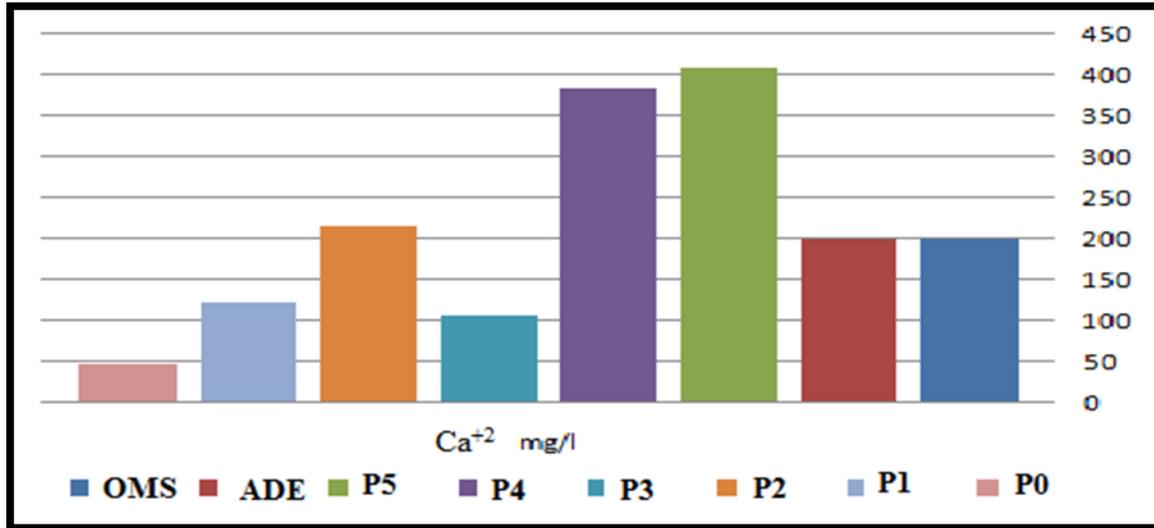


Figure 23 : Variation de la teneur en calcium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.7. Sodium :

Les eaux de puits P2, P4 et P5 ont une concentration en sodium (Na^+) supérieures aux normes d'OMS et d'Algérie, alors que les puits P0, P1 et P3 ont des concentrations inférieures aux valeurs acceptables par ces deux normes (Fig.24).

Les eaux des puits P0, P1 et P3 peuvent provoquer la maladie de l'hyper-natrémie, alors que les eaux des autres puits sont potables. En effet, les concentrations élevées sont probablement le résultat de la contamination de ces eaux par le sodium provenant des eaux d'irrigation et des fosses septiques.

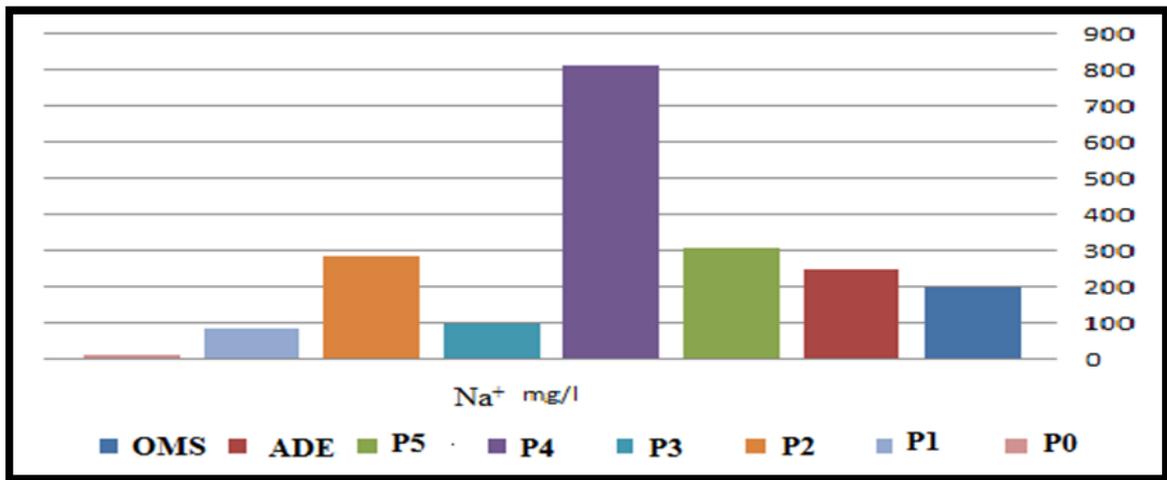


Figure 24 : Variation de la teneur en sodium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.8. Potassium :

Selon la figure (25), les eaux des puits P2, P4 et P5 dépassent les normes internationales et nationales de potabilité de l'eau vis-à-vis la teneur en potassium, alors que les autres puits P0, P1 et P3 sont potables.

Les eaux des puits P2, P4 et P5 peuvent provoquer des effets négatifs pouvant se manifester par une sécrétion accrue de l'aldostérone.

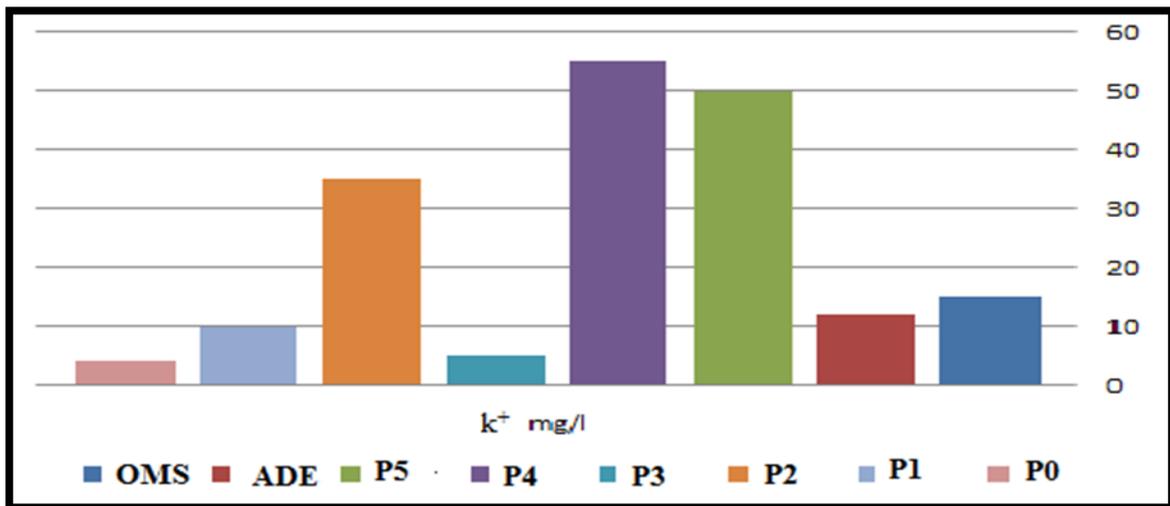


Figure 25 : Variation de la teneur en potassium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.9. Ammonium :

D'après la figure (26), tous les eaux des puits ont des teneurs inférieures en ammonium par rapport aux normes Algeriennes et d'OMS à l'exception du puits P5 dont la teneur en ammonium dépasse celle admissible par les normes Algeriennes.

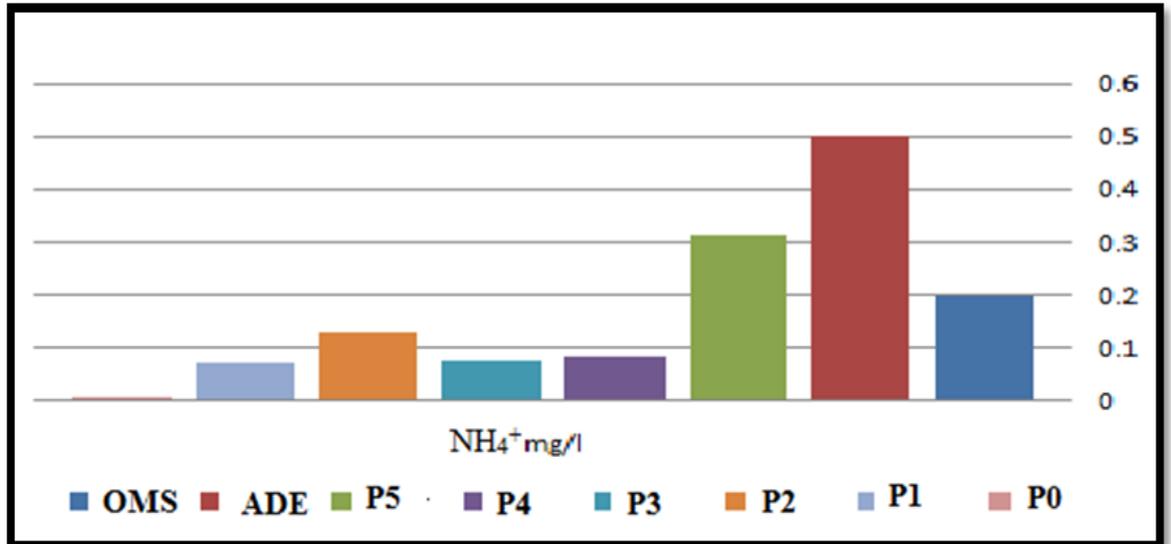


Figure 26 : Variation de la teneur en ammonium des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.10. Nitrites :

La figure (27), montre que la concentration en nitrites (NO_2) des eaux des puits P0, P4 et P5 dépasse celle des normes algérienne et internationales, alors que celle des puits P1, P2 et P3 ne dépasse pas les normes.

Les eaux des puits P0, P4 et P5 sont potable vis-à-vis de la teneur en nitrites. Les eaux des autres puits P1, P2 et P3 sont impropres et constituent un danger sur la santé publique par les problèmes respiratoires.

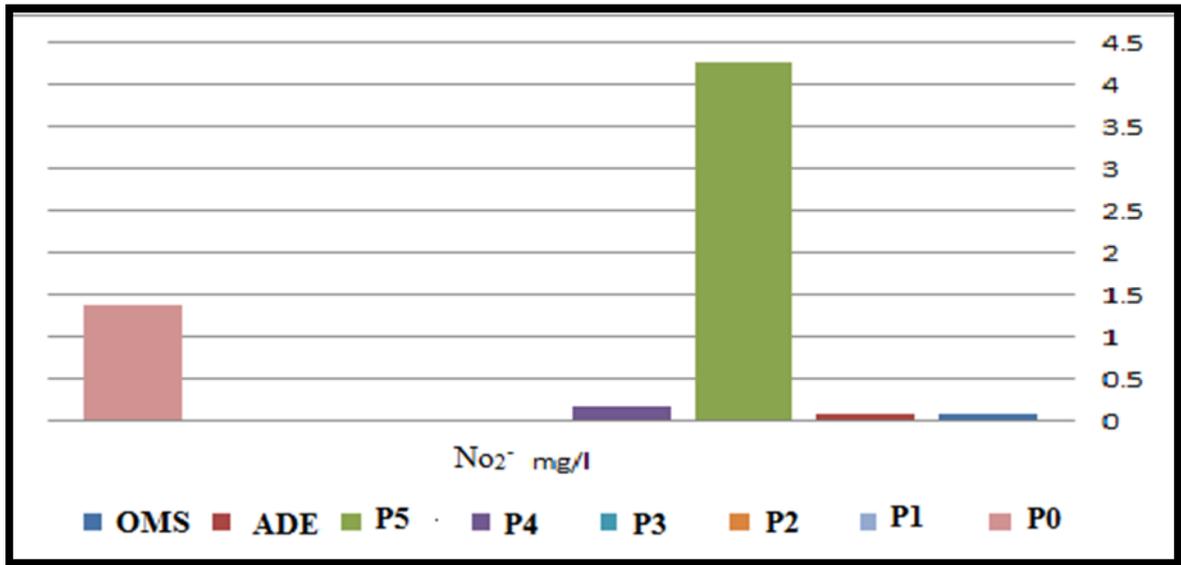


Figure 27 : Variation de la teneur en nitrites des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.11. Nitrate :

Selon la figure (28), les concentrations en nitrates (NO_3) des eaux des puits analysées sont inférieures par rapport aux normes OMS et Algérienne.

Les eaux des puits analysées ne présentent aucun inconvénient par rapport la concentration des nitrates en alimentation en eau potable.

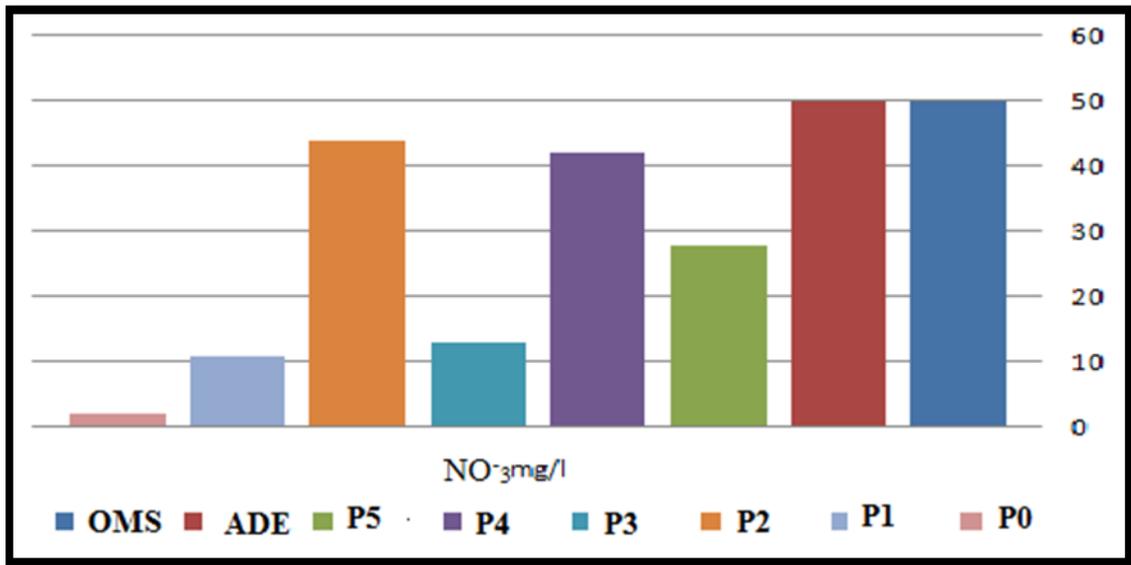


Figure 28 : Variation de la teneur en nitrates des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

2.12. Fer :

D'après la figure (29), la teneur en fer dans les eaux de tous les puits ne dépasse pas les normes OMS et Algérienne. l'eau est donc potable vis-à-vis la teneur en fer.

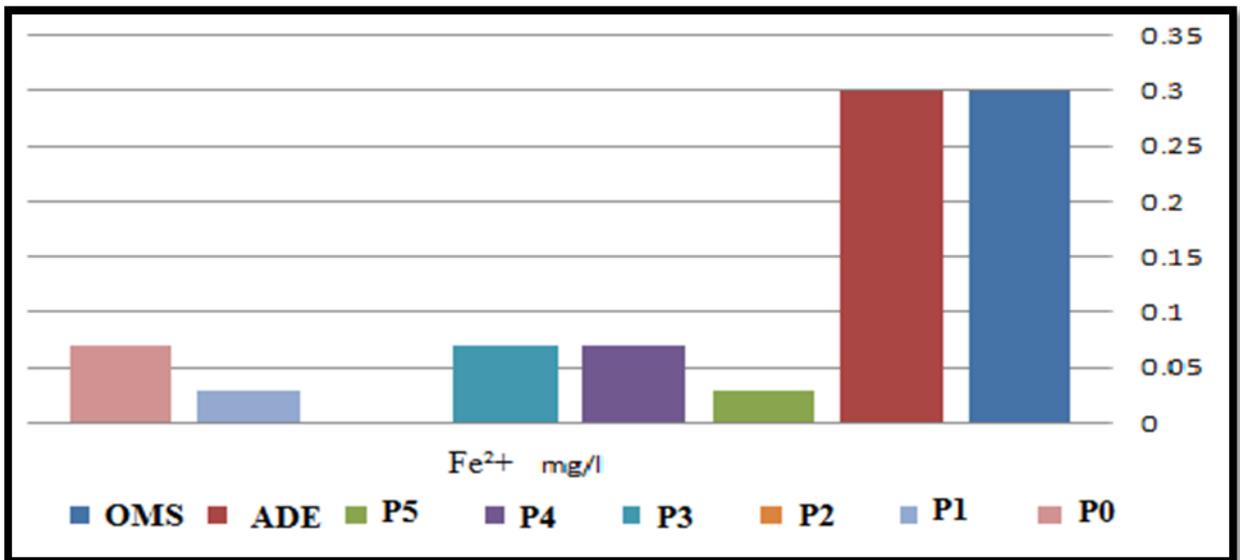


Figure 29 : Variation de la teneur en fer des eaux phréatiques de la région de Sebseb.

3. Discussion :

De point de vue irrigation, les eaux des puits échantillonnés appartiennent à différentes classes, de bonne qualité pour le puits P0 à de très mauvaise qualité pour le puits P4.

De point de vue potabilité, les eaux de puits échantillonnées présentent beaucoup de variations :

- Les eaux de puits P0, P1 et P3 sont potables de point de vue physico-chimique, vis-à-vis les teneurs en sels (CE), en magnésium, en potassium, en calcium et en sodium.
- Les eaux des puits P2, P4 et P5 ne sont potables vis-à-vis les teneurs en sels (CE), en magnésium, en potassium, en calcium et en sodium.
- Les eaux des puits P0 et P3 sont potables de point de vue teneur en chlorures alors que celles des puits P1, P2, P4 et P5 présentent des risques pour la santé humaine.
- Les eaux des puits P1, P2 et P3 sont potables vis-à-vis de la teneur en nitrites alors que celles des puits P0, P4, P5 peuvent être nocives pour la santé humaine.
- En ce qui concerne la teneur en ammonium, toutes les eaux sont potables à part celles du puits P5.
- Les eaux de tous les puits sont potables vis-à-vis du pH, de la turbidité, de la teneur en nitrates et de la teneur en fer.

En synthétisant, les eaux des puits échantillonnées dans la région de Sebseb, présentent une grande variabilité de point de vue physico-chimique, cette variabilité est forcément liée à l'emplacement de ces puits (à proximité du milieu urbain, à proximité de la palmeraie ou à proximité du lit d'oued).

il n'y a que le puits P3 qui ne présente aucun risque sur la santé humaine de point de vue physico-chimique, suivie par le puits P0 qui présente un risque unique vis-à-vis la teneur en nitrites.

Les eaux des puits P1, P2, P4 et P5 ne sont pas à utiliser en alimentation en eau potable.

CONCLUSION

Conclusion

L'étude de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe phréatique dans la région de Sebseb a été faite par l'analyse des eaux de puits traditionnels utilisés pour l'irrigation et parfois pour l'alimentation en eau potable.

L'évaluation a concerné la salinité de eaux (CE), le pH, le danger d'alcalinisation (SAR) pour déterminer la qualité des eaux pour l'irrigation d'une part et la comparaison de la qualité de ces eaux avec les normes d'OMS et les normes Algérienne pour apprécier la potabilité de ces eaux de point de vue physico-chimique d'autre part.

Les résultats d'analyses ont montrés que la qualité des eaux des six puits échantillonnés oscille entre des eaux non saline à très fortement saline et correspond aux classes C1S1 pour le puits P0, C3S1 pour les puits P1 et P3, C4S1 pour les puits P2 et P5 et C5S1 puits P4. La qualité de ces eaux en irrigation varie de bonne (P0) à très mauvaise (P4).

De point de vue potabilité, il n'y a que le puits P3 qui ne présente aucun risque sur la santé humaine de point de vue physico-chimique, suivie par le puits P0 qui présente un risque unique vis-à-vis la teneur en nitrites.

Les eaux des puits P1, P2, P4 et P5 ne sont pas à utiliser en alimentation en eau potable.

Les eaux des puits échantillonnées dans la région de Sebseb, présentent une grande variabilité physico-chimique, cette variabilité est forcément liée à l'emplacement de ces puits à proximité du milieu urbain, à proximité de la palmeraie ou à proximité du lit d'oued.

Les analyses réalisées permettent de détecter l'état de la contamination de la nappe phréatique dans la région de Sebseb, les puits les plus pollués sont ceux proches des fosses septiques à savoir P4 et P5.

Il est à noter que la contamination de la nappe phréatique constitue un danger sur la population et l'agriculture dans la région de Sebseb, d'où les recommandations suivantes :

- Interdire l'utilisation des fosses septiques et les remplacés par un réseau d'assainissement approprié.
 - Contrôler périodiquement la qualité des eaux des puits phréatiques.
-

- Eloigner les nouveaux puits des fosses septiques.

Enfin, ce travail sur la qualité des eaux de la nappe phréatique dans la région de Sebseb reste insuffisant et mérite d'être complété en tenant compte des éléments suivants :

- Les types de sols où ces eaux sont appliquées.
 - Les risques associés aux méthodes d'irrigation (dépôt de sels sur les feuilles dans le cas de l'aspersion).
 - L'effet de l'irrigation avec ces eaux sur la salinité du sol.
 - La qualité biologique et microbiologique des eaux.
-

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

ABDELKARIM, Z. 2003 : “ Niveaux des contaminants inorganique (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni et Mn) dans les sédiments superficiels de la zone côtière (côte algérienne) “. Thèse de l’institut nationale des sciences de la mer et de l’aménagement du littorale.

AMARA, M. 1993 : “ Contribution à l’étude de la dynamique de la pollution en zone côtière cas de Bousmail “. Thèse de l’institut nationale des sciences de la mer et de l’aménagement du littorale.

ANCTIL F., 2008 : L’eau et ses enjeux .Ed. Bock université, Canada ,228p

ARBAOUI Mohammed Abdelmalek, 2005 : Etude du transfert de soluté dans un milieu poreux cas des sels et métaux lourds (étude expérimentale), mémoire ingénieur.

BAGNOULS F., GAUSSEN H., 1953 : Saison sèche et indice xéothermique, Volume I. Carte des productions végétales, art. 8, Toulouse, 47p.

BANTON O., BANGOY L. M. 1999: Hydrogéologie: multi sciences environnementale des eaux souterraines. Presse de l'Université du Québec. Québec,

BELLAN et PERES, 1994 : “ La pollution des mers“. Que sais-je. France.

BELLIFERT et PERRAUD ,2008 : Chimie de l’environnement -Air, eau, sol, déchets 2ème édition française .Ed. Bock université, Paris, 478 p.

BENZIADA et BENMAMAR, 2007 : Etude expérimentale du Transport d’un polluant actif en canal rectangulaire) Mémoire D’ingénieur d’état en hydraulique, Ecole Nationale Polytechnique. 38p.

BOISLEVE J., 2010 : Structure et propriétés de l'eau. 22 p

BREDEHOEFT, 1973: Mass transport in flowing groundwater, Edition water Ressources. vol 09. N°1, February 1973.

BREMOND et PERRODON, 1976: Paramètres de la qualité des eaux. Ed;2^{ème} édition 258 p.

CHALI, 2003: Equipement en matériel d'irrigation (choix et dimensionnement du réseau) d'une parcelle située a hauteur de la station a.g.i.d el affroun (Mitidja ouest), d'ingénieur d'état en hydraulique, option : conception des systèmes d'irrigation et drainage 28p.

COLLIN ET MELLOUL, 2003: Assessing groundwater vulnerability to pollution to promote sustainable urban and rural development. Journal of Cleaner. Production, 2003, vol. 11, n° 7, pp. 727-736.

DJABELKHIR, 2007 : Contribution à la Réhabilitation de la Station d'Epuration de STAOUELI, mémoire Ingénieur, p08.

DJEKAOUA, 2006 : Monographie de la commune de Sebseb.37page.

- DUCHAUFOR, 2001** : Introduction à la science du sol, 6^{ème} édition, DUNOD, Paris, p99.
- DURAND J.H. ,1958** : Les sols irrigables –Etude pédologique .Ed. Imbert, Alger.190 p.
- EL ACHLEB et al., 2001** : Processus de salinisation des eaux souterraines dans le bassin Sahel-Doukkala (Maroc occidental). In. Proc. 1st Int. Conf. on saltwater intrusion and coastal aquifers : monitoring, modeling and management. Maroc, 2001.
- ERB, 1999** : Eau et Rivières de Bretagne. Interprétez votre analyse d'eau. Bretagne, 1999, 5 p
- FREEZE et CHERRY, 1979**: Groundwater, Prentice Hall, Englewood.
- GUERBOUZ F. ,2006** : Contribution à l'étude cinétique de la qualité de l'eau potable au niveau de la ville de Metlili (Ghardaïa).Mém. Ing. IAS. Ouargla.127p
- HAUBRY et al, 1989**: Mémento technique de l'eau.9ème édition. Tom1.p1459.
- HOUICHITI, 2009**: Caractérisation d'un agro système saharien dans une perspective de développement durable: Cas d'oasis de SEBSEB (Wilaya de GHARDAIA), Mémoire de magister, OUARGLA. P18.
- KHADRAOUI A. et TALEB S., 2008** : Qualité des eaux dans le sud Algérien –Potabilité et impact sur le milieu .Ed. Khayam, Constantine ,367 p.
- LADJEL et TODEFT, 2002**: Contrôle de paramètres physique-chimique et bactériologiques d'une eau de consommation. Rapport d'EPETO. 12 p.
- MAIMONE et FITZGERALD, 2001**: Effective modeling of coastal aquifer systems. Camp Dresser and McKee, Woodbury, Cambridge, USA. In. 1st Int. Conf. on saltwater intrusion and coastal aquifers : monitoring, modeling and management. Maroc, 2001.
- MARC et al, 2007**: Ingénierie des eaux et du sol,1^{ère} Ed. presses polytechnique et processus et aménagement, universitaires Romande, 200 p.
- MEDJBOUR, 2005**: Etude d'irrigation d'une parcelle située au secteur c (Mitidja ouest –tranche II) par micro-irrigation, d'ingénieur d'état en hydraulique, option : conception des systèmes d'irrigation et drainage, 37p.
- MELLAK, 2009**: Etude de la vulnérabilité de l'aquifère alluvionnaire de la de vallée du M'Zab, Mémoire de projet de fin d'études d'ingénieur d'état, 41p.
- MOULIAS, 1972**: L'organisation hydraulique des oasis saharienne. Edition Jules carbonel, Ancienne maison Bastide-Jourdan.305 p.
- NORE, 2007**: Traitement biologique des eaux usées par les bactéries anaérobies butyrique qui produisent de l'hydrogène, Ed laboratoire de polyclinique, El Bayadh.
- PERRAUD, 2009**: Chimie de l'environnement. Air ,eau, Sols, Déchets .Ed;2ème édition De Boeck Université. Bruxelles (Belgique) 478 p.

- RAMADE F., 2002:** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ed DUNOD. France.
- REGNIER, 1939 :** Les Chaamba sous le régime français, leur transformation. Thèse de Doctorat en droit, Université de Paris, faculté de Droit. Ed. Domat Montchrestieu. 184 p.
- RISER-ROBERTS E, 1992:** Bioremediation of petroleum contaminated sites. CRC Press, Boca Raton, FL, 1992, 197 p.
- RODIER, 1984:** Analyse de l'eau. Ed: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris, DUNOD. Ed. 7.
- RODIER, 2005:** Analyse de l'eau. Ed. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris, DUNOD. 8^{ème} Edition. 1383 p.
- TOUCHAT, 2003:** Hydrologie mers, fleuves et lacs, Ed. Armand Colin, 30p.
- TRABELSI et al., 2005:** Salinisation des nappes côtières : cas de la nappe nord du Sahel de Sfax, Tunisie. C. R. Géoscience, 2005, vol. 337, pp. 515-524.
- URBATIA, 1996:** Plan Directeur de l'aménagement Urbain (PDAU) de la commune de Sebseb, Rapport d'orientation, Phase finale. Bureau d'Etudes pour L'Urbanisme et le Bâtiment URBATIA. Agence de Ghardaïa. 75page.
- VILAGINÉS R., 2003 :** Eau, environnement et santé publique 2^{ème} édition. Ed. LANDRES .Paris.198p
- YOUCEF Fouzia ,2003:** Mise au point d'une étude climatique du Sahara Septentrionale Algérien (Ouargla, Touggourt, Ghardaïa). Mémoire d'ingénieur, Université de Ouargla, 88p.