

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



Université Abbès Laghrour -Khenchela –
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement
Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème

*Contribution à l'étude de la contamination des
eaux souterraines à usage agricole par les
nitrates dans la plaine d'El Mahmel
(Sud Est de Khenchela)*

Présenté par : - Ramdani Abdelmadjid

- Belkharchouche Adel

Devant les jurys :

Président : Dr. Aouidane Laiche

M.A.A Université Abbès Lagherour Khenchela

Examineur : Dr. Daïf allah Tarek

M.A.A Université Abbès Lagherour Khenchela

Encadreur : Dr. Boulabeiz Mahrez

M.A.A Université Abbès Lagherour Khenchela

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2020/2021

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu (ALLAH) le tout puissant, qui nous a donné le courage, la force et la patience d'achever ce travail.

Nous remercions très sincèrement notre encadreur, monsieur BOULABEIZ Mahrez, pour sa confiance, sa patience, ses judicieux conseils, ainsi que l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

Nous avons l'honneur que le jury soit présidé par monsieur AOUIDANE Laïche et DAIF ALLAH Tarek d'avoir accepté d'examiner ce travail.

En fin, nous tenons à remercier chaleureusement tous nos enseignants, sans vous, nous sommes convaincus que n'aurons jamais pu obtenir notre diplôme.

Dédicace

Au nom d'Allah qui nous a éclairé nos chemins vers le succès,

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chères parents Brahim et Saïda, qui n'ont jamais cessé de me donner le courage et du soutien pour que je puisse finir mes études et à qui je voudrais exprimer mes affections et gratitude, un grand merci à mes grandes mères.

A mes chères sœurs Lina, Hind et Selma

A mon cher binôme et frère Adel et sa famille

A ma chère aimée Sarah

A mon oncle Omar

A tous mes oncles et mes tantes surtout Zahira

A tous ma grande famille Ramdani et ma deuxième famille Ouled Afou

Tous mes amis et tous ceux qui me sont chères : Abd Allah, Nacer, Abd Esselam, Marouane, Kacem, Ramzi, Hacem, Salah, Anis et Aïssam

Tous mes collègues de la promotion Protection des écosystèmes qui ont partagé avec moi les longues années d'études.

Et tous ceux qui m'ont aidé du près ou du loin et m'ont souhaité toujours la réussite et le bonheur.

Abdelmadjid Ramdani.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, à ma sœur Rayan

A mes tantes et oncles et toute ma famille Belkharchouche et Yakhlef

A mes très chers amis : Ramzi Brahmi, Lakhzoum Nesrine, Ben Amren Siham, Ghazel Abdelhamid, Amor Med Anis, Aibach Linda, Med Cherif Abdelkader et Caid Houda, sans oublier : Aissam, Alla, Nadir, Zouhir, Brahim, Djassem, Amar et Wassim

A tous mes collègues de la promotion de Protectio des écosystèmes

A mon binom, plus tot à mon pote Abdelmadjid Ramdani et sa famille

A tous ceux et celles qui m'ont aidé et encourager du près ou du loin au cours de la réalisation de ce travail.

Adel Belkharchouche.

Table des matières

1 INTRODUCTION GENERALE 1

Partie I. Synthèse bibliographiques

2 Synthèse bibliographiques 3

2.1. Introduction 3

2.2. Ressources en eau 3

2.2.1. Définition 3

2.2.2. Cycle de l'eau 4

2.3. Irrigation en Algérie 4

2.4. Pollution des eaux 5

2.4.1. Définition 5

2.4.2. Sources de pollution 5

2.4.2.1. Pollution ponctuelle 5

2.4.2.1.1. La pollution urbaine 5

2.4.2.1.2. La pollution industrielle 6

2.4.2.2. La pollution diffuse 6

2.4.2.3. Pollution agricole 7

2.4.2.3.1. La pollution atmosphérique 7

2.4.3. Les principaux polluants des eaux 8

2.4.3.1. Les matières en suspension 8

2.4.3.2. La matière organique 8

2.4.3.3. Les polluants métalliques 9

2.4.3.4. Les sels minéraux 9

2.4.3.5. Polluants microbiologiques des eaux 9

2.5. L'azote 10

2.5.1. Les différentes formes de l'azote 10

2.5.1.1. Gazeuse 10

Table des matières

2.5.1.2.Minérale	10
2.5.1.3.Organique	11
2.5.2.Cycle de l'azote	11
2.5.2.1.Minéralisation.....	11
2.5.2.2.Ammonification	12
2.5.2.3.Nitrification	12
2.5.2.4.Dénitrification	12
2.5.2.5.Volatilisation	12
2.5.3.L'absorption de l'azote par les plantes.....	12
2.6.La pollution des eaux souterraines par les nitrates.....	12
2.6.1.L'origine des nitrates dans les eaux souterraines	13
2.6.1.1.Nitrates provient de l'agriculture moderne	15
2.6.1.2.Nitrates d'origine domestique	16
2.6.1.3.Nitrates d'origine industrielle.....	16
2.6.2.Impacte de nitrate	18
2.6.2.1.Sur l'environnement	18
2.6.2.2.Sur la santé humaine	18
2.6.3.Contamination des eaux par les nitrates en Algérie	19

Partie II. Présentation de la zone d'étude

Chapitre 1 : Le milieu physique

3.Description du site d'étude.....	20
3.1.Sur le plan géographique.....	20
3.2.Sur le plan démographique.....	21
3.3.Climatologie	22
3.4.Le milieu physique	22
3.4.1.Les reliefs	22
3.4.2.La lithologie	23

Table des matières

3.4.3.Pédologie	24
3.5.Caractéristiques hydrographiques	25
3.5.1.Les principaux oueds sont	25
3.6.Situation agricole.....	26
Le couvert végétal	26
3.7.L'agriculture.....	27
3.8.Les ressources en eau	29
3.8.1.Les eaux superficielles	29
3.8.2.Les eaux souterraines	29
3.9.L'élevage	29

Chapitre 2: le cadre géologique et hydrogéologique

4.Le cadre géologique et hydrogéologique	30
4.1.Introduction	30
4.2.Cadre géologique de la zone d'étude	31
4.2.1.Stratigraphie	31
4.2.2.Quaternaire	32
4.3.Cadre hydrogéologique	33
4.3.1.Tectonique.....	35
4.3.2.Conclusion.....	36

Partie III. Résultats et discussion.

Chapitre 1 : Matériels et méthodes

5.Matériels et méthodes	37
5.1 Introduction	37
5.2.Le mode de prélèvement	37
5.3.Paramètres physico-chimiques analysés	38
5.4.YSI Pro DSS (Description)	39
5.5.Intérêt scientifique des paramètres mesurés	39

Chapitre 2: Résultats et discussion

6.Résultats et discussion.....	42
6.1.La température.....	42
6.2.Le pH.....	44
6.3.La conductivité électrique (CE)	46
6.4.L'oxygène dissout O ₂	48
6.5.Total des solides dissous TDS (mg/l).....	50
6.6.Les Nitrates NO ₃ ⁻	52
6.7.Causes de la pollution nitrique	53
6.8.Conclusion.....	55
7.Conclusion générale et recommandations.....	56
7.1.Conclusion.....	56
7.2.Recommandations	57

Liste des figures

Figure 1: Cycle de l'eau.....	4
Figure 2: Le rejet des eaux domestiques et de déchets au niveau de la Sebkhha	6
Figure 3: Le cycle de l'azote.....	11
Figure 4: L'épandage en agriculture moderne.	16
Figure 5: Le syndrome du bébé-bleu.....	19
Figure 6: La situation géographique de la zone d'étude.....	21
Figure 7: Le réseau hydrographique d'El Mahmel.	26
Figure 8: Occupation du sol de la zone d'étude	28
Figure 9: Coupe lithologique du forage d'El Mahmel.....	31
Figure 10: Roche de forme triasique.....	33
Figure 11: carte géologique de la plain Del Imahmel (extrais de carte géologique de delle feuille N204 SONATRACH ; Ounissi, 2017).....	35
Figure 12: Appareille utilisée pour mesuré les paramètres physico-chimique.....	39
Figure 13: Carte d'inventaires d'échantillonnage des eaux souterraines.....	41
Figure 14: Carte d'iso valeur de la température.	42
Figure 15: diagramme de variation des valeurs de la température.....	43
Figure 16: Carte d'iso-valeurs du pH.....	44
Figure 17: diagramme de variation des valeurs de pH.....	45
Figure 18: Carte d'iso-valeurs de la conductivité électrique.....	46
Figure 19: diagramme de variation des valeurs de la conductivité électrique.....	47
Figure 20: Carte d'iso-valeur de l'oxygène dissout.....	48
Figure 21: diagramme de variation des valeurs de l'oxygène dissout.....	49
Figure 22: Carte d'iso-valeurs des solides dissous totaux.....	50
Figure 23: Diagramme de variations des valeurs de TDS.....	51
Figure 24: Carte d'iso-valeurs des nitrates.....	52
Figure 25: diagramme de variation des valeurs des nitrates.....	53
Figure 26: Carte de profondeur de la nappe de la zone d'étude.....	54
Figure 27: Carte d'occupation du sol de la zone d'étude.....	54

Liste des tableaux

Tableau 1: les différentes formes d'azote et leur présence.....	15
Tableau 2: Représente les sources de la pollution des eaux souterraines par les nitrates	17
Tableau 3: La répartition de la population d'El Mahmel.	22
Tableau 4: Synthèse statistique du paramètre Température (T°).....	43
Tableau 5: Synthèse statistique du paramètre de pH.	45
Tableau 6: Synthèse statistique du paramètre CE ($\mu\text{s/cm}$).....	47
Tableau 7: Synthèse statistique du paramètre de l'oxygène dissout.	49
Tableau 8: Synthèse statistique du paramètre de TDS (mg/l).	51
Tableau 9: Synthèse statistique des nitrates (mg/l).	53

Liste des abréviations

SAU : La surface agricole utile.

GPI : Les grands périmètres d'irrigation.

PMH : Les irrigations de petite et moyenne hydraulique.

OPI : Organisme patronale des industries.

% : Le pourcentage.

MES : Les matières en suspension.

MO : La matière organique.

MOD : La matière organique dissoute.

HATS : High System Affinity Transport. (Système de transport à haute affinité).

LATS : Low System Affinity Transport. (Système de transport à faible affinité).

OMS : Organisation Mondial de la Santé.

UN Water : United Nations Water. (Nations unies de l'Eau).

EPA : Environmental Protection Agency. (L'Agence de Protection de l'Environnement).

MOH-NZ : New Zealand Ministry of Health.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

DPAT : la direction de la planification et l'aménagement de territoire de Khenchela.

RGPH : Recensement Générale de la population et de L'habitat.

SAR : Le taux d'adsorption du sodium.

pH : le potentiel d'hydrogène.

N₂ : l'azote.

NO₃⁻ : les nitrates.

NO₂⁻ : les nitrites.

NH₄⁺ : l'ammonium.

NH₃ : l'ammoniac.

H₂O : l'eau.

SIG : Système d'information géographique.

°C : Degré Celsius.

1 INTRODUCTION GENERALE :

Dans de nombreux pays les eaux souterraines sont la seule source pour satisfaire leur besoins en eau potable et pour l'irrigation à cause de l'insuffisance des ressources. Ces dernières décennies, cette source est touchée et contaminée par les activités agricoles intensives et les engrais chimiques qui deviennent un problème sérieux nécessite une solution urgente.

En Algérie, L'approvisionnement en eau dépend fortement des eaux souterraines pour l'agriculture, la consommation et l'industrie. L'agriculture dans le nord de l'Algérie repose sur l'irrigation en eaux souterraines, constituée d'aquifères côtiers relativement récents et peu profonds, qui sont activement rechargés par les précipitations. Au sud, les aquifères sédimentaires profonds contiennent d'immenses quantités d'eaux souterraines «fossiles» qui ne sont pas activement rechargées. La baisse du niveau des eaux souterraines dans certaines zones montre qu'une certaine surexploitation est en cours. **(Chabour et al. 2018).**

La contamination des eaux souterraines par les nitrates est un problème environnemental majeur qui a suscité l'intérêt des chercheurs et des décideurs dans plusieurs régions dans le monde. En Algérie, les pratiques de fertilisation intense des sols dans certaines plaines agricoles et les rejets d'effluents industriels et domestiques ont augmenté la teneur en nitrates des eaux des nappes dans plusieurs régions durant ces dernières années. **(Baali et al. 2007 ; Drouiche et al. 2011).**

Dans les régions arides et semi arides, les eaux souterraines sont l'une des ressources naturelles les plus précieuses en raison des précipitations négligeables et de la rareté des ressources en eau de surface **(Neshat et al. 2014 ; Choubin & Malekian, 2017)**. Bien que le devenir du nitrate dans les eaux souterraines des régions semi-arides soit le résultat de l'interaction de nombreux facteurs, nombre d'entre eux les études existantes se concentrent sur les processus individuels du «phénomène des concentrations élevées de nitrates». L'application excessive d'engrais azotés stimule son lessivage rapide vers les nappes d'eau peu profondes qui facilite l'entrée des nitrates dans les eaux souterraines et détermine le chargement de nitrates. **(Guo et al. 2006)**. L'épandage d'engrais ou de fumier ont augmenté les pertes de nitrate l'hiver, alors que la quantité de nitrate lessivé dépendait fortement sur l'intensité et la quantité des pluies **(Dekker & Bouma, 1984)**.

Introduction générale

La nappe d'El Mahmel (Sud de Khenchela) actuellement se trouve menacé par de nombreux foyers de pollution en particuliers les eaux d'irrigation chargées en nitrates, les rejets des eaux domestiques liquides et solides qui se déversées directement dans les eaux superficielles (cours d'eaux et Sebka) sans traitement préalable et en dehors de toute mesure de protection de l'environnement. Ces rejets s'infiltrent directement dans la nappe d'eaux souterraines sous l'effet de l'infiltration des eaux de précipitations. Cette situation est aggravée par la surexploitation des eaux souterraine surtout en période sèche créant un gradient hydraulique fort qui contribue à une large dispersion des polluants et la situation devient difficilement contrôlable. (Ounissi, 2017).

Cette étude a pour objectif d'améliorer les connaissances sur la qualité des eaux dans la région bordée par Sebka (salinité) et caractérisée par une agriculture intensive. De plus, d'identifier et comprendre les processus de la contamination de ces eaux par les nitrates, et d'évaluer leur distributions spatiales dans la plaine d'El Mahmel sur la base des méthodes analytiques et statistiques.

Le travail que nous présentons s'articule sur trois parties principales :

Parti I : Synthèse bibliographie :

Présentation des informations générale sur les ressources en eaux et les principaux éléments y présent y a compris les nitrates qui est notre sujet et ses influences sur la qualité des eaux souterraines ainsi sur les êtres vivants, et de définir les différents types est origines qui touchent les eaux souterraines.

Parti II : Consiste à présenter la zone d'étude :

- Chapitre 1 : présenter la zone d'étude en basant sur le cadre géographique, démographique et la situation agricole, ainsi les ressources en eau existants.
- Chapitre 2 : faire une présentation géologique et hydrogéologique qui nous donne des informations sur les types des roches en interaction avec les eaux souterraines.

Partie III : Résultats et discussion :

- Est de définir le protocole suit de prélèvement des échantillons et les différentes méthodes et matériels utilisé à fin de mesurer les principaux paramètres, ainsi leurs distribution au niveau de la zone d'étude.
- Faire une interprétation des résultats obtenus et déterminer l'influence des nitrates d'origine agricole sur la qualité des eaux souterraines.

Introduction générale

- Finalement, nous donnerons une conclusion générale de ce travail en mettant en évidence les résultats auxquelles nous avons abouti.

2 Synthèses bibliographiques :

2.1 Introduction :

Généralement, il est bien admis que l'eau dans la nature est rarement pure car différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution ou par un simple mélange. La composition de l'eau dépend de l'environnement dans lequel elle se trouve sous forme d'un processus d'écoulement ou d'un stockage. Ainsi, une eau est identifiée par ses propres caractéristiques physico-chimiques telles que la dureté, la salinité et le pH. Les éléments qui se mélangent à l'eau lui confèrent un chimisme particulier traduisant certaines propriétés ou spécificités intrinsèques au trajet suivi par l'eau. L'eau traverse des couches de terrains perméables, ce qui entraîne une augmentation de la minéralisation par lessivage des roches, notamment ceux à nappes libres. Cette situation donne lieu à des atteintes graves à la qualité de l'eau par contamination verticale (**Chaoui, 2007 ; Hemiche et al., 2017**)

Les eaux souterraines, constituent une ressource de qualité généralement meilleure par rapport à celle des eaux de surface. La vulnérabilité des systèmes aquifères situés à proximité des centres urbains, est matérialisée par une contamination par des affluents qui se jettent dans les cours d'eau. Comme il y'a une relation entre les eaux de surface et les eaux souterraines, la pollution est systématiquement étendue vers les eaux souterraines et superficielles par drainage ou infiltration.

2.2 Ressources en eau :

2.2.1 Définition

L'eau est un corps, incolore, inodore, et insipide de formule H_2O . C'est la seule molécule présente sur terre sous trois états : solide, liquide et gazeux. Elle se trouve en général dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques. L'eau est un solvant efficace pour beaucoup de corps solides c'est pour cette raison qu'elle est souvent désignée de « solvant universel ». L'eau que l'on trouve sur terre est rarement pure. Les chimistes utilisent de l'eau distillée pour leurs solutions, mais cette eau n'étant pure qu'à 99 %, il s'agit techniquement d'une solution aqueuse (**Birech & Messaoudi, 2006 ; Hemiche et al., 2018**).

2.2.2 Cycle de l'eau :

L'eau est la seule molécule à être présente sous trois états sur la terre : solide, liquide et gazeuse. L'eau peut changer d'état sans intervention humaine. Ces changements d'états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques présents dans l'atmosphère, donc de la pollution atmosphérique (Musy, 1998). Le cycle de l'eau (Figure 1) décompose le phénomène complexe de ces transformations successives de l'eau en différents états. Les 3 phases principales du cycle peuvent être résumées ainsi : évaporation, précipitation, écoulements souterrains et de surface. Leur élément moteur est l'énergie solaire (Musy, 1998). En fonction des caractéristiques géologiques du sous-sol, les eaux souterraines peuvent connaître de long temps de résidence, parfois de l'ordre du millénaire. (Beniston, 2009).

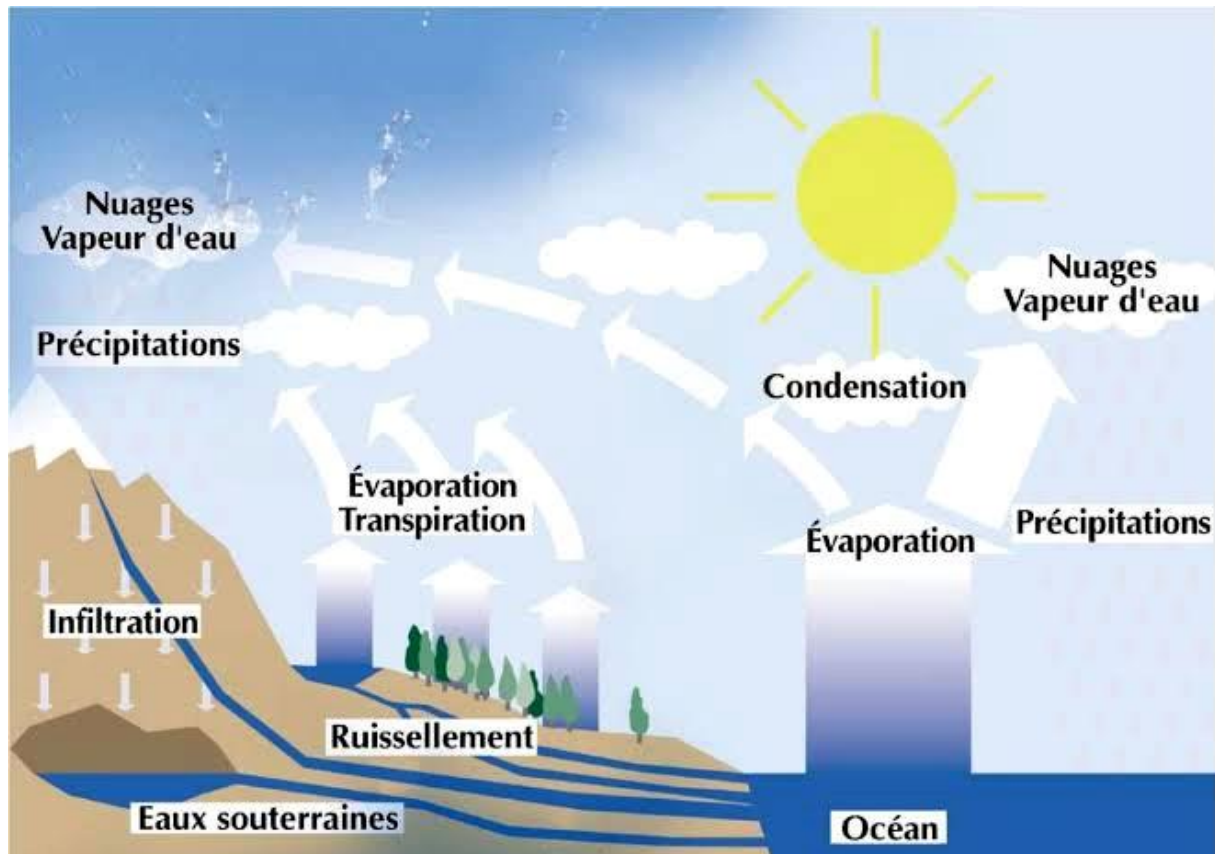


Figure 1: Cycle de l'eau.

2.3 Irrigation en Algérie :

L'usage de l'irrigation en Algérie est très ancien comme en témoigne les vestiges de l'époque romaine (bassins, aqueducs.). Des techniques d'irrigation séculaires fonctionnent encore à ce jour. Ces différentes techniques (foggaras, seguias, ceds, puits balanciers...) sont adaptées à un potentiel d'une grande diversité (plaines côtières, piémonts, hautes plaines,

Synthèses bibliographiques

steppes, oasis.). La réalisation des grands périmètres algériens actuels a commencé durant la période coloniale. **(Boulahia, 2016).**

L'irrigation consiste une fourniture artificielle et répartition systématique d'eau sur des terres agricoles. Elle vise à pallier le manque ou l'insuffisance d'eau de pluie, particulièrement : L'irrigation permet d'améliorer le rendement des terres agricoles, mais implique l'utilisation de grandes quantités d'eau. Il est important de savoir que l'agriculture est de loin le plus grand consommateur d'eau (devant l'industrie et les services), puisque 69 pour cent des prélèvements mondiaux lui sont imputables **(louzane, 2016 et Hemiche et al., 2018).**

2.4 Pollution des eaux :

2.4.1 Définition :

On appelle pollution de l'eau toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif les êtres vivants la consommant. Quand les êtres humains consomment de l'eau polluée, il y a en général des conséquences sérieuses pour leur santé. La pollution de l'eau peut aussi rendre l'eau inutilisable pour l'usage désiré.

2.4.2 Sources de pollution :

2.4.2.1 Pollution ponctuelle :

Elle est formée de rejets localisés, plus ou moins abondants relativement faciles à identifier. Chronique ou accidentelle, cette pollution est provoquée par des déversements domestiques, urbains, ou industriels peu ou non traités **(Bencheikh & Goudjile, 2011 ; Birech & Messaoudi, 2006 ; Hemiche (2018).**

Résulte le plus souvent d'erreurs de manipulation ou de négligence, comme le débordement des cuves lors de la préparation de bouillies, le rejet des fonds de cuve ou le rinçage du matériel sur des surfaces plus ou moins imperméables comme la cour de ferme ou à proximité d'un puisard ou d'un fossé. **(Gouy & Gril, 2001).**

2.4.2.1.1 La pollution urbaine :

Les eaux usées urbaines transportent des corps en suspension et en solution comme les produits ménagers. Les stations d'épuration ne traitent que 65% des eaux usées et ne traitent généralement pas les composés chimiques en solution. Certains composés organiques.

notamment les phosphates sont à l'origine de déséquilibres des écosystèmes en favorisant par excès le développement de certains végétaux indésirables qui consomment de

Synthèses bibliographiques

l'oxygène du milieu jusqu'à priver les animaux qui s'y trouvent (**Birech & Messaoudi, 2006 ;Hemiche, 2018**).



Figure 2: Le rejet des eaux domestiques et de déchets au niveau de la Sebkha

2.4.2.1.2 La pollution industrielle :

L'activité industrielle est source de nombreux rejets dans les différents milieux de l'environnement. Elle produit des déchets parfois hautement toxiques et est à l'origine de risques technologiques.

Les rejets industriels peuvent être à l'origine de différents types de pollution de l'eau. Les principales sont la pollution organique, le rejet de matières en suspension, la pollution toxique, thermique ou radioactive. (Observatoire régional de la santé, Rhône-Alpes, 2007)

2.4.2.2 La pollution diffuse :

Qui résulte principalement de l'entraînement vers les milieux aquatiques des produits phytosanitaires appliqués au champ. Celle-ci semble plus difficile à maîtriser du fait de ses caractéristiques, dont on rappelle les principaux traits :

Synthèses bibliographiques

- Cette contamination peut se manifester même à la suite d'usages conformes à la réglementation.
- Elle est fortement dépendante des caractéristiques du milieu naturel et en particulier des conditions hydrologiques ce qui se traduit par l'alternance de périodes présentant un risque de transfert variable.

Les solutions proposées, que l'on retrouvera dans différents manuels du CORPEN (1994, 1995, 1996, 1997, 1999), concernent les trois niveaux du siège d'exploitation, des parcelles agricoles et du bassin versant. (**Gouy & Gril, 2001**).

2.4.2.3 Pollution agricole :

La pollution agricole provient prioritairement d'une utilisation excessive de produits phytosanitaires. En Martinique, par exemple, ce sont chaque année près de 2 000 tonnes d'insecticides, de pesticides et de fongicides (Direction de l'Agriculture et de la Forêt, 1994) et plusieurs milliers de tonnes d'engrais qui sont utilisées.

Dans la plaine d'EL Mahmel généralement la pollution agricole est de type organique provient de l'utilisation des fumiers d'animaux (Poulets, Vaches, Moutons et Chèvres).

2.4.2.3.1 La pollution atmosphérique :

L'effet de la pollution atmosphérique sur l'eau n'est pas toujours visible. Il se peut que des cours d'eau, des lacs ou des régions côtières semblent propres tout en étant pollués en raison des précipitations acides dues à la pluie, à la neige et aux particules, ou indirectement lorsque des nutriments, des éléments et des métaux lourds sont lixiviés du sol et mis en suspension dans la colonne d'eau. Bon nombre de Canadiens comptent sur la nappe aquifère pour s'approvisionner en eau, et les effets de la pollution ne sont pas nécessairement immédiats, ni facilement identifiés.

Toutefois, les plans d'eau acidifiés ne sont pas tous clairs. Par exemple, les écosystèmes aquatiques qui manquent d'azote, comme les voies navigables côtières et les estuaires, peuvent connaître une augmentation rapide et importante de la croissance des plantes et des algues en raison des précipitations acides résultant du rejet d'oxydes d'azote (NO_x). Cette croissance excessive dans un plan d'eau est appelée eutrophisation une augmentation importante de la croissance des plantes n'est pas nécessairement avantageuse,

Synthèses bibliographiques

car la décomposition éventuelle de la végétation peut épuiser les ressources en oxygène dont d'autres organismes ont besoin dans un lac ou un étang.

2.4.3 Les principaux polluants des eaux :

2.4.3.1 Les matières en suspension :

Les matières en suspension correspondent à des particules de faibles taille et/ou densité, ce qui limite leur chute par gravité. Les MES comprennent des fractions organiques et des fractions minérales dont les contributions respectives varient selon les saisons et les cours d'eau. **(Lefrançois, 2007).**

Les matières en suspension (MES) participent à la dégradation des écosystèmes aquatiques en augmentant la turbidité de l'eau, en colmatant les frayères des Salmonidés et en véhiculant de nombreux polluants. La modification des pratiques agricoles et des aménagements du territoire (remembrement, arrachage de haies) sont à l'origine d'une production accrue de MES. **(Lefrançois, 2007).**

2.4.3.2 La matière organique :

La matière organique est une composante ubiquiste de l'environnement (sols et milieux aquatiques) **(Hudson et al., 2007 ; Imai et al.2002 ; Leenheer &Croué, 2003)**. Dans les milieux aquatiques, le terme « Matière Organique » (MO) est utilisé pour désigner l'ensemble des composés hydrocarbonés d'origine naturelle (autres que les organismes vivants) et anthropique d'un écosystème. On désigne sous le nom de matière organique dissoute (MOD) un ensemble complexe et hétérogène de macromolécules organiques formées par la dégradation du matériel biologique animal ou végétal, d'origine terrestre ou aquatique. La définition de la MOD est reliée à la taille physique, avec un seuil de coupure à 0,45 µm **(Zsolnay, 2003)**. Cette définition est opérationnelle et le matériel organique est composé d'une fraction dissoute mais aussi colloïdale **(Buffle & Leppard, 1995)**. Les teneurs en carbone dans la MOD se situent autour de 45 à 50% **(McDonald et al, 2004 ; Soares Pereira-Derome, 2016)**.

La MOD a généralement une grande capacité d'interaction avec les micropolluants métalliques ou organiques **(Buffle et al. 1998)**, ce qui peut modifier leur biodisponibilité **(Campbell, 1995)**. La MOD peut s'adsorber sur des particules ce qui peut changer leurs propriétés de surface et leur réactivité vis-à-vis des micropolluants **(Patrolecco et al. 2010)**. Les interactions entre la MOD et les particules vont être influencées par différents paramètres

Synthèses bibliographiques

physico-chimiques telles que la conformation de la MOD (Murphy et al. 1994) et sa composition, ainsi que les propriétés physico-chimiques du milieu aquatique comme le pH et la force ionique. (Soares Pereira-Derome, 2016).

2.4.3.3 Les polluants métalliques :

Les métaux (fer, cuivre, plomb, zinc, argent et or...) sont des corps simples, dotés d'un éclat particulier, bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité.

Les composés métalliques ont une toxicité variable selon leur nature et leur voie de pénétration (ingestion, respiration, contact avec la peau). Trois de ces métaux sont à ce jour considérés comme étant cancérigènes : l'As, le Cr et le Ni. (Chiffolleau et al. 2001 ; Zebracki, 2008).

Une fois que les métaux lourds ont été libérés dans le milieu, soit par des processus naturels (ex. altération) ou anthropiques (ex. exploitation minière) depuis leur source, ils peuvent être transportés par voie éolienne via des aérosols ou par voie aqueuse via l'eau, les matières en suspension ou les sédiments de fond des cours d'eau ; leurs concentrations est un paramètre important pour caractériser l'impact, toutefois il est très important de connaître la disponibilité de leur concentrations dans le milieu vis-à-vis des organismes terrestres et aquatiques (Alloway & Ayres, 1997 ; Miguel & Aranguren, 2008).

2.4.3.4 Les sels minéraux :

Les sels minéraux sont une catégorie de micronutriments issus de roches retrouvés dans les aliments sous leur forme naturelle. On les retrouve dans de nombreux aliments d'origine végétale ainsi que dans l'eau minérale ou dans l'eau de source. Les principaux sels minéraux sont le calcium, le fer, le magnésium et le sodium...

Ils se trouvent en faible quantité, ces quantités peuvent s'augmenter par les activités agricoles ou industrielles, ainsi la nature de la roche joue un rôle d'augmenter les quantités des sels minéraux d'eaux souterraines.

2.4.3.5 Polluants microbiologiques des eaux :

Les micro-organismes sont peu nombreux dans les eaux de nappe du fait des conditions généralement anaérobies et des faibles quantités de nutriments disponibles. Le transfert de matière organique dans la nappe favorise leur prolifération. Les milieux fissurés, surtout karstiques, présentent des conditions favorables à la survie et la multiplication des germes :

Synthèses bibliographiques

pénétration facile de matière organique, conditions aérobies, pas de filtration. Les germes pathogènes sont généralement associés aux coliformes et streptocoques fécaux : la présence de ces derniers indique une pollution par les eaux vannes, les eaux de station d'épuration, les rejets d'élevages industriels... et la possibilité d'occurrence de germes pathogènes.

(Beauchamp, 2006).

2.5 L'azote :

L'azote est l'élément le plus abondant dans l'atmosphère de notre planète. Environ 78% de l'atmosphère est composée de gaz azotés (N_2).

L'azote dans les eaux usées est mesuré sous différentes formes ; on peut les diviser en deux grandes familles pour ce qui concerne l'épuration : l'azote réduit et l'azote oxydé. L'azote réduit est l'azote organique que l'on trouve dans les eaux usées provenant notamment des déchets métaboliques (protéines, urées). Dans les réseaux d'assainissement, l'hydrolyse de l'urée transforme l'azote en carbonate d'ammonium (NH_4HCO_3).

L'azote oxydé se retrouve de façon marginale dans les eaux usées, il s'agit des nitrates (NO_3^-) et des nitrites (NO_2^-). Selon Martin (1979), la concentration en azote des eaux usées urbaines varie entre 30 et 100 mg/l. Toujours selon le même auteur, l'essentiel est constitué d'azote ammoniacale (NH_4^+) à environ 60%, d'azote organique (40%) et moins de 1% d'azote nitrite et nitreux. **(Akissi veronique, 2008).**

2.5.1 Les différentes formes de l'azote

2.5.1.1 Gazeuse :

L'azote représente la plus grande partie de l'air avec un pourcentage de 78%.

2.5.1.2 Minérale :

Les plantes (mise à part les légumineuses) n'assimilent l'azote que sous forme minérale soluble, de ce fait l'azote peut être lié avec l'hydrogène (réduction) pour former l'ammonium NH_4^+ , ou avec l'oxygène (oxydation) pour former les nitrates NO_3^- , Cette forme d'azote peut être lessivée et entraîner une pollution de la nappe phréatique et des cours d'eau alentours. En période sèche, si le niveau de la nappe est peu profond, une fraction des nitrates lessivés contenue dans l'eau peut remonter par capillarité et réalimenter les végétaux **(Cedra & Cachan, 1997 ; Akissi veronique, 2008).**

Synthèses bibliographiques

2.5.1.3 Organique :

Dans le sol 90% de l'azote est sous forme organique (Aliou, 1994). Cet azote organique se trouve sous trois formes : L'humus, L'azote des matières organiques non décomposées et l'azote microbien. (Akissi veronique, 2008).

2.5.2 Cycle de l'azote :

L'azote représente la plus grande partie (78%) de l'air que nous respirons. Il est donc respiré par les êtres vivants eux-mêmes constitués de protéines. A leur mort, ces protéines subissent un processus connu sous le nom d'ammonification ou de minéralisation réalisé par différentes bactéries de plusieurs genres : Clostridium, Escherichia coli, Bacillus. Proteus conduisant à la formation d'ammonium. Cet ammonium est ensuite oxydé en nitrites qui sont à leur tour oxydés par des bactéries du genre Nitrosomonas en nitrates. Ces nitrates, assimilés à leur tour par les végétaux, sont absorbés par les animaux qui les transforment en protéines ; et le cycle recommence (Vilaginis, 2003 ; Akissi veronique, 2008).

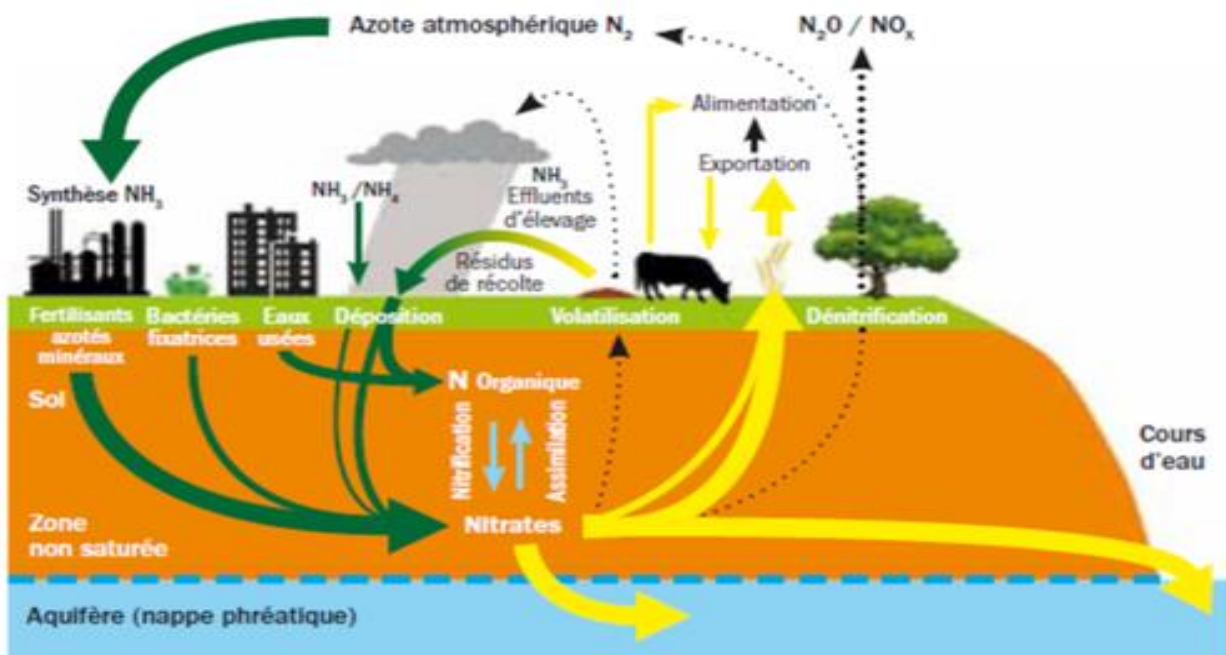


Figure 3: Le cycle de l'azote.

2.5.2.1 Minéralisation :

Par définition la minéralisation de l'azote est la conversion biologique de l'azote organique en azote inorganique principalement NH_4^+ et NO_3^- . (Andrianarisoa, 2009)

Synthèses bibliographiques

2.5.2.2 Ammonification :

Les matières organiques subissent une dégradation qui conduit à la fabrication d'humus et d'ammoniac NH_4^+ . Cette phase est due aux micro-organismes des sols et des eaux, en conditions aérobie et anaérobie.



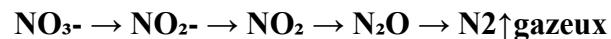
2.5.2.3 Nitrification :

La nitrification est l'oxydation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrate (NO_3^-). Elle s'effectue en conditions aérobies dans un délai pouvant aller de quelques jours à quelques semaines. Le nitrate est la principale forme d'azote assimilée par les plantes.



2.5.2.4 Dénitrification :

La dénitrification permet la réduction du nitrate en diazote (N_2) sous l'action de certaines bactéries en conditions d'anaérobiose. Si elle est partielle, elle aboutit à la formation d'oxydes gazeux (NO) et de protoxyde d'azote (N_2O).



2.5.2.5 Volatilisation :

L'ammoniac (NH_3) est émis par le sol ou la mafor à partir de l'ammonium (NH_4^+), en contact avec l'air. C'est un processus liés aux équilibres physiques et chimiques, sans intermédiaires biologiques. Les techniques d'enfouissement sont donc très efficaces pour réduire la volatilisation. (Pouet & Mousset, 2018).

2.5.3 L'absorption de l'azote par les plantes :

Selon le degré de minéralisation et de nitrification, les concentrations en nitrate et ammonium dans les sols sont très variables (quelques micromolaire à plusieurs millimolaire) (Marschner, 1995). Les plantes se sont adaptées et ont ainsi développé des systèmes spécifiques de transport de nitrate ou d'ammonium : un système de transport à haute affinité ou HATS pour High Affinity Transport System, et un système de transport à basse affinité ou LATS pour Low Affinity Transport System (Crawford & Forde, 2002 ; Mériçout, 2006).

2.6 La pollution des eaux souterraines par les nitrates :

Le nitrate est un ion naturel et constitue une partie importante du cycle de l'azote. Comme il est très soluble, le nitrate est la forme d'azote la plus utilisable pour les plantes. Le nitrate est un contaminant commun des eaux de surface et des eaux souterraines qui peut

Synthèses bibliographiques

causer des problèmes de santé chez les nourrissons et les animaux, ainsi que l'eutrophisation des eaux de surface (**Fennesy & Cronk, 1997**). Le nitrate est un engrais efficace et est utilisé dans les activités agricoles en raison de l'utilisation d'engrais et de l'épandage de fumier. Cependant, il existe d'autres sources de nitrate liées au développement urbain qui peuvent accroître les concentrations de nitrate dans les eaux souterraines. Certaines études menées au cours des dernières années ont révélé que les concentrations de nitrate dans certains aquifères urbains sont semblables, voire supérieures, à celles des zones agricoles environnantes (**Ford & Tellam, 1994 ; Lerner et al. 1999**). La vaste gamme de sources de nitrate et la complexité de leur distribution rendent l'estimation des charges de nitrate difficile, ainsi que l'évaluation des apports dans les eaux souterraines. Il existe différentes formes azotées qui passent par un cycle et à un rythme en fonction des caractéristiques locales du système sol-eau. L'agriculture est la principale source de nitrate, mais elle n'est pas la seule. Il y a plusieurs sources, y compris les eaux usées et les fuites de réseau, les fosses septiques, les déversements industriels, terrains contaminés, décharges, infiltration de rivières ou de chenaux, engrais utilisés dans les jardins, la construction de maisons, les eaux pluviales et la recharge directe. Au cours des dernières décennies, l'utilisation des nitrates a dépassé les besoins des plantes et la capacité de la biosphère à les assimiler ou à les éliminer. Le nitrate est transporté avec l'eau souterraine qui coule et pourrait subir différents processus biochimiques. La sorption et la dénitrification sont les deux seuls processus dans lesquels le nitrate est retardé et réduit dans les systèmes sous la surface. Il est très important de comprendre la dynamique des nitrates et d'évaluer les paramètres connexes dans le système souterrain pour la gestion, la protection et l'assainissement des eaux souterraines. Les sections suivantes portent sur les sources de nitrate, les impacts humains et environnementaux et les processus qui se produisent dans les systèmes sol-eau, en particulier la sorption et la dénitrification. (**Harb Aljazzar, 2010**).

2.6.1 L'origine des nitrates dans les eaux souterraines :

L'azote est un constituant majeur de l'atmosphère terrestre et l'un des éléments vitaux les plus importants sans lesquels les organismes ne peuvent survivre (**Delgado, 2002**). Dans le monde entier, l'azote est le nutriment végétal le plus critique pour la production d'aliments et de fibres (**Lake et al. 2003 ; Schröder et al. 2004**). La principale source d'azote est l'atmosphère, puisqu'elle représente plus des deux tiers de l'azote présent dans l'atmosphère. Plus des deux tiers de l'atmosphère actuelle. L'azote se dépose dans les sols au cours du processus de formation du sol, par le biais de dépôts provenant des précipitations et de l'eau de pluie. Formation du sol, par les dépôts provenant des précipitations et par la fixation de

Synthèses bibliographiques

l'azote par les plantes et les microbes (**Boyer et al. 2004**). L'azote s'accumule également dans la matière organique du sol en tant que sous-produit de la décomposition des plantes et des animaux. Des plantes et des animaux. Les composés organiques de l'azote sont également dominants dans les sols où il représente environ 98 % de l'azote total dans le corps du sol. Le sol, l'eau et les micro-organismes contiennent de l'azote sous sa forme gazeuse, réduite ou oxydée. Cependant, les plantes et certains microorganismes ne sont capables de consommer principalement que du nitrate (NO_3^-) qui pénètre dans le corps du sol soit naturellement, soit par différents processus anthropiques (**Sprenst, 1987**). Le **tableau 2** résume les différentes formes d'azote et leur présence. Les sources potentielles de nitrates dans le sol et les eaux souterraines comprennent les nitrates d'origine naturelle, les nitrates dérivés des engrais et du fumier, les fosses septiques et les installations de traitement des eaux usées, les déchets du sol et les décharges. Des réserves de nitrates de 2000 kg-N/ha à plus de 25000 kg-N/ha sont stockées dans les sols des zones tempérées en fonction de l'épaisseur du sol, du climat, de la teneur en argile et en matière organique. Environ 98% de ces réserves se trouvent sous forme d'azote organique et le reste sous forme de nitrate et d'ammonium. Des processus de transformation ont lieu entre ces différentes formes d'azote dans ce que l'on appelle le cycle de l'azote. Le nitrate finira par se former dans le sol dans certaines conditions et l'excès de nitrate sera ensuite lessivé vers le système aquifère (**Stahr et al. 1994**). Les engrais et le fumier sont utilisés de manière intensive pour augmenter le rendement des cultures en raison de la demande publique croissante et qui tend à augmenter dans le futur (**Almasri, 2007**). L'utilisation excessive d'engrais et de fumier entraîne le lessivage des nitrates de la zone de protection supérieure et donc la contamination des eaux souterraines par les nitrates (**Todd, 1980**). Par conséquent, l'agriculture est la principale source non ponctuelle de niveaux élevés de nitrates dans les eaux souterraines (**Wakida & Lerner, 2005 ; Almasri & Kaluarachchi, 2004 ; Harb Aljazzar, 2010**).

Tableau 1: les différentes formes d'azote et leur présence..

Forme	Notes
Gaz (N₂) (NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻)	Le diazote (azote gazeux) est la forme la plus courante. Il constitue 79 % de l'atmosphère l'atmosphère mais ne peut être utilisé par les plantes. Il est introduit dans le sol par des bactéries, certaines algues, la foudre et d'autres moyens. Existe dans l'atmosphère à l'état libre ou attaché à des particules d'eau ou de sol.
Réduit (NH ₃)	L'ammoniac est la principale forme réduite de l'azote. Tous les gaz azotés ci-dessus peuvent également être présents dans l'eau, quel que soit le degré de saturation
Nitrate (NO ₃ ⁻)	C'est la principale forme oxydée de l'azote ; il est très soluble dans l'eau et peu réactif. réactivité. Le nitrate est la forme d'azote la plus utilisée par les plantes pour leur croissance et leur développement. développement. Le nitrate est la forme qui se perd le plus facilement dans les eaux souterraines.
Ammonium (NH ₄ ⁺)	L'ammonium est absorbé par les plantes pour être utilisé directement. Cette forme ne se perd pas aussi facilement du sol car il est toujours attaché aux particules du sol chargées négativement.
Organique Azote	L'azote organique existe sous de nombreuses formes différentes (protéines, urée, composés amino et polymères. Il est transformé en ammonium, puis en nitrates, par des micro-organismes. Ces deux formes inorganiques peuvent être utilisées par la plante.

Source : Harb Aljazzar, 2010.

2.6.1.1 Nitrates provient de l'agriculture moderne :

Le but de l'agriculture est de nourrir une population mondiale sans cesse croissante. Le défi des agriculteurs est donc de produire toujours plus, et de maximiser la productivité et la rentabilité de leurs entreprises. Pour atteindre cet objectif, ils se sont donné différents moyens techniques dont l'un d'eux est l'utilisation des fertilisants inorganiques.

(Chapdelaine, 1992.).



Figure 4: L'épandage en agriculture moderne.

2.6.1.2 Nitrates d'origine domestique :

Les rejets d'effluents domestiques chargés de matières organiques fermentescibles par des habitations isolées et les agglomérations urbaines sont à l'origine d'une partie de la pollution des eaux par les nitrates. Les concentrations moyennes en nitrates dans les urines rejetées ont rarement été étudiées en Europe. Des études menées entre 1985 et 1989 relataient une excrétion de nitrate comprise entre 32 et 96 mg.j⁻¹ (WHO, 1995). La plus grande partie des nitrates ingérés sont excrétés dans les urines sous formes de nitrates, ammonium ou urée (WHO, 2003). Wagner et al. (1983) ont évalué que 60 % des nitrates ingérés étaient excrétés dans l'urine. **(Banas &Lata, 2006).**

2.6.1.3 Nitrates d'origine industrielle :

Les eaux usées industrielles regroupent toutes les eaux qui sont en principe rejetées par l'usine dans le milieu extérieur, après avoir contribué à la fabrication, au nettoyage, au transport, au refroidissement **(Woodard, 2001 ;Sawadogo, 2018).**

Selon le dernier rapport de l'agence des nations unies chargée des questions de l'eau **(UN WATER, 2017)**, l'industrie est l'activité humaine qui génère le plus d'eaux usées. La composition et la concentration des effluents industriels sont extrêmement variables suivant le type d'industrie **(Shi, 2000)**. Ainsi, chaque opération industrielle génère des quantités et qualités spécifiques d'eaux usées pouvant contenir des charges considérables de polluants **(More et al. 2012)**. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent

Synthèses bibliographiques

également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures (Mohsen & Jaber, 2003 ; Sawadogo, 2018).

Les animaux sont utilisés dans de nombreuses régions du monde. Dans certaines régions, les chats et les chiens sont utilisés comme animaux domestiques. D'un autre côté, dans les pays en développement, les ânes, les chevaux et les vaches sont utilisés dans les zones rurales et comme moyens de transport. , certains animaux sont utilisés pour la production alimentaire. Les excréments, le fumier et l'urine produits par ces animaux constituent une variété de polluants, dont les nitrates, qui seront stockés dans le sol. Dont le nitrate qui sera stocké dans le corps du sol est lixivié dans des conditions appropriées. L'azote est converti en nitrate par différentes bactéries vivant dans le sol. Les plantes en croissance ainsi que les bactéries consomment une partie de ces nitrates. Lorsqu'il y a suffisamment de matière organique décomposable, les bactéries du sol peuvent éliminer une quantité importante de nitrate-azote par un processus appelé immobilisation, au cours duquel le nitrate devient une partie de la matière organique du sol. Un autre groupe de bactéries utilisent les nitrates comme substitut de l'oxygène lorsque l'oxygène moléculaire libre est limité. Ces bactéries convertissent les nitrates en nitrites et en gaz azotés tels que l'azote, l'oxyde nitreux, et le dioxyde d'azote.

Tableau 2: Représente les sources de la pollution des eaux souterraines par les nitrates

Source	Diffuse (sources non ponctuelles)	Non diffuse (sources ponctuelles)
Agriculture	-Utilisation d'engrais industriels -Utilisation d'engrais organiques (fumier et lisiers) -Animaux domestiques et animaux utilisés dans les champs agricoles	-Les déversements accidentels de composés riches en azote composés riches en azote -Absence ou fuite de lisier et de installations de stockage du lisier et du fumier
domestique	-Moteurs à combustion dans les véhicules -Élimination inadéquate des effluents municipaux des effluents d'eaux usées, de boues et de déchets solides	-Décharges anciennes et mal conçues -Fosses septiques et fuites des systèmes d'égouts
Industrie	-Les émissions atmosphériques provenant de la production d'énergie -Moteurs à combustion des véhicules -Élimination des effluents par les boues sur les champs	-Élimination des déchets riches en azote par des techniques d'injection dans les puits -Décharges de déchets industriels anciennes et mal conçues décharges industrielles anciennes et mal conçues

Source : (Harb Aljazzar, 2010).

2.6.2 Impacte de nitrate :

2.6.2.1 Sur l'environnement :

Nuisances au milieu aquatique Mise à part la nuisance des nitrates par la consommation des eaux des nappes, les nitrates dans les nappes finissent par arriver dans les rivières, les lacs ou la mer. En présence des phosphates, les nitrates y engendrent l'eutrophisation. Ce phénomène se manifeste par une prolifération massive de plantes et d'algues, qui réduisent la teneur en oxygène dans l'eau, parfois jusqu'à une teneur létale. L'eutrophisation devient un vrai problème dans la région des grands lacs en Amérique du nord, en Europe, en Mexique, dans la Nouvelle Zélande, au Maroc (barrages et lacs naturels) et dans d'autres pays. Les lacs sont devenus : v verts et nauséabonds : Dégagement de H₂S et NH₃, néfastes pour les espèces vivantes, du au développement des bactéries anaérobies v malsains en tant qu'eau potable, v inimaginables comme lieux de délasserment d'où la diminution de la fréquentation des touristes, v invivables pour les poissons à cause de la prolifération parfois massive des cyanobactéries potentiellement toxiques. (**Idrissi, 2006**).

2.6.2.2 Sur la santé humaine :

Le nitrate, lui-même, a une faible toxicité, sauf à des doses massives, et ne pose généralement aucun problème pour la santé humaine. Cependant, dans certaines circonstances, le nitrate peut être réduit en nitrite et agit comme une cause principale de la maladie du bébé bleu et pourrait avoir une certaine contribution au cancer de l'estomac et du côlon (**OMS, 1998 ; Yang et al. 2007**). La préoccupation immédiate pour la santé du nitrate est donc par sa réduction en nitrite dans le tube digestif par les bactéries actives de réduction du nitrate. Ainsi, les composés de nitrite et de N-nitrosamines coexistent souvent avec le nitrate et sont biologiquement actifs dans le corps humain (**Sprent, 1987 ; McLay et al. 2001**). Le nitrate est donc directement lié au syndrome du bébé bleu, **Figure 4**, le cas où le sang humain n'est pas capable de transporter de l'oxygène (**Curry, 1982 ; White&Weiss, 1991**). Le syndrome du bébé-bleu peut donner une couleur bleu-gris à la peau des nourrissons et est associé aux nitrates, même en petites doses d'environ 25 mg/L de nitrate-azote. Ces syndromes sont rarement observés chez les adultes où la faible acidité gastrique et les enzymes hautement actives inhibent les bactéries réductrices de nitrate. (**Harb Aljazzar, 2010**).



Figure 5: Le syndrome du bébé-bleu

2.6.3 Contamination des eaux par les nitrates en Algérie :

En Algérie, les pratiques de fertilisation intense des sols dans quelques plaines agricoles et les rejets des eaux usées domestiques et industriels ont augmenté les concentrations des nitrates des eaux des nappes dans plusieurs régions, durant ces dernières années. Dans nombreuses enquêtes ont mis en évidence que la pollution par les nitrates des eaux souterraines a atteint un stade alarmant (**Benmani, 1995**). Le programme de surveillance des eaux de sources et de puits, effectué par le laboratoire de chimie des eaux de l'A.N.R.H, a montré la présence depuis 1994 d'une forte teneur en nitrates dans les eaux souterraines, dans le centre du pays (la plaine de Mitidja, le Haut Chélif) et à l'Ouest (Sidi Bel Abbès), avec une concentration excédant largement la dose maximale de 50 mg/l (**Benmani, 1995 ; Hemiche, 2018**).

Partie II :
présentation de la
zone d'étude

Chapitre 1

3 Description du site d'étude.

3.1 Sur le plan géographique :

Avant le découpage administratif de février 1985, la commune d'El Mahmel faisait partie du territoire de la wilaya de Tébessa. Elle a été, donc rattachée à la wilaya de Khenchela en 1985 et elle fait partie de la daïra d'Ouled Rechache.

La commune d'El Mahmel qui se localise dans le prolongement Est et Nord-est des monts des Aurès-Nemamcha, à la limite Est de la wilaya de Khenchela (fig7), dans l'aire géographique compris entre :

- Longitude : (7°,15') Est
- Latitude : (35°, 20') Nord
- L'altitude : 1070m.
- Superficie : 200 ha

Elle est située dans la partie Nord Est de la wilaya de Khenchela entre :

- Au Nord ; les communes de Ain Touila et N'sigha.
- A l'Ouest : la commune de Babar.
- A l'Est et au Sud : les communes de Bedjéna et Stah Guentis.

Historiquement, la sebkha était essentiellement la propriété de colon français où il pratiquait deux activités essentielles :

- L'agriculture et l'élevage.
- L'exploitation du sel durant les années de la révolution celui-ci était acheminé vers Tizi Ouzou, Jijel et Bejaia pour la préparation et le tannage des cuirs.

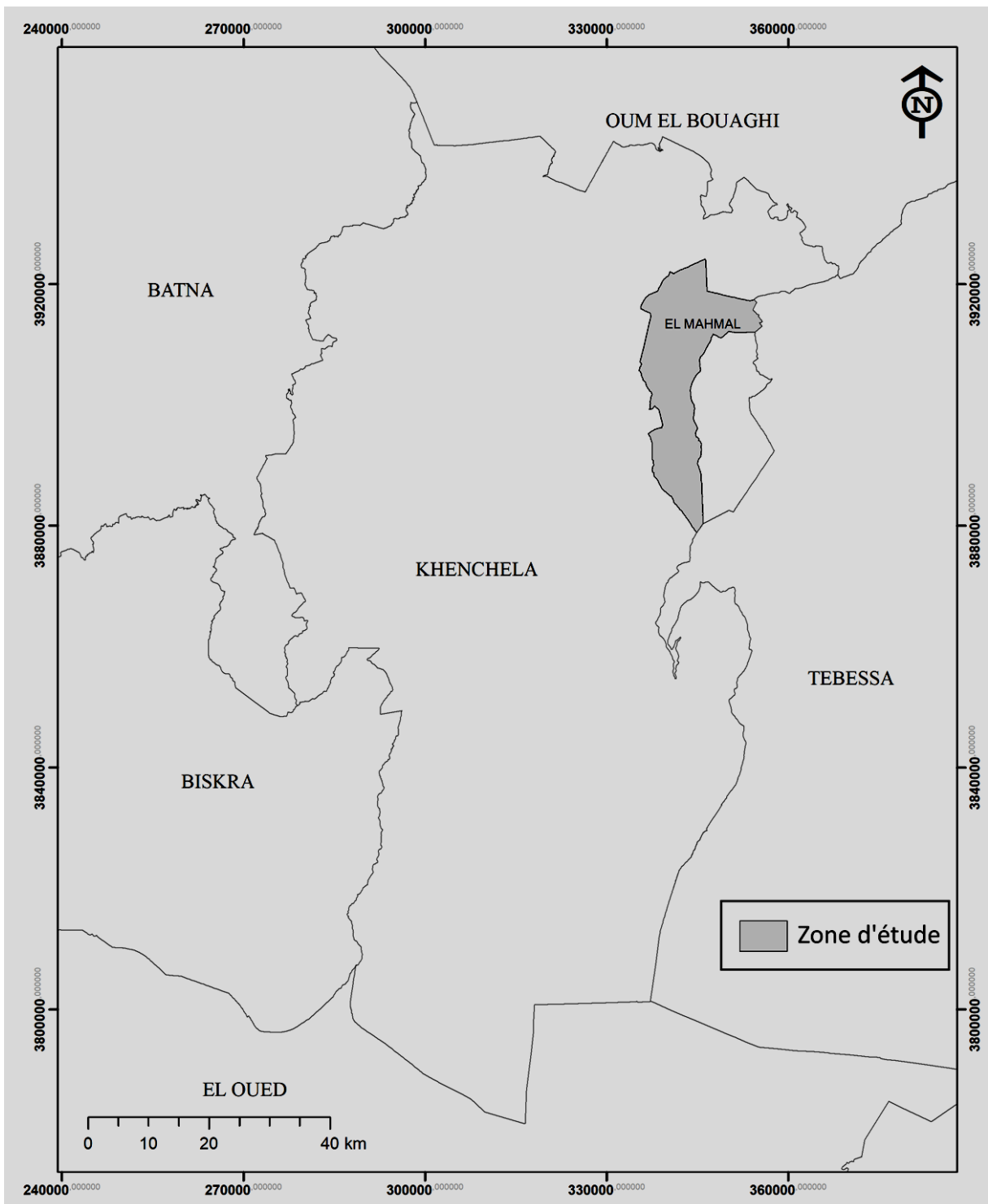


Figure 6: La situation géographique de la zone d'étude.

3.2 Sur le plan démographique :

La population de la commune d'El Mahmel est passée de 41 683 habitants au recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) 2010 à 42725 habitants en 2012, avec un taux d'accroissement de 2.50%. Celle du chef-lieu est passée de 32641 habitants au RGPH 2011 à 33457 habitants en 2012 avec un taux d'accroissement de 2.5%.

Les Habitants représentant 78,30 % de la population totale de la commune. La population hors chef-lieu est de l'ordre de 9268habitants soit de 21,70 %, cette frange est répartie en agglomérations secondaires et zone éparses. (RGPH, 2012 ; Ounissi, 2017).

De ce fait, la structure de la population selon l'âge et le sexe ne représente aucune différence de taille par rapport à celle de l'ensemble du pays à savoir :

- Une extrême jeunesse.
- Un équilibre entre les sexes.

Tableau 3: La répartition de la population d'El Mahmel.

POPULATION	EXISTANT 2011	EXISTANT 2012
Population totale	41 683	42 725
Population urbaine	32 641	33 457
population rurale	9 042	9 268
Enfants de moins de 06 ans	5 055	5 181
Enfants de 6-15 ans	8 686	8 903
Population de 15-29ans	13 568	13 907
Population de 16-59 ans	26 772	27 441
Population 60 ans et plus	2 976	3 050

Source : (APC d'El Mahmel ; Ounissi, 2017).

3.3 Climatologie :

L'hétérogénéité du relief de la wilaya implique une extrême diversité des aspects climatiques. En général ; le climat est de type continental au Nord et presque saharien au Sud. Le climat d'El Mahmel est rude en hiver et chaud en été. Les vents dominants sont ceux du Nord-ouest qui atteignent une fréquence de 26%. Le Sirocco enregistre une moyenne annuelle de 21 jours. La neige tombe environ 15 jours par année durant la saison hivernale (Zeghid et al, 2019 ; Zerouk, 2020).

3.4 Le milieu physique :

3.4.1 Les reliefs :

Le relief est la résultante de la combinaison entre deux facteurs : l'altitude et la pente. Le relief de la wilaya de Khenchela est composé de quatre (04) grands ensembles Géographiques (DPA, 2009 ; Ounissi, 2017).

➤ **Les montagnes :**

On les rencontre essentiellement dans la zone Ouest de la wilaya (les Aurès) ; dans la zone centrale (les monts des Nememchas) et au Nord - Est (Ain -Touïla).

➤ **Les plateaux :**

Ils sont situés au Nord-est (plateau d'Ouled Rechache) et s'étendent sur les communes de Mahmel et d'Ouled Rechache.

➤ **Les plaines :**

Situées au Nord et Nord-Ouest de la wilaya, elles comprennent Remila, Bouhmama et M'toussa. Il est à noter que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines.

➤ **Les parcours steppiques et les dépressions :**

Ils sont situés dans la partie méridionale de la wilaya. Ils se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence de chotts .ces derniers constituent ainsi le point de convergence exutoire des oueds drainant le Sud de la wilaya.

3.4.2 La lithologie :

Sur le plan lithologique, la wilaya de Khenchela présente une multitude de faciès, dont les plus représentés sont énumérés ci-après. (DPAT, 2012).

➤ **Les alluvions et sables :** Ces faciès, moyennement stables, sont rencontrés principalement sur les hautes plaines du Nord, sur les terrasses alluviales d'El Meroudj et Oued Guergoub, ainsi qu'au niveau du glacis situé sur les piémonts des Aurès-Némenchas et les basses plaines du Sud.

Ils correspondent à des terres à fort potentiel agricoles, mais dont l'intensification reste tributaire de la ressource en eau pour l'irrigation.

➤ **Les marnes :** Formations très sensibles à l'érosion et souvent sujettes aux glissements de terrain, les marnes sont présentes tout le long de la vallée de l'Oued El Arabe et sur la partie est de la wilaya, correspondant aux monts des Némemchas, Au niveau de ces derniers, qui sont dépourvus de végétation forestière, ces formations sont soumises à une érosion intense et se présentent souvent sous forme de « badlands ».

➤ **Les calcaires et dolomies dures :** Formations à bonne résistance à l'érosion, les calcaires et dolomies dures sont présents sur la presque totalité du massif des Aurès et sur les reliefs du Nord-est de la wilaya. En général, ces formations de montagne sont relativement bien arrosées et couvertes d'une végétation forestière assez dense qui les protège de l'érosion.

- **Les calcaires friables** : Peu répandus dans la wilaya, ces faciès sensibles à l'érosion sont localisés principalement sur la bande médiane séparant le Nord du Sud de la wilaya, et localement au Nord, dans la zone des Garaet et Tarf. Ces roches donnent naissance à des sols calcaires, de profondeur variable suivant leur position topographique, et riche en humus quand ils sont couverts de végétation forestière.
- **Le trias (gypse)** : Formation saline, le trias est essentiellement répandu sur les basses plaines sahariennes au Sud de la wilaya. Par ailleurs, on le trouve localement au Nord de Khenchela, à l'Est de Babar et au Sud d'Ouled Rechache. La végétation au niveau de ces espaces est de type halophile.

3.4.3 Pédologie :

- **Les sols calcaires humifères** : Ils sont rencontrés sur les monts et les piémonts de l'Aurès, à une altitude comprise entre 1 000 et 1500 mètres.
- **Les sols insaturés humifères** : Ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitude) de l'Aurès. Ils sont occupés par des forêts.
- **Les sols calciques** : Ces sols sont rencontrés sur les bas piémonts, et sur les hautes plaines longeant la route qui mène de Khenchela à Faïs en passant par Kaïs et Remila. Ils s'étendent à l'Est jusqu'à Ain Touila et au Sud jusqu'à Babar en partant de Khenchela.
- **Les sols éoliens d'ablation** : Ces sols sont rencontrés au Sud de la wilaya, sur les piémonts des monts Nememchas, dont l'altitude est située entre 200 et 500 mètres.
- **Les sols alluviaux basiques** : Ces sols sont localisés sur des zones de changement de pente, c'est-à-dire les zones où la pente devient plus douce. On les rencontre principalement dans les plaines entourant les dépressions (dépression de Garât et Tarf, cuvette du bas Sahara, et la dépression de Tazougart), mais aussi au niveau des vallées encaissées de Babar, de Bouhmama et de la plaine de Guentis.
- **Les sols salins ou solontchaks** : Ces sols caractérisant les dépressions sont rencontrés au niveau des zones d'accumulation. Ils sont le résultat d'une hydrologie à l'écoulement endoréique ou de la présence de roches triasique (gypse : roche saline).

- **Les roches mères :** Ces roches, résultat d'une érosion intense due à une conjugaison de facteurs négatifs (relief montagneux, intensité des pluies, substratum tendre et à une absence de couvert végétal pérenne) affleure notamment les monts des Nememchas.

3.5 Caractéristiques hydrographiques :

La région d'étude comme la plupart des zones arides et semi-arides est caractérisée par un ruissellement de type endoréique. Les cours d'eau qui drainent la zone de Chott Esbikha ; dont les écoulements sont intermittents prennent leur source principalement à partir de Djebel Tadinaret et de Djebel Louinal de Ouled Rechache (**Ounissi, 2017**)

3.5.1 Les principaux oueds sont :

- Oued Zoui : celui-ci ont l'embouchure est à El Mahmel se dirige au nord de la commune de Ouled Rechache et se jette dans les lieux d'Esbikha.
- Oued Guergoube : dont l'embouchure se trouve Aguentils se dirige vers le sud et se disperse au lieudit El Meita et sert à l'irrigation des épandages appelée N'fidha (terres alluvionnaires utilisées à la céréaliculture d'orge verte dessinée à l'alimentation du cheptel durant la période transhumance).
- Oued Melloul : rente son embouchure à la commune d'El Mahmel et jette à Oued Gergoube.

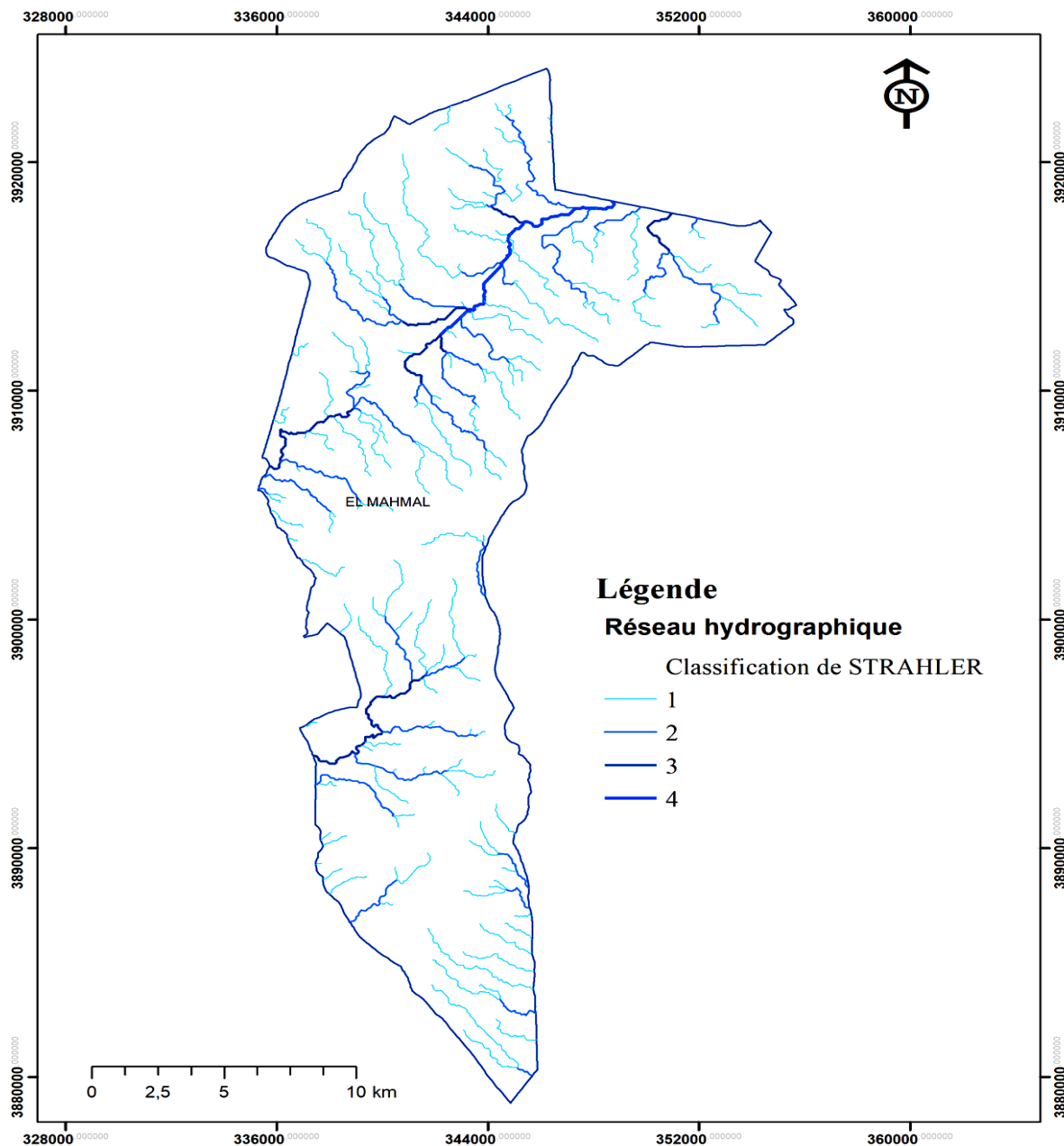


Figure 7: Le réseau hydrographique d'El Mahmel.

3.6 Situation agricole :

Le couvert végétal :

L'étude des sols et des conditions climatiques, particulièrement, celles des températures et des pluies, permet de relever la présence de certaines nuances qui s'ajoutent aux contrastes géomorphologiques et morpho dynamique, déjà démontré. Ce sont des nuances et des contrastes qui vont être renforcés par la diversité et la répartition du couvert végétal naturel de notre zone.

Malheureusement, la végétation naturelle dans notre commune ne persiste que très localement, elle n'est présente que sur les reliefs bien arrosés et exposés face anordi. Les

meilleurs endroits ayant gardé un semblant de couverture naturelle sont les quelques îlots forestiers développés sur les hauteurs de Dj. Aïdel à l'Ouest de Khenchela et modestement sur le Dj. Djahefa à l'Ouest de Tazzouguert, le Dj. Chettaïa à la limite Nord de la commune et sur les massifs montagneux des Dj. Tadinart et Dj. Tadelist. Sur ces hauteurs sont développées des essences variées, allant du Chenevert au pin d'Alep et le lentisque.

Il existe également quelques témoins du cèdre, mais qui ne persistent que sur les reliefs les plus élevés des Aurès-Nemamcha en dehors de la commune d'El Mahmel. Ces essences, avec leurs cortèges floristiques, sont présentées sur la plupart des classes altitudinales et s'associent au niveau des piémonts avec l'étage des arbustes comme le lentisque et localement avec des essences steppiques (Zerouk, 2020).

Il ne faut pas perdre de vue l'existence, dans certains secteurs, de quelques forêts artificielles liées aux reboisements. En outre, il existe au niveau des couloirs steppiques intra montagneux au sud de la commune d'El Mahmel certaines essences appartenant à la fois au domaine steppique et au domaine subsaharien avec l'Alfa, l'armoise, le jujubier, le Rétum, El Guettaf et Et-Taga. Mais ce qui se remarque le plus dans l'analyse des paysages de notre commune, c'est l'anthropisation quasi générale des espaces ruraux, particulièrement ceux des piémonts, des plaines, des bassins et des Oueds où les terres sont occupées par des périmètres agraires (occupation arboricole et cultures maraichères). Ceci en plus des paysages dénudés dans les plaines et dans les vallées et sur les bas versants exposés face au Sud.

Ces terrains sont généralement représentés par des terres nues et localement exploitées par l'agriculture où les conditions sont favorables ou alors les conditions d'irrigation sont propices (Zeghid et al, 2019 ; Zerouk, 2020).

3.7 L'agriculture :

Répartition des terres de la commune :

La commune d'El Mahmel qui s'étale sur une superficie totale de 37084 hectares. L'analyse de la répartition générale des terres de la commune fait ressortir que celle-ci est constituée par une importante surface agricole utile (SAU) avec 92.30 % suivie de loin par les forêts et maquis avec 13,63 %. Les terres incultes et les terrains urbanisés représentent 2.63 %. Cette répartition des terres dénote la principale vocation de la commune qui est une vocation agro pastorale. (RGA, 2002 ; Zerouk, 2020).

Il faut noter, que la surface agricole utile au niveau de la commune d'El Mahmel est répartie entre les surfaces à sec, représentant 27213 ha soit 92.30 % de la (SAU) et seuls 2269 ha sont irriguées. La surface agricole utile irriguée est partagée entre la céréaliculture qui occupe 272 ha, les légumes 660 ha et l'arboriculture 1.337 ha. La faiblesse de la pluviométrie et son irrégularité le long du cycle annuel ont rendu l'exercice de l'activité agricole un peu difficile. (RGA, 2002 ; Zerouk, 2020).

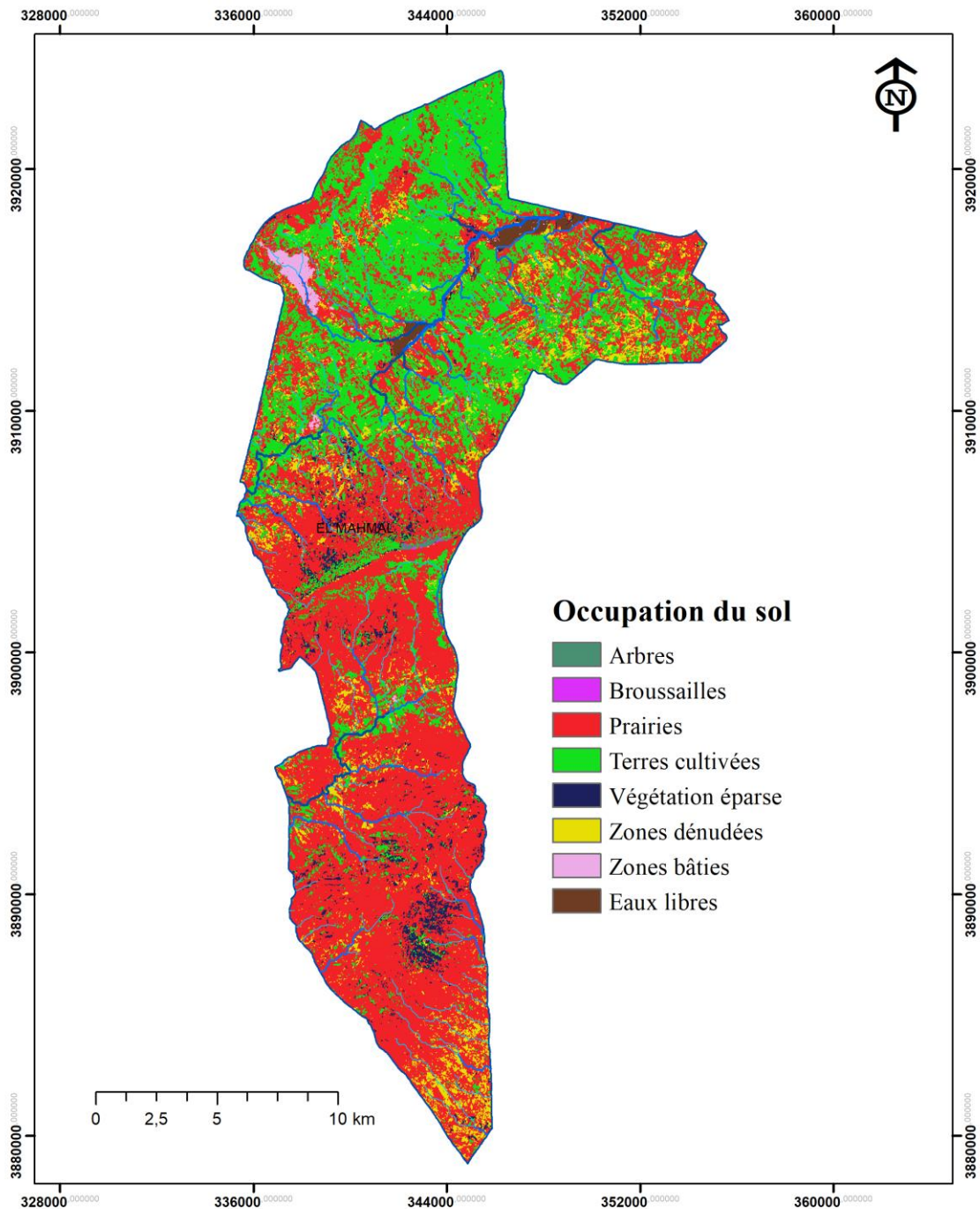


Figure 8: Occupation du sol de la zone d'étude

3.8 Les ressources en eau :

Le territoire de la commune d'El Mahmel est traversé par de nombreux Oueds qui convergent, pour la plupart d'entre eux, vers les zones basses notamment Sebkhha située dans la partie Nord de la commune et qui par conséquent constituent une source d'alimentation des nappes. Les secteurs d'El Kraim, Sebkhha et Taref constituent l'essentiel des secteurs qui alimentent la commune. Ceci dit, la commune dispose de trois nappes souterraines. La première appelée nappe de Kraim située au Nord de Tazougeurt dans le secteur de Kraim – Tebrouri. La seconde est dite nappe de Taref, située au Sud de Tazougeurt et appelée nappe de Taref et la dernière est dite nappe de la Sebkhha, elle est située au Nord -est de Tazougeurt au niveau de notre secteur. (PAW, 2012 ; Sedrati, 2013).

3.8.1 Les eaux superficielles :

Les ressources en eaux superficielles, au niveau de notre secteur sont totalement absentes car la commune ne dispose d'aucune infrastructure de mobilisation des eaux « barrages, retenues collinaire ou Sed de dissipation » de pluies ou celles du ruissellement des flancs des montagnes. (Sedrati, 2013).

3.8.2 Les eaux souterraines :

La mobilisation des eaux souterraines dans toute la commune est assurée par sept forages, répartis à travers les trois nappes qui offrent 2890.8 m³ /jour. (PAW, 2012 ; Zerouk, 2020).

- La première appelée nappe de Kraim située au nord de Tazougeurt dans le secteur de Kraim Tebrouri.
- La seconde est dite nappe de Taref, située au sud de Tazougeurt.
- La dernière est dite nappe de Sebkhha, située au nord-est de Tazougeurt.

3.9 L'élevage :

La pratique de l'élevage au niveau de la commune se base, essentiellement Sur l'élevage de l'espèce ovine qui représente 75505 têtes en deuxième position viennent l'élevage caprin avec 2760 têtes entre chèvres et chevreaux et en troisième position se place l'espèce bovine avec 900 têtes dont 556 d'origine étrangère et 344 locaux. L'élevage des chevaux compte 44 têtes et enfin 25 mulets et 90 ânes. Le taux de mortalité et de réforme sont de l'ordre de 10 % et le taux de fécondité avoisine les 60 %. Avec un bétail totalisant le nombre de 79324 têtes, il est évident que la région est à vocation pastorale (DCA, 2015 ; Zerouk, 2020).

Chapitre 2

4 Le cadre géologique et hydrogéologique

4.1 Introduction :

Pour mettre en évidence la composition chimique d'une eau naturelle comme les eaux souterraines il faut prendre en compte le résultat des interactions entre l'eau et les minéraux des roches. La dissolution et la précipitation des minéraux jouent donc un rôle décisif, notamment pour la régulation de la concentration des éléments majeurs (calcium, carbonates, silicates...) qui sont responsables à déterminer le taux de salinité d'une eau ainsi le niveau de pollution. Une eau peut en effet contenir des substances chimiques à des concentrations telles qu'il faille la déclarer impropres à la consommation humaine et animale, ou à un usage agricole. Cela justifie d'autant plus la nécessité de mettre un accent sur le suivi qualitatif des ressources en eaux et la protection des zones de captage

La composition chimique d'une eau issue du milieu naturel dépend généralement de la nature géologique du sol d'où elle provient et aussi des substances réactives qu'elle rencontre lors de son écoulement.

La zone d'étude se présente comme une vaste cuvette comblée de dépôts Plio-Quaternaire d'une superficie de 400 Km² environ, Elle se situe au Sud de Khenchela, elle est limitée au Nord et au Nord-Ouest par les Djebels, Chataia et son prolongement Djebel Tafrent, au Nord-Ouest par Djebel Aidel et son prolongement Channtgouma, à l'Ouest Djebel Djahfa, au Sud et Sud-est est limité par Koudiat Sguigine et Tadelist, à l'Est Tadinart. (**Ounissi, 2017**).

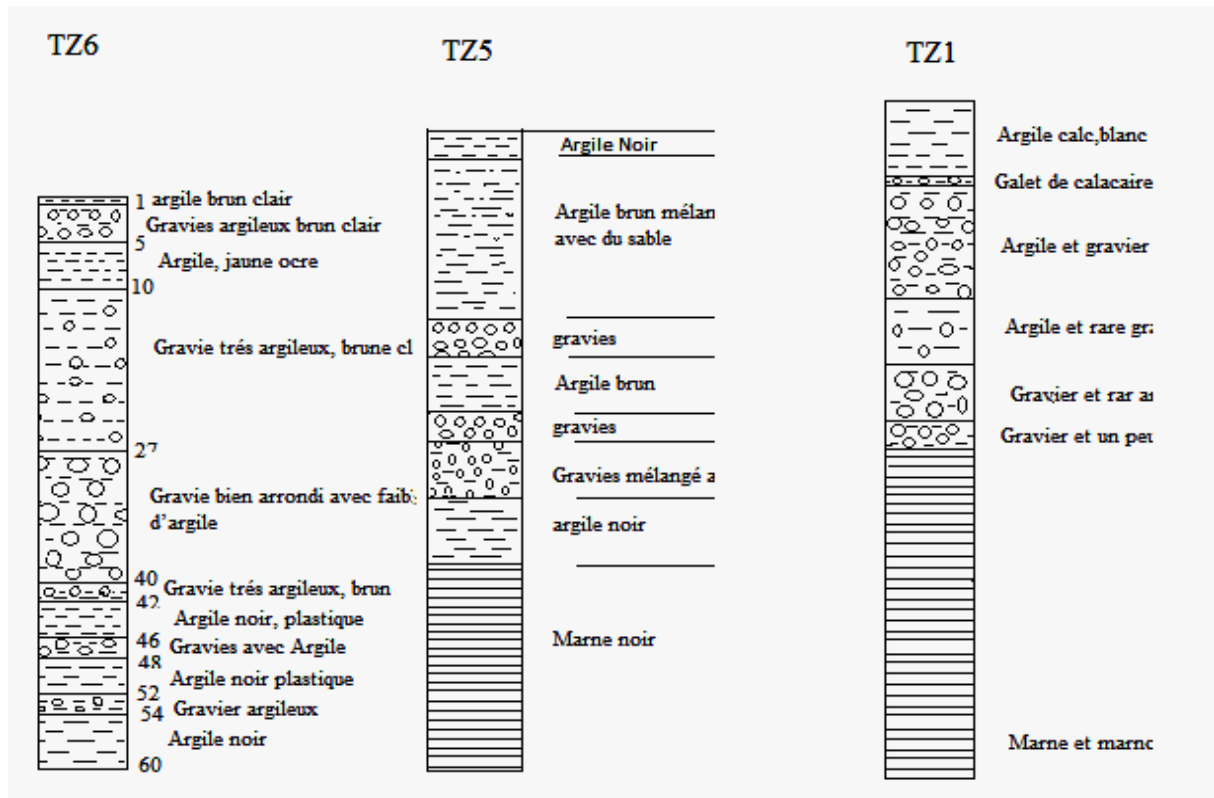


Figure 9: Coupe lithologique du forage d'El Mahmel.

4.2 Cadre géologique de la zone d'étude :

4.2.1 Stratigraphie :

Dans la zone d'étude, cette carte fait apparaître des terrains du Quaternaire et du Crétacé (Enageo 1988 ; et Ounissi, 2017).

- **Quaternaire** : il est constitué par des dépôts sableux, limoneux et des graviers avec de gros galets.
- **Maestrichtien** : il correspond à des calcaires à des nodules de silex (95 mètres) et une alternance de marnes et de calcaires (40 mètres).
- **Campanien** : il débute par 60 mètres de calcaires crayeux, surmonté par une série de 150 mètres de marnes.
- **Santonien** : constitué par une série marneuse de 100 mètres d'épaisseur et 130 mètres d'une formation à caractère récifal et béchique.
- **Coniacien** : constitué par une alternance de marnes et de calcaires d'une épaisseur de 150 mètres.

- **Turonien** : le turonien supérieur est constitué par 150 mètres d'une alternance de marnes et de calcaires noduleux .le turonien basal correspondent à une série de 200 mètres de marnes à intercalations de marno-calcaires.
- **Cénomaniens** : il correspond à une puissante série marneuse dépassant 700 mètres surmontés par une barre calcaire de l'ordre de 30 mètres formant une corniche. On ne dispose comme document géologique de base, que de la carte générale de l'Algérie au 1/50000.

4.2.2 Quaternaire :

Les dépôts quaternaires sont d'origine continentale et occupent d'importantes surfaces. Ils se sont développés essentiellement dans les parties bordant les massifs montagneux. On y rencontre des éboulis à blocs, éboulements et glacis polygéniques. Dans les zones basses telles les vallées et les sebkhas, terrasses et sols salés hydromorphes. On y trouve une croûte calcaire villafranchienne, perché, entaillé et probablement karstifié ainsi que des tufs carbonatés, liés à quelques sources hydrothermales.

Donc le quaternaire recouvre la majeure partie de la plaine d'El Mahmel. Le bassin étant fermé, il a recueilli tous les produits de l'érosion des reliefs environnants. Sédimentation est en majeure partie sableuse, limoneuse ; avec une proportion importante de gypse. On y trouve également des intercalations de : graviers, avec de gros galets.

A- crétacé :

Il correspond aux formations carbonatées situées surtout au Nord de la plaine (Djebel TAFRENT) en trouve :

- **Maestrichtien** : il correspond à des calcaires à des nodules de silex et une alternance de marnes et de calcaires.
- **Campanien** : correspond essentiellement à des marnes et des calcaires crayeux.
- **Santonien** : constitué par une série marneuse, d'une formation à caractère récifal et béchique
- **Coniacien** : correspond essentiellement à des marnes grises et marneuses calcaires.
- **Turonien** : en a le turonien supérieur constitué de marnes et de calcaires noduleux .le turonien basal correspond à de marnes à intercalations de marne calcaire

B- Trias diapirique :

Le Trias correspond aux terrains les plus anciens des zones externes de la chaîne Alpine. Il est essentiellement évaporitique et se présente sous forme de structure diapiritique et en lames injectées le long des accidents tectoniques. Les affleurements d'extension et de constitution variable, perçant leur couverture mésozoïque et cénozoïque de façon anormale, s'observent en plusieurs dizaines de points dans les Aurès, ou sur ses bordures. Le trias dans la zone d'étude ce trouve à l'est de Djebel CHETAIA ou on observe un pointement triasique en forme décroissante allant d'Ain Karima au Djebel Tarf sur une longueur de 12 km et une largeur de 02 km. Il est en contact anormal avec le Turonien et le Sénonien supérieur.

Le diapir de Tazougert est formé par des argiles varicolores et gypses chaotiques à glaçon avec passage des marnes calcaires et cargneules. (Villa, 1973 ; Ounissi, 2017).



Figure 10: Roche de forme triasique.

4.3 Cadre hydrogéologique :

L'hydrogéologie est défini par deux grands aquifères, l'un superficiel constitué par des dépôts de sables, argiles et gravier d'épaisseur moyenne 50 mètres Ces formations d'affleurements et d'extension réduite ne peuvent constituer à elles seules, un aquifère

important dans la région, néanmoins elles pourraient répondre aux besoins domestiques et agricoles à petite échelle. Les débits extraits n'excédant pas 10 l/s.

L'aquifère profond est constitué par les formations de calcaires avec des intercalations de marnes d'une épaisseur pouvant atteindre 135 mètres.

Cet aquifère pourrait constituer localement un bon réservoir pour les eaux souterraines, toutefois son importance hydrogéologique dépend étroitement du degré de fissuration des calcaires qui le constituent. Les potentialités de la nappe du Maestrichtien sont relativement importantes comme nous le montre le forage TZ7 qui donne un débit de 28 l/s.

Les calcaires du Turonien, constitué par une alternance de calcaires et de marnes (150 mètres) peuvent-être aussi un aquifère potentiel dans la région, cependant son importance hydrogéologique ne peut être connue que par un forage de reconnaissance.

✓ **Dépôts Quaternaires :**

L'aquifère Quaternaires est constitué par des dépôts de sables, argiles et gravier d'épaisseur moyenne 50 mètres. Ces formations d'affleurements et d'extension réduite ne peuvent constituer à elles seules, un aquifère important dans la région, néanmoins elles pourraient répondre aux besoins domestiques et agricoles à petite échelle. La surface du niveau statique de cette nappe est en communication directe avec le réseau hydrographique superficiel.

Les débits extraits n'excédant pas 10 l/s et les rabattements peuvent atteindre 22 mètres pour un niveau statique de très proche de la surface du sol (inférieur à 10 mètres).

✓ **Dépôts Maestrichtien**

L'aquifère Maestrichtien est constitué par un ensemble de calcaires avec des Intercalations de marnes d'une épaisseur pouvant atteindre 135 mètres.

Cet aquifère pourrait constituer localement un bon réservoir pour les eaux souterraines, toutefois son importance hydrogéologique dépend étroitement du degré de fissuration des calcaires qui le constituent. Les potentialités de la nappe du Maestrichtien sont relativement importantes comme nous le montre le forage TZ7 qui donne un débit de 28 l/s pour un rabattement de 39 mètres.

✓ Dépôts Turonien :

Le Turonien supérieur constitué par une alternance de calcaires et de marnes (150 mètres) peut-être lui aussi un aquifère potentiel dans la région, cependant son importance hydrogéologique ne peut être connue que par un forage de reconnaissance.

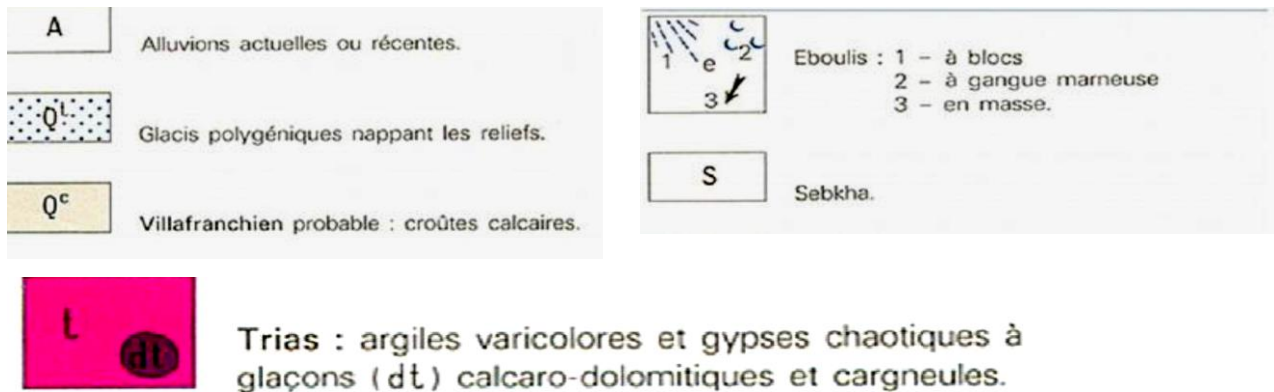
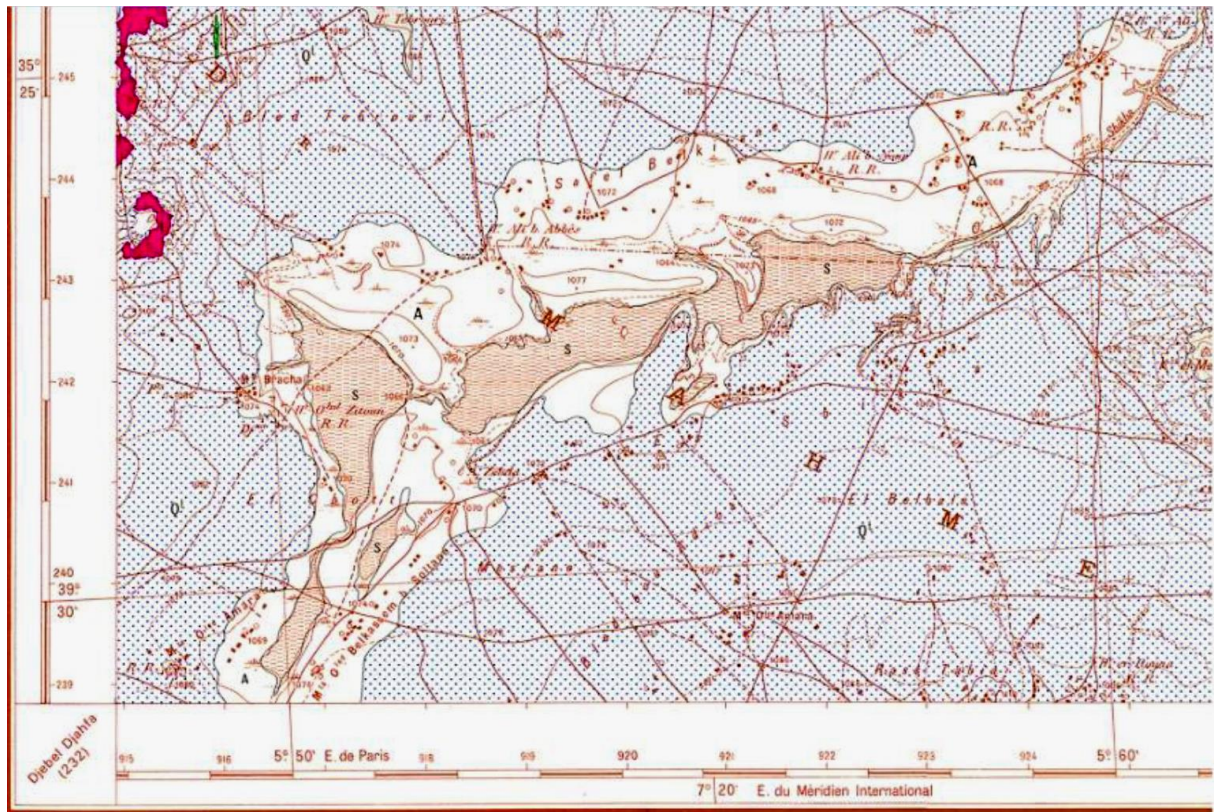


Figure 11: carte géologique de la plaine Del Imahmel (extraits de carte géologique de d'elle feuille N204 SONATRACH ; Ounissi, 2017).

4.3.1 Tectonique :

L'examen des coupes géo électriques révèlent l'existence de discontinuités électriques plus ou moins franches qu'on peut associer à des failles ou à de forts pendages. Ces

discontinuités sont visibles surtout dans la partie Ouest de l'étude, ceci du fait de la présence d'un terrain résistant qui pourrait correspondre à la barre calcaire du Maestrichtien.

Généralement ces failles sont de direction Nord-Sud à Nord-est Sud-Ouest, leur rejet peut dépasser parfois 250 mètres.

4.3.2 Conclusion :

Après avoir donné ces informations géologiques et hydrogéologiques nous retenons que les sols de la plaine sont généralement salins à cause de la formation géologique qui est généralement de calcaire et de trias. La plaine d'El Mahmel se repose sur deux grands aquifères, l'un superficiel qui est constitué des dépôts du sable, argile et du gravier. Le deuxième est profond et constitue par une formation calcaire ce qu'indique la source de salinité des eaux souterraines dans la plaine d'El Mahmel.

Partie III : Résultats et
discussion

Chapitre 1

5 Matériels et méthodes

5.1 Introduction

De nombreuses régions du monde entier dépendent entièrement des ressources en eau souterraine pour les différents usages. La contamination par différents polluants peut rendre les eaux souterraines impropres à la consommation et mettre en danger la vie humaine et animale. Le nitrate est le polluant le plus fréquemment introduit dans les systèmes d'eaux souterraines (**Spalding & Exner, 1993**). La contamination des eaux souterraines par les nitrates est un problème croissant à l'échelle mondiale en raison de la de la croissance démographique et de l'augmentation de la demande en produits alimentaires. Elle provient généralement de sources diffuses, telles que l'agriculture intensive et les installations sanitaires sans égout dans les régions densément peuplées, ou de sources ponctuelles telles que l'irrigation de terres par des effluents d'eaux usées (**Keeney, 1986 ; Bouchard et al., 1992 ; Eckhardt & Stackelberg, 1995; McLay et al., 2001**)

Pour mettre en évidence sur la contamination des eaux souterraines par les nitrates à usage agricole dans la plaine d'El Mahmel, 15 échantillons ont été collectés à partir de puits domestiques et forage agricole en juin 2021. Les échantillons collectés ont été choisis d'une façon homogène.

De plus, ce chapitre a pour but de définir l'état actuel de la salinité des eaux souterraines, pour cela, un certain nombre de cartes et de diagrammes ont été élaborés et serviront de base à l'interprétation générale des résultats obtenus. Les cartes sont élaborées dans un environnement SIG à l'aide du logiciel ArcGis 10.3. Ces cartes représentent la distribution spatiale des paramètres mesurés au niveau de la plaine, ainsi les variations de chaque paramètre sous forme de classes ou forme étirée, ce qui nous aide à interpréter d'une manière facile les résultats obtenus.

5.2 Le mode de prélèvement :

Les échantillons d'eau émanant de la région d'El Mahmel ont été récoltés durant le mois de Juin 2021, Le secteur d'étude est situé dans une zone à vocation agricole à l'Est de Sebkhata Ouled Ammara. Le mode de prélèvement dépend essentiellement de la nature des ouvrages utilisés. Pour les ouvrages équipés de pompe, ou pouvant l'être en utilisant des pompes

portatives, les différents organismes chargés des prélèvements procèdent de manière pratiquement identique : évacuation avant le prélèvement d'un volume d'eau de l'ordre de deux fois le volume contenu dans l'ouvrage au début du pompage. (Landreau, 1977). En ce qui concerne les ouvrages ne pouvant être équipés de pompage, les prélèvements sont effectués par capteur. Dans ce cas la représentativité de l'échantillon prélevé par rapport à l'eau de la nappe est généralement moins bonne qu'après pompage pour un certain nombre de raisons. (Landreau, 1977).

De ce fait, nous avons utilisé deux modes de prélèvements, en utilisant la corde et le seau pour les puits qui sont peu profonds, pour les forages les plus profonds et équipés de pompes nous avons pompé pour dizaines de secondes et après prélever l'échantillon.

5.3 Paramètres physico-chimiques analysés

Lors de chaque prélèvement, les paramètres physico-chimiques de l'eau ont été mesurés à l'aide d'un instrument de type YSI ProDSS. Fig. (12). Cet appareil de mesure permet une mesure simultanée des nitrates (NO_3^-), du pH, de la conductivité électrique (EC), de la quantité totale de solide dissous (TDS), oxygène dissout (O_2) et mesure également la température (T°) de l'eau prélevé. Une sonde reliée à l'appareil de mesure permet d'effectuer la mesure en temps réel sur site dès que les échantillons ont été prélevés. L'étalonnage des paramètres mesurés se réalise automatiquement à l'aide de deux séries de tampons pH, tampons EC et de tampon Nitrate mémorisés dans l'appareil.



Figure 12: Appareille utilisée pour mesuré les paramètres physico-chimique.

5.4 YSI Pro DSS (Description) :

L'YSI Pro DSS-MP utilise une base originale, des capteurs numériques totalement interchangeables : identification, calibration sont mémorisées dans chaque capteur et non dans le boîtier associé ; la connexion électro-informatique est banalisée, un capteur se positionne sur n'importe quelle connexion d'un câble de n'importe quel instrument Pro DSS-MP, l'ensemble est immédiatement opérationnel. L'YSI Pro DSS vous permet de mesurer température, conductivité/salinité, pH & redox, oxygène dissous optique, turbidité, etc. avec un câble robuste jusqu'à 100 mètres. La mesure conjointe de la profondeur et le positionnement GPS des données sont également possibles. Côte construction, l'YSI Pro DSS conserve les qualités de base de tous les appareils YSI : boîtier robuste, étanche et cloisonné, baromètre interne, connectique de qualité militaire, écran lisible sous toutes conditions, clavier luminescent.

5.5 Intérêt scientifique des paramètres mesurés :

L'intérêt scientifique des paramètres mesurés sur site peut être synthétisé de la façon suivante :

- La température influence la solubilité des sels et des gaz et notamment la quantité d'oxygène dissous dans l'eau.

- Le pH ou potentiel d'hydrogène définit la concentration de l'eau en ions hydrogène H^+ (acidité de l'eau). Pour une eau naturelle souterraine, la gamme des valeurs de pH peut varier de 4 à 10 en fonction notamment de la nature géologique des terrains traversés. Les eaux de la région sont caractérisées par des eaux généralement légèrement acides **(Lagnika et al, 2014)**.
- La conductivité électrique (EC) définit numériquement la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Ce paramètre s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m). Les éléments minéraux présents dans l'eau sont conducteurs tandis que les éléments organiques le sont beaucoup moins.
- La quantité totale de solides dissous dans l'eau (TDS) représente la concentration (mg/L) totale des substances dissoutes dans l'eau regroupant les substances minérales et les substances organiques.
- Les nitrates (NO_3^-): La présence de nitrates dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines (Santé Canada, 1992). L'utilisation de fertilisants synthétiques et de fumiers, associée aux cultures et à l'élevage intensifs, favorise l'apparition de nitrates dans l'eau.

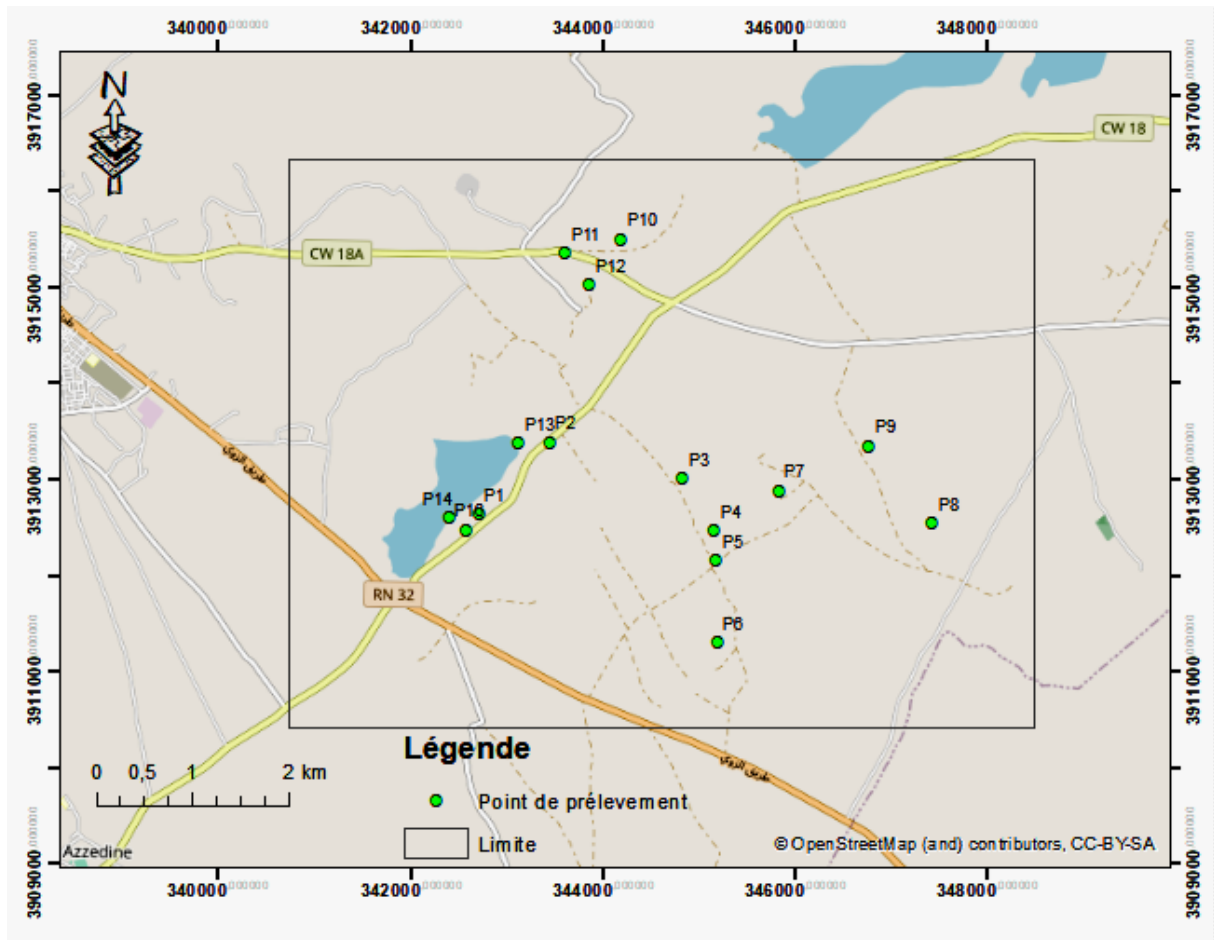


Figure 13: Carte d'inventaires d'échantillonnage des eaux souterraines.

Chapitre 2

6 Résultats et discussion :

6.1 La température Fig. (14)

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (Hceflcd, 2006 ; Belghiti, et al, 2013). Dans la plaine d'El Mahmel les résultats montrent que la température des eaux souterraines varie entre 16°C et 22°C. L'échantillon N° 8 affiche une température de 20,3°C proche à celle de l'air car il a un diamètre presque de 5 m et il est exposé aux conditions externes (puit). La température de l'échantillon 15 prélevé du Sebka, est de 22°C semblable à celle de l'air.

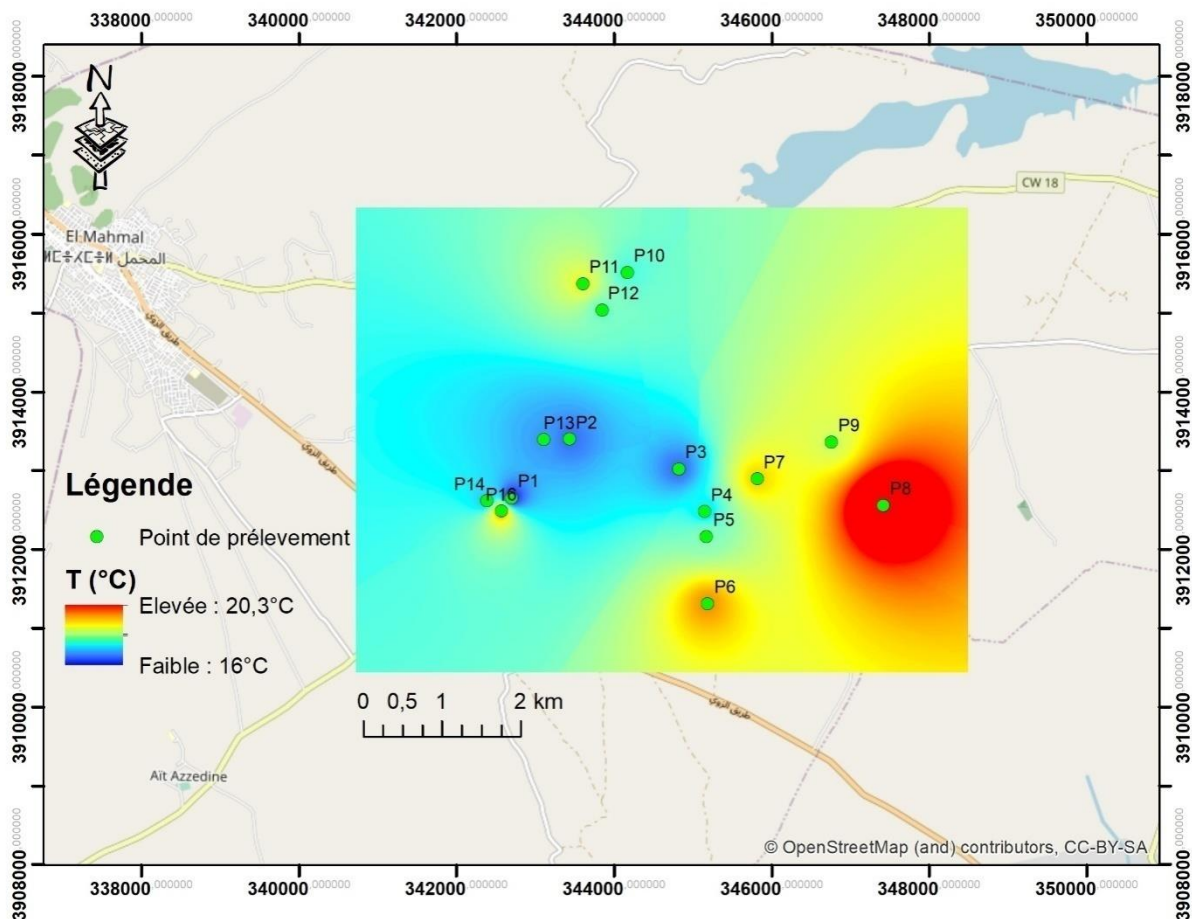
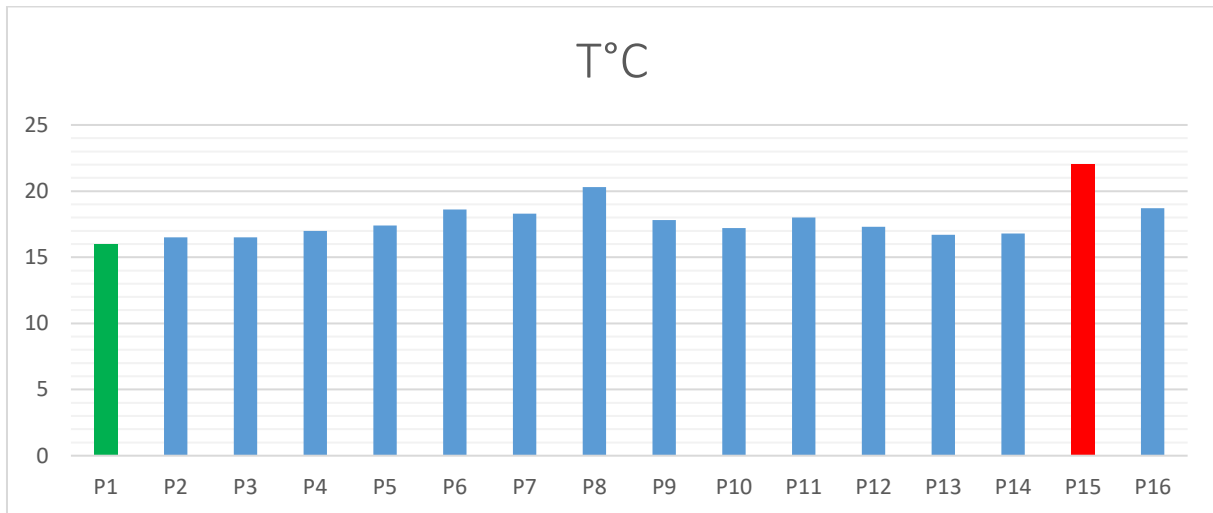


Figure 14: Carte d'iso valeur de la température.

Tableau 4: Synthèse statistique du paramètre Température (T°).

Min	16,00
Max	20,29
Moyen	17,59
Ecart type	0,60

**Figure 15:** diagramme de variation des valeurs de la température.

6.2 Le pH : Fig. (16)

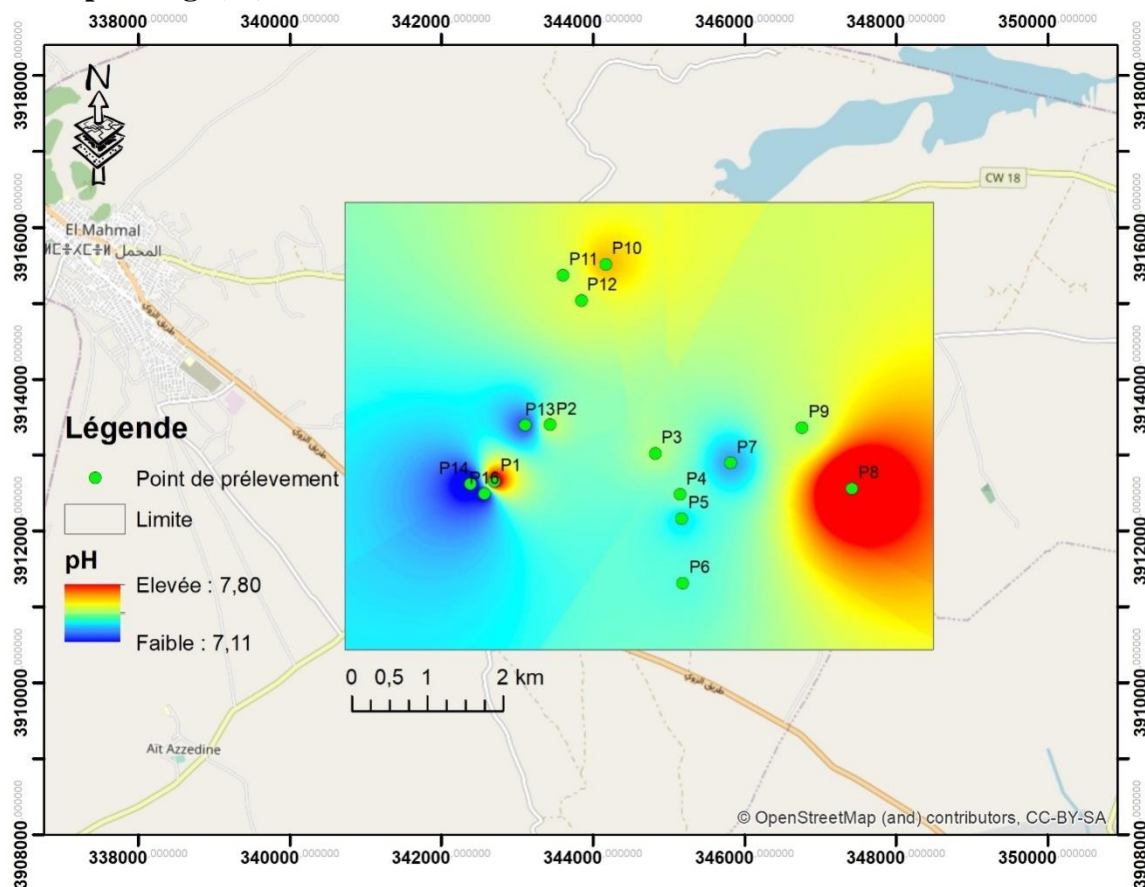
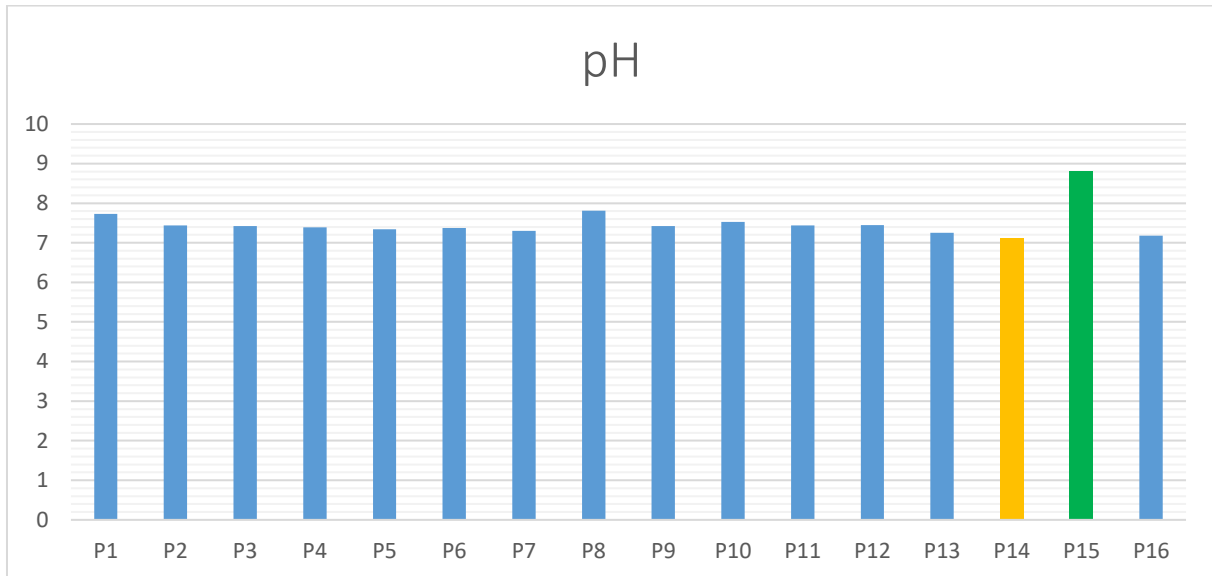


Figure 16: Carte d'iso-valeurs du pH.

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966, Bermond & Vuichard, 1973). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci être compris entre 5 et 9 (Hceflcd, 2006 ; Belghiti et al, 2013). Le pH mesuré sur le terrain au niveau des forages est variés entre 7,11 enregistré au forage P14 comme valeur minimale et 7,81 comme valeur maximal enregistré au forage P8. Le pH de sebka est de l'ordre de 8,8. . La valeur moyenne calculée sur 15 échantillons est de 7,41 ce qui reflète un caractère neutre des eaux souterraines de la région d'El Mahmel.

Tableau 5: Synthèse statistique du paramètre de pH.

Min	7,11
Max	7,80
Moyen	7,41
Ecart type	0,08

**Figure 17: diagramme de variation des valeurs de pH.**

6.3 La conductivité électrique (CE) : Fig. (18)

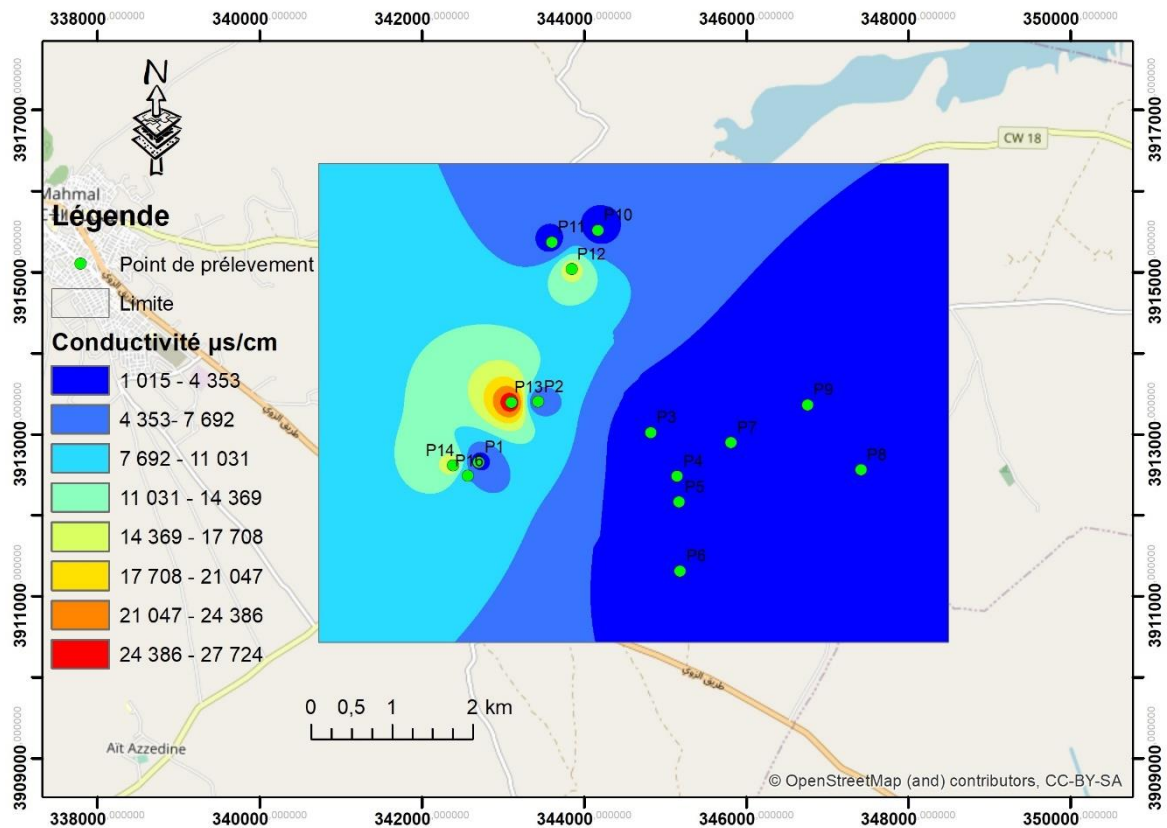


Figure 18: Carte d'iso-valeurs de la conductivité électrique.

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) : $1\text{S/m} = 104\ \mu\text{S/cm} = 10^3\ \text{S/m}$. La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau (Hceflcd, 2006). En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. (Belghiti et al, 2013). Les résultats obtenus montrent une variation spatiale remarquable. Les valeurs maximales sont enregistrées au point P13 avec une valeur de $27730\ \mu\text{S/cm}$, aux points P12 et P14 la conductivité enregistrée est de 16220 et $17400\ \mu\text{S/cm}$ respectivement. La valeur minimale est enregistrée au point P3 avec une valeur de $1015\ \mu\text{S/cm}$. Les zones de faibles conductivités situées à l'est de la zone d'étude correspondent habituellement à des endroits où les forages sont peu profonds. Les forages qui traversent des horizons de dépôts meubles donnent des eaux faiblement minéralisées. Les zones de fortes conductivités électriques quant à elles sont localisées à l'ouest à proximité du Sebkhât ce qui met en évidence l'influence des eaux de surface de Sebkhât fortement minéralisées sur les

eaux souterraines (échange hydraulique) d'une part et d'autre part la lithologie de l'aquifère (présence des évaporites de Trias).

Tableau 6: Synthèse statistique du paramètre CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

Min	1015,16
Max	27724,82
Moyen	5753,29
Ecart type	3571,75

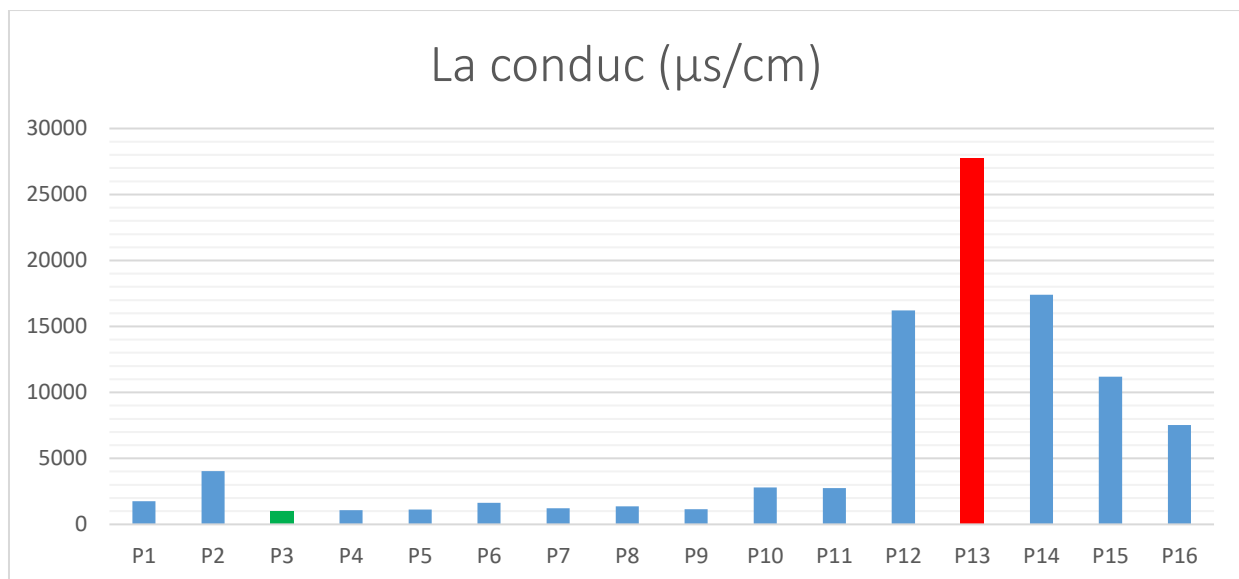


Figure 19: diagramme de variation des valeurs de la conductivité électrique.

6.4 L'oxygène dissout O₂ : Fig. (20)

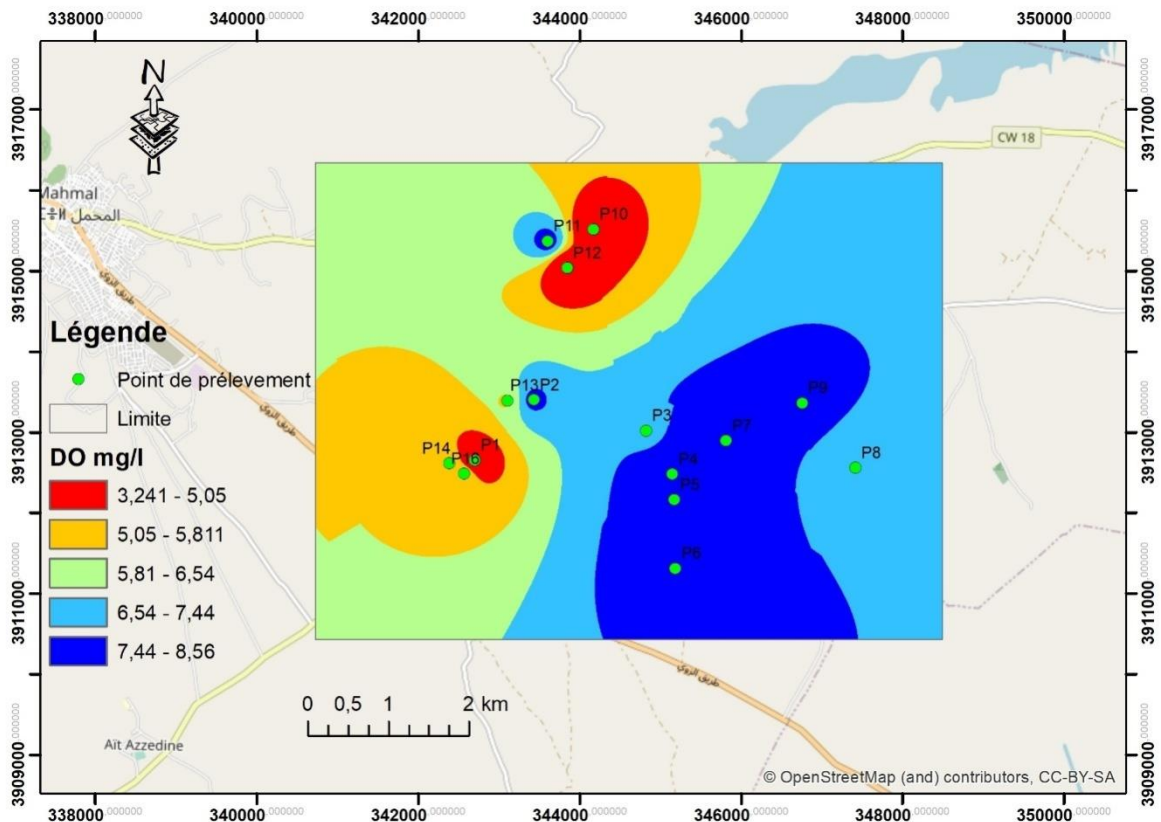
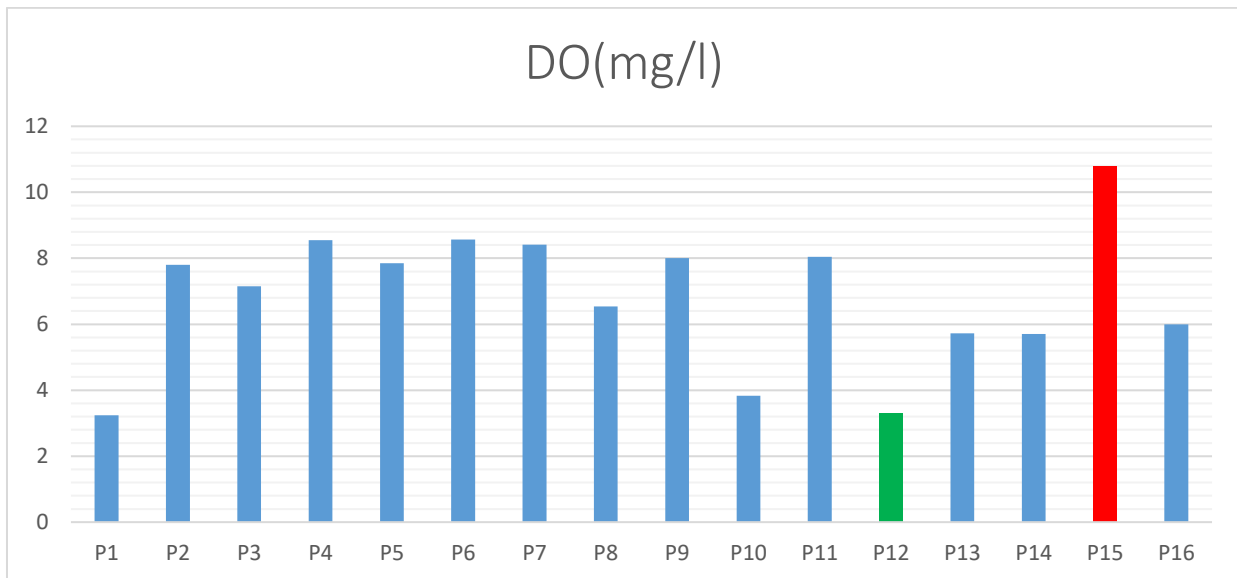


Figure 20: Carte d'iso-valeur de l'oxygène dissout.

L'oxygène dissout (O₂) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques (Hceflcd, 2007). Il joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans l'autoépuration. Sa présence dans les eaux souterraines est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau. (Belghiti et al, 2013). Pour l'ensemble des prélèvements, l'oxygène dissout présente des variations importantes d'un point à un autre, elle varie de 3,24 à 8,56 mg/l. Les résultats obtenus montrent que les puits P1, P10, P12, P14 et P16 sont légèrement sous oxygénés (3,24 à 5,81 mg/l) ce que indique la présence probable d'une pollution (eutrophisation). La carte d'iso-teneur en oxygène dissout montre une diminution latérale vers l'ouest à proximité de Sebkh. Cette dernière est le siège d'une forte eutrophisation à cause des rejets des eaux usées domestiques de la ville d'ElMahmel direct dans le Sebkh.

Tableau 7: Synthèse statistique du paramètre de l'oxygène dissout.

Min	3,24
Max	8,56
Moyen	6,61
Ecart type	0,91

**Figure 21:** diagramme de variation des valeurs de l'oxygène dissout.

6.5 Total des solides dissous TDS (mg/l) : Fig. (22)

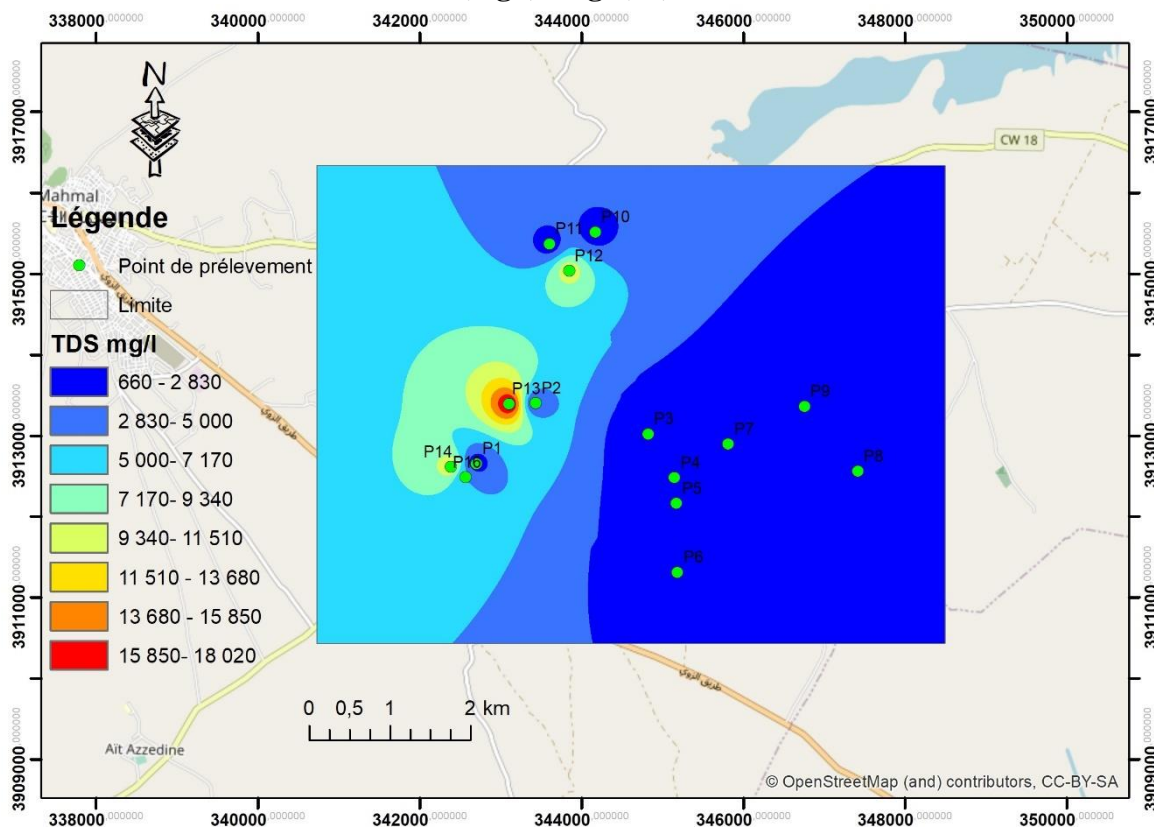


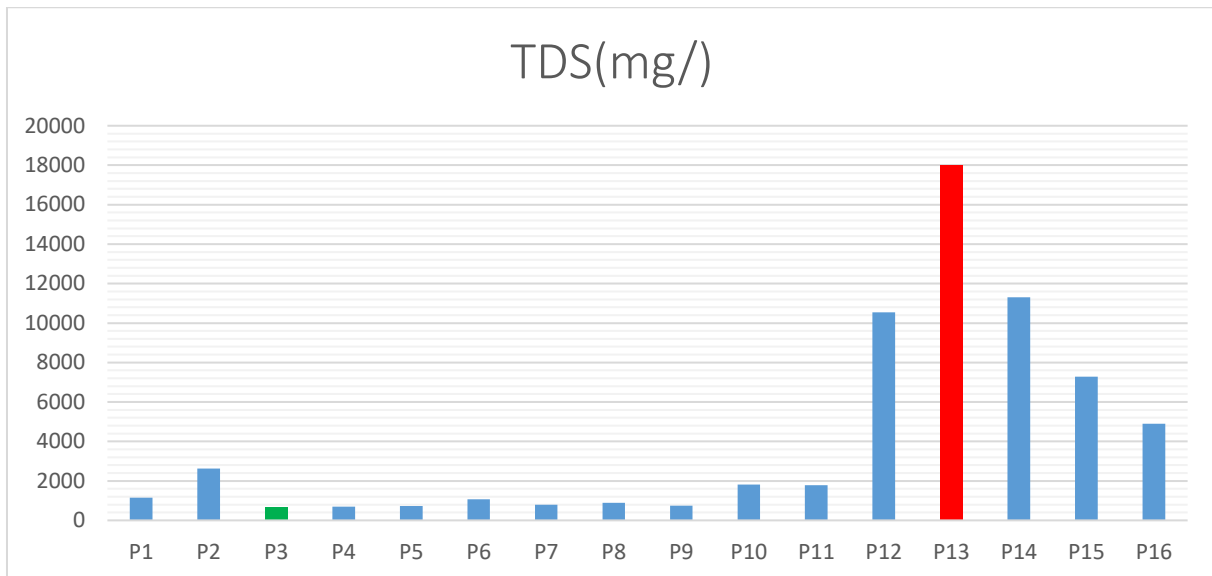
Figure 22: Carte d'iso-valeurs des solides dissous totaux.

Les solides dissous totaux (TDS) représentent la concentration totale de la substance dissoute dans l'eau. Le TDS dans l'eau est un composé de sels inorganiques et de petites quantités de substances organiques. Les principaux sels inorganiques qui contribuent à l'augmentation de la TDS sont le carbonate, le bicarbonate, le chlorure, le sulfate, le nitrate, le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium. Un niveau élevé de TDS dans les eaux souterraines peut provenir de sources naturelles telles que le ruissellement urbain, les rejets d'effluents d'eaux usées, les fosses septiques, les décharges de déchets dangereux, la nature du sol, les minéraux dissous, les déchets d'élevage et les rejets industriels (Ayodele & Olufunmilayo, 2012 ; Harb Aljazzar, 2010). Les résultats obtenus montrent que le forage P13 représente la plus élevée valeur > 18000 mg/l, ainsi que les forages P12, P14 ont des valeurs élevées de TDS (10539 et 11313,8 mg/l respectivement), ce sont les même forage qui ont une conductivité très élevées. Les valeurs de TDS diminuent de plus en plus en allant vers l'est, où il atteint des valeurs minimales de l'ordre de 660 mg/l au forage P3.

A partir de ces résultats de TDS il est remarquable que Sebkhah a une influence directe sur les eaux souterraines par échange hydraulique entre les eaux de surface et les eaux souterraines,

Tableau 8: Synthèse statistique du paramètre de TDS (mg/l).

Min	660,10
Max	18020,63
Moyen	3739,60
Ecart type	2321,80

**Figure 23:** Diagramme de variations des valeurs de TDS.

6.6 Les Nitrates NO_3^- : Fig. (24)

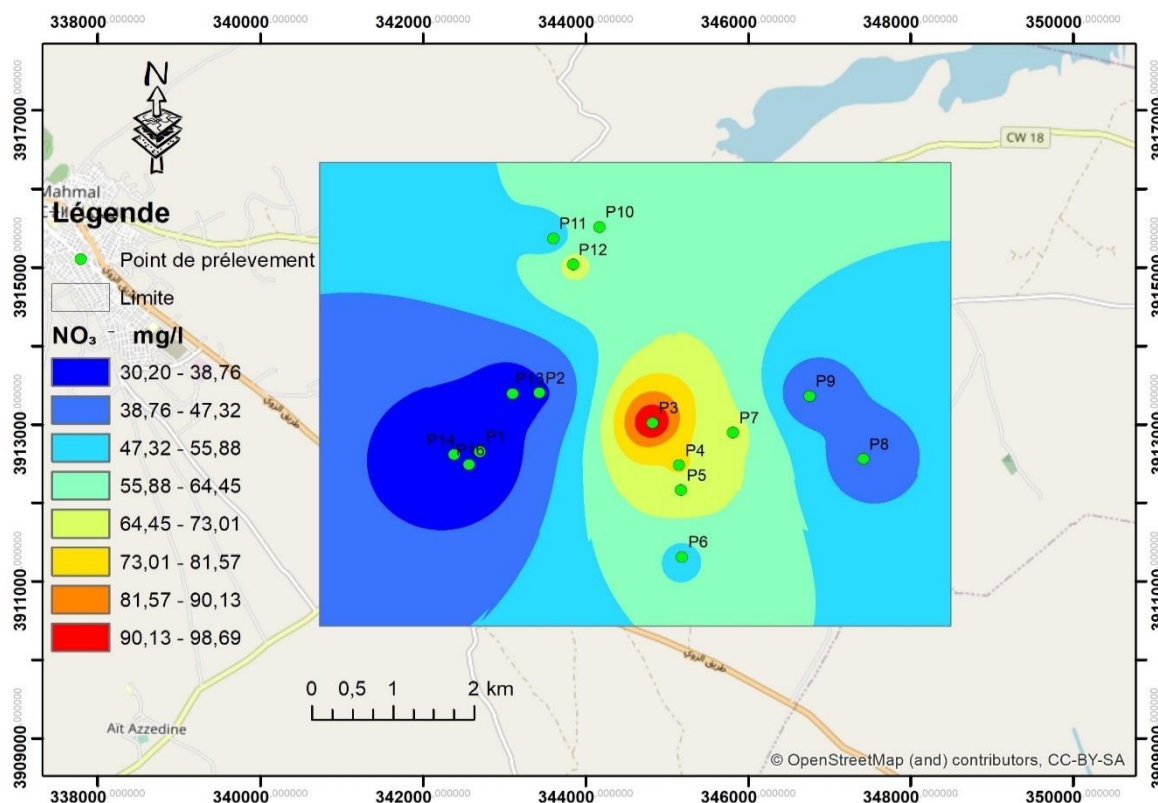


Figure 24: Carte d'iso-valeurs des nitrates.

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels (Samak, 2002). L'azote est un élément indispensable dans l'édification de la cellule. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme moléculaire (N_2) ou ionisée : Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée, etc.). Ces différentes formes de l'azote sont en perpétuelle évolution. Elles passent de l'une à l'autre par des processus physico-chimique et surtout biochimique. Les nitrates ne représentent qu'une des multiples formes de l'azote présent dans l'eau, tout en constituant, en général, la forme la plus abondante de l'azote minéral. (Belghiti et al, 2013).

Les résultats de mesure révèlent que les teneurs en nitrates des eaux souterraines sont très variables d'un forage à l'autre. Elles se situent, durant la période de suivi, entre 30 et 98 mg/l. avec une moyenne de 52,6 mg/l.

L'examen de la carte de la distribution spatiale de la teneur en nitrates Fig (23) met en évidence la partie centrale de la zone d'étude est le siège des valeurs élevées en Nitrates (P3, P4, P5, P7, P10 et P12).

L'histogramme des teneurs en nitrates Fig (25) montre une légère variation de ces teneurs qui oscillent entre 30,20 et 98,69 mg/l, nous observons que les teneurs de nitrates dans les eaux souterraines pour les puits P3, P4, P5, P7 et P12 sont élevées (64,45 à 98,69) mg/l à cause des pratiques agricoles qui est basée sur l'utilisation des fertilisants organique riches en azote tels que les fumiers d'animaux, ainsi les déchets d'animaux car c'est une zone pastorale.

Tableau 9: Synthèse statistique des nitrates (mg/l).

Min	30,20
Max	98,69
Moyen	52,66
Ecart type	9,36

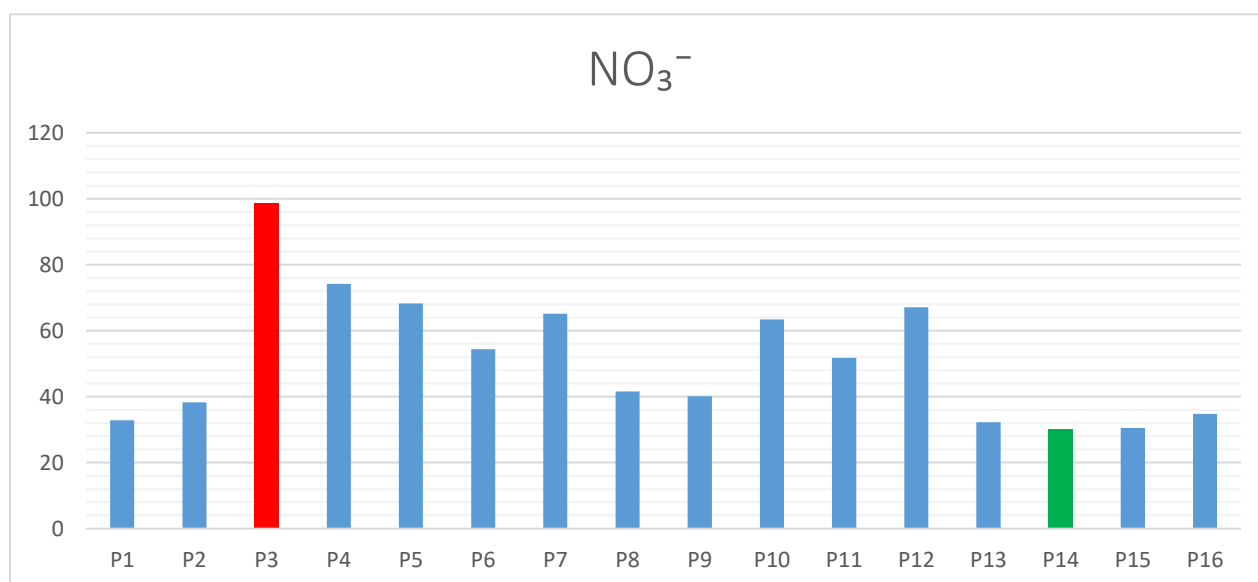


Figure 25: diagramme de variation des valeurs des nitrates.

6.7 Causes de la pollution nitrique :

D'après les cartes de la distribution spatiale du niveau des nappes par rapport au sol Fig. (24) On constate que les nappes sont situées à une profondeur modéré par rapport à la surface du sol (> 5m) ce qui favorise la propagation rapide des ions de nitrates vers les eaux souterraines.

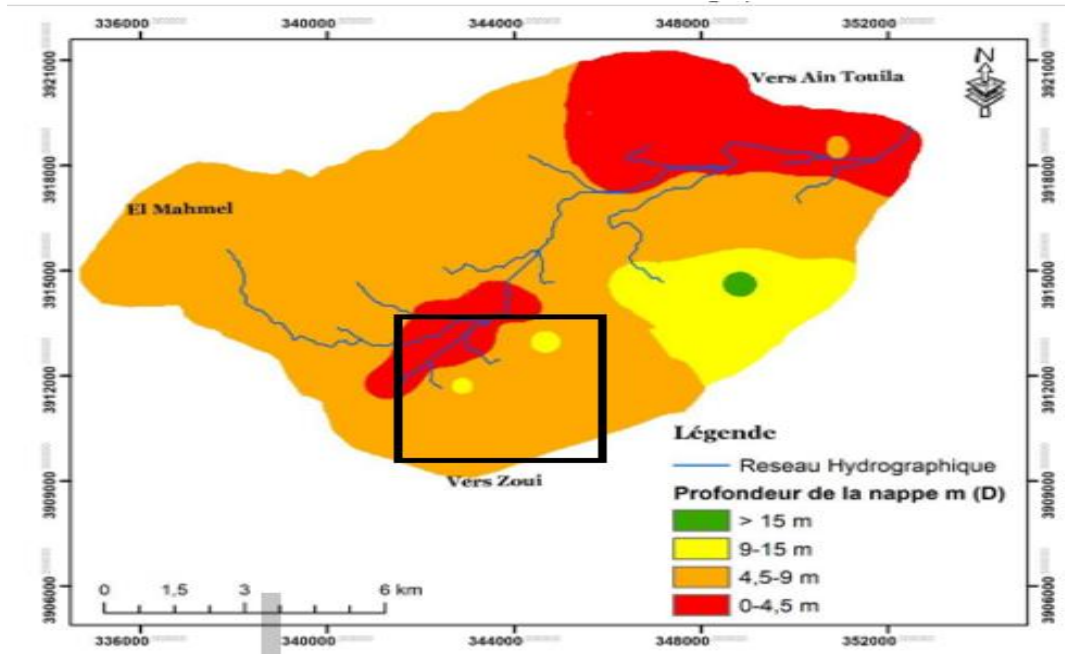


Figure 26: Carte de profondeur de la nappe de la zone d'étude.

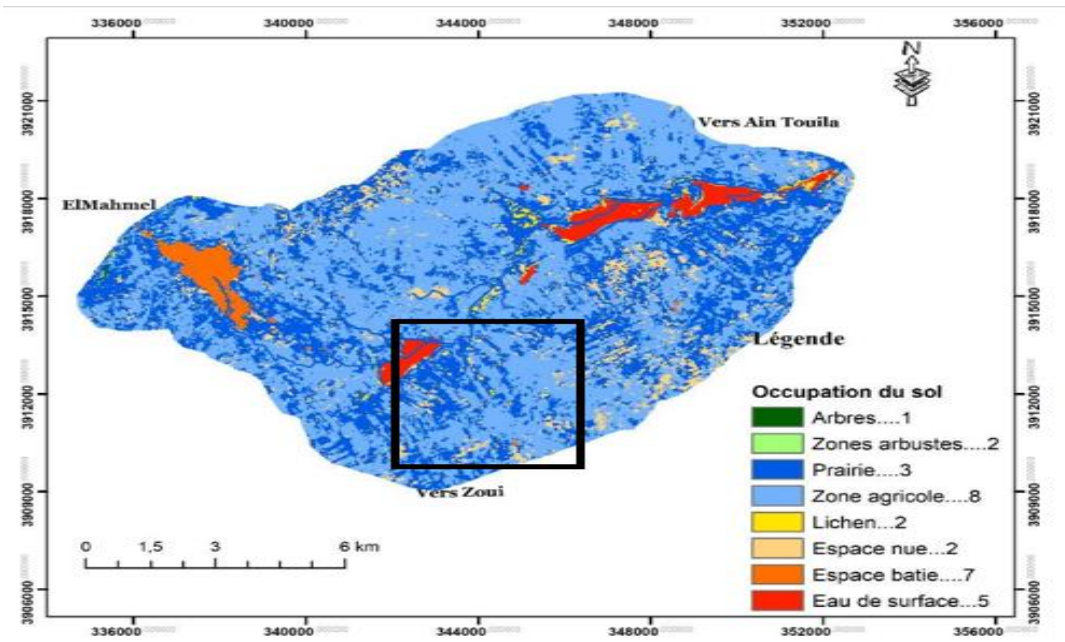


Figure 27: Carte d'occupation du sol de la zone d'étude.

L'analyse de la carte d'occupation du sol Fig. (26) montre que les surfaces agricoles et pastorales sont prédominantes avec céréaliculture comme activité agricole majeure. L'élevage bovin occupe aussi une place très importante dans la zone d'étude ce qui génère des quantités très importantes de fumiers animaux et par conséquent l'augmentation de la teneur en nitrates dans les eaux souterraines.

Parmi les cultures pratiquées, le maraîchage occupe une place importante. Vu leur besoin élevé en eau et en azote, ces cultures peuvent générer des pertes en nitrates dans le sol, ce qui expliquerait les pics en nitrates des eaux souterraines. Le caractère généralisé de cette pollution appuie cette hypothèse et serait en faveur d'une pollution d'origine agricole liée à des apports excessifs en eau et en engrais azotés pour les cultures surtout en été. L'importance de l'occupation du sol dans la détermination du risque de pollution des eaux souterraines par les nitrates a été, en effet, mise en évidence par plusieurs auteurs (**Bauder et al., 1993 ; Fletcher, 1991 ; Juergens, 1989 ; Matthias et al., 1993**). La vitesse d'infiltration élevée de l'eau en milieu saturé, constitue également un facteur positif de vulnérabilité de la nappe à la pollution nitrique des eaux souterraines (**Navulur & Engel, 1998 ; Pixie & Dennis, 1995**). La texture limono argileuse du sol de la plaine d'El Mahmel est assez perméable. Ceci montre clairement que la vitesse d'infiltration des sols n'est pas liée uniquement à la texture mais également à la structure du sol.

6.8 Conclusion :

Dans la plaine d'El Mahmel les eaux souterraines sont la seule ressource pour la consommation humaine et animale et pour l'irrigation. Les analyses physico-chimiques effectuées in situ durant le mois de Juin 2021 ont montré une forte minéralisation en allant vers l'ouest de la zone d'étude à cause d'une part de l'échange hydraulique entre Sebkhata ouled Ammara et la nappe d'eau souterraine et d'une autre part en relation avec les formations argileuses salines de Trias qui constituent le substratum de la nappe dans sa partie nord-ouest.

La pollution azotée d'origine agricole provient essentiellement (85%) de l'entraînement des fertilisants minéraux ou organiques épandus sur les terres cultivées puis ponctuellement (et minoritairement) de rejets d'effluents d'élevage directement au milieu. S'ils ne sont pas consommés par les plantes, les nitrates - totalement solubles dans l'eau - sont rapidement entraînés vers les nappes souterraines et les cours d'eau par lessivage et drainage des sols.

Conclusion générale

7 Conclusion générale et recommandations

7.1 Conclusion :

La plaine d'ElMahmel située au sud de la wilaya de Khenchela au nord de la RN 32 reliant El-Mahmel àZoui. Il est dans les Hautes Plaines constantinoises, située entre 750 et 1100 m d'altitude. Il est considéré comme l'une des plus importantes zones humides et le seul écosystème aquatique naturel de la wilaya de Khenchela.

La zone fait partie du climat semi-aride avec une température moyenne de 19,40°C (2005-2015) et de précipitation moyenne de 38 mm (2005-2015). Cette zone est définie par deux grands aquifères ; l'un est constitué par des dépôts de sable argile et gravier et l'autre est constitué par des ensembles de calcaires et des intercalations des marnes .Ces eaux souterraines sont d'une bonne qualité physicochimique. Mais elle reste menacé par le phénomène de pollution surtout d'origine agricole (Nitrate, Pesticides...)

La géologie de la zone d'étude est constitué dans sa majeure partie par le quaternaire il recueilli tous les produits de l'érosion des reliefs environnants.La sédimentation est en majeure partie sableux, limoneux ; avec une proportion importante de gypse. On y trouve également des intercalations de : graviers, avec de gros galets. Le Crétacé : il correspond aux formations carbonatées situées surtout au nord de la plaine (DjebelTAFRENT). Le Trias Diapirique essentiellement évaporitique et se présente sous forme de structure diapiriqueet en lames injectées le long des accidents tectoniques.Le diapir de Tazouguert est formé par des argiles varicolores et gypses carotiques à glaçon avec passage des marnes calcaires et cargneules.

L'activité principale dans la zone d'étude tourne autour de l'agriculture et l'élevage, le risque de la pollution menace les eaux souterraines surtout par les nitrates. Pour évaluer la pollution des eaux souterraines par les nitrates d'origine agricole une caractérisation physico-chimique a été réalisée pendant les mois de Juin 2021 sur des eaux de forages de la nappe d'El Mahmel.

L'analyse des résultats montre que les eaux souterraines sont fortement minéralisées surtout dans les parties proches de Sebkha. Cette dernière est le sièges des rejets des eaux usée et domestique de la ville d'El Mahmel. La salinité diminue de plus en plus en allant vers l'Est. La représentation spatiale des teneurs en nitrates à l'aide d'une carte, indique que les zones les plus affectées par la

Conclusion générale et recommandations

pollution sont celles sont celle situé au centre de la zone d'étude Ces sites sont reconnus par des pratiques d'élevage et agricole importantes. Les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines atteignent 98 mg/l.

A l'issu de cette étude, les résultats montrent que la contamination de la nappe d'ElMahmel par les nitrates et la forte salinité des eaux souterraines est indéniable.

7.2 Recommandations :

- ✓ le contrôle de l'utilisation des engrais chimiques.
- ✓ Les apports de fertilisants azotés devront être adaptés en tenant compte des besoins des plantes selon les objectifs de rendements et du taux d'azote résiduel dans le sol en sortie de culture précédente.
- ✓ Interdiction d'épandage à proximité des eaux de surface, des puits et des forages.
- ✓ La mise en place d'une Culture Intermédiaire «Piège à Nitrate» qui couvre le sol en automne pour limité le lessivage des nitrates vers la nappe, causé par les pluies d'automne et d'hiver sur les sols nus.
- ✓ Mettre en place d'une station d'épuration des eaux usées et domestique de la ville d'El Mahmel et éradiquées. Les décharges sauvages et les remplacées par des centres d'enfouissement technique.
- ✓ Pour les nouveaux forages destinés à l'irrigation doit impérativement réalisé loin de Sebka.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

(A)

- **ADEM. (2008).** Matières fertilisantes organiques : gestion et épandage.
- **Akissi veronique, K. (2008).** Bilan théorique de l'azote sur des parcelles expérimentales irriguées avec les eaux usées. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'équipement rural. Institut internationale de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 11-13.http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=811
- **Amrani, N & Zerouk. (2020).** Contribution à l'étude de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole-cas de la nappe d'El Mahme Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Ecologie et environnement Spécialité : protection des écosystèmes. Univesité Abbès Lagheror Khenchela, 11.
- **Andrianarisoa, K.S. (2009).** Minéralisation de l'azote et nitrification dans les écosystèmes forestiers : effet du type de sol et de l'essence forestière. Sciences agricoles. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2009. Français, 17.<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748509/document>

(B)

- **Banas, D., & Lata, J.C. (2006).** Les nitrates. Université Paris-Sud ; Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution ; UMR 8079 - CNRS/ENGREF/Univ. Paris-Sud ; Bât 362 ; F-91405 Orsay Cedex France, [5.https://www.researchgate.net/publication/338901161_Les_nitrates](https://www.researchgate.net/publication/338901161_Les_nitrates)
- **Bauder, J.W., Sinclair, K.N & LUND, R.E. (1993).** Physiographic and land use characteristics associated with Nitrate-Nitrogen in Montana ground water. J. Environ. Quai., 22, 225-262.
- **Beauchamp, J. (2006).** Qualité et pollution des eaux souterraines. Consulté le 13 Juin 2021. <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm>
- **Belghiti, M.L., Chahlaoui A., Bengoumi, D & El Moustaine, R. (2013).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, 21-36.<http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/3>

Références bibliographiques

- **Bouchard, D.C., Williams, M.K & Surampalli, R.Y. (1992).** Nitrate combination of groundwater sources and potential health effects. *J Am Med Assoc* ; 7:85 – 90
- **Boulahia, A. (2016).** L'eau d'irrigation en Algérie. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie Filière : Sciences Biologiques Spécialité : Ecologie et environnement. Option : Gestion Durable des Ecosystèmes et Protection de l'Environnement. Université les Frères Mentouri Constantine. 16.
<https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mmf/2016/193.pdf>

(C)

- **Canada.ca. (2013).** Pollution atmosphérique : effets sur le sol et l'eau. Consulté le 08 Juin 2021. <https://www.canada.ca/fr.html>
- **Chabour, N., Mebrouk, N., Hassani, I H., Upton, K, Ó Dochartaigh., B., & Bellwood-Howard, I. (2018).** Atlas de l'eau souterraine en Afrique : hydrogéologie de l'Algérie. British Geological Survey. Consulté le 28 Mai 2021. http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrogéologie_d'Algérie

(D)

- **Darwish, T., Atallah, T., Francis, R., Saab, C., Jomaa, I., Shaaban, A., Sakka, H., & Zdruli, P. (2011).** Observations on soil and groundwater contamination with nitrate : A case study from Lebanon-East Mediterranean. *Agricultural Water Management*, 99(1), 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.016>
- **Didi, S.R.M. (2013).** Revue bibliographique sur les techniques d'évaluations de la qualité de l'eau destinée à l'irrigation. Mémoire présenté pour l'obtention de Licence en sciences et techniques de l'eau option : géosciences et environnement spécialité : hydrochimie. Université Nangui abrogoua Cote d'ivoire, 15. http://archives.uvci.edu.ci:52002/data/UNA/import_sauvegarde_09032018_una/MOIRE_636930108704557413.pdf.

(E)

- **Eau France. (2019).** Lutter contre la pollution de l'eau. Consulté le 13 Juin 2021. <https://www.eaufrance.fr>
- **Eckhardt, DAV & Stackelberg, P.E. (1995).** Relation of ground-water quality to land use on Long Island, New York. *Groundwater* ; 33:1019 – 33.

(F)

- **Fletcher, D.A.(1991)**. Managing nitrogen for ground water quality and farm profitability : a national perspective. Soil Science society of America, Madison, WI, 9-17.
- **FranceEnvironnement. (2017)**. YSI Pro DSS-MP, instrument afficheur et enregistreur multi-paramètres de terrain. Consulté le 14 Juin 2021
<https://www.franceenvironnement.com>

(G)

- **Gouy, V., & Girl, J.J. (2001)**. Diagnostic de la pollution diffuse par les produits phytosanitaires et solutions correctives. Ingénieries 2001 – N° Spécial Phytosanitaires, 81.<http://www.set-revue.fr/sites/default/files/articles-eat/pdf/DG2001-PUB00010110.pdf>.

(H)

- **Harb Aljazzar, T. (2010)**.Ajustement de l'indice de vulnérabilité DRASTIC pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution par les nitrates en utilisant la cellule d'advection-diffusion. Thèse pour obtenir le grade de docteur. De la Faculté des ressources géographiques et de la technique des matériaux la Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 39-43.
- **Hemich, M., Hichar, R & Houichi, I. (2017)**. Contribution à l'étude de la contamination des eaux souterraines à usage agricole par les nitrates dans la plaine de Bousàada (Sud-Est Algérien). Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique. Production vegetale. Universite Mohamed Boudiaf M'sila. 7-10.
<http://news-31170-guide-mafor-ademe.pdf> (actu-environnement.com)

(I)

- **IBGE. (2005)**. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général Les données de l' : "L'eau à Bruxelles", 1-3.https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/Eau%202
- **Idrissi, L. (2006)**. Nitrates et nitrites Polluants qui menacent la santé et l'environnemen_ Les technologies de laboratoire - n°1 – 2006,

12. [https://www.researchgate.net/publication/26844370_Nitrates_et_nitrites_Polluants
qui_menacent_la_sante_et_l'environnement](https://www.researchgate.net/publication/26844370_Nitrates_et_nitrites_Polluants_qui_menacent_la_sante_et_l'environnement)

(J)

- **Juergens, G.S. (1989).** Ground water nitrates in other developed countries (Europe) - Relationships to land use patterns. Chapitre 4. In : FOLLETT R.F. USDA - ARS (eds), Nitrogen management and ground water protection, Northern plains Area, 301 South Howes, P.O. Box E, Fort Collins, CO 80522, USA, 75-138.

(K)

- **Keeney D. (1986).** Sources of nitrate to groundwater. CRC Crit Rev Environ Control ; 16:257 – 304.
- **Kheliel, O., & Leila, Y. (2017).** Les nitrates dans les eaux souterraines de la région d'el-grouss (biskra) et possibilités de traitement. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°30, Juin 2017, 349-360. <https://www.researchgate.net/publication/322937085>

(L)

- **Lefrançois, J. (2007).** Dynamiques et origines des matières en suspension sur de petits bassins versants agricoles sur schiste. Thèse de doctorat de l'Université Rennes 1, 13. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00178187/document>
- **Lenntech. (s.d).** La pollution de l'eau. Consulté le 30 Mai 2021.
- **Matthias, P., Tamas, H. (1993).** Environmentally friendly land use according to site conditions on watershed in hesse, Germany. Elsevier Sciences Publishers B.V., Amsterdam. Landscape and Urban Planning, 27, 151-159.

(M)

- **McLay, CDA., Dragten, R., Sparling, G & Selvarajah, N. (2001).** Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use : à comparison of three approaches. Environ Pollut ; 115:191 – 204
- **Mérigout, P. (2006).** Étude du métabolisme de la plante en réponse à l'apport de différents fertilisants et adjuvants culturaux. Influence des phytohormones sur le métabolisme azoté. Thèse Pour obtenir le grade de docteur de l'institut national agronomique Paris-Grignon, 6. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00002273/document>

Références bibliographiques

- **Miguel, M., & Aranguren S. (2008).**Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Thèse en vue de l'obtention du doctorat. spécialité : Sciences de la Terre et Environnement. Université de Toulouse.

(N)

- **Navulur k.C.S., Engel, B.A. (1998).** Ground water vulnerability assessment to non-point source nitrate pollution on a regional scale using GIS. Soil & Water division of ASAE, 41 (6), 1671-1678.

(O)

- **Ounissi, O.,& Khelifi, A. (2007).** Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution cas de la nappe d'El Mahmel –Khenchela. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Génie de l'environnement Spécialité : Protection et Décontamination des Eaux et Sols Pollués. Université Abbés Laghrour Khenchela. 3-21.

(P)

- **Pixie, A.H., Dennis, R.H.(1995).** Effects of agriculture on ground-water quality in five régions of the United states. Ground Water, 33 (2), 217-226.
- **Saffache, P (2002).** La pollution agricole. Consulter le 31 Mai 2021.
<https://www.futura-sciences.com>.

(S)

- **Sajedi-Hosseini, F., Malekian, A., Choubin, B., Rahmati, O., Cipullo, S., Coulon, F., & Pradhan, B. (2018).** A novel machine learning-based approach for the risk assessment of nitrate groundwater contamination. Science of The Total Environment, 644, 954–962. <https://doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.054>
- **Sawadogo, B.(2018).**Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien : cas des eaux usées de brasserie au Burkina Faso. THÈSE En Cotutelle Pour obtenir le grade de docteur de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) Ecole doctorale Sciences et

Références bibliographiques

Technologies de l'Eau, l'Energie et l'Environnement Spécialité : Eau, 9-10.<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02071743/document>

- **Sedrati, A. (2013).**Détermination de la salinité et la contamination de la nappe de la Sebkhia d'El Mahmel. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Génie de l'environnement Spécialité, Ecologie et Environnement. Université Abbès Lagheror Khenchela, 20.
- **Soares Pereira-Derome, C. (2016).** Influence de la matière organique dissoute d'origine urbaine sur la spéciation des micropolluants : de la station d'épuration au milieu récepteur. Mémoire de thèse présenté pour l'obtention du titre de docteur de l'université Paris-Est Spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, 34.<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01621716/document>
- **Spalding, R.F ; Exner, M.E. (1993).** Occurrence of nitrate in groundwater—a review. J Environ Qual ; 22:392 – 402.

(Z)

- **Zebracki, M. (2008).** Devenir des polluants métalliques associés aux sédiments contaminés dans un cours d'eau en relation avec la dynamique sédimentaire. Thèse pour l'obtention de doctorat. Université Paris-Sud xi e.d. ra yonnements et environnement, 23.https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01180203/file/ENPC00_TH_LEESU_0006.pdf

Résumer

La pollution de l'eau est l'un des plus grands problèmes environnementaux et les nitrates sont parmi les polluants les plus courants et les plus répandus dans les eaux souterraines. Il y a eu une demande croissante d'eau douce au cours des deux dernières décennies en raison d'une augmentation progressive de la population. Dans le même temps, une quantité croissante de déchets et de produits chimiques provoque la contamination des ressources en eau, en particulier des eaux souterraines. C'est le cas du nitrate qui est retenu dans les nappes phréatiques par les activités agricoles, à savoir les engrais et les déjections animales. Dans ce travail de recherche, une tentative a été faite pour estimer la distribution spatiale des nitrates dans les eaux souterraines de la plaine d'ElMahmel (Sud de Khenchela). Les résultats indiquent que, les teneurs en nitrates des eaux souterraines sont très variables d'un forage à l'autre. Elles se situent, durant la période de suivi, entre 30 et 98 mg/l. avec une moyenne de 52,6 mg/l. L'examen de la carte de la distribution spatiale de la teneur en nitrates montre que la partie centrale de la zone d'étude est le siège des valeurs élevées en Nitrates (98 mg/l).

Mots clés : Eaux souterraines, pollution, nitrates, salinité, ElMahmel, Khenchela.

ملخص

يعد تلوث المياه من أكبر المشكلات البيئية، وتعتبر النترات من أكثر الملوثات شيوعًا وانتشارًا في المياه الجوفية. كان هناك طلب متزايد على المياه العذبة على مدى العقدين الماضيين بسبب الزيادة التدريجية في عدد السكان. في الوقت نفسه، تتسبب كمية متزايدة من النفايات والمواد الكيميائية في تلوث موارد المياه، وخاصة المياه الجوفية. هذا هو الحال مع النترات التي تنتقل إلى المياه الجوفية من خلال الأنشطة الزراعية، مثل الأسمدة والفضلات الحيوانية. في هذا العمل البحثي، جرت محاولة لتقدير التوزيع المكاني للنترات في المياه الجوفية لسهل المحمل (جنوب خنشلة). تشير النتائج إلى أن محتويات النترات في المياه الجوفية متغيرة للغاية من بئر إلى آخر. يتراوح حجمها بين 30 و98 مجم / لتر خلال فترة المتابعة. بمتوسط 52.6 ملجم / لتر. يوضح فحص خريطة التوزيع المكاني لمحتوى النترات أن الجزء المركزي من منطقة الدراسة هو موقع قيم النترات العالية (98 مجم / لتر).

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، التلوث، النترات، الملوحة، المحمل، خنشلة

Abstract

Water pollution is one of the biggest environmental problems and nitrates are among the most common and widespread pollutants in groundwater. There has been an increasing demand for fresh water over the past two decades due to a gradual increase in population. At the same time, an increasing amount of waste and chemicals is causing contamination of water resources, especially groundwater. This is the case of nitrate which is retained in groundwater by agricultural activities, namely fertilizers and animal manure. In this research work, an attempt was made to estimate the spatial distribution of nitrates in groundwater in the plain of ElMahmel (South of Khenchela). The results indicate that the nitrate content of groundwater is very variable from one borehole to another. They are located, during the monitoring period, between 30 and 98 mg/l. with an average of 52.6 mg/l. The examination of the map of the spatial distribution of the nitrate content shows that the central part of the study area is the seat of the high values in Nitrates (98 mg/l).

Keywords: Groundwater, pollution, nitrates, salinity, ElMahmel, Khenchela

FIN