

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounâama de Khemis Miliana

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département des Sciences Biologique



Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master

Analyse de la variation spatio-temporelle des nitrates à l'échelle de la nappe du haut Cheliff cas de la plaine de Khemis-Miliana

Soutenu le : 20 /10/2020

Par :

M^{lle}. Boukerra AbbaciAmira

M^{lle}. Otmani Hind

Devant le Jury :

Mme.Guetarni.H

MCA UDBKM

Présidente

Mme. Touhari.F

MCB UDBKM

Promotrice

Mme.Mostfaoui.H

MAA UDBKM

Examinatrice

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions « ALLAH », le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la santé, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science, afin de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons particulièrement à remercier notre promotrice de mémoire Madame Touhari f. maitre de conférence B à l'université de Khemis Miliana, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa patience, l'encouragement, l'orientation et les conseils précieux.

Nous tenons ainsi à remercier les membres de jury pour avoir accepté d'affecter un temps à ce modeste travail, madame Guetarni Hassina maitre de conférences classe " A " à l'université de Khemis Miliana, pour avoir accepté de nous honorer d'assurer la présidence de jury de notre soutenance.

Nous remercions aussi madame Mostfaoui Hassiba pour avoir accepté d'examiner notre travail, on trouve ici l'expression de nos vifs remerciements pour l'intérêt qu'elle a porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre modeste travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants qui nous ont encadrés durant nos années d'étude y compris le personnel et les responsables de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre, département de biologie à l'université de Khemis Miliana sans exceptions, et toutes les personnes du laboratoire de l'Algérienne des eaux de Ain Defla.

Enfin, nous tiendrons à présenter nos remerciements à ceux qui ont contribué de près ou de loin que ce soit physiquement ou moralement par leurs connaissances dans les différents domaines à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Toutes les lettres ne sauront trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance. Aussi, c'est tout simplement que : Je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers, je cite :

La lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; Maman que j'adore. Je la remercie et Je n'oublierai jamais son soutien moral dans les moments les plus difficiles, qu'Allah lui accorde la santé et le bonheur,

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mon cher frère Nassim

Ma petite sœur Hiba

Mon cher fiancé Amine, Je ne saurais exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien continu dont tu as toujours fait preuve. Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux, Je prie Dieu le tout puissant de préserver notre attachement mutuel, et d'exaucer tous nos rêves.

La meilleure tata au monde Salima et ses filles notamment Sabrina et Linda qui ont été toujours à mes côtés, Les expressions me trahissent, et ne peuvent exprimer mon attachement, mon amour et ma gratitude pour vous. Qu'il me soit permis de vous exprimer à travers ce travail, mon respect et ma vive reconnaissance.

Mon binôme et ma confidente Amira aucun dédicace ne peut exprimer mon amour et ma gratitude de t'avoir comme meilleure amie,

Mes grands-parents

Mes chers cousins et cousines, spécialement : Ratiba, Sameh et ses enfants Anais et Abdelhafidh

A Toute ma famille ; Il me serait difficile de vous citer tous, vous êtes dans mon cœur,

A mes amies de toujours : Rania et Amina. En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Tous ceux qui ont pensé à moi

Hind

Dédicace

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de ma chère maman qui ne cesse de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui. Que dieux te protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse te combler de bonheur.

Je dédie aussi ce travail à :

La mémoire de ma chers grand-mère « Yema »

Mon oncle Ali et sa petite famille

Mes oncles, mes tantes et leur famille.

Tous mes enseignants

Tous mes cousins et cousines.

Tous mes amis, notamment Amina et Rania, mes collègues et tous ceux qui m'estiment

Mon binôme ; ma confidente et ma sœur hind qui est très chère pour moi.

Amira

Résumé

La présente étude a pour objectif de faire un suivi et une analyse de la variation spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la nappe alluviale du haut Cheliff, qui est à vocation agricole et d'étudier l'acceptabilité de ces eaux à la consommation humaine selon les normes OMS et les normes algérienne (NA 6360-1992). A cet effet, les données des résultats d'analyses physico-chimiques durant une période de dix ans (2010 à 2020) en hautes et basses eaux ont été collectées.

Le traitement et l'interprétation des résultats ont été faits en utilisant différentes méthodes (cartographie, analyse statistique, variation temporelle...) et outils informatiques (Microsoft Excel, Surfer8, Mapinfo professionnel version 9.5).

Les résultats des travaux antérieurs : (Touhari, 2015., Ikhlef., 2006 et BOUZARA et ENSAAD, 2018). Dans la nappe du haut Cheliff montrent que les ions nitrates évoluent de la même manière pendant toute la période d'observations (2002, 2004, 2008 et 2014). Lors de la campagne de hautes eaux, les teneurs enregistrées sont plus fortes que lors de la campagne de basses eaux.

La cartographie montre que les plus fortes concentrations se trouvent à l'Est, près de Djendel, au Sud près de Bir Ouled Khelifa, au Nord à Sidi Lakhdar et à l'Ouest au niveau de djelida.

L'étude de la vulnérabilité de la nappe par la méthode DRASTIC montre des concentrations supérieures à la norme de 50mg/l dans toute la partie Est de la plaine (Communes de Djendel) et dans le secteur ouest (Ain Defla).

Mots clés : haut Cheliff, suivi, nitrate, cartographie, spatio-temporelle, DRASTIC,

Abstract

The objective of this study is to monitor and analyze the spatio-temporal variation of nitrate levels in the groundwater of the alluvial groundwater of the Upper Cheliff, which is agricultural in nature, and to study the acceptability of this water for human consumption according to WHO and Algerian standards (NA 6360-1992). For this purpose, data on the results of physico-chemical analysis over a period of ten years (2010 to 2020) in high and low waters were collected.

The processing and interpretation of results were done using different methods (mapping, statistical analysis, temporal variation...) and computer tools (Microsoft Excel, Surfer8, Mapinfo professional version 9.5).

The results of previous work (Touhari , 2015., Ikhlef, 2006 ., BOUZARA and ENSAAD, 2018) in the upper Cheliff groundwater table show that nitrate ions evolve in the same way throughout the observation period (2002, 2004, 2008 and 2014). During the high-water campaign, the recorded concentrations are higher than during the low-water campaign.

Mapping shows that the highest concentrations are found in the East near Djendel, in the South near Bir Ouled Khelifa, in the North at Sidi Lakhdar and in the West at the level of Djelida.

The study of the vulnerability of the water table by the DRASTIC method shows concentrations above the standard of 50mg/l in the entire eastern part of the plain (Communes of Djendel) and in the western sector (Ain Defla).

Keywords: high Cheliff, monitoring, nitrate, cartography, spatio-temporal, DRASTIC,

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو مراقبة وتحليل التباين المكاني والزمني لمحتويات النترات في المياه الجوفية لمحيط شلف لأعلى والمخصصة للزراعة، ودراسة قابلية هذه المياه للاستهلاك البشري وفقاً لمنظمة الصحة العالمية والمعايير الجزائرية (NA 6360-1992). لهذا الغرض ، تم جمع البيانات من نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية على مدى فترة عشر سنوات (2010 إلى 2020) في المياه العالية والمنخفضة ، وتم معالجة النتائج وتفسيرها باستخدام طرق مختلفة (رسم الخرائط ، التحليل الإحصائي ، الاختلاف الزمني ، وما إلى ذلك) وأدوات الكمبيوتر (Microsoft Excel ، Surfer8 ، Mapinfo Professional الإصدار 9.5) نتائج الأعمال السابقة: Touhari ، 2015 ، Ikhlef ، 2006 ، BOUZARA و ENSAAD ، 2018) في منسوب مياه شلف الأعلى يوضح أن أيونات النترات تتطور بنفس الطريقة طوال فترة المراقبة (2002 ، 2004 ، 2008 ، 2014 و 2018). خلال حملة ارتفاع منسوب المياه، كانت المستويات المسجلة أعلى مما كانت عليه خلال حملة انخفاض المياه. وهي تزداد مع هطول الأمطار الغزيرة في شهر أبريل، والتي تنتسرب إلى الأراضي الزراعية وتزيد من محتوى النترات في منسوب المياه الجوفية، وتظهر الخرائط أن أعلى التركيزات توجد في الشرق بالقرب من جندل، في الجنوب بالقرب من بئر أولاد خليفة، في شمال سيدي لخضر وفي الغرب في جليدا، دراسة قابلية تأثر منسوب المياه الجوفية بطريقة DRASTIC تظهر تركيزات أعلى من معيار 50 ملغم / لتر

مفتاح الكلمات: نتبع، نترات، رسم خرائط، مكاني-زمني

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydraulique.

Covid-19 : Coronavirus Disease 2019.

DHW : Direction Hydraulique de Wilaya.

EAC : Les Exploitations Agricoles Collectives.

EAI : Les Exploitations Agricoles Individuelles.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

E-W : Est-Ouest.

GPS: Global Positioning System.

ISO: International Organization for Standardization.

ITGC : Institut Technique Des Grandes Cultures.

M : Température du mois le plus chaud.

m : Température du mois le plus froid.

MES : Matières en Suspension.

MNT : Modèles Numériques de Terrain.

NA : Normes Algérienne.

OFEFP : Office Fédérale de l'Environnement, des Forêts et des Paysages.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONM : Office National Météorologique.

OPIC : Office de la Propriété Intellectuelle du Canada.

P : Précipitation.

P.E.T : Polyéthylène.

PH : Potentielle Hydraulique.

PPC : Périmètres de Protection des Captages.

PPE : Périmètre de Protection Eloignée.

PPI : Périmètre de protection Immédiate.

PPR : Périmètre de Protection Rapprochée.

SAT : Superficie Agricole Totale.

SAU : Superficie Agricole Utile.

SIG : Système d'Information Géographique.

SSE-NNO : Sud Est – Nord Nord-ouest.

T : Température en degré Celsius (°C).

TH : Titre Hydrométrique (la dureté totale).

ZNS : Zone Non Saturée.

ZS : Zone Saturée.

Liste des figures :

Figure 1 : Schéma représentatif des différentes nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012).....	5
Figure 2: cycle d'azote (d'après Recous et al ,1997).....	8
Figure 3: Schéma représentatif de différentes sources des nitrates.....	11
Figure 4: Schématisation de la pollution agricole (Bouzara et Ensaad, 2018).....	15
Figure 5: Pollution ponctuelle et diffuse des eaux souterraines (Atteia, 2005)	16
Figure 6: Représentation schématique de la structure du système sol/zone non saturé /zone saturé(Researchgate.net)	19
Figure 7: L'eutrophisation dans le lac Tanga [d'El Kala] aout 2009. (Bouzara et Ensaad, 2018)	22
Figure 8: Localisation de la plaine du Haut Chélif. (Halfaoui et Bouhail, 2019)	21
Figure 9: Histogramme de la précipitation moyenne mensuelle (1987-2017).....	22
Figure 10: Histogramme de la température moyenne mensuelle (1987-2017).....	23
Figure 11: Diagramme Ombrothermique de Gaussen 1987-2017(Haut Chélif).	24
Figure12 : Climagramme pluviothermique d'Emberger.....	25
Figure13: Réseau hydrographique de la plaine du Haut Cheliff (Sahraoui.2015). (Bouzara et Ensaad.2018).....	27
Figure 14: Carte des ressources en eaux souterraine du Haut Cheliff (Zafane, 2016).....	28
Figure 15: Carte pédologique du Haut Cheliff (Boulaine1957, modifiée par Bouhini et Beghdadi, 2017).....	29
Figure 16: Carte géologique de la plaine du Haut Cheliff (Sahraoui, 2015).....	30
Figure 17: Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de KhemisMiliana (Mattauer, 1958 ., Perrodon ,1967)	32
Figure 18: Extrait de la Carte Hydrogéologique d'Alger (SOFRECO, 1997).	33
Figure 19: Coupe géologique A-A 'de la plaine du Haut Cheliff (Perrodon ,1957).....	34
Figure 20: Évolution de la population totale (Touhari ,2015).	35
Figure 21: Évolution de la population totale (Touhari ,2015).	38
Figure 22: Carte de vulnérabilité intrinsèque par la méthode DRIST (Bouzara et Ensaad, 2018)	39
Figure 23: Reclassification de l'occupation des sols (Bouzara et Ensaad, 2018)	40
Figure 24: Carte de vulnérabilité spécifique aux nitrates (Bouzara et Ensaad, 2018).....	40
Figure 25: Répartition spatiale des nitrates dans la plaine du Haut Cheliff (2005-2014).....	41
Figure 26: Inventaire des points d'eaux de la plaine du Haut Cheliff (Touhari, 2015)	43
Figure 27: Carte de nitrates, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l) (Touhari, 2015).....	44

Figure 28: Évolution des Nitrates durant la période 2002 à 2008 (Touhari, 2015) 45

Liste des tableaux :

Tableau 1: caractéristique des eaux souterraines	7
Tableau 2: Le calcul de l'indice de Martonne	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 3: Normes des eaux de consommation selon l'OMS 2011.....	36
Tableau 4: Extrait des Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation (NA 6360-1992). JORA ,1992	37

Table des matières

page

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Table des matières

Table des matières

Introduction Général	1
I. Généralités sur les eaux souterraines.....	3
I .1. Définition des eaux souterraines.....	3
I .2. Origines des eaux souterraines	3
I.3.Constituants des eaux souterraines	3
I .4. Les nappes d'eau.....	3
I.4.1. Nappe profonde.....	4
I.4.1.1. Nappe libre	4
I.4.1.2. Nappe captive	4
I.4. 2. Nappe phréatique.....	4
I.4.3. Nappe alluviale.....	4
I.4.4. Nappe karstique	5
I .5. Caractéristiques des eaux souterraines.....	5
II. Contamination des eaux souterraines.....	8
II.1. Cycle d'azote.....	8
II.2. Nitrates	11
II.2.1. Source des nitrates	11

II.2.1.1. Dans l'organisme	12
II.2.1.2. Dans l'environnement	12
II.2.2. Origine de la pollution des eaux par les nitrates	13
II.2.3.1. Pollution temporaire et chronique	15
II.2.3.2. Pollution diffuse	16
II.2.3.3. Pollution linéaire	16
II.3. Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution par les nitrates	16
II.3.1. Types de vulnérabilité	17
II .3.1.1. Vulnérabilité intrinsèque	17
II .3.1.2. Vulnérabilité spécifique	17
II .3.2. Critères de vulnérabilité intrinsèque	17
II.3.2.1. Critères relatifs au sol	17
II .3.2.2. Critères relatifs à la zone non saturée	18
II 3.2.3. Critères relatifs à la zone saturée	18
II 3.2.4. Critères de vulnérabilité spécifique	18
II. 4. Mécanismes de transfert des nitrates	19
II.4.1. Transfert physique	19
II.4.2. Transfert chimique	20
II .4.3. Transfert biologique	20
II.5. Effets et nuisances de la pollution nitrique	20
II.5.1. Effets sanitaire	20
II .5.2. Effets environnementaux	21
II.6. L'eutrophisation	21
II.7. Principes d'épuration des eaux polluée par les nitrates	22
II.7.1. Épuration naturelle	22
II.7.1.1. Réacteur sol- zone non saturé	22
II.7.2 épuration artificielles	22
II.1. Localisation géographique	21

II.2. Contexte climatique.....	21
II .2.1. Les caractéristiques du Climat.....	21
II .2.1.1. Les précipitations	21
II .2.1.2. Les températures :.....	22
II.2.1.3. Diagramme Ombrothermique de Bagnoles et Gausсен.....	23
II.2.1.4. Quotient pluviothermique d’Emberger : Emberger (1930, 1955) a établi un quotient pluviothermique « Q2 » qui est spécifique au climat méditerranéen. Il est le plus utilisé en Afrique du Nord. Le climagramme correspondant permet de déterminer la position de chaque station météorologique et de délimiter l’aire bioclimatique d’une espèce ou d’un groupe végétal. Ce quotient a été formulé de la façon suivante :.....	24
II.2.1.5. Le Vent	25
II .3. La topographie et relief de la plaine	26
II .4. Réseau hydrographique	26
I .5. Contexte Pédologique	28
II.6. Contexte géologique	29
II.6.1. Litho stratigraphie	30
II.7. Contexte hydrogéologique	33
II.8. Urbanisation et démographie.....	34
III.1. Objectifs à atteindre	34
III.2. Méthodologie	34
III.2.1. Echantillonnage.....	34
II.2.1.1. Modes de Prélèvements.....	34
III.2.2. Mesure in situ.....	35
III.3. Traitement et exploitation des données	35
III .4. Méthode d’interprétation.....	35
III.4.1. Analyse statistique	35
III.4.2. Evolution spatiale et temporelle	35
IV. résultats des travaux antérieurs (Ikhlef, 2006., Touhari,2015 et Bouzara et Ensaad ,2018)..	38
Conclusion Générale et recommandations.....	46

Introduction Général

Introduction Général

La connaissance de la qualité de l'eau est une condition primordiale permettant l'instauration d'un système de gestion quantitative et qualitative qui contribuera à garantir l'approvisionnement en eau dans le futur.

La contamination de l'eau par les nitrates est un phénomène courant observées dans de nombreux pays du monde. Elle affecte à la fois les eaux de surface et eaux souterraines (Chen et al, 2005 ., Hu et al, 2016 ., Oeurng et coll, 2016. Mentzafou., 2019)

L'Algérie, un pays en voie de développement voulant diminuer la facture des importations alimentaires, par une utilisation plus large et intense des terres agricoles, ce qui nécessite une utilisation accrue d'engrais entraînant une pollution progressive et continue des réserves d'eau par les nitrates.

Les ressources en eau souterraines dans le nord de l'Algérie sont évaluées à plus de 2 milliards de m³ et sont exploitées à plus de 90% ; mettant ainsi les nappes en situations de surexploitation (Remini, 2005).

La concentration en nitrate dans l'eau de consommation ne devrait pas dépasser 50 mg/l (MENVIQ, 1993). La pollution diffuse causée par l'application de fertilisants sur les parcelles agricoles entraîne une dégradation de la qualité de l'eau souterraine. (Ducci1, 2017., Katsoulos et coll, 2015).

La région du haut Cheliff renferme une importante ressource en eau souterraine estimée à 16 Hm³, alimentant l'ensemble de la population et contribuant à la satisfaction des besoins en eau de l'irrigation et de l'industrie. Cette ressource est confrontée au risque grandissant de la contamination provenant des activités industrielles, agricoles ainsi que des effluents domestiques rejeté souvent sans épuration.

La présente étude a pour objectif de faire un suivi et une analyse de la variation spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la nappe alluviale du haut Cheliff, qui est à vocation agricole, et d'étudier l'acceptabilité de ces eaux à la consommation humaine selon les normes OMS et les normes algérienne.

Le présent travail est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre propose une synthèse bibliographique autour de la contamination des eaux souterraines par les nitrates ;

Introduction Général

- Dans le second chapitre, nous présenterons le site d'étude, à savoir la plaine du Haut Cheliff, par les principales caractéristiques climatiques, pédologique, géologiques et hydrogéologique ;
- Le troisième chapitre sera consacré à l'approche méthodologique afin de déterminer l'évolution spatio-temporelle des teneurs en nitrates ;
- Le quatrième chapitre expose les résultats des travaux antérieurs ;
- Et enfin une conclusion générale et recommandations.

Chapitre I :
Aperçu bibliographique

I. Généralités sur les eaux souterraines

I.1. Définition des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont des ressources non renouvelables, constituent 20% des réserves d'eau soit environ 1000 millions de m³. Elles sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique, elles se réunissent en nappes (Rodier, 1997). C'est l'une des matières premières les plus vitales pour l'homme et pour l'ensemble de l'économie. Ces eaux constituent la quasi-totalité des stocks d'eau continentale et une part appréciable de leurs flux majeure en zones arides et composantes essentielles des écoulements réguliers partout. Elles sont aussi le principal vecteur des transports de matières dissoutes. (Margat, 1990)

I.2. Origines des eaux souterraines

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux soit suite d'une précipitation, soit depuis des eaux de surface. Quant au niveau de l'alimentation de la nappe, cela est directement liée à la pluviométrie qui est aléatoire d'une saison à une autre et irrégulière selon les régions. Elles sont plus présentes dans des régions où les contraintes climatiques ne garantissent pas des stocks d'eau de surface pérennes (Blinda, 2007).

Plus d'être la seule source d'eau douce accessible quotidiennement à plus de deux milliards d'habitants, elles contribuent également dans le cycle de l'eau en maintenant des zones humides et des débits des cours, en particulier en période d'étiage (le débit des rivières peut alors être assuré à plus de 90% par les eaux souterraines). (Margat, 2008).

I.3. Constituants des eaux souterraines

Les eaux souterraines contiennent des molécules d'eau autour desquelles sont dissous des ions (majeurs, mineurs, et traces), des gaz dissous (oxygène, gaz carbonique) et parfois de la matière organique dissoute. Les origines de ces composants sont diverses et proviennent de sources naturelles ou anthropiques (déchets, activités industrielles, agriculture, mines...). Si certains de ces composants présentent un danger pour la santé humaine et pour l'environnement, ils sont considérés comme des polluants. (BRGM, 2004).

I.4. Les nappes d'eau

Le mot « nappe » ou encore « aquifère » désigne simplement une couche de sol contenant de l'eau. C'est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau. (Kettab, 1992, Arjen, 2010).

Les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains. Elles sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées. (AEAG, 2012).

La porosité et la structure du sol déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine. (OMS, 2000). Les différents types de nappes sont :

I.4.1. Nappe profonde

Se repose sur une couche imperméable plus profonde, elle peut être :

I.4.1.1. Nappe libre

Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression, à cause d'un toit moins perméable que la formation qui la contient. (Arjen, 2010).

I.4.1.2. Nappe captive

Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle n'est donc pas alimentée directement par le sol et elle se situe à des grandes profondeurs et par conséquent peu sensible aux pollutions. (Degremont, 2005., Cardot, 1999).

I.4. 2. Nappe phréatique

Les nappes phréatiques sont celles qui se reposent sur la première couche imperméable, non loin de niveau du sol. Elles sont toujours libres et souvent contaminées. Ces nappes revêtent une importance énorme pour l'approvisionnement en eau, car elles constituent les plus grandes réserves d'eau potable dans la plupart des régions du monde. Une nappe phréatique affleure parfois à la surface du sol sous la forme de source ou bien peut être captée au moyen de puits (Mourey et Vernoux, 2000 ., Arjen, 2010).

I.4.3. Nappe alluviale

Elle est contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans les cours d'eau en période de sécheresse.

Par exemple Ces nappes fournissent 60% des eaux souterraines captées en France, en particulier grâce à leur facilité d'accès et leur bonne productivité. (OFEFP, 2003).

I.4.4. Nappe karstique

La nappe karstique se rencontre dans les formations calcaires. Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduites, les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterraines. Aux points de sortie, les sources présentent des débits souvent variables dans le temps (leur valeur varie au cours de l'année). (Mourey et Vernoux, 2000).

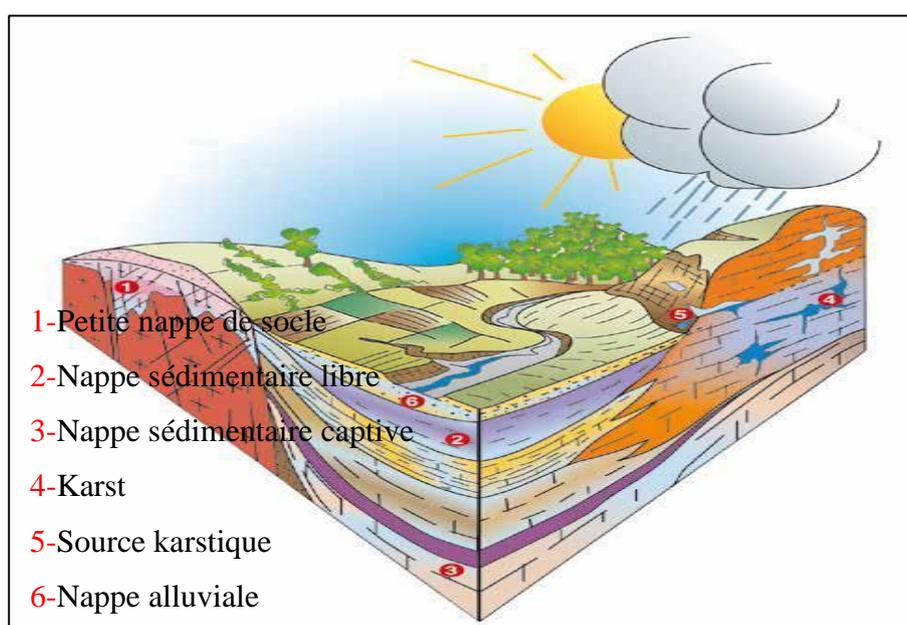


Figure 1 : Schéma représentatif des différentes nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012).

I.5. Caractéristiques des eaux souterraines

La qualité naturelle de l'eau souterraine diffère de celle des eaux de surface par les caractéristiques suivantes (tableau 1) :

Pour toute source donnée, sa qualité sa température et ses paramètres sont moins variables dans le temps, dans la nature. L'échelle de valeurs des paramètres de l'eau souterraine est beaucoup plus grande que pour les eaux de surface.

En tout lieu donné, l'eau souterraine tend à être plus dure et plus saline que les eaux de surface, mais il ne s'agit nullement d'une règle universelle. Il arrive aussi généralement que la salinité de l'eau souterraine augmente proportionnellement avec la profondeur ; cependant, il existe, encore une fois, de nombreuses exceptions.

Chapitre I : Aperçu bibliographique

Puisque l'eau souterraine coule à travers un aquifère, elle est naturellement filtrée. Cette filtration, combinée à une longue période de séjour souterraine signifie que cette eau est ordinairement exempte de micro-organismes pathogènes. Une source de contamination proche d'un puits peut cependant vaincre ces défenses naturelles. La filtration naturelle signifie en outre que l'eau souterraine contient habituellement moins de matières en suspension et de matières non dissoutes que les eaux de surface.

Le tableau suivant représente Les principales caractéristiques des eaux souterraines en se basant sur les principaux paramètres d'analyses

Tableau 1: caractéristique des eaux souterraines

Caractéristiques	Eaux souterraines	Eaux de surface
Température (° c)	Plutôt constante	variable (saisons)
Turbidité /MES	Faible ou nulle	variable (parfois élevée / crues, rejets de carrières, fortes pluies)
Couleur	Dépend des acides humiques ou de la précipitation ; Fe - Mn	Dépend essentiellement de Mes, des acides humiques, tannins, et des Algues
Gouts et odeurs	Rare	Fréquents
Minéralisation globale / salinité	Généralement plus élevé que celle mesurée dans les eaux de surface	variable (précipitations rejets, nature des terrains traversés, etc.)
Fe et Mn	Présents	normalement absents sauf dystrophisation des eaux profondes
Co2 agressif	Présents souvent en quantité	généralement absent
O2 dissous	Absents	variable (proche de la saturation dans les eaux propres / absent dans les eaux polluées)
H2S	Présents	Absent
NH ₄ ⁺	présence souvent sans rapport avec une pollution bactérienne	seulement présent dans les eaux polluées
Nitrates	Teneur parfois élevée	variable (normalement absent, parfois en quantité dans les zones d'excédent azoté)
Silice	Teneur élevée	teneur normalement modérée
Micropolluants minéraux et organique	Absents sauf suite d'une pollution accidentelle	surtout présents dans les eaux des régions industrialisés
Solvants chlorés	Présents en cas de pollution de la nappe	normalement absents
Eléments vivants	Bactéries sulfito-reductrices et Ferro bactéries	Virus, bactéries, algues, protistes, etc... / présence d'organismes pathogènes toujours possible
Eutrophie	Jamais	possible, davantage si les eaux sont chaudes

Source : (Degrémont, 2005)

II. Contamination des eaux souterraines

La pollution des eaux souterraines devient de nos jours une préoccupation de santé publique, elle est la conséquence de l'apport intensif de l'azote total sur le sol qui accentue le déséquilibre naturel.

II.1. Cycle d'azote

C'est certainement un des cycles biogéochimiques qui figure parmi les plus complexes et les plus parfaits à la fois. En effet, malgré le grand nombre et la diversité des organismes qui interviennent, il assure une circulation rapide de l'azote dans les divers écosystèmes. (Ramade, 1994).

Le cycle de l'azote dans les sols est marqué par différents processus, dont les effets cumulés conduisent ou non à maintenir un excès d'azote dans les sols, et à le rendre disponible pour le lessivage (figure 2).

L'azote dans les sols provient principalement :

- 1- De la fixation de l'azote atmosphérique.
- 2- De la disposition de l'azote contenu dans les précipitations.
- 3- Des amendements organiques.
- 4- Des apports d'engrais de synthèse.

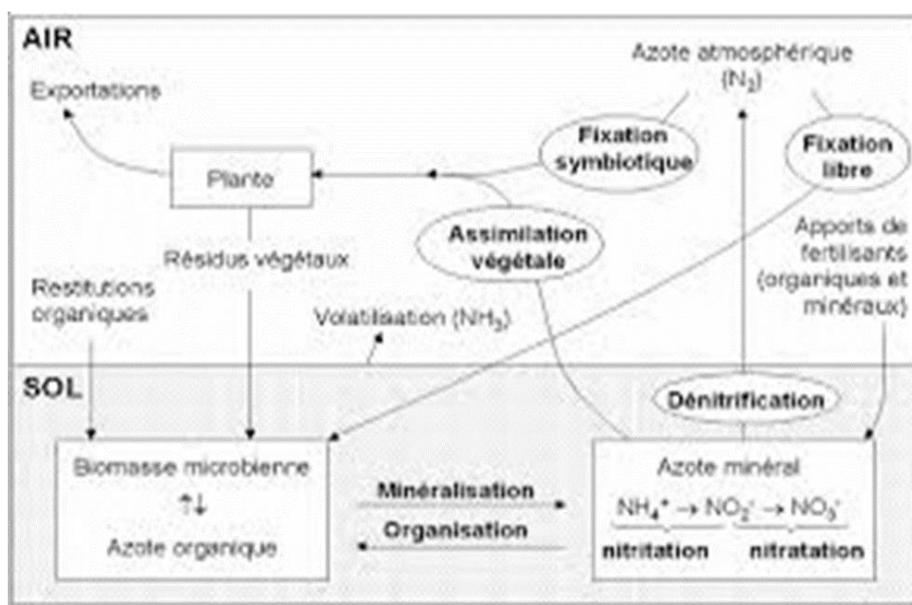


Figure 2: cycle d'azote (d'après Recous et al, 1997)

La fixation libre par les bactéries aérobies ou anaérobies contribue à maintenir un stock d'azote de 10 à 30 kg. ha⁻¹, l'apport d'azote par la fixation symbiotique des espèces légumineuses varie entre quelque dizaine à plusieurs centaines kg. ha⁻¹, selon les conditions de pH, d'humidité, de teneurs en nitrate et des souches de rhizobium. (Recous et al, 1997).

Les apports d'azote sous forme organique dans les sols se font par amendement anthropique (fumiers, lisiers), restitution au sol des résidus de culture ou restitution des déjections animales. La constitution du stock d'azote minérale dans le sol est issue des apports d'engrais de synthèse, sous forme d'ammonium, de nitrate, et d'urée.

L'effet des processus internes au cycle de l'azote peut être dominant par rapport aux modifications induites par les processus externes. (Webb et Walling, 1985)

Les processus internes interagissent avec les processus externes au cycle d'azote contrôlant le stock et les formes d'azote contenu dans le sol quelle que soit l'origine de ce dernier. (Recous et al, 1997)

➤ **La Minéralisation ou l'ammonification**

Correspond à la dégradation de la matière organique conduisant à la production d'ammonium (NH₄⁺). La minéralisation est d'autant plus forte que les apports sont importants elle est maximale au printemps et à l'automne lorsque les températures sont douces et le sol humide.

➤ **L'organisation ou immobilisation**

Correspond à l'assimilation d'azote, préférentiellement sous forme ammoniacale par les micro-organismes.

➤ **La nitrification**

Correspond à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacale en azote nitrique (NO₃⁻). Les étapes successives de la nitrification se font selon l'intermédiaire de deux familles principalement présentes dans le sol : nitrosomonas pour la nitritation (transformation de NH₄⁺ en NO₂⁻), et nitrobacter pour la nitratisation (transformation de NO₂⁻ en NO₃⁻)

Ces transformations sont illustrées dans les équations chimiques suivantes

A- Nitritation



B- Nitratisation



➤ **La dénitrification**

Est la transformation de l'azote nitrique en azote gazeux (N₂). La dénitrification fait intervenir de nombreuses espèces bactériennes (dont Pseudomonas, Agrobacterium), dont l'action est maximale dans des conditions d'anoxie. La présence de nitrate et d'une source de carbone assimilable. L'ion NO₃⁻ est utilisé comme accepteur final d'électrons à la place de l'oxygène. La dénitrification conduit principalement à la libération d'azote gazeux N₂.

La dénitrification peut être d'origine chimique ou biologique la première à lieu dans le cas de perte d'azote nitrique en sol acide.

Cette dénitrification est peu importante lorsque l'on compare avec la dénitrification biologique produite par les microbes dénitrificateurs

➤ **La volatilisation**

Le processus qui transforme l'ammonium (NH₄⁺) en ammoniac (NH₃) s'appelle la volatilisation comme le montre l'équation chimique suivante :



L'ammonium se transforme rapidement en ammoniac dans certaines conditions ; soit lorsque les températures du sol et de l'air sont élevées et que le temps est sec. Les possibilités que l'ammonium se transforme en ammoniac augmentent de façon exponentielle à mesure que le pH s'accroît ; de sorte qu'il faudrait éviter les engrais ammoniacaux lorsque le pH du sol est supérieur à 7.

Dans des conditions favorables à la volatilisation ; jusqu'à 50% de l'azote appliqué peut être éliminé par ce processus. Pour être utilement entraîné dans le sol ; l'ammonium doit se dissoudre rapidement dans l'eau du sol. Le meilleur moyen d'y arriver consiste à incorporer l'ammonium dans un sol humide et frais. Si les conditions sont propices à la volatilisation, il faudra éviter d'épandre des engrais à teneur élevée en ammonium (urée ; fumier). (Nicolas,2001).

➤ **La lixiviation ou lessivage**

Est le processus correspondant au transfert de l'azote via les eaux de percolation du sol vers la nappe. La lixiviation concerne principalement l'azote sous forme NO₃⁻ ; du fait de forte solubilité ; et de sa faible capacité ; contrairement à l'ion NH₄⁺ ; à être retenu par le complexe argilo humique.

II.2. Nitrates

Les nitrates (NO_3^-) sont des composés chimiques incolores et inodores présents de façon naturelle dans tous les écosystèmes. Ils résultent du cycle de l'azote comme nous avons expliqué précédemment, et ce sont des substances nutritives indispensables à la vie végétale. Les nitrates sont très solubles dans l'eau, ne sont pas retenus par le sol et migrent aisément vers les eaux superficielles et souterraines lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation (Santé Canada, 1992). Ils figurent parmi les constituants majoritaires des engrais chimiques et naturels et aussi ils sont utilisés dans les explosifs, comme agents oxydants dans l'industrie chimique et comme agents de conservations.

La présence de nitrate dans les eaux souterraines peut être affectés par des variations temporelles considérables, en fonction des précipitations, des conditions hydrogéologiques et de l'utilisation des terres pratiques de fertilisation et d'irrigation dans les zones d'agriculture intensive varient selon les saisons, donc les charges polluantes sont susceptibles de changer au cours de l'année. (Wells et Krothe, 1989 ., Menció et al, 2011 ., Álvarez-Cabria et al, 2016 ., Epelde et coll,2016., Exner-Kittridge et al, 2016., Biddau et al, 2019).

II.2.1. Source des nitrates

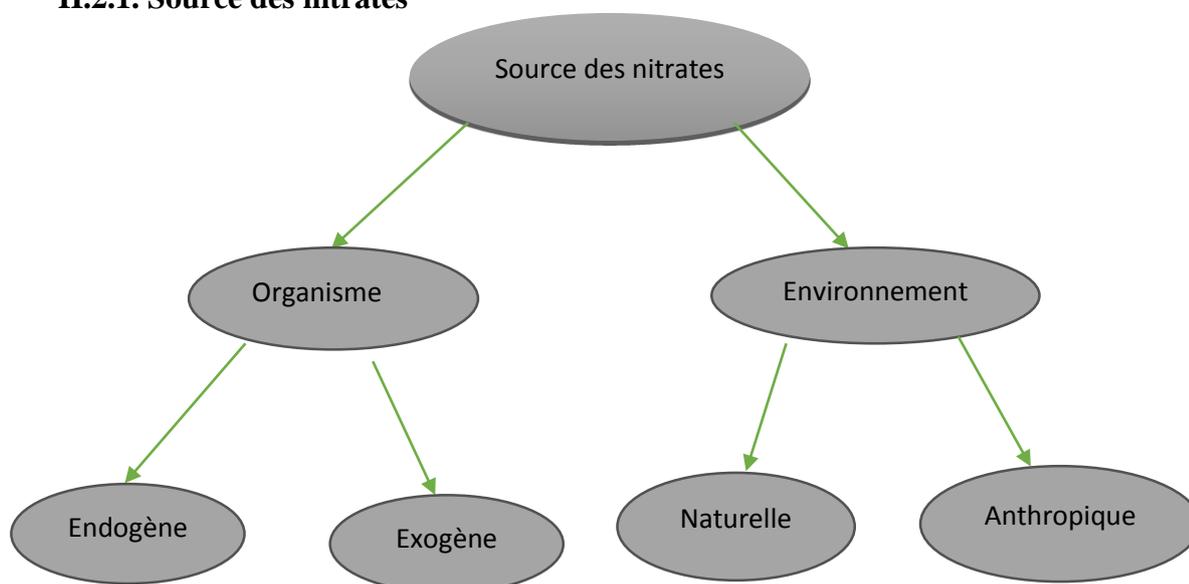


Figure 3: Schéma représentatif de différentes sources des nitrates

II.2.1.1. Dans l'organisme

- **Source endogène**

L'homme possède naturellement des nitrates dans son organisme. Les concentrations plasmatiques des nitrates sont variable au cours de la journée et au long de l'existence.

Dès 1916 Mitchell a observé que la quantité de nitrate dans les urines était plus importante que celle ingérée (Lespine ,2001). Mettant ainsi en évidence la production endogène des nitrates.

- **Source exogène**

Les nitrates exogènes proviennent de la nourriture et de l'eau, ce n'est pas l'eau qui apporte seule les nitrates mais aussi les légumes. Il a été estimé dans plusieurs études que les légumes apportent 70 à 80 % du nitrate ingéré (Boquillet et al ,2005). Le reste correspond pour environ 10 % à l'eau et 10 % aux autres aliments. Tous les aliments n'apportent pas la même quantité des nitrates selon les saisons et les teneurs en nitrate utilisés comme engrais.

II.2.1.2. Dans l'environnement

- **Sources naturelles**

En absence de toute fertilisation azotée, les nitrates présents dans les sols proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines plantes qui le transforment en matière organique azotée dans leurs racines. Après le cycle saisonnier la matière organique azotée est décomposée et transformée en nitrates.

Une autre source naturelle est due à l'urine des animaux contenant de l'ammoniac et de l'urée (contient de l'azote), qui peuvent être rapidement oxydés en nitrates. En général, cette source est négligeable.

Il en va de même les déjections humaines, qui contiennent aussi l'ammoniac et l'urée et si elles sont concentrées peuvent engendrer un excès de nitrates. A ces processus naturels d'apport en nitrates dans les sols, est venu s'ajouter depuis quelques décennies un phénomène dû à la présence humaine.

- **Sources anthropiques (humaines)**

La principale source de nitrates dans l'eau est l'application des engrais synthétiques et organiques dans les zones agricoles (Harter et al, 2002 ., Dragon, 2013 ., Górski1 et al ,2016). La contamination aux nitrates est souvent attribuée aux activités humaines sur le terrain qui impliquent la fertilisation des produits agricoles (Brut, 2008 ., Rizeei et al ,2018).

Les nitrates sont indispensables au développement des plantes, c'est pourquoi l'homme en apporte à ses cultures afin de favoriser leurs productions car lors d'une culture intensive, les réserves naturelles en nitrates ne sont pas suffisantes. La source majeure (55 %) des nitrates s'observe, soit dans les zones de culture céréalières et maraîchères, soit dans les zones d'élevage intensif où la production d'engrais de ferme épandue dépasse souvent les capacités d'épuration des sols et des cultures car l'homme ne cherche pas à mettre la quantité idéale pour favoriser sa production, il préfère mettre les engrais et donc les nitrates en excès afin d'être sûr que les plantes aient ce qu'il faut. Les nitrates en excès finissent donc par rejoindre les cours d'eau et les nappes souterraines. D'autre part, 35% concernent les activités domestiques avec principal acteur les déjections humaines et les fosses septiques. Enfin 10 % sont attribués aux activités industrielles avec notamment (Ruiz et al, 2003) : l'industrie alimentaire, l'industrie lourde et l'industrie pharmaceutique.

II.2.2. Origine de la pollution des eaux par les nitrates

Les concentrations des nitrates des eaux de surface et des eaux souterraines sont en augmentation depuis les années 1950. Les nitrates constituent aujourd'hui la cause majeure de pollution des grands réservoirs d'eaux souterraines qui, par ailleurs, présentent en général une qualité chimique et bactériologique satisfaisante. (Ratel, 2002).

Selon les normes retenues par l'Organisation Mondiale de la Santé pour les eaux potable la teneur en nitrate des eaux souterraines varient de 0,1 à 1 mg/L d'eau, en absence de contamination(Wehbe.2008), mais elle dépasse souvent aujourd'hui 50 mg/l. La contamination des eaux souterraines par les nitrates est due au lessivage des nitrates des terres agricoles, des eaux usées effluent ou puits d'engrais. (Bohlke, 2002 ., Kundu et al, 2008 ., Jalali, 2009 ; Kyoung-Ho et coll, 2009 ., Suthar et coll, 2009 ., Ngounou Ngatch et Djoret, 2010 ., Akao et coll, 2014 ., Srivastava, 2018) .Toutes les sources de nitrate citées précédemment vont à plus ou moins long terme être au contact du sol mais l'utilisation intensive des engrais azotés en agriculture est considérée comme la principale source de contamination des eaux car les engrais azotés épandus sur les sols contiennent des nitrates ou des composés qui seront transformés en nitrate par la faune microbienne du sol même s'ils sont indispensables aux productions végétales. Comme les nitrates sont très solubles dans l'eau, très mobiles et présentent une faible affinité aux échanges ioniques (Stimm, 1996), Donc il suffit qu'ils soient en excédent par rapport aux besoins des plantes pour qu'ils soient lessivés vers les nappes souterraines ou qu'ils ruissellent vers les cours d'eaux. (Chantal ,2001).

On trouve quatre principales sources de pollution d'eau par les nitrates :

Domestique, urbaine, agricole et industrielle (BRGM, 2004).

- **Pollution domestique**

Les familles utilisent l'eau pour leurs besoins ménages et leurs loisirs. Ce type de pollution regroupe : Les eaux de vannes (WC, urinoir...), les eaux de cuisines et les eaux de buanderies. Dans le cas d'un assainissement (collectif ou individuel) défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux de vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées (Faurieetal, 2003).

Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants.

- **Pollution industrielle**

Elle constitue la deuxième source de pollution des eaux de surface et souterraines, et peut avoir des causes variées. Les plus fréquentes sont les dépôts de déchets, les bassins d'eau de lavage ou de traitement de l'industrie minière, métallurgique ou chimique, qui ont été placés sans précautions, à même le sol, sur des terrains trop perméables. Les installations de stockage ou de transport des produits et déchets des complexes chimiques, ou accidentelles (Gaujour,1995). Cette pollution est caractérisée par des matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires), les hydrocarbures (raffineries), les métaux (traitement de surface métallurgique), les acides, bases et produits chimiques divers (industries chimiques), l'eau chaude issue des circuits de refroidissement des centrales thermiques) et les matières radioactives (centrales nucléaires).

- **Pollution agricole**

L'utilisation massive des engrais, et l'élevage intensif emportent des apports excessifs des fertilisants à base d'azote sur le sol engendrant ainsi une pollution des eaux par les nitrates. Cet apport est l'origine principale de l'entraînement des nitrates dans des nappes souterraines, surtout si l'on sait que ces aquifères sont sous des terrains agricoles à perméabilité élevée.

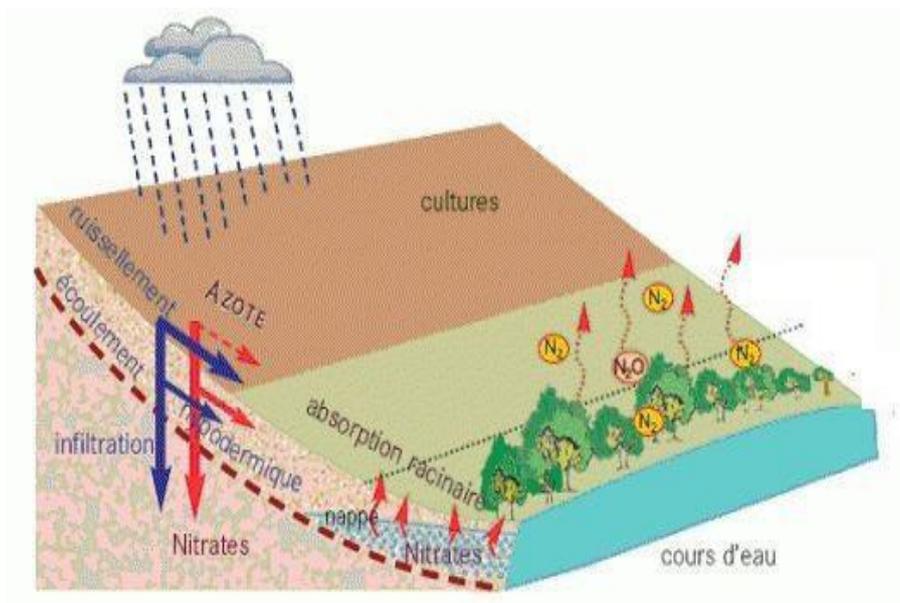


Figure 4: Schématisation de la pollution agricole (Bouzara et Ensaad, 2018)

- **Pollution urbaine et routière**

Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation (salage en hiver, hydrocarbures, métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident...). En ville, on trouve, en plus des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées, dus au raccordement incomplet ou défectueux, au mauvais état des réseaux, aux surcharges ou mauvais fonctionnement des stations d'épuration. (Chekroud, 2007). L'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toits) produit une forte quantité d'eau de ruissellement chargée en produits polluants divers (hydrocarbures, déjections d'animaux...).

Ces eaux pluviales polluées ne doivent en aucun cas être transférées à la nappe.

II.2.3. Principales types de pollution des eaux souterraines par les nitrates

II.2.3.1. Pollution temporaire et chronique

L'émission exceptionnelle de matière polluante à la suite d'un incident (mauvaise manœuvre en usine, accident de la circulation...) peut entraîner un transfert à la nappe et sa pollution dont la durée dépend de son pouvoir d'autoépuration et de sa vitesse de percolation. Les pollutions chroniques sont plus insidieuses et dommageables ; moins spectaculaires, elles peuvent passer inaperçues (pollution agricole par les nitrates ; contaminations par les hydrocarbures à partir de sols pollués) (Kankou, 2004).

II.2.3.2. Pollution diffuse

Le nitrate émis sur une faible surface n'affectera qu'un secteur limité de la nappe, qui pourra s'étendre par diffusion. Seule les captages à proximité de la zone polluée et en aval seront affectés et la zone polluée sera circonscrite ou diffuse à la surface ou à l'intérieure.

Les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d'origines superficiels peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique de la nappe.

II.2.3.3. Pollution linéaire

Elle accompagne le trajet des routes, des canaux, des cours d'eau. Généralement elle est due à des rejets d'origines industrielles et domestiques (BRGM, 2004).

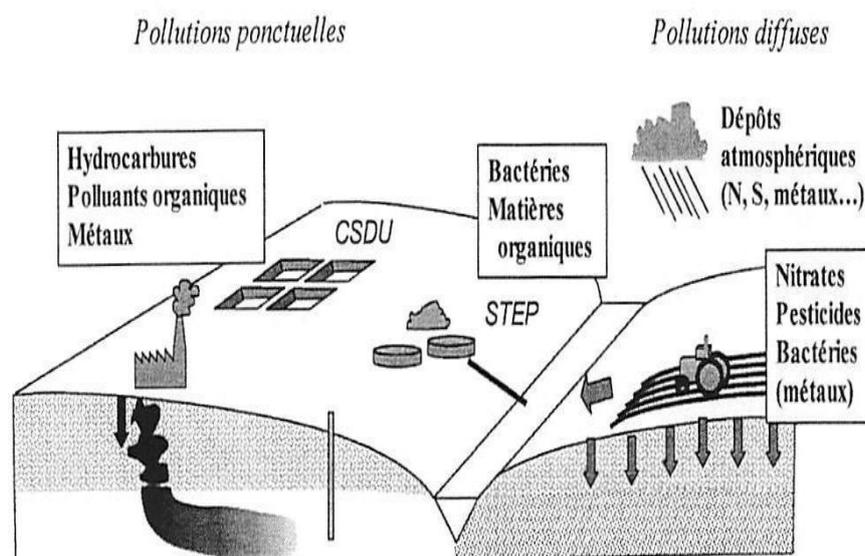


Figure 5: Pollution ponctuelle et diffuse des eaux souterraines (Atteia, 2005)

II.3. Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution par les nitrates

Dans le domaine de la qualité des eaux souterraines, la vulnérabilité d'une nappe peut être définie, dans un sens large, comme sa plus ou moins grande capacité de défense face à un processus de contamination. Plus généralement, le concept de vulnérabilité utilisé dans le cadre de la protection des eaux souterraines repose sur la manière de décrire la sensibilité des eaux souterraines à toute forme de stress, on peut donc parler de vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination.

II.3.1. Types de vulnérabilité

On distingue deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique.

II .3.1.1. Vulnérabilité intrinsèque

Elle est définie comme l'aptitude d'un aquifère à absorber ou à diffuser un polluant transporté par l'eau (Civita, 1990). Selon Aubre, (1992), c'est la facilité que produit un terrain à la pénétration jusqu'à la nappe d'eau souterraines d'une contamination provenant de la surface du sol. Quant à Vrba et Zaporozec (1994), ils définissent la vulnérabilité intrinsèque c'est une propriété intrinsèque des systèmes aquifère qui dépend de la sensibilité qu'ont ces systèmes, aux impacts humains et naturels.

II .3.1.2. Vulnérabilité spécifique

Pour Schnebelen et al, (2002), la vulnérabilité spécifique est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

La distinction des deux types de vulnérabilité est obligatoire car, d'une façon générale, elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis.

II .3.2. Critères de vulnérabilité intrinsèque

La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration de la contamination, soit sur son temps de transfert. Elle est évaluée en prenant en compte les caractéristiques du sol, de la zone saturée et de la zone non saturée qui contrôle le comportement des polluants. Un certain nombre de critères sont disponibles, ils sont associés aux ensembles souterrains (le sol, la zone saturée, la zone non saturée).

II.3.2.1. Critères relatifs au sol

- Ruissellement – infiltration : Le ruissellement et l'infiltration efficace sont représentatifs de la recharge de la nappe. Ils sont étroitement liés à la topographie et à la nature des formations superficielles (Cazaux, 2007).
- Couverture pédologique : La nature, la texture, la teneur en argiles et en matière organique, ainsi que la puissance (ou épaisseur).

II. 3.2.2. Critères relatifs à la zone non saturée

- Profondeur de la nappe libre : L'épaisseur de la zone non saturée conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe (rétention, stockage, interactions physico-chimiques avec l'encaissant) et dans son éventuelle dégradation en cours de transfert (Cazaux, 2007).
- Amplitude de battement de nappe : Elle peut devenir un critère de vulnérabilité dans la mesure où elle est significative (l'amplitude de battement de la nappe, conditionne l'épaisseur du recouvrement de la nappe). De ce fait, elle peut devenir un critère de vulnérabilité (Allier et al, 2008).
- Perméabilité verticale de la zone non saturée : Elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe (Allier et al, 2008)
- Structure de la ZNS : la variation de facies, la nature, l'épaisseur des discontinuités des facies et leur position dans le profil vertical, la texture la teneur en argile et la matière organique de la ZNS peut réduire la contamination des eaux souterraines (Cazaux, 2007)

II 3.2.3. Critères relatifs à la zone saturée

- Type de la nappe (Libre ou captive) : Une nappe libre est plus vulnérable à la pollution tandis que la nappe captive est naturellement protégée par un toit perméable ou imperméable.
- Les paramètres hydrodynamiques : la perméabilité, gradient hydraulique, le coefficient d'emménagement et la transmissivité déterminant le temps de résidence (dépend de l'hydrodynamisme des formations aquifères) contaminant et leur vitesse de migration dans la nappe.
- La relation nappe-cours d'eau : c'est la relation entre les eaux superficielles et les eaux souterraines (drainage ou alimentation).
- Épaisseur de l'aquifère déterminant la quantité de réserve d'eau dans l'aquifère, le réserve est important du polluant (Cazaux, 2007).
- Type de système hydrogéologique, Caractéristique plus ou moins capacitif et transmissif, il joue sur le temps de transfert et de temps de séjour dans nappe.

II 3.2.4. Critères de vulnérabilité spécifique

- Comportement du polluant potentiel (milieu fixe) dépend des caractéristiques du milieu, mais également des propriétés physico-chimiques et biologiques du composé lui-même (réactions acides bases, d'oxydoréduction, de désorption, biodégradation, synthèse cellulaire, diffusion, évaporation, filtration, transport de germes, ...).

- Capacités dispersives et épuratoires des sols : Concerne les propriétés auto épuratoires des sols.
- Qualité du réseau hydrographique : Le réseau hydrographique peut être vecteur de contaminations vers les eaux souterraines.
- Typologie de l'occupation du sol : L'occupation du sol conditionne les volumes et la nature des polluants potentiels (forêt, cultures, élevage, habitat, tissu industriel, agricole, irrigation etc...) et augmente la percolation.

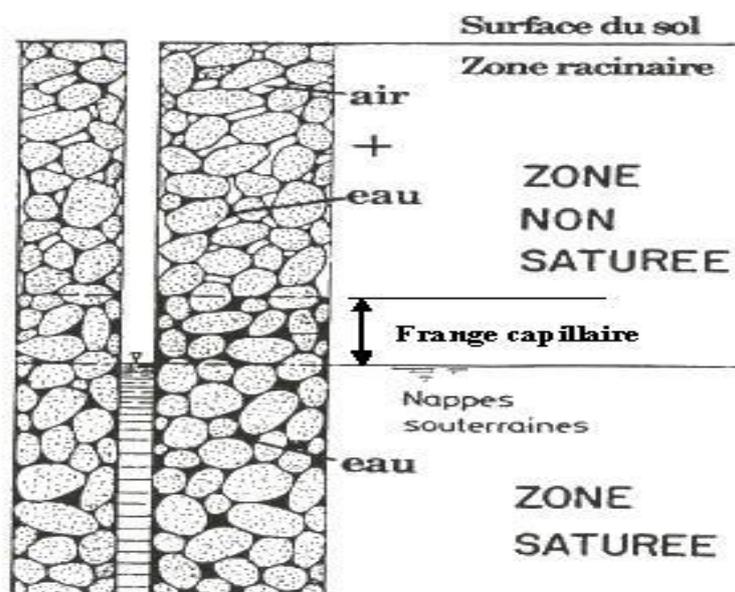


Figure 6: Représentation schématique de la structure du système sol/zone non saturé /zone saturé(Researchgate.net)

II. 4. Mécanismes de transfert des nitrates

Les transferts de nitrate dans le système sol-zone (Figure6) se déroule selon trois processus : physique chimique et biologiques

II.4.1. Transfert physique

L'eau se déplace par gravité en s'infiltrant par la porosité du sol et/ou en suivant les pentes d'écoulement préférentiel .la convection correspond au transfert vers les profondeurs ; la dispersion correspond à la diffusion de l'eau dans des voies plus ou moins horizontal.

Le temps de transfert va dépendre de deux facteurs principaux à savoir (Berdai ,2003) :

A- caractéristiques du sol

Sa composition, sa perméabilité et son homogénéité.

B-humidité des sols

Plus le sol est humide plus le temps de transfert est rapide. L'eau circule d'autant plus vite est facilement qu'il existe de l'eau au départ. Ce facteur, connu sous le nom de conductivité hydrique, est plus explicatif dans le mécanisme de Transfer des nitrates dans la zone non saturé (Berdai, 2003).

II.4.2. Transfert chimique

Au cours de son parcours dans le sol, l'ammonium, présent dans les engrais au contact avec l'oxygène et des bactéries, se transforme en nitrate (NO_3^-). Le phénomène inverse peut se produire dans le processus de dénitrification : les atomes d'oxygènes disparaissent, de telle sorte qu'il n'existe plus que l'azote gazeux.

Les nitrates, une fois formés, sont transportés par l'eau d'infiltration et ne sont pas retenus par le complexe absorbant. Ils ne sont pas freinés au cours de leurs déplacements dans le sol. Ils sont emportés par le flux de convection de l'eau à la même vitesse (Legros,1989).

II .4.3. Transfert biologique

L'un des processus connus de biodégradation est la dénitrification biologique des nitrates qui peuvent se dégrader sous certaines conditions, notamment en cas de réfraction de l'oxygène : les bactéries consomment l'oxygène présent dans les molécules des nitrates qui les transforment en azote gazeux inerte (N_2) (Bockman et al ,1990).

II.5. Effets et nuisances de la pollution nitrique

La présence d'ion nitrate dans les eaux engendre deux principaux impacts :

- Sanitaires étant cause potentielle de méthémoglobinémie et source de nitrosamine.
- Ecologique en contribuant au phénomène d'eutrophisation.

II.5.1. Effets sanitaire

Dans le sang les nitrites peuvent transformer l'hémoglobine en méthémoglobine non fonctionnelle ce qui bloque le transport d'oxygène : c'est la méthémoglobinémie qui touche essentiellement les nourrissons (EEC,2001).

Dans l'estomac, les nitrites peuvent réagir avec les amines secondaires apportées par l'alimentation pour former des nitrosamines dont la plupart ont un pouvoir cancérigène reconnu (Dab ,1990)

II .5.2. Effets environnementaux

En ce qui concerne l'environnement, l'augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux et en présence des phosphates modifie l'équilibre biologique des milieux aquatiques (Jacques ,2002).

II.6. L'eutrophisation

Les nitrates en excès dans les eaux de surfaces sont la principale cause de l'eutrophisation qui est une croissance excessive des micro- algues (phytoplanctons) et des macro- algues dans les rivières, les lacs et les zones littorales.

La matière organique présente dans le fleuve augmente démesurément (l'apparition et la prolifération des algues dans les eaux) et quand les algues meurent, cette matière organique se décompose en consommant tout l'oxygène de la colonne d'eau induisant ainsi l'anoxie, c'est à dire l'absence de l'oxygène dans l'eau et donc la mort de tous les poissons et invertébrés qui conduira par la suite à la mort de l'écosystème aquatique en quelques décennies voire même en quelques années. Cette anoxie ne se produit pas en général dans le réseau fluvial mais dans les estuaires turbides où le transit de l'eau est fortement ralenti et où la décomposition l'emporte sur la production algale. Le phénomène d'eutrophisation fluvial se produit principalement au printemps et en été où l'ensoleillement est fort, permettant la photosynthèse par les algues et la température est élevée.

Le problème d'eutrophisation s'est accentué en Algérie ces dernières années. La figure 7 montre une situation alarmante dans le lac tanga (El kala, Est Algérien) où une grande partie de la surface du lac est couverte par les algues et il est devenu inutilisable pour la récréation. Par le biais des oueds le barrage Ghrib à Ain Edefla reçoit d'une part les rejets de plusieurs agglomérations et d'autre part les engrais agricoles qui ont provoqué au cours de ces dernières années une eutrophisation croissante de cet écosystème (Mamaidi et al, 2009).



Figure 7: L'eutrophisation dans le lac Tanga [d'El Kala] aout 2009. (Bouzara et Ensaad, 2018)

II.7. Principes d'épuration des eaux polluée par les nitrates

L'épuration des eaux polluée peut être obtenue par deux voies à savoir :

II.7.1. Épuration naturelle

II.7.1.1. Réacteur sol- zone non saturé

Le sol constitue un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Le contenu microbiologique du sol peut épurer l'eau de ses substances indésirables ; comme les composés azotés.

II.7.1.2. Rôle de couverture végétale

Les plantes accumulent des éléments minéraux et servent donc de zone de stockage.

En particulier pour les nitrates, la végétation des zones humides et des bords de rivières à un effet réparateur remarquable (dénitrification dans les zones anaérobies) (BRGM,2004)

II.7.2 épuration artificielles

Méthode d'injection – pompage

Cette méthode consiste a provoqué l'activité dénitrifiântes dans les eaux souterraines par la création des conditions nécessaire à l'apparition de la dénitrification.

Les approches technologiques de la dénitrification provoqué in situ font tout appel à la seule injection dans les milieux de carbone organique (éthanol ; méthanol ; acide acétique). Qui servira de donneur des électrons (Detay,1997)

Chapitre II
Présentation de la zone
D'étude

II.1. Localisation géographique

La région d'étude correspond au bassin du Haut Cheliff, elle est située au Nord-Ouest de l'Algérie et fait partie de la plaine du haut Cheliff au Nord-Est de ce dernier (figure 08). Elle est limitée naturellement :

- Au Nord par le bassin du Côtier Dahra.
- Au Sud par le bassin amont du Cheliff.
- A l'Est par le bassin hydrographique de l'Algérois.
- A l'Ouest par le bassin du Moyen Cheliff.

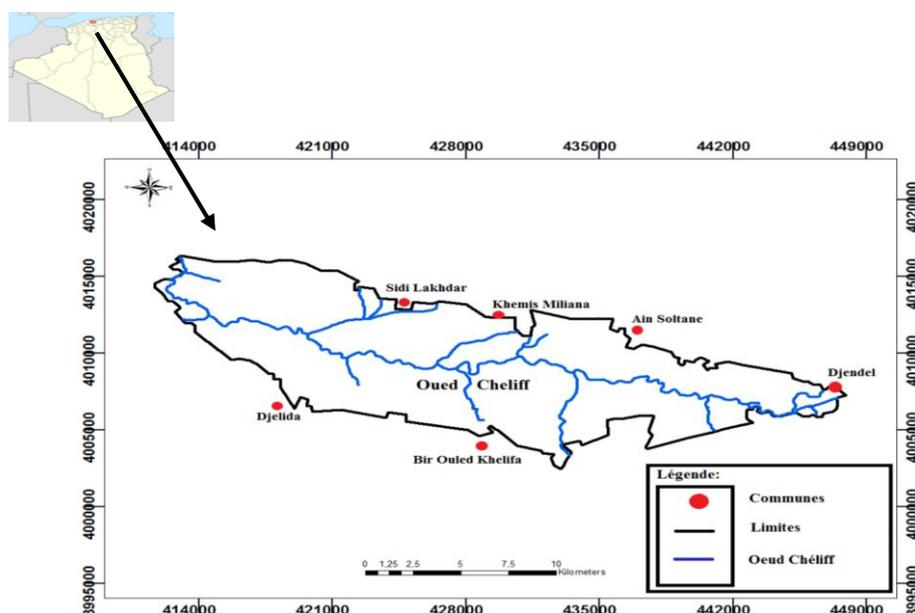


Figure 8: Localisation de la plaine du Haut Chélif. (Halfaoui et Bouhail, 2019)

II.2. Contexte climatique

II .2.1. Les caractéristiques du Climat

Le climat du Haut Cheliff est de type méditerranéen avec un caractère de continentalité marqué par un été chaud et sec, un hiver froid et assez pluvieux, un printemps écourté (avril, mai), un automne très bref en octobre (Legoupil, 1974).

II .2.1.1. Les précipitations

Les précipitations constituent un facteur climatique important à cause de leur influence sur la réparation des espèces végétales.

La répartition des précipitations permet aux agriculteurs d'orienter leurs pratiques en fonction de la pluie saisonnière (Rainey, 1977), notamment pour les cultures qui dépendent fortement des eaux de pluie.

Les données climatiques disponibles pour notre zone d'étude sont prélevées au niveau de l'ITGC pour une durée de trente ans depuis 1987 jusqu'à 2017.

Dans la plaine du Haut Chélif, les pluies qui tombent sont caractérisées par un régime irrégulier suivant les mois et les années (ANRH, 2005).

D'après la figure 9, le mois le plus pluvieux est Janvier avec une hauteur pluviométrique atteignant 59.51mm, tandis que le mois le plus sec a été marqué en Juillet avec seulement 3.10mm.

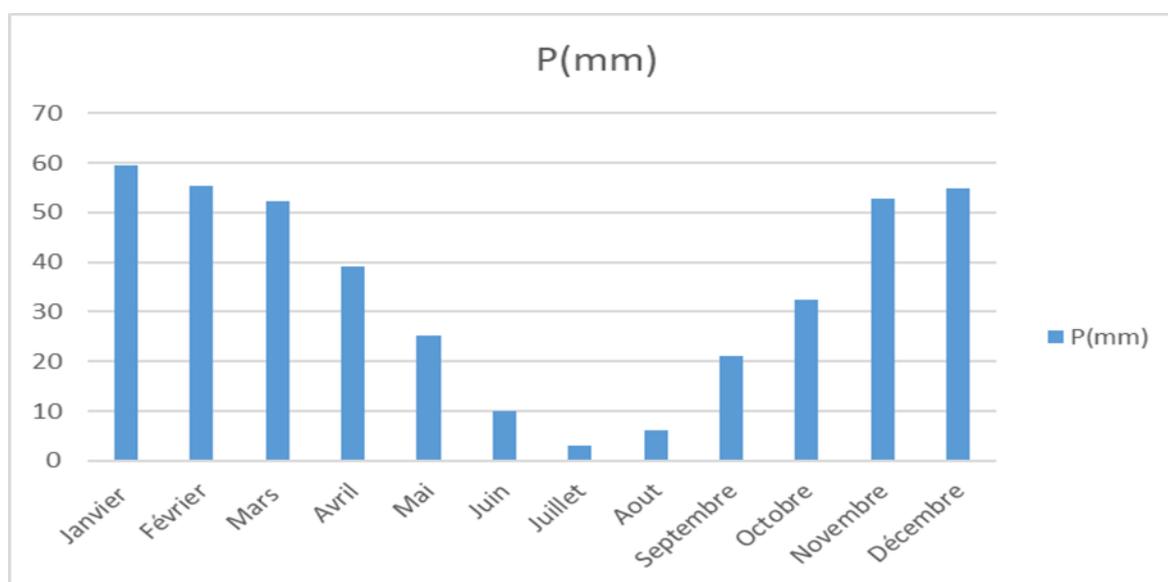


Figure 9: Histogramme de la précipitation moyenne mensuelle (1987-2017).

II .2.1.2. Les températures :

La température constitue un facteur climatique d'importance majeure agissant sur le comportement des végétaux. Dans cette partie on va traiter les températures moyennes mensuelles enregistrées au niveau de l'ANRH de Khemis Miliana.

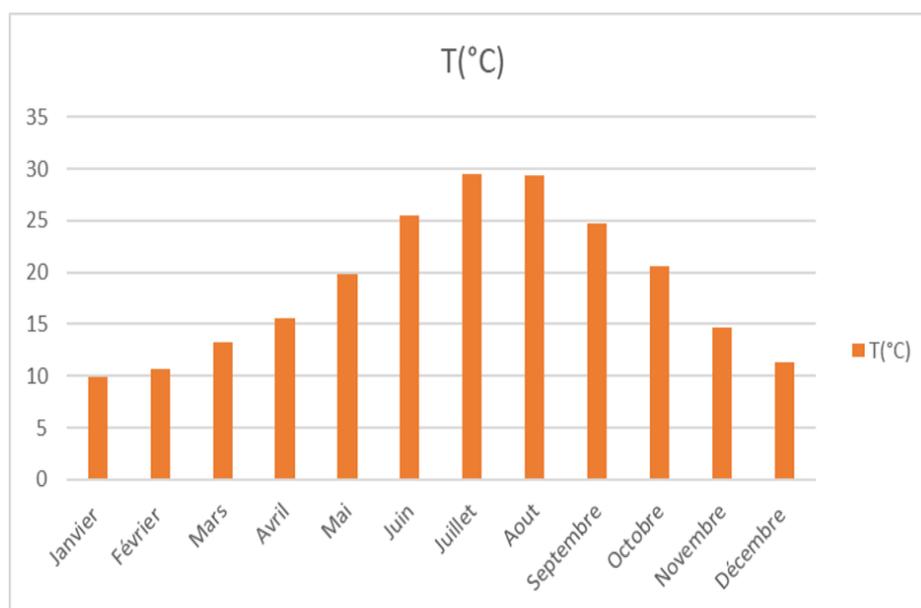


Figure 10: Histogramme de la température moyenne mensuelle (1987-2017).

D'après l'analyse de l'histogramme représentant les températures moyennes mensuelles nous constatons :

- Un pôle froid allant du mois de Décembre au mois d'Mars ou la température 11.30°C dans la station de Khemis Miliana.
- Un pôle chaud allant du mois d'Avril au mois de Novembre ou la température atteint 25.68°C dans la station de Khemis Miliana.

Pour les températures moyennes mensuelles minimales on constate une température minimale extrême de 9.91°C est enregistré au mois de janvier.

Pour les températures moyennes mensuelles maximales on constate que la température maximale extrême de 29.55°C est enregistré au mois de juillet.

II.2.1.3. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Le Diagramme Ombrothermique de Gausson (1953) ou le diagramme pluviométrique de Gausson est une représentation graphique de variation de précipitation et de température en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période sèches et humides d'une région (figure11).

Bagnouls et Gausson (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation $P \leq 2T$, avec :

P : moyenne mensuelle des précipitations en (mm)

T : moyenne mensuelle des températures en (°C) avec $T = (M+m) / 2$.

Le cumul des mois secs constitue la saison sèche. Pour vérifier cette relation, on doit adapter une échelle qui la concrétise ($P=2T$), c'est la zone où la courbe de P passe au-dessous de celle de T.

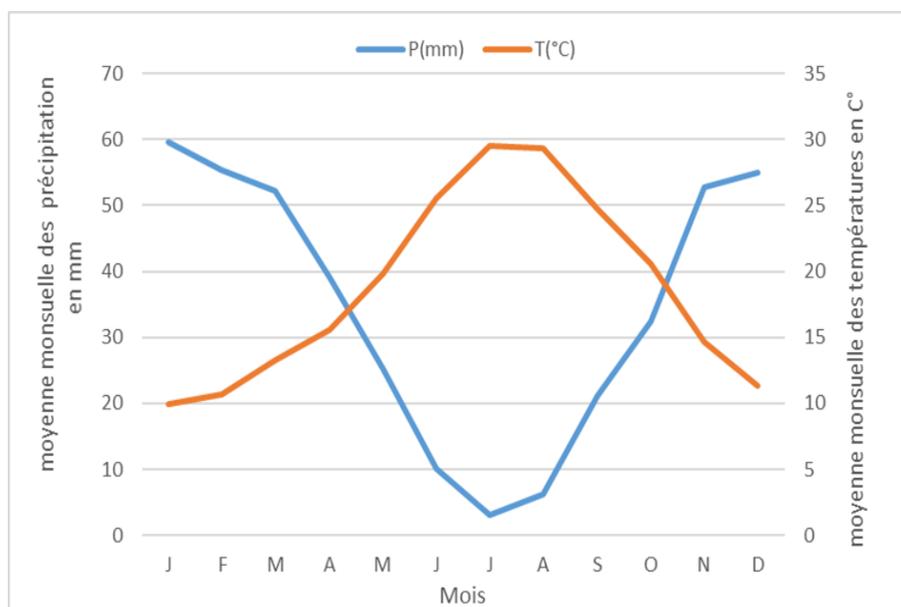


Figure 11: Diagramme Ombrothermique de Gaussen 1987-2017(Haut Chélif).

La période sèche, d'après ce diagramme, Elle s'étale sur six mois allant du mois d'avril au mois d'octobre.

II.2.1.4. Quotient pluviothermique d'Emberger :

Emberger (1930, 1955) a établi un quotient pluviothermique « Q2 » qui est spécifique au climat méditerranéen. Il est le plus utilisé en Afrique du Nord. Le climagramme correspondant permet de déterminer la position de chaque station météorologique et de délimiter l'aire bioclimatique d'une espèce ou d'un groupe végétal. Ce quotient a été formulé de la façon suivante :

$$Q2 = 3.43 \frac{P}{M-m}$$

Dans laquelle :

- P : Somme des précipitations annuelles exprimées en mm.
- M : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud
- m : Moyenne des températures minima du mois le plus froid

Les valeurs du quotient combinées à celles de « m » sur le climagramme d'Emberger, permettent de déterminer l'étage et les variantes climatiques.

Tableau 2 : Quotient pluviothermique d'Emberger et de Stewart

Plaine du haut cheliff	P	M	m	Q2
	412.08	29.37	9.91	71.3

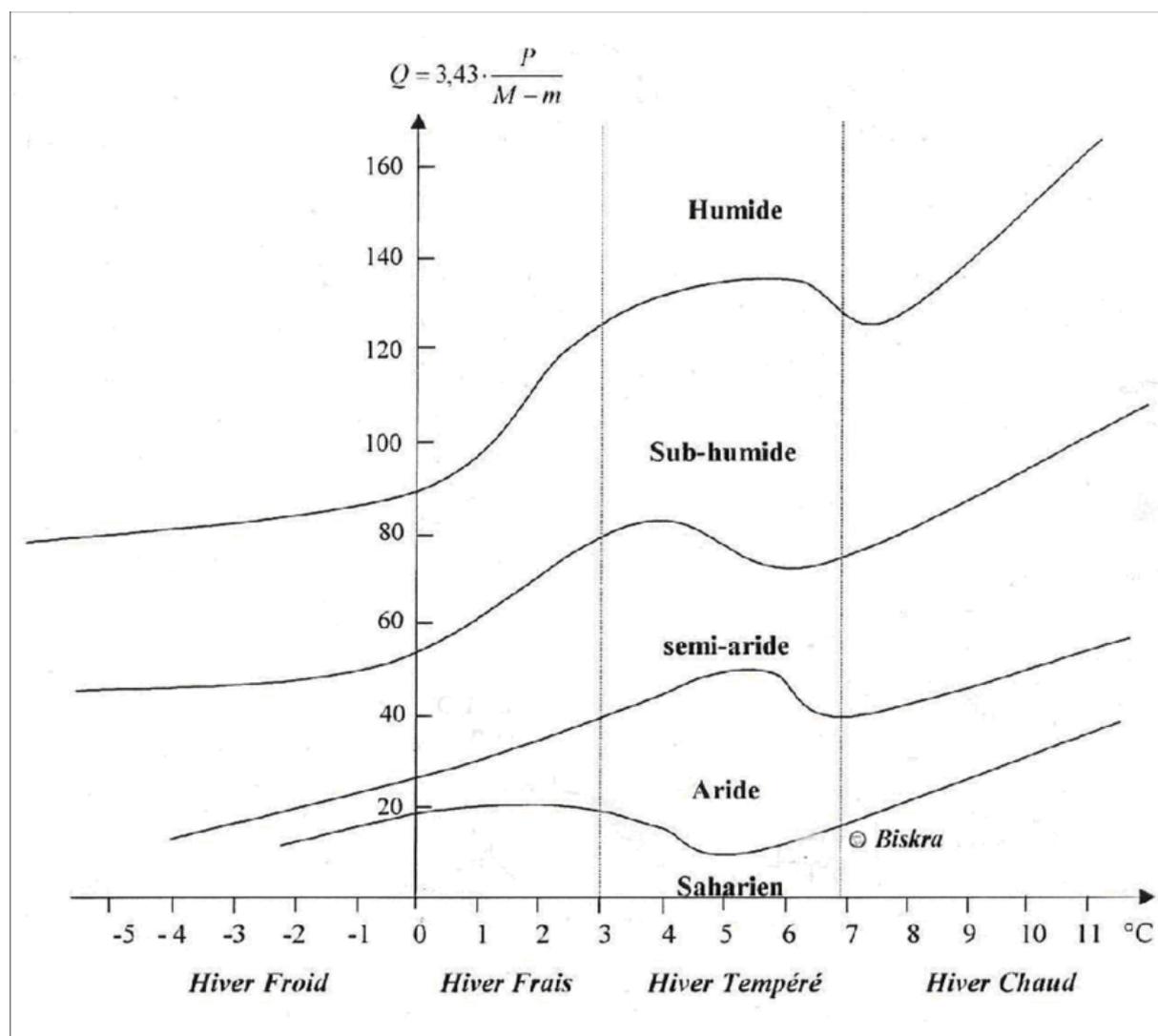


Figure12 : Climagramme pluviothermique d'Emberger (Malek 2016)

D'après le climagramme d'emberger nous constatons que la plaine du haut Cheliff se trouve dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud.

II.2.1.5. Le Vent

La plaine ayant une orientation E-W, les vents les plus fréquents et les plus puissants seront liés à cette direction. En hiver les vents dominants sont de direction Ouest ; d'influence maritime, c'est un vent humide en été les vents dominants sont de direction Est, leurs vitesses varie de 0.5 à 2.5 m/s en moyenne. Le maximum des forces des vents se situe au cours de la période estivale, et le minimum se situe en hiver. (ONM, 2017).

II .3. La topographie et relief de la plaine

Au centre se trouve une plaine sous forme de cuvette qui reste compartimentée entre les deux reliefs infranchissables (l'OUARSNIS et le DAHRA-ZACCAR). Il s'agit de la plaine du Haut Cheliff et fait en moyenne 10.23 km de large sur 36.7km de long et s'étend le long du territoire de la wilaya d'est en ouest.

La wilaya d'Ain Defla est une wilaya montagneuse qui fait partie intégrante de la région du Tell, elle présente une topographie assez accidentée et un réseau hydrographique dense et éparpillé. Elle est formée par la chaîne du DAHRA- ZACCAR au nord qui culmine respectivement à 1417m et 1579 m d'altitude ; la plaine du haut Cheliff avec le massif isolé de Doui (1025 m) au centre et l'Ouarsenis au Sud avec des pics allant jusqu'à plus 1700m d'altitude. La moitié des terrains de la wilaya est située sur la classe des pentes supérieure à 25 % suivi par ceux ayant une pente comprise entre 12 et 25 %.

II .4. Réseau hydrographique

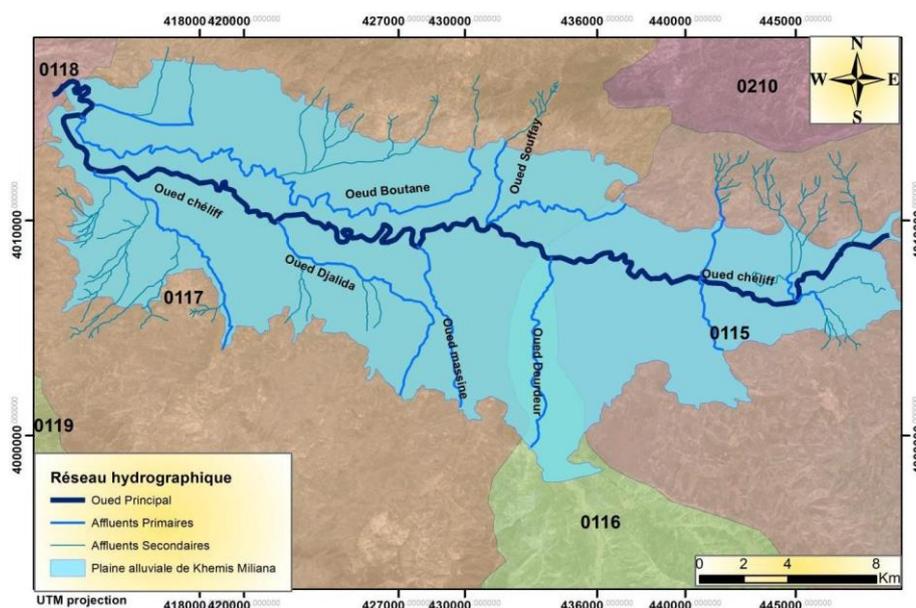
La plaine du Haut Chéiff située entre les montagnes du Zaccar et Dahra au Nord et l'Ouarsenis au Sud est une région principalement à vocation agricole, traversée par l'oued le plus important d'Algérie " l'Oued Chéiff ". Dans la zone d'étude, il y a trois barrages : Ghrib, Harreza et Deurdeur; ceux-ci contribuent à l'irrigation de la majeure partie de la plaine avec plus de présentation générale de la zone d'étude 20.000 ha de terres irriguées. Cependant, les eaux souterraines d'aquifère alluvial de la plaine sont principalement utilisées à des fins de consommation, d'irrigation et industrielles (Bouderbala et Gharbi ,2017).

La plaine du Haut- Chéiff, Oued Chleff partage ce périmètre en deux rives : la rive droite couvre 11303 ha, tandis que la rive gauche ne fait que 9730 ha. Les principaux Oueds qui convergent vers la plaine sont :

- Oued souffay : qui draine le secteur Nord-est des monts du Zaccar et reçoit les eaux ruisselées de la ville de Khemis.
- Oued Boutane : qui collecte des eaux provenant du secteur Nord du Zaccar, puis traverse la plaine ou il présente, par endroits, des intercommunications avec la nappe alluviale avant de rejoindre l'Oued Chleff à l'Ouest de la plaine.
- Oued Deurdeur : qui prend sa source dans les amonts d'Ouarsenis au Sud du secteur d'étude. Il traverse la plaine sur plusieurs Kilomètre avant de confluer avec l'Oued Chéiff.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- Oued Harreza : est également un Oued du Sud (Ouarsenis), il est caractérisé par un débit élevé du fait de l'impluvium. Dans la partie aval, il s'écoule dans la plaine ou il présente un inféoflux en relation avec la nappe alluviale et rejoint plus en aval l'Oued Chleff.
- Oued Massine : sa direction d'écoulement est SSE-NNO, il alimente la partie sud de la plaine.



Les eaux souterraines proviennent principalement de la nappe alluviale de la plaine du Haut Chéiff. Cette nappe est exploitée par des forages et des puits avec un volume exploité.

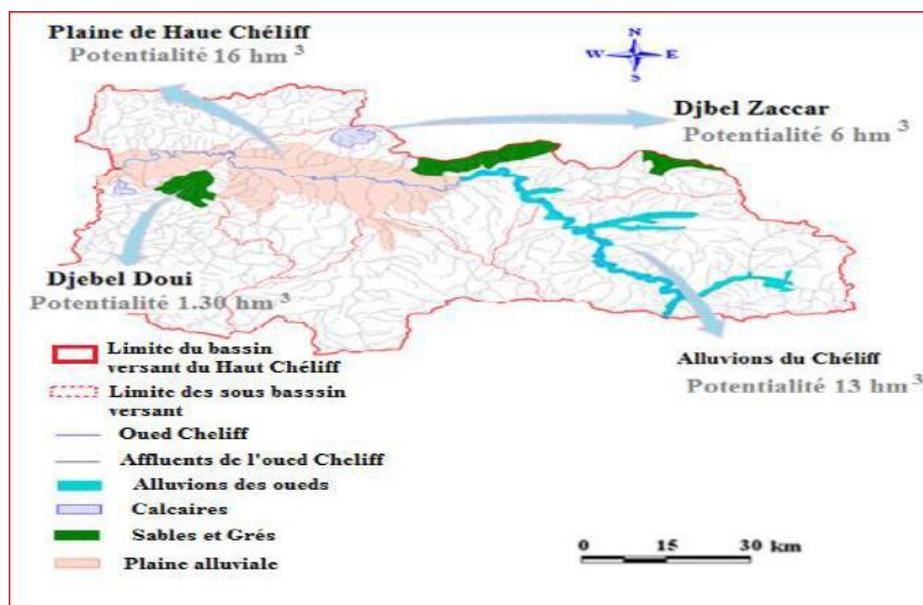


Figure 134: Carte des ressources en eaux souterraine du Haut Cheliff (Zafane, 2016)

I.5. Contexte Pédologique

Selon la carte des sols établie par BOULAINÉ (1957) et celle établie par MCDONALD et BNEIDER (1990), deux grandes divisions des sols peuvent être distinguées : (Boulainé, 1957)

✓ Les sols des bordures des plaines

Ces sols sont formés par des associations suivantes :

- Association des sols à carapaces calcaires.
- Association des sols décalcifiés des sols jeunes formés sur les roches perméables et Calcaire.
- Association des sols jeunes formés sur les grés et les marnes et de ces roches- mères.
- Association des sols formés sur les calcaires massifs et de ces roches-mères.
- Association des sols formés sur roches-mères siliceuses.
- Association des sols formés sur roches-mères schisteuses.
- Association des sols jeunes des glaciers d'accumulation récents.

✓ Les sols de la plaine proprement dite (Les sols centraux de la plaine)

D'après la carte de Boulainé, ils comprennent six classes : ont été décrites

- Les sols alluviaux non évolués.
- Les sols engorgés par l'eau (appelés aussi hydro morphes).
- Les sols calciques.
- Les sols alluviaux évolués.
- Les sols colluviaux et sols alluviaux des affluents mineurs.
- Les sols très évolués (qui sont divisés en sols partiellement décalcifiés et sols décalcifiés lessivés) et mélange de sol.

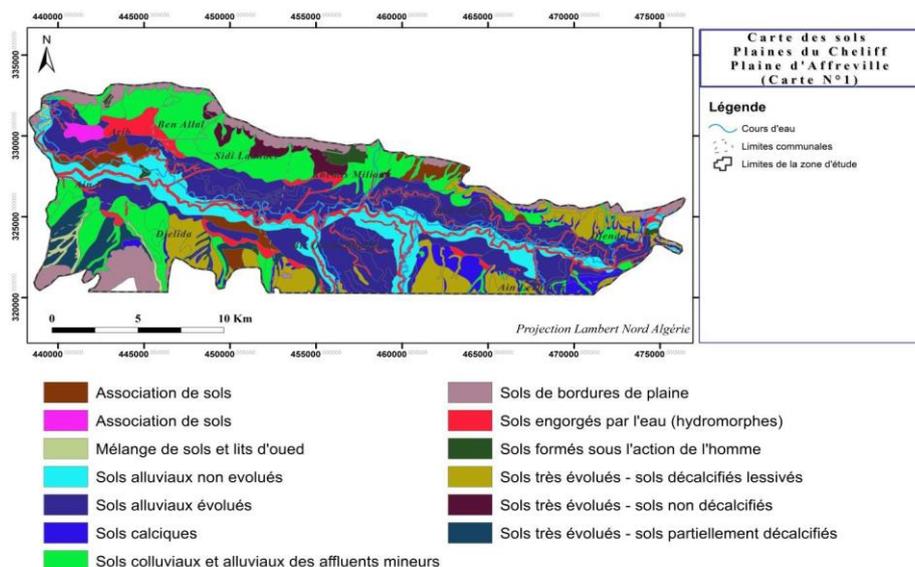


Figure 145: Carte pédologique du Haut Cheliff (Boulaine1957, modifiée par Bouhini et Beghdadi, 2017)

D'après la carte pédologique de la plaine du Haut Cheliff (Boulaine.1957) figure (14) et Beghdadi, 2017), la majorité des sols constituant la région sont des sols limoneux argileux. Les sols sableux sont principalement représentés le long d'Oued Cheliff alors que les sols argileux sont rencontrés dans la partie Nord, les sols limoneux sont plus présents aux bordures extrêmes Nord et extrêmes Sud.

II.6. Contexte géologique

La plaine du Haut Cheliff est une dépression de remplissage alluvionnaire formée de deux compartiments séparés par un seuil dont l'axe passe à côté d'Oued Souffay et dans la partie Sud-Est. Ce seuil est dû à une remontée du substratum Crétacé et traduit l'avancée des terrains crétacés vers le centre de la plaine à l'Ouest d'Oued Deurdeur. Le compartiment Est appartient au bassin miocène de Médéa dans lequel les formations grés-conglomératique du Miocène sont bien développées. Le compartiment ouest est de sédimentation différente (grés, poudingues, schistes, marnes).

Nous présenterons ici les grands traits du contexte géologique régional et local. Cette synthèse s'appuie principalement sur les travaux de Mattauer (1958) et Perrodon (1957).

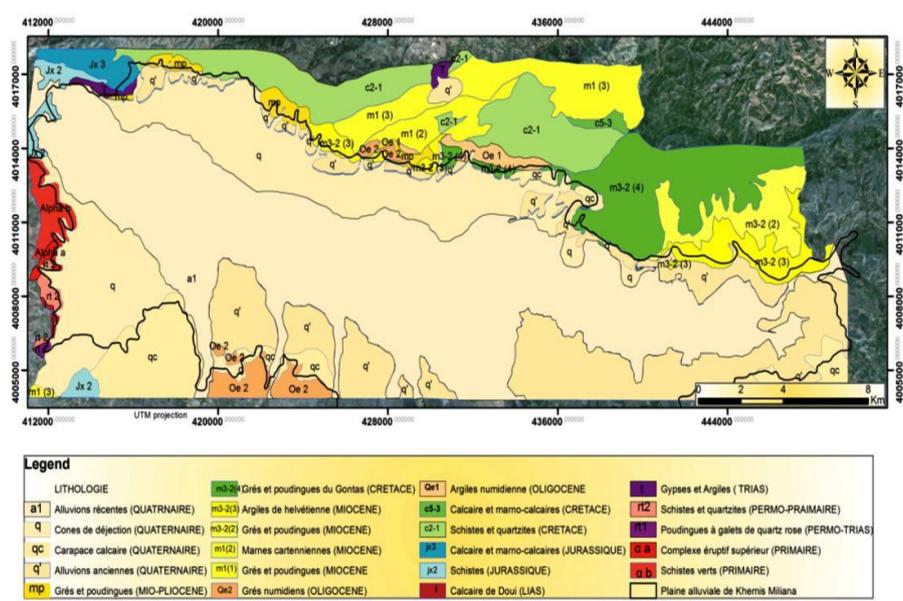


Figure 156: Carte géologique de la plaine du Haut Cheliff (Sahraoui, 2015)

II.6.1. Litho stratigraphie

Les terrains anté –miocènes sont représenté successivement par :

- a) **Le Primaire** : il affleure à l'ouest du Doui et au nord de Zaccar, il est constitué de schistes, schistes argileux, pouding et quartzites.
- b) **Le Trias** : généralement formé de dolomies, calcaires dolomiques, il affleure de massif de Zaccar et Doui.
- c) **Le Jurassique** : formé de calcaires massifs, de schistes gréseux, et de marno-calcaires, affleurant essentiellement au Doui et au Zaccar.
- d) **Le Crétacé** : affleure sur les bordures latérales est présenté par les formations suivantes : Les argiles schisteuses du Néocomien, les faciès flysch de l'Albien et les bancs de calcaires et marnes du Sénonien.

Les terrains post-miocènes affleurent particulièrement dans la plaine d'El Khemis comme suit :

- a) **Le Miocène inférieur** : il est constitué à la base par des conglomérats du Burdigalien, et se termine par des marnes carteniennes.
- b) **Le Miocène supérieur** : il est généralement constitué de marne bleue et de lentilles sableuses.
- c) **Le Pliocène** : cette formation affleure largement à l'ouest de la plaine et dans la région de Sidi Lakhdar et des Arib, il est matérialisé par les alluvions anciennes de la plaine du Haut

Cheliff et l'accumulation des grés et des conglomérats, ce sont à galets quartzeux, gréseux et argileux.

d) Le Quaternaire : il est subdivisé en deux :

- Quaternaire ancien : il est formé de deux niveaux, représentés de bas en haut par de argiles graveleuses brunes généralement mieux cimentées que les terrains supérieurs terrassées dominant plus de 20 mètres.

- Quaternaire récent : il est représenté par des limons bruns et des argiles ayant 10 à 20 mètres d'épaisseur, ils sont rencontrés au pied au massif de Zaccar et au sud-ouest de Doui, un niveau d'argile bleu d'une importante épaisseur a été mis en évidence dans la zone des Arrib au Nord-Ouest de la vallée. (In Djeda, 1987).

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age		Comportement Hydrogéologique
10 à 20		Limons et argiles	Quaternaire récent	Quaternaire ancien	Semi - perméable
100		Alluvions grossières (grès et poudingues) Alluvions argileuses (sables, graviers, argiles)			Perméable
100		Argiles	Pliocène		Imperméable
100		Grès et conglomérats			Perméable
100		Grès et poudingues			Perméable
200		Argiles	Miocène supérieur (Vindobonien)		Imperméable
?		Grès et poudingues			Perméable
300		Calcaires	Miocène inférieur (Burdigalien)		Perméable
1000		Marnes			Imperméable
1000		Grès et poudingues			Perméable
20		Calcaires	Eocène		Perméable
?		Grès quartzitiques			Perméable
?		Argiles et schistes			Imperméable
?		Marnes et calcaires marneux	Senonien		Imperméable
20 à 60		Calcaires et marne calcaire	Cénomaniens		Imperméable
1000		Schistes et bancs quartzites	Crétacé		Imperméable
800 à 1000		Argiles schisteuses	Néocomien		Imperméable
1000		Calcaires	Jurassique		Perméable
?		Gypse et argiles	Trias		Semi-perméable
500		Schistes et quartzites	Permo-Trias		Imperméable

Figure 167: Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de KhemisMiliana (Mattauer, 1958 ., Perrodon ,1967)

II.7. Contexte hydrogéologique

D'après l'étude de la série stratigraphique et ses caractères lithologiques et structuraux fait ressortir deux principales formations aquifères :

➤ Aquifère du Pliocène

Le Pliocène se présente sous forme des grès de l'Astien jaunâtres passant à leur sommet à des sables dunaires à hélix, avec une épaisseur moyenne de 100 m.

➤ Aquifère alluvionnaire du Quaternaire

Les formations alluvionnaires du Quaternaire constituent l'aquifère le plus important et plus exploité. Il est principalement constitué de sables et d'argiles.

D'après l'étude de la série stratigraphique de la région et de ses caractéristiques lithologiques, nous avons remarqué la présence d'un aquifère alluvial à double caractère localement une nappe libre avec des passages lithologiques et une présence d'un recouvrement limoneux-argileux, ce qui rend la nappe des alluvions grossières semi captive localement.

Un autre aquifère attribué au Miocène est l'aquifère des calcaires de Zaccar. Les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire sont en contact direct et fonctionnent comme un seul aquifère. L'alimentation de cette nappe se fait par d'une part les surfaces offertes par l'impluvium et d'autre part par les eaux de ruissellement des oueds Cheliff, Ebda et El Arch.

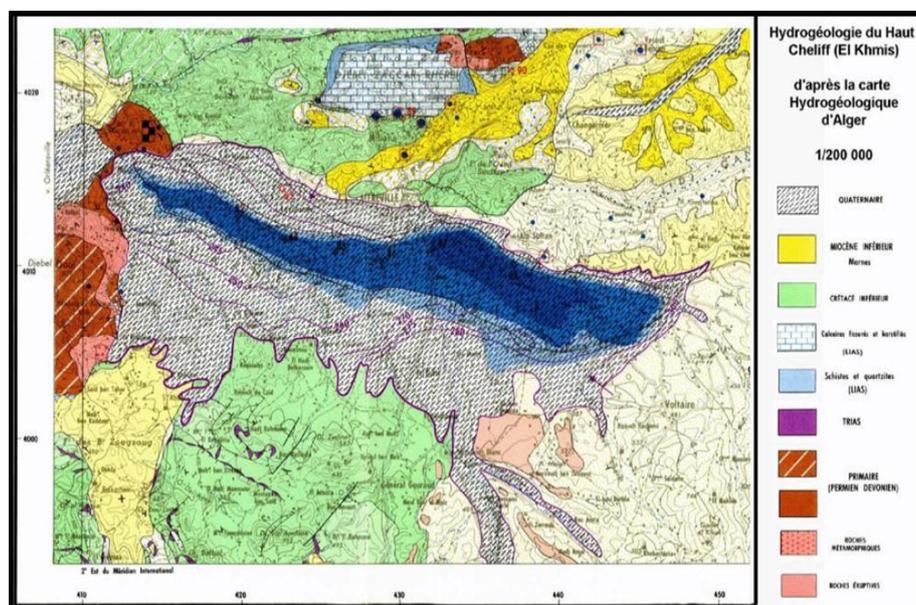


Figure 178: Extrait de la Carte Hydrogéologique d'Alger (SOFRECO, 1997).

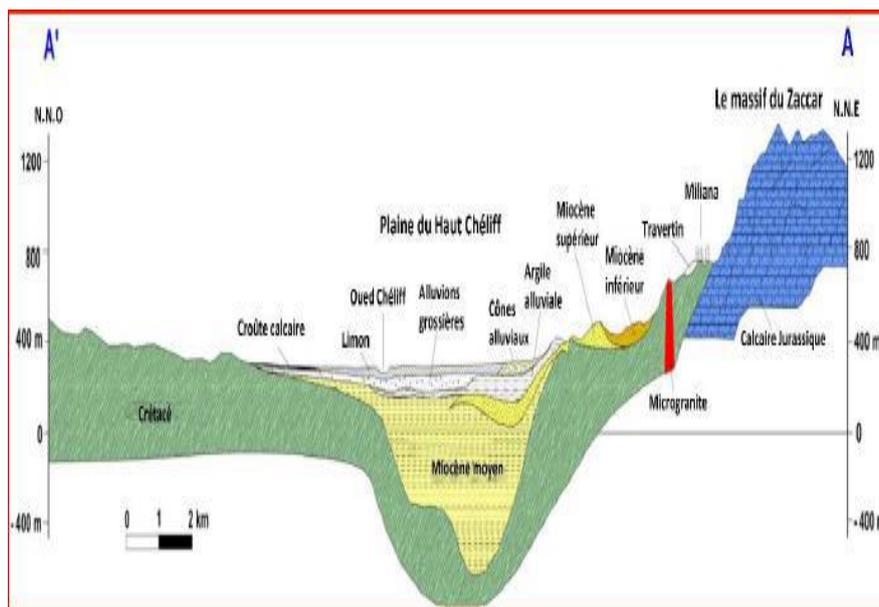


Figure 189: Coupe géologique A-A de la plaine du Haut Cheliff (Perrodon, 1957).

II.8. Urbanisation et démographie

La population est le facteur déterminant pour la connaissance de l'état des lieux en matière de Satisfaction des besoins en eau.

La région d'étude a connu une évolution de la population totale selon le dernier recensement de 1998. Elle comptait 943 863 habitants en 1998 ; elle est passée à 1 054 165 habitants en 2005. En 2010 et selon nos estimations, la population est passée à 1 153 975 habitants avec un taux d'accroissement moyen de 1,83 % (PNUD, 2009). La figure 12 présente l'estimation de la population totale en 2005 et jusqu'à 2050 dans le bassin du Haut Cheliff.

Cette population est plus condensée dans les agglomérations qui sont localisée au Nord de la plaine. Plus significatives sont respectivement d'Est en Ouest : Djendel, Ain Sultan, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar et Arib, bien qu'au sud de la plaine des agglomérations sont minimes et moins denses, les plus marquées sont sans Djelida et Bir Ouled Khalifa. (Kouadri. et Benharkate, 2010).

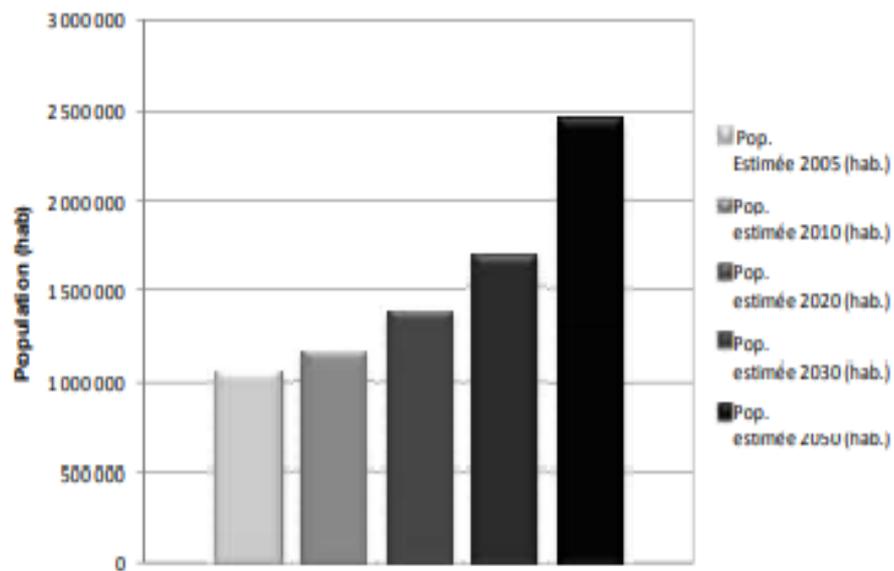


Figure 20 : Évolution de la population totale (Touhari ,2015).

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1. Objectifs à atteindre

Notre étude va permettre de décrire l'état actuel de la pollution en nitrate des eaux souterraines de la plaine du haut Cheliff, son évolution spatiale et temporelle. Ainsi que l'aptitude des eaux souterraines à la consommation.

III.2. Méthodologie

Pour atteindre ces objectifs, une approche méthodologique a été adoptée à savoir ;

➤ L'analyse de la variation spatiale et temporelle des nitrates à l'échelle de la nappe du haut Cheliff pendant une période d'observation de dix ans (2010-2020) durant deux périodes hautes et basses eaux. Pour cela, nous avons recours à la collecte des données auprès des services de l'ANRH suivant le réseau de surveillance implanté au niveau de la nappe étudiée. Vue la pandémie du covid-19 qu'a connu notre pays nous n'avons pas pu récupérer ces données.

➤ Le suivi de la qualité des eaux de consommation à partir des forages destinés à l'alimentation en eau potable(AEP) et qui sont réparti à l'échelle de la nappe. À cet effet, un stage pratique a été prévu au sein de l'ADE d'Ain defla durant une période de deux mois (mars et avril) pour but d'étudier l'évolution des teneurs en nitrates et leurs acceptabilités à la consommation selon les normes de l'OMS (2011) et les normes Algériennes (NA 6360-1992). Malheureusement, une semaine de stage a été effectuée et on s'est arrêté à cause de la pandémie covid-19.

III.2.1. Echantillonnage

III.2.1.1. Modes de Prélèvements

Dans tous les prélèvements les démarches suivantes doivent être respectées :

Les échantillons doivent être prélevés dans des flacons en verre de 250 ml stérilisés pour les échantillons qui font objet d'une analyse bactériologique et des bouteilles en P.E.T (PolyÉthylène) de 1 litre pour l'analyse physico-chimique. (Rodier, 2009).

On doit arrêter le pompage 24h avant de prendre les échantillons puis on laisse couler l'eau de 3 à 5 minute jusqu'à le changement de température, Les bouteilles sont rincées 3 fois avec l'eau à analyser, puis remplies jusqu'au bord et fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air pour éviter le dégazage de l'eau.

Une fois les bouteilles remplies, on doit les conservées dans une glacière, pour maintenir une température basse (4°C). Les analyses doivent être réalisées au bout de 24 heures après la prise d'échantillons. (Rodier 2009), (ISO 5667-3:2018).

III.2.2. Mesure in situ

À la sortie de l'eau de chaque puits, on doit mesurer la température, le pH, l'Oxygène dissous et la conductivité électrique à l'aide d'un appareil multi-paramètre portable.

III.3. Traitement et exploitation des données

Nous avons suivi une démarche décomposée en deux parties :

- L'analyse de la variation temporelle, nécessite la collecte et l'exploitation des données en utilisant Microsoft (EXCEL version 2013) pour la saisie et la transformation en graphes. Concernant l'évolution spatiale, ces données saisies vont être importées vers le logiciel Surfer version 8 puis vers le logiciel mapinfo Professional version 9.5 en vue d'élaborer des cartes.
- Pour étudier l'aptitude des eaux à la consommation humaine, les résultats d'analyses des eaux souterraines échantillonnées vont être comparées avec les normes de l'OMS 2011 et les normes algériennes des eaux de consommation (NA 6360-1992).

III .4. Méthode d'interprétation

III.4.1. Analyse statistique

L'analyse statistique est une composante de l'analyse des données. Elle implique la collecte et l'examen de tous les échantillons de données.

Les objectifs de l'analyse statistique sont donc d'évaluer un paramètre, de déterminer si une différence entre deux échantillons est due au hasard ou à une cause systématique, d'évaluer une relation entre deux variables, de formuler une prévision sur la base de la relation mesurée et de déterminer sa marge d'incertitude (Statistique Canada ,2008)

Le choix d'une méthode d'analyse statistique est en fonction de la nature des données, du nombre d'échantillons, et du nombre de variables.

III.4.2. Evolution spatiale et temporelle

Afin de montrer la répartition spatiale des nitrates, il est nécessaire d'établir des cartes des variations. La répartition des concentrations dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, l'état hydrodynamique de la nappe (les profondeurs de la surface piézométrique), les conditions climatiques (une température élevée provoque l'évaporation et les précipitations engendrent le lessivage et la dissolution des roches) et les sources de pollution urbains et/ou agricoles (Ghebouli et al. 2008., touhari, 2015).

La cartographie est la réalisation et l'étude des cartes géographiques et géologiques, c'est une science qui permet la représentation des données sur un support réduit représentant un espace réel, elle a comme objectif la simplification, pour une meilleure compréhension des phénomènes. (Joly, 1976., Hachemi, 2017)

L'évolution temporelle est le changement de concentration provoqué par le passage du temps afin de montrer la répartition temporelle des nitrates, il est nécessaire d'établir des graphes qui indiquent le changement des concentrations des mêmes points pendant plusieurs années et durant les deux périodes hautes et basses eaux.

III.5. Normes des eaux de consommation

III .5.1. Normes des eaux de consommation selon l'OMS 2011

Les normes de l'OMS sont représentées dans le tableau 6.

Tableau 3: Normes des eaux de consommation selon l'OMS 2011.

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Ph	mg /l	6.5-8.5
Conductivité	µS/cm	1500
Résidus sec	mg /l	500
Calcium	mg /l	75
Magnésium	mg /l	50
Chlore	mg /l	250
Nitrate	mg /l	50
Bicarbonate	mg /l	120
Potassium	mg /l	12
Phosphate	mg /l	5
Sodium	mg /l	200
Sulfate	mg /l	250

Source : (OMS, 2011)

III .5.2. Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation

Les normes algériennes de potabilité des eaux de consommation sont représentées par tableau 4.

Tableau 4 : Extrait des Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation (NA 6360-1992).

Paramètres physico chimique				
Paramètres	Unités	Niveau guide	Concentration max admissible	Observations
Ph		6,5 à 8,5	-	
Conductivité	µS / cm à 20°C	-	2280	
Résidus sec				
Dureté Totale (TH)	°F	10	50	
Calcium	mg/1	75	200	
Magnésium	mg/1	-	150	
Sodium	mg/1	-	200	
Potassium	mg/1	-	10	
Sulfate	mg/1	200	400	
Chlore	mg/1	200	500	
Nitrates	mg/1	-	50	
Nitrite	mg/l	-	0.1	
Bicarbonates	mg/1	-	-	
Paramètres bactériologiques				
Coliformes fécaux	Nombre/100ml	-	0	Avertir la population de javelliser ou faire bouillir l'eau au cas où l'on n'arrive pas à respecter les valeurs indicatives
Coliformes totaux	Nombre /100ml	-	0	
Streptocoques Fécaux	Nombre/100ml	-	0	-

Source :(JORADP.1992)

Chapitre IV

Résultats des travaux

Antérieurs

IV. résultats des travaux antérieurs (Ikhlef, 2006., Touhari,2015 et Bouzara et Ensaad ,2018)

En se basant sur les travaux précédents menés dans la région du haut Cheliff nous avons pu arriver à déterminer l'état des lieux de la contamination des eaux souterraines par les nitrates, leurs évolutions en fonction des années, et identifier les causes potentielles de cette pollution.

IV.1. L'étude intitulée : contribution à la protection des eaux souterraines soumises aux pressions agricoles - Cas de la plaine du Haut Cheliff – Réalisé par BOUZARA.C et ENSAAD.R 2018dans le cadre d'obtention du diplôme de Master

Cette étude est basée sur : La cartographie de la vulnérabilité à la pollution intrinsèque de la nappe du Haut Cheliff par la méthode DRASTIC modifiée, ou DRIST. La méthode DRIST (Sinan et al, 2000) est une modification de la méthode DRASTIC (Aller et al, 1987) pour la caractérisation de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. L'estimation de la vulnérabilité à la pollution est basée uniquement sur les paramètres liés à la zone saturée qui sont :

La profondeur de nappe(D), la recharge (R), l'impact de la zone non saturée(I), le type de sols (S), la topographie (T) ; En effet, les auteurs de la méthode considèrent qu'une nappe est contaminée dès lors que le polluant touche la surface du plan d'eau.

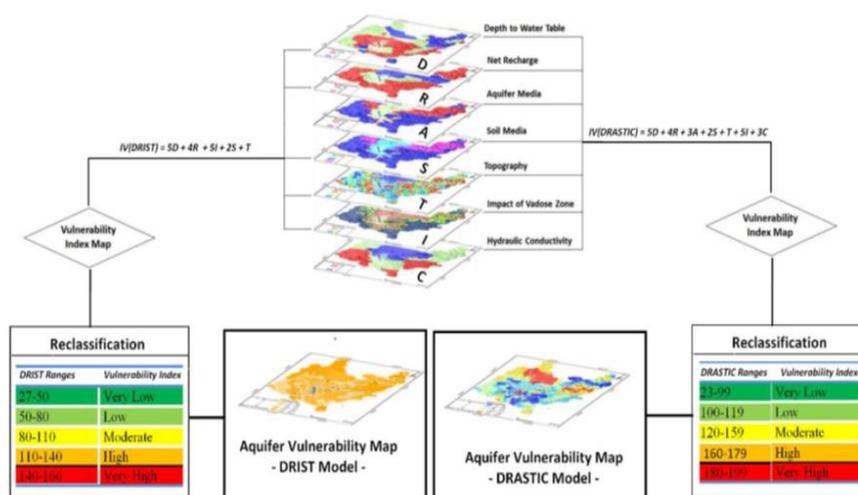


Figure 191: Évolution de la population totale (Touhari ,2015).

Cette étude a fait ressortir les résultats suivants :

La carte de vulnérabilité intrinsèque obtenue par la méthode DRIST (Figure20) montre que le degré de la vulnérabilité modérée domine la zone d'étude et représente près de 75 % de la

Chapitre IV : Résultats des travaux antérieurs

superficie totale. Le degré de la vulnérabilité élevé représente 23.50 % de la superficie localisé à l'ouest de la zone d'étude et peut s'expliquer par les faibles profondeurs piézométriques, l'inclinaison de la pente, une texture du sol légère (sableuse) favorisant les infiltrations. Les vulnérabilités faibles et très élevées représentent, respectivement, 1.52 et 0.05% de la superficie totale.

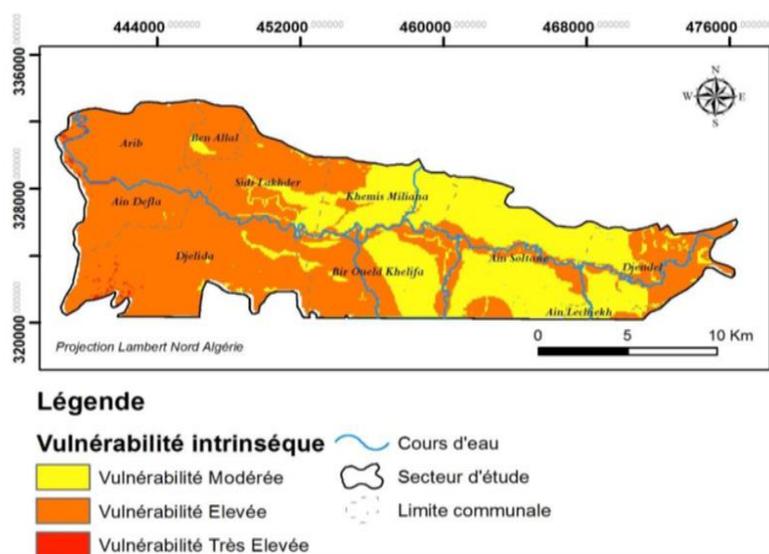


Figure 202: Carte de vulnérabilité intrinsèque par la méthode DRIST (Bouzara et Ensaad, 2018)

Carte de vulnérabilité spécifique à la pollution par les nitrates

Dans un premier temps, ils ont procédé à la reclassification de la carte d'occupation des sols chaque classe a une cote allant de 0 à 9 en fonction du risque potentiel de pollution qu'elle représente, en fonction des cultures en place, de la présence ou non d'irrigation et des pratiques culturales locales. La Figure 21 montre la présence d'une forte activité agricole dans la plaine avec une prédominance de cultures maraichères et arboricoles (cotes 7 et 9).

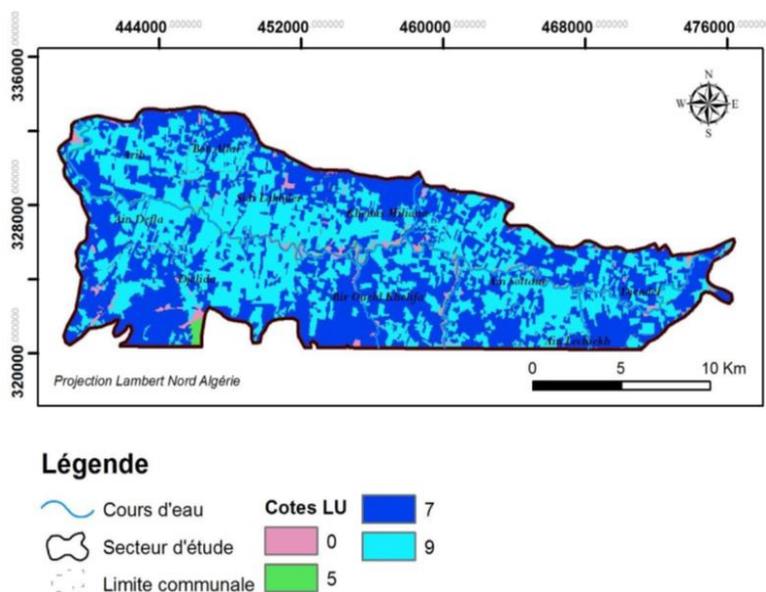


Figure 213: Reclassification de l’occupation des sols (Bouzara et Ensaad, 2018)

La superposition de la carte de vulnérabilité intrinsèque et la carte d’occupation des sols a permis de faire ressortir les zones les plus exposées à la vulnérabilité, à la contamination, et plus particulièrement à la contamination agricole par les nitrates (Figure 22).

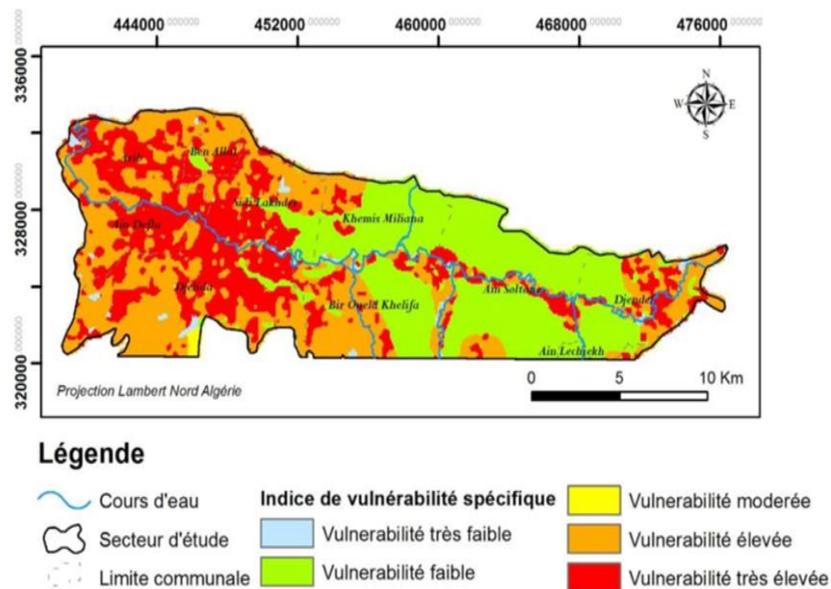


Figure 224: Carte de vulnérabilité spécifique aux nitrates (Bouzara et Ensaad, 2018)

Les cotes les plus faibles (0 et 1) représentent les régions pour lesquelles les vulnérabilités sont négligeables et ne nécessitent pas de restrictions. Les vulnérabilités les plus élevées sont observées dans la partie ouest de la plaine et représentent plus de 20% de la région d’étude. Ces zones doivent faire l’objet d’une attention particulière quant à l’utilisation des engrais en fertilisants. Plus de 63% de la plaine enregistre des indices de vulnérabilité modérée, élevée et très élevée.

Chapitre IV : Résultats des travaux antérieurs

Afin de valider les résultats obtenus, une confrontation des résultats obtenus avec la répartition moyenne des nitrates à travers la plaine a été réalisée. A cet effet, ils ont utilisé les données des analyses physico-chimiques effectuées par l'ANRH en période de basses eaux entre 2005 et 2014.

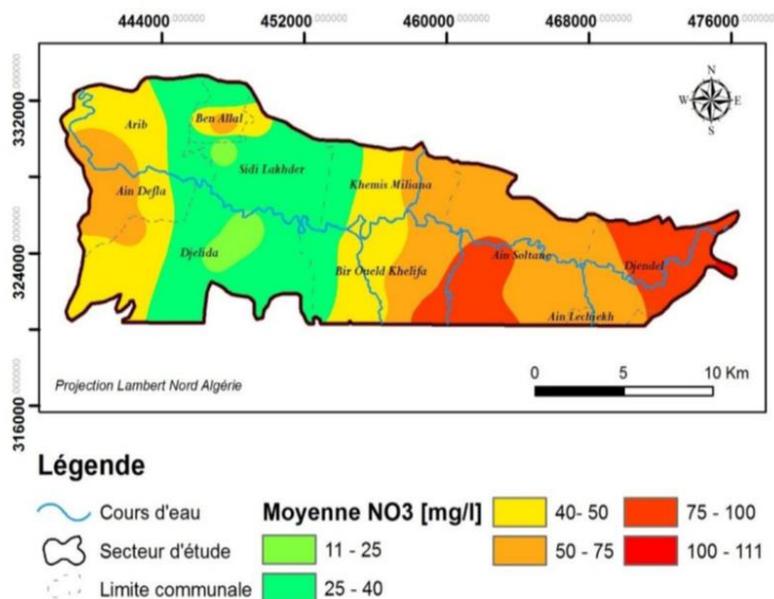


Figure 235: Répartition spatiale des nitrates dans la plaine du Haut Cheliff (2005-2014).

La carte de répartition des nitrates (Figure 24) indique des concentrations supérieures à la norme de 50mg/l dans toute la partie Est de la plaine (Communes de Djendel) et dans le secteur ouest (Ain Defla). Cette région est principalement occupée par des cultures maraichères où l'utilisation des engrais et fertilisants peut être 3 fois plus importante que les doses recommandées. Le croisement des cartes de vulnérabilité spécifique et de répartition des nitrates indique une concordance de 12.8% et concerne principalement des zones non continues de vulnérabilité modérée à élever.

IV.2. L'étude intitulée : Etude de la pollution de la nappe alluviale du haut Cheliff par les nitrates Réalisé par Ikhlef.S .2006 dans le cadre d'obtention du diplôme de magister

Cette étude est basée sur l'échantillonnage des points d'eau dans la zone d'étude pour le suivi de la qualité des eaux. ces points sont généralement des puits privés implantées dans la nappe superficielle du Mio-plio-quadernaire du haut Cheliff ,ainsi ils ont disposé des données concernant le paramètre chimique qui fait l'objet de leur étude (Nitrate) sur plusieurs années dans des puits répartis sur la plaine ,ceci permettrait l'étude du comportement spatio-temporel des nitrates et la définition des facteurs qui contribuent le plus à ce comportement. Pour cela ils ont réalisé deux campagnes qui correspondent respectivement aux hautes et basses eaux ce qui a fait ressortir les résultats suivants :

Chapitre IV : Résultats des travaux antérieurs

Compagne septembre 2003

Lors de la compagne de septembre 2003, ils ont prélevé 31 échantillons d'eau, les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines variaient de 1mg/l (puits W84/4) à 220mg/l (puits W6/85). Ces derniers puits sont situés près de la ville, à l'aval d'une ferme avec l'existence d'une fosse septique et utilisation des engrais azotés pour fertiliser le sol.

Ainsi sur 31 échantillons d'eaux, 24 dépassent la valeur admissible (50 mg/l) soit 78% de nombre de points prélevée.

Compagne avril 2004

Au niveau de la nappe du haut Cheliff, sur 45 échantillons d'eau prélevées, 30 ne répondent pas aux normes de L'OMS soit plus de 66% qui dépassent la norme.

L'interprétation de la carte des teneurs maximales des nitrates pour la compagne 2003/2004 des hautes et basses eaux montre qu'il y a des fortes concentrations des teneurs maximales des nitrates dans la région Est (djendel) et la zone Ouest (Djelida) ceci malgré la recharge des eaux souterraines de la nappe alluviale par l'infiltration des eaux de pluies et les eaux de ruissellement.

IV.3. L'étude intitulée : Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff

Réaliser par Touhari.F .2015 dans le cadre d'obtention de diplôme de DOCTEUR

Cette étude est basée sur un réseau d'échantillonnage pour acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux souterraines de la nappe étudiée.

Les échantillons des eaux sont prélevés par l'ANRH sur des puits situés dans la nappe alluviale du Haut Cheliff et qui forment le réseau d'observation. Quatre campagnes ont été effectuées en 2002 et 2008, durant le mois d'avril, qui correspond à la période de hautes eaux et les mois de septembre ou octobre, qui correspondent à la période de basses eaux. Ces puits couvrent la totalité de la plaine de l'Est vers l'Ouest. La figure 24 montre la répartition des points d'eau prélevés dans la plaine.

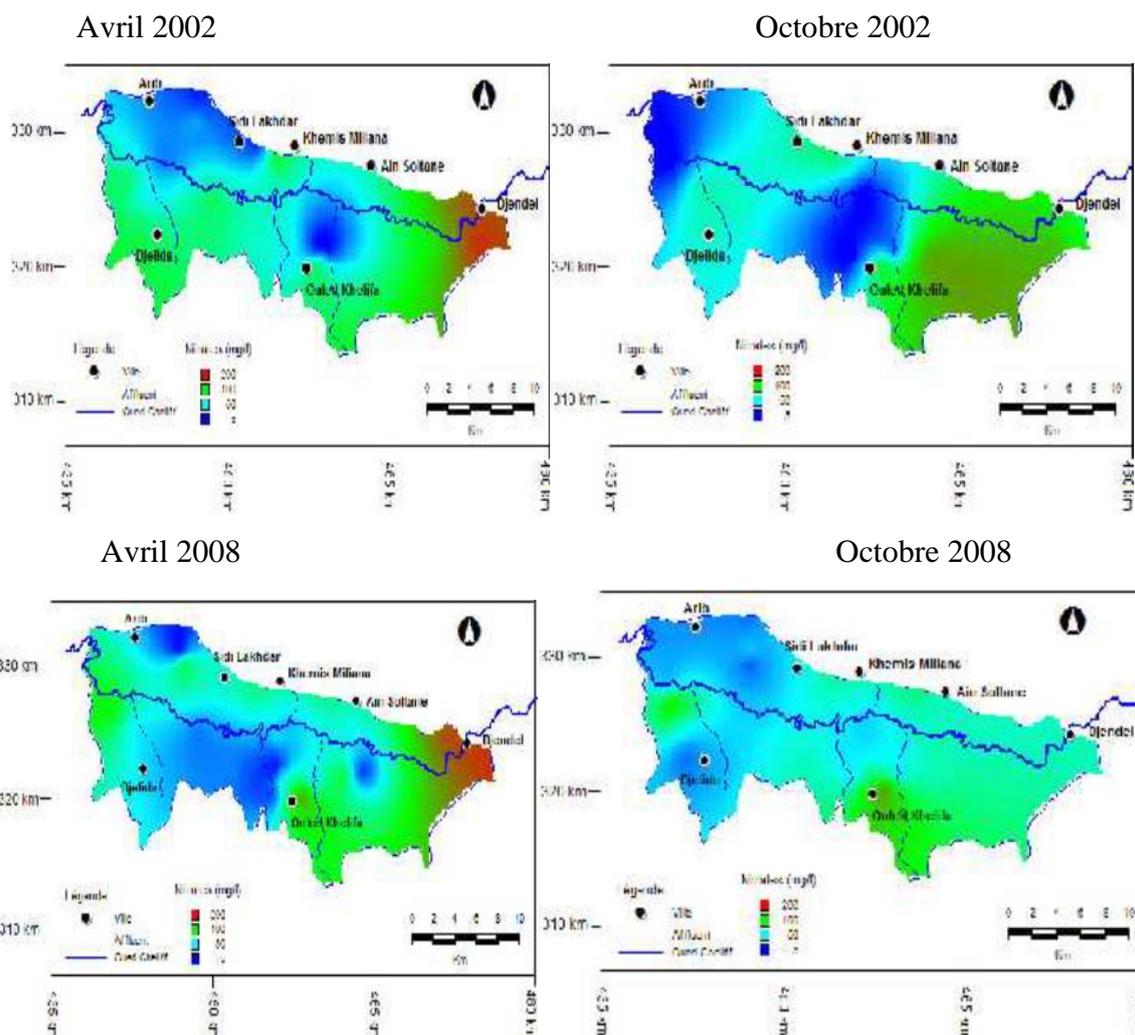


Figure 257: Carte de nitrates, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l) (Touhari, 2015)

La distribution des nitrates est très différente (figure 27). Les plus fortes concentrations se trouvent à l'Est, près de Djendel, au Sud près de Bir Ouled Khelifa, au Nord à Sidi Lakhdar et à l'Ouest au niveau de djelida, ils ont enregistré des teneurs dépassant 50 mg/l. Ces très fortes teneurs sont dues à l'activité des vergers occupant une grande partie de la superficie qui bénéficie de l'apport abusif d'engrais (avec des doses varient entre 100 et 300 Kg/ha), pesticides et fumiers ainsi que les rejets de collectivités. (Bettaher et al, 2009)

Évolution temporelle des nitrates durant la période 2002 à 2008

L'interprétation de la figure 27 montre que les ions nitrates évoluent de la même manière pendant toute la période d'observation. Cependant, on peut dire que lors de la campagne de hautes eaux, les teneurs enregistrées sont plus fortes que lors de la campagne de basses eaux.

Elles augmentent avec les fortes pluies en avril qui lessivent les terrains agricoles et accroissent les teneurs en nitrates dans la nappe. On signale que la campagne du mois d'avril 2004 a connu

Chapitre IV : Résultats des travaux antérieurs

l'enregistrement de teneurs maximales (280 en et 260 mg/l aux points d'eau 84-155 et 85-20 respectivement).

On a remarqué que la même répartition des concentrations se répète, avec de faibles variations d'une campagne à une autre, ce qui s'explique par le fait que les agriculteurs ont les mêmes pratiques et parce que les conditions naturelles (la lithologie et les caractéristiques du climat) sont relativement constantes.

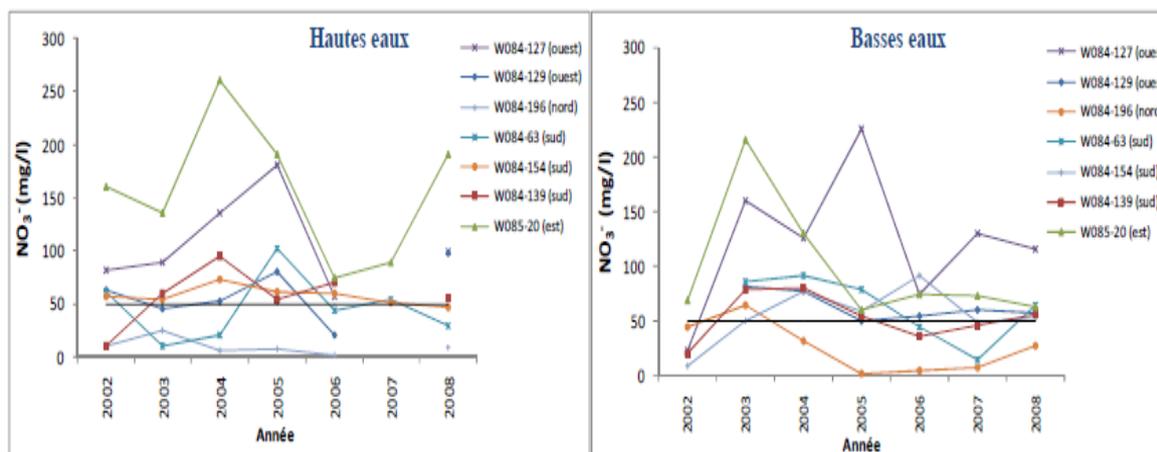


Figure 268: Évolution des Nitrates durant la période 2002 à 2008 (Touhari, 2015)

Conclusion Générale et recommandations

Conclusion Générale et recommandations

La nappe alluviale du haut Cheliff est confrontée au risque de la pollution par les nitrates provenant des activités industrielles, agricoles ainsi que des effluents domestiques rejetés souvent sans épuration, augmente par conséquent le risque de détérioration de la qualité des ressources hydriques et engendrant un risque sanitaire pour la population rurale s'approvisionnant le plus souvent directement de l'aquifère.

Au terme de ce travail mené dans la région du haut Cheliff nous avons pu tirer des informations sur l'état actuel de la pollution en nitrate des eaux souterraines de la plaine du haut Cheliff, son évolution spatiale et temporelle, ainsi que l'aptitude des eaux souterraines à la consommation.

Dans cette étude nous avons basé sur les résultats des travaux antérieurs réalisés dans la zone d'étude. En effets ces études montrent que la distribution spatiale des nitrates est très différente. Les plus fortes concentrations se trouvent à l'Est, près de Djendel, au Sud près de Bir Ouled Khelifa, au Nord à Sidi Lakhdar et à l'Ouest au niveau de djelida. Ces très fortes teneurs sont dues à l'activité des vergers occupant une grande partie de la superficie qui bénéficient de l'apport abusif d'engrais, pesticides et fumiers ainsi que les rejets de collectivités. (Bettaher et al. 2009)

L'étude de l'évolution temporelle a fait ressortie que les ions nitrates évoluent de la même manière pendant toute la période d'observation (2002 à 2008). Cependant, on peut dire que lors de la campagne de hautes eaux, les teneurs enregistrées sont plus fortes que lors de la campagne de basses eaux. Elles augmentent avec les fortes pluies en avril qui lessivent les terrains agricoles et accroissent les teneurs en nitrates dans la nappe. On signale que la campagne du mois d'avril 2004 a connu l'enregistrement de teneurs maximales (280 et 260 mg/l aux points d'eau 84-155 et 85-20 respectivement). On a remarqué que la même répartition des concentrations se répète, avec de faibles variations d'une campagne à une autre, ce qui s'explique par le fait que les agriculteurs ont les mêmes pratiques et parce que les conditions naturelles (la lithologie et les caractéristiques du climat) sont relativement constantes.

L'exploitation de la méthode DRASTIC pour l'étude de la vulnérabilité de la nappe à la pollution montre que des concentrations supérieures à la norme de 50mg/l dans toute la partie Est de la plaine (Communes de Djendel) et dans le secteur ouest (Ain Defla) et confirme les résultats de la variation spatio-temporelle.

Le niveau de la pollution nitrique des eaux souterraines dans la nappe du haut Cheliff dépasse les normes fixées par l'OMS et les normes algériennes (50 mg/l). Ces teneurs élevées en nitrates

Conclusion Générale et recommandations

peuvent être expliquées par la présence des diverses sources de pollution principalement liés à l'agriculture, l'élevage et les pratiques urbaines (domestiques et les déchets industriels). (Touhari.2015)

D'après les résultats cités ci-dessous, on peut conclure que la nappe du haut Cheliff semble exposée à une pollution nitratée au fil du temps, qui nécessite une intervention immédiate, et ce pour protéger la ressource en eau souterraine et assurer sa durabilité. Cependant, Nous recommandons la mise en place de certaines dispositions qui permettront d'éviter les causes de cette contamination :

- Une adaptation des techniques culturelles est nécessaire dans un grand nombre de situation (l'assolement) pour maîtriser la production de nitrates ;
- L'application régulière de fumiers en tête de rotation fournit au sol pendant plusieurs années d'importante quantité de matière organique dont la minéralisation est impossible à contrôler et qui peuvent produire de très grosses quantités d'azote minéral ;
- L'amélioration de l'utilisation de l'effluent et fumier d'élevage devrait certainement limiter le lessivage des nitrates dans les terres cultivées ;
- L'irrigation fertilisante (fractionnement des apports d'azote dans l'eau d'irrigation) présente un intérêt économique par rapport à la méthode d'apport massif de l'engrais en début de culture, elle conduit à des rendements significativement plus élevé ;
- La réduction de la pollution passe par la réduction des accumulations éventuelles d'azote dans le sol donc du risque de lessivage ;
- La mise en place de mécanisme corrective de la tarification de l'eau pollué en nitrate ;
- Appliquer le principe pollueur –payeur ;
- La mise en place d'un comité anti-pollution au niveau du bassin versant et la mise en exécution des programmes d'implantation le long de l'oued Cheliff ;
- Les industries se sont également mis de la partie en proposant des appareils qui permettent de mesurer le taux des nitrates pour éviter toute diffusion excessive ;
- Evaluer les besoins réels en fertilisants, en fonction de la plante cultivée, du sol, des précédentes cultures ;
- Inciter les agriculteurs à profiter au maximum des nitrates gratuits présents dans le sol et à limiter les apports extérieurs en faisant passer quelques idées simples, pour une opération (nitrates moins) du genre :
 - Les plantes ont besoin de nitrates, mais pas n'importe quand ;
 - Les apports d'engrais en dehors des périodes de besoin sont source de pollution ;

Conclusion Générale et recommandations

- Chaque culture laisse un reliquat d'azote derrière elle ;
- L'ordre dans lequel se succèdent les cultures est important, car il permet de gérer ce reliquat ;
- Des sols laissés nus pendant l'hiver perdent leur azote, qui va souiller les nappes souterraines : d'où le double intérêt des engrais verts. (Les engrais verts sont tous simplement des cultures destinées à couvrir le sol et à piéger les nitrates) ;
- Mettre en rapport les éleveurs excédentaires et les agriculteurs déficitaires, dont le rôle est d'exporter le surplus des déjections animales et améliorant la régularité et la précision des dispositifs d'épandage chez les agriculteurs.

Référence Bibliographique

Références Bibliographiques

Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG), (2012) : Les eaux souterraines, Toulouse, Cedex 10p.

Aichaoui Z ., et Boukendil C ., (2016) : Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la fraction d'Ouled Belgacem (commune d'Ain Sultane, W. d'Ain defla). Mémoire de fin d'étude UDBKM ,133p

Alouane H., (2012) : Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole. Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Mémoire de magister, UMC, 78p

Arjen V.D.W., (2010). Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines :

Aryal J., Gautam B., Sapkota N., (2012): Drinking Water Quality Assessment. Article in Journal of Nepal Health Research Council .Source: PubMed

Ayad W ., (2017) : Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souveraines : cas des puits de la région d'el -harrouch (wilaya de skikda). Thèse de doctorat.

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 meknés (Maroc).

Benkaddour B., (2018) : Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). Thèse de doctorat. Université de Perpignan via Domitia, et université de Mostaganem.

Benrabah H., et Ait Ziane M ., (2019) : Estimation et cartographie de la recharge naturelle des eaux souterraine cas d'application différentes méthodes dans la plaine alluviale de khemis Miliana. Mémoire de master. UDBKM ,66P

Bettahar N., Benamara A., Kettab A., Douaoui A ., (2009) : Risque de pollution nitraté des zones semi-arides : cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien). Article de la revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 78p

Biddau R., Cidu R., Pelo S., A Carletti., Ghiglieri G., Pittalis D., (2019): Source and fate of nitrate in contaminated groundwater systems: Assessing spatial and temporal variations by hydrogeochemistry and multiple stable isotope tools. Science of the Total Environment 647

Bougherara H ., (2010) : La dénitrification par l'utilisation d'une culture mixte. Thèse de doctorat Université Mentouri de Constantine .148p

Référence Bibliographique

Bouzara C., et Ensaad R ., (2018) : Contribution à la protection des eaux souterraines soumises aux pressions agricoles Cas de la plaine du Haut Cheliff. Mémoire de fin d'étude UDBKM.72P

BRGM ., (2004) : « Protection des eaux souterraines » Guide méthodologique pour la recherche de l'origine de pollution(s) dans les eaux souterraines-Rapport final, BRGM, Mai.

BRGM ., (2012) : suivi de la qualité des nappes. Gestion du réseau et exploitation des résultats Rapport final, BRGM, Octobre

Cardot C., (1999). Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologique :

Chekroud H., (2007). Etude de la pollution des eaux de la plaine de telezza due aux activités agricoles et commerciales. Thèse de Magister- université de Constantine.p56

Cours et problèmes résolus, Ellipes Edition Marketing, paris, cedex 15, PP : 25-28.

Degremont G., (2005). Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et

Desbordes A ., (2001) : Qualité, dépollution et traitement des eaux de nappes. Mémoire. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. SCI., Amiens, 65 p. + annexes.

doc, PP: 3- 38

Ducci D., Della Morte D., Mottola., Onorati G., Pugliano G., (2017): Nitrate trends in groundwater of the Campania region (southern Italy).Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature

El Hammoumi N., Sinan M., Lekhlif B L., El Mahjoub.,(2012) : Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tadla, Maroc.13p

Fondation PRACTICA, Oosteind, P10.

GAUJOUR D., (1995). La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2eme édition : Lavoisier. P : 49.

Germain Kobenan N., Mangoua Oi Mangoua J., Douagui A., ABOUA K., Gone L ., (2019) : Evolution spatio-temporelle des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines du bassin versant de la Baya (Est Côte d'Ivoire)

Halfaoui Y et Bouhail S., (2019) : Evaluation de la diversité de l'occupation du sol dans la plaine du haut Chélif à l'aide de la télédétection optique. Mémoire de master UDBKM, 101p

Hamlat A.,Guidoum A.,2018: Assessment of groundwater quality in a semiarid region of Northwestern Algeria using water quality index (WQI)

Référence Bibliographique

- Hemiche M., Hichar R., Houichi I., (2018).** 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 de master UMBM, 124P.
- Howden N., (2008):** Temporal and spatial analysis of nitrate concentrations from the Frome and Piddle catchments in Dorset (UK) for water years 1978 to 2007: Evidence for nitrate breakthrough?. Science of the Total Environment. 507-526p
- Ikhlef S., (2006) :** étude de la pollution de la nappe alluviale du haut Cheliff par les nitrates. Mémoire de magister UHB Chlef .136p
- INERIS et BRGM.,(2018) :** Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués. MEEM rapport Préventions Risques avec visuel .France.72p
- Kettab A., (1992).** Traitement des eaux, Les eaux potables, Edition : Office des Publications Universitaires, Alger, PP : 111-123
- Kheliel O., Youcef L., Achour S., (2018) :** qualité des eaux souterraines de la nappe du miopliocène de la région de Biskra et risque de la pollution par les nitrates .thèse de doctorat université de Biskra ,145p
- Liu J., Jiang L., Zhang C., Li P., Zhao T., (2017):** Nitrate-nitrogen contamination in groundwater: Spatiotemporal variation and driving factors under cropland in Shandong Province, China. Third International Conference on Water Resource and Environment. 14p
- Malek A ., (2016) .** Contribution à une étude phytoécologique des oliveraies dans la région de Manouchehr
- C., (2017):** Analysis of temporal and spatial variations in groundwater nitrate and development of its pollution plume: a case study in Karaj aquifer
- manuel sur l'hydrogéologie appliquée, l'équipement et le développement des forages,
- Margat J., (1990) :** les eaux souterraines dans le monde, édition BRGM service sol et sous-sol, département Eau.
- Margat J., (2008).** Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde. Coédition UNESCO ET BRGM. France
- Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), (2003).** Utilisation judicieuse de l'eau de pluie : Possibilités et limites, Conseils et critères, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Berne, 14p.
- Ramade F., 1994.** Livre « Eléments d'écologie : écologie fondamentale ». Edition : Ediscience international. Paris, pp : 160-165
- Recous S., Nicolardot B., Simon J., (1997).** Le cycle d'azote dans les sols et la qualité des eaux souterraines

Référence Bibliographique

Remini B ., 2005 .livre « La problématique de l'eau en Algérie » .Edition O.P.U.160 p

Rizeei H.,Azeez O., Pradhan B., Khamees H., (2018): Assessment of groundwater nitrate contamination hazard in a semi-arid region by using integrated parametric IPNOA and data-driven logistic regression models.Journal: Environmental Monitoring and Assessment .Springer Nature Switzerland AG

Rodier J., Legube B., Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod, 1579p

Rollin C., Quiot F., Masselot G., (2008).Surveillance des eaux souterraines dans le contexte des sites pollués. Rapport final INERIS.202P

Rouabhia A., Baali F., Kherici N., Djabri L., (2004) : Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie). Mémoire de fin d'étude Université de tebessa, 347p

Souterraines aux forages manuels, Un manuel d'instruction pour les équipes de forage

Srairi B et Miliani N., (2018). L'impact de l'imperméabilisation artificielle des terres sur la perte de la ressource naturelle et agricole dans la plaine du Haut Cheliff. Mémoire de master UDBKM, 96p

Srivastava S., (2018): Geochemical assessment of fluoride enrichment and nitrate contamination in groundwater in hard-rock aquifer by using graphical and statistical methods. Journal of Earth System Science.

Taleb M et Badaoui S., (2019). Etude qualitative des eaux souterraines de la région de Bouira. Mémoire de fin d'étude.187p

Tlemcen. Thèse de master. Université Abou Beker Belkaid –Tlemcen.

Touhari F., (2015). Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff. Thèse de doctorat ENSH Blida .186p

WALLING D. E. ET WEBB B. W., (1985). Estimating the discharge of contaminants to coastal waters by rivers: some cautionary comments. Marine Pollution Bulletin, Vol 16, n°12. Pp 488-492.