

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف – المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
N° : 07/DSA/VCDPGR/2024



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : SCIENCE DU SOL

Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique

par : **MOKHTARI Chahira**

Intitulé

Impact des pratiques agricoles sur la concentration en
nitrates d'une nappe alluviale : Cas de la nappe de
Boussaâda, Sud Est Algérien

Soutenu devant le jury composé de:

M. TORCHIT Nadir	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
M. AMROUNE Abdelouahab	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Rapporteur
M. TIR Chafia	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :
A mes très chère parents
A mes très chère sœurs et mon frère
A ma grande famille et
A tous mes amis
Et à tous ce qui m'ont enseigné
A tous ceux qui m'aiment et que j'aime
A vous
Et spécialement pour la jury
M.Torchit Nadir, M.Tir Chafia et
M.Amroune Abdelouahab

Mokhtari Chahira

Remerciements

*Avant tout nous remercions ALLAH, le tout puissant de
nous avoir donné la santé, la Volonté et la Patience
afin d'accomplir Nos etudes*

*En premier lieu nous remercierons **Mr. AMROUNE**
Abdelouahab d'avoir accepté de diriger ce mémoire par
Ses Conseils, sa Compétence et sa Gentillesse.*

*On le remercie pour son encadrement
professionnel et exceptionnel.
et le Département des sciences agricoles,
nous remercions toutes les personnes
Qui nous ont aidées de près
ou de loin et pour toute la promotion
Science du sol .*

Sommaire

Introduction générale.....	1
Première partie: Recherche bibliographique	
Introduction	2
I.1.Cycles« biogéochimiques »concernés	2
I.1.1.Cycle del'eau	2
I.1.2.Recharge des nappes souterraines	4
I.1.2.1.Écoulement des nappes souterraines	4
I.1.2.3.Cycle de l'azote	4
I.1.2.4 Fixation de l'azote.....	5
I.1.2.5 Nitrification.....	6
I.1.2.6 Dénitrification.....	6
I.1.2.7 Dérivés et origine de l'azote	7
I.1.3-Nitrate et pollution nitrique des nappes souterraines	8
I.1.3.1.Engrais azotés.....	8
I.1.3.2.Élevages intensifs.....	8
I.1.3.4.Assainissement non collectif.....	8
I.1.3.5.Eutrophisation des eaux superficielles.....	8
I.1.3.6.Risque pour la santé humaine.....	8
I.1.4. Rôle de climat.....	8
I.1.4.1. Gestion de l'irrigation.....	9
I.1.4.2. Gestion de la fertilisation azotée	9
I.1.4.3. Gestion des rotations et des types de cultures	9
I.1.4.4. Caractéristiques des eaux d'irrigation.....	10
1.4.4.1.Qualité chimique	10
I.1.4.4.2.Quantité d'eau	10
I.1.4.4.3.Gestion des sols	10
1.4.4.4.Hygiène des infrastructures d'irrigation	10
I.1.4.4.5.Protection des zones de captage	11
I.1.4.4.6.Surveillance continue	11

I.1.4.5. Qualité du sol	11
I.1.5. La plaine alluviale	12
I.1.5.1.Effet des nitrates	12
I.1.5.2. Impacts identifiés sur la santé des individus	12
I.1.5.2.1.Impacts négatifs	13
I.1.5.2.2.Impacts positifs	13
I.1.5.3. Risque de méthémoglobinémie	13
I.1.5.4. Risque carcinogène.....	14
I.1.5.4.1.Carcinogènèse endogène liée aux nitrates.....	14
I.1.5.4.2.Augmentation du risque de cancer colorectal.....	14
I.1.5.4.3.Augmentation du risque de cancer de la vessie.....	14
I.1.5.4.4.Associations avec le cancer de l'ovaire et de l'estomac.....	14
I.1.5.5. Sur la plante.....	15
I.1.5.5.1Assimilation des nitrates et croissance des plantes.....	15
I.1.5.5.2Toxicité des nitrates.....	15
I.1.5.5.3.Effets sur l'utilisation de l'eau.....	15
I.1.5.6. Sur les animaux	15
Chapitre I-Deuxième partie: Matériels et méthodes d'étude & Etude du milieu physique	
Introduction.....	17
I-2.1. Situation géographique	17
I-2.2 .Habitat et situation économique.....	18
I-2.3. Réseau hydrographique.....	18
I-2.4. Sol	19
I-2.5.Végétation.....	20
I-2.6. Géologie.....	20
I-2.6.1. Pré Atlas (Avant fosse Miocène)	20
I-2.6.2. Atlas Saharien	21
I-2.6.3. Plate forme saharienne	21
I-2.6.3.1. Néocomien	21
I-2.6.3.2. Barrémo-Aptien inférieur	21
I-2.6.3.3. Trias	21
I-2.6.3.4. Jurassique	21
I-2.6.3.5. Crétacé supérieur.....	21
I-2.6.3.6. Cénomaniens.....	22
I-2.6.3.7. Tertiaire.....	22

I-2.6.4. Terrains du Chott.....	22
I-2.6.5. Dunes.....	22
I-2.6.6. Cônes de déjection.....	23
I-2.6.7. Interprétation de la colonne litho-stratigraphique.....	24
I-2.7. Aperçu général sur le climat de l'Algérie.....	24
I-2.7.1. Climat et caractérisations météorologiques.....	25
I-2.7.2. Zone d'étude et son équipement	25
I-2.7.3. Température	25
I-2.7.4. Précipitation.....	26
I-2.7.5. Vent.....	27
I-2.7.6. Evapotranspiration	29
I-2.7.6.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	29
I-2.7.6.2. Calcule de l'ETP selon la formule de C.W.THORNTHWAITE	29
I-2.7.6.3. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	30
I-2.7.6.3.1. Méthode de TURC.....	30
I-2.7.6.3.2. Méthode de WUNDT	30
I-2.7.6.3.3. Méthode de P. VERDEIL	31
I-2.8. Etude du climat de la région.....	32
I-2.8.1. Indice de D. MARTONNE	32
I-2.8.2. Diagramme de L. EMBERGER.....	33
I-2.8.3. Diagramme Ombrothèrmique de Gaussen et Bagnouls.....	34
Conclusion.....	35

Chapitre II : Outils d'interprétations des données chimiques

Premier partie

Introduction	36
II.1 Généralités sur le logiciel Surfer 19.2.....	36
II.1.1. Installation.....	37
II.1.2. Interface.....	37

II.1.2.1 Etapes à suivre.....	39
II.1.2.2. Etape 1 : Préparation des données, visualisation et mise en forme...	39
II.1.2.3. Etape 2 : Mettre en forme le fichier Excel.....	40
II.1.2.4. Etape 3 : Créer une grille x, y, z.....	40
II.1.2.5. Etape 4 : Afficher nos points.....	41
II.1.2.6. Etape 5 : Mettre en forme nos cartes.....	42

Deuxième partie :résultat et duscusion

Introduction	44
II.2.Principaux paramètres physico-chimiques	44
II.2.1. Température	44
II.2.2. Potentiel d'hydrogène	45
II.2.3. Conductivité électrique.....	46
II.3. Etude analytique et cartographie des éléments chimiques majeurs.....	47
II.3.1. Les cations.....	47
II.3.1.1. Le calcium Ca ²⁺	47
II.3.1.2. Magnésium.....	48
II.3.1.3. Le sodium	49
II.3.1.4.Potassium.....	49
II.3.2.Les anions	50
II.3.2.1.Sulfates	50
II.3.2.1. Bicarbonates	51
II.3.2.2.Chlorures	52
II.3.2.3.Nitrates	52
II.3.2.4.Contamination des eaux souterraines par les nitrates.....	53
II.4. Faciès chimique des eaux	55
II.4.1. Diagramme de PIPER.....	55
II.4.3. État de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole	56
II.4.3.1. Classification de WILCOX	57
II.4.3.2. Méthode du SAR.....	58
II.4.3.2.1. Le rapport d'adsorption du sodium-SAR	58
II.4.3.2.2.. La conductivité électrique.....	60
Coclusion générale.....	61

Liste des figures

Première partie

Figure I.1 Cycle externe de l'eau	3
Figure I.2 Cycle azote.	5

Chapitre I

Figure I-2.1 Carte de situation géographique de la zone d'étude	17
Figure I-2.2 Carte topographique de la zone d'étude.....	18
Figure I-2.3 Carte pédologique de la zone d'étude	20
Figure I-2.4 Carte géologique de la zone d'étude	23
Figure I-2.5 Colonne stratigraphique synthétique du Bassin du Hodna.	24
Figure I-2.5.1 Diagramme de température en 2022 a Bou Saadâ.	26
Figure I-2.6 Température moyenne mensuelle de la station de Boussaâda(2000-2020).	26
Figure I-2.7 Précipitation moyenne mensuelle de la station de Boussaâda(2000-2020)	27
Figure I-2.8 Les types et les directions des vents dans la région de Boussaâda.	28
Figure I-2.9 Vitesse annuelle moyenne du vent de la région d'étude(2000-2020).....	28
Figure I-2.10 Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE.	31
Figure I-2.11 Abaque de VERDEIL	32
Figure I-2.12 Indice de D. MARTONNE.	33
Figure I-2.13 Diagramme d'Emberger.	34
Figure I-2.14 Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bangouls.....	35

Chapitre II

Figure II.1 Carte de répartition spatiale des forages dans plaine de Boussaâda	44
Figure II.2 Variabilité de la température des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda.	45
Figure II.3 Variabilité du pH des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda.....	46
Figure II.4 Carte de répartition spatiale de la CE des eaux souterraines de Boussaâda.	47
Figure II.5 Carte de répartition spatiale de Ca des eaux souterraines de Boussaâda	48
Figure II.6 Carte de répartition spatiale du Mg des eaux souterraines de Boussaâda.....	49
Figure II.7 Carte de répartition spatiale de Na des eaux souterraines de Boussaâda	49
Figure II.8 Carte de répartition spatiale de K des eaux souterraines de Boussaâda.	50
Figure II.9 Carte de répartition spatiale de SO ₄ des eaux de Boussaâda.	51
Figure II.10 Carte de répartition spatiale de HCO ₃ des eaux souterraines de Boussaâda	51
Figure II.11 Carte de répartition spatiale de la Cl ⁻ des eaux souterraines de Boussaâda.....	52
Figure II.12 Carte de répartition spatiale de la NO ₃ des eaux souterraines de Boussaâda	53
Figure II.13 Classification des eaux d'irrigation de la plaine de Boussaâda selon PIPER.	56
Figure II.14 Classification des eaux d'irrigation de plaine de Boussaâda selon WILCOX.	58

Figure II.15 Diagramme de RICHARDS des eaux souterraines de la nappe de Boussaâda

Liste des Tableaux

Première partie

Tableaux I.1 Répartition de l'eau sur la planète	4
Tableaux I.2 Quelques dérivés de l'azote.	7

Chapitre I

Tableaux I-2.1 Coordonnées géographiques de la station des données climatiques	25
Tableaux I-2.2 . Répartition des températures moyennes et mensuelles de la station de Boussaâda (2000-2020)	25
Tableaux I-2.3 Répartition des pluies moyennes mensuelles de la station de Boussaâda(2000-2020).	27
Tableaux I-2.4 Evapotranspiration en (mm) de la région de Boussaâda durant l'année (2017).	29
Tableaux I-2.5 Calcul de l'ETP de la Station de BOU SAADA selon C.W.Thornthwaite.	30

Chapitre II

Tableaux II.1 Statistiques élémentaires des paramètres physiques.	47
Tableaux II.2 Synthèse des statistiques descriptives des cations.	50
Tableaux II.3 Synthèse des statistiques descriptives des anions.	53
Tableaux II.4 Résultats de la teneur en sodium ($\%Na^+$) des eaux souterraines de Boussaâda.	57
Tableaux II.5 Résultats obtenus après interprétation du diagramme de SAR	59
Tableaux II.6 Classes de risque salin	60

A decorative border surrounds the text, featuring a series of diamonds along the top and bottom edges, and ornate scrollwork and floral patterns in the corners.

Introduction

générale

L'eau, un élément naturel d'une importance vitale, est essentielle à toutes les formes de vie. Elle est une ressource précieuse pour toutes les activités humaines et joue un rôle crucial dans le développement durable. De plus en plus, elle se trouve au cœur des préoccupations stratégiques.

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et elle est donc vitale pour le développement de ces pays.

En Algérie, les ressources en eau souterraines connaissent de plus en plus une dégradation qualitative et quantitative. La plaine alluviale du Boussaâda ; située au sud est algérien; n'a pas échappée de ce problème qui ne cesse de causer la baisse de niveau de la nappe et à la détérioration de sa qualité chimique (salinité) pour une démographie et une demande en eau à l'irrigation croissantes au vu de développement de l'agriculture (céréaliculture, arboriculture et le maraichage) ces dernières années (**Amroune, 2020**).

L'impact des pratiques agricoles sur la concentration en nitrates d'une nappe alluviale est un sujet de recherche important. Les activités agricoles, en particulier l'utilisation d'engrais et la spécialisation des exploitations, peuvent entraîner une augmentation des concentrations en nitrates dans les nappes alluviales (**Vincent Lallouette, 2014**)

La plaine de Boussaâda (Sud-est de l'Algérie) est célèbre par son climat aride très sévère, une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui ne cesse d'augmenter. L'extension de l'agriculture irriguée, une forte sécheresse depuis deux décennies et une industrialisation assez forte ont contraint les agriculteurs à utiliser les eaux souterraines comme source d'irrigation. (**Atmani et Baza, 2017**).

La problématique de ce travail porte donc sur l'impact des activités agricoles par l'utilisation des engrais chimiques et organiques dans l'augmentation de la concentration des nitrates dans les eaux souterraines d'une nappe alluviale dans la région Sud du Chott El Hodna et particulièrement au niveau de la plaine du Boussaâda.

Pour atteindre cet objectif, ce travail est scindé comme suit:

Une introduction générale qui décrit le contexte générale, la problématique, les objectifs visés et l'approche méthodologique utilisée pour atteindre les dits objectifs.

La première partie : consiste à faire ;

Une synthèse bibliographique : est le fruit d'une étude bibliographique soulignant quelques notions fondamentales sur les éléments chimiques constituant les nitrates.

La deuxième partie consiste à présenter matériel et méthodes : avec ;

Chapitre 01: Etude de milieu physique : elle porte sur la présentation du site d'étude, sa géologie et son climat.

Chapitre 02 : Présente la méthodologie adoptée dans cette étude, les outils d'interprétations des données chimiques et le matériau étudié ainsi que sa caractérisation

La troisième partie consiste à exposer les résultats des analyses physico-chimiques effectuées pour extraire l'évolution et la répartition spatiale des éléments chimiques ainsi l'impact des nitrates sur les eaux de la nappe étudiée.

Le travail sera finalisé par une conclusion générale qui est une synthèse des résultats obtenus.



**Première
partie**

**Synthèse
bibliographique**

Introduction

Ce premier chapitre a pour objectif de présenter, avant l'analyse et l'interprétation des différentes parties expérimentales, le contexte général dans lequel s'intègre ce travail. Il décrit brièvement les cycles biogéochimiques concernés, puis s'intéresse à l'impact des d'une plaine alluviale. Enfin il se termine par une description des effets identifiés sur la santé des individus.

I.1.Cycles « biogéochimiques » concernés

Il existe une circulation de la matière dans chaque écosystème où des molécules ou des éléments chimiques, reviennent sans cesse à leur point de départ et que l'on peut qualifier de cyclique, à la différence des transferts d'énergie. Le passage alternatif des éléments, ou molécules, entre milieu inorganique et matière vivante, est appelé cycle biogéochimique. Celui-ci correspond à un cycle biologique (cycle interne à l'écosystème qui correspond aux échanges entre les organismes) auquel se greffe un cycle géochimique (cycle de grandes dimensions, pouvant intéresser la biosphère entière et qui concernent les transports dans le milieu non vivant).

On peut distinguer trois principaux types de cycles biogéochimiques :

- Le cycle de l'eau.
- Le cycle des éléments à phase gazeuse prédominante (carbone, oxygène, azote).
- Le cycle des éléments à phase sédimentaire prédominante (phosphore, potassium etc.).(E-learning M'sila-cours, 2020)

I.1.1.Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau consiste en un échange d'eau entre les différents compartiments de la Terre : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère .

Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore.

L'évapotranspiration joue un rôle également important dans le cycle de l'eau. Elle est accélérée par les végétaux qui transpirent de grandes quantités d'eau par leur système foliaire. De plus, leurs racines, accélèrent ces mouvements ascendants de l'eau dans le sens sol-atmosphère.(E-learning M'sila-cours, 2020)

De plus, les animaux et les végétaux sont composés essentiellement d'eau, de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote. Leurs cycles de développement végétatif et reproducteur sont fortement dépendants des cycles physiques (radiatif, thermique et hydrique) et des conditions édaphiques ou écologiques.

Au cours de la croissance des végétaux, ils vont absorber des quantités importantes d'eau, et de nutriments, notamment, d'azote. Après le stade de vieillesse, une partie de cet azote organique ira enrichir le sol, et puis sera minéralisé. Ces processus d'absorption vont influencer l'évapotranspiration et les quantités d'azote contenues dans le sol. Les végétaux vont également jouer un rôle majeur dans le cycle du carbone via le processus de photosynthèse qui capte une partie du carbone de l'atmosphère sous forme de gaz carbonique.

97% de l'eau sur terre se trouve sous forme de mers et d'océans alors que les calottes glaciaires en recèlent 02% et que le 01% restant se situe au sein du support de vie terrestre (**Tab. I.1**). Cette masse est perpétuellement en mouvement dont le moteur principal est le soleil.

En réchauffant la surface des grandes étendues d'eau, le soleil provoque leur évaporation qui se traduit par la formation des nuages. Une quantité d'eau non négligeable est issue de l'évapotranspiration des végétaux. Entraînés par le vent, ces nuages se déplacent au dessus des continents où ils se condensent sous forme de précipitations (pluie, neige, grêle) (**Amroune, 2020**).

Au sol, cette eau est en partie pompée par la végétation mais surtout ruisselle vers les mers et les océans (**Amroune, 2020**).

Ce cycle peut être perturbé par l'homme, par la réalisation des barrages, l'irrigation des terres agricoles et la pollution de cette ressource (**Amroune, 2020**) (**Fig .I.1**).

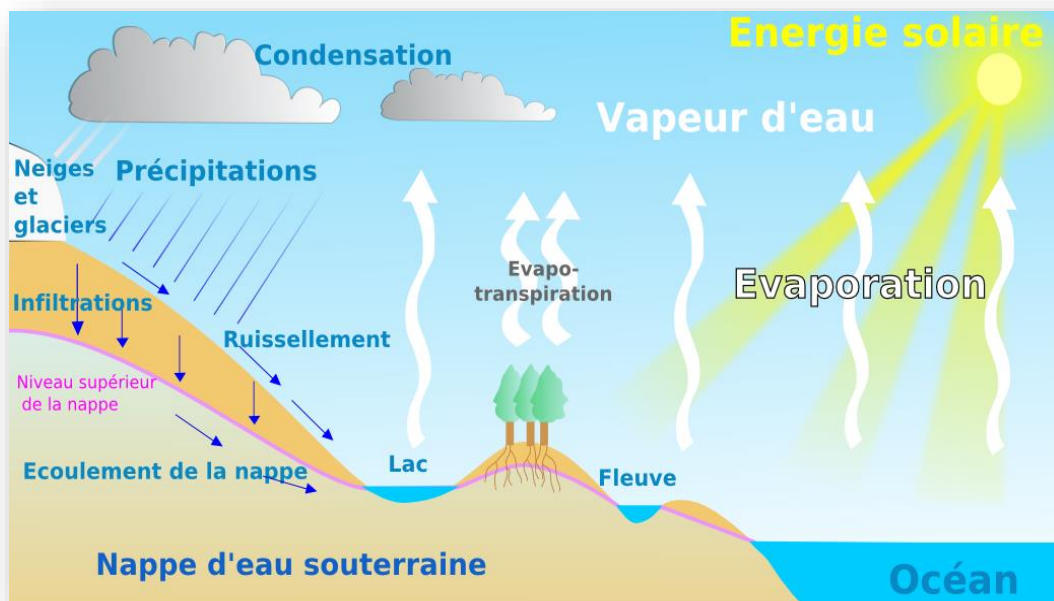


Fig.I.1. Cycle externe de l'eau (Slideplayer.fr)

Tab.I.1. Répartition de l'eau sur la planète

Lieux	Volumes (1 000 Km ³)	Pourcentage du volume total
Lacs d'eau douce	125	0,620
Rivières	1,25	
Humidité du sol	65	
Eaux souterraines	8 250	
Lacs salés	105	0,008
Atmosphère	13	0,001
Calotte glaciaire, glaciers et neige	29 200	2,100
Mers et océans	1 320 000	97,250
Total	1 360 000	100

Source: Sari A (2002)

I.1.2. Recharge des nappes souterraines

La recharge des nappes souterraines est un processus qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, son infiltration jusqu'à l'aquifère¹. Elle fait partie des ressources en eau non conventionnelles les plus souvent citées participant à une gestion de l'eau optimisée (*ONEMA-BRGM, 2013*).

I.1.2.1. Écoulement des nappes souterraines

L'écoulement de l'eau dans les aquifères est relativement lent, souvent de l'ordre du centimètre par an.

L'eau des aquifères rejoint les cours d'eau par des sources, l'océan par des sources sous marines, ou l'atmosphère par l'évapotranspiration.

I.1.2.3. Cycle de l'azote

Le cycle de l'azote est un cycle biogéochimique qui décrit la succession des modifications subies par les différentes formes de l'azote neutre en formes réactives (diazote, nitrate, nitrite, ammoniac, azote organique) et vice-versa.

Les analyses isotopiques de l'azote faites dans différents compartiments géologiques et de la biosphère et notamment dans les sédiments lacustres montrent que ce cycle a été récemment fortement perturbé par l'Homme qui a plus que doublé la quantité d'azote

réactif (Nr) annuellement ajoutés à la biosphère (**Antoine Lavoisier, 18-Sc**) , essentiellement à partir de 1895 ± 10 ans (± 1 pour l'écart-type) avec une forte augmentation dans les années 1960 à 2010, principalement dans l'hémisphère Nord. (**Gordon W, Holtgrieve, 2011**)

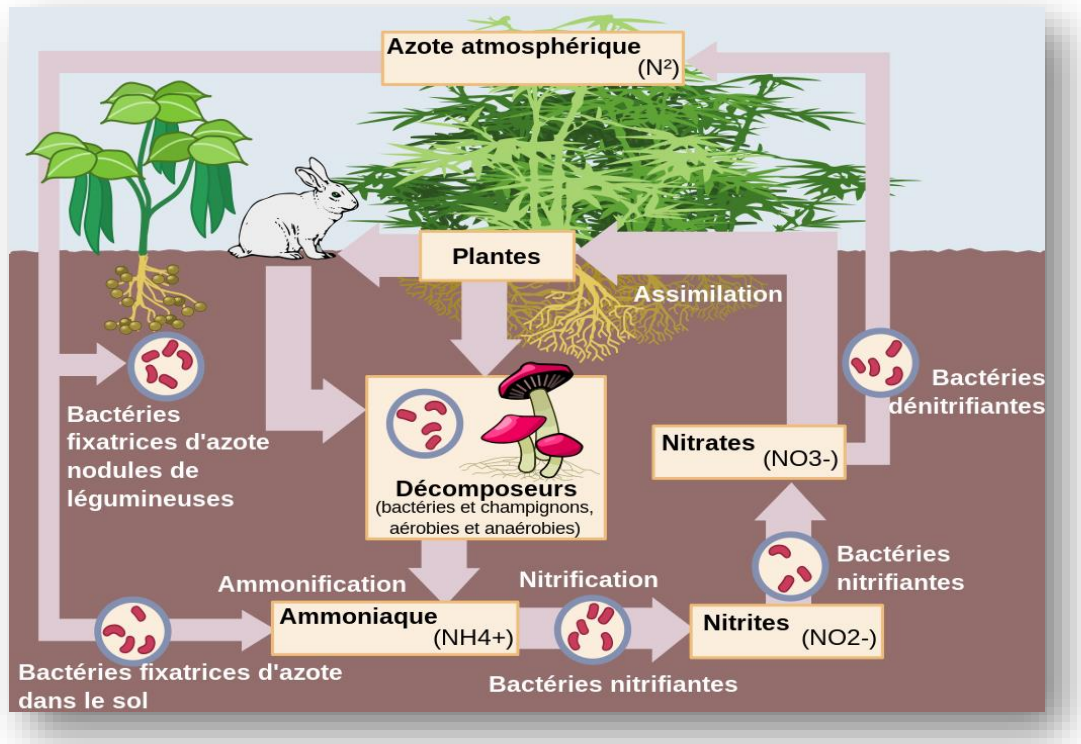


Fig II.1 Cycle azote fr.svg (Wikimedia Commons)

I.1.2.4. Fixation de l'azote

Convertir le N_2 de l'air en composés azotés utilisables par les organismes vivants est un processus biologique crucial appelé fixation de l'azote. Une définition précise de la fixation de l'azote pourrait être la suivante : Une définition précise de la fixation de l'azote pourrait être la suivante :

Les organismes vivants, tels que certaines bactéries, convertissent l'azote gazeux de l'atmosphère en composés azotés assimilables dans un processus biochimique appelé la fixation de l'azote. Ces composés, comme l'ammoniac ou les nitrates, sont essentiels à la synth.

“La compréhension de la fixation de l'azote est à la base de cette définition, basée sur des recherches actuelles en biologie et microbiologie.”

I.1.2.5. Nitrification

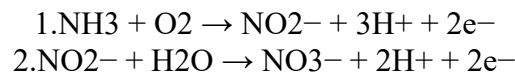
La nitrification est le processus biologique par lequel les nitrates sont produits dans l'environnement. Celle-ci se fait en deux étapes distinctes, chacune sous l'action de micro-organismes différents. **(Dommergues and Mangenot, 1970)**

Il s'agit de mécanismes autotrophes, c'est-à-dire que ces réactions fournissent l'énergie nécessaire à l'assimilation du carbone par les bactéries.

De façon conceptuelle, la nitrification se déroule en deux étapes :
(Robert Barbault, 2008)

1. Ammoniac → Nitrite
2. Nitrite → Nitrate

Au niveau chimique, le processus se déroule ainsi :

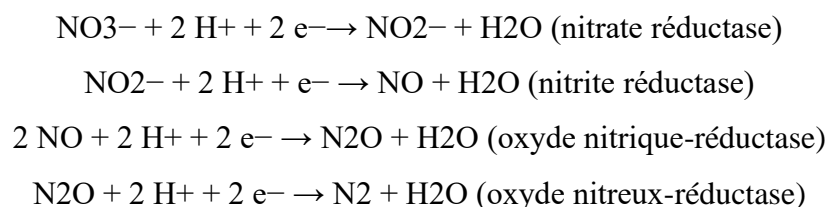


I.1.2.6. Dénitrification

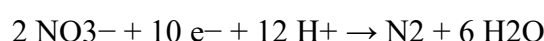
La dénitrification, appelée aussi rétrogradation de l'azote minéral, est un processus microbien de respiration anaérobie qui utilise les ions nitrates comme accepteurs d'électrons. Ce phénomène biologique est opéré en milieu hypoxique ou anoxique, par des bactéries spécifiques qui satisfont leur besoin en oxydant par une désoxygénation des nitrates.

Ce phénomène se produit dans le sol, mais pas exclusivement : il est aussi à l'œuvre dans certains sédiments **(Rysgaard .S , 1994)**, dans les aquifères (dans une certaine mesure et à certaines conditions) **(Mariotti.A , 1988)**, dans les matières organiques en décomposition (ex : bois mort), ou encore dans le système digestif.

La dénitrification suit tout ou partie de ces réactions successives (l'enzyme catalysant la réaction figurant entre parenthèses) :



Le processus complet peut s'exprimer sous forme d'une réaction redox équilibrée, par laquelle le nitrate (NO_3^-) est entièrement réduit sous forme d'azote N_2 :



Il arrive que ces bactéries n'aillent pas jusqu'à la phase ultime de cette réaction, si le taux de dioxygène est en partie suffisant pour satisfaire leur besoin. La dénitrification est alors en partie arrêtée aux stades NO ou, plus souvent, N₂O qui est un gaz à effet de serre. (Lund, Horne and Williams, 1999)

I.1.2.7 Dérivés et origine de l'azote

Les dérivés de l'azote sont les composés qui contiennent de l'azote et qui peuvent être trouvés dans divers environnements. voici un tableau répertoriant les principales familles de dérivés de l'azote, quelques exemples de chaque famille et leurs propriétés générales :

Tab.I.2. Quelque dérivés de l'azote

Famille	Formule	Nom	Propriétés	Exemples
Azotures	NaN ₃	Azoture de sodium	Solide explosif incolore	NaN ₃ (azoture de sodium)
Nitrides	Li ₃ N	Nitride de lithium	Solide incolore réagissant avec l'eau	Li ₃ N (nitride de lithium)
Cyanures	NaCN	Cyanure de sodium	Solide blanc toxique	NaCN (cyanure de sodium)
Isocyanures	CH ₃ NC	Isocyanure de méthyle	Liquide incolore toxique	CH ₃ NC (isocyanure de méthyle)
Amines	CH ₃ NH ₂	Méthylamine	Gaz incolore à l'odeur piquante	CH ₃ NH ₂ (méthylamine)
Amides	CH ₃ CONH ₂	Acétamide	Solide blanc cristallin	CH ₃ CONH ₂ (acétamide)
Imides	(CH ₃ CO) ₂ NH	Succinimide	Solide blanc cristallin	(CH ₃ CO) ₂ NH (succinimide)
Nitrites	NaNO ₂	Nitrite de sodium	Solide blanc soluble dans l'eau	NaNO ₂ (nitrite de sodium)
Nitrates	KNO ₃	Nitrate de potassium	Solide blanc soluble dans l'eau	KNO ₃ (nitrate de potassium)
Oxydes d'azote	N ₂ O	Protoxyde d'azote	Gaz incolore à l'odeur sucrée	N ₂ O (protoxyde d'azote)
Acide nitreux	HNO ₂	Acide nitreux	Acide faible incolore et instable	HNO ₂ (acide nitreux)
Acide nitrique	HNO ₃	Acide nitrique	Acide fort incolore et corrosif	HNO ₃ (acide nitrique)

Source(CH 12. AMINES ET DERIVES AZOTES, 2020)

Antoine Lavoisier a choisi le nom azote, composé du préfixe a- privatif et du grec ζῳός / zōós, « vivant » et qui signifie donc « privé de vie », du fait que contrairement à l'oxygène il n'entretient pas la vie des animaux. (Depovere, 2002)

L'origine du symbole N est son nom latin nitrogenium qui provient du grec nitron gennan, ce qui signifie « formateur de salpêtre » (nitrate de potassium). Le terme anglais nitrogen a conservé cette racine pour désigner l'azote, alors que le terme français « nitrogène » n'est plus utilisé de nos jours.

I.1.3-Nitrate et pollution nitrique des nappes souterraines

Aujourd'hui la pollution nitrique des nappes souterraines constitue une menace pour l'environnement et la santé humaine ,voici les sources de cette pollution :

I.1.3.1.Engrais azotés: L'utilisation excessive d'engrais azotés dans l'agriculture est la principale source de pollution nitrique des nappes souterraines.

I.1.3.2.Élevages intensifs: Les déjections animales, riches en azote, peuvent également contribuer à la pollution des nappes phréatiques. Si elles ne sont pas correctement stockées ou épandues

I.1.3.4.Assainissement non collectif: Les installations d'assainissement non collectif mal entretenues peuvent également être une source de pollution nitrique

Et parmi les conséquences de la pollution nitrique on cite :

I.1.3.5.Eutrophisation des eaux superficielles: Les nitrates en excès dans les eaux souterraines peuvent se retrouver dans les rivières et les lacs, provoquant une eutrophisation. Cette prolifération d'algues peut perturber l'équilibre écologique des milieux aquatiques et menacer la biodiversité.

I.1.3.6.Risque pour la santé humaine: La consommation d'eau potable contaminée par des nitrates peut être à l'origine de méthémoglobinémie, une maladie affectant le transport de l'oxygène dans le sang, particulièrement dangereuse pour les nourrissons.(**Sajad Chamandoost, 2016**)

I.1.4. Rôle de climat

Le climat joue un rôle crucial dans la recharge des nappes souterraines et les régimes de précipitations. Le changement climatique peut perturber cet équilibre, entraînant des sécheresses, des inondations soudaines, et menaçant les écosystèmes aquatiques ainsi que la biodiversité. De plus, des températures plus élevées peuvent augmenter l'évaporation et assécher les sols, ce qui limite l'infiltration des eaux et réduit la recharge des nappes par les précipitations(**Lilou Colombel- RAINÉA, 2024**). Ces facteurs peuvent contribuer à la pollution des nappes souterraines en modifiant la façon dont elles sont rechargées et en affectant leur qualité.

I.1.4.1. Gestion de l'irrigation

La gestion de l'irrigation peut avoir un impact significatif sur la pollution des nappes souterraines. L'agriculture, en particulier les pompages privés pour l'irrigation dans des contextes peu régulés, est identifiée comme le premier secteur responsable de la dégradation croissante des eaux souterraines à l'échelle mondiale(**Stéphanie Leyronas, 2020**). Il est essentiel de respecter les prescriptions techniques lors de la réalisation de forages et de limiter les prélèvements d'eau au strict nécessaire pour préserver la qualité des nappes(**Père Igor, 2018**). Des études montrent que certaines nappes d'eau souterraines peuvent réduire ou éliminer les polluants avant qu'ils n'atteignent l'eau, mais cela dépend de la lente progression des substances à travers les roches. La surveillance et le suivi de l'état des nappes par des organismes comme le BRGM sont cruciaux pour une gestion durable(**BRGM, 2022-2023**)

I.1.4.2. Gestion de la fertilisation azotée

La gestion des fertilisants azotés peut avoir un impact significatif sur la pollution des nappes souterraines. Lorsque l'utilisation de fumier animal et d'engrais azotés inorganiques est incomplète ou inefficace, ou lorsque l'eau est appliquée en surplus prédéterminé, cela peut entraîner une détérioration de la qualité des eaux souterraines. Cependant, l'application d'une quantité équilibrée d'engrais N, P et K plutôt que de N seul peut réduire considérablement l'accumulation de nitrate-N dans le profil du sol(**Eric Craswell,2021**). De plus, l'application appropriée des engrais, au bon moment et avec la bonne méthode, peut réduire significativement la quantité d'engrais atteignant les cours d'eau.(**Us EPA, 2023**)

I.1.4.3. Gestion des rotations et des types de cultures

La rotation des cultures et la diversification des types de cultures peuvent avoir un impact positif sur la réduction de la pollution des nappes souterraines. Ces pratiques agricoles favorisent une meilleure conservation de l'eau, une réduction de l'érosion des sols, une séquestration accrue du carbone dans le sol et une diminution de la teneur en azote dans l'eau, ce qui peut contribuer à protéger les eaux souterraines contre la pollution(**Bader Mahaman Dioula, 2022**)

I.1.4.4. Caractéristiques des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation jouent un rôle crucial dans la préservation de la qualité des nappes souterraines. Voici quelques caractéristiques essentielles à prendre en compte pour éviter leur pollution :

I.1.4.4.1. Qualité chimique

-Éviter les produits chimiques : Utilisez des eaux d'irrigation exemptes de pesticides, d'engrais chimiques et d'autres substances potentiellement nocives.

-Surveillance des éléments dissous : Contrôlez la concentration en sels, en métaux lourds et en autres éléments dissous dans l'eau d'irrigation.

I.1.4.4.2. Quantité d'eau

-Éviter le sur-irrigation : Utilisez la quantité d'eau nécessaire pour les cultures sans excès. L'excès d'eau peut entraîner le lessivage de polluants vers les nappes.

I.1.4.4.3. Gestion des sols

-Drainage adéquat : Assurez-vous que les sols sont bien drainés pour éviter la stagnation de l'eau et la concentration de polluants.

-Choix des cultures : Optez pour des cultures adaptées au type de sol et à la disponibilité en eau.

I.1.4.4.4. Hygiène des infrastructures d'irrigation

-Entretien régulier : Nettoyez et entretenez les canaux, les pompes et les systèmes d'irrigation pour éviter la contamination.

-Éviter les fuites : Réparez rapidement toute fuite pour éviter le gaspillage d'eau et la pollution.

I.1.4.4.5. Protection des zones de captage

-Éloignement des captages : Évitez d'installer des puits d'eau potable à proximité des zones d'irrigation.

-Barrières naturelles : Plantez des barrières végétales pour filtrer les polluants avant qu'ils n'atteignent les nappes.

I.1.4.4.6. Surveillance continue

-Analyse régulière : Testez périodiquement la qualité de l'eau d'irrigation pour détecter toute anomalie.

-Réagissez rapidement : Si des problèmes sont identifiés, prenez des mesures correctives sans délai.(**smage2morin, 2021**)

I.1.4.5. Qualité du sol

Pour éviter la pollution nitrique des nappes souterraines, plusieurs mesures peuvent être prises pour améliorer la qualité du sol(**Patrick PHILIPON, 2022**)(**agriculture.gouv, 2014**) (**Yamina and Mounir, 2019**):

Réduire l'apport d'azote : Le principal moyen de limiter la prolifération des nitrates réside dans la diminution de la disponibilité en azote, apporté principalement sous forme de nitrates⁴. Aucun fertilisant azoté ne doit être épandu en excès par rapport aux besoins des cultures, compte tenu des autres apports d'azote par le milieu et notamment par le sol(**agriculture.gouv, 2014**).

Calcul de la dose prévisionnelle d'azote : Le calcul de la dose prévisionnelle d'azote à apporter est obligatoire, et la méthode de calcul à utiliser est fixée au niveau régional, afin de tenir compte le plus précisément possible des caractéristiques agronomiques et pédo-climatiques des territoires et donc d'éviter toute sur-fertilisation(**agriculture.gouv, 2014**).

Gestion de l'irrigation : L'intensification de la mise en valeur agricole des sols, a été le plus souvent accompagnée d'une irrigation non maîtrisée et d'une fertilisation minérale excessive pouvant avoir un impact négatif sur la qualité des ressources en eaux qui se traduit essentiellement par la pollution nitrique diffuse des eaux souterraines(**Yamina and Mounir, 2019**).

Réhabilitation de friches industrielles : La montée en puissance d'un type particulier de missions : la réhabilitation de friches industrielles en milieu urbain ou périurbain(**Patrick PHILIPON, 2022**).

I.1.5. La plaine alluviale

Une plaine alluviale est une étendue de terre plate formée par l'accumulation de sédiments, appelés alluvions, qui sont transportés par les cours d'eau, en particulier dans les parties basses où la vitesse du courant diminue(**Giulia Graziati, 2024**). Ces sédiments sont généralement anciens et incluent divers débris et matériaux¹. Une plaine alluviale peut être totalement ou partiellement recouverte par l'eau en période d'inondation(**Giulia Graziati, 2024**).

Les sols des plaines alluviales sont généralement riches et bien alimentés en eau, ce qui les rend biologiquement très productif. De plus, elles fournissent de nombreux services écosystémiques, car elles agissent comme des filtres naturels éliminant les polluants de l'environnement(**Giulia Graziati, 2024**).

I.1.5.1.Effet des nitrates

Les nitrates ont un impact significatif sur les plaines alluviales. En raison de leur grande solubilité, les nitrates se diffusent facilement dans le sol et peuvent être assimilés par les plantes(**GERMON Jean-Claude, 2022**).

Dans les plaines alluviales agricoles, les eaux souterraines sont particulièrement vulnérables à la contamination par les nitrates en raison d'une fertilisation importante et de la faible profondeur des aquifères(**Bernard-Jannin, 2016**).

Cependant, la dénitrification dans ces zones est contrôlée par plusieurs facteurs, dont la géomorphologie, l'hydrologie et la présence de carbone organique(**Bernard-Jannin, 2016**). De plus, les plaines alluviales sont souvent soumises à une forte pression anthropique, ce qui peut augmenter la contamination des eaux souterraines par les nitrates(**Baran N, 2017**).

I.1.5.2. Impacts identifiés sur la santé des individus

Les nitrates sont des composés chimiques présents dans l'alimentation et l'environnement. Voici un résumé des impacts négatifs et positifs associés aux nitrates

sur la santé des individus

I.1.5.2.1.Impacts négatifs

-Formation de composés nitrosés : Les nitrates ingérés via les aliments et l'eau peuvent conduire à la formation de composés nitrosés, dont certains sont cancérigènes et génotoxiques pour l'être humain(Anses, 2022).

-Diabète et hypertension : Des recherches récentes ont également associé la consommation de nitrites dans les charcuteries à des risques accrus de diabète et d'hypertension (Srouf, 2023).

I.1.5.2.2.Impacts positifs

-Effet anti-bactérien : Les nitrites et nitrates ont un rôle anti-bactérien, notamment contre *Clostridium botulinum*, responsable du botulisme (Guéraud., 2023).

-Santé cardiovasculaire : Certains travaux suggèrent que les nitrates alimentaires, provenant principalement des légumes, pourraient avoir des effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire (Anses, 2022).

‘‘Il est donc important de surveiller l'apport de nitrates dans notre alimentation’’

I.1.5.3. Risque de méthémoglobinémie

La méthémoglobinémie est un état dans lequel la concentration de méthémoglobine dans le sang est anormalement élevée. La méthémoglobine est une forme oxydée de l'hémoglobine qui ne peut pas transporter efficacement l'oxygène aux tissus. Cela peut entraîner des symptômes tels que la cyanose (coloration bleue de la peau), la fatigue, des maux de tête, des étourdissements et dans les cas graves, l'atteinte des fonctions cardiaques et cérébrales(Ludlow, Wilkerson and Nappe, 2023).

Le risque de méthémoglobinémie est associé à plusieurs facteurs, notamment l'exposition à des agents oxydants tels que les nitrites, les anesthésiques locaux comme la lidocaïne et la prilocaïne, certains médicaments (comme la dapsone et le chlorate de potassium), ainsi que certains composés chimiques présents dans l'environnement(Wright, Lewander and Woolf, 1999).

I.1.5.4. Risque carcinogène

Les nitrates sont des composés chimiques communs dans notre environnement, présents de manière naturelle et artificielle. L'exposition aux nitrates, même en petites quantités, a été associée à une augmentation du risque de certains types de cancers. Voici les risques carcinogènes liés aux nitrates

I.1.5.4.1.Carcinogène endogène liée aux nitrates

Les nitrates eux-mêmes ne sont pas toxiques ; toutefois, ils peuvent se transformer en nitrites dans l'estomac lorsqu'ils sont consommés. Ces nitrites peuvent par la suite réagir avec les amines et les amides des aliments pour former des N-nitroso composés (NOC), qui sont impliqués dans la carcinogène chez l'homme.(**Ward, 2018**)

I.1.5.4.2.Augmentation du risque de cancer colorectal

Une étude épidémiologique réalisée en 2016 a démontré un lien entre l'exposition aux nitrates dans l'eau potable et une augmentation du cancer colorectal(**Espejo-Herrera, 2016**).

I.1.5.4.3.Augmentation du risque de cancer de la vessie

Un risque accru de cancer de la vessie a été associé à la consommation d'eau potable contenant des nitrates. Une étude a révélé que la concentration de nitrate dans l'eau du robinet et le risque de cancer de la vessie étaient significativement associés chez les femme (**Jones , 2019**)

I.1.5.4.4.Associations avec le cancer de l'ovaire et de l'estomac

Il existe des données épidémiologiques suggérant que la consommation de nourriture et d'eau riches en nitrate et nitrite peut accroître le risque de cancers de l'estomac et des ovaires(**Freedman , 2007**).

Il est important de noter que si ces études montrent une association entre l'exposition aux nitrates et un risque accru de certains types de cancers, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre entièrement cette relation. La quantité de nitrates consommés, la susceptibilité individuelle, et l'interaction avec d'autres facteurs de risque peuvent tous jouer un rôle dans le développement de ces maladies.

I.1.5.5. Sur la plante

Les nitrates sont des nutriments essentiels pour la croissance et le développement des plantes, agissant comme une principale source d'azote, un composant clé des protéines et des acides nucléiques. Cependant, l'excès de nitrates peut avoir des effets adverses. Voici l'effets des nitrates sur les plantes

I.1.5.5.1Assimilation des nitrates et croissance des plantes

Les nitrates sont assimilés par les plantes par l'intermédiaire de transporteurs spécifiques de nitrates. L'azote absorbé est essentiel au développement des plantes, à la photosynthèse et à la croissance de la biomasse(**Crawford, 1995**).

I.1.5.5.2Toxicité des nitrates

L'excès de nitrates peut entraîner la toxicité des nitrates, en particulier chez certaines plantes sensibles. Cela peut entraîner une chlorose (jaunissement des feuilles) et une croissance réduite. Des niveaux excessifs de nitrates peuvent perturber d'autres processus métaboliques dans les plantes(**White and Ding, 2023**).

I.1.5.5.3.Effets sur l'utilisation de l'eau

L'excès de nitrates peut également affecter l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les plantes. Selon une étude de 2016, l'application excessive de nitrates a réduit la capacité des plantes à absorber et à utiliser efficacement l'eau(**Wang , 2014**).

Il faut gérer et de réguler l'application des nitrates afin de maximiser les bénéfices pour les plantes tout en minimisant les risques de toxicité des nitrates. Des tests réguliers de la concentration de nitrates dans le sol et une connaissance approfondie des besoins spécifiques des différentes espèces de plantes peuvent aider à atteindre un équilibre.

I.1.5.6. Sur les animaux

Les nitrates peuvent avoir des effets variés sur les animaux, en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

-Une étude menée par M Kammerer et B Siliart a évalué l'effet des nitrates sur les fonctions de reproduction chez la lapine. Après avoir administré de l'eau contenant des nitrates à des lapines pendant plusieurs mois, ils n'ont observé aucun effet néfaste sur la

fertilité, la taille ou le poids des portées à la naissance et au sevrage, ni sur la concentration plasmatique en œstradiol ou progestérone(**Kammerer and Siliart, 1993**).

-Une autre étude a été réalisée sur des rats mâles de genre Albinos wistar. Ces derniers ont subi un traitement au nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) introduit par gavage à trois concentrations croissantes 200, 400 et 600 mg/kg de poids corporel pendant 3 semaines. -

-Les résultats biochimiques et hématologiques sur les rats ont montré une variation dans les paramètres biochimiques et biologiques : une augmentation du rapport hépato-corporel surtout chez les rats traités par des doses importantes(**Boukerche, Aouacheri and Saka, 2007**).

-Ces études suggèrent que l'organisme vivant peut s'adapter aux faibles doses de nitrates pendant une longue durée, mais que les fortes doses de nitrates entraînent des variations biologiques importantes même si la durée d'exposition est courte(**Boukerche, Aouacheri and Saka, 2007**).



Chapitre I

Deuxième partie

Etude de milieu physique

Chapitre I-2 : Etude du milieu physique

Introduction

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour appréhender le fonctionnement d'un système hydraulique de surface ou de sub-surface, passe impérativement par la connaissance des paramètres climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement ou le ruissellement et l'infiltration qui constituent le cycle de l'eau. L'infiltration des eaux de pluie conditionne la recharge du sol et de certains réservoirs souterrains en eaux météoriques.

I-2.1. Situation géographique

La région de Boussaâda fait partie des hauts plateaux steppiques, comprise entre l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud, La région d'étude appartient au sous bassin versant de Boussaâda qui lui même appartient au bassin versant du Hodna (**Fig.I-2.1**). La plaine étudiée est limitée entre les coordonnées géographiques $4^{\circ}11'$ E et $4^{\circ}32'$ E de longitude et entre $35^{\circ}13'$ N et $35^{\circ}24'$ N de latitude (**Fig.I-2.2**).

De point de vue administratif, la ville de Boussaâda appartient à la wilaya de M'Sila, situé dans le Sud-Est d'Alger à 234 km, limités au nord par la wilaya de Bouira et bordj Bou Arreridj et au sud par Djelfa et Biskra, à l'Est par Batna et à l'Ouest par Médéa et Blida (**Aissou, 2019**).

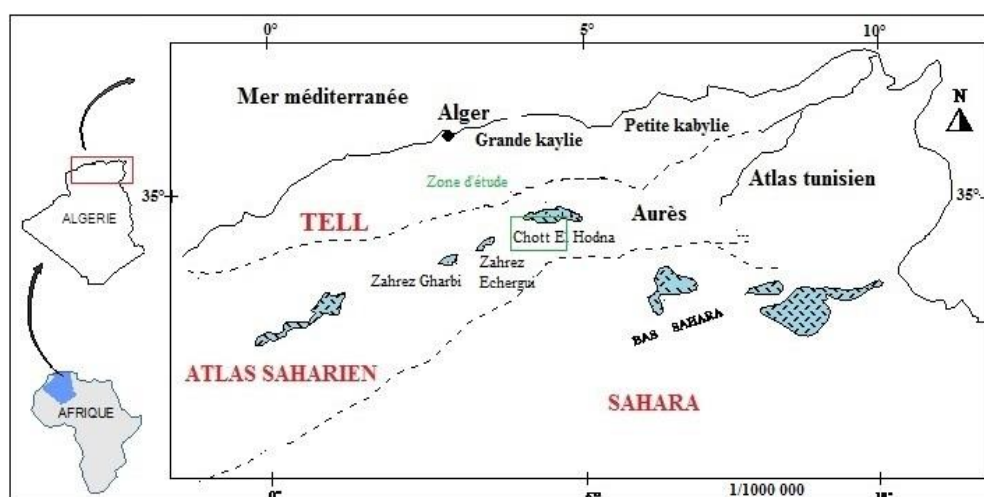
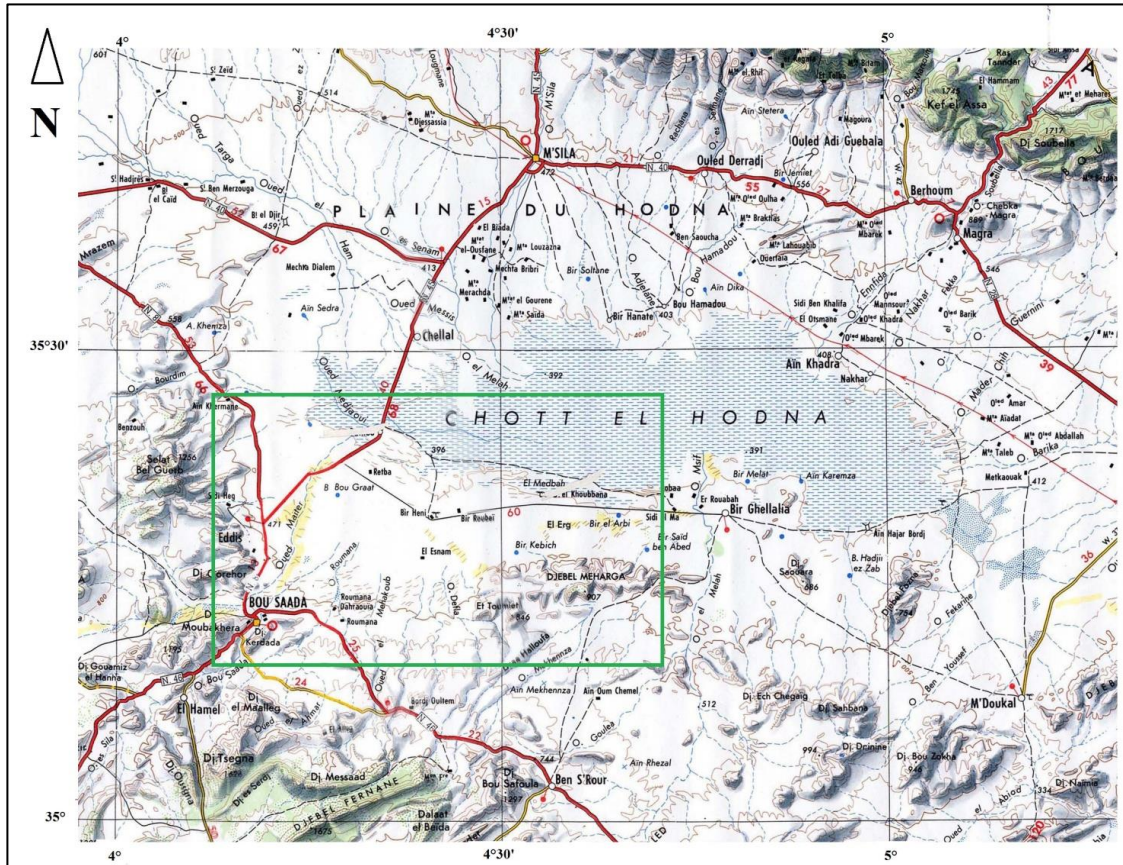


Fig.I-2.1. Carte de situation géographique de la zone d'étude



Echelle : 1/500 000

Fig. I-2.2. Carte topographique de la zone d'étude

I-2.2 .Habitat et situation économique

La répartition de la population est irrégulière. On constate qu'il y a deux genres de regroupements :

- Au Sud : la zone urbaine avec une densité élevée qui est constituée par le chef lieu de Boussaâda. La population de Boussaâda était estimée à 142 545 habitants (Goldewijk, 2017);
- Au Nord, la majorité de la population se regroupe auprès des points d'eau où les conditions naturelles sont favorables pour l'agriculture et l'élevage.

La densité de la population est estimée de 582 habitants par km² (Goldewijk, 2017). L'agriculture constitue l'activité économique principale de la population.

I-2.3. Réseau hydrographique

La forme des reliefs, la tectonique complexe, la couverture végétale discontinue et l'hétérogénéité de la lithologie, toutes ces paramètres réunis ont influencé le schéma du réseau hydrographique de la zone étudiée. Ce dernier est organisé par deux oueds principaux. Le plus importants est l'Oued Maiter. C'est un oued à écoulement temporaire

durant cette dernière décennie où il présente une pente abrupte au Sud-ouest puis décroît vers le Nord-est jusqu'à l'embouchure (Chott El Hodna) et Oued Boussaâda qui coupe la ville en deux et constitue l'exutoire des eaux usées de la ville de Boussaâda (**Fig.I-2.2**).

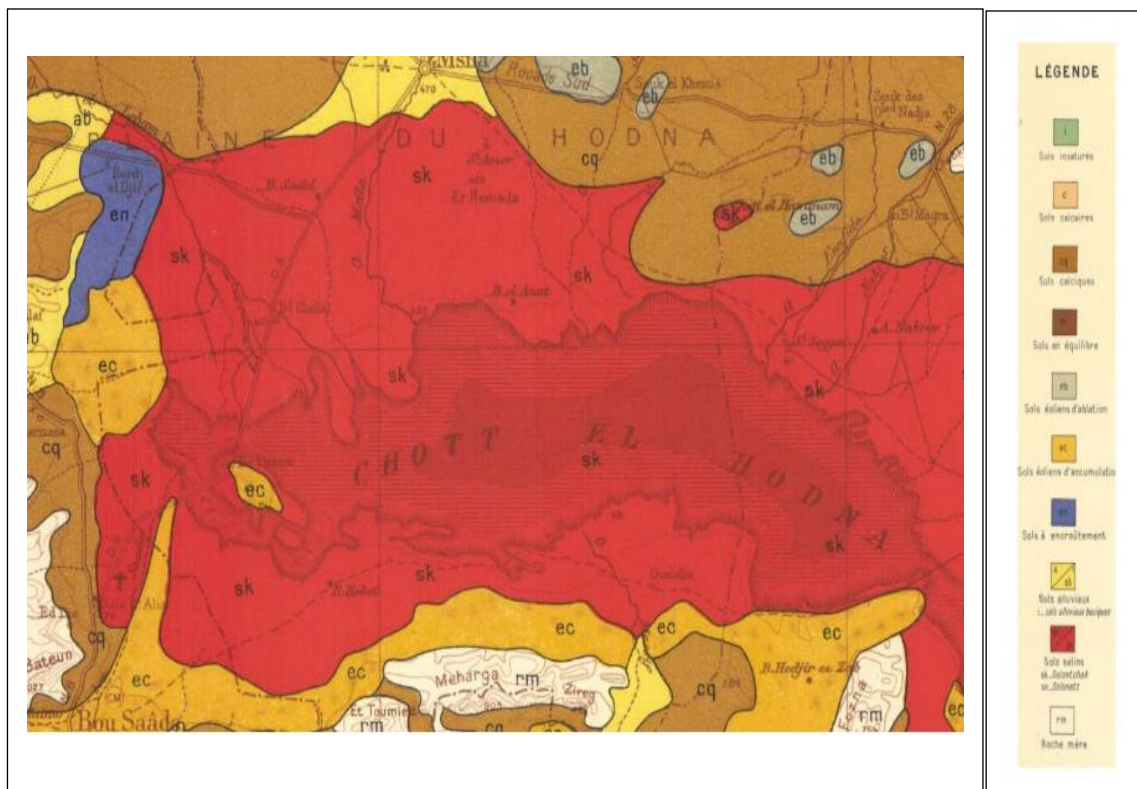
Il existe des cours d'eau indécis et temporaires également comme : Oued Roumana, Oued El Mehakoub, Oued Oultem et Oued Defla (**Amroune, 2008**).

I-2.4. Sol

La texture du sol de la plaine de Boussaâda est dominée par le sable. Elle se caractérise par la formation des sols minéraux bruts éoliens (**Fig. I-2.3**). Outre le quartz, les composants du sol sont dominés par les carbonates (calcite), le gypse et les sels. En raison de la texture sableuse et de la faible teneur en matière organique, la fertilité des sols est faible avec de petites CEC et la capacité de retenue de l'eau; Les intrants d'engrais et les modifications organiques sont donc nécessaires pour obtenir des rendements corrects, mais la fertilisation est empirique.

Selon l'étude des sols de Hodna (Boyadgiev 1975) et de WRB (2006), les principaux types de sol présents dans la zone irriguée sont:

- Hautes Arenosols (Arides);
- Fluvisols compliqués (Aride, Gypsique);
- Gypsisols prolongés (Aridique);
- Glysols gypsiques (Aridique);
- Gypsic Solonchaks (Aridique)
- Haond Solonchaks (Aridique).



Echelle : 1/500 000

Fig.I-2.3 : Carte pédologique de la zone d'étude

I-2.5. Végétation

La couverture végétale de Boussaâda est pauvre (Kaabeche and Lacoste, 1990). Il est constitué en majorité par des espèces qu'on rencontre le plus souvent dans les régions steppiques tels que les teracissima (Halfa), Artémisa helba-alba (Armoise), Atriplex halimus (Atripex). Les espèces arbustives sont également rencontrées dont les plus importantes sont : Tmarix gallica (Tamaris) et Ziziphitatus (Jujibier).

I-2.6. Géologie

Pour l'étude de la qualité des eaux souterraines, l'étude géologique du terrain est indispensable pour pouvoir déterminer les formations susceptibles de contenir des aquifères à partir de leurs lithologie ainsi sa qualité chimiques ces eaux.

I-2.6.1. Pré Atlas (Avant fosse Miocène)

Entre l'Atlas saharien et l'atlas tellien s'étend le domaine des Hautes Plaines, c'est une zone autochtone sud tellienne, ou avant pays de la chaîne alpine appelée aussi Méseta, constitué d'une plateforme recouverte de sédiments mésocénozoïques. Très étendu à l'ouest où il constitue la masse des Hautes Plaines oranaises, ce domaine se réduit à l'Est où les Hautes Plaines constantinoises où il ne devient pas visible entre le domaine tellien et l'Atlas saharien (Aissou, 2019).

I-2.6.2. Atlas Saharien

Il s'agit d'une chaîne intra-cratonique d'âge Tertiaire orientée nord est - Sud ouest, délimitée par deux lignes de fractures : l'Accident Nord atlasique et l'Accident Sud atlasique c'est la partie la plus déformée, formée de terrains sédimentaires allés de trias jusqu'au miocène, est composée par les monts des Ksour, le Djebel Amour et les monts des Ouled Nail à l'Ouest, par les Zibans au centre et les Aurès à l'Est, l'orogénèse atlasique est l'héritage d'un sillon subsident où la sédimentation mésozoïque (**Durand-Delga et Fontboté, 1980**).

I-2.6.3. Plate forme saharienne

Est une couverture phanérozoïque limitée de la chaîne atlasique par l'accident sud atlasique, c'est le domaine le moins déformé, elle est formée par des terrains sédimentaires dont l'âge s'étend du cambrien jusqu'au quaternaire.

Elle est caractérisée par des affleurements massifs d'âge Méso-cénozoïque. Ces âges géologiques correspondent à des lithologies indépendantes dont les environnements de dépôt sont différents tels que :

I-2.6.3.1. Néocomien

est caractérisé par des barres massives de dolomies.

I-2.6.3.2. Barrémo-Aptien inférieur

une série d'alternance de différents dépôts. Sa base est repérée par un banc décimétrique de calcaire oolitique surmonté par des marnes vertes riches en gastéropodes et coquilles d'huitres. La région de Boussaâda est un site idéal pour l'initiation d'un géologue débutant car elle montre des affleurements et des structures claires et faciles à comprendre. De plus, la région est riche en gravures rupestres d'âge néolithique, ce qui ajoute une dimension historique à son intérêt géologique (**Said, 2012**).

I-2.6.3.3. Trias

Le Trias n'affleure que par diapirisme reconnu en Djebel Kerdada, Zerigat et Ain Ogrhab. Il est formé par des argiles violettes légèrement gypseuses. Par endroits, ces argiles peuvent renfermer des cristaux de calcite et de barytine (**Amroune, 2008**).

I-2.6.3.4. Jurassique

Affleure au cœur de l'anticlinal du Djebel Meharga à l'Est et dans les Fennds au Sud du bassin. Il est essentiellement calcaire.

I-2.6.3.5. Crétacé supérieur

c'est la période de transgression. Le cénoomanien est constitué de marno-calcaires, le turonien de calcaire, le sénonien inférieur est constitué de calcaires à intercalation de

marnes. Le sénonien supérieur par des calcaires et Le Maéstrechien par des calcaires à oolithes.

I-2.6.3.6. Cénomanién

La période du Cénomanién est caractérisée par une dominance marneuse avec la présence du silex (**Durand-Delga et Fontboté, 1980**).

I-2.6.3.7. Tertiaire

Le Tertiaire est caractérisé par des reliefs jeunes, modelés au cours de cette période par les mouvements alpins. Le Nord de l'Algérie, où se situe Bou Saâda, est délimité au sud par l'Atlas saharién (chaîne alpine) et au centre par des plates-formes (Meseta oranaisé à l'ouest et môle d'Ain Regada à l'est). Dans la partie septentrionale, l'Atlas tellien (Jurassique à Miocène) est une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur. Des bassins néogènes tardifs, comme le Chéelif et le Hodna, se sont installés sur ces nappes.

I-2.6.4. Terrains du Chott

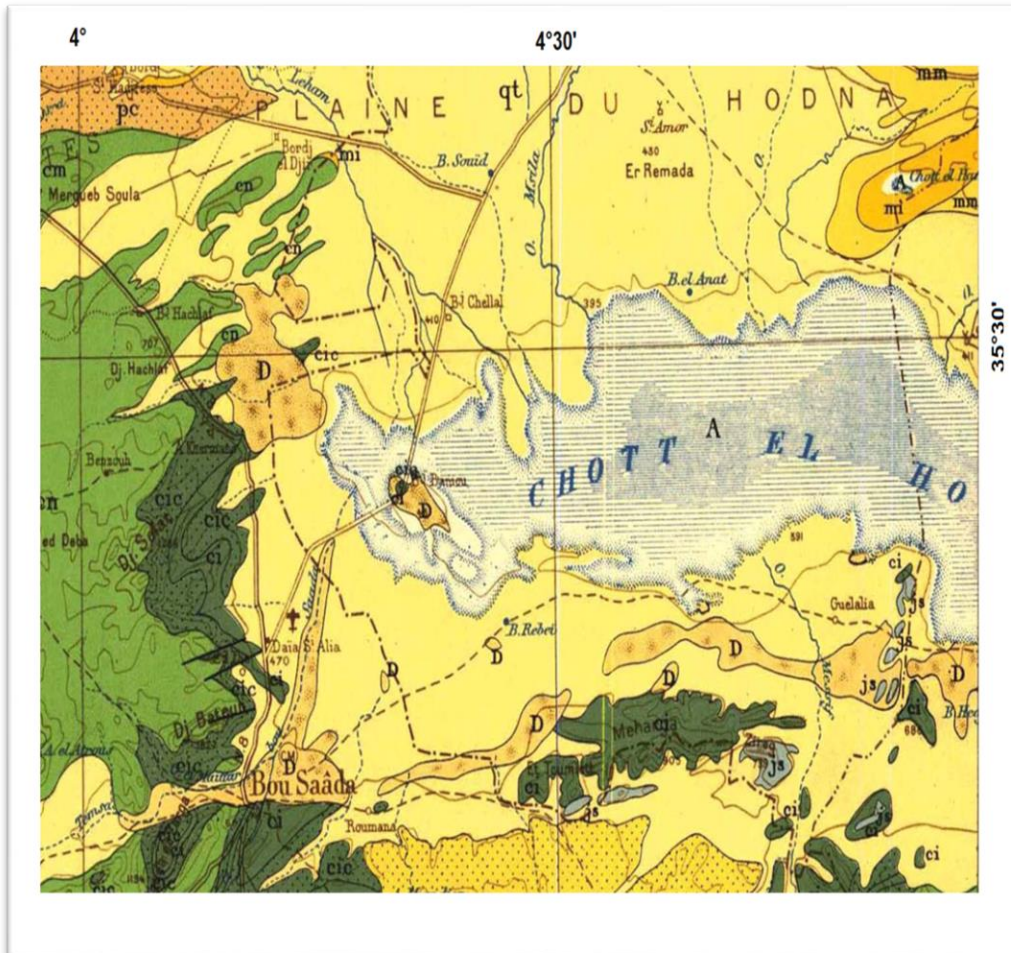
Ce sont des limons de couleur grise à cristaux à l'association de cristaux de gypse type rose des sables. Le Chott de Boussaâda est situé à 13 km au sud-est de la dépression du Hodna. Cette région est caractérisée par des terrains sédimentaires. Boussaâda est une oasis située à la limite nord-est de la région sahélienne de l'Algérie, nichée entre les montagnes de l'Atlas et la dépression du Hodna (**khier saidani, 2022**).

I-2.6.5. Dunes

Les dunes se trouvent uniquement dans la partie d'Oued Tamsa-Maiter et sur les bords du Chott El Hodna. Ce sont des sables quartzeux fins de couleur ocre relativement argileux. Il proviennet de l'érosion des grés barrémiens et albiens qui affleurent largement au sud (**Amroune, 2008**).

I-2.6.6. Cônes de déjection

Les cônes les plus importants sont localisés sur le versant nord du Djebel Tsegna et Djebel Fernane qui constituent essentiellement par des glaciés caillouteux et des limons (Amroune, 2008).



Echelle : 1/500 000

Fig. I-2.4. Carte géologique de la zone d'étude (D'après M.J. Flandrin, 1952)

Légende

- | | | |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| qt: Quaternaire | D : Dunes | pc : Pliocène |
| mm : Miocène moyen | mi : Miocène inférieur | o : oligocène |
| es : Eocène supérieur | em : Eocène moyen | ei : Eocène inférieur |
| Ct : Maastrichtien | Cn : Aptien | Ci : Berriasien |
| t : Trias | | |

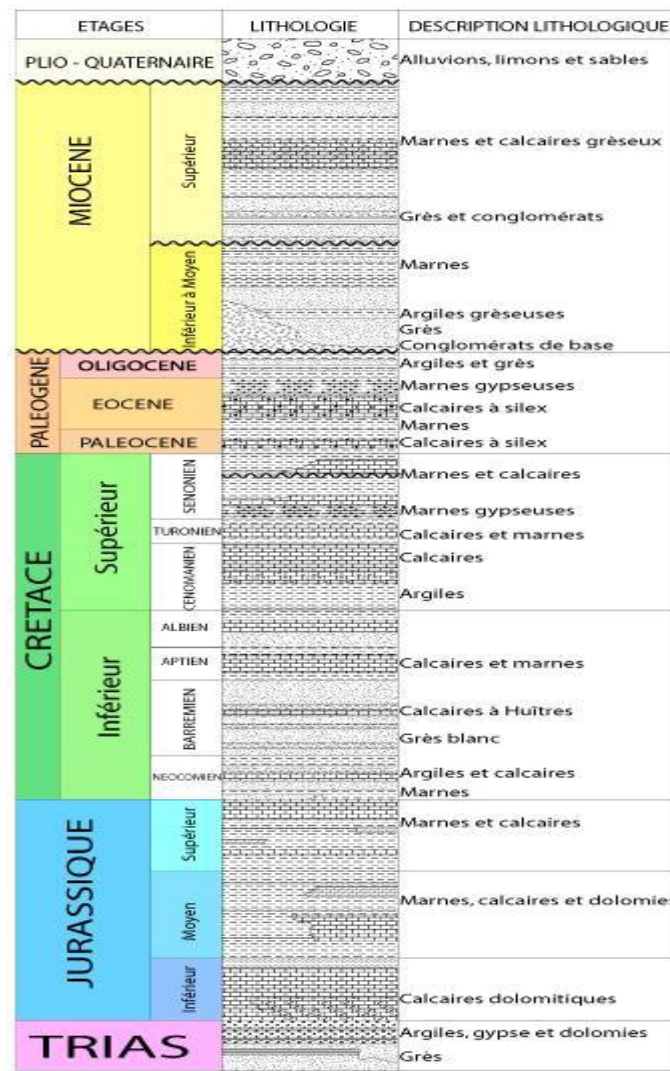


Fig.I-2.5. Colonne stratigraphique synthétique du Bassin du Hodna (SONATRACH, 2005)

I-2.6.7. Interprétation de la colonne litho-stratigraphique

La colonne litho-stratigraphique de Boussaâda est caractérisée par des affleurements massifs d'âge Méso-cénozoïque. Ces âges géologiques correspondent à des lithologies indépendantes dont les environnements de dépôt sont différents

(Baza et Athmani, 2017).

Malgré sa complexité lithologique, l'aquifère est constitué par des niveaux perméables formés

des sables, graviers et des galets d'âge tertiaire continental, des conglomérats d'âge quaternaire (Amroune, 2008).

I-2.7. Aperçu général sur le climat de l'Algérie

Le climat de l'Algérie est caractérisé par l'influence méditerranéenne, climat doux et tempéré, surtout au Nord. Mais l'Algérie très vaste en superficie (2.3 M Km²), possède

une bonne partie de son territoire, bien à l'intérieur du continent aussi; on y trouve divers types de climats et microclimats, allant du pluvial jusqu'au climat aride (Sahara) en passant par le semi aride.

I-2.7.1. Climat et caractérisations météorologiques

L'établissement du bilan hydrique nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique, tient en compte des paramètres climatiques tels que la pluie, l'évapotranspiration, l'écoulement qui constituent le cycle de l'eau.

I-2.7.2. Zone d'étude et son équipement

La région d'étude est une partie du sous bassin versant de Boussaâda, lequel fait partie du bassin versant endoréique hodnéenne. Dans cette étude hydroclimatique, on tentera de procéder à des calculs à partir de données météorologiques disponibles, en usant de méthodes de calcul qui s'adaptent plus ou moins bien à une région telle que la plaine de Boussaâda.

Le **tableau I-2.1** présente les données des précipitations fournies par l'Office National de Météorologie (O.N.M) de M'Sila . Cette station est située au centre de la plaine de M'Sila.

Tab. I-2.1. Coordonnées géographiques de la station des données climatiques

Station	Long. (°)	Lat. (°)	Altitude (m)	Période d'observation
Boussaada	4° 12'E	35° 20'N	459	2000 - 2020

I-2.7.3. Température

Ce paramètre est un facteur climatique très important, elle joue un rôle dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique. Ce paramètre est utilise concurremment avec les précipitations.

Tab. I-2. 2. Répartition des températures moyennes et mensuelles de la station de Boussaâda (2000-2020)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
T max	32,7	27,1	19,4	15,3	14,7	16,8	21	24,9	30	36	40,2	38,9
T min	19,7	14,5	8,7	5,2	4,2	5	8,4	11,9	16,2	21,1	24,6	24,1
T moy	26,2	20,8	14,05	10,25	9,45	10,9	14,7	18,4	23,1	28,55	32,4	31,5

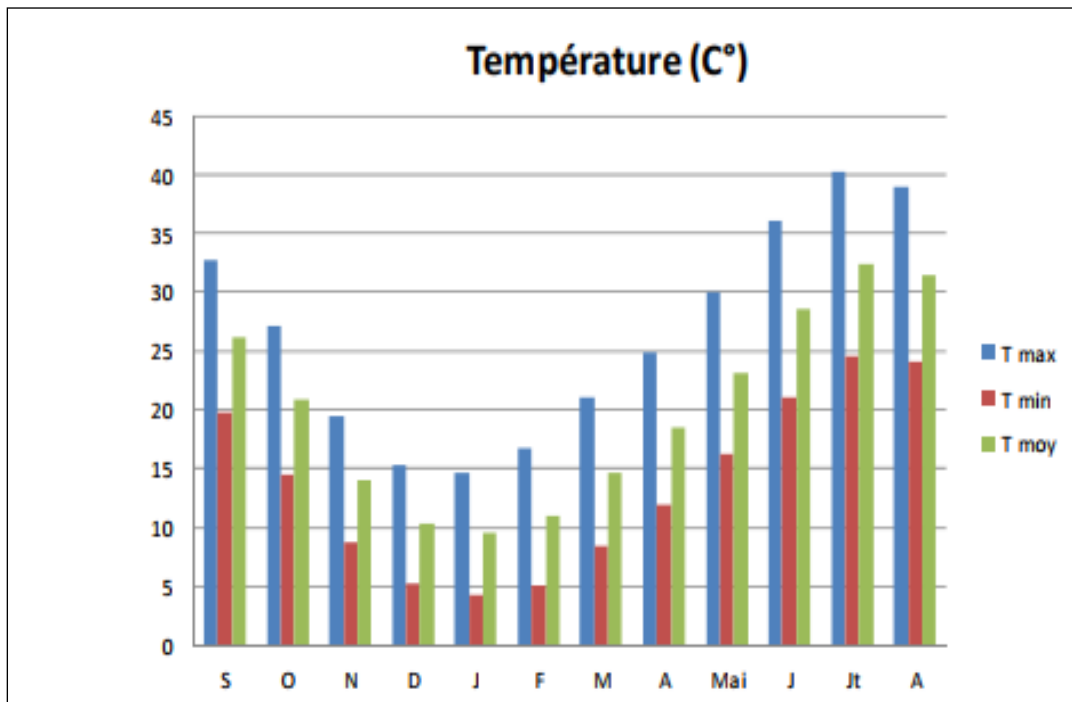


Fig. I-2.6. Température moyenne mensuelle de la station de Boussaâda (2000-2020)

A travers le tableau I-2.2 et la figure I-2.6, l'analyse montre que la température moyenne maximale est enregistrée au mois de Juillet avec 32,4 °C, alors que la température moyenne minimale est enregistrée au mois de Janvier avec de 9,45°C.

On peut remarquer également:

- La température moyenne maximale la plus élevée est enregistrée en juillet avec 40,20°C° et la température moyenne maximale la plus basse est enregistrée en janvier, avec 14,7C°.
- La température moyenne minimale la plus élevée en juillet avec 24,6°C, et la température moyenne minimale la plus basse enregistrée en janvier avec 4,2 °C.

I-2.7.4. Précipitation

La région de Boussaâda a un climat de steppe avec des précipitations minimales tout au long de l'année (**Athmani et Baza, 2019**). La température moyenne annuelle est de 19°C et la précipitation moyenne annuelle est de 183 mm.

Tab. I-2. 3. Répartition des pluies moyennes mensuelles de la station de Boussaâda (2000-2020)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
P (mm)	14.5	19.8	18.1	21	19.9	17.5	15,6	16.3	22.1	11.3	5.2	2.3

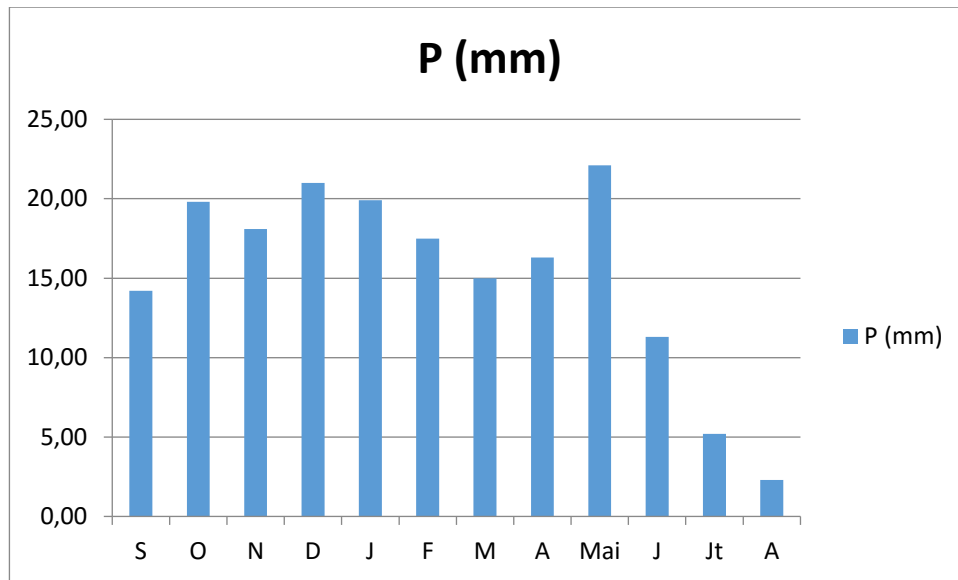


Fig. I-2.7. Précipitation moyenne mensuelle de la station de Boussaâda (2000-2020)

D’après la **Figure I-2.7** nous remarquons que la quantité pluviométrique est répartie d’une manière relativement hétérogène pour les périodes pluvieuses. Les précipitations mensuelles dans le mois Mai représentent une forte valeur (24.5 mm) c’est le mois le plus pluvieux. Alors que le mois le plus sec est le mois Aout avec une valeur de 2.5 mm.

I-2.7.5. Vent

Le vent par définition est l’air en mouvement horizontal. C’est un facteur très important du climat, son influence est observée principalement sur la température, l’évaporation et l’humidité. Les caractéristiques du vent représentées par sa direction et sa vitesse sont variables dans le temps et dans l’espace (**Amroune, 2008**).

Dans les régions arides, les vents ont joué encore un rôle primordial dans la dégradation de la végétation et destruction des sols (**Melalih , 2012**).

Selon **belouadah (2009)** la région de Boussaâda subit cinq (05) types de vents (**Fig.I-2.8**):

- Le sirroco, venant du Sud et soufflant durant la période estivale.
- Le vent d’Ouest, dit « El gherbi » qui est un vent sec drainant des nuages sans

apporter

pour autant la pluie.

- Le vent d'Est dit « el chergui » est un vent sec et froid pendant l'hiver
- Le vent du Nord/Nord-Ouest, dit « dahraoui » porteur du froid et de l'humidité; il peut être pluvieux et souffle surtout en hiver.
- Le vent du Nord, dit « el bahri », il s'agit d'un vent marin qui devient pluie ou nuage.

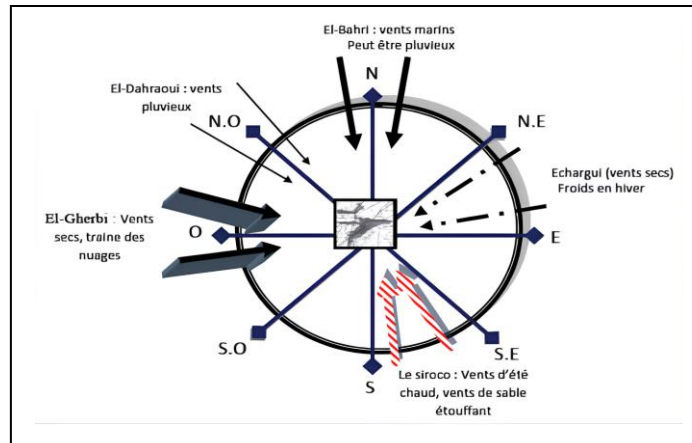


Fig. I-2.8. Les types et les directions des vents dans la région de Boussaâda

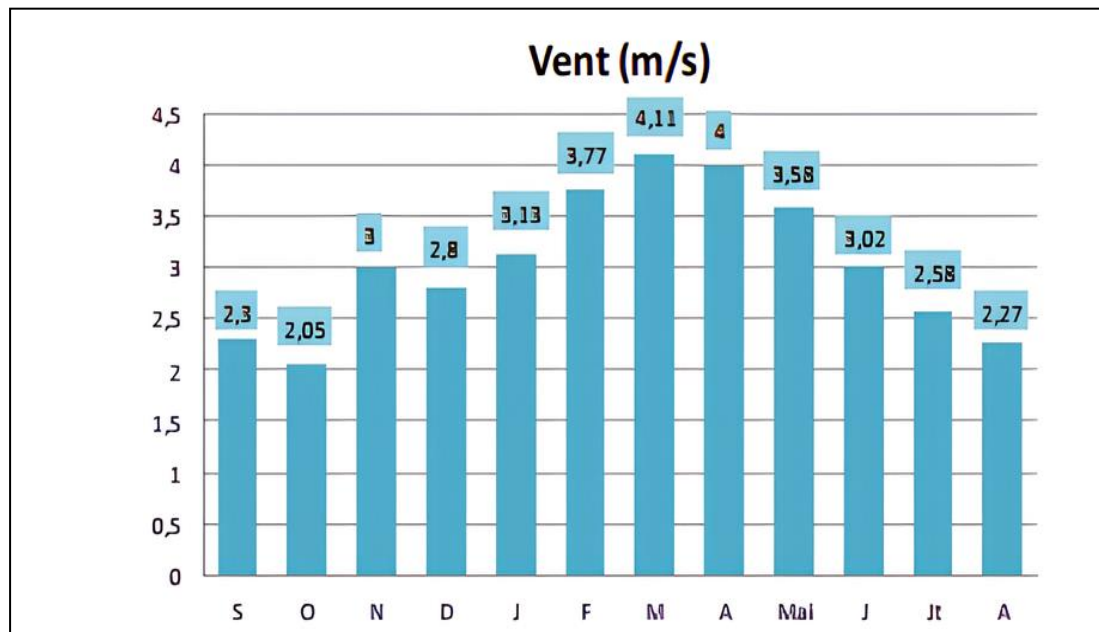


Fig. I-2. 9. Vitesse annuelle moyenne du vent de la région d'étude (2000-2020)

A partir du **figure I-2.9** qui représente la vitesse moyenne du vent dans la région de Boussaâda, on constate que la valeur maximale du mois de Mars (4,11 m /s), par contre sa vitesse minimale est l'ordre de (2 ,05 m/s) au mois de Octobre.

I-2.7.6. Evapotranspiration

I-2.7.6.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

La connaissance du bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation. L'évapotranspiration est définie, comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol que celle transpirée par les plantes (**Melalih, 2012**).

Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal...etc.

Tableau I-2.4. Evapotranspiration en (mm) de la région de Boussaâda durant l'année (2017)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Evapotranspiration (mm)	172,3	130,7	55,8	166,9	67,6	85,9	128,	165,	218,2	260,3	307,7	264,2

Pendant les années d'observations, le maximum de l'évapotranspiration a été enregistré au mois de Juillet avec 307.7 mm, alors que le minimum a été mesuré au mois de Novembre avec 55.8 mm. L'évapotranspiration moyenne de 13 ans est de 168.6 mm. Les données du bac d'évapotranspiration sont des mesures pratiques de terrain, donc réelles.

I-2.7.6.2. Calcul de l'ETP selon la formule de C.W. THORNTHWAITE

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

La formule de l'ETP est la suivante :

$$ETP = 16(10T / I)^a * K \text{ (en mm)}$$

Où : ETP : Evapotranspiration mensuelle non corrigée, (en mm) ;

T : Température moyenne mensuelle, (en °C) ; I : Indice thermique annuel,

$$I = \sum i ;$$

i : Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression suivante : $i = (T/5)^{1.5}$;

a : Coefficient calculé par la formule suivante : $a = 1.6*(I/100) + 0.5 = 2.09$

K : Coefficient de correction, qui dépend du temps et de l'altitude.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de C.W. Thornthwaite sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I-2.5. Calcul de l'ETP de la Station de BOU SAADA selon C.W.Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
T (°C)	24,6	19,92	12,33	12,47	10,12	11,41	13,97	19,44	22,01	28,72	31,7	29,71	19,7
I	10,91	7,95	3,87	3,94	2,88	3,45	4,67	7,67	9,23	13,76	15,96	14,48	99,13
ETP (calculé)	106,93	68,79	25,24	25,84	16,7	21,46	32,77	65,37	84,74	147,79	181,66	158,64	962,93
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	-
ETP(corrigé) mm	110,14	66,73	21,7	21,96	14,52	18,24	33,75	71,25	102,5	178,82	223,44	184,02	1047,1

I-2.7.6.3. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Pour le calcul de l'ETR, nous appliquerons plusieurs méthodes, mais l'ETR s'écarte plus ou moins de l'ETP, selon le climat et la nature des surfaces évaporantes.

I-2.7.6.3.1. Méthode de TURC

Cette relation est applicable à tous les climats, elle est fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. La formule est la suivante :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2} \text{ en mm} \quad \text{Où :}$$

P : Précipitation moyenne annuelle, en mm ; **L** = $300 + 25T + 0.05T^3$: Pouvoir évaporant de l'atmosphère ; **T** : Température moyenne annuelle, en °C ;

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle, en mm.

P = 183,6 mm ; T = 19 °C ; L = 1174.77 Donc : ETR = 193.27mm ; soit 105 % des précipitations.

II.7.6.3.2. Méthode de WUNDT

L'abaque de Wundt modifié par Coutagne permet de déduire la valeur de l'ETR en prenant en considération la température moyenne annuelle (°C) et les précipitations annuelles (mm) Pour le secteur d'étude : ETR = 260.5 mm ; soit 142 % des précipitations.

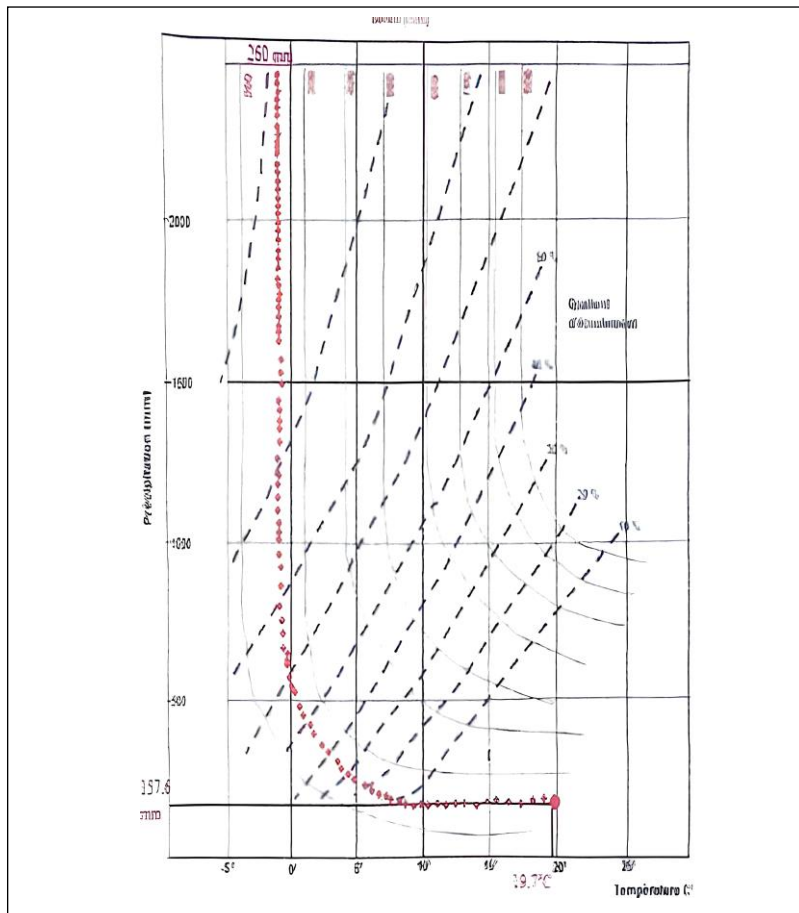


Fig.I-2.10.Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE

I-2.7.6.3.3. Méthode de P. VERDEIL

Afin d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou du déficit d'écoulement, P. Verdeil a établi en 1988 un abaque bi logarithmique pour les régions semi arides en tenant compte uniquement des précipitations annuelles (**Fig.I-2.11**).

$ETR = D = 170.6\text{mm}$; soit 93 % des précipitations.

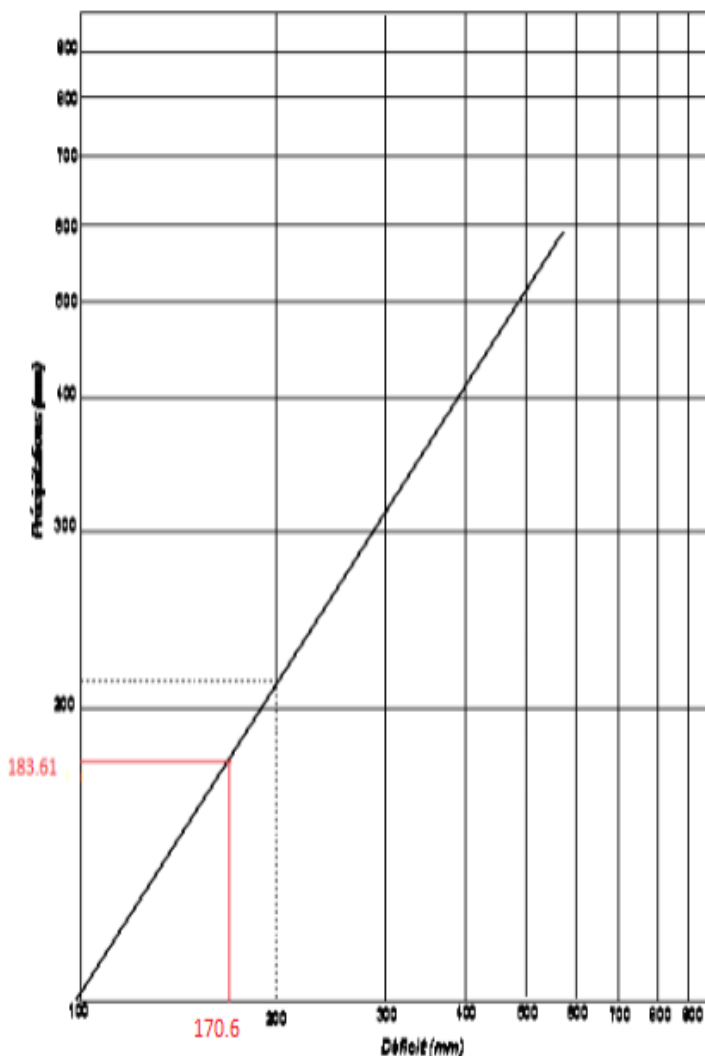


Fig. I-2.11. Abaque de VERDEIL

I-2.8. Etude des principes indices climatique

De nombreux indices et formules ont été élaborés pour caractériser le climat d'une région, ils font intervenir essentiellement, la conjonction température-pluviométrie : L'indice d'aridité de D. Martonne, le diagramme de L. Emberger, la méthode de H. Gaussen et F. Bagnouls et la méthode de G. Euverte.

I-2.8.1. Indice de D. MARTONNE

Ce géographe a proposé une formule climatique basée sur le calcul d'un indice d'aridité fonction de la température et des précipitations. Cette formule est la suivante :

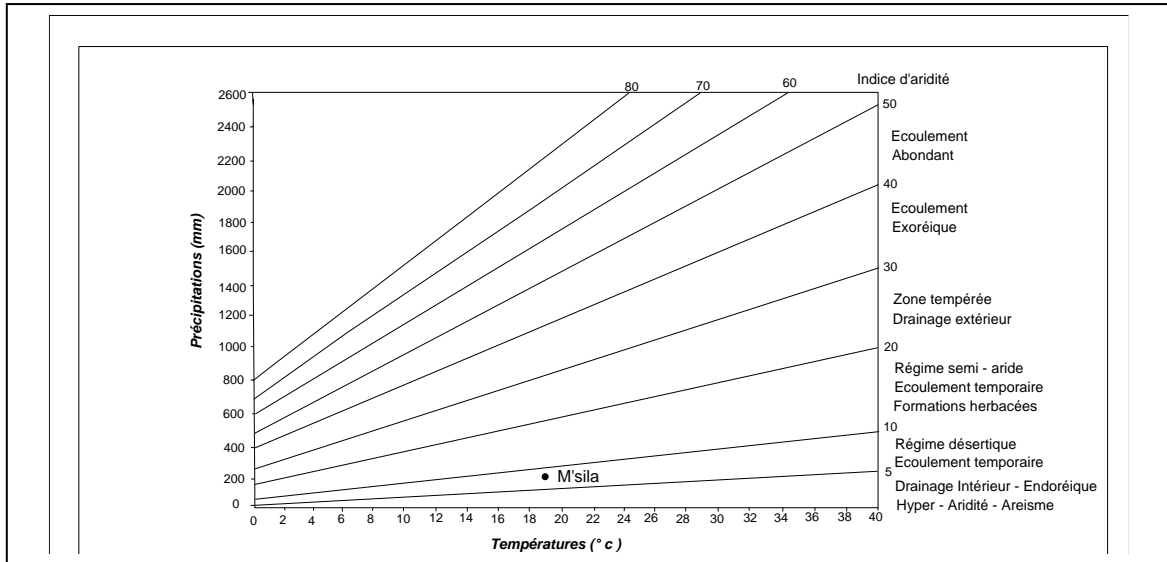
$$I = P / T + 10$$

Où : P : représente les précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Représente les températures moyennes annuelles (°C).

Donc : $I = 183.61 / 19.65 + 10 = 6.19$

L'application numérique permet de voir que cet indice est égal à 6.18. Pour cette méthode quand I est compris entre 5 et 10, on est dans un régime désertique écoulement temporaire, ce qui est le cas pour la station de Boussaâda (**Fig.I-2.12**).



FigI-2.12.Indice de D. MARTONNE

I-2.8.2. Diagramme de L. EMBERGER

Pour préciser le climat de la région nous allons utiliser le climagramme de L. Emberger sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station avec, en abscisse la moyenne des minimales de la saison froide (en °C), et en ordonnée Q_2 donné par la formule suivante:

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

Q_2 : Le quotient pluviométrique d'Emberger;

P: Précipitation annuelle en mm;

M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en degré absolu (k);

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en degré,absolu (k).

Sachant que le passage de la température °C en °K se fait selon la formule suivante :

$$T^{\circ} K = T^{\circ} C + 273.$$

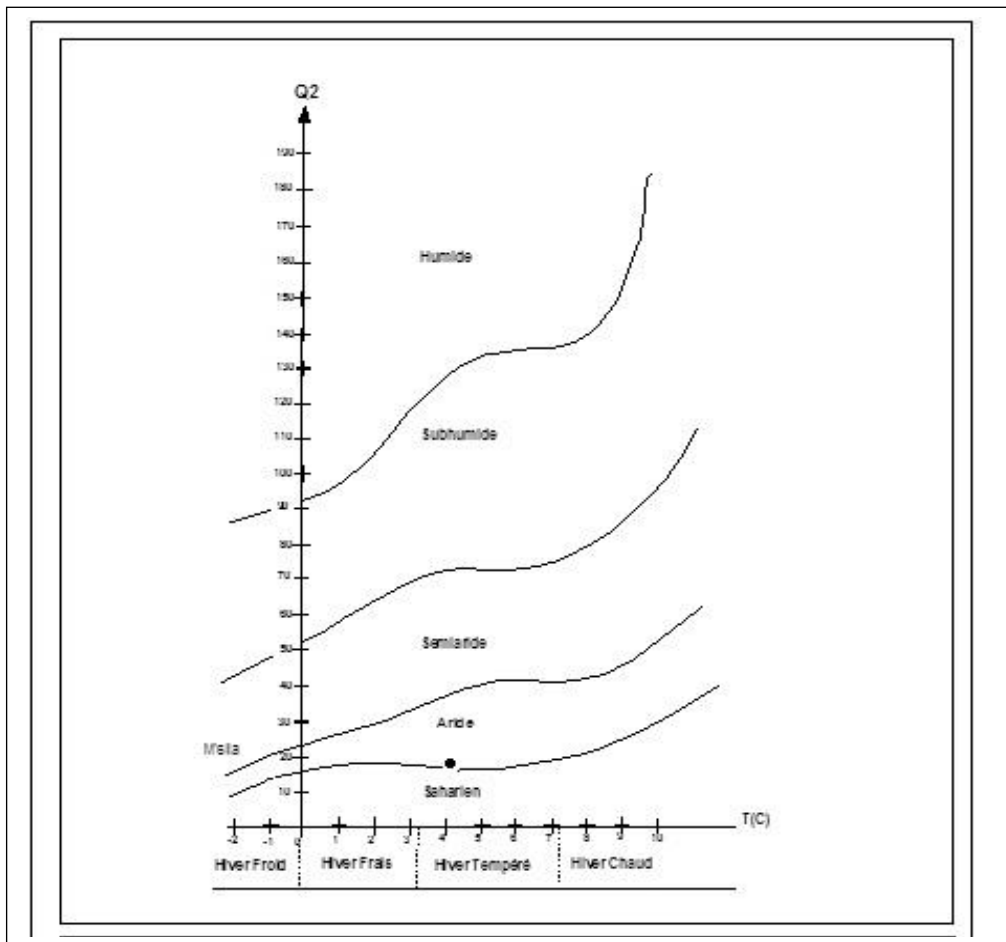


Fig.I-2.13. Diagramme d'Emberger

D'après le diagramme d'Emberger, la région d'étude fait partie de l'étage climatique aride à hiver tempéré.

I-2.8.3. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est la combinaison de deux paramètres climatiques principaux, qui sont la température et la précipitation. Pour ces deux auteurs un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimé en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne (**Fig. I-2.14**).

Cette relation permet d'établir un graphique sur lequel les précipitations sont portées à l'échelle double des températures ($P=2T$).

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls utilise les deux principaux paramétriques climatiques, qui sont la température et la précipitation. Pour ces deux auteurs un mois sec est le mois ou le total moyen des précipitations exprimé en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne.

Cette relation permet d'établir un diagramme ombrothermique pour lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

Avec $P=2T$.

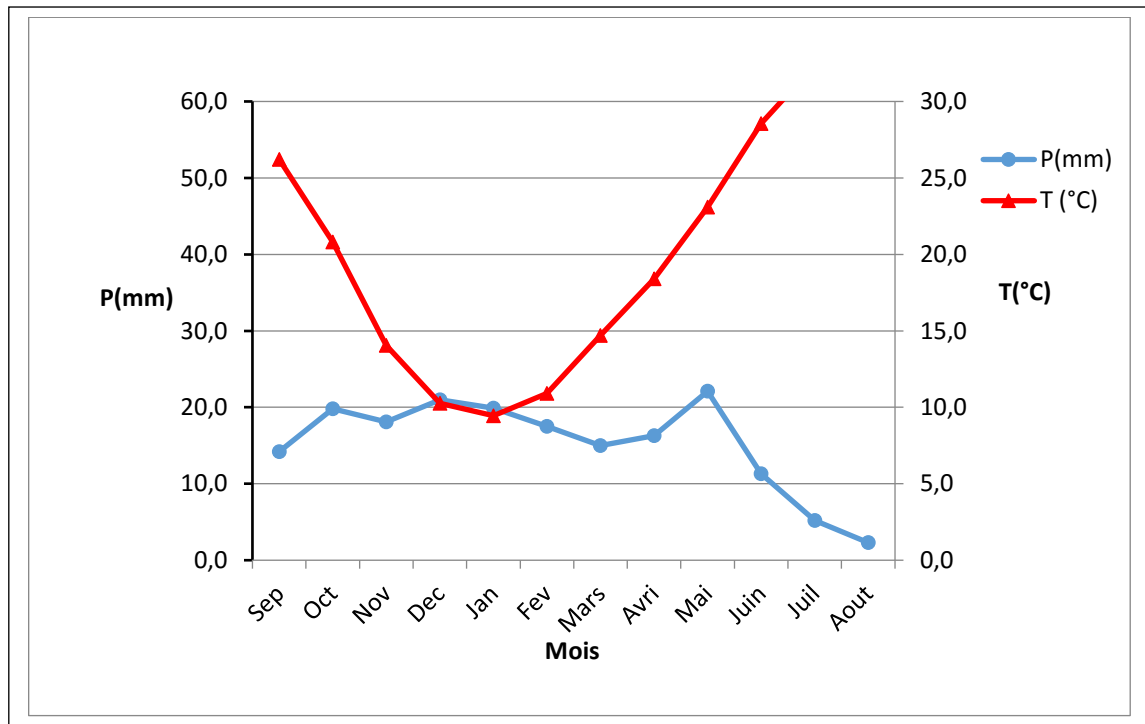


Fig.I-2.14. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme Ombrothermique précise les périodes sèches et humides durant l'année. Alors on observe l'existence d'une période sèche longue et chaude presque toute l'année.

Conclusion

Au terme de ce chapitre nous pouvons dire que les précipitations sont toujours inférieure à l'ETP ($P < ETP$) ce qui implique que les réserves du sol sont toujours nulles (pas de reconstitution des réserves de sol) qui résulte un excédent nul presque pendant toute l'année, et donc nécessitent un apport d'eau pour l'irrigation des cultures pendant toute l'année avec une exploitation des eaux souterraines.



Chapitre II

Outils d'interprétation s des données chimiques

Introduction

Il est important de connaître certains paramètres physico-chimiques, qui pourraient être la cause de nombreux problèmes. A cet effet, dans le présent travail, nous nous intéressons à la cartographie des données physico-chimique de l'eau de la nappe Plio-Quaternaire de Boussaâda qui ont été récupérées de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de M'Sila. Cette cartographie est faite à l'aide de logiciel Surfer version 19.2.

En plus, l'étude a été basée principalement sur les résultats de la campagne de prélèvement (Juin 2018) sur 22 forages d'eau répartis sur le terrain. Les puits sélectionnés sont utilisés généralement pour les usages domestiques et agricoles.

Les analyses ont été portées essentiellement sur les paramètres physicochimiques suivants : la température (T), le pH, la conductivité électrique (CE), les cations (Ca, Mg, Na, K), les anions (Cl, SO₄, HCO₃, NO₃).

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de L'ANRH, Constantine, Algérie. Nous présenterons les principaux mécanismes géochimiques impliqués dans l'évolution spatiale de la qualité de l'eau de la nappe étudiée. Ainsi, des statistiques des paramètres seront déterminées.

D'autre part, nous décrirons l'origine de la répartition spatiale des éléments en relation avec les mécanismes de l'écoulement souterrain.

II.1 Généralités sur le logiciel Surfer 19.2

Le logiciel Surfer conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des Modèles Numériques de Terrain (MNT) issus des données quand aura récoltées sur le terrain via de GPS ou bien en ce basant sur une carte déjà pré-établie.

Le principe de Surfer est le suivant: le logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y, z afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes: Base map, contour map, 3D surface, vector et bien d'autres.

Les opérations prises en considération sont les suivantes :

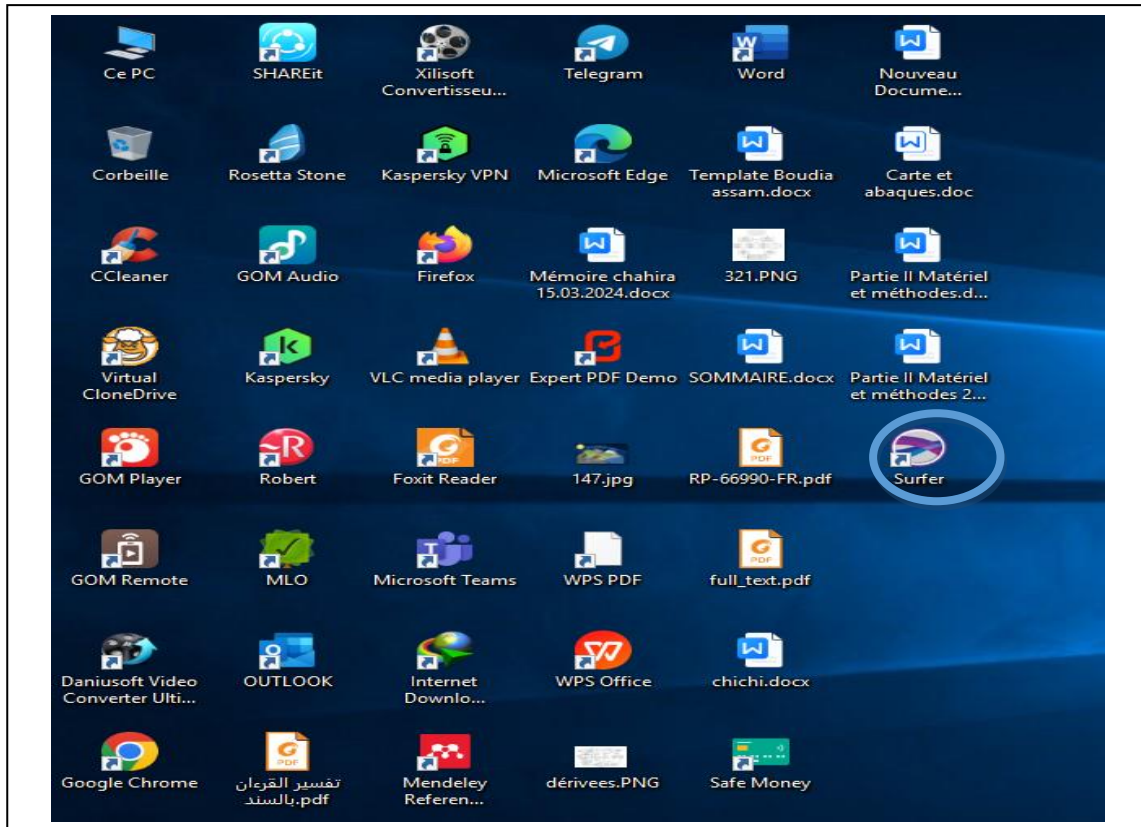
1. Mettre en forme notre fichier Excel,
2. Afficher nos données sous surfer et connaître les outils à disposition ;
3. Créer une grille x, y, z
4. Créer différents types de cartes et le superposer.
5. Mettre en forme nos cartes
6. Réaliser des profils de plage
7. Réaliser des calculs de volume
8. Calculer des longueurs et des surfaces

9. Créer des zones de blank

10. Calculer des volumes par rapport à une zone choisie de la page.

II.1.1. Installation

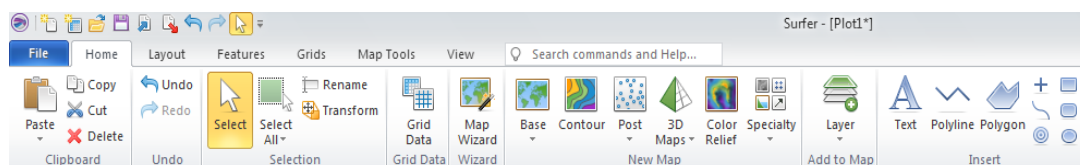
Une fois le logiciel est installé sur votre ordinateur je vous invite à faire un double clique sur l'icone de logiciel sur votre bureau comme je l'ai fait aussi et suivez la démarche



II.1.2. Interface

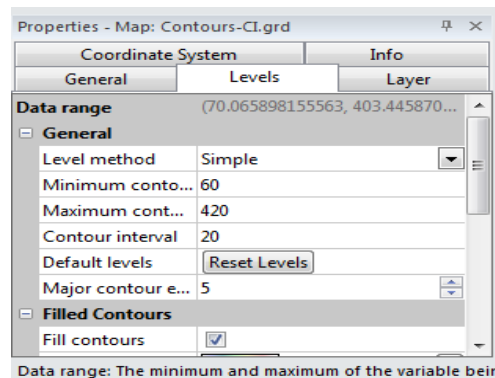
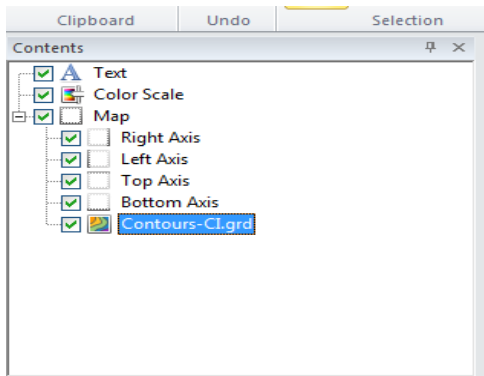
L'interface de ce logiciel se présente comme le plus souvent pour les logiciels de traitement de l'information géographique de la manière suivante :

- Une barre des menus en haut



Nous utiliserons principalement les menus Gride Hom File. Attention ! Cela ne voudrait pas dire que les menus comme Layout Features Map Tools et View seront négligés, Ils seront tous d'une bonne utilisation ci besoin se presente.

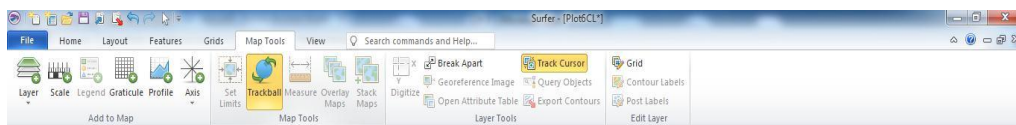
Un cadre principal (Plot) dans lequel s'afficheront nos cartes au centre, et à gauche, le cadre : Object Manager, dans lequel nous pourrions modifier la disposition de nos données, les afficher ou les supprimer.



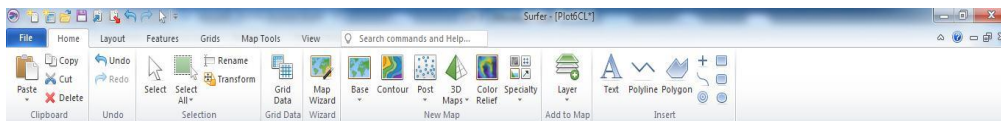
Cliquez sur Base dans le Gestionnaire d'objets pour ouvrir la carte: Base propriétés dans le Gestionnaire de l'immeuble

Dans la carte: propriétés de base dans la propriété Manager, dans la section Coordonnées de l'image, entrez les coordonnées du monde réel pour xMin, xMax, yMin et y Max

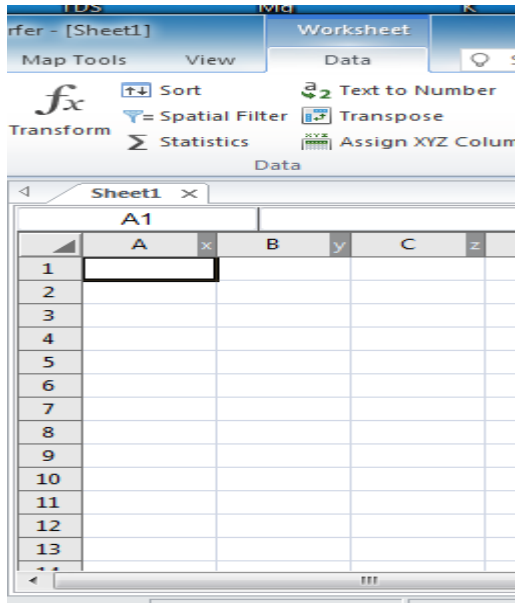
- Une barre d'outils



Cette barre d'outils nous permet de manipuler la carte. L'outil trackball entouré en bleu nous permet de tourner notre affichage dans tous les sens et toutes les orientations. Nous choisissons ici l'affichage de nos points, les différentes cartes possibles.



En outre, nous permettra de choisir l'affichage de nos points et ainsi les différentes cartes possibles.



	A	B	C	D
1	655473.0	221217.2	805	
2	655165.1	221661.0	845	
3	655313.1	222294.1	644	
4	654848.2	222790.6	950	
5	654518.4	222664.7	1691	
6	653272.8	222635.7	1370	
7	651665.8	222646.9	2504	
8	656815.7	224341.2	1902	
9	654693.5	226446.6	2520	
10	660271.7	226843.4	1580	
11	660373.9	223838.7	2780	
12	660308.0	222066.8	912	
13	656817.3	227678.3	1370	

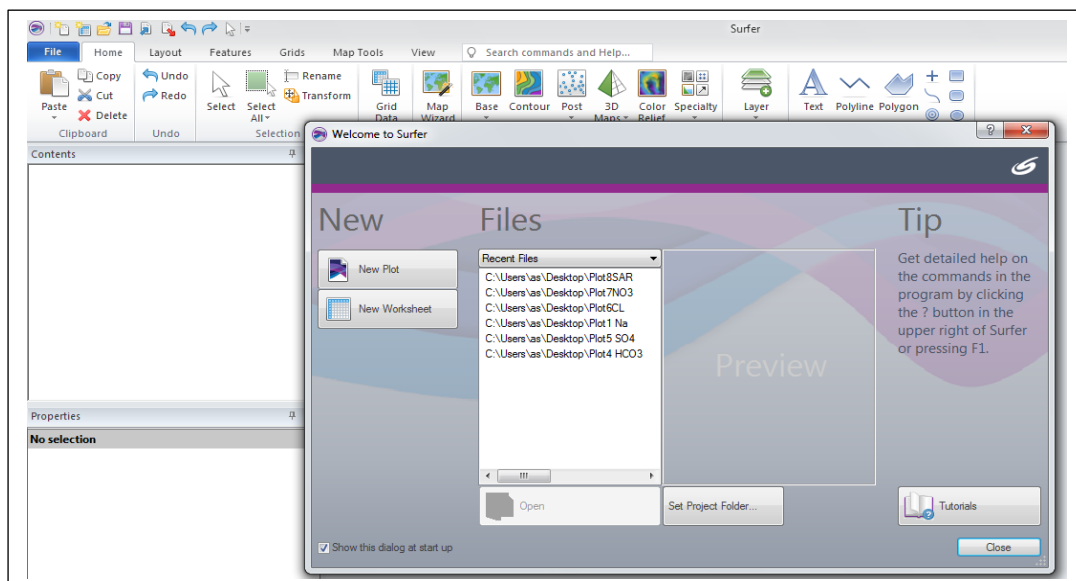
Le logiciel Surfer 19.2 nous permet en principe de réaliser nos MNT du début à la fin. Cependant, pour ceux qui recherchent une meilleure qualité de réalisation finale, il est conseillé de finaliser vos cartes sous Adobe pour la mise en page.

Le logiciel possède également un work sheet qui nous permet d'afficher nos données dans un tableau. C'est dans le worksheet que nous pourrions organiser nos données pour créer des profils de plage, créer des blank (Alami, 2011).

II.1.2.1 Etapes à suivre

II.1.2.2. Etape 1 : Préparation des données, visualisation et mise en forme.

Créer un nouveau Worksheet comme ci mentionné ci-dessous



II.1.2.3. Etape 2 : Mettre en forme le fichier Excel

Nos données des forages et éléments minéraux sont affichées sous Excel. Comme pour profiler, il faudra effectuer un premier élément sur Excel qui ressemblera fort à celui de profiler avec néanmoins quelques petites différences (Alami, 2011).

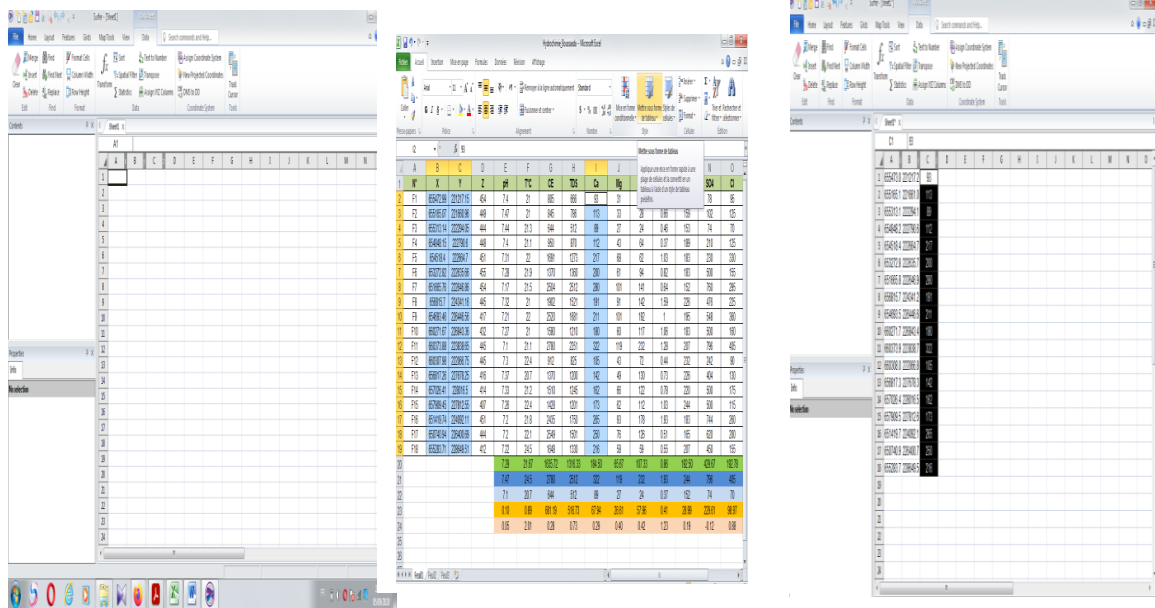
II.1.2.4. Etape 3 : Créer une grille x, y, z

Cette manipulation est la base du traitement sous Surfer.

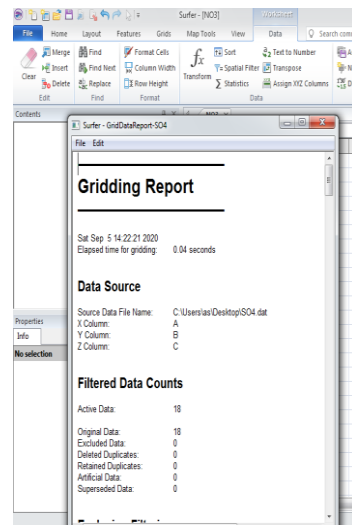
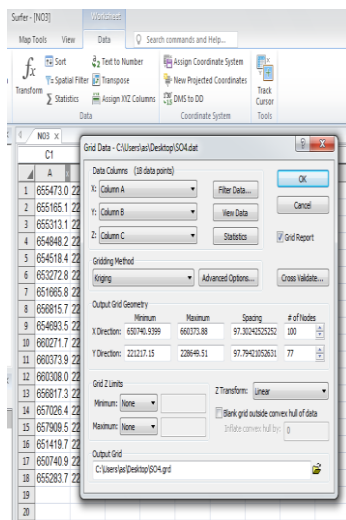
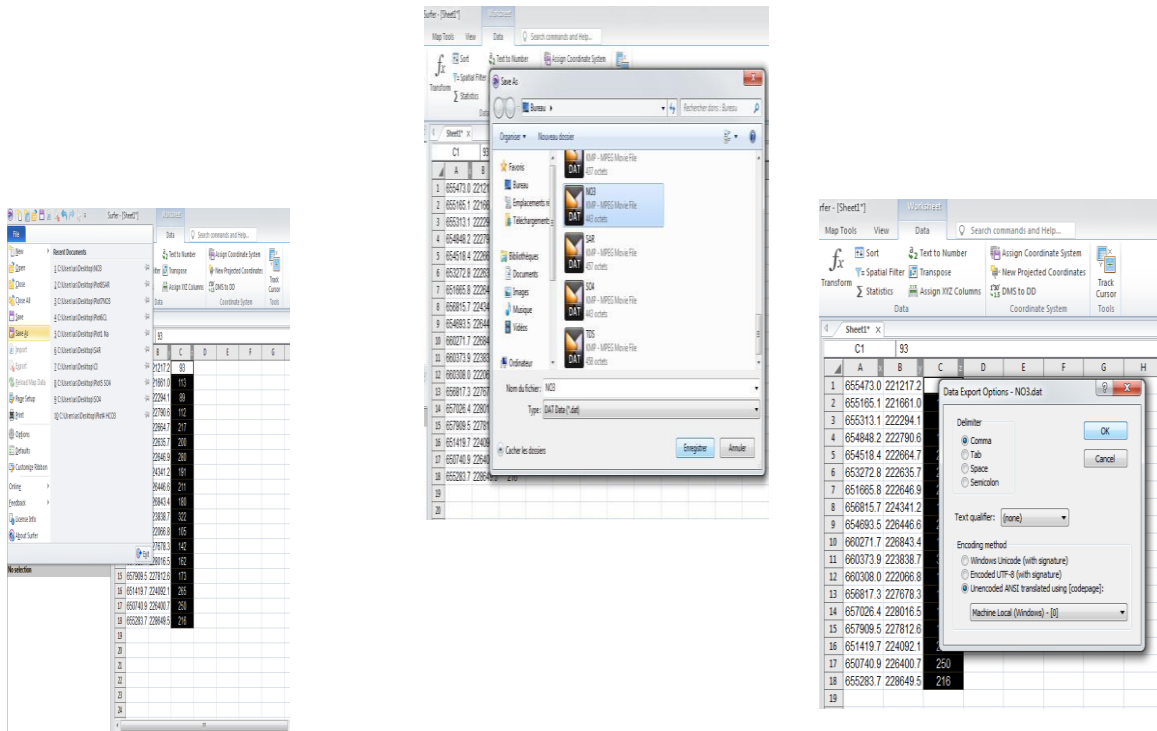
- On crée une grille à l'aide du menu : Grid → Grid data.
- Ouvrons d'abord notre fichier Excel total. *Rappel* : pour l'instant nous avons trois fichiers.

Celui de départ avec tous les points que nous allons ouvrir, nos lignes de rupture en Excel et ces mêmes lignes de ruptures sauvegardées en fichier de type .bln (Taboussi, 2019).

La fenêtre ci-dessous s'affiche. Les colonnes a, b et c représentent l'emplacement de nos coordonnées x y et z.

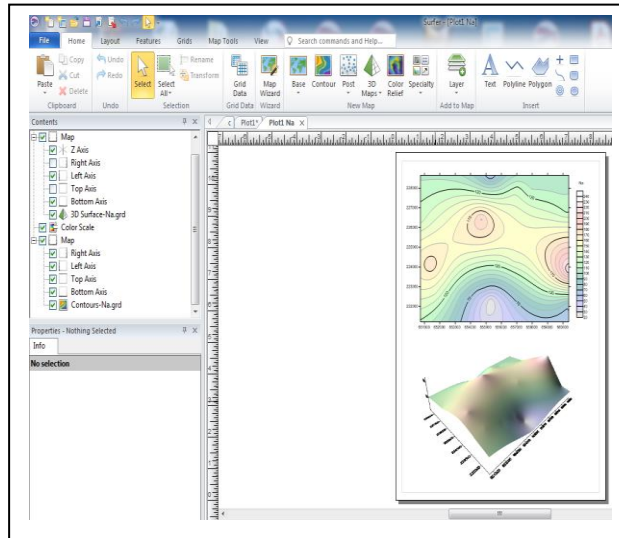
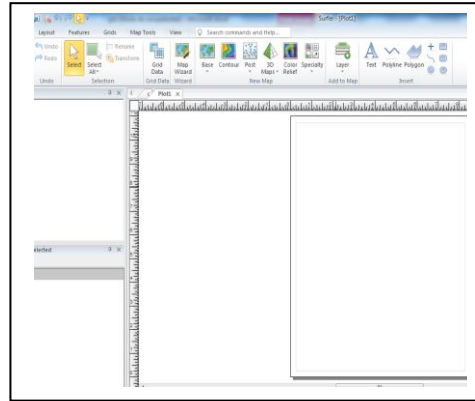
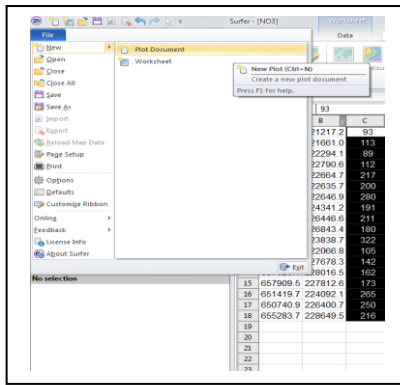


Enregistrer avec un nom explicite précisant bien qu'il s'agit des lignes de ruptures. Le traitement sous Excel est terminé. Le plus par rapport à profiler est qu'il faille traiter ces lignes de ruptures. L'opération qui suit consiste à ouvrir les lignes de rupture sous surfer pour les sauvegarder sous le format de surfer qui est le Golden Software Blanking ou .bln. Sans plus de précisions, c'est ce format qui va vous permettre d'afficher par la suite le MNT. Pour l'instant, contentez-vous d'appliquer dans l'ordre les opérations. Ouvrez surfer, affichez vos lignes de rupture dans le WorkSheet (file open), et sauvegardez en .bln. (Alami,2011).



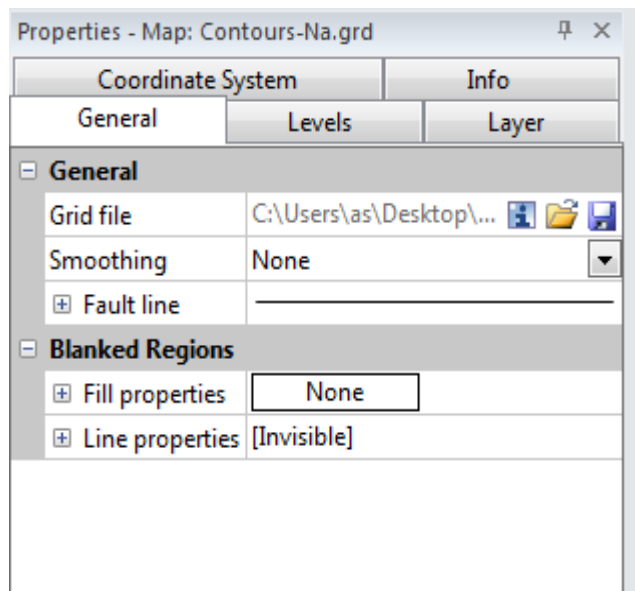
II.1.2.5. Etape 4 : Afficher nos points

A partir de votre simple fichier Excel, nous pouvons déjà afficher nos points. Allons dans New Les points de notre plage s'affichent dans le plot Document. Dans object manager s'affichent les composantes de notre (axes, titre, type d'affichage...)
(Taboussi, 2019).

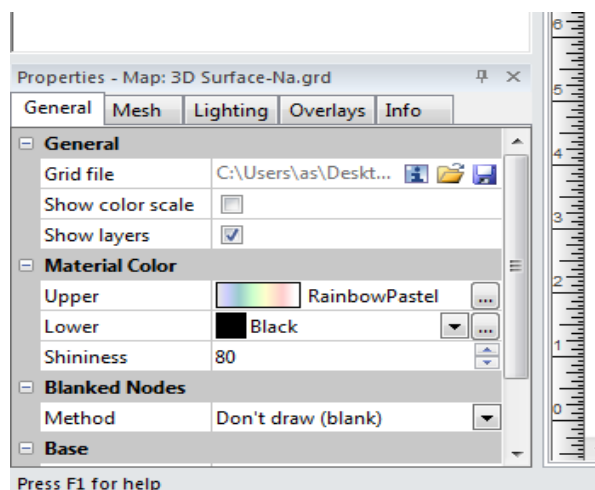
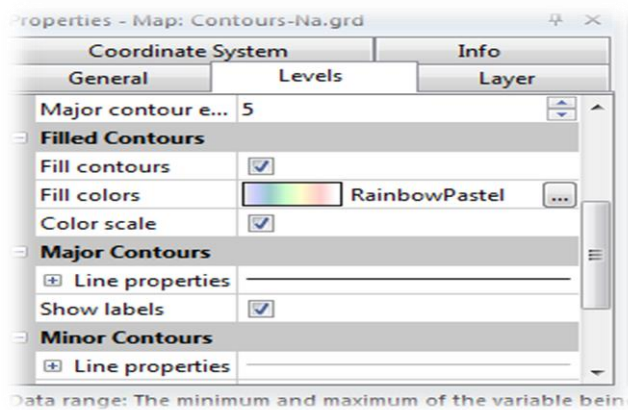


II.1.2.6. Etape 5 : Mettre en forme nos cartes

Mettre en forme signifie choisir ses propres couleurs, ajuster l'échelle des axes, leur attribuer un titre, mettre une échelle... De manière intuitive, nous avons la possibilité de trouver tout ce qui nous intéresse en cliquant directement sur les axes dans le plot (il faut être très précis), ou sur les informations dans Object managé. Par exemple, double-clique sur le top axis de notre carte dans Object managé. Nous pouvons taper un titre, en modifier la police et la taille dans font, etc. Dans tricks nous réglons les graduations, dans Scaling l'échelle (Taboussi, 2019).



Pour l'apparence générale de la carte, double-cliquer sur la Map elle-même dans Object managé. Explorons les changements d'angles, passons en mode perspectiv.. etc. Pour le contour map, l'affichage par défaut est un fond blanc avec les lignes noires. Dans Object managé, double-cliquez sur l'icône du contour. Dans level, nous pourrons changer les couleurs, mais seulement une par une, ce qui peut être fastidieux. Nous pouvons aussi juste Cliquer Fill contours pour le remplir en noir et blanc



Introduction

Les analyses physico-chimiques des eaux de la nappe de la région étudiée ont été faites au niveau de 22 échantillons bien répartis dans la plaine de Boussaâda (**Fig.II.1**). Ces analyses ont permis d'acquérir un certain nombre de paramètre habituellement utilisés pour l'estimation de la qualité des eaux d'irrigation : la salinité (traduite par la conductivité électrique), le SAR (Sodium Adsorption Ratio ou indice d'adsorption du Sodium, aussi appelé « pouvoir alcalinisant »).

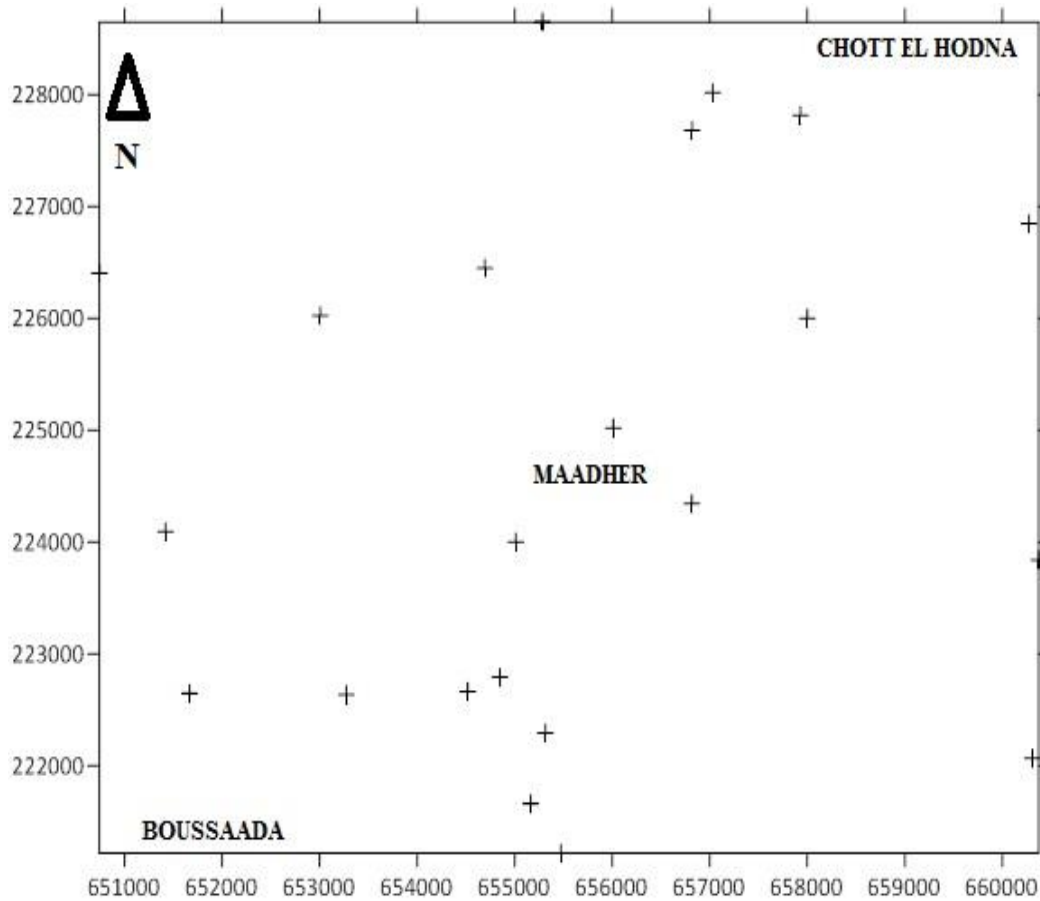


Fig.II.1. Carte de répartition spatiale des forages dans plaine de Boussaâda

II.2. Principaux paramètres physico-chimiques

II.2.1. Température

Les valeurs des températures des eaux de la nappe de Boussaâda sont représentées dans la figure (II.2).

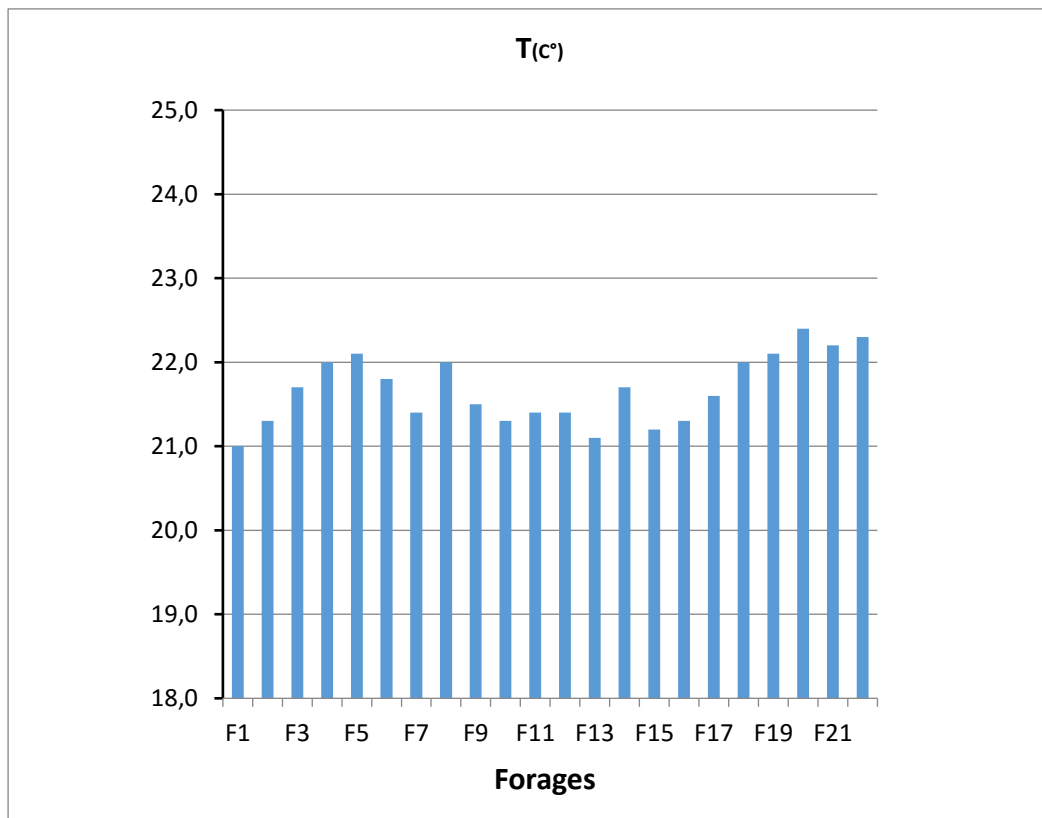


Fig. II.2. Variabilité de la température des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda

La figure II.2 montre que la température moyenne mesurée des différents points d'eau de secteur d'étude est de l'ordre de 21.7°C. Elle varie entre une valeur minimale de 21.0°C et une maximale de 22.4°C au niveau des forages F1 et F20 respectivement. Cette température est due probablement de l'effet des nitrates d'origine agricole.

II.2.2. Potentiel d'hydrogène

Les valeurs du pH des eaux de la nappe de Boussaâda sont schématisées dans l'histogramme ci-dessous (Fig.II.3).

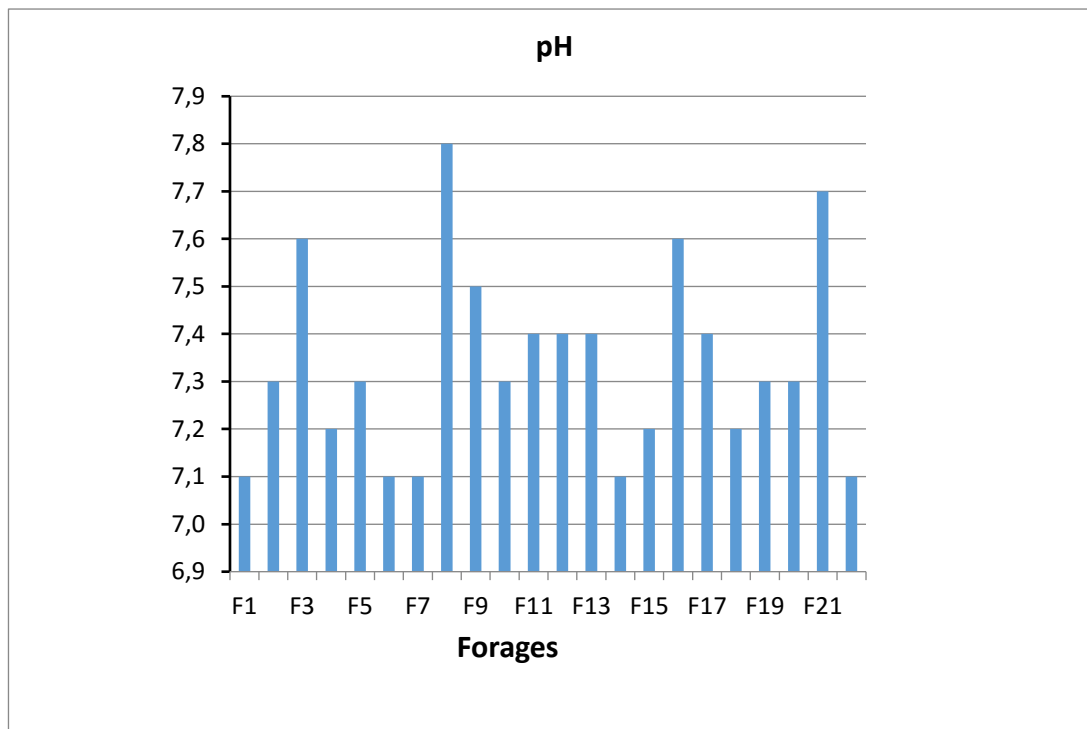


Fig. II.3. Variabilité du pH des eaux souterraines de la plaine de Boussaâda

Le pH mesuré sur le terrain au niveau des 22 forages est varié de 7,1 pour le F1 et 7,7 pour le F21. La valeur moyenne calculée sur 22 échantillons est de 7,4; ce qui reflète un caractère basique des eaux de la région.

Les eaux d'irrigation de la plaine de Boussaâda présente un danger léger à modéré pour les cultures selon les indicateurs de qualité des eaux d'irrigation ($\text{pH} < 6.5$ et $\text{pH} > 8.5$).

II.2.3. Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique CE des eaux de la nappe de Boussaâda sont illustrées dans la carte d'iso-conductivité (**Fig.II.4**).

La figure **II.4** montre que la majorité des eaux de la plaine de Boussaâda montrent une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevée. Ces valeurs présentent un risque salin élevé sur les sols et les plantes. La salinité, représentée par la CE, augmente au Ouest de la plaine et dans la partie Est (**Fig.II.4**). Elle passe d'une valeur minimale de $654 \mu\text{S} / \text{cm}$ au forage P12 à une valeur maximale de $2792 \mu\text{S}/\text{cm}$ au forage P2. Cette élévation est due principalement à la présence des évaporites.

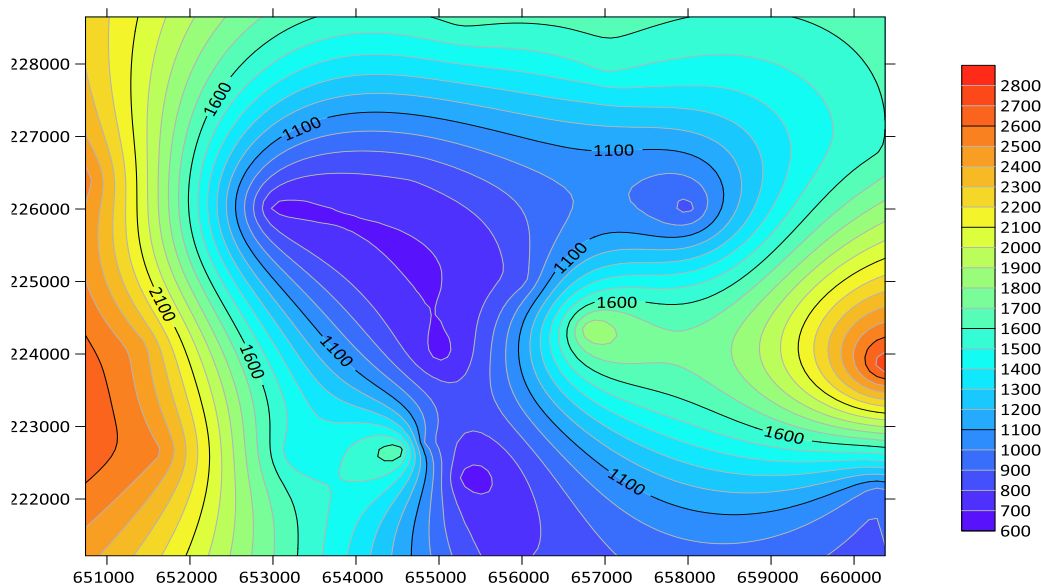


Fig. II.4. Carte de répartition spatiale de la CE des eaux souterraines de Boussaâda

Tab. II.1. Statistiques élémentaires des paramètres physiques.

	T (°C)	pH	CE (µS / cm)
Min	21,0	7,1	654
Moy	21,75	7,3	1406.1
Max	22,0	7,8	2792
σ	0,5	0,30	678,7
Cv	0,02	0,04	0,48

Min: valeur minimale; Moy: valeur moyenne; Max: valeur maximale; σ: écart type; Cv: Coefficient de variation

II.2. Etude analytique et cartographie des éléments chimiques majeurs

L'établissement des cartes des principaux éléments chimiques nous permet d'apprécier

la répartition des concentrations et d'expliquer leur origine. Pour cela nous avons dressé des

cartes d'iso-teneurs en Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SO_4^{-2} , Cl^- et HCO_3^- et NO_3^-

II.3.1. Les cations

II.3.1.1. Le calcium Ca^{2+}

Les concentrations du calcium des eaux de la nappe de Boussaâda sont représentées sous forme d'une carte d'iso-valeurs du Ca^{+2} (**Fig.II.5**).

Le calcium des eaux de l'aquifère de la plaine de Boussaâda varie de 92.1 mg/l à 325 mg/l, avec une valeur moyenne de 208.5 mg/l. (**Fig.II.5**).

L'examen de la carte de répartition du calcium au niveau de la zone d'étude (**Fig. II.5**) montre que les fortes concentrations se situent dans la zone occidentale de la plaine (>200 mg/l) à cause de la dissolution des formations carbonatées dans la partie occidentale en faible degrés dans la partie orientale.

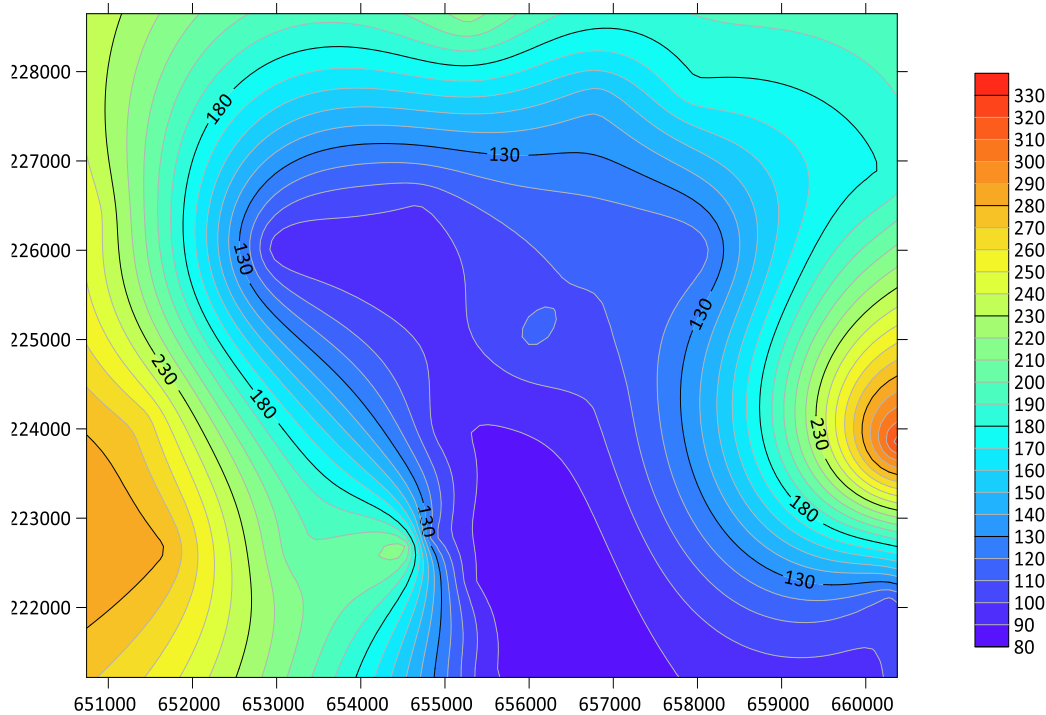


Fig. II.5. Carte de répartition spatiale de Ca des eaux souterraines de Boussaâda

II.3.1.2. Magnésium

Les concentrations en Magnésium des eaux de la nappe de Boussaâda. La teneur minimale du magnésium est enregistrée au forage F20 avec 26.9mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F2 avec 120mg/l avec une moyenne de 73.4mg/l.

La carte (**Fig.II.6**) montre que la teneur élevée s'observe à l'Ouest et à l'Est de la plaine. Cette convergence est due au pompage intensif des forages des agriculteurs au niveau de la partie centrale de la plaine agricole.

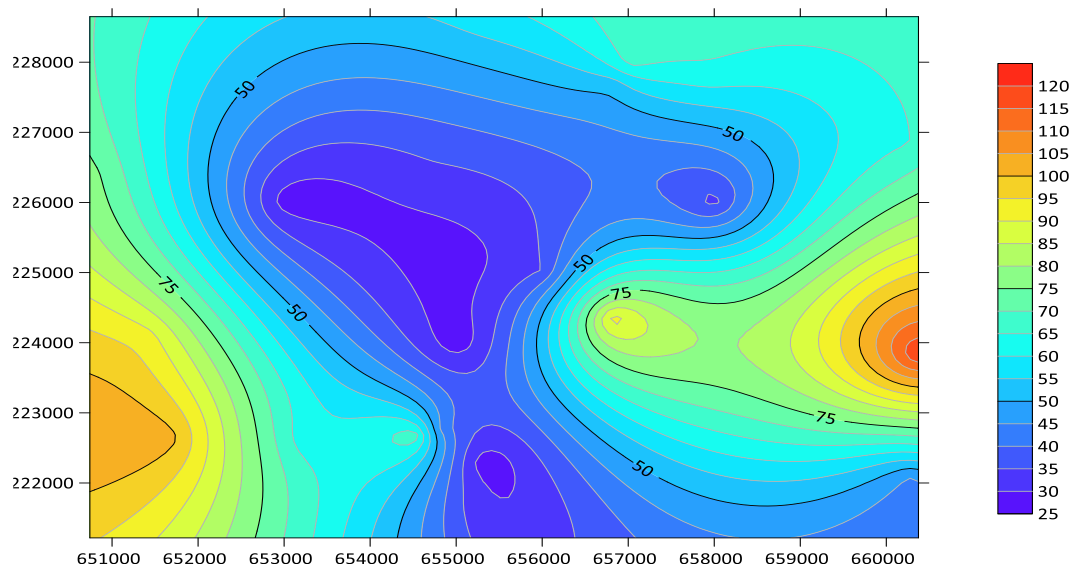


Fig. II.6. Carte de répartition spatiale du Mg des eaux souterraines de Boussaâda

II.3.1.3. Le sodium

Les concentrations en Sodium des eaux de la nappe de Boussaâda sont illustrées dans la carte d'iso- sodium (Fig.II.7).

Les concentrations du sodium des eaux de la nappe de Boussaâda varient entre 23.65mg/l au forage F22 et 233 mg /l au forage F2 avec une teneur moyenne de 128.3mg/l. La carte de répartition de cet élément montre des fortes concentrations centre de la région d'étude (Fig.II.7). Cette élévation est due à la présence des argiles gypseuses, des évaporites.

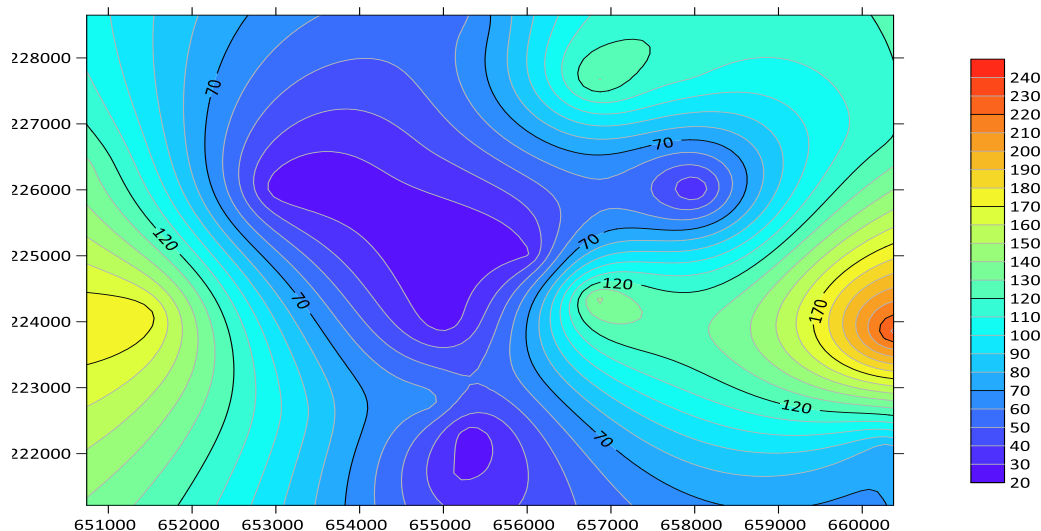


Fig. II.7. Carte de répartition spatiale de Na des eaux souterraines de Boussaâda

II.3.1.4. Potassium

Les concentrations en Potassium des eaux de la nappe de Boussaâda sont illustrées dans la carte d'iso-teneur (Fig.II.8).

La répartition en potassium au niveau de la plaine de Boussaâda varie entre F13 0,4mg /l et F7 2.1mg/l avec une concentration moyenne de l'ordre de 1,8mg/l .La carte de répartition de cet élément montre des fortes concentrations à l'Ouest et l'Est de la région d'étude.

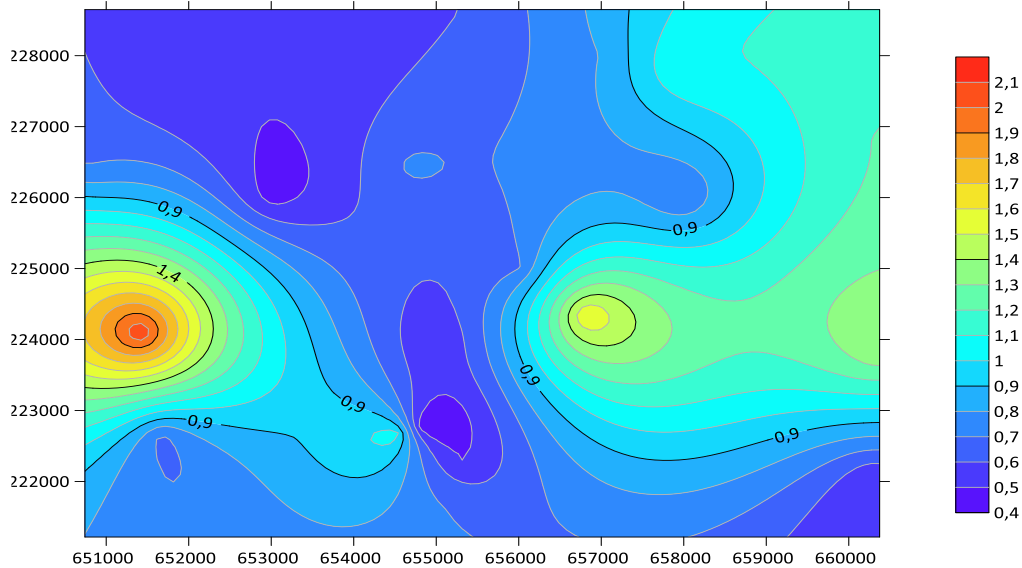


Fig. II.8. Carte de répartition spatiale de K des eaux souterraines de Boussaâda

Tab. II.2. Synthèse des statistiques descriptives des cations

	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
Min	98	34	59	0,4
Moy	201,7	70,4	233	0,6
Max	325	120	132,4	2,1
σ	67,3	25,6	46,9	1,8
Cv	0,33	0,34	0,35	0,66

Min: valeur minimale; Moy: valeur moyenne; Max: valeur maximale; σ: écart type; Cv: Coefficient de variation.

II.3.2. Les anions

II.3.2.1. Sulfates

Les concentrations en sulfates des eaux de la nappe de Boussaâda sont réalisées dans la carte d'iso-teneur (Fig.II.8). Les concentrations de cet élément que varient entre 75 mg/l au forage F20 ,F12 et une valeur de 802 mg/l au forage F2 avec une teneur moyenne de l'ordre de 438 mg/l.

D'après la carte de répartition de cet élément (Fig.II.8), nous distinguons que les teneurs élevées sont dues à l'influence des eaux salées du Chott El Hodna et la présence

des formations gypseuses. Les températures des eaux ainsi que les teneurs en sulfates sont des preuves de leurs traversées dans des failles encore actives avec remontée des gypses du Trias.

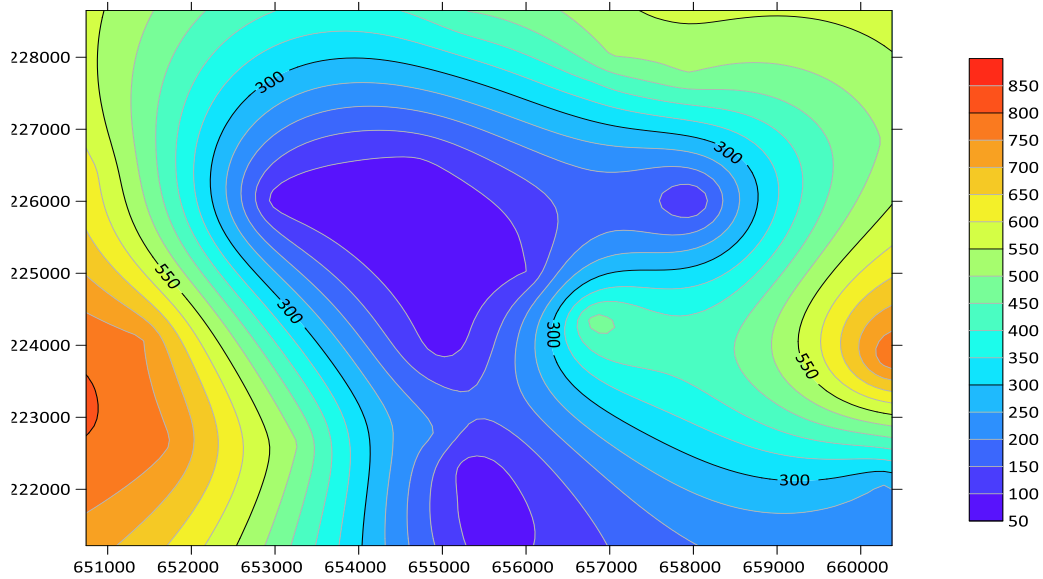


Fig. II.9. Carte de répartition spatiale de SO_4 des eaux souterraines de Boussaâda

II.3.2.1. Bicarbonates

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique. Les teneurs en bicarbonates dans la plaine de M'Sila varient de 145 mg/l à 232 mg/l, avec une valeur moyenne de 335.35mg/l.

D'après la **figure II.9**, les fortes teneurs se localisent dans la partie Nord, alors que les faibles teneurs se trouvent à l'opposé, dans la zone Est.

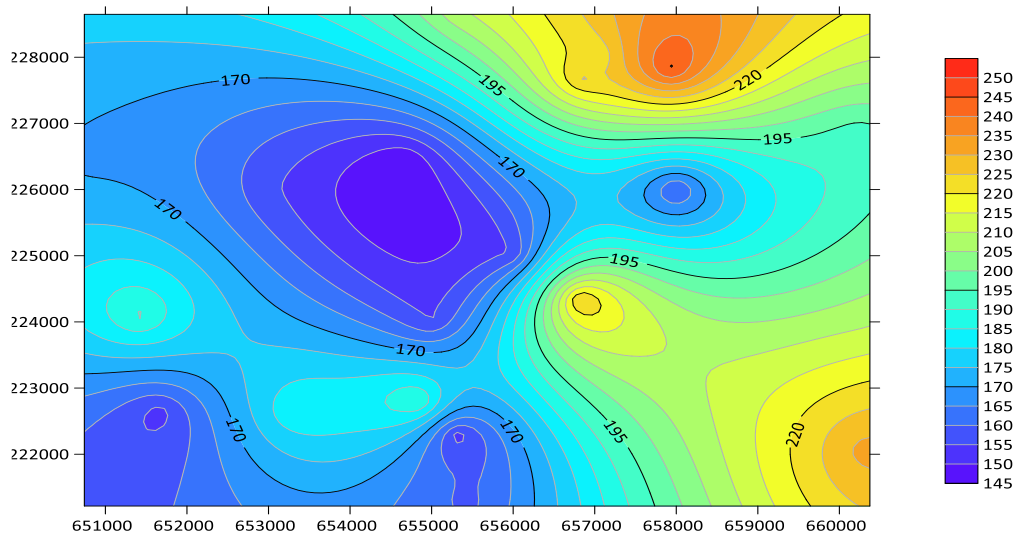


Fig. II.10. Carte de répartition spatiale de HCO_3 des eaux souterraines de Boussaâda

II.3.2.2. Chlorures

Les concentrations en chlorures des eaux de la nappe de Boussaâda sont réalisées sous forme d'une carte d'iso-teneurs (**Fig.II.10**).

Les valeurs de Cl^- varient entre 71.5 mg/l au forage F20 et 411 mg/l au forage F2 avec une concentration moyenne de 241.25 mg/l. La **Fig II.10** montre que la majorité des points d'eau ont des fortes teneurs sont concentrées à l'Est de la plaine et dans la partie Sud Ouest de la zone d'étude. Le Cl^- confirme encore la contamination des eaux de l'aquifère Plio-Quaternaire par ces eaux de haute salinité et même par la dissolution des minéraux évaporés.

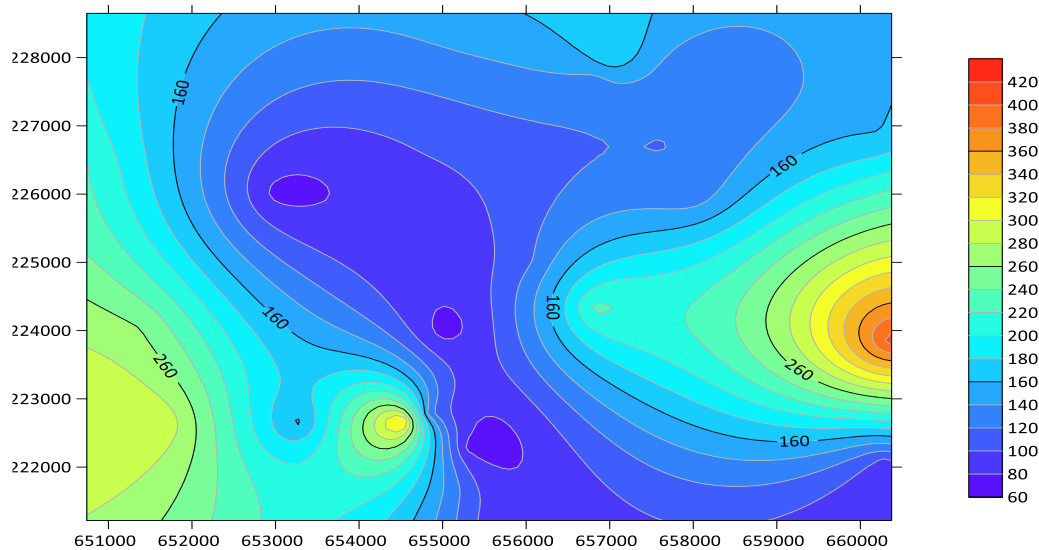


Fig. II.11. Carte de répartition spatiale de la Cl^- des eaux souterraines de Boussaâda

II.3.2.3. Nitrates

Les concentrations en nitrates des eaux de la nappe de Boussaâda sont illustrées dans la **figure II.12**.

Les valeurs de NO_3^- varient entre 6 mg/l au forage F16 et 158 mg/l au forage F17 avec une concentration moyenne de 82 mg/l. La **Fig II.12** montre que la majorité des points d'eau ont des fortes teneurs sont concentrées au centre de la plaine et dans la partie sud. Cette élévation est due à l'utilisation intensive des engrais chimiques et organiques par les agriculteurs durant l'irrigation. Le reste de la plaine, on assiste à une dilution des ces teneurs en NO_3^- .

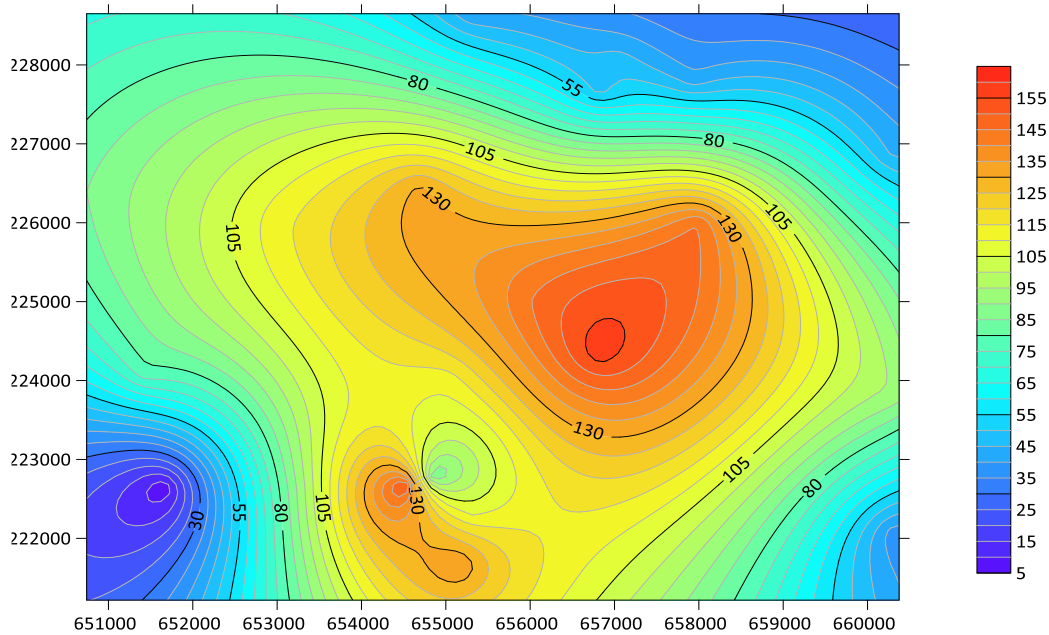


Fig. II.12. Carte de répartition spatiale de la NO₃ des eaux souterraines de Boussaâda

Tab. II.3. Synthèse des statistiques descriptives des anions

	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
Min	71.5	75	145	6
Moy	241.25	438	335.25	91,9
Max	411	802	232	158
σ	250	293,4	89,04	44,05
Cv	0,66	0,42	0,49	0,48

Min: valeur minimale; Moy: valeur moyenne; Max: valeur maximale; σ: écart type; Cv: Coefficient de variation.

II.3.2.4. Contamination des eaux souterraines par les nitrates

Dans cette région, les eaux souterraines sont la seule ressource pour la consommation humaine et animale et pour l'irrigation. D'après le **tableau III.3**, il apparaît que les valeurs moyennes pour le NO₃⁻ ne sont pas significativement différentes. Pour extraire des informations des données, les distributions des résultats doivent être étudiées plus en détail. Ces données des forages montrent que 68 % des échantillons dépassaient déjà 50 mg/l, et 41% dépassaient 100 mg/l; inversement 05 % étaient inférieurs à 20 mg/l. et en effet 00 % des échantillons ont été analysés et ont montré des valeurs nulles.

L'eau de pluie contient des valeurs non nulles de nitrate comprises entre 1 mg/l et 2 mg/l de nitrates (**Barbier 2011**), en raison de l'oxydation naturelle de l'azote

atmosphérique. Cela implique que dans certains cas, les cycles chimiques de biogéolocalisation sont suffisamment efficaces pour absorber tous les nitrates présents dans le sol. La carte de la concentration en nitrates dans les puits en 1967 (Fig. 3) montre que la concentration se localise au centre de la plaine où l'activité agricole est intense et la population rurale est concentrée.

De grandes valeurs sont observées au centre et au Sud où les populations sont rassemblées près des zones urbaines. Cela peut donc être attribué à une contamination. Cette contamination peut être à la fois d'origine humaine et animale. Bien que l'on manque de connaissances détaillées sur la nature exacte de l'aquifère exploité par chaque forage, de grandes concentrations de nitrates sont observées même à des profondeurs supérieures à 50 m, qui montre la dégradation qualitative de l'aquifère profond. Cela peut être attribué au développement des cultures irriguées dans les dernières décennies (**Amroune, 2020; Mimoune 1995**), à l'augmentation de la population et au changement d'affectation des terres.

Il est intéressant de noter la coïncidence spatiale des zones contaminées des deux périodes, ce qui suggère fortement une communication entre les deux nappes (libre et captive). L'analyse détaillée de la distribution des nitrates montre une extension de la contamination des eaux souterraines par les nitrates. Cette extension progresse à la fois verticalement et latéralement.

Preuve en est le fait que de faibles valeurs (inférieures à 20 mg/l de NO_3) ont été observées dans l'aquifère profond en 1996 et ne sont plus observées en 2016 (**Athmani et Baza, 2017**). Cela indique une contamination qui entrave sérieusement le développement agricole et la santé publique. Cette contamination est d'origine anthropique et pourrait être due à l'apport d'engrais et à l'élevage du bétail, ou à l'infiltration d'eau des fosses septiques. Ce danger est renforcé par la texture sablonneuse et l'irrigation gravitaire directe, car l'irrigation est toujours en excès par rapport aux besoins des plantes et à la capacité de rétention d'eau.

Les mesures suivantes peuvent être prises dans un premier temps dans le système actuel d'irrigation et de culture pour remédier à la contamination:

- (1) Le contrôle de l'eau doit éviter de dépasser la capacité de la réserve utile du sol, tout en tenant compte de la nécessité d'une fraction de lixiviation au sel;
- (2) Les engrais azotés doivent être fractionnés et basés sur les besoins des plantes et les analyses du sol;
- (3) La surface du sol doit être couverte pendant toute l'année. Dans un deuxième temps, de nouvelles techniques d'irrigation, plus efficaces telles que l'irrigation localisée,

devraient être mises en œuvre pour réduire les besoins en eau et préserver la qualité de l'eau. Cela implique de former les agriculteurs, qui sont nombreux dans la région de Boussaâda, avec des programmes à moyen et long terme. D'autres recherches devraient être engagées sur le cycle d'azote et la fertilisation, en tenant compte des spécificités des conditions arides, pour obtenir des références agronomiques locales.

II.4. Faciès chimique des eaux

Il existe un grand nombre de classification des eaux naturelles d'après leur composition chimique dont le plus utilisé est celle de PIPER.

II.4.1. Diagramme de PIPER

Les différents échantillons d'eau ont été classés selon leur composition chimique en utilisant le diagramme de Piper (**Fig. II.13**). En utilisant ce type de graphique, trois types d'eau (faciès) ont été définis pour la zone d'étude. L'analyse a montré que le type d'eau Chlorurée Sulfatée calcique et magnésienne ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+}$) caractérise 100% des échantillons. Cette situation est principalement détectée le long du Chott El Hodna, dans la partie Nord de la zone d'étude. Ceci explique la présence d'eau à salinité élevée ($\text{EC} > 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$) dans cette partie de la plaine. Ces eaux sont liées à des formations salées autour du Chott El Hodna comme les marnes et les argiles.

La présence de formations calcaires fracturées et karstifiées sur la limite Ouest suggère une infiltration d'eau de pluie où elles acquièrent un faciès de calcite, ce qui explique la présence d'eau à faible salinité ($\text{CE} < 1000 \mu\text{S} / \text{cm}$) sur la partie Ouest.

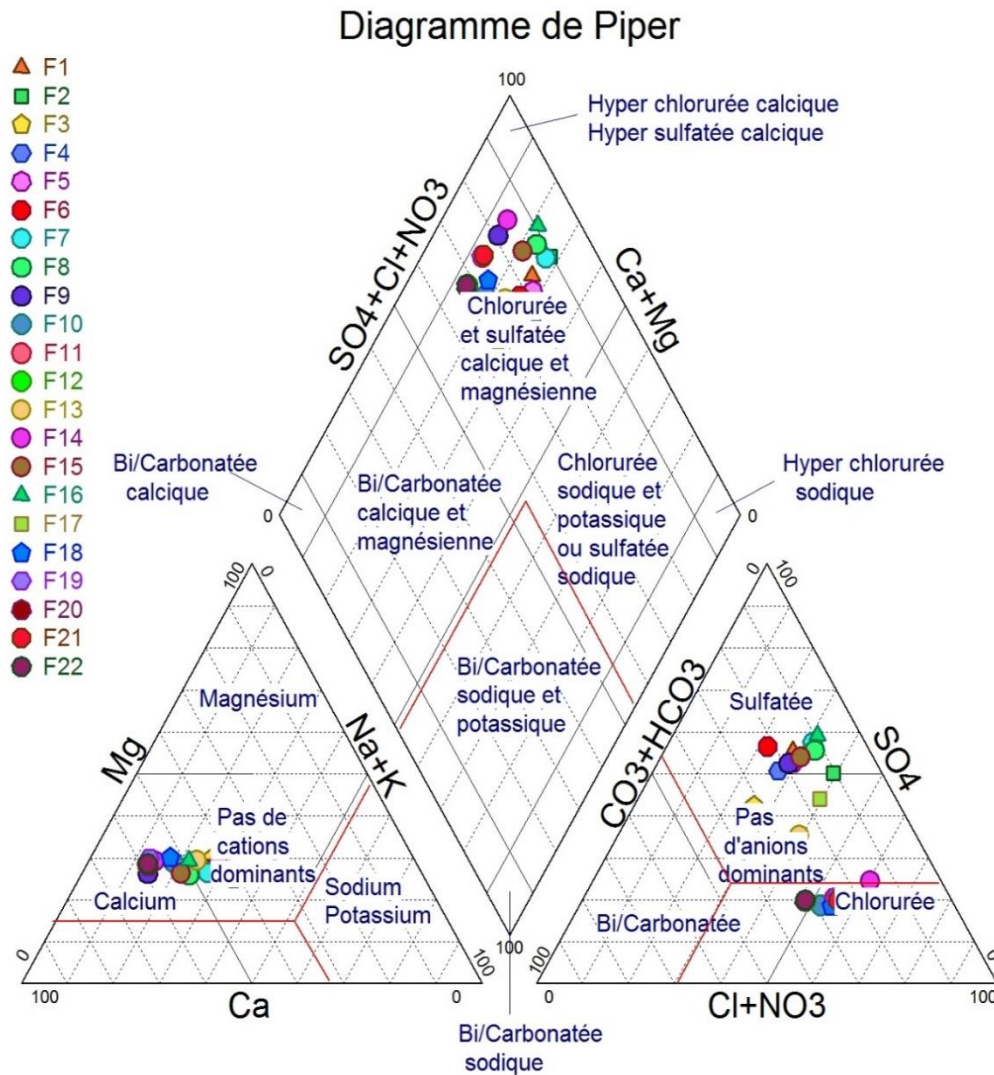


Fig.II.13. Classification des eaux d'irrigation de la plaine de Boussaâda selon PIPER

II.4.3. État de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Par sa qualité chimique l'eau souterraine au niveau de la plaine de Boussaâda est exploitée principalement pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'irrigation. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela, nous allons utiliser deux (02) méthodes simplifiées en fonction du type de sol, qui sont :

- Le taux d'absorption de sodium (SAR) ou Celle du Riverside
- Le pourcentage de sodium (Na %) du WILCOX.

II.4.3.1. Classification de WILCOX

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, est définie par la formule suivante :

$$\%Na^+ = \frac{(Na^+ + K^+)100}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq / l.

Cette classification définit cinq classes d'eau : -Excellente -Bonne -Admissible - Médiocre et -Mauvaise.

Tab. II.4. Résultats de la teneur en sodium (%Na⁺) des eaux souterraines de Boussaâda.

Classe	% des points d'eau
Excellente	00 %
Bonne	77%
Admissible	00%
Mediocre	18%
Mauvaise	05%

D'après le **tableau II.4** seulement 5% des points d'eau sont mauvaise et 18% des points d'eau sont de qualité médiocre; tandis que 77 % de ces points sont de bonne qualité pour l'irrigation.

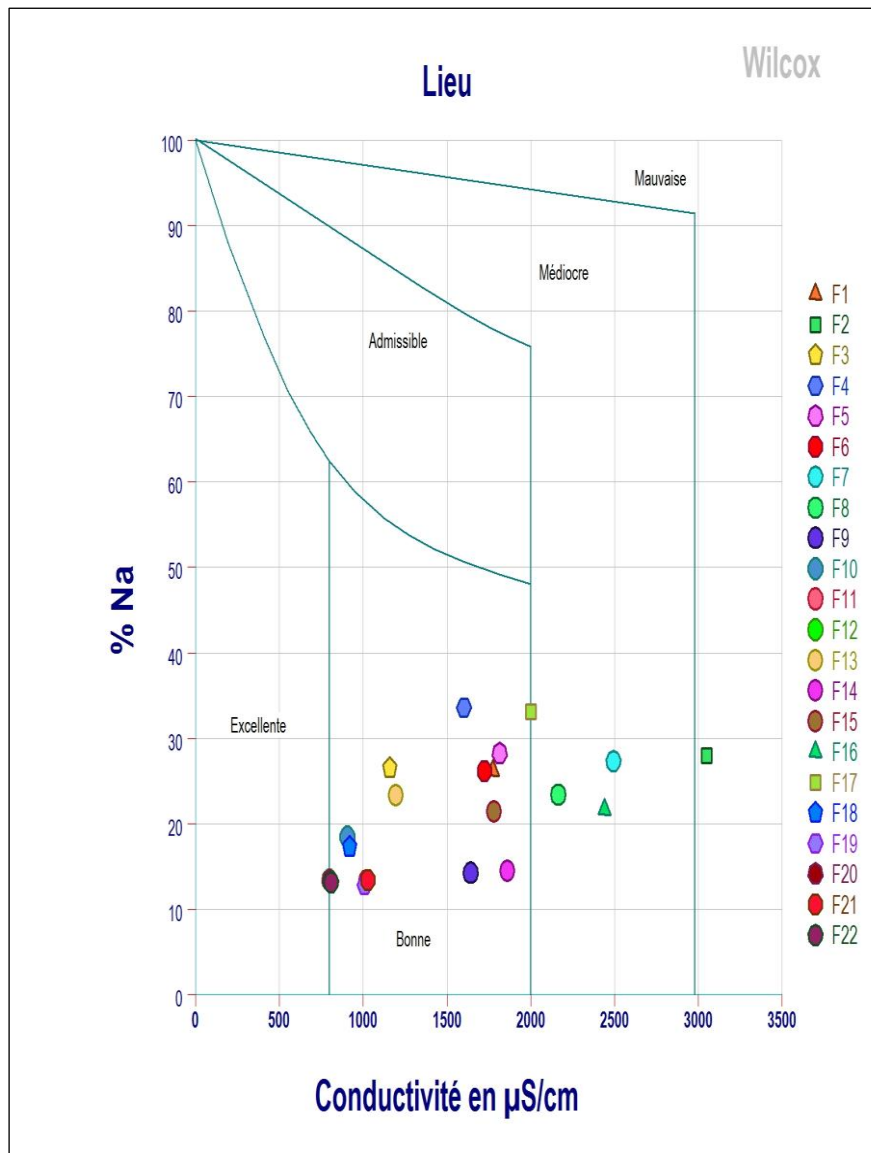


Fig.II.14 : Classification des eaux d'irrigation de plaine de Boussaâda selon WILCOX

II.4.3.2. Méthode du SAR

II.4.3.2.1. Le rapport d'adsorption du sodium-SAR

La méthode la plus couramment employer pour évaluer le potentiel de risque est celle de coefficient d'absorption de sodium (SAR). Le SAR utilisée en combinaisons avec la conductivité électrique (CE) de l'eau.

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq/l.

Tab. II.5. Résultats obtenus après interprétation du diagramme de SAR

Classes	Pourcentage des points d'eau
C3 S1	86
C4 S1	14

La représentation des données dans le diagramme de salinité américain décrit par Richards (1954) des 22 échantillons montre que dans l'ensemble de secteur d'étude, le S.A.R représente les quatre classes C3S1 et C4S1 (Tab. II.5) :

- 86 % des échantillons d'eau étaient dans la catégorie C3S1. Cette classe, désigne des eaux médiocres, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.
- 14 % étaient dans la catégorie C4S1 des échantillons d'eaux existaient dans cette classe. Cette distribution indiquant une salinité très élevée et un risque alcalin faible (Fig. III.15). Cette classe indique des eaux de mauvaise qualité, fortement minéralisées, qui ne peuvent convenir qu'à des espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

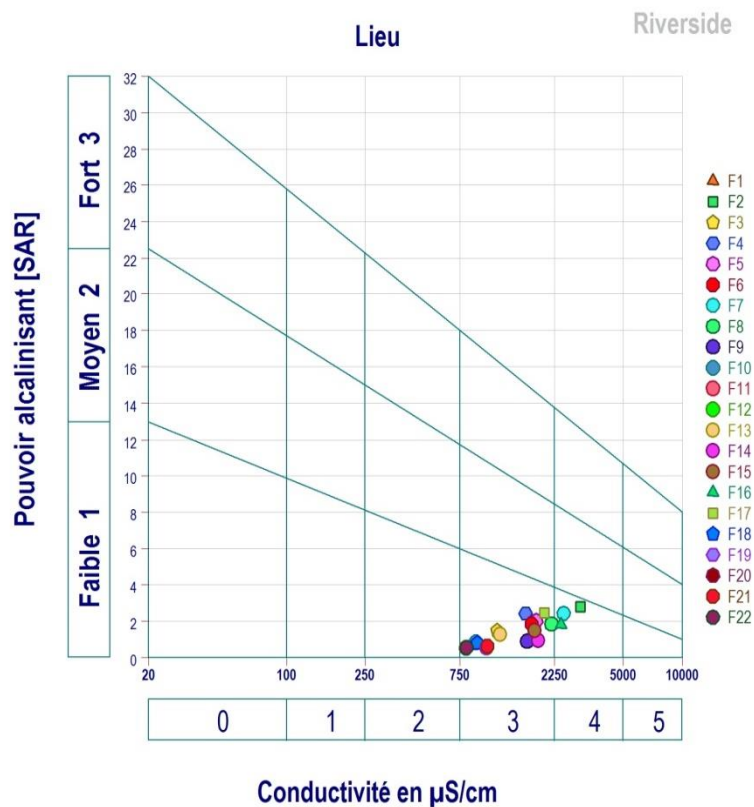


Fig.II.15 : Diagramme de RICHARDS des eaux souterraines de la nappe de Boussaâda

II.4.3.2.2.. La conductivité électrique

La salinité ou concentration totale de l'eau est à l'origine des risques salins liés à une présence excessive de sels, quelle que soit leur nature.

Selon **Ayers et Westcot (1988)** ; quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture.

Selon la classification du risque de la salinité, la majorité des échantillons d'eau souterraine de la région d'étude (61%) appartiennent à une catégorie inappropriée, tandis que les autres échantillons (39%) appartiennent à la catégorie de la mauvaise qualité de l'eau (**Tab. II.6**).

Tab. II.6. Classes de risque salin

Risque	Conductivité ($\mu\text{S} / \text{cm}$)	Qualité	Pourcentage des points d'eau
C1 risque faible	$CE < 250$	Excellente	0
C1 risque moyen	$250 < CE < 750$	Bonne	14
C1 risque élevé	$750 < CE < 2250$	Mauvaise	68
C1 risque très élevé	$2250 < CE$	Inappropriée	18

A decorative border surrounds the text. It features a series of diamond-shaped stones along the top and bottom edges. The corners are adorned with intricate, ornate scrollwork and floral patterns. The overall design is elegant and classic.

Conclusion

générale

L'étude que nous avons menée dans la région de Boussaâda nous a permis de faire une approche à la connaissance de la qualité des eaux souterraines par différentes méthodes graphiques et statistiques. Cette étude est basée sur des données et connaissances de la zone d'étude telles que :

- La région de Boussaâda est caractérisée par un climat aride, sec et très chaud en été et très froid en hiver avec des températures qui varient entre 4,2 °C au mois janvier à 40,2°C en juillet. Les précipitations moyennes annuelles atteignent 282 mm sur une période de vingt ans, et qui s'étale entre (2000-2020).
- Le cadre géologique : de la région de Boussaâda présente des formations susceptibles d'être aquifère et renferme les conditions favorables pour l'accumulation des eaux souterraines à partir des bords de la plaine où affleurent des barres carbonatées tels que les calcaires et les dolomies.

En termes d'hydrogéologie, l'aquifère de l'époque Plio-Quaternaire est composé de couches perméables constituées de sable, de gravier, de galets et de conglomérats. Ces éléments constituent la principale source d'irrigation dans la plaine de Boussaâda. De plus, cette nappe phréatique est alimentée par les massifs qui entourent la plaine.

- L'analyse hydrochimique de l'eau souterraine de cet aquifère, que ce soit par l'étude cartographique des paramètres physico-chimiques des eaux de forage et des représentations graphiques, révèle que la plupart des points d'eau offrent une qualité d'eau acceptable pour l'irrigation. Cette eau présente un risque minime pour les cultures et les sols. Les représentations chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper ont révélé que la qualité des eaux souterraines est définie par un seul type de faciès chimique prédominant est celle du chlorurée et sulfaté calcique et magnésien.

Afin de protéger les nappes souterraines et la santé humaine, il est impératif de conseiller aux agriculteurs de limiter l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de pesticides dans les sols à forte perméabilité. Ces pratiques agricoles intensives augmentent le risque d'infiltration des éléments chimiques vers les eaux souterraines, le contaminant et les rendant impropres à la consommation. De plus, il est crucial de promouvoir des techniques d'irrigation économes en eau, telles que l'irrigation goutte-à-goutte, pour réduire le pompage excessif des nappes d'eau souterraines, préservant ainsi cette précieuse ressource en luttant contre les polluants.

Dans le souci de préserver la ressource en eau souterraine qualitativement et quantitativement et lui assurer une gestion rationnelle et durable, il est souhaitable de prendre les recommandations suivantes :

Réalisation de nouveaux ouvrages de mobilisation des ressources en eau superficielles

(petits barrages et retenues collinaires) à usages agricoles.

- Encourager les agriculteurs à utiliser la ressource en eau superficielle dans l'irrigation tout en contrôlant sa qualité.
- Contrôler et suivre l'état et la qualité de la nappe Plio-Quaternaire par la réalisation de piézomètres bien répartis sur l'ensemble de la plaine.
- Etendre le rayon du périmètre de protection à l'ensemble de la plaine afin d'éviter la surexploitation par les agriculteurs.
 - Drainer les sols pour lutter contre le problème de salinité et de mettre en place des mesures correctives appropriées pour améliorer la qualité des eaux souterraines.
 - Minimiser l'utilisation de la technique d'irrigation par ruissellement et le contrôle de l'eau doit éviter de dépasser la capacité de la réserve utile du sol,
 - Les engrais azotés doivent être fractionnés et basés sur les besoins des plantes et les analyses du sol;
 - Pratiquer l'irrigation localisée pour réduire les besoins en eau et préserver la qualité de l'eau.

Les Références:

A

- Agriculture.gouv, 2014.**Mieux gérer l'azote pour réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole.pdf
- Aissou, 2019.**rapport du TP Cartographie de Bousaada. (researchgate.net)
- ALAMI S, (2011).**tutoriel d'utilisation de surfer 09 stratégie, caribsat-Action 6.
- Amroune A, 2008.** Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de M'Sila, Mémoire de Magister, Université de Batna, (Algérie), 133 pages.
- Amroune A, Mihoub R, Guastaldi E, & Urena-Nieto C, 2020.** Groundwater Flow Dynamics and Distribution of Hydrochemical Facies Using GIS in Hodna Plain, M'Sila, Southeastern Algeria. International Journal of Sustainable Development and Planning,15 (6), 789-800.
- Amroune A, 2020.** Polycopié de cours : Hydrogéologie. Licence Sol et Eau, Département des Sciences agronomiques, Université de M'Sila, 58 p.
- Antoine Lavoisier, 1800.**« L'Importance du cycle de l'azote [archive] », sur Blogue du bureau d'études PermacultureDesign (consulté le 1er janvier 2019)
- anses, 2022.**Réduire l'exposition aux nitrites et aux nitrates dans l'alimentation | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- Atmani S, Baza K, 2017.** Contribution à l'étude hydro chimique des eaux d'irrigation en zone semi-aride -cas de la plaine de BOU SAADA (Sud-Est Algérien). 138p
- AYERS R S, WESTCOT D.W, 1988.** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de Drainage. 29 Rév. 1, 165 p

B

- Bader Mahaman Dioula, 2022.**4.-Rotation-et-association-des-cultures.pdf (actioncontrelafaim.org)
- Baran N, 2017.**Etude des transferts des pesticides et du nitrate dans les alluvions anciennes du couloir de Meyzieu
- Barbier J , 2011.** Tell me, little spring... some secrets of Naiads (in French). Les Editions Persée, New York
- Belouadah N., 2009.** Développement urbain et préservation du patrimoine architectural dans les médinas Cas de la médina de Bou

Saada, Mémoire Magister, Université Mohamed Khider – Biskra. 280 p.

Bernard-Jannin, 2016.Modélisation du processus de dénitrification dans les eaux souterraines des plaines alluviales

Boukerche, Aouacheri and Saka, 2007.Les effets toxiques des nitrates: Étude biologique chez l'homme et chez l'animal

BRGM, 2013. Plateforme des bonnes pratiques pour l'eau du grand Sud-Ouest, 2013)
Recharge artificielle des eaux souterraines : état de l'art et perspectives (ONEMA-
BRGM, 2013) - Plateforme des bonnes pratiques pour l'eau du grand Sud-Ouest
(bonnespratiques-eau.fr)

BRGM,2022-2023.État des nappes d'eau souterraine : un suivi assuré par le BRGM

C

Crawford, 1995.Nitrate: nutrient and signal for plant growth

CH12. AMINES ET DERIVES AZOTES', 2020.ch12_amines_et_derives_azotes.pdf
(chimieorga.com)

D

Depovere, 2002.Paul Depovere, La classification périodique des éléments. La merveille fondamentale de l'Univers, De Boeck Supérieur, 2002, p. 99.

Dommergues and Mangenot, 1970.Yvon R. Dommergues et François Mangenot, Écologie microbienne du sol, Masson et Cie, 1970, p. 198.

E

Eric Craswell,2021.Fertilizer management, Fertilizer nitrogen, Ground water, Nitrate, Soil nitrogen, Surface water, Water pollution -SN Applied Sciences

Espejo-Herrera , 2016.Colorectal cancer risk and nitrate exposure through drinking water and diet

E-learning M'sila-cours, 2020. CYCLES BIOGEOCHIMIQUES-COURS.PDF (UNIV MSILA.DZ)

F

Freedman , 2007.A Prospective Study of Tobacco, Alcohol, and the Risk of Esophageal and Gastric Cancer Subtypes

G

GERMON Jean-Claude, 2022.Les nitrates dans l'environnement - Encyclopédie de l'environnement

Giulia Graziati, 2024.Plaine alluviale : définition, caractéristiques, flore et faune

Goldewijk , 2017.Bou Saâda - Population et démographie - CityFacts (city-facts.com)

Gordon W. Holtgrieve et al., 2011. Gordon W. Holtgrieve et al. (2011), "A Coherent Signature of Anthropogenic Nitrogen Deposition to Remote Watersheds of the Northern Hemisphere", Science Magazine, 16 décembre 2011, 1545-1548 (résumé [archive])

Guéraud , 2023.Effects of sodium nitrite reduction, removal or replacement on cured and cooked meat for microbiological growth, food safety, colon ecosystem, and colorectal carcinogenesis in Fischer 344 rats

J

Jones , 2019.Ingested nitrate, disinfection by-products, and risk of colon and rectal cancers in the Iowa Women's Health Study cohort

K

Kaabeche and Lacoste, 1990.Les groupements végétaux de la région de Bou Saada (Algérie); essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb (inist.fr)

khier saidani, 2022.Visiter Bou Saâda : la cité du bonheur (destination-algerie.net)

Kammerer and Siliart, 1993.Article original Toxicité à moyen terme des nitrates : évaluation expérimentale des effets sur les fonctions de reproduction chez la lapine

L

Lilou Colombel- RAINÉA, 2024.Changement climatique et nappes phréatiques – RAINÉA

Ludlow, Wilkerson and Nappe, 2023.Methemoglobinemia: Etiology, pharmacology, and clinical management

Lund, Horne and Williams, 1999 Lund, L. J., Horne, A. J., & Williams, A. E. (1999). Estimating **denitrification** in a large constructed wetland using stable nitrogen isotope ratios. Ecological Engineering, 14(1), 67-76 (résumé [archive])

M

Mariotti, A. et al, 1988. Mariotti, A., Landreau, A., & Simon, B. (1988). 15 N isotope biogeochemistry and natural denitrification process in groundwater: Application to the chalk aquifer of northern France. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(7), 1869-1878.

Melalih A., 2012. Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la zone aride cas bassin versant d'AIN SEFRA, Mémoire

Magister en S-Agronomie, Université Abou-BekrBelkaid de Tlemcen. 120 p

Mimoune S, 1995. Management of salt-affected soils and desertification in an endoreic basin, South of the Chott El Hodna, Algeria (in French). PhD thesis, Université d'Aix-Marseille I

P

Patrick PHILIPON, 2022. Dépollution des sols et nappes : le métier évolue avec le contexte général - La Revue EIN

PDF-Rapport stage bousaada, 2019a. (PDF) Rapport stage bousaada (researchgate.net)

Père Igor, 2018. La gestion et la protection des eaux souterraines

R

Robert Barbault, 2008. Robert Barbault, *Écologie générale : Structure et fonctionnement de la biosphère*, 5e édition, Dunod, p. 32

Rysgaard, S et al, 1994. Rysgaard, S., Risgaard-Petersen, N., Sloth, N. P., Jensen, K., & Nielsen, L. P. (1994). Oxygen regulation of nitrification and denitrification in sediments. *Limnology and Oceanography*, 39(7), 1643-1652 (résumé [archive])

S

Said, 2012. Gravures rupestres de la région de Bousaâda — Wikipédia (wikipedia.org)

Sajad Chamandoost, 2016. https://www.researchgate.net/publication/327553102_A_Review_of_Nitrate_and_Nitrite_Toxicity_in_Foods

SARI A, 2002. Initiation à l'hydrologie de surface. Université de Bab Ezzouar, Alger. Edition : Houma .224p.

smage2morin, 2021. Fiche_3_Proteger_les_nappes_d_eau_souterraines.pdf (smage2morin.fr)

Srouf, 2023.Dietary exposure to nitrites and nitrates in association with type 2 diabetes risk: Results from the NutriNet-Santé population-based cohort study

Stéphanie Leyronas,et , 2020.Prévenir la dégradation et la surexploitation des eaux souterraines Agir dès maintenant dans le secteur agricole

T

TABOUSSI F , 2019. Cartographie des indicateurs de qualité des eaux souterraines destinées à l'irrigation dans la région nord du Chott El Hodna , université Mohamed Boudiaf - m'sila .

U

Us EPA, 2023.Sources and Solutions: Agriculture | US EPA

V

Vincent Lallouette, 2014.Pratiques agricoles et nitrates dans les milieux aquatiques

W

Wang , 2014.New Insight into the Strategy for Nitrogen Metabolism in Plant Cells

Ward , 2018.Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review

White and Ding, 2023.Long-distance transport in the xylem and phloem

Wright, Lewander and Woolf, 1999.Methemoglobinemia_book

Y

Yamina and Mounir, 2019.Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement Pollution nitrique des eaux souterraines cas de la nappe de la Mitidja.pdf

A decorative border surrounds the page, featuring a series of diamond-shaped stones along the top, bottom, and sides. The corners are adorned with intricate, ornate scrollwork and floral patterns. The word "Annexe" is centered in the middle of the page.

Annexe

ANNEXE 01

Répartition des pluies moyennes mensuelles de la station de Boussaâda (2000-2020)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
P (mm)	14.5	19.8	18.1	21	19.9	17.5	15,6	16.3	22.1	11.3	5.2	2.3

Répartition des températures moyennes et mensuelles de la station de Boussaâda (2000-2020)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
T max	32,7	27,1	19,4	15,3	14,7	16,8	21	24,9	30	36	40,2	38,9
T min	19,7	14,5	8,7	5,2	4,2	5	8,4	11,9	16,2	21,1	24,6	24,1
T moy	26,2	20,8	14,05	10,25	9,45	10,9	14,7	18,4	23,1	28,55	32,4	31,5

l'ETP de la Station de BOU SAADA selon C.W.Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
T (°C)	24,6	19,92	12,33	12,47	10,12	11,41	13,97	19,44	22,01	28,72	31,7	29,71	19,7
I	10,91	7,95	3,87	3,94	2,88	3,45	4,67	7,67	9,23	13,76	15,96	14,48	99,13
ETP (calculé)	106,93	68,79	25,24	25,84	16,7	21,46	32,77	65,37	84,74	147,79	181,66	158,64	962,93
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	-
ETP(corrigé) mm	110,14	66,73	21,7	21,96	14,52	18,24	33,75	71,25	102,5	178,82	223,44	184,02	1047,1

ANNEXE 02

Tableau : les valeurs de S.A.R et teneur de Na% et les coordonnées des forages

Forages	Na%	Forages	SAR
F1	117	F1	0.86
F2	233	F2	0.95
F3	73.2	F3	0.90
F4	132	F4	1.22
F5	123	F5	0.99
F6	114	F6	0.85
F7	178	F7	0.90
F8	132	F8	0.71
F9	59	F9	0.37
F10	37.1	F10	0.53
F11	29.1	F11	0.35
F12	24.05	F12	0.35
F13	63.9	F13	0.75
F14	63.2	F14	0.39
F15	94	F15	0.63
F16	142	F16	0.67
F17	143.2	F17	1.48
F18	36.5	F18	0.49
F18	28.5	F18	0.34
F20	23.95	F20	0.35
F21	29.5	F21	0.35
F22	23.65	F22	0.35

ملخص

تأثير الممارسات الزراعية على تركيز النترات في طبقة المياه الجوفية: حالة طبقة المياه الجوفية بوسعادة، جنوب شرق الجزائر

يتضمن هذا العمل دراسة النوعية الفيزيائية الكيميائية للمياه الجوفية في سهل بوسعادة ورسم خرائط لتوزيع العناصر الكيميائية الرئيسية باستخدام برنامج رسم الخرائط سيرفر 19.2. تأتي عناصر الكلور والكبريتات والصوديوم بشكل رئيسي من التكوينات التبخيرية وتأثير شط الحضنة في شمال السهل. ويعزى ارتفاع تركيز النترات إلى الاستخدام المفرط للأسمدة العضوية والكيميائية من قبل المزارعين. وبالفعل، فإن مياه الري متوسطة الجودة، ولا يمكن استخدامها إلا لري المحاصيل التي تتحمل الملوحة، في تربة جيدة التصريف أو نفاذية التربة مع ملوحة يجب التحكم فيها.

الكلمات المفتاحية: سهل بوسعادة، المياه الجوفية، النترات، رسم الخرائط، الري، الجودة الفيزيائية والكيميائية.

RESUMÉ

Impact des pratiques agricoles sur la concentration en nitrates d'une nappe alluviale : cas de la nappe de Boussaâda, sud est algérien

Ce travail comporte l'étude de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de Bou Saada et la cartographie de la distribution des principaux éléments chimiques à l'aide du logiciel de cartographie Surfer 19.2. Les éléments de chlore, de sulfate et de sodium proviennent principalement des formations évaporitiques et l'influence du Chott El Hodna au Nord de la plaine. La haute concentration des nitrates est attribuée à l'utilisation excessive d'engrais organiques et chimiques par les agriculteurs. En effet, les eaux d'irrigation sont d'une qualité médiocre, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.

Mots clés: Plaine de Boussaâda, eaux souterraines, nitrates, cartographie, irrigation, qualité physico-chimique.

ABSTRACT

Impact of agricultural practices on the nitrate concentration of an alluvial aquifer: case of the Boussaâda aquifer, south-eastern Algeria

This work involves a study of the physico-chemical quality of groundwater in the Bousàada plain and the mapping of the distribution of the main chemical elements using Surfer 19.2 mapping software. The chlorine, sulphate and sodium elements come mainly from the evaporite formations and the influence of the Chott El Hodna to the north of the plain. The high concentration of nitrates is attributed to the excessive use of organic and chemical fertilisers by farmers. Indeed, irrigation water is of mediocre quality, usable only for irrigating salt-tolerant crops, on well-drained or permeable soils, with a salinity that must be controlled.

Keywords: Bousàada Plain, groundwater, nitrates, mapping, irrigation, physicochemical quality.