

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

DOUIS djihad

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité

Gestion durable et l'environnement

THÈME

**ETUDE DE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES
(RÉGION SUD OUEST) DU PLATEAU DE
MOSTAGANEM**

DEVANT LE JURY :

Encadreur : Guermoud.N

Examineur : Nemich.S

Président : Ben khalife. M

Dédicaces

Tout d'abord je tiens à remercier dieu le tout puissant pour m'avoir donne le courage et la détermination nécessaire pour finaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail a ma très chère Mama khadidja ainsi, qua ma mère et mon père. Qui ont su être a mes cotés dans les moments difficile et sans lesquels je n'aurai pas abouti a ce stade d'étude.

A mes sœurs que j'aime beaucoup Racha, Yasmina, Djanatt , Samia et Karima et Ames frères , Abdou, Mohamed et hamza. A tout ma famille.

A men collègues d'étude (considérés comme mes sœurs) Fatima, Hania , Lamia , Nour lhouda et Kenza.

A tout mes amis de la spécialité G. D. E.

Et aux familles Douis et Chadli

Djihad

Remerciements

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à ALLAH le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

J'adresse mes sincères gratitude et mes plus profonds remerciements à Mr Gamrode nor dine, mon enseignant et encadreur dans ce projet de fin d'étude, de m'avoir aidé, orienté, conseillé et soutenu pendant toute la durée de ce travail.

Je remercie également monsieur le Professeur Benkhelifa, université de Mostaganem, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie aussi tous mes professeurs du cycle primaire jusqu'à l'Université, surtout les enseignants du département de l'Agronomie de l'université de Mostaganem qui ont participé à ma formation.

Je tiens à remercier l'ensemble du personnel de laboratoire ADE qui m'a apporté l'aide et l'assistance nécessaire dans l'accomplissement de ce travail,

Merci à vous tous pour votre soutien, votre aide et votre compréhension.

ABREVIATIONS

Cl⁻	: Chlorures
Ca⁺	: Calcium
Cu	: cuivre
Cd	: cadmium
Co	: cobalt
Cr	: chrome
Coli.Totaux	: Coliformes totaux
Coli.Fecaux	: Coliformes fécaux
Ec	: conductivité électrique
E.D.T.A	: Acide Ethylène Diamine Tétracétique
Fe	: Fer
HCO₃⁻	: bicarbonate de calcium
K⁺	: ion potassium
meq/l	: milliéquivalent par litre
mg	: milligramme
mg/l	: milligramme par litre
Mg	: magnesium
Mn	: manganese
Na⁺	: ion sodium
NO₂⁻	: nitrates
NO₃⁻	: nitrates
Ni	: Nickel

O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé

Pb : Plomb

PO₄³⁻ : Les ortho phosphatent

PH : potentiel d'hydrogène

SO₄²⁻ : ions sulfates

V : vanadium

% : pourcentage

μS.cm⁻¹ : micro siemens par centimètre

Liste des figures

Figure n°01: risque de pollution d'une nappe captive par une nappe libre.	7
Figure n°2 : Image présentée la situation de la communes du plateau de Mostaganem.	11
Figure n°3 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.	13
Figure n°4 : L'humidité moyenne mensuelle de l'air.	14
Figure n° 5 : vitesses moyennes mensuelles du vent.	15
Figure n° 6 : Insolation moyenne mensuelle.	16
Figure n° 7 : L'évaporation moyenne mensuelle.	17
Figure n°8 : Relation $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$.	47
Figure n° 9 : Relation $\text{Ca}^{2+} / \text{HCO}_3^-$.	47
Figure n°10: Relation $\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$.	48
Figure n° 11: Relation $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$	48
Figure n°12: le nombre des bactéries dans les eaux	51

Liste des tableaux

Tableau n°1 : relation entre la lithologie du sol et la composition du minerai.	10
Tableau n° 2 : Coordonnées géographiques de la station climatique de l'office National météorologique (ONM-Mostaganem).	12
Tableau n°3 : Le quotient d'Émerger de la zone d'étude.	14
Tableau n° 4 : Principaux renseignements sur les échantillons prélevés.	17
Tableau n°5 : aperçu sur les paramètres et leur conservation.	20
Tableau n°6 : Classification des eaux d'après leur PH	22
Tableau n°7 : valeurs limites acceptables.	31
Tableau n°8 : grille normative utilisée pour estimer la qualité de l'eau.	32
En meq/l	
Tableau n° 9 : résumant le mode opératoire des analyses bactériologiques.	35
Tableau n°10 : caractéristiques physico-chimiques moyennes des échantillons d'eau	38
Tableau n° 11 : teneurs en métaux lourds	39
Tableau n°12 : caractéristiques physico-chimiques moyennes des échantillons d'eau en meq/l	40
Tableau n°13 : classification des échantillons d'eaux souterraines.	45
Tableau n° 14 : caractéristiques bactériologiques des échantillons d'eaux Prélevés.	51

SOMMAIRE

Introduction générale

CHAPITRE I : LES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES

I.1 Les eaux souterraines	3
I.1.1 Les types de nappes	3
I.1.a. Les nappes libres	3
I.1.b. Les nappes captives	4
I.2 Les eaux de surface	4
I.3 La pollution des eaux souterraines	4
I.3.1 Pollution des eaux souterraines par les nitrates	5
I.3.1.1 Introduction	5
I.3.1.2 Les différentes origines des nitrates	5
I.3.1.2.a. Agricole	5
I.3.1.2.b. Urbaine	5
I.3.1.2.c. Industrielle	5
I.3.2 Pollution des eaux souterraines par les pesticides	6
I.3.1.3 Pollution des eaux souterraines par les éléments métalliques	6
I.4 La pollution des cours d'eau	6
I.5 Vulnérabilité des nappes	7
I.5.1 Pollution d'une nappe captive par une nappe libre	7
I.6 Qualité des eaux souterraines et superficielles	8
I.6.1 Description des principaux types d'eau	8
I.6.1.1 Eaux bicarbonatées	8
I.6.1.2 Eaux chlorurées sodiques	8
I.6.1.3 Eaux sulfatées	8
I.7 Relation sol-eau souterraine	9

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.1. Présentation de la zone d'étude	11
II.1.1. Situation géographique du plateau de Mostaganem	11
II.1.2. Situation géographique de la zone	11
II.1.3. Caractéristiques climatiques de la zone	11
II.1.3.1. Pluviométrie	12
II.1.3.2. Les températures	12
II.1.3.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson	13
II.1.3.4. Le quotient pluviométrique et le climagramme d'Emberger	13
II.1.3.5. Les humidités relatives	14
II.1.3.6. Les vents	15
II.1.3.7. L'insolation	15
II.1.3.8. L'évaporation	16
II.1.3.9. Les gelées	17
II.1.3.10. Le brouillard	17

CHAPITRE III : ÉCHANTILLONNAGE, PRINCIPES D'ANALYSES ET NORMES

III.1 Echantillonnage	19
III.1.1 Mode de conservation des échantillons	20
III.2 Principes d'analyse	21
III.2.1 – Odeur	21
III.2.2 – Couleur	21
III.2.3 – Température	21
III.2.4- Le PH	21
III.2.5. Turbidité	22
III.2.6 – Mesure de la conductivité électrique	22
III.2.7– Titre hydrotimétrique (TH)	23
III.2.8 – Titre calcique (Tca ⁺)	23

III.2.9 – Titre alcalimétrique complet et simple (TAC, TA)	23
III.2.10. Dosage des Chlorures (Cl^-)	24
III.2.11 – Mesure de la turbidité	24
III.2.12 – Dosage de fer par méthode colorimétrique	25
III.2.13 – Détermination des constituants dissous	25
III.2.13.1 Composés azotés	26
III.2.14. Dosage de l'ammonium	26
III.2.15. Les formes oxydées de l'azote	27
III.2.15.1. Dosage des nitrites	27
III.2.15.2 Dosage des nitrates	28
III.2.16. Composés phosphorés	28
III.2.16.1.. Dosage d'Ortho phosphore	28
III.2.17. Dosage des sulfates	29
III.2.18. Dosage du sodium et potassium	30
III.2.19. Les éléments métalliques	30
III.3. qualité chimique des eaux naturelles	30
III.4. qualité chimique des eaux souterraines et superficielles	31
III.5. Protocole expérimentale des Analyses bactériologique	33
III.5.1 coliformes totaux	33
III.5.2. Escherichia Coli	33
III.5.3. Streptocoques fécaux	33
III.5.4. Clostridium Sulfito- Réducteur	34

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Evaluation des échantillons d'eau	36
IV.1.1. Condensabilité des échantillons pour la consommation et usages ménagers	36

IV.1.2. Condensabilité pour l'irrigation	36
IV.1.3. Convanabilité des échantillons pour des applications industrielles	36
IV.1.4. Géochimie des eaux souterraines	37
IV.2. Discussion des résultats	38
Conclusion générale	53
Références bibliographique	54
Résumé	

INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle autour de laquelle se maintient et se développe la vie. C'est une matière principale et indispensable dans la vie quotidienne. Elle est utilisée essentiellement à des fins domestiques, dans l'industrie et dans l'agriculture. L'eau d'un puits doit être de bonne qualité et conforme aux normes algériennes ainsi qu'aux normes de l'organisation mondiale de la santé.

Pour la qualité organoleptique, elle doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur. C'est principalement par ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau. Ce sont les paramètres de confort.

Du point de vue physico-chimique, elle ne doit pas contenir d'élément chimique indésirable (fer [Fe], manganèse [Mn]) ou toxiques (plomb [Pb], mercure [Hg]...) qui entraîneraient des risques sanitaires à court, moyen et long terme.

De même, bactériologique, elle ne doit pas contenir de germes pathogènes (bactéries, virus, parasites...) qui provoqueraient des maladies chez le consommateur. C'est la qualité la plus importante de la potabilité d'une eau.

L'eau est essentielle pour la vie, cependant elle peut être aussi une source de maladie. D'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé cinq millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson.

La consommation d'une eau potable, facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, doit bénéficier d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la L'alimentation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes Nocifs pour la santé.

L'objectif principal de ce travail se concentre sur l'évaluation de la qualité des eaux souterraines du plateau de Mostaganem pour les différentes utilisations. A cet effet, nous avons procédé aux prélèvements des échantillons d'eaux de la région sud ouest du plateau de Mostaganem.

L'étude expérimentale comporte deux parties :

- Analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.
- Evaluation de la qualité des eaux pour différentes usages
- Faire des propositions d'amélioration de la qualité des eaux destinées a la consommation.

Introduction

Les points d'eau ont été choisis de manière à avoir une image d'ensemble de la nappe avoisinant le cours d'eau de plateau de Mostaganem et ce dans le but de déterminer des caractéristiques physico-chimique et bactériologiques.

CHAPITRE I : LES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES

I.1 Les eaux souterraines :

La plus grande partie des eaux de précipitation ruisselle à la surface des sols avant d'atteindre les lacs et les cours d'eau. Les sols sont toutefois rarement imperméables et une grande partie des eaux de pluie s'y infiltre. Une partie des eaux d'infiltration est absorbée par les couches superficielles du sol (eaux interstitielles) où elle alimentera les plantes (John WILEY & Sons, New York, 1976).

Une autre partie gagne des couches plus profondes et s'arrête sur l'une imperméable au dessus de laquelle elle s'étend pour constituer la nappe phréatique alimentant les sources. Des couches de sable et de graviers que ces eaux rencontrent sur leur chemin en retiennent les bactéries.

Les eaux souterraines, lorsqu'elles ne sont pas captives (elles constituent alors les nappes phréatiques), circulent par gravité à travers les couches géologiques et réapparaissent en surface sous la forme de sources. Elles constituent d'importantes réserves souterraines dont le niveau est parfois assez élevé pour compenser la baisse saisonnière (étiage) des cours d'eau de surface. Les eaux d'infiltration traversent plusieurs couches géologiques où elles s'enrichissent des matières qu'elles dissolvent grâce aux agents chimiques qu'elles contiennent. La nappe phréatique est donc riche en éléments. Sa teneur en oxygène, dans la mesure où l'eau reste isolée de l'atmosphère, est cependant relativement faible. Les matières dissoutes n'entrent donc en combinaison avec cet élément qu'à leur arrivée à l'air libre.

I.1.1 Les types de nappes :

On distingue (02) deux types de nappes :

- Les nappes libres.
- Les nappes captives.

a) Les nappes libres :

Sont celles qui correspondent à une circulation dans des terrains perméables où elles ne subissent aucune contrainte et à l'intérieur desquelles elles peuvent prendre la forme qui leur est caractéristique. C'est le cas des premières nappes qui sont rencontrées en creusant le sol, nappes ordinairement peu abondantes. Elles sont suspectes du point de vue potabilité. Elles sont appelées nappes phréatiques.

b) Les nappes captives :

Prisonnières entre deux couches de terrain imperméable et leur alimentation ne s'effectue que par les affleurements du terrain perméable à l'intérieur duquel elle se trouvent incluses.

I.2 Les eaux de surface :

Ce sont des eaux, qui peuvent être véhiculées par les cours d'eau, contenues dans les lacs ou maintenues derrière des barrages et réservoirs. Ces eaux comprennent à la fois l'eau de ruissellement de surface du bassin versant ainsi que l'apport lointain d'eaux de déversement des sources(Gehm and J.I. Bregman. 1976).

. Elles ne doivent être utilisées qu'avec beaucoup de prudence et, en tout état de cause, elles doivent subir un traitement particulier ayant pour but :

#0

I.3.1 Pollution des eaux souterraines par les nitrates :

I.3.1.1 Introduction :

De nos jours, l'attention des chimistes et hydrogéologues est attirée par le problème de pollution des eaux, surtout celle causée par les nitrates et leur action en toxicologie humaine, à savoir :

- L'apparition de méthémoglobine toxique qui peut provoquer l'hypertension chez les nourrissons.
- L'apparition de certains types de cancer du nasopharynx, de l'estomac, de l'œsophage etc.... chez les nourrissons

Selon les normes établies par l'O.M.S (WHO Geneva(2010) . Le taux de nitrate ne doit pas excéder 100 mg/l pour une eau potable.

I.3.1.2 Les différentes origines des nitrates :

Toutes les formes d'azotes peuvent fournir des nitrates par oxydation micro biologique ou chimique. Dans le plateau de Mostaganem, la pollution des eaux souterraines peut avoir plusieurs origines :

* **Agricole** : Elle est due essentiellement à :

- L'épandage d'engrais azotés, du fumier et de résidus des récoltes.
- L'irrigation à partir des eaux usées.
- L'élevage (rejets de l'élevage ovin, bovin et avicole).

* **Urbaine** : Elle résulte essentiellement :

- Des rejets urbains drainés par les réseaux d'assainissement qui sont branchés directement dans le milieu naturel (oued et autres cours d'eau).
- Des fosses septiques.
- Des décharges publiques et autres dépôts d'ordures ménagères le long d'oued, ce qui est devenue très courant.

* **Industrielle** : Elle est surtout causée par l'infiltration des eaux des rejets des industries agroalimentaires, papeteries, textiles et autres.

I.3.2 Pollution des eaux souterraines par les pesticides :

Certains pesticides se rencontrent à des doses critiques dans les eaux souterraines **F.Csaki and I.**

Endredi, Nitrate contamination of ground waters in Hungry, in quality of ground waters, addited by W.V.duijendooden, P. Glasbergen and H.V.Lelyveld,pp.89-94Elsevier

Science,Amsterdam,1981. C'est une pollution diffuse, à des doses très faibles (inférieures au $\mu\text{g/l}$).

Ce problème est très préoccupant pour l'adduction en eau potable, même si l'on peut penser que certaines des limites législatives sont actuellement très strictes par rapport au risque sanitaire effectif, et que des études toxicologiques et épidémiologiques plus poussées permettront à l'avenir de moduler la norme actuelle de 0,1 $\mu\text{g/l}$ suivant les substances identifiées.

I.3.1.3 Pollution des eaux souterraines par les éléments métalliques :

Il s'agit généralement de pollution ponctuelle à caractère accidentel, de nature et d'origine diverses. Une cause fréquente est l'infiltration de résidus stockés (dans des décharges, des sites industriels...).

Le problème se pose alors du repérage et de l'identification des substances, en vue de la recherche de l'origine et des responsabilités.

La solution technique passe par l'utilisation de modèles hydrogéologiques qui renseignent sur l'origine de la pollution mais aussi sur les possibilités de solution (par pompage, réinfiltration ...).

I.4 La pollution des cours d'eau :

La pollution des cours d'eau provient principalement des rejets domestiques et industriels, après leur passage ou non par une station d'épuration. En plus de ces pollutions chroniques, les pollutions accidentelles (accident routier, incendie d'usine) sont à l'origine de déversements aux effets spectaculaires mais passagers (Glasbergen and H.V.Lelyveld,1981).

Les rejets d'eau provenant des réseaux d'assainissement lors des épisodes pluvieux, parfois conjugués aux rejets des stations d'épuration perturbées par les surcharges hydrauliques ou les dilutions d'effluents, sont également à l'origine de pollutions parfois importantes. Cette pollution est dite par les eaux pluviales. Ses effets sont comparables à ceux d'une pollution accidentelle.

Les principaux facteurs de pollution des cours d'eau sont :

- Les matières organiques, dont la dégradation provoque la baisse du taux d'oxygène;
- Les micros organiques pathogènes (bactéries, virus, parasites) limitant la baignade;
- Les toxiques (micro polluants) métaux lourds, substances chimiques;
- Les sels nutritifs (composé azotés et phosphorés) qui conduisent à l'eutrophisation;
- Les détergents entraînant des mousses en surface ;
- Les matières en suspension, causes de turbidité et d'abrasion (problème des sablières, colmatage des gravières);
- La salinité (chlorures...);
- Les calories, à l'aval des centrales thermiques.

C'est la pollution par les matières organiques qui est de loin la plus évidente et la plus étudiée actuellement. L'eutrophisation et la pollution par les toxiques, bien que leurs conséquences soient beaucoup moins évidentes, devraient lui succéder dans les préoccupations à venir.

I.5 Vulnérabilité des nappes :

La vulnérabilité des nappes dépend d'une part des possibilités de transit de la pollution de la surface du sol vers la nappe (dans la zone dite non saturée) et d'autre part de la propagation dans la nappe elle-même (Univ. Es-senia, Oran, Algérie, 1994).

L'ordre de la vulnérabilité est donné en fonction du type de sol. A titre d'exemples :

- alluvions sableuses : de l'ordre de 1 m/h.
- craies fissurées : de l'ordre de 1m/j.
- Argiles et limons : de l'ordre de 1m/an.

I.5.1 Pollution d'une nappe captive par une nappe libre :

Dans le cas d'une nappe captive, de niveau piézométrique H_B , protégée d'une nappe libre polluée, de niveau piézométrique H_A , par un écran semi-perméable d'épaisseur L . Le risque de pollution d'une nappe captive par une nappe libre sus-jacente comme le montre la figure 01, dépend du niveau piézométrique

(H_A et H_B), c'est à dire des niveaux de hauteurs statiques.

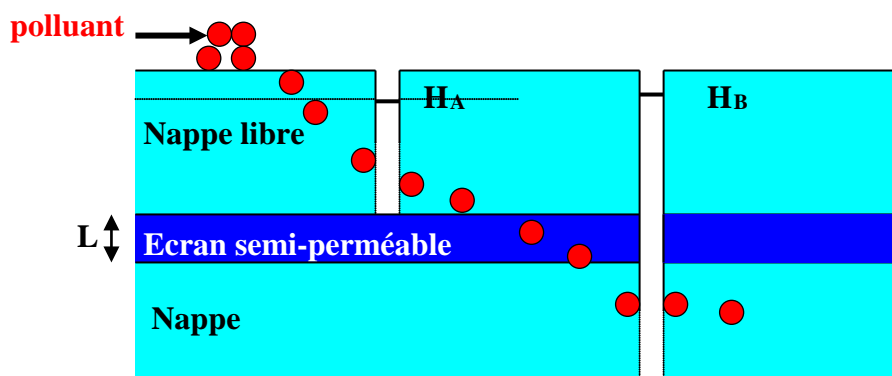


Figure n°01: risque de pollution d'une nappe captive par une nappe libre

- Si $H_B > H_A$, il n'y a pas risque de pollution.
- si $H_B < H_A$, l'infiltration se fera suivant la loi :

$$V = K_v \cdot \frac{H_A - H_B}{L \cdot W} \quad \text{Avec } K_v = \text{perméabilité verticale et } W = \text{porosité}$$

Le rapport $\frac{K_v}{L}$ peut varier de 10^{-7} s^{-1} à 10^{-12} s^{-1} , ce qui donne des temps d'infiltration variant de quelques mois à plusieurs millénaires.

I.6 Qualité des eaux souterraines et superficielles :

Les eaux, au contact des roches qui les entourent, prennent une minéralisation naturelle spécifique. Suivant la géologie, on parle de types d'eau ou faciès (G. Castany, 1982).

- Bicarbonaté calcique, HCO_3^- , Ca^{2+} : le plus fréquent
- Chloruré sodique, Cl^- , Na^+ : influence du sol (origine marine ou terrains salés du trias)
- Sulfaté magnésien, SO_4^{2-} , Mg^{2+} : certains terrains amènent des faciès sulfatés (gypse) et magnésien (dolomies)

I.6.1 Description des principaux types d'eau :

I.6.1.1 Eaux bicarbonatées :

Les eaux bicarbonatées sont riches en gaz carbonique libre et généralement pauvres en SO_4^{2-} . Elles renferment une forte proportion de bicarbonates. Ce type est fréquent dans les régions de volcanisme tertiaire et quaternaire, ce qui explique l'abondance du CO_2 . Nous pouvons distinguer suivant les proportions relatives en $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ et $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$:

- Les eaux bicarbonatées sodiques ;
- Les eaux bicarbonatées calciques.

I.6.1.2 Eaux chlorurées sodiques :

Ce sont, en général, des eaux à forte concentration de sels dissous. Les chlorures prédominent. Elles sont riches en Na^+ et Cl^- . La teneur en carbonates par contre est normale avec absence de carbonates alcalins.

I.6.1.3 Eaux sulfatées :

Les eaux sulfatées sont caractérisées par leur forte teneur en ions SO_4^{2-} . Elles sont généralement riches en cations Na^+ et K^+ . Elles se répartissent suivant les proportions relatives de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ et de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ en

- Eaux sulfatées calciques ;
- Eaux sulfatées sodiques.

On trouve également dans les eaux souterraines des éléments dissous indésirables caractéristiques de milieux réducteurs (fer, ammoniac) qui s'éliminent assez facilement par aération.

En générale, la minéralisation augmente naturellement avec la profondeur. Par contre, les variations « horizontales » de la minéralisation au sein d'une nappe sont souvent le témoin d'une pollution.

En eau de surface, la conductivité est généralement inférieure à $1500 \mu\text{S cm}^{-1}$, et la minéralisation de type bicarbonaté calcique. Les rejets domestiques ou industriels entraînent généralement une

hausse de la conductivité et par conséquent, une perturbation du milieu et une limitation à l'utilisation comme source d'eau potable (saveur, désordres digestifs).

I.7 Relation sol-eau souterraine :

Dans les gisements, le calcaire est fréquemment associé à la (dolomie) ou avec des minéraux argileux. Il s'agit dans ce dernier cas de marnes [Afnor, Recueil 1982.]. Le calcium est l'un des éléments essentiels dans la constitution chimique des eaux et est présent dans les roches sous plusieurs états. Il se trouve sous forme de minéraux calciques de structures très diverses, dont quelques types sont indiqués ci après.

- Feldspaths calciques, exemple : anorthite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
- Pyroxènes calciques, exemple : diopside $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
- Calcite, aragonite (rare) : CaCO_3
- Dolomite : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- Sulfate de calcium : $\text{CaSO}_4,2\text{H}_2\text{O}$

Selon la constitution lithologique des terrains, le calcaire (calcite) dont l'existence n'exclut pas celle d'autres minéraux, peut être présent en quantités extrêmement variables. Le tableau 1 résume l'ensemble des formations géologiques du plateau de Mostaganem et donne la composition du minerai et les ions prédominants dans l'eau

CHAPITRE I : LES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES

Tableau n°1 : relation entre la lithologie du sol et la composition du minerai

Lithologie du sol	Calcite %	Argile %	Gypse %	Ions prédominants
Croûte grésso - calcaire Sable et limons sableux Grès jaunâtre a ciment calcaire	0 – 65	0 - 35	0	Ca ⁺⁺ _ HCO ₃ ⁻
Alluvions sablo – argileuses	0 – 5	0 - 95	0	Na ⁺ _ HCO ₃ ⁻ _ Cl ⁻
Grès jaunâtre –gypse-argile	0	0 - 35	0 - 65	Ca ⁺⁺ _ SO ₄ ^{- -}
Limons sableux- gypse-grès marins- Marnes	0	0 - 55	0 - 45	Ca ⁺⁺ _ HCO ₃ ⁻ _SO ₄ ^{- -}
Sable-grès et sable marins	0 – 45	0 - 35	0 - 20	Ca ⁺⁺ _Cl ⁻ _ HCO ₃ ⁻ _ Na ⁺

La détermination de la composition chimique des eaux souterraines et superficielles nécessite l'emploi de méthodes analytiques adéquates.

Le chapitre II qui suit décrit les méthodes d'analyses conformément aux normes AFNOR, et donne les normes OMS et algérienne utilisées pour estimer la qualité de l'eau.

II.1. Présentation de la zone d'étude

II.1.1. Situation géographique du plateau de Mostaganem

Le plateau de Mostaganem est situé au Nord-ouest d'Algérie. Il est limité à l'Est par les djebels d'Ennaro et de Bel Hacel, au Sud par la plaine de Bordjias, à l'Ouest par un bourrelet côtier qui l'isole du littoral et au Nord par la vallée du Chélif (fig.02). Il s'étend sur une superficie de 110 600 ha (BNEDER, 1980).



Figure n°02 : Image présentée la situation des communes du plateau de Mostaganem

II.1.2. Situation géographique de la zone

La zone de Mostaganem fait partie du plateau de Mostaganem. Elle est située à 13 Km au Sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Mostaganem. Elle s'étend sur 203 Km² (DSA, 2015), et composée de quatre (04) communes dont : « Mesra, Ain Sidi Cherif, Touahria et Mansourah » d'une population globale de 68 669 habitants (DRE, 2015). Elle est limitée :

- Au Nord par les daïras de Kheir-eddine et d'Ain Tedles;
- A l'Est par la daïra de Bouguirat;
- Au Sud par la daïra de Bouguirat;
- A l'Ouest par la daïra de Hassi Mamèche (DTP, 2014).

II.1.3. Caractéristiques climatiques de la zone

L'observation du climat de la zone d'étude est effectuée sur la base des données de la station climatique de l'office national météorologique de Mostaganem (tab.02). Ces données climatiques couvrent une période de vingt-deux ans, allant de 1990 à 2012.

Tableau n° 02 : Coordonnées géographiques de la station climatique de l'office national météorologique (ONM-Mostaganem)

Station	Longitude	Latitude	Altitude
Mostaganem	00°0		

II.1.3.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен permet de calculer la durée de la saison sèche et la saison humide. Bagnouls et Gausсен (1953), considèrent qu'un mois est sec quand le total des précipitations exprimées en millimètres est inférieur ou égal au double de la température. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale sur le long de l'année avec une intense sécheresse de sept mois, allant du mois d'avril au mois d'octobre. Cette période se caractérise par une forte évapotranspiration avec des irrigations intense pour satisfaire les besoins en eau des cultures (fig.03).

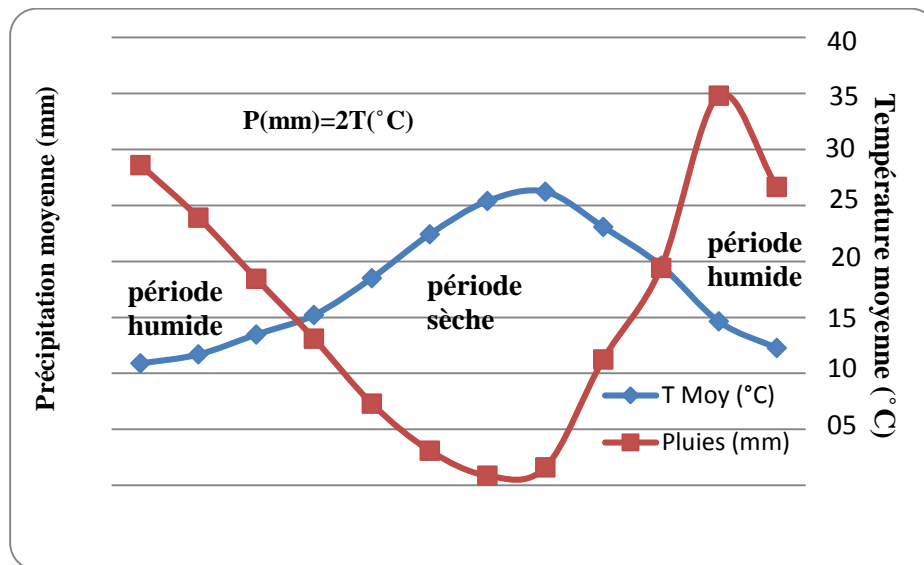


Figure n°03 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

II.1.3.4. Le quotient pluviométrique et le climagramme d'Emberger

Ce quotient nous permet de déterminer l'ambiance bioclimatique d'une région où règne le climat du type méditerranéen, en faisant intervenir les précipitations, les températures maximales et minimales selon la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{1000}{\frac{(\quad)(\quad)}{2}} = \frac{2000}{\frac{\quad}{2}}$$

Q₂ : Quotient pluviométrie d'Emberger.

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

M : Températures moyennes des maximas du mois le plus chaud (°k).

m : Températures moyennes des minimas du mois le plus froid (°k).

Station	Période (1990-2012)	
	Q ₂	m (°C)
Mostaganem	48,87	5,61

Tableau n°03. Le quotient d'Emberger de la zone d'étude

Selon le climagramme d'Emberger (fig. 03), Le climat de la zone est de type méditerranéen, caractérisé par des périodes prolongées de beau temps, alors que celle des périodes tempérés sont relativement courtes. D'après le coefficient pluviométrique d'Emberger (Q₂) faisant intervenir les précipitations et des températures maximales et minimales (tab.03), notre zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à hivers doux. Cet étage est caractérisé par une saison estivale chaude prolongée ; les pluies sont irrégulières et tombent essentiellement en hivers, sous forme de violentes averses de courte durée, accompagnées de vents forts et fréquents.

II.1.3.5. Les humidités relatives

Le degré d'humidité de l'air dépend de la quantité d'eau qui s'y trouve. Elle joue un rôle important en matière d'apport de vapeur d'eau pour le sol et la végétation (Doucet R., 2010). Sous l'arbre, l'humidité est plus importante qu'en plein champ, les micro-organismes sont donc probablement plus présents (Dupraz C. et al, 2011).

L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée en hiver qu'en été. Ceci semble lié aux variations de la température (fig.04).

Le degré hydrométrique au niveau de la zone est relativement fort avec 74% en moyenne. Cela est dû à la proximité de la zone avec la mer.

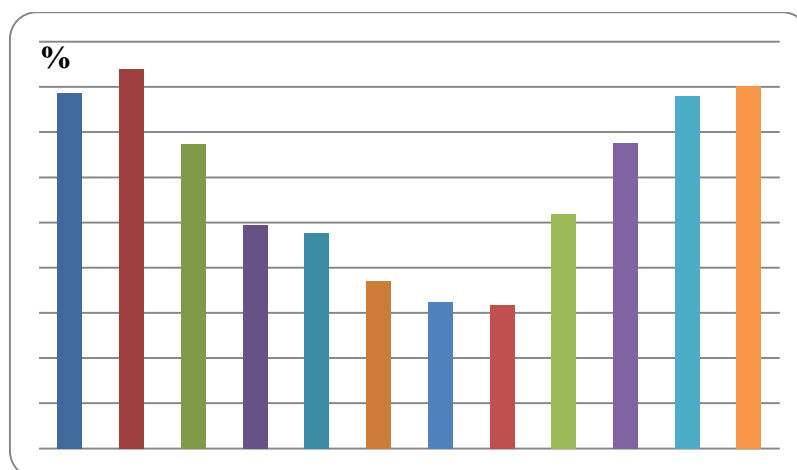


Figure n°04 : L'humidité moyenne mensuelle de l'air

II.1.3.6. Les vents

Le vent est considéré parmi les éléments les plus caractéristiques du climat, il favorise la dégradation du sol et dessèche la végétation. Les vents jouent un rôle essentiel dans le transport et la distribution de la chaleur et de l'humidité (Doucet R., 2010). Le régime annuel des vents de la zone de Mesra est caractérisé par :

- Des vents dominants du Nord (35,7%), de l'Est, suivis par ceux de l'Ouest (27,5%), de Sud-ouest et de Nord-est ;
- La vitesse maximale de ces vents varie entre 11,8 et 16,3 m/s (fig.05);

Le sirocco, C'est un vent très chaud et très sec soufflant du Sud au Nord souvent associé à des particules des sables et de terres. Il apparaît lorsque les basses pressions régissent sur la méditerranée. Les jours de sirocco sont rares pendant la saison estivale dans notre zone d'étude.

Dans les régions semi-arides ou arides, des vents violents risquent d'emporter une grande quantité de la couche superficielle du sol. Cette dernière abrite les particules les plus fertiles, des obstacles au vent sous la forme de rangées d'arbres ou d'arbustes permettent de limiter cette érosion. Les rangées soulèvent littéralement le vent et protègent donc l'espace derrière elles. Il reste un peu de vent qui souffle à travers les rangées, mais sa force est réduite et il emporte moins de particules du sol avec lui. Du fait qu'il y ait moins de vent, l'humidité de l'air reste à un niveau plus élevé et celle du sol et des cultures s'évapore moins. C'est particulièrement important dans les zones sèches qui manquent d'eau (Schöl L., 2005).

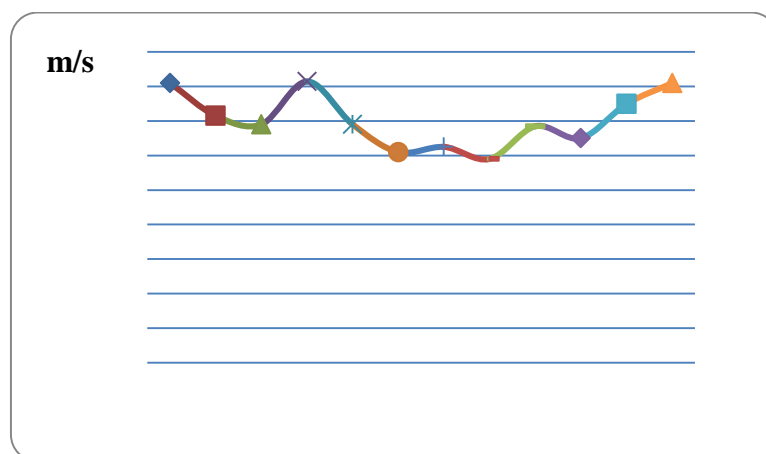


Figure n°05 ; vitesses moyennes mensuelles du vent

II.1.3.7. L'insolation

Le paramètre insolation, sous notre climat, atteint son maximum en été et son minimum en hiver (fig.06) ; il varie en outre avec la couverture nuageuse. Le maximum d'ensoleillement est relevé durant le mois de juillet avec une cote de 322,15 h (durée totale d'insolation pour le mois de

juillet), soit 10,39 h/j (durée moyenne pendant la journée) ; le minimum d'ensoleillement est observé en décembre pour une côte de 175 h (durée totale d'insolation pour le mois de décembre), soit 5,64 h/j.

Les arbres protègent et produisent. Ils projettent leur ombre sur l'homme et les animaux et abritent contre les vents violents, le soleil ardent et les pluies torrentielles. Mais il n'y a pas que l'homme et les animaux qui bénéficient de cette fonction protectrice, il y a aussi les cultures associées, le sol et la totalité de l'environnement qui en bénéficient. (Verheij E., 2005)

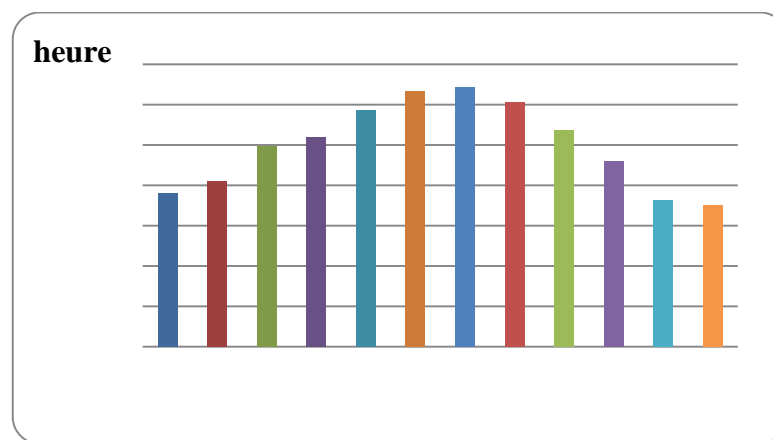


Figure n°06 : Insolation moyenne mensuelle

II.1.3.8. L'évaporation

L'évaporation est un phénomène physique ayant une relation avec la température, la sécheresse de l'air, et l'agitation de cet air (OMM, 2005).

Le maximum d'évaporation est enregistré en mois d'août (165,39 mm), le minimum en mois de janvier (49,98 mm) (fig.07.). Cette évaporation est importante pendant la saison estival ; du faite que la température est forte.

Les arbres forment le paysage et ont une influence modératrice sur le climat : ils réduisent le vent et la température maximale, ils élèvent la température minimale et l'humidité de l'air. Les cultures associées bénéficient de la conservation du sol (contrôle de l'érosion, recyclage des nutriments) ainsi que de la modération du climat (Verheij E., 2005).

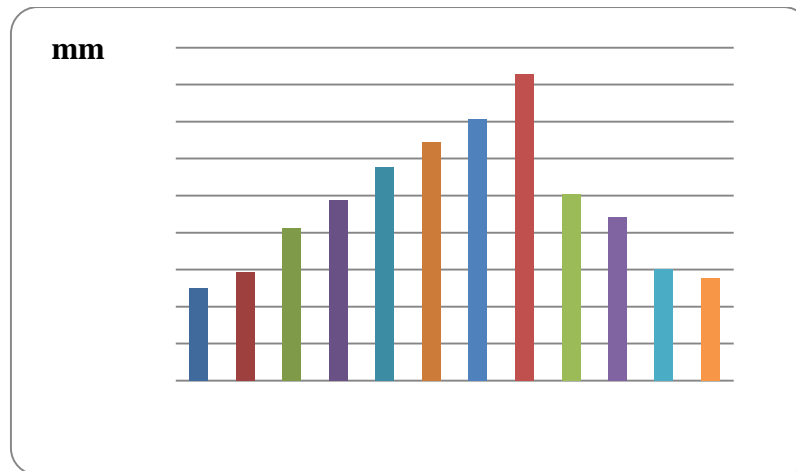


Figure n°7 : L'évaporation moyenne mensuelle

II.1.3.9. Les gelées

Le problème des gelées est important pour les cultures surtout maraîchères. Elles sont liées aux températures. Sur le littoral où les températures d'hiver sont relativement élevées (8°C moyenne) et où les altitudes n'excèdent pas 600m, l'enneigement reste un phénomène exceptionnel.

II.1.3.10. Le brouillard

D'après l'ONM, le brouillard se manifeste avec des fréquences très faibles ne dépassent pas 1 à 3 jours par mois avec une totalité de 20 jours durant l'année. Son maximum a été observé pendant le mois d'octobre avec 8 jours de brouillard.

Tableau 4 : Principaux renseignements sur les échantillons prélevés

N°	Localités	points d'eau	Altitude(m)	Aquifère	Remarques
01	Sirat	1-2-3-4-5-6	60	Miocène	Irrigation
02	Mesra	7-8	60-90	Miocène	Réseau d'adduction-irrigation
03	Souafli- Maddah- Saf –saf	9-10-11	158-390	Miocène	Réseau d'adduction-irrigation

CHAPITRE III : ECHANTILLONNAGE, PRINCIPES D'ANALYSES ET NORMES

Ce chapitre comporte toutes les méthodes qui ont été utilisées pour l'analyse des espèces chimiques dissoutes dans l'eau.

III.1 Echantillonnage :

L'échantillon doit être le plus représentatif des points d'eau choisis. Il est inutile d'utiliser des techniques analytiques très précises sur un échantillon, si celui-ci n'a pas été prélevé, transporté et stocké correctement WHO (World Health Organisation) 2010. Il n'existe pas de recette générale pour l'échantillonnage, néanmoins, certaines méthodes classiques peuvent être utilisées, tout en tenant compte des difficultés rencontrées lors des prélèvements].

Quelque soit la méthode adoptée, on doit obéir aux principes de bases suivants :

- 1 – Définir les quantités à prélever, le nombre de prélèvements et leur localisation.
- 2 – Avant le prélèvement de l'échantillon, les flacons doivent être soigneusement lavés et rincés ensuite trois fois avec de l'eau examinée.
- 3 – Stabiliser et conditionner l'échantillon dans un flacon ou bouteille approprié.
- 4 – Etiqueter l'échantillon en précisant l'origine exacte et la date de prélèvement.
- 5 – En même temps que la prise d'échantillon, on doit déterminer les propriétés physiques de l'eau.
- 6 – Les données sur l'échantillon d'eau prélevée sont portées sur une fiche standard spécialement établie.

A titre d'exemple, nous donnons dans le tableau 2, un aperçu sur certains paramètres et leur mode de conservation.

III.1.1 Mode de conservation des échantillons: WHO (World Health Organisation) Guideline for drinking water quality, Vol.1 (2 nd ed) recommandation, geneva 2010

Tableau n°05 : aperçu sur les paramètres et leur conservation

Paramètre	Type de récipient	Conservation		Observation
Physico-chimiques				
Température	-	-	-	-
pH	P ou V	-	6 heures	Sur place
Oxygène dissous	P ou V	-	-	-
Pollution particulière et organique globale				
MES	P ou V	-	24 heures	Plutôt possible
DBO ₅	P ou V	2 à 5 °C à l'obscurité	24 heures	-
DCO	P ou V	2 à 5 °C à l'obscurité ou pH < 2 ou congélation	5 jours 5 jours 1 mois	-
Composés azotés et phosphorés				
Azoté Kjeldahl	P ou V	pH < 2 et T 2 à 5 °C	24 heures	-
Nitrites	P ou V	pH < 2	6 à 24 heures	Plutôt possible
Nitrates	P ou V	pH < 2 ou T 2 à 5 °C	24 heures	-
Phosphates	P ou V	T 2 à 5 °C	24 heures	Plutôt possible
Composés minéraux				
Alcalinité	P ou V	T 2 à 5 °C	24 Heures	-
Baryum	P	pH < 2	1 mois	-
Calcium	P ou V	pH < 2	1 mois	-
Chlorures	P ou V	-	1 mois	-
Chrome hexavalent	P	T 2 à 5 °C	24 Heures	-
Chrome total	P	pH < 2	1 mois	-
Fer total	V brun	pH < 2	1 mois	-
Mercure	P	pH < 2	1 mois	-
Nickel	P	pH < 2	1 mois	-
Plomb sulfates	P ou V	T 2 à 5 °C	1 semaine	-

P : Polyéthylène V : Verre

Tous nos échantillons ont suivi le protocole ci-dessus de conservation et d'échantillonnage

III.1 Principes d'analyse :

III.1.1 -Odeur :

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire (Rodier, 2009).

III.1.2 – Couleur :

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle (matière humique, micro-organismes), soit associée à sa pollution (composés organiques colorés).

L'estimation de la couleur a été déduite de l'examen visuel de l'échantillon placé dans un récipient large et incolore. (Franck, 2002).

III.1.3– Température :

La connaissance de la température est essentielle pour les réactions physico-chimiques et biologiques régies par leurs caractéristiques thermodynamiques et cinétiques.

A titre d'exemple : la concentration, la saturation en oxygène dissous, le pH.... sont dépendant de la température. (Apfelbaum, 1995)

III.1.4- Le pH :

- Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau, 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 l'origine de l'eau.
- Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH mètre ou par colorimètre.

Tableau 06: Classification des eaux d'après leur PH(*Apfelbaum ,1995*).

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

III.1.5.Turbidité :

Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

Comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solutions de formazine. La mesure de la lumière diffusée est significative pour les eaux de faible turbidité non visible à l'œil nu (par exemple les eaux de boisson). La mesure de la lumière transmise est significative pour les eaux de turbidité visible à l'œil nu (par exemple les eaux polluées) et pour les eaux de faible turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas.

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée (**Apfelbaum ,1995**).

III.1.5. Mesure de la conductivité électrique :**Principe :**

Sa mesure est faite à l'aide d'un conductimètre. Elle s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Mode opératoire :

- Allumer le multimètre.
- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper les électrodes dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.

III.1.6– Titre hydrotimétrique (TH) :**Objectif :**

Cette méthode d'essai a pour objet de déterminer la somme des concentrations en calcium et magnésium d'une eau.

Principe :

Titration par complexométrie des ions calcium et magnésium avec une solution aqueuse de sel de sodium d'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) « $C_{10}H_{12}N_2O_8Mg$ » à un pH de 10. L'indicateur utilisé est le noir ériochrome T, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium lors du titrage avec l'EDTA la solution vire au bleu. (**Lanoix et al., 1976**).

Mode opératoire :

On prélève 100 ml d'eau à analyser puis on ajoute 8 ml d'une solution Tampon ammoniacale, on ajoute ensuite quelques milligrammes de l'indicateur NET à l'aide d'une cuillère.

On titre avec une solution d'EDTA 0.02 N jusqu'à apparition de la coloration bleue.

III.1.7. Titre calcique (Tca^{+2}) :**Objectif :**

Cette méthode d'essai a pour objet la détermination du dosage de calcium et magnésium par la méthode titrimétrique à l'EDTA.

Principe :

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13 l'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium.

Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet.

Mode opératoire :

On prélève 100 ml de l'eau à analyser puis on ajoute 4 ml solution Hydroxyde de Solution on ajoute ensuite quelques milligrammes de l'indicateur Murexide. On titre avec une solution d'ADTA 0.02 N jusqu'à apparition de la couleur violet. (**Apfelbaum ,1995**).

III.1.8. Titre alcalimétrique complet et simple (TAC, TA) :**Objectif :**

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre d'acides minéraux et de sels d'acides forts et de bases faibles. L'eau à analyser doit être conservée de préférence dans des récipients en polyéthylène ou en verre, borosilicaté et l'analyse doit être pratiquée dans les 24 heures après le prélèvement qui sera conservé à 4 °C.

Principe :

L'acidité totale et l'acidité en acides minéraux se mesurent par titrage avec une solution d'acide chlorhydrique en présence d'indicateurs colorés phénol phtaléine pour le (TA) et le méthyle orange pour le TAC.

Mode opératoire (TAC) :

On prélève 100 ml de l'eau à analyser puis on ajoute 3 gouttes méthyle Orange et on titre a l'acide chlorhydrique HCl 0,02N jusqu'à pH 4.30. (**Apfelbaum ,1995**).

Mode opératoire (TA) :

On prélève 100 ml de l'eau analyser puis on ajoute 3 gouttes Phénophtaléine On titre avec une solution

HCl 0,02 N jusqu'à incolore. (**Apfelbaum ,1995**).

III.1.9.Dosage des Chlorures (Cl^-) :**Objectif :**

Détermination des ions chlorures Cl^- par la méthode titrimétrie de mohr.

Principe :

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent AgNO_3 insoluble qui est précipité quantitativement addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun

III.1.11. Dosage de fer par méthode colorimétrique :**Principe :**

Après oxydation en milieu acide le fer est réduit à l'état ferreux et dosé par spectrophotométrie en utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec la Phénanthroline 1,10.

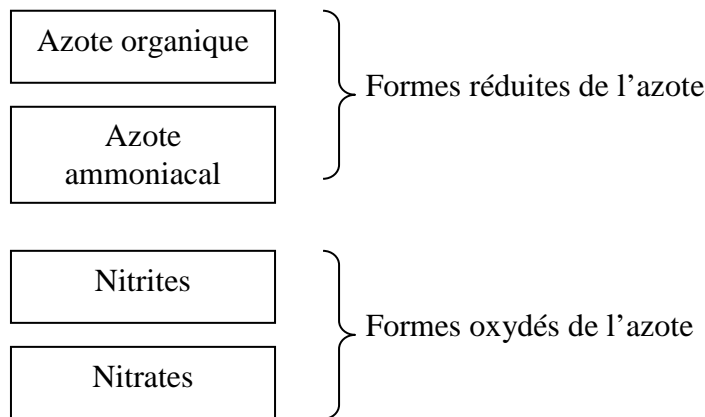
Préparation des Réactifs

- **Réactif (I) :**
- Chlorhydrate d'hydroxylamine NH_2OH

Parmi les constituants minéraux, les composés azotés et phosphorés représentent les paramètres les plus suivis dans les eaux naturelles. Ces formes stables de l'azote et du phosphore constituent, en effet, les principaux facteurs de développement d'une pollution dite pollution accidentelle.

.Composés azotés :

L'azote existe sous différentes formes



III.1.12. Dosage de l'ammonium :

Principe:

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique (**Franck, 2002**).

Mode Opérateur :

On introduit dans une fiole jaugée de 100ml, 20ml d'eau à analyser, on ajoute rapidement 1ml de solution de nitroprussiate de sodium et de phénol puis 1ml de solution chlorée. Après agitation, on laisse la fiole à l'obscurité pendant 6 heures au moins. On effectue la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 630 nm

Réactifs :

- Solution chlorée
 - Hydroxyde de sodium en pastilles 20g
 - Citrate trisodique 380g
 - Acide dichlorocyanurique 4g
 - Eau distilléeq.s.p..... 1000ml
- Solution de nitroprussiate de sodium et de phénol
 - Phénol35g

- Nitroprussiate de sodium ($\text{Na}_2 \text{Fe} (\text{CN})_5 \text{NO}_2 \text{H}_2\text{O}$)0,4g
- Eau distilléeq.s.p. 1000ml

On transpose cette solution dans un flacon en verre brun et on la conserve au réfrigérateur.

- Solution mère étalon a 0,1g/l d'ions ammonium.
 - Chlorure d'ammonium 0,297g
 - Eau distilléeq.s.p..... 1000ml
- Solution fille étalon à 0,001g/l d'ions ammonium.
- * La solution mère est diluée au 1/100.

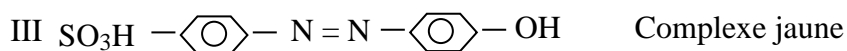
a. Les formes oxydées de l'azote :

Les formes oxydées de l'azote dans les eaux sont les ions nitrite et nitrate, cette dernière forme étant la plus souvent mesurée dans les eaux naturelles.

a-1 Dosage des nitrites :

La plupart des méthodes d'analyse reposent sur la propriété que possède l'acide nitreux à fournir avec une amine aromatique (I) une réaction de diazotation. Le diazoïque réagissant, par copulation avec un dérivé (II) aromatique (phénol ou amine), conduit à un complexe (III) susceptible d'un dosage spectrométrique

à la longueur d'onde $\lambda = 435 \text{ nm}$ (**Franck, 2002**).



Mode opératoire :

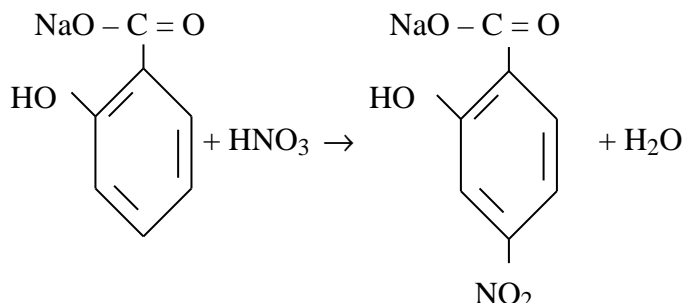
On prélève 50ml à analyser, on ajoute 2ml réactif de Zambelli. On agite et on laisse reposer pendant 10mn. On ajoute ensuite 2ml d'ammoniaque pure puis on effectue la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda = 435 \text{ nm}$.

Réactif de Zambelli :

- acide chlorhydrique pur ($d=1,19$)260 ml
- acide sulfanilique ($\text{HC}_6\text{H}_4\text{O}_3\text{NS}$)5g
- Phénol cristallisé ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$).....7,5g
- Chlorure d'ammonium135g
- Eau distilléeq . s . p. 1000 ml

a-2. Dosage des nitrates :**Principe :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrique à la longueur d'onde $\lambda = 415 \text{ nm}$ [16] .

**Mode opératoire :**

On introduit 10ml d'eau à analyser dans une capsule de 60ml, on ajoute 1ml de salicylate de sodium 0,5%; après évaporation à sec dans un bain marie (75 à 80 °C), on laisse refroidir. Le résidu est traité par 2ml d'acide sulfurique concentré en ayant pris soin de l'humecter complètement. On attend 10mn, et on ajoute 15ml d'eau bi distillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium (40g NaOH + 60g NaKC₄H₄O₆, 4H₂O + q.s.p 1000ml H₂O) qui développe la couleur jaune. La lecture est effectuée à la longueur d'onde de 415 nm.

III.1.13.Composés phosphorés :

Les composés phosphorés sont présents sous différentes formes dans les milieux naturelles. On distingue généralement les formes organiques (phospholipides, phosphoprotéines et les formes minérales (orthophosphates, polyphosphates).

Les ortho phosphatent :**III.1.14.Dosage d'Ortho phosphore :****Principe :**

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique, certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

Préparation des Réactifs

- **Réactif (I) :**

Acide Ascorbique 100g/l

- **Réactif (II) :**

- Acide sulfurique 9mol/l
- molybdate d'ammonium 13g + 100 ml ED
- Tartrate de potassium hémihydraté 0.35g + 100 ED

Mode opératoire :

40 ml eau distillée + 1ml RI + 2 ml RII (témoin).complété le volume jusqu'à 100ml

40 ml d'eau à analyser + 1ml RI + 2 ml RII (témoin).complété le volume jusqu'à 100ml

La lecture est effectuée après 20 min dans un spectrophotomètre à

Longueur d'ordre de 880nm.

Les résultats de phosphore sont affichés directement dans le spectromètre en mg /litre et pour obtenir l'ortho phosphore par la formule suivante

$$PO_4^{-3} = P * 3.06$$

III.1.15 Dosage des sulfates :

Principe : Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de "TWEEN 20" ou de polyvinylpyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.

Mode opératoire :

On introduit successivement dans un tube à essai 39 ml d'eau à analyser, On ajoute 1 ml de solution d'acide chlorhydrique 0,1N et on complète par 5ml d'une solution de chlorure de baryum dans 20 ml de Tween 20. On agite énergiquement et on laisse reposer 15mn. On agite de nouveau et on effectue les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 650nm.

Réactifs :

Solution d'acide chlorhydrique au 1/10

Solution de Tween 20 à 25%

Solution de chlorure de baryum stabilisée

- Chlorure de baryum 10g
- Solution de tween 20 20ml
- Eau distilléeq.s.p..... 100ml

Solution étalon de sulfate de solution de sodium à 120mg/l de SO_4^{--}

- sulfate de sodium anhydre 0,1775g
- Eau distilléeq.s.p..... 1000ml

III.1.16. Dosage du sodium et potassium :

La photométrie de la flamme est une procédé les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux.

Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium... etc.) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

Appareil Dr. LANGE (JENWAY), Le résultat est donné directement en mg/l.

III.1.17. Les éléments métalliques :

Beaucoup d'éléments métalliques sont susceptibles d'être à l'origine des contaminations des eaux naturelles, surtout celles destinées à la consommation humaine.

Les plus couramment analysés, notamment dans nos échantillons, sont le plomb, le chrome, le nickel, le fer, le manganèse, le cobalt, le vanadium, le cadmium, le cuivre, et le zinc..

III.2. qualité chimique des eaux naturelles :

Les valeurs maximales tolérées des paramètres physiques et chimiques des eaux naturelles sont données dans le tableau 7.

Tableau n°7: valeurs limites acceptables Dr. LANGE (JENWAY),

Paramètre	Limite acceptable
T	< 25 °C
pH	6,5 – 8,5
MES (mg/l)	25 mg/l
λ μ s/cm a 20 °C	1000
Turbidité NTU	< 5
Odeur –couleur	Sans
O ₂ dissous %	< 30% de la valeur de saturation
DBO ₅ mg/l	15
DCO mgO ₂ /l	50
Matières organiques mg/l	15
NH ₄ ⁺ mg/l	0,5
NO ₂ ⁻ mg/l	≤ 0,1
NO ₃ ⁻ mg/l	≤ 100
Cl ⁻ mg/l	≤ 250
SO ₄ ⁻ mg/l	≤ 250
PO ₄ ³⁻ mg/l	≤ 0,5
Ca ⁺⁺ mg/l	100-200
Mg ⁺⁺ mg/l	≤ 50
Na ⁺ mg/l	≤ 150
K ⁺ mg/l	≤ 12
TH °F	≤ 50
Fe μ g/l	≥ 200
Mn μ g/l	≤ 50
Cu μ g/l	≤ 1000
Zn μ g/l	≤ 5000
Cr μ g/l	≤ 50
Pb μ g/l	≤ 50
Ni μ g/l	≤ 50
Cd μ g/l	≤ 5
Co μ g/l	≤ 10
V μ g/l	≤ 100

III.4. qualité chimique des eaux souterraines et superficielles :

Selon les normes algériennes, la qualité de l'eau est classée en quatre catégorie :

Catégorie 1 : eau de bonne qualité chimique, utilisable sans exigence particulière.

Catégorie 2 : eau de qualité chimique passable, utilisable après traitement simple.

Catégorie 3 : eau de qualité chimique médiocre, utilisable après traitement poussé.

Catégorie 4 : eau de qualité chimique mauvaise, utilisable qu'après un traitement spécifique et onéreux.

Le tableau 8 donne les normes utilisées pour l'estimation de la qualité chimique de l'eau en fonction d'un certain nombre de paramètres.

Tableau n°8: grille normative utilisée pour estimer la qualité de l'eau.

Détermination qualité	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
	Eau de bonne qualité	Eau de qualité passable	Eau de qualité médiocre	Eau de qualité mauvaise
Ca ²⁺ (mg/l)	100	100-200	200-400	> 400
Mg ²⁺ (mg/l)	30	30-100	100-150	> 150
Na ⁺ (mg/l)	110	110-230	230-460	> 460
K ⁺ (mg/l)	< 12	< 12	> 12	> 12
NH ₄ ⁺ (mg/l)	< 0,5	< 0,5	> 0,5	> 0,5
Cl ⁻ (mg/l)	170	170-360	360-700	> 700
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	140	140-300	300-580	> 580
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	< 300	< 300	> 300	> 300
TH° F	< 50	50-100	> 100	> 100
NO ₃ ⁻ (mg/l)	< 50	50 - 100	> 100	>100
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0 - 0,01	0,01 - 0,1	> 0,1	> 0,1
Fe (µg/l)	0- 500	500 - 1000	1000 – 2000	> 2000
Mn (µg/l)	0 - 100	100 - 300	300 – 1000	>1000
Cr (µg/l)	0 - 10	10 - 50	50 - 500	> 500
Cu (µg/l)	0 - 20	20 - 50	50 - 1000	> 1000
Cd (µg/l)	0 - 20	20 – 50	> 50	> 50
Pb (µg/l)	0 - 50	> 50	> 50	> 50

Les méthodes d'analyses décrites dans ce chapitre nous ont permis d'analyser les eaux souterraines et superficielles du plateau de Mostaganem. Le chapitre IV donne la composition chimique des eaux, les types de faciès et l'influence de la lithologie des terrains sur la qualité chimique des eaux.

III.5. Protocole expérimentale des Analyses bactériologique

Après la réception des échantillons, les analyses se font immédiatement pour la recherche et le dénombrement des germes suivants :

III.5.1 coliformes totaux

Le dénombrement des coliformes totaux se fait par la méthode de filtration membranaire un volume d'échantillon de 100 ml d'eau à analyser est filtré à travers une membrane qui retient les micro-organismes. La membrane est ensuite placée sur le milieu du TTC tergitol.#

Lecture

Après incubation à 37°C durant 24h, des colonies se forment à la surface de la membrane.

Test confirmatif

Pour effectuer une confirmation les colonies formées à la surface de la membrane sont repiquer dans un autre milieu liquide (VBL), les tubes de VBL seront ainsi incubés à 37°C durant 24h. Dans le cas positif de présence des coliformes totaux, on aura une présence du gaz dans la cloche de Durham et virage au couleur jaune.

III.5.2. Escherichia Coli

Escherichia Coli fait partie du groupe des coliformes totaux et consiste le seul membre de ce groupe que l'on trouve spécialement dans les matières fécales des humaines et des animaux. Leur présence dans l'eau indique en présence de matières fécales. Elle est capable de fermenter le lactose à 44°C.

Technique

Le principe de dénombrement s'effectue de même manière que la recherche des coliformes fécaux sauf la température d'incubation dans ce cas est de 44°C/24 heure.

1^{er} lecture : Après 24 heures, on observe des colonies jaunes.

On va faire le test confirmatif c'est-à-dire le repiquage sur un milieu liquide de Schubert muni d'une cloche de durham et incubé à 44°C/24 heure.

2^{eme} lecture : On observe un anneau rouge sur la surface de milieu avec une production de gaz dans la cloche de durham. Donc on peut dire qu'il existe d'E. Coli dans l'eau.

III.5.3. Streptocoques fécaux

- Filtrer 100 ml d'échantillon sur une membrane de 0.5 µm de diamètre
- Placer la membrane sur une boîte de pétri contenant du milieu slanetz et bartley préalablement coulé et refroidi.

- Le milieu slantz et bartley et un support nutritif contenant des substances inhibitrices qui laissent se développer préférentiellement colonies de streptocoques fécaux.
- Incuber les boites à 37 °C pendant 24heures.

Lecture

Après 24 heures on compte les colonies rouge violettes.

Test confirmatif

On transfère la membrane de la boîte contenant le milieu slantz à la boîte pétri contenant milieu BEA (Bile Esculine Agar)

On incube à 37 °C pendant quelque heure présence d'un halo noir.

III.5.4. Clostridium Sulfito- Réducteur

- chauffer l'échantillon à 80°C pendant 10 min pour la destruction des formes végétatives (formation des spores).
- Filtrer 100 ml d'échantillon sur membrane de 0.22µm de porosité pour permettre de retenir les spores des bactéries.
- Placer la membrane à l'envers sur la boîte de pétri.
- Couler au dessus la gélose viande foie contenant du sulfite de sodium et alun et fer
- Incuber à 37 °C les Clostridium pousse dans des conditions en anaérobiose.

- Lecture

On procède à une lecture des 24heures considérer comme résultant d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice tout colonie noir entourée d'un halo noir exprimer le résultat en nombre de spores par 100 ml.

Tableau 09 : résumant le mode opératoire des analyses bactériologiques.

Germes	Technique	Volume échantillon	Milieu utilisé	T° incubation	Milieu confirmation
Coliformes totaux	Filtration Ø 0.45µm	100ml	TTC	37	VBL
E. coli	Filtration Ø 0.45µm	100ml	TTC	44	Schubert+Kovax
Streptocoques fécaux	Filtration Ø 0.45µm	100ml	Gélose slanetz et bartley	37	Gélose BEA
Clostridium S/R	Filtration Ø 0.22µm	100ml	Viande de foi	37	–

IV.1.Evaluation des échantillons d'eau

IV.1.1.Condensabilité des échantillons pour la consommation et usages ménagers

Selon les critères de l'OMS 2010, 90.9 % d'échantillons d'eau conviennent pour la consommation humaine à l'exception d'un point d'eau qui présente un caractère impropre à la consommation à cause de sa concentration élevée en nitrate (P4 Sirat), mais peut être utilisée pour les usages ménagers.

IV.1.2.Condensabilité pour l'irrigation

Le rapport d'adsorption du sodium(R.A.S) est utilisé comme un indice se référant à la condensabilité de l'eau pour l'irrigation :

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$$

Les concentrations des ions dans l'eau d'irrigation sont en meq.L⁻¹. Le calcul de RAS pour une eau donnée fournit un indice utile concernant le risque du sodium de l'eau pour les sols et les cultures. L'application de cet indice aux échantillons étudiés montre d'excellents résultats.

(RAS allant de 0,14 à 4.76), ce qui recommande l'utilisation de ces échantillons pour l'irrigation.

IV.1.3.Convanabilité des échantillons pour des applications industrielles

L'indice de saturation est un facteur très important dans la mesure où il permet de tester la qualité de l'eau. Cet indice indique à quel degré les eaux circulant à travers des tuyaux vont précipiter ou dissoudre le CaCO₃. Cet indice est défini comme le pH réel d'une eau (pH eau) moins le pH calculé (pHc), ou l'eau aurait un équilibre avec le carbonate de calcium (pHc).

$$\text{Indice de saturation} = \text{pHe} - \text{pHc}$$

-pHc est calculé par :

$$\text{pHc} = (\text{pk}_2 - \text{pks}) + \text{pCa}^{2+} + \text{pAlk}$$

À partir des logarithmes négatifs de la constante de dissoudre de H₂CO₃ (pk₂), le produit de solubilité de carbonate de calcium (pk_s), la concentration molaire de Ca²⁺ (pCa²⁺) et l'équivalent de concentration de CO₃²⁻ plus HCO³⁻ (pAlk). Si l'indice de saturation est positif, CaCO₃ se dissoudra.

IV.1.4. Géochimie des eaux souterraines :

Les rapports caractéristiques Ca/Mg, Ca/SO₄, Na/Cl et Ca/HCO₃⁻ et l'indice d'échange de base (CEV).

$$CEV = (Cl - (Na + K)) / Cl. \quad (\text{Custodio et Llamas ,1983})$$

Ont été calculés pour mettre en évidence la prédominance et l'échange ionique qui peut se produire durant le séjour de l'eau souterraine au contact de la roche.

Tableau 10 : caractéristiques physico-chimiques moyennes des échantillons d'eau, (OMS, 2010)

N°	Point d'eau	pH	T°C	Ec $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Ca ²⁺ mg.L-1	Mg ²⁺ mg.L-1	Na ⁺ mg.L-1	K ⁺ mg.L-1	HCO ₃ ⁻ mg.L-1	Cl ⁻ mg.L-1	SO ₄ ²⁻ mg.L-1	NO ₃ ⁻ mg.L-1	PO ₄ ³⁻ mg.L-1
	Norme OMS	6.5-8.5	25	1000	200	50	150	12	300	200	250	50	0.3
01	P1.Sirat	7.32	21.0	4874	205.3	25.4	748.5	15.3	365.7	111.2	584.7	98.1	0.31
02	P2.Sirat	7.54	20.0	1785	147.2	18.1	265.3	8.4	352.4	259.8	98.1	98.7	0.32
03	P3.Sirat	7.25	21.5	1587.3	100.4	27.3	214.3	8.0	268.1	317.7	331.5	77.2	0.56
04	P4.Sirat	7.25	20	1574	90.3	15.0	199.2	6.2	158.2	300.1	55.3	160.3	0.32
05	P5.Sirat	7.32	21	1584	107.2	25.1	185.3	9.0	257.1	284.1	100.1	74.2	0.20
06	F1.Sirat	7.92	16.6	2050	122,24	22,67	99,58	6,2	376,16	445,59	24,72	75.3	1.10
07	F2.Mesra	7.21	19	1332	125.0	17.0	154.2	4.1	264.1	222.3	100	55.1	0.28
08	F3.Mesra	7.76	25.8	2999.8	267,86	22,63	161	7,1	448,56	894,11	33,4	40.5	0.18
09	F4.Souafli	7.43	18.5	1054	95.1	18.5	112.0	3.7	223.2	174.1	89.2	14.2	0.01
10	F5 O/Meddah	7.51	18.4	735	80.1	16	62	3.2	235.5	150.2	34.4	18.6	0.09
11	F6.Saf-Saf	7.54	22	930	87.8	17.5	105.1	4	340.3	110	100.4	65.4	0.04

Tableau 11: teneurs en métaux lourds (OMS,2010)

N°	C en meq .L ⁻¹	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	V µg/l
	Norme OMS	5	10	50	1000	200	50	50	50	100
01	P1.Sirat	0,24	0,20	3,90	17,8	354,1	30,4	8,5	3,1	6,1
02	P2.Sirat	1,22	2,62	3,58	4,25	105,3	47,25	3,7	2,1	1,4
03	P3.Sirat	1,20	1,50	3,58	4,65	258,2	11,2	5,6	3,5	2,4
04	P4.Sirat	0,81	1,60	6,21	16,6	58,2	21,3	1,4	6,5	8,1
05	P5.Sirat	0,22	0,99	2,89	15,5	99,1	30,1	2,2	2,3	24,8
06	F1.Siret	0,14	0,11	2,3	10,57	86,3	18,06	5,04	1,8	3,6
07	F2.Mesra	0,30	1,30	3,00	17	39,5	24,2	2,1	4,9	1,9
08	F3.Mesra	0,25	0,25	5,05	23,07	401,5	39,3	11,01	4,0	7,9
09	F4.Souafli	0,20	1,41	9,14	4,25	93,2	38,5	4,1	4,9	2,6
10	F.O/Meddah	0,22	1,35	12,5	20,1	260,4	28,9	4,8	1,9	1,8
11	F.Saf-Saf	1,40	1,45	3,30	4,70	95,2	32,7	4,6	6,4	3,1

Tableau 12 : caractéristiques physico-chimiques moyennes des échantillons d'eau en meq/l

N°	Point d'eau	pH	T°C	Ec $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Ca ²⁺ meq.L-1	Mg ²⁺ meq.L-1	Na ⁺ meq.L-1	K ⁺ meq.L-1	HCO ₃ ⁻ meq.L-1	Cl ⁻ meq.L-1	SO ₄ ²⁻ meq.L-1	NO ₃ ⁻ meq.L-1
	Norme OMS	6,5-8,5	25	1000	200	50	150	12	300	200	250	50
01	P1.Sirat	7,32	21	4874	10,26	1,65	32,54	0,39	5,99	31,32	12,18	1,58
02	P2.Sirat	7,54	20	1785	7,34	1,14	11,53	0,21	5,77	7,31	2,04	1,58
03	P3.Sirat	7,25	21,5	1587,3	5,00	2,24	9,31	0,20	4,39	8,94	6,90	1,24
04	P4.Sirat	7,25	20	1574	4,50	1,23	8,66	0,15	6,87	8,45	1,15	2,58
05	P5.Sirat	7,32	21	1584	5,34	2,06	8,05	0,23	11,17	8,00	2,08	1,19
06	F1.Siret	7,92	16,6	2050	6,09	1,86	4,32	0,158	6,16	12,7	0,5	1,21
07	F2.Mesra	7,21	19	1332	6,23	1,39	6,70	0,19	4,32	6,26	2,08	0,88
08	F3.Mesra	7,76	25,8	2999,8	13,3	1,86	7	0,18	7,35	25,5	0,69	0,65
09	F4.Souafli	7,43	18,5	1054	4,74	1,52	4,86	0,09	3,65	4,90	1,85	0,22
10	F.O/Meddah	7,51	18,4	735	3,99	1,31	2,69	0,08	3,86	4,23	0,71	0,29
11	F.Saf-Saf	7,54	22	930	4,38	1,44	4,56	0,10	5,57	3,09	2,09	1,05

IV.2. Interprétation des résultats des analyses effectuées sur l'eau

Les mesures des paramètres physico-chimiques effectuées sur les échantillons de l'eau ont permis d'obtenir les résultats suivants :

IV.2.1. Mesure du pH de l'eau

L'eau acide est en effet agressive (corrosive) et peut libérer les métaux constitutifs des canalisations (en particulier à l'intérieure du réseau habitations), à savoir le fer, le cuivre, le plomb, le nickel, le chrome et le zinc (Hanon et Rouelle, 2011). Les normes édictées par la réglementation locale et internationale en matière de potabilité de l'eau recommandent un pH situé entre 6,5 et 8,5. En comparant les résultats obtenus (tableau 10) lors des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude à ceux de la grille normative, il ressort que leur pH est conforme aux normes (7,21 à F2.Mesra et 7,92 à F1.Siret).

IV.2.2. Mesure de la conductivité électrique de l'eau

La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La classification des eaux en fonction de la conductivité électrique montre que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées dans le site F.5/Meddah (735 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et le site F6.Saf-Saf (930 $\mu\text{S}/\text{cm}$) durant la période d'études, ce sont des eaux ne dépassant pas les normes de l'OMS (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Par contre pour les autres points d'eaux (P1.Sirat P2.Sirat P3.Sirat. P4.Sirat P5.Sirat. F1.Sirat F2.Mesra F3.Mesra) on enregistre des valeurs plus élevées (e 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ce phénomène de minéralisation est probablement dû à la nature lithologique des terrains (sol).

IV.2.3. La température

Selon Chapman & Kimstach [1996], La température de l'eau est un facteur écologique très important qui régit pratiquement la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. Cette température agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes [W.H.O, 1987].

En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixées par l'OMS, l'eau est excellente lorsque la température est inférieure à 25°C et médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C. La température mesurée dans les échantillons d'eau prélevés varie entre 16,6 et 25,8°C (tableau 10), ces valeurs sont inférieures à 25°C, ceci nous ramène à dire que les échantillons d'eaux analysés sont du point de vue thermochimique en équilibre.

IV.2.4.Le calcium

Le calcium est généralement l'élément dominant dans les eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) (Rodier et al. 2009). Les effets indésirables qui sont surtout d'ordre organoleptique ou esthétique résultant de la présence du calcium dans l'eau potable peuvent provenir de sa contribution à la dureté (A.W.W.A, 2000).

Les teneurs en calcium des échantillons d'eaux analysées (tableau 10) de notre zone d'étude sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible qui est de 200 mg/l édictée par les normes de l'OMS pour l'eau potable, à l'exception des points d'eau (P1.Sirat, F3 Mesra) qui présente une concentration supérieure à la norme qui est de 200 mg/l. La nature lithologique des terrains dans la région de Mesra et Sirat est à prédominance : bicarbonatée calcique (Rodier et al., 2009).

IV.2.5.Le magnésium

Les teneurs en magnésium des eaux analysées (tableau 10) de notre zone d'étude sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible qui est de 50 mg/l édictée par les normes de l'OMS pour l'eau potable.

IV.2.6.Le sodium

En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixées par l'OMS, l'eau est : excellente lorsque la concentration de sodium est inférieure à 150 mg/l ; et médiocre lorsqu'elle est dépassée 150 mg/l. La concentration de sodium mesurée dans les échantillons d'eau de notre zone varie entre 62 mg/l et 748.5 mg/l.

Les résultats de notre étude ont révélé que les échantillons d'eau analysés montrent que la moitié des sites (point d'eau) sont dans les normes (< 150 mg/l) [6 ; 9 ; 10 ; 11] par contre, les autres points d'eaux révèlent des concentrations en Na^+ largement en dessus des normes exigées par l'OMS. La présence d'évaporites (substratum imperméable) au niveau de la région de Sirat modifie la teneur en sodium (Patrick Savary(2010))

IV.2.7.Le potassium

Les normes édictées par la réglementation OMS en matière de potabilité de l'eau recommandent une concentration de potassium qui est inférieure à 12 mg/l. En comparant les résultats obtenus (tableau 10) lors des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude avec la grille normative, il ressort que leur concentration en potassium est acceptable, à l'exception du puits P1.Sirat où la concentration en K^+ atteint 15.3 mg/l.

IV.2.8. Les nitrates

Les nitrates (NO_3^-) sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau, et dans une moindre mesure, par les décharges électriques comme la foudre (Beatson, 1978). Les sources de nitrates dans l'eau (en particulier les eaux souterraines) comprennent les matières animales et végétales en décomposition, les engrais agricoles, le fumier, les eaux usées domestiques et les formations géologiques contenant des composés azotés solubles (Adam, 1980 ; Egboka, 1984). D'après la réglementation OMS et Algérienne, il est recommandé pour le cas des nitrates, une valeur maximale de 50mg/l dans une eau destinée à la consommation. Les résultats de notre étude ont révélé que toutes les teneurs en nitrates dans les échantillons d'eau analysés ne rentrent pas dans les normes OMS, à l'exception des points d'eau : F3.Mesra(40.5 mgL^{-1}) ; F4.Souafia(14,2 mgL^{-1}) ; F5.O/Meddah (18.6 mgL^{-1}) dont leurs concentrations en nitrates est acceptable.

IV.2.9. Les chlorures

Ces éléments sont très répandus dans la nature. Leur teneur dans les eaux est très variable et liée principalement à la nature des terrains traversés.

Selon les directives de l'OMS en matière de potabilité des eaux, les chlorures doivent avoir une teneur inférieure à 200 mg/l dans les eaux destinées à la consommation humaine.

L'analyse des eaux de la zone d'étude a révélé des quantités anormales de chlorures allant de 110 mg.L^{-1} jusqu'à 894.11 mg.L^{-1} , sauf pour les échantillons de P1 Sirat, Souafia, O/Meddah et Saf-Saf (P1 ; F4 ; F5 et F6) qui rentrent dans les normes. Il s'avère d'après certaines études (Weinberg, 1986; Schultz, 1984; Siggaard-Anderson, 1976 ; Tortora, 1984) que même dans le cas de quantités excessives dans l'eau potable, les chlorures n'auraient pas d'effets néfastes sur la santé du consommateur car les concentrations de chlorures dans le corps sont bien régulées au moyen d'un système complexe faisant intervenir à la fois le système nerveux et le système hormonal. Même après l'absorption de quantités importantes de chlorures par l'intermédiaire des aliments et de l'eau, l'équilibre du chlorure se maintient, surtout par l'excrétion de l'excès de chlorures dans l'urine.

IV.2.10. Les orthophosphates

L'examen de tableau permet de constater que les teneurs des orthophosphates sont variables d'un point d'eau à un autre. La région de Sirat est la plus touchée par cette irrégularité en phosphates (P1, P2, P3, P4) dépassant ainsi la norme de l'OMS (0.3 mg/l). Ceci peut s'expliquer par l'utilisation excessive en engrais phosphatés et azotés dans les cultures maraichères et céréalières dans les champs agricoles de cette région.

IV.2.11. Les métaux lourds :

L'analyse des éléments Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et V montre l'absence d'une pollution chimique métallique dans ces eaux en se référant aux normes de l'organisation Mondiale de la sante (Sahli L .,2002) .En effet, des valeurs relativement faibles des éléments en traces dans ces échantillons indiquent que les échantillons d'eau souterraine étudiés sont loin des sources de pollution et que ces valeurs existent sous certaines conditions (composition lithologique de cette région).

Tableau n °13: classification des échantillons d'eaux souterraines

N°	C en meq .L ⁻¹	Ca/ Mg	Ca/HCO ₃	Ca/SO ₄	Na/Cl	CEV	RAS	IS	Potabilité	Irrigation	Industrie
01	P1.Sirat	4,12	1,76	3,98	1,86	0,054	3,64	0,64	Acceptable	convenable	convenable
02	P2.Sirat	5,6	1,45	1,98	1,43	0,65	0,65	0,61	Acceptable	convenable	convenable
03	P3.Sirat	3,9	1,12	4,89	1,34	-0,11	4,5	0,32	Acceptable	convenable	convenable
04	P4.Sirat	4,7	1,32	3,58	1,76	-0,25	3,84	0,63	Acceptable	convenable	convenable
05	P5.Sirat	3,2	1,69	9,45	1,53	0,76	3,75	0,16	Acceptable	convenable	convenable
06	F1.Siret	3,26	0,98	1,1	1,84	0,64	0,54	0,13	Acceptable	convenable	convenable
07	F2.Mesra	2,4	1,76	2 ,67	2,04	0,34	2,63	0,46	Acceptable	convenable	convenable
08	F3.Mesra	7,17	1,81	2,23	19,23	0,61	0,45	-2,34	Bonne	convenable	médiocre
09	F4.Souaflia	2,8	0,45	4,87	0,52	0,81	0,14	0,62	Acceptable	convenable	convenable
10	F.O/Meddah	6,8	1,34	1,78	1,76	-0,74	0,43	0,72	Acceptable	convenable	convenable
11	F.Saf-Saf	5,6	0,12	2,89	1,92	0,63	4,76	0,63	Acceptable	convenable	convenable

Interprétation des résultats:**III. 1-Indices d'échange de base CEV :**

L'analyse des résultats obtenus montre que 22.72% des points d'eaux analysés présentent des valeurs de $CEV < 0$.

On peut expliquer ces résultats par l'échange de base entre le calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}) par les ions sodium (Na^+) contenus dans la roche souterraine.

77.27% de points d'eaux présentent des valeurs de CEV positive ($CEV \geq 0$), quoiqu'ils sont proche du zéro pour l'échantillon (P1 Sirat), Ces valeurs indiquent qu'il ya certaines un échange entre le sodium (Na^+) contenu dans l'eau et le calcium (Ca^{2+}) contenu dans la roche.

III. 2-Rapport d'absorption du sodium (R.A.S) :

100% des points d'eaux analysés présent des valeurs de RAS positive ($RAS \geq 0$)

On peut expliquer ces résultats par le $CaCO_3$ se précipitera

L'application de cet indice aux échantillons (tableau3) indique que tous les échantillons montre une tendance a la précipitation de $CaCO_3$ a l'exception des points d'eaux (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)

III. 3-Indice de saturation :

9.09% montre une tendance a la dissolution (valeur < 0) a l'exception des point d'eau F3 et 90,90% qui montre une tendance a la précipitation de $CaCO_3$ (valeur > 0).

-Les figures 9, 10,11 et 12 illustrent respectivement la variation des rapports caractéristiques : Ca/Mg ; Ca /SO₄ ; Ca/HCO₃ et Na/ Cl.

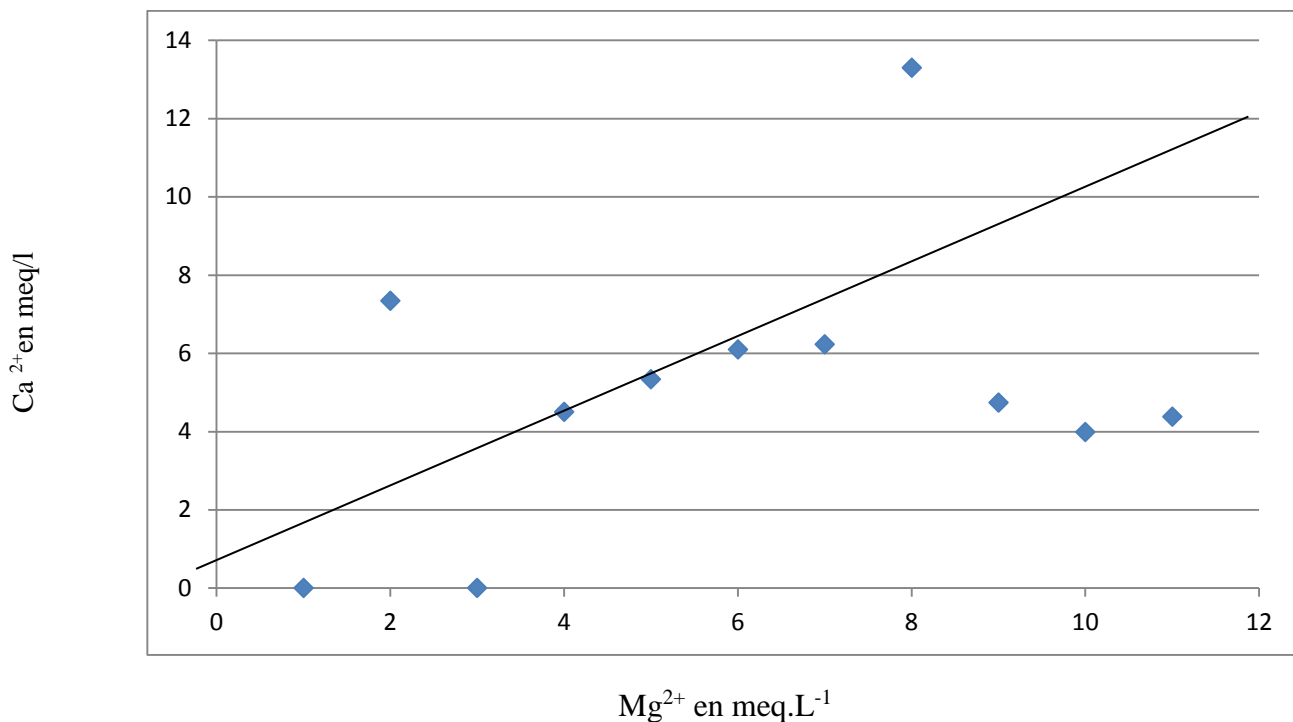


Figure n° 09: Relation Ca²⁺ -Mg²⁺

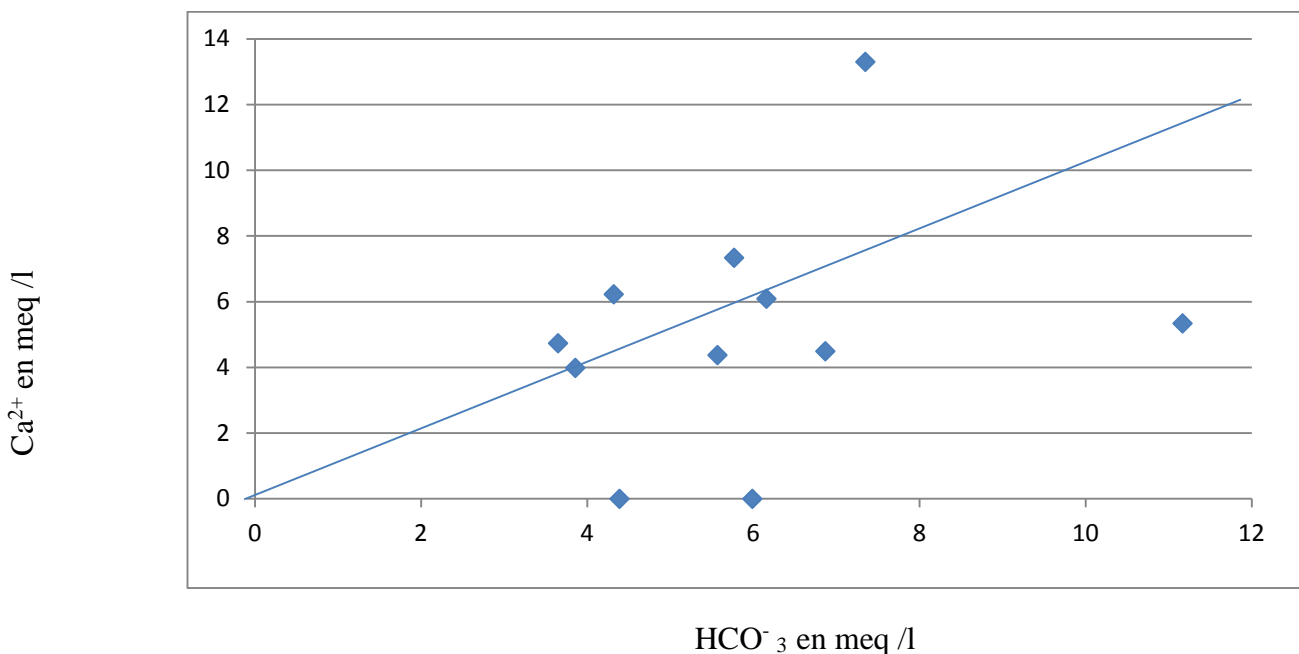


Figure n°10 : Relation Ca²⁺-HCO₃⁻

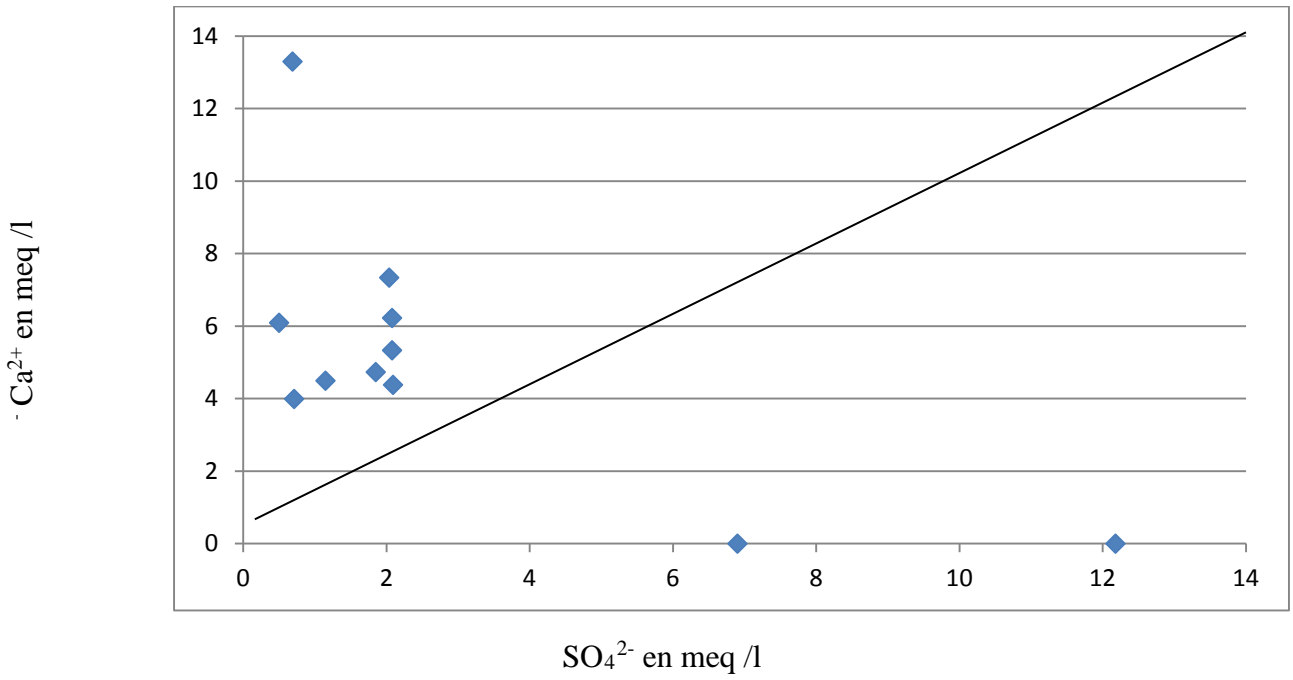


Figure n°11: Relation Ca²⁺- SO₄²⁻

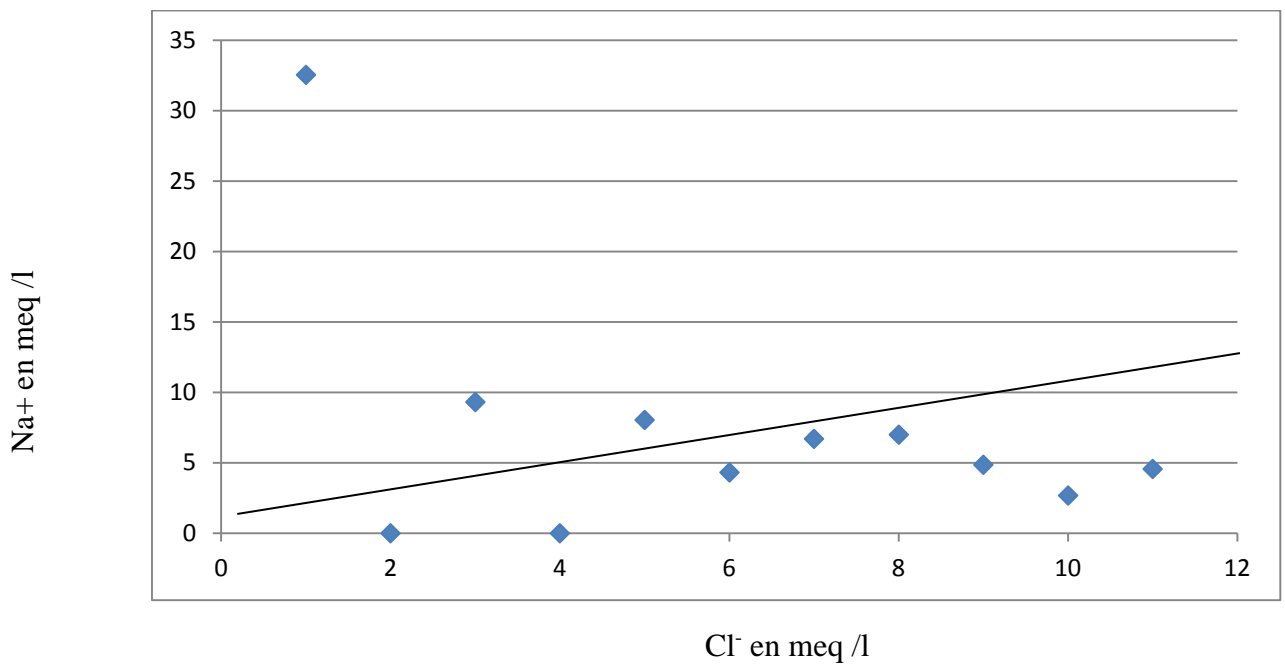


Figure n° 12 : Relation Na⁺ -Cl⁻

IV.2 Discussion des résultats :

IV.2.1 Caractéristiques physico-chimiques :

IV.2.1.1 Relation $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$:

Les échantillons d'eau ayant un rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ inférieur à l'unité représentent 36.36% du total et se situent juste au dessus de la ligne de rapport 1 :1 (Figure n°9). Tous les autres échantillons d'eau, soit 54.54% se situent au dessous de la ligne de rapport, ceci montre que le magnésium (Mg^{2+}) est prédominant dans les échantillons d'eau prélevés et donne un caractère magnésique aux échantillons d'eau prélevés.

Ceci peut s'expliquer par l'interaction des eaux souterraines de la région étudiée avec un sol riche en magnésium.

IV.2.1.2-Relation $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$:

Les échantillons d'eau ayant un rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ inférieur à l'unité représentent 45.45% et se situent juste au dessus de la ligne de rapport 1 :1 (Figure n° 10). Tous les autres échantillons d'eau, soit 54.55% se situent au dessous de la ligne de rapport, ceci montre que le bicarbonate HCO_3^- est prédominant dans les échantillons d'eau prélevés, ce qui ramène ces eaux à devenir bicarbonaté.

Ceci peut s'expliquer par l'interaction des eaux souterraines de la région étudiée avec un sol riche en bicarbonates (HCO_3^-).

IV.2.1.3-Relation $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$:

Les échantillons d'eau ayant un rapport $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ inférieur à l'unité représentent 81.81% et se situent juste au dessus de la ligne de rapport 1 :1 (Figure n° 11). Tous les autres échantillons d'eau, soit 18.19% se situent au dessous de la ligne de rapport, ceci montre que le calcium (Ca^{2+}) est prédominant dans les échantillons d'eau prélevés, ce qui ramène ces eaux à devenir calcique.

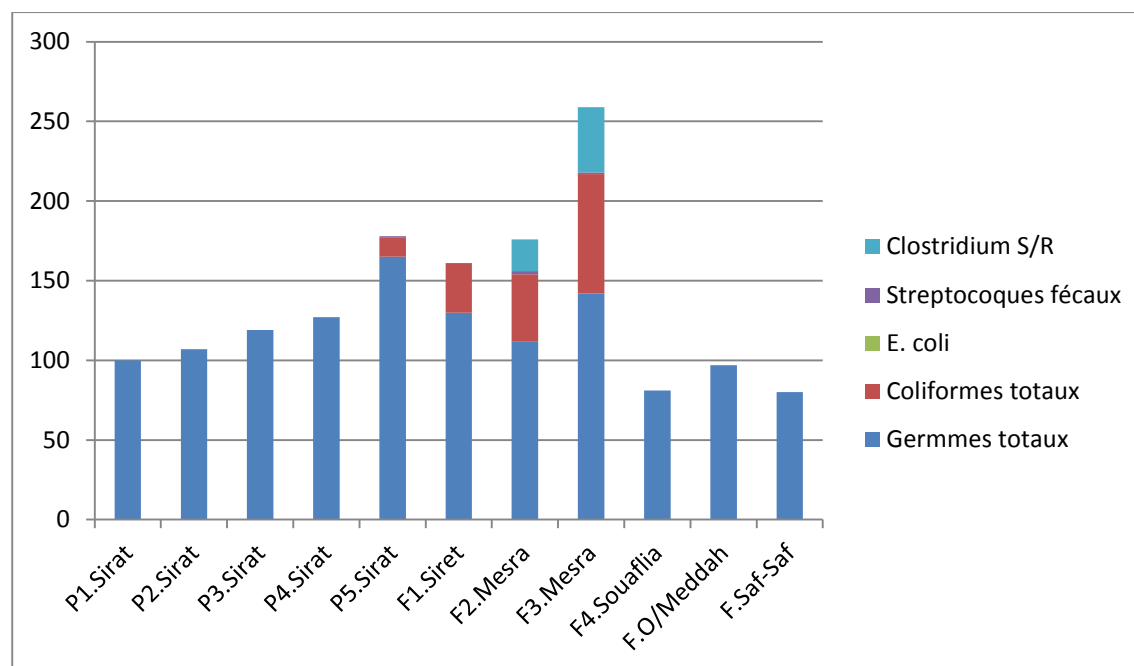
Ceci peut s'expliquer par l'interaction des eaux souterraines de la région étudiée avec un sol riche en calcium.

IV.2.1.4-Relation Na^+/Cl^- :

Les échantillons d'eau ayant un rapport Na^+/Cl^- inférieur à l'unité représentent 18.19% et se situent juste au dessus de la ligne de rapport 1 :1 (Figure n°12). Tous les autres échantillons d'eau, soit 81.81% se situent au dessous de la ligne de rapport, ceci montre que le sulfate (Cl^-) est prédominant dans les échantillons d'eau prélevés, ce qui ramène ces eaux à devenir chlorurées calciques. Ceci peut s'expliquer par l'interaction des eaux souterraines de la région étudiée avec un sol riche en Cl^- .

Tableau 14 : caractéristiques bactériologiques des échantillons d'eaux prélevés

/	Germmes totaux	Coliformes totaux	E. coli	Streptocoques fécaux	Clostridium S/R
P1.Sirat	100	00	00	00	00
P2.Sirat	107	00	00	00	00
P3.Sirat	119	00	00	00	00
P4.Sirat	127	00	00	00	00
P5.Sirat	165	12	00	01	00
F1.Siret	130	31	00	00	00
F2.Mesra	112	42	00	02	20
F3.Mesra	142	75	00	01	41
F4.Souafia	81	00	00	00	00
F.O/Meddah	97	00	00	00	00
F.Saf-Saf	80	00	00	00	00

**Figure n°08** : le nombre des bactéries dans les eaux**IV.3.1 Discussions des résultats:**

Les analyses bactériologiques révèlent des résultats plus au moins variables entre les différents points des échantillons prélevés.

Les puits P1, P2, P3, P4 ont une bonne qualité hygiéniques vu qu'elles sont dépourvues de toute présence des germes indicatrices de contamination fécales.

Les puits P5,F1 Sirat , F2 Mesra ;F3 Mesra , présentent une teneur hors norme pour les coliformes totaux . Les streptocoques fécaux ainsi les colstridium sulfatoréductrices pour les forages de Mesra ; ceci représente un indice d'une contamination ancienne :

Les autres points de prélèvement ont une bonne qualité bactériologique

CONCLUSION

Les échantillons d'eau souterraine de la nappe de la région sud ouest du plateau de Mostaganem sont classés comme eaux dures et modérément potables. Selon les paramètres hydrochimiques et l'indice d'échange de base des échantillons prélevés, l'eau de cette région possède un caractère de type bicarbonate calcique et chlorure sodique (région de Sirat).

Les eaux souterraines en s'écoulant vers les régions sud ouest, prennent rapidement un faciès chlorure sodique. La nature lithologique des terrains encaissants influence énormément sur la composition chimique des eaux souterraines.

La conductivité élevée dans les zones limites du plateau de Mostaganem est la conséquence de l'enrichissement en sels de ces eaux à la suite des réactions d'altération et d'érosion ainsi qu'aux phénomènes d'évapotranspiration de la nappe.

Les échantillons d'eaux analysés sont beaucoup plus aptes pour les utilisations ménagères et pour l'irrigation que pour la consommation humaine.

Cette étude préliminaire pourrait déclencher ultérieurement dans une perspective dynamique à la fois dans le temps et dans l'espace, une étude d'appréciation des modifications de la composition physico-chimique des eaux du plateau de Mostaganem et ce en liaison avec des différents facteurs ; pluviométrie, lithologie, hydrologie...etc...) pour avoir une vision globale des caractéristiques de ressources en eau du plateau de Mostaganem.

Références bibliographique

Références bibliographique

- A.Baiche(1994)**, Etude hydrogéologique du plateau de mostaganem ,Thèse de magister , Univ .Es –senia , oran , algerie, 1994.
- Afnor(1999)** , Recueil des normes francaises, Eaux-Méthodes d'essai ,France,.
- American Water Works Association. [AWWA]. 2000.** standard for lead (ANSI/AWWA), September 1, 2000.
- ADAM J.W.H. (1980)**.Health aspects of nitrate in drinking-water and possible means of denitrification (literature review), Water SA, 6, 79
- BEATSON, C.G. (1978)**. Methaemoglobinaemia-Nitrates in drinking water, Environ. Health, 86, 31.
- BNEDER, 1980)**. Analyse de l'organisation actuelle des coopératives (structures de l'OAIC)
- Chapman, D., & Kimstach, V. 1996.** Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London.
- C.H .Ward, W. Giger and P.L.Mc Carty (1976)**, Ground Water quality, 1 st Edn, p15. John Wiley& sons, New York,.
- Csaki and I. Endredi**, Nitrate contamination of ground waters in Hungary, in quality of ground waters, edited by W .V.duijenbooden,P.Glasbergen and H.V.lelyveld,pp.89-94.Elser science,Amsterdam
- G.Castany(1982)**, principes et ,méthode de lhydrogéologie , éd dunod, Prise ,France
- HANON M., ROUELLE A. (2011)**. Le pH de l'eau de distribution, Portail environnement de Wallonie, Begique
- Patrick Savary(2010)** : Guide des analyses de la qualité de l'eau
- Boulaine Jean (1955)** .Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200000 : feuille de Mostaganem n °21,05-13p

Références bibliographique

RL. Nace,(1976) Hydrology, water resources and pollution control, edited by H.W. Gehr and J.I.Bregman.Chap .1. Van Nostrand Reinhold Company, New York,

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Coll. 2009. L'analyse de l'eau, 9ème édition. DUNOD (éditeur), Paris, France.1579 p.

Sahli L ., 2002. Evaluation de la contamination par le cadmium, le chlore, le plomb et le manganèse dans les sédiments, les macroinvertébrés et une plante aquatique (*Rorippanasturim*) dans l'toued rhumel et son affluent l'toeudboumerzoug en zone.

WEINBERG, J.M. (1986). Fluid and electrolyte disorders and gastrointestinal diseases, Dans : Fluids and electrolytes, J.P. Kokko et R.L. Tanner (dir. de publ.), W.B. Saunders Co., Toronto

WHO (World Health Organization),(2010).Guideline for drinking water quality,Vol.1(2nd End)recommendation, Geneva

World Health Organization [WHO]. 1987. Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP. Water Treatment Solutions <http://www.lenntech.fr/data-perio/cd.html>

Résumé

Deux campagnes de prélèvement des eaux souterraines ont été effectuées durant la période Mars 2017/ Mai 2017, ces prélèvements ont fait l'objet d'analyse selon les techniques d'évaluation de qualité de l'eau décrites la région sud ouest du plateau de Mostaganem. L'analyse physico-chimique a montré que les puits étudiés présentent des concentrations conformes aux normes de l'OMS (2010) par contre pour la région de Sirat. Cette région possède un caractère de type bicarbonate calcique et chlorure sodique. De point de vue bactériologique, les puits étudiés présentent une médiocre pollution bactériologique dans tous les puits étudiés sans exception. La présence très élevée des germes microbiens dans l'eau pourrait constituer un risque sanitaire important pour les habitants qui prennent de l'eau nécessaire de leurs besoins à partir de l'eau de ces puits.

Mots clés : Eau souterraine, Qualité, Puits, Physico-chimie, bactériologie