

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Eau et assainissement dans les oasis du M'Zab.**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 8-0001-20

APA Citation ( APA توثيق ):

**Zegait, Rachid. (2020). Eau et assainissement dans les oasis du M'Zab [Thèse de doctorat, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



ENSH-(n° d'ordre)

**THESE DE DOCTORAT  
DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE**

Présentée par

**Monsieur ZEGAIT Rachid**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE**

Sujet de la thèse

**Eau et assainissement dans les oasis du M'ZAB : rejets urbains et  
pollution de la nappe (Cas de l'oasis d'El-Atteuf)**

Thèse présentée et soutenue à Blida le **12/02/2020** devant le jury composé de :

Mr SALAH Boualem	Professeur. ENSH. Blida	Président
Mr REMINI Boualem	Professeur. Univ. Blida	Directeur de thèse
Mr BERMAD AbdEl Malek	Professeur. ENP. Alger	Examineur
Mr BOUTOUTAOU Djamel	Professeur. Univ. Ouargla	Examineur
Mr RASSOUL Abdelaziz	MCA. ENSH. Blida	Examineur

## ملخص :

أدت الإدارة غير الرشيدة للمياه في وادي المزاب إلى حالة صحية حرجة مثل التدهور البيئي وتلوث المياه الجوفية. إن الهدف الرئيسي لهذا العمل الحالي هو مراقبة البيئة وموارد المياه والمحافظة عليها في وادي مزاب، لا سيما الجوفية، ضد أي شكل من أشكال تدهور نوعيتها، وخطر التلوث الناجم عن التصريفات الحضرية، مع تقييم محطة المعالجة التي تم تشيبتها بهدف التخلص من خطر التلوث في المناطق الحضرية في إعادة التوازن للنظام الإيكولوجي للوادي.

في هذا السياق، تم تنفيذ حملات أخذ العينات لتصريف المياه في المناطق الحضرية والصناعية في عدة نقاط في الوادي تليها الدراسة البيزومترية والتحليلات الفيزيائية والكيميائية لأبار المياه الجوفية. كما تم إيلاء اهتمام خاص لمحطة المعالجة في وادي مزاب من خلال التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية (أكثر من 100 عينة) التي أجريت على مدى عامين لتقييم كفاءة المحطة وجودة المياه المعالجة والقدرة على استخدامها في المجال الزراعي. تستكمل هذه الأعمال من خلال المعاينات التي أجريت في الميدان والبيانات الموجودة في منطقة الدراسة من أجل تسليط الضوء على تطورات الموارد المائية من الناحية الكمية والنوعية. ينتهي عملنا من خلال تنفيذ استراتيجية جديدة تستند إلى نمذجة WEAP لدراسة تأثير الظروف المناخية والبشرية على عملية زيادة التصريفات الحضرية والتلوث من أجل إدارة متكاملة ومستدامة للموارد المائية في الوادي.

أظهرت النتائج؛ أن التصريفات الحضرية في وادي مزاب لديها تلوث عضوي مرتفع للغاية، مع وجود طبقة مائية سطحية تتميز بالحساسية من متوسطة إلى مرتفعة حيث يوضح تحليل طبقة المياه الجوفية السطحية أن هذه المياه، تتميز بالتلوث المفرط، تتطلب معالجة محددة لا يمكن استخدامها للري، باستثناء المحاصيل التي تتحمل الملوحة (النخيل).

كما أظهرت النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها أثناء متابعة المياه المعالجة لمحطة وادي مزاب (2013-2015) أن هذه المياه ذات جودة رديئة تتطلب معالجة ثالثة لاستخدامها في المجال الزراعي. كما اتاح لنا حساب التوازن المائي أن نرى بوضوح الإدارة غير الرشيدة لموارد المياه في الوادي، تمثل تدخلنا من خلال نموذج WEAP رؤية متوقعة من خلال سيناريوهات مستدامة تعتبر للمديرين كأداة دعم للإدارة المتكاملة للموارد المائية في الوادي.

**الكلمات الدالة:** الصرف الصحي، التلوث، المياه الجوفية، حساسية، المزاب، محطة المعالجة؛ إعادة استخدام. الإدارة المتكاملة.

## ABSTRACT

The irrational water management in the M'Zab valley has led to a critical health situation such as environmental degradation and pollution of the groundwater.

The main objective of this present work is therefore to monitor and preserve the environment and water resources in the M'Zab valley, especially underground against any degradation of their quality, and risk of pollution by urban discharges, and of assess the water treatment plant which has been installed with the aim of eliminating nuisances and the risks of contamination in urbanised areas in the rebalancing of the valley ecosystem.

In this perspective, sampling campaigns for urban and industrial discharges were made at several points in the valley followed by a physical and chemical analyses of groundwater wells. A particular attention was given to the treatment plant in the M'Zab valley by physical and chemical and bacteriological analyses (more than 100 samples) were undertaken over 2 years to assess the treatment yield, the quality of the treated water and their ability to use them in the agricultural field. These works are supplemented by surveys carried out in the field and data already existing in the study area in order to highlight the evolution of the water resource on quantitative and qualitative plans. We finalised our work by implementing a new strategy based on WEAP modelling to study the effect of climatic and anthropogenic conditions in the process of increasing urban discharges, and pollution, and to opt for integrated and sustainable management of water resources in the valley. The results showed that; urban discharges of the M'Zab valley present very strong organic pollution, including the aquifer characterised by a vulnerability ranging from medium to high. The analysis of groundwater shows that this water, including excessive pollution, requires specific treatment, this water is unusable for irrigation, with the exception of crops very tolerant of salinity (date palms).

The experimental results obtained during monitoring of purified water from the M'Zab valley treatment plant (2013-2015) show that this water has a poor quality, requires tertiary treatment to reuse it in the agricultural field. The balance calculation allows us to clearly conclude the irrational management of water resources in the valley. Our intervention by the WEAP model represents a forecast vision through sustainable scenarios considered for managers as an aid tool for integrated management of water resources in the valley.

**Keywords:** urban reject, pollution, groundwater, vulnerability, M'Zab, cartography, purification; reuse; Integrated management.

## RÉSUMÉ

La gestion irrationnelle des eaux dans la vallée du M'Zab a conduit à une situation sanitaire critique telle que la dégradation de l'environnement et la pollution de la nappe phréatique.

L'objectif principal de ce travail est de surveiller et préserver l'environnement et les ressources en eau dans la vallée du M'Zab notamment les eaux souterraines contre toute forme de dégradation de leur qualité, et risque de pollution par les rejets urbains, et d'évaluer le fonctionnement de la station d'épuration qui a été installée à pour but de supprimer les nuisances et les risques de contamination et le rééquilibrage de l'écosystème de la vallée.

Dans cette optique, des campagnes d'échantillonnages des rejets urbains et industriels ont été faites pour plusieurs points de la vallée suivis par l'hydrodynamique et les analyses physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique. Une attention particulière a été donnée à la station d'épuration de la vallée du M'Zab par des analyses physico-chimiques et bactériologiques (plus 100 échantillons), ces derniers ont été entrepris sur deux ans pour évaluer le rendement épuratoire, la qualité des eaux épurées et leur aptitude à les utiliser dans le domaine agricole. Ces travaux ont été complétés par des enquêtes menées sur le terrain et en se basant sur des données celles déjà existantes dans la zone d'étude dans le but de mettre en évidence les évolutions de la ressource en eau sur plans quantitatifs et qualitatifs. Nous avons finalisé notre travail par la mise en œuvre d'une nouvelle stratégie basée sur la modélisation par le WEAP pour étudier l'effet des conditions climatiques et anthropiques sur le processus d'augmentation de la pollution et les rejets urbains, et d'opter pour une gestion intégrée et durable des ressources en eau dans la vallée.

Les résultats ont fait ressortir que les rejets urbains de la vallée du M'Zab présentent des pollutions organiques très fortes, et qu'ont une influence sur la nappe phréatique qui se caractérise par une vulnérabilité allant de moyenne à élevé. L'analyse des eaux de la nappe phréatique nous a montré que cette eau comporte une pollution excessive, nécessite un traitement spécifique, cette eau est inutilisable pour l'irrigation, à l'exception des cultures très tolérantes à la salinité (palmiers dattiers). Les résultats expérimentaux obtenus lors de suivis des eaux épurées de la station d'épuration de la vallée du M'Zab (2013-2015) montrent que cette eau a une qualité médiocre, qui nécessite un traitement tertiaire pour les réutiliser dans le domaine agricole.

Le calcul de bilan nous permet de conclure clairement la gestion irrationnelle des ressources en eaux dans la vallée. Notre intervention par le modèle WEAP représente une vision prévisionnelle à travers des scénarios durables considérés pour les gestionnaires comme un outil d'aide pour une gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée.

**Mots clés :** rejets urbains, pollution, nappe phréatique, vulnérabilité, M'Zab, réutilisation, bilan hydrique, modélisation, WEAP, gestion intégrée

## Nuage de mots Clés



## DÉDICACES

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect à qui m'ont tous encouragé, poussé et incité à terminer mes études.*

- *Mes parents*
- *Mes frères et sœurs*
- *Toute ma famille*

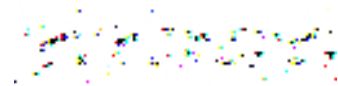
*À Ma femme et ma petite fille (Amani) à qui j'espère ce travail apportera la conviction qu'on n'est jamais assez vieux pour apprendre, avancer et réussir !*

*À tous ceux qui me sont chers.*

*En fin qu'ils trouvent ici mes sincères excuses, tous ceux dont leurs noms ne figurent guère.*

*...Je dédie ce modeste travail.*

*ZEGAIT Rachid*



## REMERCIEMENT

Avant tout, je remercie **DIEU** qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Ce manuscrit de thèse est le résultat d'un travail de recherche de six ans. Il n'aurait jamais pu voir le jour sans la présence, la collaboration, l'aide ou encore les conseils d'un grand nombre de personnes.

Ainsi, je remercie tout d'abord **Mr le Professeur Remini Boualem** de pour le temps qu'il m'a accordé, ses précieux conseils, son investissement et son soutien

Je remercie aussi **Meme Hind Meddi** directrice de laboratoire de recherche de génie de l'eau et l'environnement (GEE) de m'avoir accueilli au sein de leur laboratoire et permis d'y développer ce travail de thèse.

C'est un grand honneur d'avoir comme président du jury, **Mr le Professeur Salah Boualem**, aussi bien pour la présidence du jury que pour sa qualité d'enseignant. Avec lui nous avons appris beaucoup de choses. Je lui adresse un profond remerciement.

Mes vifs et profonds remerciements vont également à :

**Mr le Professeur Bernad Abdelmalek** de l'École Nationale Polytechnique d'Alger pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'être membre de mon jury de thèse.

**Mr le Professeur Boutoutau Djamal** de l'université de Ouargla, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.

**Mr le Dr Rassoul Abdelaziz** de l'École nationale supérieure de l'hydraulique ENSH-Blida pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de faire partie du jury de cette thèse.

Je tiens à les assurer tous de ma profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail.

**Mr Christian Leduc** : Directeur de Recherche de l'institut de recherche pour le développement (IRD) Pour son accueil chaleureux, au niveau de l'Unité mixte de recherche -Gestion de l'eau, acteurs et usages (UMR G-EAU) -Montpellier, France m'a permis d'apprécier tous les moments que j'ai passés dans l'établissement durant mon stage 12/2015. Je leur en suis très reconnaissant.

Sans oublier, **Mr Abidli Tidjani** chef de station d'épuration de la vallée du M'Zab (2013-2015) pour leur accueil chaleureux et assistance technique et documentaire, ainsi que tout le personnel et les laborantins de la STEP.

**Achour Mansour** directeur de L'ANRH de l'unité de Ghardaïa a son aide concernant la mise en marche du traitement et de l'analyse des données cartographique.

Tous les Cadres des organismes d'hydraulique de la wilaya de Ghardaïa tels que

**Mr Chwireb Mustapha** ingénieur de DRE de Ghardaïa et **Mr Ibrahîm Lilou** ing de l'ONA Ghardaïa

**Dr Keref Salah** de l'université de Djelfa est vivement remercié pour son assistance et aide précieuse

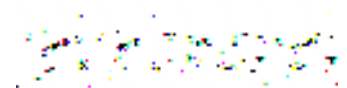
**Dr Imadé Bouznad** de l'université de Djelfa pour sa contribution au modèle de gestion et planification des eaux (WEAP)

**Mr Guetta Ismaïl** ingénieur de CDARS à son aide concernant la mise en marche du traitement et de l'analyse des images satellitaires.

**Mr Arbaoui Mohamed Laid** .Directeur de la Société SEDAT-Ouargla pour ses précieux conseils, et son soutien pour finaliser ce travail.

Que mes chers amis **Ouled Belkhir .C**, **Kateb.S**, **Azlaoui. M**, **Djelita.B**, et tous ceux qui n'ont cessé de me soutenir et de m'encourager au cours de la réalisation de cette thèse trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance et le témoignage de mon amour pour leurs aides, conseils et soutien qu'ils m'ont apportés sans réserve.

ZEGAIT Rachid





هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ شَجَرٌ  
فِيهِ تُسِيمُونَ ﴿١٠﴾

**سورة النحل الآية (10)**



*Si quelqu'un réussit à résoudre le problème de l'eau, il mériterait de se voir décerner deux prix Nobel : celui de la paix et celui des sciences.*

*Président J. F. Kennedy*

# TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
<b>Première partie : Synthèse bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : Synthèse sur la problématique de l'eau dans les oasis</b>	
I.1.Introduction	3
I.2. L'Oasis dans le Sahara	3
I.2.1.L'écosystème de l'oasis	3
I.3.Problématique de l'eau dans les Oasis algérienne	3
I.4.Revue de littérature sur les ressources en eau dans les Oasis algériennes	4
I.4.1.Gestion des ressources en eau dans les Oasis	4
I.4.2.Hydrologie du M'Zab	5
I.4.3.Qualité de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab	6
I.5. Conclusion	7
<b>Chapitre II : Pollution des eaux et vulnérabilité</b>	
II.1.Introduction	8
II.2. Qualité des eaux souterraines	8
II.3 Détérioration de la qualité	8
II.3.1 Grille de la qualité des eaux souterraines	8
II.4. Pollution des eaux	9
II.4.1. Sources et nature de la pollution	9
II.4.1.1. Origine domestique	9
II.4.1.2. Origine industrielle	9
II.4.1.3. Origine agricole	9
II.4.1.4. Origine urbaine et routière	9
II.4.2. Types de pollutions de l'eau	9
II.4.2.1. Pollution chimique	9
II.4.2.2. Pollution thermique	10
II.4.2.3. Pollution bactériologique	10
II.4.2.4. Pollution radioactive	10
II.4.3. Classification des sources de pollution	10
II.4.3.1. Classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie (IHE, 1986)	10
II.5. Vulnérabilité des nappes à la pollution	11
II.5.1. Notion de la vulnérabilité	11
II.5.2. Origine de la vulnérabilité des eaux souterraines	11
II.5.3. Différents types de la vulnérabilité	11
II.5.4. Critères de la vulnérabilité	12
II.5.5. Cartographie de la vulnérabilité	13
II.5.6. SIG / Vulnérabilité des nappes	13
II.6. Méthodes de cartographie de la vulnérabilité	13
II.6.1. Méthodes de vulnérabilité intrinsèque	14
II.6.1.1. Méthode GOD	14
II.6.1.2 Méthode DRASTIC	15
II.6.1.3. Méthode SINTACS	17
II.7.Conclusion	18
<b>Chapitre III : Epuration des eaux et réutilisation</b>	
III.1.Introduction	19
III.2. Épuration des eaux usées	19
III.2.1.Généralités sur les filières de traitement	19
III.2.2. Prétraitement	19
III.2.2. 1.Dégrillage	19
III.2.2. 2.Dessablage	20
III.2.2. 3.Déshuilage - dégraissage	20
III.2.3. Traitement Primaire	20
III.2.4. Traitement Secondaire (biologique)	20

III.2.4.1 Procédés biologiques intensifs	20
III.2.4.2. Procédés biologiques extensifs	20
III.2.5. Traitement tertiaire	21
III.2.6. Les boues	22
III.3. Réutilisation des eaux usées épurées	22
III.3.1. Définition et objectifs	22
III.3.2.Valorisation agricole et ses avantages	23
III.3.3. Réutilisation des eaux usées en Algérie	22
III.3.4.Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation	24
III.3.5. Les différentes réglementations dans le monde	25
III.3.5.1. Les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)	26
III.3.5.2. Les recommandations du CSHP de France	27
III.3.5.3. Les recommandations de l'USEPA	28
III.2.5.4. Les directives de la FAO	28
III.4.Conclusion	30

## **Deuxième partie : Matériels et méthodes**

### **Chapitre IV : Cadre physique et potentiel hydraulique**

IV.1.Introduction	31
IV.2.Cadre Physique de la zone d'étude	31
IV.2.1.-Situation géographique	31
IV.2.2.La vallée du M'Zab	31
IV.2.3.Aspect climatique	32
IV.2.4.Occupation du sol	33
IV.2.5.Aspect géomorphologique	34
IV.2.5.1 Description de la Chebka	35
IV.2.6. Aspect géologique	35
IV.2.6.1.Cadre géologique de la plate-forme saharienne	35
IV.2.6.2.Cadre géologique de la dorsale du M'Zab	36
IV.2.6.3.Structure de la dorsale	38
IV.2.7.Aspect hydrologique	39
IV.2.7.1.Oued M'Zab/Oasis	39
IV.2.7.2. Les inondations dans la vallée du M'Zab	40
IV.2.7.3. Inventaire des crues de la vallée du M'Zab	40
IV.2.7.4. Inondations d'Octobre 2008	40
IV.2.8. Aspect hydrogéologique	41
IV.2.9.Pédologie	43
IV.3.Plan Humain	43
IV.3.1.Historique d'urbanisation : Équilibre Homme /environnement	43
IV.3.2.Évolution de population 1955-1987	44
IV.3.3. Evolution de population 2008-2018	44
IV.4.Situation hydraulique de la vallée du M'Zab	45
IV.4.1.Secteur d'AEP	45
IV.4.2. Secteur d'irrigation	45
IV.4.3. Secteur d'assainissement	46
IV.4.3.1.Historique de l'assainissement de la vallée du M'Zab	47
IV.4.3.2.Collecteur principal après les Crues 2008	47
IV.4.3.2.Assainissement de la vallée en 2010	48
IV.4.4.Barrages de régulation	49
IV.4.5.Epuration des eaux usées	50
IV.4.5.1.Station d'épuration 1987	50
IV.4.5.2. Station d'épuration 2012	50
IV.5 Conclusion	55

### **Chapitre V : Analyses de rejets urbains, Industriels et STEP**

V.1.Introduction	56
V.2. Analyse des rejets urbains, industriels et STEP	56
V.2.1. Échantillonnage	56
V.2.2. Mesure de la température	57

V.2.3. Le pH	57
V.2.4. Mesure de la conductivité électrique CE	57
V.2.5. Détermination des matières en suspension MES	58
V.2.6. Mesure de la demande chimique en oxygène (DCO)	58
V.2.7. Mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO5)	59
V.2.8. Mesure de l'ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	59
V.2.9. Dosage des Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	60
V.2.10. Dosage de phosphate total	60
V.2.11. L'Analyse bactériologique	60
V.3. Analyse des eaux de la nappe phréatique	61
V.3.1. Zone d'échantillonnage	61
V.3.2. Mesures in situ	61
V.3.3. Mesures et analyses au laboratoire	61
V.3.3.1. Dosage du Ca <sup>++</sup> , Mg <sup>++</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup>	62
V.3.3.2. Dosage du Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> et NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	62
V.3.4. Validité des résultats	62
V.4. Outils d'analyse des données	62
V.4.1. Aspect qualitatif des eaux	62
V.4.2. Aspect cartographique	63
V.4.2.1. Analyse spatiale sous ArcGIS 10.4	63
V.4.2.2. Interpolation spatiale	63
V.4.3. Aspect quantitatif	65
V.4.3.1. Modèle WEAP	65
V. 5. Conclusion	66

### **Troisième partie : Résultats et discussion**

#### **Chapitre VI : Classification de pollution et vulnérabilité**

VI.1. Introduction	67
VI.2. l'Analyse des rejets domestiques	67
VI.2.1. Normes algériennes des rejets domestiques	67
VI.2.2. L'équivalent habitant	67
VI.2.3. Charge polluante des eaux usées	67
VI.2.4. Résultats des analyses des rejets de la vallée de M'Zab	68
VI.3. l'Analyse des rejets industriels	69
VI.3.1. Normes algériennes des rejets industriels	69
VI.3.2. Résultats d'Analyse des rejets industriels	70
VI.3.3. Résultats d'analyse d'une station prétraitement	72
VI.4. Classification des sources de pollution	72
VI.4.1. Classification des rejets domestiques	72
VI.4.2. Classification des rejets industriels	72
VI.5. Etude de vulnérabilité de la nappe a la pollution	73
VI.5.1. Évaluation de la vulnérabilité par la méthode GOD	73
VI.5.1.1. Traitement des paramètres GOD	73
VI.5.1.2. Carte de vulnérabilité GOD	75
VI.5.2. Évaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC	78
VI.5.2.1. Traitement des paramètres DRASTIC	78
VI.5.2.2. Carte de vulnérabilité DRASTIC	79
VI.5.3. Évaluation de la vulnérabilité par la méthode SINTACS:	82
VI.5.3.1. Traitement des paramètres SINTACS:	82
VI.5.3.2. Carte de vulnérabilité SINTACS:	82
VI.6. Conclusion	85

#### **Chapitre VII : Performances épuratoires et réutilisation**

VII.1. Introduction	86
VII.2. Qualité des eaux de la station d'épuration	86
VII.2.1. Température (T)	86
VII.2.2. Le pH	86
VII.2.3. Conductivité électrique (CE)	87
VII.2.4. Salinité	87

VII.2.5. Oxygène dissous (O <sub>2</sub> )	88
VII.1.6. Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> )	88
VII.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)	89
VII.2.8. Biodégradabilité	90
VII.2.9. Matières en suspensions (MES)	91
VII.2.10 L'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	91
VII.2.11. Analyses bactériologiques	92
VII.2.12. Reutilisation des eaux épurées en irrigation	93
VII.3. Qualité des eaux de la nappe phréatique en 2015	94
VII.3.1. Classification de la pollution	94
VII.3.2. Classification des faciès hydro-chimiques	95
VII.3.2.1. Classification selon Schoeller-Berkaloff	95
VII.3.2.2 Classification selon Piper	97
VII.3.3. Classification des eaux pour l'irrigation	97
VII.3.3.1. La salinité de l'eau	97
VII.3.3.2. L'alcalinisation	99
VII.3.4 Classification de la potabilité	99
VII.3.4.1 Selon les normes de l'OMS	99
VII.3.4.2. Classification de la dureté	103
VII.3.5 Classification selon l'aptitude d'élevage	103
VII.4. Etude statistique	104
VII.4.1. Etude statistique élémentaire	104
VII.4.1.1. Nappe phréatique	104
VII.4.1.2. Station d'épuration	105
VII.4.2. Corrélation entre les variables	107
VII.4.3. Analyse en composantes principales (A.C.P.)	109
VII.4.3.1. Principe de l'ACP	109
VII.4.3.2. Principe méthodologique	109
VII.4.3.3. Objectif	109
VII.4.3.4. Application de l'ACP sur la nappe phréatique	110
VII.4.3.5. Application de l'ACP sur la station d'épuration	113
VII.5. Conclusion	115

## **Chapitre VIII : Gestion et planification des ressources en eau**

VIII.1. Introduction	117
VIII.2. Bilan hydrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab	117
VIII.2.1. Délimitation de la zone d'étude	117
VIII.2.2. Plan d'occupation de Sol	118
VIII.2.3. Étude des paramètres de Bilan hydrique	118
VIII.2.4. Synthèse de Bilan hydrique	124
VIII.3. Modélisation de la gestion intégrée par le modèle WEAP	125
VIII.3.1. Acquisition du logiciel WEAP 21	125
VIII.3.2. Fonctionnement du logiciel	125
VIII.3.2.1. Création de la zone d'étude	125
VIII.3.2.2. Création des hypothèses clés /références	125
VIII.3.2.3. Proposition des Scénarios	126
VIII.3.2.4. Saisie des données	126
VIII.3.2.5. Présentation des résultats	126
VIII.3.3 Analyse et traitement des données nécessaires	127
VIII.3.3.1. Étude de l'offre et de la demande en eau	127
VIII.3.3.2. Compte d'état actuel « CurrentAccount »	127
VIII.3.4. Application du modèle WEAP dans la vallée du M'Zab	127
VIII.3.4.1. Cartographie	127
VIII.3.4.2. Réglage des paramètres généraux	128
VIII.3.5. Analyse et traitement des données	128
VIII.3.5.1. Sites de demandes	128
VIII.3.5.2. Sites de l'offre et règles de liaison	130

VIII.3.5.3.Création des hypothèses clés	130
VIII.3.5.4.Changement d'horizon	130
VIII.3.5.5.Création des scénarios	131
VIII.3.6. Exécuter des Scénarios.	131
VIII.3.6.1.Scénario de référence	132
VIII.3.6.2. Scénario 1 : Gestion améliorée	134
VIII.3.6.3. Scénario 2 : Gestion normalisée	134
VIII.3.6.4.Scénario 3 : Gestion optimale	134
VIII.3.6.5.Scénario 4 : Gestion durable	135
VIII.3.7. Débits de retour	135
VIII.3.8 Résultats et Discussions	139
VIII.3.8.1 Analyse globale	139
VIII.3.8.2 Comparaison entre scénarios	142
VIII.4.Conclusion	145
Conclusion générale	146
Références bibliographiques	149
Annexes	

## Liste des tableaux

Tableau II. 1 : Grille de qualité physique, minérale, organique	8
Tableau II. 2 : classement des Paramètres polluants selon IHE en 1986.	10
Tableau II. 3 : Cotes accordées aux paramètres de la méthode GOD.	14
Tableau II. 4 : Poids des paramètres dans la version DRASTIC standard	16
Tableau II. 5 : Cotes accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC	17
Tableau II. 6 : Poids attribués aux paramètres SINTACS.	18
Tableau III. 1 : Paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées en agriculture	24
Tableau III. 2 : Classification de l'eau d'irrigation	25
Tableau III. 3 : Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS	26
Tableau III. 4 : Les recommandations du CSHPF	27
Tableau III. 5 : Directives de la qualité de l'eau d'irrigation (FAO 1985)	29
Tableau III. 6 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées	29
Tableau IV. 1 : Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa	32
Tableau IV. 2 : Données climatiques de la région de Ghardaïa (1986-2014)	32
Tableau IV. 3 : Résultats d'analyses des sols dans la vallée du M'Zab (2007).	43
Tableau IV. 4 : Population de la vallée du M'Zab de 1955 à 1987	44
Tableau IV. 5 : Population de la vallée du M'Zab de 2008 à 2018	44
Tableau IV. 6 : Caractéristique de système d'irrigation (DSA.2015)	46
Tableau IV. 7 : Caractéristiques des barrages de la vallée du M'Zab	50
Tableau IV. 8 : Caractéristiques de la STEP de la vallée du M'Zab	51
Tableau V. 1 : Activité des unités industrielles (2013)	56
Tableau V. 2 : Intervalle de mesure de la DBO et volume d'échantillon.	59
Tableau VI. 1 : Valeurs limites maximales des rejets dans le réseau d'Assainissement	67
Tableau VI. 2 : Charge polluante engendrée par un habitant	67
Tableau VI. 3 : Charge moyenne en pollution d'une personne dans la zone d'étude	67
Tableau VI. 4 : Estimation de la charge polluante de la vallée du M'Zab (2013)	68
Tableau VI. 5 : Résultats des analyses des rejets de la vallée de M'Zab (1997-2013)	68
Tableau VI. 6 : Normes algériennes des rejets industriels	69
Tableau VI. 7 : Résultats des analyses des unités industriels	70
Tableau VI. 8 : Résultats d'analyse de rejet de station de service (Boubeker Sliman)	72
Tableau VI. 9 : Classification des rejets domestiques de la vallée du M'Zab -2013	72
Tableau VI. 10 : Classification des rejets industriels de la vallée du M'Zab -2013	72
Tableau VI. 11 : Intervalles des valeurs de l'Indice GOD	75
Tableau VI. 12 : Evaluation de la recharge (Williams et Kissel ; 1991)	78
Tableau VI. 13 : Classes de la vulnérabilité de la méthode DRASTIC	79
Tableau VI. 14 : Classes de la vulnérabilité de la méthode SINTACS	82
Tableau VII. 1 : Résultats d'analyse bactériologique des eaux épurées du M'Zab	92
Tableau VII. 2 : Comparaison de qualité des eaux épurée- normes de réutilisation	93
Tableau VII. 3 : Potabilité des points d'eau phréatique à l'oasis d'El-Atteuf	99
Tableau VII. 4 : Dureté de l'eau phréatique selon (Théobald et Gama, 1969)	103
Tableau VII. 5 : Limites en TDS de l'eau pour le bétail et la volaille	103
Tableau VII. 6 : Normes en Mg++ dans l'eau selon le type d'élevage	103
Tableau VII. 7 : Caractéristiques statistiques des analyses de la nappe phréatique	104
Tableau VII. 8 : Caractéristiques statistiques des analyses des eaux usées de la STEP	105
Tableau VII. 9 : Matrice de Corrélation (Nappe phréatique)	107
Tableau VII. 10 : Matrice de Corrélation (Station d'épuration)	108
Tableau VII. 11 : Valeurs propres et variation des axes principaux (Phréatique)	110
Tableau VII. 12 : Valeurs propres et variation des axes principaux (STEP)	113
Tableau VIII. 1 : Classification des surfaces de la zone d'influence	118
Tableau VIII. 2 : Eau d'irrigation utilisée à partir de chaque type d'ouvrage	119
Tableau VIII. 3 : Volumes d'exploitation de nappe CI pour l'usage AEP/AEI	120
Tableau VIII. 4 : Volume des eaux usées rejetées /commune	120
Tableau VIII. 5 : Bilan hydrique	123

Tableau VIII. 6 : Evolution de la population (tous les scénarios)	132
Tableau VIII. 7 : Taux d'évolution SAU/commune	133
Tableau VIII. 8 : Evolution de SAU (2015-2050)/ S. Référence	133
Tableau VIII. 9 : Evolution de SAU (2015-2050)/ S.Amélioré , S.Normalisée , S.Optimale	134
Tableau VIII. 10 : Evolution de SAU (2015-2050)/ S. Durable	135
Tableau VIII. 11 : Données de base des sites de demande (tous les scénarios)	136
Tableau VIII. 12 : Évolution de la demande en eau globale	139
Tableau VIII. 13 : Évolution de la demande non satisfaite	140
Tableau VIII. 14 : Évolution de débit retour /Scénario	140



## Liste des figures

Figure I. 1 : Structure et dynamiques du système oasien (D.Dubost, 1989)	3
Figure II. 1 : Modèle «origine – écoulements – cible» -modifié- (COST620, 2004)	11
Figure II. 2 : Paramètres de la vulnérabilité à la pollution par la méthode DRASTIC	15
Figure III. 1 : Différentes filières de traitements des eaux usées El maleh. S, (2011)	19
Figure III. 2 : Mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel (OIE, 2001)	21
Figure IV. 1 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa	31
Figure IV. 2 : Situation de la vallée du M'Zab (Côte M. 2002)	32
Figure IV. 3 : Chronique des précipitations de 1986 à 2014 à la station de Ghardaïa	33
Figure IV. 4 : Carte d'occupation des sols de la vallée du M'Zab (Achour.M/2014)	34
Figure IV. 5 : Répartition des surfaces d'occupation des sols dans la vallée du M'Zab	34
Figure IV. 6 : Coupe géomorphologique schématisée de la vallée du M'Zab	35
Figure IV. 7 : Carte géologique du bassin septentrional du Sahara (OSS, 2003)	36
Figure IV. 8 : Carte géologique du M'Zab (G.Busson 1967)	37
Figure IV. 9 : Coupe géologique et schématisée de la vallée du M'Zab	38
Figure IV. 10 : Les oueds de la dorsale du M'Zab (Ballais, 2010)	39
Figure IV. 11 : Historiques des inondations de la vallée du M'Zab	41
Figure IV. 12 : Domaine du Système d'Aquifère du Sahara Septentrional (Cote.M, 1996).	40
Figure IV. 13 : Schéma d'implantation du Ksar (Chabi M. et al; 2011)	44
Figure IV. 14 : Capacité de Stockage des Réservoirs -2010	45
Figure IV. 15 : Réseau d'AEP de la vallée -2010	45
Figure IV. 16 : Superficie agricole utile (SAU) de la vallée du M'Zab	46
Figure IV. 17 : Longueur de Collecteur principal /Diamètre -1997	47
Figure IV. 18 : Disjoints des tuyaux et rejets au plein d'Oued -1997	47
Figure IV. 19 : Collecteurs principaux d'assainissement (DRE ; 2012)	48
Figure IV. 20 : Longueur de réseau d'assainissement de la vallée -2010	48
Figure IV. 21 : Aménagement Oued M'Zab à travers la vallée du M'Zab	48
Figure IV. 22 : Emplacements des Barrages de la vallée du M'Zab (DRE.2012)	49
Figure IV. 23 : Dignes la vallée du M'Zab (EL himeur - Boubrik)	50
Figure IV. 24 : État de la première station d'épuration (BG, 1996)	50
Figure IV. 25 : Vue aérienne de la STEP d'El-Atteuf	51
Figure IV. 26 : Dégrilleur & dessableur.	53
Figure IV. 27 : Principe de fonctionnement des bassins primaires	53
Figure IV. 28 : Principe de fonctionnement des bassins secondaire	54
Figure IV. 29 : Rejet final	55
Figure V. 1 : Localisation des unités industrielles	56
Figure V. 2 : Localisation des points d'eau échantillonnés (2015)	61
Figure V. 3 : Organigramme des étapes de Krigeage sous ArcGIS (Achour.M ; 2014)	64
Figure V. 4 : Organigramme des étapes de la cartographie sous ArcGIS (Achour.M ; 2014)	65
Figure VI. 1 : Variation des valeurs moyennes de DBO5	68
Figure VI. 2 : Variation des valeurs moyennes de DCO	69
Figure VI. 3 : Résultats d'analyse de DBO5 des unités industrielles	70
Figure VI. 4 : Résultats d'analyse de DCO des unités industrielles	70
Figure VI. 5 : Carte isobathe de la nappe phréatique d'El-Attuef-2015	74
Figure VI. 6 : Carte de répartition spatiale de l'indice de GOD	76
Figure VI. 7 : Carte de vulnérabilité de la nappe du M'Zab par la méthode de GOD	77
Figure VI. 8 : Carte de répartition spatiale de l'indice de DRASTIC	80
Figure VI. 9 : Carte de vulnérabilité de la nappe du M'Zab par la méthode de DRASTIC	81
Figure VI. 10 : Carte d'Occupation des sols de la vallée du M'Zab (Zegait, 2015)	82
Figure VI. 11 : Carte de répartition spatiale de l'indice de SINTACS	83
Figure VI. 12 : Carte de vulnérabilité de la nappe du M'Zab par la méthode de SINTACS	84
Figure VII. 1 : Variation mensuelle des T°	86
Figure VII. 2 : Variation mensuelle de pH	87

Figure VII. 3 : Variation mensuelle de CE	87
Figure VII. 4 : Variation mensuelle de la Salinité	88
Figure VII. 5 : Variation mensuelle de la DBO5	89
Figure VII. 6 : Rendement d'élimination mensuel de la DBO5.	89
Figure VII. 7 : Variation mensuelle de la DCO	90
Figure VII. 8 : Rendement d'élimination mensuel de la DCO.	90
Figure VII. 9 : Variation mensuelle du rapport DCO/DBO5	90
Figure VII. 10 : Variation mensuelle des MES	91
Figure VII. 11 : Rendement d'élimination mensuel des MES.	91
Figure VII. 12 : Variation de Coliformes totaux (2013-2015)	92
Figure VII. 13 : Variation des Coliformes fécaux (2013-2015)	92
Figure VII. 14 : Classification selon Schoeller-Berkaloff (P1-P14)	95
Figure VII. 15 : Classification selon Schoeller-Berkaloff (P15-P28)	96
Figure VII. 16 : Classification selon Schoeller-Berkaloff (P29-P35)	96
Figure VII. 17 : Classification selon diagramme de Piper	97
Figure VII. 18 : Carte de répartition spatiale de CE au niveau d'El-Atteuf.	98
Figure VII. 19 : Classification des eaux d'irrigation de l'oasis d'El-Atteuf	99
Figure VII. 20 : Carte de répartition spatiale du Ca au niveau de l'oasis d'El-Attuef	100
Figure VII. 21 : Carte de répartition spatiale du Mg au niveau de l'oasis d'El-Atteuf	101
Figure VII. 22 : Carte de répartition spatiale du Cl au niveau de l'oasis d'El-Atteuf	102
Figure VII. 23 : Histogramme de fréquence du CE	104
Figure VII. 24 : Histogramme de fréquence du Mg	105
Figure VII. 25 : Histogramme de fréquence du Na	105
Figure VII. 26 : Histogramme de fréquence de la DBO5	106
Figure VII. 27 : Histogramme de fréquence de la DCO	106
Figure VII. 28 : Histogramme des valeurs propres (Phréatique)	110
Figure VII. 29 : Carte factorielle des variables selon les axes F1 et F2	111
Figure VII. 30 : Carte factorielle des individus selon les axes F1 et F2	112
Figure VII. 31 : Histogramme des valeurs propres (STEP)	113
Figure VII. 32 : Carte factorielle des variables selon les axes F1 et F2 (STEP)	114
Figure VII. 33 : Carte factorielle des individus selon les axes F1 et F2 (STEP)	114
Figure VIII. 1 : Délimitation de la zone d'étude	117
Figure VIII. 2 : Puits traditionnels d'irrigation (Zegait.2015)	119
Figure VIII. 3 : Schéma expliquant la recharge de la nappe phréatique par le CI	119
Figure VIII. 4 : Exploitation de la nappe CI dans la vallée de M'Zab	120
Figure VIII. 5 : Volume des rejets urbains de la vallée du M'Zab	121
Figure VIII. 6 : Évaporation en bac corrigée (Station Ghardaïa 1986-2014)	122
Figure VIII. 7 : Paramètres du bilan hydrique	123
Figure VIII. 8 : Bilan hydrique	124
Figure VIII. 9: Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP 21	126
Figure VIII. 10 : Carte du monde dans le logiciel WEAP.	128
Figure VIII. 11 : Niveau d'activité annuelle des sites de demandes domestiques	129
Figure VIII. 12 : Niveau d'activité annuelle des sites de demandes agricoles	129
Figure VIII. 13 : Consommation annuelle des sites des demandes domestiques	129
Figure VIII. 14 : Sites de demandes, Sites de l'offre, liaisons de transmissions	130
Figure VIII. 15 : Capacité de Stockage des barrages de la vallée du M'Zab	130
Figure VIII. 16 : Horizon de Calcul pour les Scénarios	131
Figure VIII. 17 : Scénario de base.	131
Figure VIII. 18 : Taux d'accroissement/commune	132
Figure VIII. 19 : Évolution de nombre de populations (2015-2050)	132
Figure VIII. 20 : Evolution de SAU/Commune	133
Figure VIII. 21 : Evolution de SAU total	133
Figure VIII. 22 : Evolution de SAU (2015-2050) / S.Référence	134
Figure VIII. 23 : Évolution de SAU (2015-2050) / S.Amélioré , S.Normalisée , S.Optimale	135
Figure VIII. 24 : Évolution de SAU (2015-2050) / S.Durable	135
Figure VIII. 25 : Schéma explicatif de système hydraulique de la région d'étude	137

Figure VIII. 26 : Schéma hydraulique projeté de la vallée du M'Zab	138
Figure VIII. 27 : Evolution de la demande en eau globale des différents scénarios	139
Figure VIII. 28 : Evolution de la demande en eau non satisfaite globale	140
Figure VIII. 29 : Évolution des débits de retour pour différents scénarios -2018	140
Figure VIII. 30 : Evolution des débits de retour pour différents scénarios -2020	141
Figure VIII. 31 : Evolution des débits de retour pour différents scénarios -2030	141
Figure VIII. 32 : Évolution des débits de retour pour différents scénarios -2040	141
Figure VIII. 33 : Évolution des débits de retour pour différents scénarios -2050	142
Figure VIII. 34 : Evolution des débits de retour globaux des différents Scénarios	142
Figure VIII. 35 : Débit de la nappe phréatique selon S.Référence (2015-2050)	143
Figure VIII. 36 : Débit de la nappe phréatique selon S.Améliorée (2015-2050)	143
Figure VIII. 37 : Débit de la nappe phréatique selon S.Normalisée (2015-2050)	144
Figure VIII. 38 : Débit de la nappe phréatique selon S.Optimale (2015-2050)	144
Figure VIII. 39 : Débit de la nappe phréatique selon S.Durable (2015-2050)	144

# Liste des abréviations

ADE	Algérienne des eaux
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CE	Conductivité électrique
CEC	Capacité d'échange cationique
CF	Coliformes fécaux
CT	Coliformes totaux
DBO5	Demande biochimique en oxygène à 5 jours
DCO	Demande chimique en oxygène
DRASTIC	Depth to water, net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of the vadose zone, hydraulic Conductivity of the aquifer.
DSA	Direction des Services Agricoles
ECP	Eaux claires parasites
EH	Equivalent habitant
ETM	Eléments traces métalliques
EUE/EUT	Eaux usées épurées/traitées
FAO	Food and agriculture organization
GOD	Groundwater occurrence, Overall aquifer class and Depth of water table.
H	Humidité.
IANOR	Institut Algérien de Normalisation
INSID	Institut national du sol irrigation et drainage
JORA	Journal officiel de la république algérienne
MES	Matières en suspension
MM	Matières minérales
MO	Matière organique
MRE	Ministère des Ressources en Eau
MS	Matière sèche
MVS	Matières volatiles en suspension
NA	Norme Algérienne
NTK	Azote total Kjeldahl
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONA	Office National de l'Assainissement
ONM	Office National Météorologique
P	Précipitations.
pH	Potentiel hydrogène
prob	Probabilité
PR	Prix de revient
Q	Débit d'eau
RA	Résultat analytique
REUT	Réutilisation des eaux usées traitées.
SAR	Sodium Adsorption Ration (Taux de sodium adsorbé)
S.I.G	Système d'Information Géographique
SINTACS	Soggiacenza, Infiltrazione, Azione del Non saturo, Tipologia della Copertura, Acclività della Superficie Topographica, Carratteri Idrogeologici dell'Acquifero ,Conducibilita Idraulica
STEP	Station d'épuration des eaux usées
T	Température.
USAID	United States Agency of International Development
USEPA	United States Environmental Protection Agency
V	Vitesse du vent.
ZS	Zone saturée
ZNS	Zone non saturée ;

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Historiquement depuis des siècles les peuples de la vallée du M'Zab ont pensé à une rigoureuse maîtrise de la gestion des ressources hydriques à travers un système hydraulique complexe qui permet d'exploiter les crues au profit de l'irrigation, de la recharge de la nappe et de modérer leurs puissances. À partir des années cinquante ; période de la découverte des forages profonds, le développement socio-économique de la vallée du M'Zab a engendré l'extension des terres agricoles et la construction de nouvelles habitations.

Cette situation a conduit à une exploitation anarchique de la nappe, dans lesquels les rejets urbains et même industriels de plus en plus importants dans l'oued principal et les affluents ont modifié un écosystème aussi fragile que celui de la vallée du M'Zab tels que l'apparition des lacs pollués dû à la remontée de la nappe. On observe aussi des écoulements des eaux usées en pleine nature dans l'oued et plus particulièrement dans la partie d'El Atteuf, où plusieurs puits sont abandonnés à cause de la contamination de l'eau (Zegait ;2013)

L'administration algérienne a décidé de créer une station d'épuration de lagunage naturel, ayant pour but de supprimer les nuisances et les risques de contaminations dans les zones urbaines, protéger le milieu récepteur, et la ressource en eau de la vallée, en particulier la nappe phréatique. À l'heure actuelle, il n'existe aucun travail de recherche permettant d'évaluer la situation de l'environnement et des ressources en eau de la vallée du M'Zab après la projection des ouvrages d'assainissement et de traitement.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qu'a pour objectif d'étudier l'impact des rejets urbains sur la dégradation de l'écosystème et l'environnement de la région du M'Zab et l'apparition du phénomène de la remontée des eaux dans certains endroits de la vallée.

À cet effet, cette thèse est axée essentiellement sur :

- L'identification des sources et le degré de pollution (rejets domestiques, industriels)
- Étude de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la vallée
- Étude des mécanismes du phénomène de remontée des eaux à travers une simulation hydraulique visant à étudier l'effet des conditions climatiques et anthropiques sur le processus d'augmentation des rejets urbains et de la pollution
- Étude des performances de la station d'épuration et l'aptitude des eaux usées épurées de la vallée à la réutilisation en agriculture, pour cela plusieurs questions se posent :
  - ✚ Est-ce que ce procédé d'épuration est efficace dans cette région notamment au niveau des charges polluantes ou il nécessite un traitement complémentaire ?
  - ✚ Le procédé de lagunage naturel est-il convenable avec les conditions climatiques de la région du M'Zab ?
  - ✚ La qualité d'eaux épurées au niveau de la station, est-elle conforme aux normes de rejet et apte pour une utilisation agricole ? Si oui ;
  - ✚ Quelle est la classification de ces eaux épurées dans le domaine de l'irrigation ?
  - ✚ Quelles sont les cultures irriguées avec ces eaux, et quel est le système d'irrigation le plus convenable avec ces eaux ?

Pour ce faire, cette thèse est constituée de huit chapitres. Outre l'introduction, la suite de la thèse est divisée en trois parties et se termine par une conclusion.

La première partie de cette thèse est une revue bibliographique et théorique constituée de trois chapitres relatifs aux travaux antérieurs, à la pollution des eaux souterraines en contexte urbain et la vulnérabilité de la nappe, traitement des eaux usées, ainsi que la réutilisation agricole.

La deuxième partie est consacrée aux matériels et méthodes, qu'il est structuré en deux chapitres où nous présentons dans un premier temps le contexte général de la zone d'étude, le potentiel hydraulique. En second temps, on va présenter les travaux et les différentes enquêtes de terrain et la représentativité des données de terrain, ainsi que les différentes techniques des analyses chimiques effectuées au laboratoire et la représentativité des données obtenues.

La troisième partie s'attache aux résultats et discussion où nous tentons dans cette partie d'identifier la caractérisation et la classification de la pollution des eaux usées ainsi que le degré

de vulnérabilité de la nappe phréatique d'une part ; la caractérisation de la qualité des eaux brutes, épurées de la STEP de la vallée du M'Zab et la possibilité de réutilisation d'autre part.

Cette partie se terminera par l'établissement d'un bilan hydrique pour la nappe phréatique de la vallée suivie par une modélisation à long terme à l'aide de WEAP en vue d'une gestion intégrée des ressources en eaux.

Enfin, une conclusion dans laquelle seront exposés les principaux résultats de ce travail et les recommandations y afférentes.



Pollution d'oued (Yamna.-2010)



Remontée de la nappe (ANRH 2010)



Pollution d'oued (Zegait 2015)



Déchets publics dans le lit (ABHS ,2010)

# Première partie : Synthèse Bibliographique

## Chapitre I

### Synthèse sur la problématique de l'eau dans les Oasis



## I.1.Introduction

Comme l'objectif de notre thèse est l'étude de la gestion des ressources en eau dans les oasis du M'Zab et leur impact environnemental, il est pertinent de résumer dans ce chapitre quelques notions bibliographiques sur les oasis dans le Sahara et leur environnement fragile, suivis par un panorama des recherches (articles scientifiques et thèses de doctorat) qui ont évoqué la problématique de la gestion des ressources en eau dans les oasis notamment la vallée du M'Zab.

## I.2. L'Oasis dans le Sahara

### I.2.1.L'écosystème de l'oasis

Les oasis sahariennes appartiennent au plus vaste désert du monde, qui s'étire de l'Atlas saharien à l'Afrique subsaharienne. Dans ces étendues sablonneuses ou caillouteuses, à l'aridité extrême, l'oasis est un îlot de vie, un écosystème construit et maintenu par le génie de l'homme à partir d'une gestion rigoureuse de la ressource naturelle, grâce à des systèmes élaborés de collecte de l'eau telles les foggaras (Lacoste, 1992). Ces oasis ont principalement été créées comme des étapes salutaires sur les routes commerciales pour les caravanes qui sillonnent le Sahara. Elles sont ainsi un exemple unique des complémentarités et solidarités séculaires entre pasteurs et agriculteurs dans le Sahara.

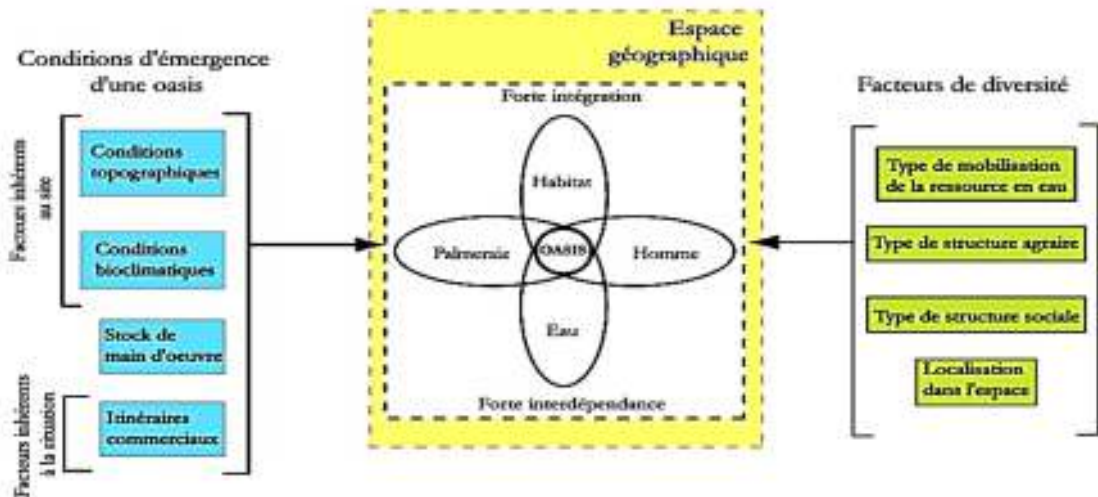


Figure I. 1 : Structure et dynamiques du système oasien (D.Dubost, 1989)

## I.3.Problématique de l'eau dans les Oasis algérienne

Historiquement, en milieu saharien, l'eau a constitué le facteur essentiel de développement des oasis, puisque la présence de cette ressource était fondamentale pour la pratique de l'agriculture irriguée et notamment celle du palmier. Non seulement les oueds environnants constituaient le prolongement des territoires des cités, mais le rythme de l'eau était aussi et surtout le facteur principal qui conditionnait la localisation, l'implantation et la structuration des villes (B Benyoucef, 2009).

Avant la découverte des ressources hydrauliques souterraines profondes, la rareté de l'eau représentait une contrainte pour l'urbanisation, et une rigoureuse maîtrise de la gestion des ressources hydriques était appliquée. Chaque région du Sahara avait un mode de mobilisation de l'eau qui lui était propre : oasis à Foggaras dans le Touat ; oasis à Ghout dans le Souf tandis qu'au M'Zab, la technique hydraulique ancestrale est le captage des eaux de ruissellement par la dérivation de l'Oued et l'exploitation des eaux de crues, au profit de l'irrigation et autres besoins, tout en modérant leur puissance. Ces systèmes, complets de l'amont à l'aval, permettaient de valoriser chaque goutte de pluie reçue. Chaque ksar, avec son environnement immédiat où se développait une palmeraie, était doté d'un système hydraulique de captage, de stockage et de distribution pour s'accommoder et tirer avantage des eaux de crue, tout en se protégeant des inondations. Aujourd'hui, ces systèmes sont ébranlés et les mécanismes de gestion séculaires des eaux de crues sont remis en cause avec le développement urbain non maîtrisé. Les crues s'avèrent parfois dévastatrices, et ont régulièrement

affectées plusieurs villes du Sud au cours des dernières décennies (Ghardaïa en 1991, 1994, 2004, 2008 ; Tamanrasset en 2002, Adrar en 2004, Illizi en 2006). En effet, les crues bénéfiques autrefois s'avèrent désormais meurtrières et dévastatrices. Si les ressources sont devenues importantes au Sahara algérien, la consommation l'est également, aussi bien pour les besoins urbains, en constante augmentation, que pour l'agriculture, car l'évapotranspiration est forte, en particulier en été, et les cultures sans irrigations sont exclues. Ainsi, au Sahara, aucun territoire agricole ne peut résister et perdurer s'il ne bénéficie pas d'une irrigation (Bachar.K, 2015).

En milieu urbain, comme le relève (M. Côte 2005), les villes sahariennes semblent avoir aujourd'hui, de gros problèmes avec l'eau, mais moins au niveau de la ressource, que de la gestion ; moins au niveau de l'approvisionnement que de l'assainissement. Ainsi, le phénomène d'hydromorphie (saturation des pores d'un sol en eau sur une période plus ou moins longue) est une préoccupation environnementale majeure. Le cycle de l'eau, qui au cours des siècles avait conservé un certain équilibre, avec la stabilité démographique et la modestie des moyens de prélèvement, est aujourd'hui profondément modifié par les forages profonds et l'urbanisation massive (D. Dubost, G. Mogueudet, 2002), entraînant une surconsommation et un excès de rejet des eaux usées qui gonfle l'aquifère superficiel. Les zones d'hydromorphie et de salinité ainsi engendrées, sont aggravées par l'occurrence des pluies fortes et soudaines, et nuisent aux aménagements urbains et à la fertilité des oasis. L'hydromorphie entraînant l'évaporation, la salinité ne fait qu'augmenter, entraînant un processus de désertification par le sel, dû non au manque d'eau, mais à son excès (D. Dubost, G. Mogueudet, 2002). C'est pourquoi, également, l'alimentation en eau potable est privilégiée à partir des forages profonds, où le niveau de salinité est faible.

La problématique de l'eau est l'une des principales préoccupations environnementales, si les réserves souterraines profondes sont importantes, elles ne sont néanmoins pas inépuisables. Cependant, la réflexion sur une gestion rationnelle des ressources hydriques n'est pas uniquement une question d'équité inter-générationnelle, elle relève également de la préservation de l'équilibre du cycle hydraulique saharien, fortement perturbé aujourd'hui par l'ampleur du phénomène urbain (Bachar.K, 2015).

#### **I.4.Revue de littérature sur les ressources en eau dans les Oasis algériennes**

##### **I.4.1.Gestion des ressources en eau dans les Oasis**

Nous avons constaté avant les années 1990, peu de chercheurs ont travaillé sur les zones sahariennes et les oasis algériennes, à l'exception des travaux de quelques géographes à l'instar de Jean Dubief (1953-1965) sur l'hydrologie du Sahara. À partir des années 2000, le domaine a été ouvert pour plusieurs chercheurs avec l'entrée de plusieurs sociétés étrangères pour résoudre quelques problèmes hydrauliques, qui contribuent au développement des zones sahariennes. On va présenter dans cette partie une compilation de principales études qui permettent de mettre en évidence l'équilibre des ressources en eau dans les oasis à travers des systèmes hydrauliques ingénieux à l'instar des foggaras et le système traditionnel de partage des eaux.

- **DAMERDJI, M. A. 1993** ; l'auteur a présenté les différentes étapes allant de la collecte de l'eau à son utilisation par les mozabites, l'auteur a souligné les aspects particuliers de la conservation et l'ingéniosité de ces populations.
- **COTE. M ; 1998** ; l'auteur a étudié la perturbation du système équilibré des oasis du Sahara algérien à partir de travaux de terrain faits par l'auteur en 1993 et 1994, d'après l'auteur l'exploitation des aquifères de grandes profondeurs (à des fins agricoles ou urbaines), a causé la surcharge des nappes phréatiques par ces eaux tirées de la profondeur, la situation environnementale de l'oasis est dégradée, d'où résulte une ruine pour certains espaces agricoles.
- **DUBOST.D et al ; 2002** ; les auteurs ont étudié la révolution hydraulique dans les oasis sahariennes qu'impose une nouvelle gestion de l'eau dans les zones urbaines, d'après l'auteur les eaux usées épurées doivent être considérées comme une nouvelle ressource en eau qui peuvent permettre d'irriguer de nouveaux espaces cultivés ; l'auteur a proposé de former des

spécialistes et des équipes qui puissent traiter ces problèmes localement et d'installé des laboratoires spécialisés dans le domaine de la gestion des eaux urbaines

- [ZELLA, L ; 2006](#) ; l'auteur a étudié l'impact de l'intrusion du monde moderne au niveau de plusieurs oasis par le biais des moyens technologiques, par la motorisation et l'industrialisation après des siècles de gestion équilibrée des ressources hydriques rares et des besoins alimentaires croissants, d'après l'auteur les conséquences de cette intrusion se manifestent par l'assèchement des nappes, la remontée, et la salinisation des terres agricoles qui doivent être maintenues par une gestion spécifique à chaque type d'entre elles.
- [REMINI. B ; 2006](#) ; l'auteur a présenté les conséquences négatives d'une mauvaise gestion des ressources en eau sur l'environnement de plusieurs oasis sahariennes ; d'après l'auteur ; pour améliorer la situation environnementale de l'oasis, il faut réaliser des ceintures vertes autour de l'oasis, l'utilisation des eaux épurées en agriculture et rationalisation de l'exploitation des ressources en eaux souterraines.
- [REMINI.B et al \(2011 ;2013 ;2014 ;2016 ;2017 ;2018\)](#) ; les auteurs ont présenté l'équilibre des oasis sahariennes depuis des siècles à travers l'utilisation des systèmes hydrauliques traditionnels tels que les foggaras après des enquêtes menées au niveau de plusieurs Oasis en Algérie (Timimoun ; Ahaggar ; M'Zab ; Tadmait ; In-Salah) durant la période 2011-2018 ; d'après l'auteur ; ces systèmes sont en cours de disparition à cause d'exploitation abusive des nappes profondes
- [REMINI.B ; 2012](#) ; l'auteur a présenté les résultats des enquêtes menées durant la période 2006-2010 au niveau de la vallée du M'Zab pour décrire l'importance historique du système traditionnel de captage des eaux, d'après l'auteur la foggara du M'Zab présente un intérêt essentiel qui contribue au drainage des eaux de crues et l'irrigation des palmeraies d'une part et l'équilibre de l'oasis d'autre part.
- [BENMAMAR S et al ; 2016](#) ; les auteurs ont présenté les avantages du système hydraulique ancestral de partage des eaux et de protection contre les crues. D'après l'auteur ces ouvrages doivent être réparés et de rétablir les fonctions endommagées qui représentent l'histoire et le patrimoine qu'il ne faut pas négliger.

#### I.4.2.Hydrologie du M'Zab

Nous avons noté peu des travaux de l'hydrologie de la vallée du M'Zab avant la crue de 2008, la référence de base dans ce domaine était toujours les travaux de Jean Dubief (1953-1965) sur l'hydrologie du Sahara ; après les inondations de 2008, nous avons noté quelques travaux principalement sur l'évaluation de débit des crues et le bilan hydrologique ; à cet effet, nous citons :

- [OULED BELKHIRE.C, et al ; 2008](#) ; les auteurs ont étudié le bilan hydrologique des eaux pour la totalité du bassin versant du M'Zab à travers l'étude de l'infiltration vers la zone saturée et les nappes d'une part, l'évaporation et les autres pertes d'autre part. D'après l'auteur les pluies journalières décennales sur la station de Ghardaïa atteignent 38 mm. Les pluies centennales ont été évaluées à 78 mm. Ainsi que les pluies millénales ont été évaluées à 131 mm. Dans toute la période considérée (1974-1994), des pluies maximales journalières représentent plus de 50%.
- [MEDEJERAB ; 2009](#) ; a étudié le contexte météorologique et hydrologique des inondations les plus graves des dernières décennies qui ont affecté la vallée du M'Zab durant le mois d'octobre 2008, et qui ont causé des dégâts humains et matériels importants .Les résultats de cette étude ont montré une faible vulnérabilité sociale face à ces événements extrêmes. D'après l'auteur, ils devraient permettre aux responsables de l'aménagement du territoire, une meilleure prise en compte de cette vulnérabilité qui pourrait aider à une meilleure gestion locale de ces événements.

### I.4.3. Qualité de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab

Les études sur la qualité des eaux de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab sont aussi peu nombreuses et les données de qualité encore moins (ABHS, 2010). On va présenter une compilation de plusieurs études sur l'état des lieux de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab.

- D'après les travaux de (Daddi Bouhoun.M, et al, 1991) ; dont le but a été d'étudier l'impact des crues sur l'évolution de certains oligo-éléments dans les eaux de la nappe phréatique du M'Zab à travers l'emplacement de trois stations expérimentales situées dans le lit d'Oued M'Zab de l'amont à l'aval entre janvier et juin 1991. Les résultats d'analyses ont montré que les eaux de la nappe phréatique sont contaminées par les eaux usées qui ont causé une augmentation des teneurs de quelques éléments tels que le bore, le manganèse et le cuivre qui peuvent avoir des conséquences graves sur l'écosystème de la vallée tels que la menace de l'existence de certains végétaux et animaux sensibles. D'après l'auteur ; ces crues pourront jouer un rôle important dans la diminution de la pollution des eaux phréatiques.
- Selon les travaux de (Baba Amer.Z et al, 2000) sur la qualité des eaux d'un puits situé au niveau d'El-Atteuf en aval de la vallée du M'Zab ont pour but de détecter la pollution organique. Les résultats d'analyses ont montré que l'eau de ce puits est de mauvaise qualité bactériologique très affectée par les eaux usées, et qui comporte plus de 21 polluants organiques doivent être traitées avant de les utiliser dans le domaine agricole.
- Selon les travaux de (Messaitifa.A, 2001) ont pour but de caractériser la qualité des eaux pour plusieurs puits à travers la vallée du M'Zab. Les résultats d'analyses ont montré que les eaux de la nappe phréatique de la vallée disposent une forte détérioration de sa qualité sous l'effet des fosses perdues qui nécessitent des aménagements spécifiques pour sauvegarder l'environnement.
- Dans le cadre des travaux de recherche (Rezzag K, et al, 2005) ont étudié les analyses des eaux pour 18 puits à travers la vallée du M'Zab plus 3 points de rejets des eaux usées ont pour but d'étudier l'influence des eaux usées sur la nappe phréatique. Les résultats de ces travaux ont fait ressortir que les eaux de la nappe phréatique de la vallée deviennent de plus en plus polluées sous l'effet des eaux usées et les décharges non contrôlées avec contraste remarquable entre l'amont et l'aval.
- Après les inondations de 2008 (Hassini.T, et al, 2009) ont étudié des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux pour 12 puits en amont de la vallée du M'Zab ont pour but de contribuer à la caractérisation des eaux des puits des palmeraies de la commune de Ghardaïa. Les résultats d'analyses ont fait ressortir que les eaux des puits étudiés ne conviennent ni à la consommation humaine ni à l'irrigation, et nécessitent une normalisation des fosses perdues pour réduire sensiblement le taux de contaminations organiques.
- En 2010 ; l'ABHS a étudié les analyses des eaux de plusieurs puits à travers la vallée du M'Zab afin de caractériser ses qualités. Les résultats d'analyses ont montré que les eaux de la nappe phréatique de la vallée sont d'une forte minéralisation exprimée en conductivité électrique avec une pollution organique exprimée par la forte chute de l'oxygène dissous.

## I.5. Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons présenté les différents travaux antérieurs sur la problématique des eaux dans les oasis algériennes notamment la vallée du M'Zab pour plusieurs aspects tels que la gestion des ressources en eau, l'hydrologie et la qualité des eaux.

D'après les travaux cités, entre (1993-2018) ; les auteurs ont bien décrit la maîtrise de la gestion équilibrée des ressources en eau, cette gestion a été appliquée depuis des siècles dans les oasis algériennes, notamment la vallée du M'Zab à cause des systèmes hydrauliques ingénieux.

D'après les auteurs ; la mauvaise gestion des ressources en eau à l'instar de la surexploitation des nappes profondes peut avoir des conséquences graves sur l'environnement qui se manifestent par la remontée des eaux et la pollution des nappes, salinisation des terres agricoles. La plupart des auteurs ont recommandé de maintenir ces oasis par une gestion spécifique à chaque type d'entre elles où les systèmes traditionnels doivent être réparés et conservés, l'utilisation des eaux épurées en agriculture et rationalisation de l'exploitation des ressources en eaux souterraines.

Les différents travaux cités entre 1991- 2010 montrent que les eaux de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab sont confrontées à des problèmes de pollution sous l'effet des rejets urbains et fosses perdues. D'après les auteurs, la problématique citée peut avoir des conséquences graves sur l'écosystème de la vallée. Les auteurs ont recommandé que la situation sanitaire de ces oasis doit avoir des solutions en urgence où les crues pourront jouer un rôle important dans la diminution de la pollution des eaux phréatique.

A cette effet ; notre intervention dans les prochaines chapitres sera l'évaluation de la situation hydraulique et environnementale de la vallée après la projection des ouvrages d'assainissement et d'épuration à travers la caractérisation de la pollution des rejets urbains et industriels , la cartographie de la vulnérabilité de la vallée du M'Zab à la pollution par plusieurs méthodes, la caractérisation de la qualité des eaux épurées et leur aptitude à l'agriculture , l'identification des mécanismes de la remontée de la nappe phréatique dans la vallée du M'Zab.

# Chapitre II

## Pollution des eaux et vulnérabilité

## II.1.Introduction

La mauvaise gestion des rejets urbains dans la vallée du M'Zab a conduit à des conséquences néfastes sur l'écosystème de l'oasis telle que la pollution des eaux de la nappe phréatique. À cet effet, nous avons opté de ce chapitre qui représente une revue bibliographique sur la pollution des eaux souterraines et leurs vulnérabilités.

De ce fait, il aborde dans un premier temps la classification et les sources de pollution des eaux, grille de qualité des eaux souterraines. Ensuite, il donne un aperçu général de la vulnérabilité des nappes à la pollution et met en évidence les différentes méthodes pour la cartographie.

## II.2. Qualité des eaux souterraines

La qualité de l'eau souterraine est l'appréciation des concentrations des différentes substances chimiques qui la composent, vis-à-vis de concentrations de référence (Beauchamp J ; 2006).

Les paramètres pris en compte généralement sont la dureté de l'eau, le pH, O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>, les substances minérales (anions, cations) et la turbidité produite par des matières en suspension.

Actuellement l'évaluation de la qualité des eaux se fait à travers le calcul de l'indice de qualité qu'est un outil pratique qui permet de faire la synthèse de données complexes sur la qualité de l'eau qui vise à donner une valeur unique à la qualité de l'eau d'une source sur la base de l'un ou l'autre système qui traduit la liste des constituants et de leurs concentrations présents dans un échantillon en une seule valeur. On peut ensuite comparer différents échantillons pour la qualité sur la base de la valeur d'index de chaque échantillon (Abbasi ; T et al ; 2012)

## II.3 Détérioration de la qualité

La qualité des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine surtout pour les nappes proches de la surface où l'auto-épuration naturelle n'est pas complète. Cette détérioration est appréciée généralement par les mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Dans le cas d'une détérioration importante ; les eaux ne seront plus potables, elle pourra être utilisée à d'autres usages tels que l'irrigation ou devra subir un traitement approprié pour retrouver sa potabilité. (Beauchamp J ; 2006)

### II.3.1 Grille de la qualité des eaux souterraines

Les études de caractérisation de la qualité de l'eau souterraine sont de plus en plus abondantes depuis que la gestion de cette ressource compte parmi les actions prioritaires engagées dans le cadre de la protection et de la conservation de l'environnement. En pratique, il conviendrait de se référer à des grilles de qualité adaptées aux milieux considérés et en fonction des altérations d'usages en question. Ces grilles ont été établies pour les points d'eau dans le cadre d'un système d'évaluation de la qualité (TabII.1)

Tableau II. 1 : Grille de la qualité physique, minérale, organique (Anras & Guesdon, 2007)

Classe/paramètres		C1	C2	C3	C4
<b>Qualité physique</b>					
<b>PH</b>		6,5-8,5	6,5-8,5	5,5-6,5 ou 8,5-9	< 5,5 ou > 9
<b>MES (mg/l)</b>		0-30	30-75	75-100	> 100
<b>Température (C°)</b>		< 25	25-30	30-35	> 35
<b>Qualité minérale</b>					
<b>Conductivité (µs/cm)</b>		< 400	400-600	600-2800	> 2800
<b>Qualité organique</b>					
<b>O<sub>2</sub></b>	(mg/l)	8-10	5-8	2-5	< 2
<b>DBO5</b>		< 5	5-10	10-15	> 15
<b>DCO</b>		< 20	20-40	40-50	> 50
<b>PO<sub>4</sub></b>		0-0,01	0,01-0,1	0,1-3	>3
<b>NO<sub>2</sub></b>		0-0,01	0,01-0,1	0,1-3	>3
<b>NO<sub>3</sub></b>		10	10-20	20-50	50
<b>NH<sub>4</sub></b>		0-0,01	0,01-0,1	0,1-3	>3

- C1 : Eau de bonne qualité
- C2 : Eau de qualité moyenne nécessite un traitement simple
- C3 : Eau de mauvaise qualité nécessite un traitement très poussé
- C4 : Pollution excessive nécessite un traitement spécifique

#### II.4. Pollution des eaux

C'est la modification des conditions biologiques, physico-chimiques des ressources en eau suite à une activité humaine, qui peut avoir des conséquences négatives pour la santé et les écosystèmes naturels, la pollution des eaux peut être :

- **Temporaire ou chronique** : l'émission exceptionnelle de matière polluante à la suite d'un incident peut entraîner un transfert à la nappe et sa pollution dont la durée dépend de son pouvoir d'auto-épuration et de sa vitesse de percolation. Les pollutions chroniques sont plus insidieuses et dommageables ; moins spectaculaires, elles peuvent passer inaperçues (Beauchamp J ; 2006).
- **Pollution ponctuelle et pollution diffuse** : Le polluant émis sur une faible surface n'affectera qu'un secteur limité de la nappe, qui pourra s'étendre par diffusion. Seuls les captages à proximité de la zone polluée et en aval seront affectés. Selon la densité et la solubilité du polluant, la zone polluée sera circonscrite ou diffuse, à la surface ou à l'intérieur de la nappe (Beauchamp J ; 2006).

##### II.4.1. Sources et nature de la pollution

Selon (Melloul et Collin, 1994) ; la pollution des eaux a quatre origines différentes :

###### II.4.1.1. Origine domestique

C'est le transfert des substances indésirables contenues dans les eaux-vannes et les eaux ménagères (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...) à la nappe dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel défectueux et des puits perdus (Beauchamp J ; 2006)

###### II.4.1.2. Origine industrielle

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité : substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds...Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un process), mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...).Un cas particulier est celui des exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels.

###### II.4.1.3. Origine agricole

La pollution agricole est l'impact des activités agricoles sur la qualité des eaux est la conséquence des pertes de fertilisants (engrais chimiques, effluents d'élevages, effluents agro-alimentaires et boues) et des produits de traitement des cultures (produits phytosanitaires). Les fertilisants, nitrates et phosphates, concourent ainsi à l'eutrophisation (prolifération des algues) des eaux stagnantes et de dommage environnemental et écologique (Beauchamp J ; 2006).

###### II.4.1.4. Origine urbaine et routière

Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation. En ville, on trouve, en plus des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées, les fuites de cuves de carburants (essence, fioule). (Beauchamp J ; 2006).

##### II.4.2. Types de pollutions de l'eau

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine, elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes :

###### II.4.2.1. Pollution chimique

Cette pollution est due aux utilisations d'engrais, aux rejets de produits chimiques utilisés dans l'industrie, mais également aux rejets domestiques. Ces différents produits s'infiltrant dans la terre et polluent ainsi les nappes phréatiques.



### II.4.2.2. Pollution thermique

Elle est, soit le résultat de changements importants de la température d'un milieu, soit due aux rejets des eaux de refroidissement de différentes industries. Ces variations ont un impact important sur la faune et la flore aquatiques. Ce type de pollution touche généralement les lacs et les cours d'eau.

### II.4.2.3. Pollution bactériologique

Cette pollution est due aux germes pathogènes d'origine fécale comme les coliformes, les streptocoques, les salmonelles et divers virus. Peut-être considérée comme importante et se produit essentiellement en milieu urbain suite au mélange des eaux usées avec l'eau potable.

### II.4.2.4. Pollution radioactive

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

## II.4.3. Classification des sources de pollution

### II.4.3.1. Classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie (IHE, 1986)

La classification est basée sur l'indice de pollution organique (IPO), le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 5 classes, puis de déterminer, à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre. L'indice IPO correspond la moyenne des numéros de classes des 5 paramètres (au mieux)

Tableau II. 2 : Classement des Paramètres polluants selon IHE en 1986.

Paramètres/ classes	Oxygène dissous %	D.C.O mg-O <sub>2</sub> /l	B.O.D.5 mg-O <sub>2</sub> /l	Ammonium mg-N/l	Phosphates µ g-P /l	Phosphore total µ g-P /l
5	90-110	≤ 5,0	≤ 1,0	≤ 0,05	≤50	≤ 50
4	70-89	5,1-10,0	1,1-3,0	0,06-0,50	51-100	51-100
3	50-69	10,1-20,0	3,1-5,0	0,51-1,00	101-200	101-200
2	30-49	20,1-50,0	5,1-10,0	1,01-2,00	201-400	201-400
1	<30	>50,0	>10,0	>2,00	>400	>400

5.0 – 4.6	pollution organique nulle
4.5 – 4.0	pollution organique faible
3.9 – 3.0	pollution organique modérée
2.9 – 2.0	pollution organique forte
1.9 – 1.0	pollution organique très forte

**Remarque :** le seul paramètre en relation directe avec la pollution organique est la DBO5, mais on peut considérer que les autres paramètres qui sont des formes déjà minérales, résultent directement de la minéralisation des matières organiques et reflètent bien ce type de pollution. Ils sont d'ailleurs en quantité toujours très faible dans les milieux naturels. (Leclercq, L ; 2001)

## II.4.4 Cadre réglementaire relatif à la protection des ressources en eau

Dans le cadre des textes réglementaires en vigueur régissant la protection des ressources en eau contre toute forme de pollution, les documents législatifs dans lesquels s'inscrivent les actions liées à la protection de la ressource en eau en Algérie ces dix dernières années, on peut citer :

- Loi n°05-12 du 04 août 2005 relative à l'eau.
- Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009.
- Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006.
- Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

## II.5. Vulnérabilité des nappes à la pollution

La prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante dans la gestion des aquifères, à laquelle les scientifiques consentent de plus en plus d'efforts, notamment l'étude de la vulnérabilité des nappes d'eaux souterraines à la pollution. Cette étude permet une meilleure gestion de ces ressources et des interventions convenables dans le cas de contamination. Elle permet aussi de préciser les zones susceptibles d'être contaminées suite à des activités anthropiques. Une fois identifiées, ces régions peuvent être visées avec prudence par les planificateurs et les utilisateurs de la terre (Graillat *et al.*, 1994)

### II.5.1. Notion de la vulnérabilité

La notion de vulnérabilité développée depuis quarante ans et ne possède pas de définition unique, mais diffère selon la sensibilité des approches et des auteurs (Cazaux, 2007). Certains auteurs l'ont définie comme une propriété intrinsèque des aquifères ; d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terrains de surface. On résume que la vulnérabilité est une évaluation qualitative des mécanismes de transfert d'un polluant qui repose sur une conceptualisation multicouche du milieu traversé (Margat, 1968; Foster, 1987)

### II.5.2. Origine de la vulnérabilité des eaux souterraines

D'après Cazaux (2007), le concept de vulnérabilité des eaux souterraines est basé sur un modèle « origine – écoulements – cible ». Ce modèle est repris et détaillé en particulier dans un projet européen traitant de la protection des aquifères, l'action COST620 (Zwahlen, 2003) (Fig II.1).

- **L'origine de la contamination** : c'est le lieu d'infiltration du polluant au niveau de la surface du sol. Cette approche ne tient pas compte des pertes ou fuites de réseaux des eaux usées.
- **L'écoulement** : c'est le trajet du contaminant à travers le milieu naturel, c'est à dire sa composante verticale au sein de la zone non saturée. Si l'objet de la protection est le point de captage d'eau (puits, forage, exutoire), il faut également prendre en compte l'écoulement au sein de l'aquifère.
- **La cible** : est l'eau souterraine faisant l'objet d'une protection. Il peut s'agir soit du toit de la nappe, soit du captage d'eau.

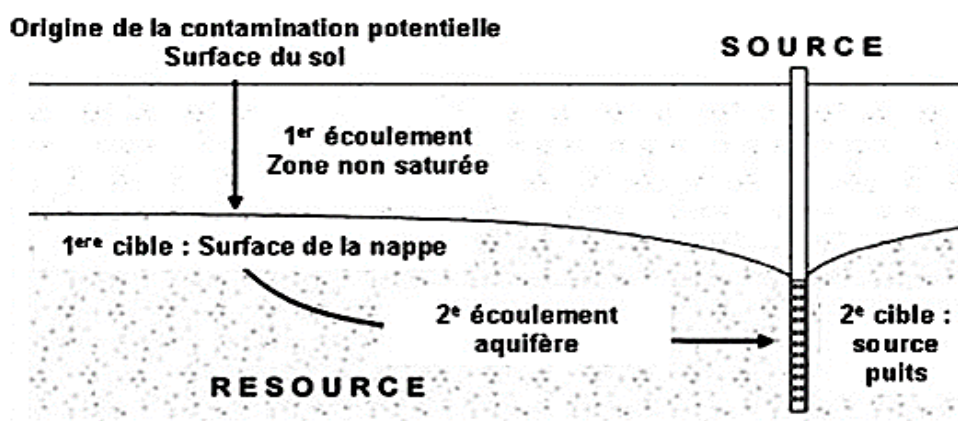


Figure II. 1 : Modèle «origine – écoulements – cible» -modifié- (COST620, 2004 in Cazaux ;2007)

### II.5.3. Différents types de la vulnérabilité

Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique. (Schnebelen *et al.*, 2002)

- **La vulnérabilité intrinsèque**: c'est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. (Schnebelen *et al.*, 2002 in Bézègues *et al.*, 2002)

- **La vulnérabilité spécifique:** c'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 (Schnebelen et al., 2002 in Bézèlgués et al., 2002). Il s'avère judicieux de faire la distinction entre les caractéristiques du milieu et l'existence de sources de pollution. En effet, les premières sont intemporelles, alors que les secondes sont évolutives. Il est donc préférable de distinguer la vulnérabilité intrinsèque, caractérisant la plus ou moins grande facilité de propagation des polluants à travers le milieu naturel, de la vulnérabilité spécifique (Landreau, 1996).

#### II.5.4. Critères de la vulnérabilité

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 non saturée et de la zone saturée qui contrôlent le comportement des polluants (Bézèlgués et al., 2002). Les critères utilisés dans la littérature sont les suivants:

##### a. Critères relatifs au sol (Bézèlgués et al., 2002)

- La topographie et un facteur essentiel pour identifier la partie ruisselée et la partie infiltrée de l'eau de pluie sur le sol. Plus la pente de la surface du sol est forte et longue, plus le polluant s'éloignera de son point d'émission.
- La couverture pédologique, de par sa nature, sa texture, sa teneur en argile et en matière organique, elle contient les principaux procédés susceptibles d'atténuer une contamination.

##### b. Critères relatifs à la zone non saturée (ZNS) (Bézèlgués et al., 2002)

- L'épaisseur de la ZNS conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe à cause des phénomènes de rétention, de stockage et d'interactions physico-chimiques avec l'encaissant.
- L'amplitude de battement de la nappe joue sur l'épaisseur du recouvrement de la nappe si elle est significative. Dans ce cas, elle devient donc un critère de vulnérabilité.
- La perméabilité verticale de la ZNS influe directement sur le temps de transfert d'un polluant vers la nappe.
- La structure de la ZNS est un critère important de par le faciès, les discontinuités, la texture et la teneur en argile et en matière organique de la ZNS.

##### c. Critères relatifs à la zone saturée (Bézèlgués et al., 2002)

- Le type de nappe : la nappe libre s'avère beaucoup plus vulnérable qu'une nappe captive.
- Les paramètres hydrodynamiques (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emmagasinement, gradient hydraulique) déterminent le temps de résidence d'un contaminant dans la nappe.
- La piézométrie conditionne l'évolution des processus hydrodynamiques.
- La direction et le sens d'écoulement déterminent les cibles atteintes par un polluant dans la nappe.
- Le type de système hydrogéologique à partir de son caractère transmissif, la vulnérabilité du système peut être évaluée.
- Les relations nappe - cours d'eau peuvent être de deux types, de type drainage ou de type alimentation, donnant ainsi des informations sur la possibilité de contamination.
- L'épaisseur de l'aquifère détermine le stock d'eau et la dilution du polluant.

##### d. Critères communs à la zone non saturée et à la zone saturée (Bézèlgués et al., 2002)

- La fracturation : des discontinuités peuvent jouer le rôle de drains et augmenter la vitesse d'infiltration du polluant dans la nappe.
- La recharge conditionne la quantité d'eau atteignant la zone saturée et dépend de la pluie efficace s'infiltrant dans le sol puis dans la ZNS.

### II.5.5. Cartographie de la vulnérabilité

La cartographie permettant d'identifier la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, d'évaluer et de prévenir les risques de contamination ; correspond à un type de carte hydrogéologique spécialisée répondant à un besoin particulier et visant un public varié (CRIVERT, 2003; Duchaine, 1998 ; ). Elle apparaît nécessaire et incontournable, car ce type de carte permet d'identifier très facilement les zones à risques de pollutions potentielles. Elle servira comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire. Les premières cartes ont été réalisées en Europe et aux États-Unis au début des années 1970. La rapidité et la précision de la cartographie augmentent en utilisant les systèmes d'information géographique (SIG) (Duchaine, 1998 ).

### II.5.6. SIG / Vulnérabilité des nappes

Dans l'optique de la gestion des risques naturels et anthropiques, les systèmes d'informations géographiques (SIG) apportent des informations localisées et objectives irremplaçables. Dans un premier temps, ils permettent de gérer une multitude d'informations de tous types, de les mettre à jour, d'optimiser leurs échanges et de générer de nouvelles couches d'informations par le biais de leurs croisements. En second lieu, ils assurent la restitution des cartes thématiques et les analyses qui en résultent. Le SIG compte parmi les nouvelles techniques informatiques destinées au domaine de prévision et d'intervention puisqu'il répond à une problématique de gestion, de planification et d'aménagement. Il offre les possibilités de croisement au sein d'une base de données spatialement référencée de façon à extraire commodément des synthèses utiles à la décision (Eastman, 1995; Duchaine, 1998 ). L'apport du SIG dans les études de vulnérabilité des nappes permet d'aborder les risques de la pollution des eaux souterraines, d'aider à limiter ce risque par une meilleure planification et une intervention efficace sur le terrain afin de préserver la qualité de la ressource. Toute méthode d'évaluation de la vulnérabilité doit être combinée à un SIG pour déterminer les zones susceptibles d'altérer la qualité de l'aquifère à partir de la superposition des cartes thématiques des paramètres pris en compte par la méthode concernant les caractéristiques naturelles de l'aquifère d'une part, les types d'occupation du sol et les différentes activités d'autre part (Hentati et al. ,2005; Chloé, 2007 ).

### II.6. Méthodes de cartographie de la vulnérabilité

La protection des ressources en eau exige des mesures et ouvrages appropriés aux enjeux. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de qualifier et de hiérarchiser la vulnérabilité des milieux aquatiques souterrains, mais l'une des difficultés essentielles réside dans l'estimation de la vulnérabilité de ces milieux. Pour cela des nombreuses méthodes ont été développées dans le monde selon le cas étudié, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectent la vulnérabilité. L'application de ces méthodes ne peut être possible sans l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG), en raison de la masse très importante des données nécessaires (Vaillant et al ;1995 )

### II.6.1. Méthodes de vulnérabilité intrinsèque

Les méthodes GOD, DRASTIC et SINTACS sont les méthodes les plus utilisées pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque à la pollution des nappes en Algérie.

#### 1.6.1.1. Méthode GOD

La méthode GOD a été développée par Foster en 1987, et présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale des polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas la migration latérale des polluants dans la zone saturée (Mardhel et al., 2005). D'après Foster (1987), la méthode GOD est une méthode paramétrique utilisant le produit des trois paramètres:

- (G): Groundwater occurrence ou type de nappe;
- (O): Overall aquifer class ou lithologie de la zone non saturée (ZNS) de l'aquifère ;
- (D): Depth to groundwater table ou profondeur de la nappe.

L'indice de vulnérabilité se calcule par la multiplication des coefficients des trois paramètres GOD comme suit :  $IGOD = C_i \times C_p \times C_a$ .

Où:

- IGOD: est l'indice potentiel de pollution (indice GOD) ou degré de vulnérabilité;
- $C_i$ : est le coefficient du type de l'aquifère;
- $C_p$ : est le coefficient de profondeur de la nappe;
- $C_a$ : est le coefficient de lithologie de l'aquifère.

Les coefficients sont attribués aux paramètres en fonction de leur importance pour la vulnérabilité de l'aquifère. Ils correspondent à une ponctuation attribuée à une caractéristique hydrogéologique de l'aquifère. Ces coefficients prennent des valeurs dans un intervalle de classes numérique données. Les classes définies en tenant compte du temps de transfert du polluant à l'aquifère et en commençant de la condition la plus favorable, ou vulnérabilité faible (la valeur du score est égale à 0), jusqu'à la condition la plus critique (la valeur du coefficient est égale à 1). Chaque facteur critique a été analysé et évalué comparativement aux autres paramètres pour définir son importance relative dans l'estimation de la vulnérabilité. Les coefficients élevés sont attribués aux facteurs facilitant l'infiltration des polluants, de la surface du sol, à la nappe d'eau (Smida H, et al 2012).

Les différentes plages de l'Indice GOD obtenues ont été mises en parallèle avec les classes de vulnérabilité. L'indice GOD a pour valeur minimum le " 0 " et comme valeur maximum " 1 ". D'une manière générale, les indices GOD sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant du "très faible" à "extrême". (Daboussi A ,2010)

Tableau II. 3 : Cotes accordées aux paramètres de la méthode GOD (Foster et Hirata, 1991)

Type de nappe (G)		Lithologie de la ZNS de la l'aquifère (O)	
Aucun aquifère	0	Sol résiduel	0,4
Artésien	0,1	Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0,5
Confiné	0,2	Sable éolien; siltite ; tuf; roche ignée ou métamorphique fracturée	0,6
Semi-Confiné	0,3	sable et gravier; grès; tuf	0,7
Libre avec Couverture	0,4-0,6	Gravier (colluvion)	0,8
Libre	0,7-1	Calcaire	0,9
		Calcaire fracturé ou karstique	1
Profondeur de plan d'eau (D)			
	< 2		1
	2-5		0,9
	5-10		0,8
	10-20		0,7
	20- 50		0,6
	50-100		0,5
	>100		0,4

### II.6.1.2 Méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC est l'une des méthodes du sous-groupe PCSM (Point Count System Model) qui a été mise au point par Aller et al. (1987) dans l'objectif d'évaluer les risques de pollution des eaux souterraines (Verba et Zaporozec, 1994; Knox et al.; 1993).

La méthode proposée repose sur les hypothèses de base suivantes : les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol ; les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace ; le contaminant a la même mobilité que l'eau souterraine ; l'unité hydrogéologique en question est de superficie supérieure à 0,4 Km<sup>2</sup> (Murat et al., 2003).

La méthode DRASTIC est la méthode d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle des aquifères par systèmes paramétriques, la plus utilisée dans le monde; le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité. Chaque paramètre est subdivisé en intervalles de valeurs significatives et affecté d'une cotation numérique croissante en fonction de son importance dans la vulnérabilité (Evans et Mayers, 1990; Daboussi A ,2010). La précision avec laquelle la méthode DRASTIC permet de distinguer les régions vulnérables a été vérifiée par les analyses physico-chimiques dans différentes régions climatiques : États-Unis, Québec, Mexique, et d'autres pays (Knox et al.; 1993). L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales des sept facteurs déterminants la valeur de l'indice de vulnérabilité (Fig II.2):

- (D): **D**ePTH to water ou profondeur du plan d'eau ;
- (R): net **R**echarge ou recharge efficace ;
- (A): **A**quifer media ou milieu aquifère ;
- (S): **S**oil media ou type de sol ;
- (T): **T**opography ou pente du terrain ;
- (I): **I**mpact of vadose zone ou impact de la zone vadose (zone non saturée) ;
- (C): **C**hydraulic Conductivity of the aquifer ou conductivité hydraulique de l'aquifère.

Ces paramètres sont classés en trois catégories : les paramètres de surface (la pente du terrain, la recharge efficace, le type de sol) ; les paramètres de la zone non saturée (la lithologie de la zone non saturée, la profondeur du plan d'eau) et les paramètres de l'aquifère (la lithologie de l'aquifère, la conductivité hydraulique de l'aquifère) (Ake et al., 2009).

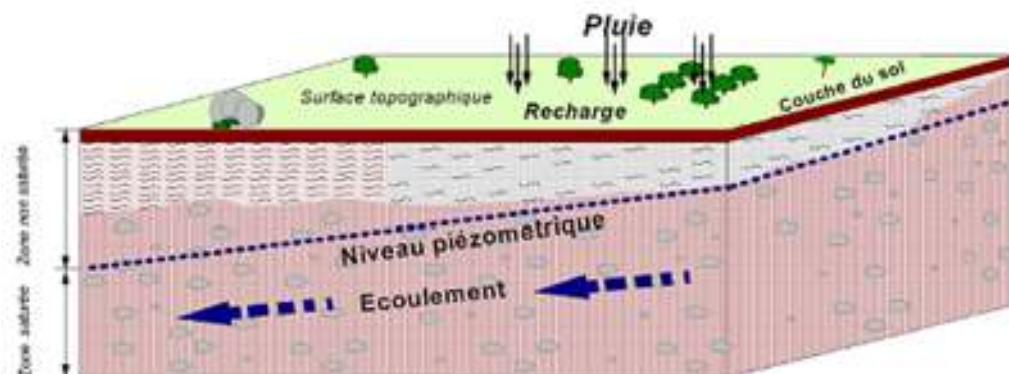


Figure II. 2 : Paramètres de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution par la méthode DRASTIC (Sinan et Bouibrine, 2007)

Les sept paramètres découpent, de façon schématique, une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes, lesquelles influencent à différents degrés les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol, et leur temps de transit. Une valeur numérique (poids paramétrique) comprise entre 1 et 5, reflète le degré d'influence de chacun d'eux (Hamza et al. 2008)

Tableau II. 4 : Poids des paramètres dans la version DRASTIC standard (Aller et al. 1987)

Paramètres	Poids
D : profondeur du plan d'eau	5
R : recharge efficace	4
À : matériaux de l'aquifère	3
S : type de sol	2
T : pente du terrain	1
I : matériaux de la zone non saturée	5
C: conductivité hydraulique de l'aquifère	3

À chacun des paramètres est associée une cote variant de 1 à 10, définie en fonction des intervalles des valeurs. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination (Tab II.4). Pour les paramètres quantitatifs : la profondeur du plan d'eau, la recharge efficace de l'aquifère, la pente du terrain et la conductivité hydraulique de l'aquifère, les classes se présentent sous forme d'intervalles de valeurs numériques (Daboussi A, 2010) et ne posent pas de ce fait de problèmes dans la classification et dans l'attribution des cotes correspondantes à chaque classe. En effet, les cotes sont directement attribuées aux différentes classes déterminées dans chaque paramètre selon la classification proposée pour ces paramètres dans la méthode DRASTIC par Engel et al. (1996). Concernant les paramètres qualitatifs (lithologie des matériaux de l'aquifère, types de sol, et lithologie des matériaux de la zone non saturée), ils peuvent ne pas correspondre exactement aux classes proposées par les tableaux du guide pratique de la méthode DRASTIC, et à ce moment-là, il faut suivre un raisonnement logique, pour pouvoir déterminer les classes adéquates, et attribuer par la suite à chaque classe la cote correspondante. Une valeur numérique appelée indice de vulnérabilité DRASTIC et notée ID est déterminée, elle décrit le degré de vulnérabilité de chaque unité hydrogéologique. L'indice de vulnérabilité est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants :

$$ID = Dp \times Dc + Rp \times Rc + Ap \times Ac + Sp \times Sc + Tp \times Tc + Ip \times Ic + Cp \times Cc$$

Où D, R, A, S, T, I, et C sont les sept paramètres de la méthode DRASTIC, p étant le poids du paramètre et c, la cote associée (Knox et al. 1993 Fortin et al, 1997 ). Les valeurs de l'indice DRASTIC obtenues représentent la mesure de la vulnérabilité hydrogéologique de l'aquifère. Ces valeurs varient de 23 à 226 (Engel et al., 1996 ). Elles sont subdivisées en huit intervalles (Murat et al., 2003 ). Ces valeurs représentent la mesure de la vulnérabilité hydrogéologique de l'aquifère et se situent dans la gamme des valeurs théoriques selon la classification de Engel et al. (1996) qui a permis de fixer les limites des intervalles des indices calculés et de faire correspondre des classes de vulnérabilité à ces indices.

Tableau II. 5 : Cotes accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC (Engel et al, 1996)

Profondeur du plan d'eau (D) (m)		Recharge efficace (R) (mm/an)	
0 – 1,5	10	0-50	1
1,5 – 4,5	9	50-100	3
4,5 – 9	7	100-180	6
9 – 15	5	180-250	8
15 – 23	3	> 250	9
23– 31	2		
>31	1		
Lithologie de l'aquifère (A)		Nature du sol (S)	
Calcaire karstique	10	Peu épais ou absent	10
Basalte	9	Gravier	10
Sable et gravier	8	Sable,	9
Calcaire massif	6	Argile, agrégats ou pentes	7
Grès massif	6	Limon sableux	6
Shales en séquence	6	Limon	5
Métamorphique altéré, grès lités,	4	Limon silteux	4
calcaires	4	Limon argileux	3
Métamorphique	3	Argile non agrégée et non fissurée	1
Shale massif	2		
Pente du terrain (T) (%)		Lithologie de la zone non saturée (I)	
0-2	10	Calcaire karstique	10
2-6	9	Basalte	9
6-12	5	Sable et gravier	8
12-18	3	Sable et gravier avec silt et argile	6
> 18	1	Calcaire lité, grès, shale	6
		Grès	6
		Calcaire	6
		Shale	3
		Silt/argile	1
Conductivité hydraulique (C) (m/j)			
	0,04-4		1
	4-12		2
	12-29		4
	29-41		6
	41-82		8
	> 82		10

### II.6.1.3. Méthode SINTACS

La méthode SINTACS, développée par Civita en 1994, est la version italienne de la méthode DRASTIC : c'est une adaptation de cette méthode aux conditions méditerranéennes et la cartographie à grande échelle (Pételet-Giraud, 2000). la spécificité de la méthode SINTACS par rapport à la méthode DRASTIC est qu'elle propose cinq scénarios différents de vulnérabilité (Daboussi A, 2010)

- **Le scénario "impact normal"** correspond aux régions où les transformations sont rares, avec existence ou non de terres cultivées et une utilisation très faible de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, et aux périmètres urbains très disperses.
- **Le scénario "impact sévère"** correspond aux régions où l'occupation des sols est intensive, avec des terres cultivées à forte utilisation de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, aux implantations industrielles et urbaines denses, et aux dépôts liquides et solides de déchets.



Ces deux scénarios sont relatifs aux aquifères constitués par des sédiments non consolidés, localisés dans des aires à sols épais, avec une profondeur du plan d'eau qui n'est pas très élevée.

- **Le scénario " drainage important à partir d'un réseau superficiel "**, relatif aux aires où il y a une forte infiltration vers l'aquifère à partir d'un réseau superficiel d'eau.
- **Le scénario " terrain très karstifié "**, concernant les aires caractérisées par une forte karstification.
- **Le scénario " terrain fissuré "**, correspondant aux zones caractérisées par une forte fracturation.

Un poids compris entre 1 et 5 est attribué à chaque paramètre, et chaque paramètre est classé en plusieurs classes, dont chacune est associée à une cote variante de 1 à 10 ( in Daboussi A ,2010) (Tab II.6). Contrairement à la méthode DRASTIC, la méthode SINTACS permet d'utiliser, en même temps et dans des différentes cellules, des poids variables selon les situations (Schnebelen *et al.*, 2002). L'indice de vulnérabilité SINTACS est calculé de la même façon que la méthode DRASTIC. Selon les valeurs des de cet indice quatre classes de vulnérabilité peuvent être extraites.

Tableau II. 6 : Poids attribués aux paramètres de SINTACS (Civita, 1994)

Scénario	Impact normal	Impact sévère	Drainage important	Karst	Terrains fissurés
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	4	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	2	2	2	5	4

## II.7.Conclusion

Ce chapitre a été consacré à une revue bibliographique sur la pollution des eaux souterraines et leurs vulnérabilités, ou nous avons présenté au départ la grille de la qualité des eaux souterraines qu'a été élaboré par Anras et Guesdon, en 2007 ; type et nature de pollution, classification des sources de pollution selon l'Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie (IHE, 1986) qui seront l'objet d'une projection sur notre zone d'étude dans les chapitres plus tard.

La prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante dans la gestion des aquifères, à laquelle les scientifiques consentent de plus en plus d'efforts, notamment la cartographie qui permettant d'identifier la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, d'évaluer et de prévenir les risques de contamination ; correspond à un type de carte hydrogéologique spécialisée répondant à un besoin particulier et visant un public varié.

De nombreuses méthodes ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone saturée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectent la vulnérabilité. L'application de ces méthodes ne peut être possible sans l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG)

De ce fait ; nous avons présenté trois méthodes de vulnérabilité intrinsèque des nappes à la pollution les plus utilisées en Algérie (GOD, DRASTIC, SINTACS), dépendent de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration de la contamination, soit sur son temps de transfert ces facteurs présentés par des côtes et poids accordé selon le degré d'influence.

Le traitement des rejets urbains considéré l'un des remèdes efficaces pour minimiser la pollution domestique, industrielle et la contamination des nappes souterraines ; à cet effet, l'objectif de chapitre prochain est de présenter les différentes techniques et filières d'épuration en se basant essentiellement sur la bibliographie.

# Chapitre III

## Épuration des eaux et Réutilisation

### III.1.Introduction

Devant la situation environnementale cruciale de la vallée du M'Zab à l'instar de la pollution des eaux de la nappe phréatique. Les organismes de secteur d'hydraulique ont décidé de créer une station d'épuration par lagunage naturel, ayant pour but de supprimer les nuisances et les risques de contaminations au niveau des zones urbanisées, protéger le milieu récepteur et la ressource en eau de la vallée, la possibilité de réutiliser les effluents épurés pour l'irrigation.

Dans ce cadre ; ce chapitre, essentiellement basé sur les éléments bibliographiques a pour objectif de présenter en premier temps les techniques d'épuration des eaux usées et les différentes filières de traitement .Dans un second temps, il donne un aperçu sur la réutilisation eaux usées épurées en agriculture suivie par les différentes réglementations dans le monde pour la qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation.

### III.2. Épuration des eaux usées

On entend par l'épuration des eaux usées toutes les techniques, qui contribuent à diminuer la teneur en composés indésirables contenus dans les eaux usées par des procédés biologiques, chimiques et/ou mécaniques (Bliefert et Perraud, 2003).

#### III.2.1.Généralités sur les filières de traitement

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre au minimum d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitements sont définis (primaire, secondaire, tertiaire) (Fig III.1) :

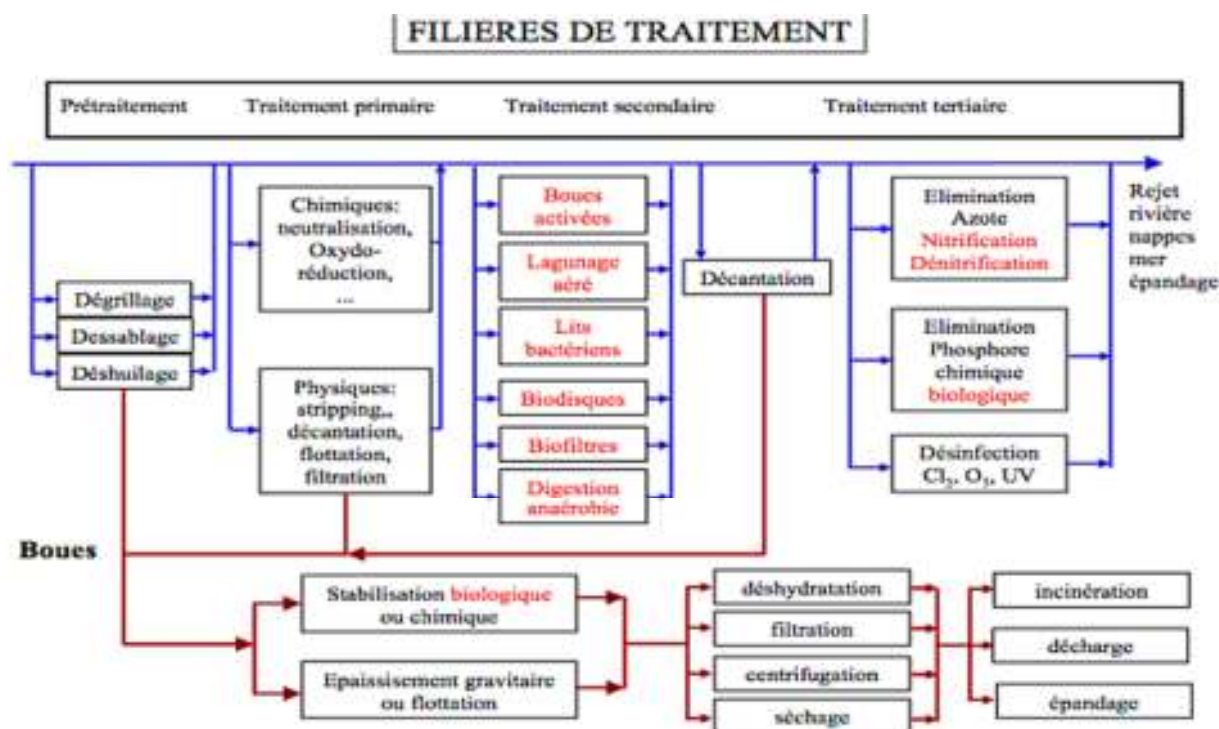


Figure III. 1 : Différentes filières de traitements des eaux usées (El-Maleh. S, 2011)

#### III.2.2. Prétraitement

Cette étape consiste à éliminer les gros déchets solides, les sables, les graisses et les huiles.

##### III.2.2. 1.Dégrillage

En entrée de station d'épuration, l'eau brute passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement, courbés ou inclinés de 60° à 80° sur l'horizontale : les dégrilleurs assurent la séparation des éléments grossiers contenus dans les effluents à traiter, afin de prévenir des risques de colmatages des installations en aval, ce sont les déchets issus de cette étape que nous appelons les « refus de dégrillage» (Le hyaric, 2009).

### III.2.2. 2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements suivants. L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage (Degremont, 1978).

### III.2.2. 3. Déshuilage - dégraissage

Le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes les matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau, ces matières sont de natures très diverses et leurs quantités s'estiment par la mesure des « matières extractibles par solvants ». La teneur des eaux usées en matières extractibles est de l'ordre de 30 à 75 mg/l. Néanmoins, certains rejets industriels (abattoirs, laiteries...) peuvent élever ces valeurs à 300 - 350 mg/l. Les huiles et graisses, lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées, sont séparées sous forme de boues flottantes dans des ouvrages comportant une zone d'aération où les bulles d'air augmentent la vitesse de montée des particules grasses et une zone de tranquillisation où s'effectue la récupération. Le temps de séjour dans ce type d'ouvrage est de 5 à 12 min. Le débit d'air insufflé est de l'ordre de 0,2 m<sup>3</sup> par mètre cube d'eau et par heure. Le plus souvent, les fonctions de dessablage et de déshuilage sont combinées dans un même ouvrage qui met en œuvre les principes de fonctionnement cités précédemment (Gaïd, 1993).

### III.2.3. Traitement Primaire

Le traitement s'effectue par voie physico-chimique avec pour but d'extraire le maximum de matières en suspension et de matières organiques facilement décantables. Trois voies de traitement sont possibles :

#### A. la décantation

le principe de séparation solide-liquide est la pesanteur, les matières en suspension ou colloïdales tendent à se séparer du liquide par sédimentation ;

#### B. la flottation

par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient.

#### C. la décantation associée à l'utilisation d'un coagulant-floculant

le principe est ici de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation et de floculation de façon à augmenter la sédimentation grâce à l'obtention de floccs plus gros (Boukroune, 2008).

### III.2.4. Traitement Secondaire (biologique)

Les techniques d'épuration biologiques utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies c'est-à-dire nécessitant un apport oxygène. Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs et les procédés biologiques intensifs (Gaïd, 1993).

#### III.2.4.1 Procédés biologiques intensifs

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. On a les lits bactériens, disques biologiques et les boues activées (Baudot et Perera, 1991).

#### III.2.4.2. Procédés biologiques extensifs

Les solutions extensives correspondent à des procédés d'épuration dans lesquels la concentration en organismes épurateurs est faible. Elles ne comportent normalement pas de recyclage de liqueur bactérienne. Parmi ces procédés on note : le lagunage et l'épandage. Elles mettent en jeu des phénomènes d'auto-épuration naturelle complexe dépendants des conditions climatiques. Ces solutions extensives requièrent des surfaces d'emprise importantes, la mise en œuvre est

primordiale et la qualité de réalisation dépend en partie des performances épuratoires. Elles nécessitent en général peu d'équipements électromécaniques et sont connues pour leur rusticité et leur capacité d'adaptation aux variations de charges organiques et hydrauliques (Degremont, 2005).

#### III.2.4.2.1. Le lagunage naturel

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassins le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et au maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique (OIE, 2001)

Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées « microphytes ». Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

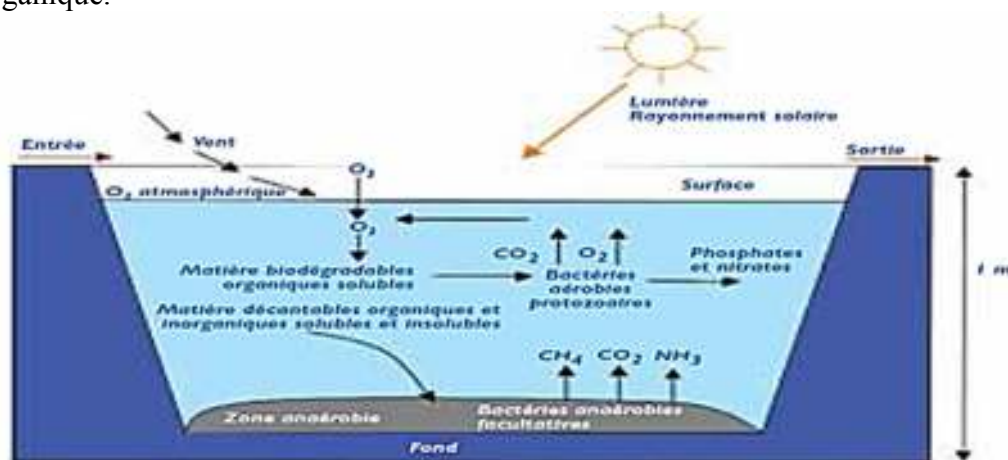


Figure III. 2 : Mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel (OIE, 2001)

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau (OIE, 2001)

#### III.2.4.2.2. Le lagunage aéré

Dans le cas du lagunage aéré, l'oxygénation est apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1.8 à 2 kW/kg DBO<sub>5</sub> éliminée) (KAYMAI, 2002)

#### III.2.5. Traitement tertiaire

En général, les techniques d'épuration, même les plus sévères, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables et échappent à la meilleure décantation. Ainsi même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants. Si une éventuelle réutilisation de cette eau est envisagée, il convient par conséquent d'utiliser des procédés d'élimination de cette pollution résiduelle. On parlera donc de correction chimique ce qui permettra de donner à l'eau une qualité meilleure pour sa réutilisation. La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, qui doit être appliquée avec des doses très fortes et des temps de contact longs. Mais il convient de signaler suite à cette opération, des toxiques pour la vie aquatique peuvent être formés, il faut donc procéder à une opération de déchloration avant le rejet. À côté de la désinfection par le chlore, d'autres procédés existent également, mais qui restent pratiquement inutilisables dans les domaines de l'épuration des eaux usées. Ceci peut conduire à une eau de qualité. On peut citer par exemple l'échange ionique et l'adsorption sur du charbon actif. Le coût excessif du traitement tertiaire explique pourquoi dans la

majorité des stations d'épuration ce type de traitement est inexistant. Ce coût ne se représente pas seulement le prix des réactifs ou des équipements, mais aussi celui d'un personnel hautement qualifié (Degremont, 1989).

### III.2.6. Les boues

Le fonctionnement épuratoire se traduit par l'accumulation des éléments polluants et/ou leurs produits de transformation séparés de la phase liquide par décantation ou au cours de tout traitement d'eau, quelle qu'en soit la nature, se trouvent finalement rassemblés dans des suspensions plus ou moins concentrées dénommées boues (Degremont, 2005).

### III.3. Réutilisation des eaux usées épurées

Les eaux usées ne sont plus considérées dans les régions souffrant de pénurie d'eau, comme déchets à éliminer, mais comme partie intégrante des ressources potentielles en eau.

La valorisation des eaux usées passe obligatoirement par deux étapes essentielles. La première étape est la collecte des eaux usées dans un réseau d'égouts. La nature et les volumes des eaux usées collectées sont les facteurs les plus déterminants pour le choix du procédé de traitement et bien entendu, pour le dimensionnement des stations d'épuration. Ainsi, la réalisation des stations d'épuration constitue la deuxième étape du schéma général de valorisation des eaux usées. Les effluents une fois traités en générant des sous-produits, au lieu d'être déversés dans le milieu naturel, vont être réutilisés pour différents usages dont le principal est la réutilisation agricole.

#### III.3.1. Définition et objectifs

La récupération et la réutilisation des eaux usées sont des éléments du développement et de la gestion des ressources en eau qui constituent une option durable pour l'agriculture, les municipalités et l'industrie (Grondin P.M, 1998).

La Réutilisation des Eaux usées traitées (REUT) recouvre deux notions : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées traitées. Les eaux usées sont celles rejetées par les collectivités, les industries et les particuliers, puis collectées et acheminées par les réseaux d'égouts vers les stations de traitement des eaux usées afin d'y être traitées. Ce n'est qu'à la fin de ces traitements qu'on les appelle eaux usées traitées. La REUT propose de récupérer ces eaux usées traitées, de leur apporter éventuellement un traitement complémentaire et de s'en servir pour différents usages (Catherine, B et al ,2009).

D'après (Alain. R, 2011), les motifs qui ont conduit et qui conduisent à envisager la réutilisation des eaux usées traitées sont de deux ordres: en termes de ressource en eau, la valorisation des eaux usées traitées répond à un objectif quantitatif et ce sont surtout les zones arides et semi-arides du globe qui sont concernées. En parallèle, dans le domaine de la préservation environnementale, et donc des objectifs qualitatifs, de nombreuses réflexions ont conduit et conduisent à des opérations de réutilisation. L'objectif quantitatif est prépondérant dans la genèse des projets de REUT. Pour répondre à des pénuries chroniques ou occasionnelles, et après prise en compte des coûts d'investissement et d'exploitation, la REUT s'impose de plus en plus comme une solution économiquement pertinente.

Toutefois force est de constater que la mise en œuvre effective de projets de REUT tarde souvent à voir le jour du fait des contraintes institutionnelles et organisationnelles, mais également des réticences culturelles (Alain. R, 2011).

Les principales utilisations sont les suivantes :

- **Utilisations urbaines** : arrosage des espaces verts, lavage des rues, alimentation de plans d'eau, fontaines,
- **Utilisations agricoles** : irrigation
- **Utilisations industrielles** : cette réutilisation est importante en raison du recyclage fréquent des eaux de process qui est souvent justifié par la réduction des consommations, mais aussi par la récupération des sous-produits. Mais elle peut aussi concerner les eaux de refroidissement. La réutilisation est plus difficile à envisager pour des eaux de chaudière qui doivent être fortement déminéralisées et pour les eaux des industries agroalimentaires qui doivent avoir la qualité des eaux potables,
- **Amélioration des ressources et de la qualité des eaux** : recharge des nappes, protection contre l'intrusion du biseau salé en bord de mer par recharge de nappes (Aviron et al, 2000)

### III.3.2. Valorisation agricole et ses avantages

Parmi les différentes voies d'utilisation des eaux usées, l'irrigation agricole est la plus grande consommatrice d'eau. La valorisation des eaux usées en irrigation est considérée non seulement comme la création d'une nouvelle ressource, mais aussi et surtout comme un traitement complémentaire qui permet de limiter le rejet direct dans le milieu naturel (Masséna, P.A., 2001), qui selon lui, la réutilisation des eaux usées en agriculture apporte en outre des bénéfices additionnels résultant, dans certains cas, de l'augmentation du rendement des cultures et de l'amélioration de l'efficacité des systèmes d'irrigation.

Les principaux avantages qui peuvent découler d'une réutilisation des eaux usées épurées dans le domaine agricole nous citons :

#### III.3.2.1. Avantages environnementaux de réutilisation

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- La suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs.
- La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation, tel que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.
- La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin.
- La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion (FAO, 2003).

#### III.3.3. Réutilisation des eaux usées en Algérie

La réutilisation des eaux usées traitées longtemps délaissée, en raison de l'état défectueux du parc de stations d'épuration qu'il a fallu réhabiliter, est devenue un axe important de la nouvelle politique de l'eau. Avec la remise en état des anciennes STEP et la construction de nouvelles stations, plusieurs projets d'irrigations à partir des eaux usées traitées sont en cours d'études ou déjà réalisés (Benblidia, M ; 2011).

La stratégie nationale en matière de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation a trois objectifs : économiser et préserver les ressources en eaux traditionnelles, accroître les superficies irriguées et participer à l'augmentation de la production agricole.

Le programme en cours doit porter le nombre de stations d'épuration de 150 STEP avec une capacité d'épuration installée de 550 millions de m<sup>3</sup> par an à 216 STEP en 2020 avec une capacité de 1200 millions de m<sup>3</sup> par an d'eaux épurées. Il est prévu d'assurer l'irrigation de 100 000 ha à partir de ces ressources nouvelles (Benblidia, M ; 2011).

##### III.3.3.1. Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées.

En Algérie, la présence de normes de rejet spécifiques à la réutilisation des eaux usées en agriculture ainsi que la présence de textes réglementaires fixant la modalité de réutilisation des eaux usées et la liste des cultures et les conditions de leur irrigation par les eaux usées épurées constituent une promotion de projets de réutilisation des eaux usées épurées (Hannachi, A et al ; 2014) Ces textes sont venus comme suit :

- La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (Joradp., 2005).

- Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent (Joradp., 2007)

- ✓ Concession à travers un cahier des charges à toute personne morale ou physique de droit public ou privé.
- ✓ Qualité spécifique fixée par arrêté (Santé- Eau- Agriculture).
- ✓ Cultures fixées par arrêté (Santé- Eau -Agriculture)
- ✓ Contrôle sanitaire (personnel, produit agricole, sol)
- ✓ Dispositions financières:
  - Redevance pour la concession.
  - Tarif pour la fourniture d'eaux usées épurées

Sur le plan normatif, l'Algérie dispose actuellement d'une norme algérienne N°17683 « Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles - Spécifications physico-chimiques et biologiques » (donnée en Annexes). Elle est disponible au niveau de l'Institut algérien de Normalisation IANOR (IANOR.2014)

### III.3.4. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation (FAO,2003) . Selon (Kandiah.A,1990), les paramètres utilisés pour évaluer une eau usée destinée à l'irrigation sont donnés dans le Tableau III.1

Tableau III.1: Paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées en agriculture (Kandiah.A,1990)

Paramètres	Symbol	Unité
<b>Physique</b>		
Total des solides dissous	TDS	mg/l
Conductivité électrique	Ec <sub>w</sub>	dS/m
Température	T	°C
Couleur/Turbidité		NTU/JTU
Dureté	TH	mg equiv. CaCO <sub>3</sub> /l
Sédiments		g/l
<b>Chimique</b>		
Acidité/Alcalinité	pH	
<b>Type et concentration des anions et cations:</b>		
Calcium	Ca <sup>++</sup>	mg/l
Magnésium	Mg <sup>++</sup>	mg/l
Sodium	Na <sup>+</sup>	mg/l
Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	mg/l
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l
Chloride	Cl <sup>-</sup>	mg/l
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	mg/l
Sodium adsorption ratio	SAR	
Bore	B	mg/l
<b>Eléments traces</b>		
Métaux lourds		mg/l
Nitrate-Nitrogène	NO <sub>3</sub> -N	mg/l
Phosphate Phosphore	PO <sub>4</sub> -P	mg/l
Potassium l	K	mg/

#### III.3.4.1. Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles (Catherine, B et al ,2009).

La salinité d'une eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble. Les principaux sels responsables de la salinité sont les sels de calcium (Ca<sup>2+</sup>), de magnésium (Mg<sup>2+</sup>), de sodium (Na<sup>+</sup>), de potassium (K<sup>+</sup>), les chlorures (Cl<sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimées en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm) (Couture.I,2006).

D'après (Faby.J.A et al,1997), on considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation :

- ✓ les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements cultureaux,
- ✓ les dommages causés aux cultures.



### III.3.4.2 Risque de salinisation

La teneur totale en sels est un critère important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.

Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique en  $\mu\text{S/cm}$ . Généralement la teneur en sel des eaux d'irrigation joue un rôle important vis-à-vis des effets directs sur des végétaux et des risques de salinisation de sol.

Afin d'évaluer la qualité des eaux dans l'irrigation selon le risque de salinisation des exemples typiques de classifications suggérées par différents auteurs sont présentés dans le tableau III.2.

Tableau III. 2 : Classification de l'eau d'irrigation (U.S.S.L, 1954 ; Ayres et Westcot, 1976)

Classe de salinité	USSL de Riverside (1954)	Ayres et Westcot (1976)
	CE( $\mu\text{S/cm}$ )	CE( $\mu\text{S/cm}$ )
C1	100-250	<750
C2	250-750	750-1500
C3	750-2250	1500-3000
C4	2250-5000	>3000
C5	5000-10000	-

C1 : Satisfaisant pour toutes les cultures excepté les cultures sensibles ;

C2 : Généralement satisfaisant bien que quelques cultures sensibles seront affectées ;

C3 : Satisfaisante pour la plupart des grandes cultures en présence du lessivage et le drainage.

C4 : Non recommandée à l'exception des cultures tolérantes en présence du lessivage.

C5 : Déconseillé pour l'irrigation

### III.3.4.3 Risque de sodicité (SAR)

Lorsque la concentration des ions  $\text{Na}^+$  à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations  $\text{Ca}^{++}$  dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium adsorbable (*Sodium Adsorption Ratio*, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé (Fadel et al, 2004).

Le SAR est donné par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

La concentration de chaque ion est exprimée en  $\text{m}\mu\text{g/l}$ . Nous portons pour chaque prélèvement d'eau, la valeur du SAR en fonction de la conductivité électrique à  $25^\circ\text{C}$ . Nous déduisons la classe à laquelle appartient l'eau.

Selon (U.S.S.L, 1954) le taux d'adsorption de sodium (SAR) peut classer :

- ◆ Classe S1 ( $SAR \leq 13$ ) : faible danger d'alcalinisation des sols ;
- ◆ Classe S2 ( $13 < SAR \leq 23$ ) : danger assez appréciable d'alcalinisation;
- ◆ Classe S3 ( $SAR > 23$ ): danger d'alcalinisation importante.

### III.3.5. Les différentes réglementations dans le monde

L'élimination des risques microbiologiques et chimiques est le principal objectif du traitement des eaux usées destinées à être réutilisées en irrigation agricole. Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures.

D'après (AHT, 2009), la majorité des acteurs internationaux, promouvant une réutilisation sûre des eaux usées destinées à l'irrigation, sont l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation de l'Alimentation et de l'Agriculture des Nations Unies (FAO).

### III.3.5.1. Les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)

Les recommandations de l'OMS (Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture) ou « Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture » (1989) sont les seules à l'échelle internationale. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde. Elles ne concernent que l'usage agricole et sont ciblées uniquement sur les quantités de microorganismes. Les protozoaires ne sont pas inclus directement, car il est considéré qu'ils sont éliminés en même proportion que les helminthes. Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine [Elhaite, H., \(2010\)](#).

Les deux microorganismes de référence considérés dans les directives de l'OMS sont les coliformes fécaux et les nématodes intestinaux. Ce choix est justifié par des considérations épidémiologiques ([Tiercelin, J-R. et al ,2006](#)) et pour des raisons de facilité analytique.

Ces recommandations ont été révisées en 2000, en intégrant les résultats de nouvelles études épidémiologiques ([Blumenthal, UJ et al ; 2000](#)) Les modifications ont essentiellement porté sur la norme « œufs d'helminthes » qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 œuf/l. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée.

Le tableau III.3 résume les recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture. Dans ses recommandations, l'OMS, définit les catégories, les conditions de réutilisations, les groupes cibles, les techniques d'irrigation utilisées et celles d'épuration recommandées pour atteindre des limites de rejets de coliformes fécaux et nématodes intestinaux. Il précise toutefois, que dans certains cas particuliers, les facteurs épidémiologiques, socioculturels et environnementaux qui devront être pris en compte, et les recommandations modifiées en conséquence. [Baumont.S et al , 2004](#).

Tableau III. 3 : Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le Traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture <sup>a</sup> ([Elhaite, H, 2010](#))

Catég	Conditions de réutilisation	Groupe exposé	Techniques d'irrigation	Nématodes intestinaux <sup>b</sup>	Coliformes fécaux / 100ml	Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
<b>A</b>	Irrigation sans restrictions A1 pour les cultures maraîchères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics <sup>d</sup>	Travailleurs, consommateurs, public	Toutes	≤ 1	≤ 10 <sup>3</sup>	Série de bassins de stabilisation, réservoir de stockage et de traitement ou traitement équivalent permettant d'atteindre la qualité microbiologique escomptée
<b>B</b>	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt <sup>c</sup>	Travailleurs Population sis dans l'environnement proche	Par aspersion Par rigole Par infiltration ou par gravité  Toutes	≤ 1  ≤ 1  ≤ 0.1 <sup>e</sup>	≤ 10 <sup>5</sup>  ≤ 10 <sup>3</sup>  ≤ 10 <sup>3</sup>	Série de bassins de rétention avec un temps de séjour suffisant (8 à 10 jours) ou traitement équivalent permettant l'abattement des œufs d'helminthes et des coliformes
<b>C</b>	Irrigation localisée sur des cultures <sup>f</sup> de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Goutte-à-goutte, micro-jet, etc.	Non applicable	Non applicable	Prétraitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire

Où ;

- a Dans certains cas, tenant compte du contexte épidémiologique, socioculturel et environnemental, Ces limites sont changées en conséquence ;
- b Les espèces de *Ascaris* et *Trichuris*;
- c Durant la période d'irrigation
- d Des limites plus restrictives de moins de 200 coliformes fécaux /100 mL sont plus appropriées pour les Golfs, les hôtels et des espaces où le public peut avoir un contact direct avec les espaces irrigués.
- e Cette limite peut être augmentée à  $\leq 1$  oeuf/l si (i) il fait chaud et sec et que l'irrigation de surface n'est pas pratiquée ou (ii) le traitement de l'eau contient aussi des traitements chimiothérapeutiques anti-helminthes.
- f Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la récolte, et aucun fruit ne doit être récolté au sol. L'irrigation par aspersion ne doit pas être utilisée.

### III.3.5.2. Les recommandations du CSHP de France

La réglementation française sur la réutilisation des eaux usées épurées ne concerne que la réutilisation agricole, elle est assez succincte concernant la réutilisation des eaux épurées (Elhaite, H.,2010)

Le CSHPF (Conseil supérieur d'hygiène publique de France) a émis des recommandations en 1991 afin de protéger la santé publique. Elles visent à protéger la santé des professionnels en contact avec les eaux épurées, des consommateurs de produits irrigués avec ces eaux et des populations vivant autour des zones irriguées. Elles définissent trois catégories d'eau de qualité sanitaire croissante, correspondant à des usages adaptés. Ces recommandations s'inspirent de celles l'OMS (Baumont, S et al, 2004). Ces recommandations sont présentées dans le tableau III.4.

Tableau III. 4 : Les recommandations du CSHPF (CSHPF,1991 ; Baumont, S et al, 2004)

Cat	Normes <sup>a</sup>	<sup>a</sup> Type de culture	Type d'irrigation	Traitement
A	- Œufs d'helminthes $\leq$ 1/L - Coliformes thermo tolérants $\leq$ 1 000/100 ml	Irrigation de légumes consommés crus Arrosage de terrains de sport et d'espace verts ouvert au public	Irrigation gravitaire, arrosage sous frondaison Irrigation par aspersion sous certaines conditions <sup>b</sup>	Un traitement efficace peut être atteint par une série de bassins de lagunage naturel, pour un séjour de 30 jours avec un ensoleillement suffisant, ou tout autre traitement similaire
B	- Œufs d'helminthes $\leq$ 1/L	Vergers, cultures céréalières et fourragères, pépinières et cultures de végétaux consommables après cuisson (pommes de terre, betteraves, choux...) Terrain de sport s'ils sont utilisés plusieurs semaines après l'arrosage	Irrigation gravitaire ou à la raie Irrigation par aspersion sous certaines conditions <sup>c</sup>	Un traitement efficace peut être une série de bassins de décantation pendant une dizaine de jours, ou tout autre procédé ayant une efficacité équivalente
C	Aucune	Céréales, cultures industrielles et fourragères, vergers et zones forestières, Espaces verts non ouverts au public	Irrigation souterraine ou localisée Irrigation par Aspersion	Épuration préalable nécessaire pour des raisons d'ordre technique

(a) le CSHPF précise dans ses recommandations complémentaires de 1992 qu'il s'agit de valeurs impératives qui ne doivent être dépassées en aucun cas.

(b) l'irrigation par aspersion est autorisée si :

- Elle est réalisée en dehors des heures d'ouverture au public;
- Les asperseurs sont de faible portée;
- L'aspersion est réalisée à une distance suffisante des habitations, des zones de sport et de loisir, prenant en compte les conditions climatiques locales.

(c) l'irrigation par aspersion est autorisée si :

- l'aspersion est réalisée à une distance suffisante des habitations, des zones de sport et de loisirs, prenant en compte les conditions climatiques locales (100 m minimum) ;
- Des écrans ou des obstacles (arbres) sont mis en place pour limiter la propagation des aérosols et si l'arrosage direct des voies de communication est évité;
- La protection du personnel d'exploitation contre les risques d'inhalation des aérosols est suffisamment assurée.

Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France émet un avis favorable, sous les réserves définies ci –dessous, au principe de l'utilisation des eaux usées urbaines après épuration. Ces réserves concernent principalement :

- ✓ la protection des ressources en eau souterraine et superficielle;
- ✓ la restriction des usages en fonction de la qualité des effluents épurés;
- ✓ les réseaux de canalisation "d'eaux usées épurées";
- ✓ la qualité chimique des effluents épurés;
- ✓ le contrôle des règles d'hygiène applicables aux installations d'épuration et d'irrigation;
- ✓ la formation des exploitants et des contrôleurs (CSHPF.,1991,Baumont, S et al, 2004)

### III.3.5.3. Les recommandations de l'USEPA

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992, en collaboration avec l'USAID (United States Agency of International Development), ses propres recommandations sur la réutilisation des EUT, intitulées "Guidelines for Water Reuse". Contrairement à l'OMS, ces recommandations ne sont pas basées sur des études épidémiologiques ni sur une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Ces normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes (Baumont, S et al, 2004). Les recommandations de l'USEPA concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.). Ces recommandations portent sur plusieurs paramètres: le pH, la demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>), la turbidité ou les solides en suspension et les coliformes fécaux. Selon (Baumont, S et al, 2004), Le pH est toujours fixé entre 6 et 9. La turbidité ne doit pas dépasser en général 2 NTU. La DBO<sub>5</sub> maximale est fixée soit à 10 mg/l, soit à 30 mg/l, selon les usages. Les coliformes fécaux doivent être soit en concentration inférieure à 200 CF/100 ml (pour l'irrigation avec restriction, les usages paysagers, industriels et environnementaux), soit à un niveau de non-déteçtabilité (pour l'irrigation sans restriction, la baignade et la réutilisation indirecte pour l'eau potable). Enfin, ce qui est un des aspects les plus drastiques des normes de l'USEPA, est qu'il est imposé dans la plupart une norme en chlore résiduel de 1 mg/l. (Baumont, S et al, 2004)

D'après (Belaid, N.,2010). , Les deux recommandations (OMS et USEPA) s'opposent à plusieurs points de vue. Une des différences concerne le niveau de traitement recommandé. Il est dit dans le document de l'OMS qu'un traitement extrêmement efficace peut être atteint par des bassins de stabilisation, alors que l'USEPA n'évoque que des traitements de désinfection tertiaire type chloration, ozonation, etc. Les modes de contrôle varient aussi: alors que l'OMS préconise de contrôler le nombre de nématodes, l'USEPA recommande le comptage des coliformes totaux comme unique contrôle de la qualité microbiologique. En général, l'OMS est taxée d'être trop laxiste, et l'USEPA de préconiser des traitements trop chers et trop technologiques, inaccessibles aux pays en voie de développement. (Baumont, S et al, 2004)

### III.3.5.4. Les directives de la FAO

La FAO (Food and Agriculture Organisation) a établi des directives pour l'interprétation de la qualité physicochimique de l'eau pour l'irrigation et des limites recommandées en éléments traces métalliques dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation dans lesquelles l'accent était mis sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau. Ces directives générales sont présentées dans les tableaux III.5, et III.6.

Tableau III. 5 : Directives de la qualité de l'eau d'irrigation (FAO 1985, Tiercelin, J-R. et al ,2006)

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
CE	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration				
SAR = 0-3 et CE =	dS/m	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
= 3-6 =		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
= 6-12 =		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
= 12-20 =		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
= 20-40 =		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na <sup>+</sup> )				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Chlorure (Cl)				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Effets divers				
Azote (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> )	méq/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
pH		Gamme normale 6.5 - 8.4		
CE: conductivité électrique; TDS: total dissolved solids; SAR: rapport d'absorption du sodium				

Tableau III. 6 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO,2003)

Constituant	Utilisation à long terme <sup>b</sup> (mg/l)	Utilisation à court terme <sup>c</sup> (mg/l)
Aluminium	5.0	20
Arsenic	0.1	2
Béryllium	0.1	0.5
Bore	0.75	2
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1
Cobalt	0.05	5
Cuivre	0.2	5
Fluor	1	15
Fer	5	20
plomb	5	10
Lithium	2.5	2.5
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2
Sélénium	0.02	0.02
Zinc	2	10

**a** : Adapté de: Académie nationale des sciences - National Academy of Engineering (1973)

**b** : Pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols

**c** : Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins

### III.4.Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre des différentes techniques et filières d'épuration, où nous avons insisté sur le lagunage naturel pour mieux comprendre les performances de la station d'épuration installée dans la vallée du M'Zab pour résoudre le problème écologique.

Nous avons présenté aussi l'intérêt de la réutilisation des eaux usées épurées en agricultures et les différentes réglementations dans le monde pour la qualité des eaux usées épurées. Selon les littérateurs, la majorité des acteurs internationaux, promouvant une réutilisation sûre des eaux usées destinées à l'irrigation, sont l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Organisation de l'Alimentation et de l'Agriculture des Nations Unies (FAO). Ces deux réglementations, et les normes algériennes seront l'objet d'une comparaison avec les eaux usées épurées de la vallée du M'Zab dans les chapitres plus tard.

Dans le prochain axe on va entamer la partie expérimentale à travers une description totale de la zone d'étude et son potentiel hydraulique pour bien connaître le mécanisme de problème, ainsi que de présenter les différents moyens, méthodes et outils d'analyses des données.

# Deuxième partie : Matériels et Méthodes

## Chapitre IV

### Cadre physique et potentiel hydraulique

## IV.1.Introduction

Il est nécessaire de bien connaître la zone d'étude afin de déterminer et cerner les principaux facteurs influençant sur l'écosystème oasien, et de ce fait, la qualité des rejets urbains et la nappe phréatique. Ainsi, on s'intéressera à l'environnement du site : situation géographique, conditions climatiques, ressources en eau et en sols, agricultures, structures sociales locales ainsi qu'aux caractéristiques de station de traitement des eaux usées. D'autant plus que, c'est en fonction de ce dernier, que se fait la réutilisation des eaux épurées en agriculture.

Le présent chapitre donne un aperçu sur la vallée du M'Zab afin d'identifier les caractéristiques de son environnement, ses potentialités et ses besoins.

## IV.2.Cadre physique de la zone d'étude

### IV.2.1.-Situation géographique

La wilaya de Ghardaïa se situe au Sahara septentrional algérien. Elle se situe à 600 km au sud de la capitale Alger elle s'étend sur plus de 86 100 km<sup>2</sup> et est bordée, au Nord par les wilayas de Laghouat et de Djelfa, à l'Est par la wilaya de Ouargla, à l'Ouest par les wilayas d'Adrar et d'El Bayadh et au Sud par la wilaya de Tamanrasset.

La wilaya se compose de neuf (09) daïras et de treize (13) communes selon la dernière organisation administrative de 1991.

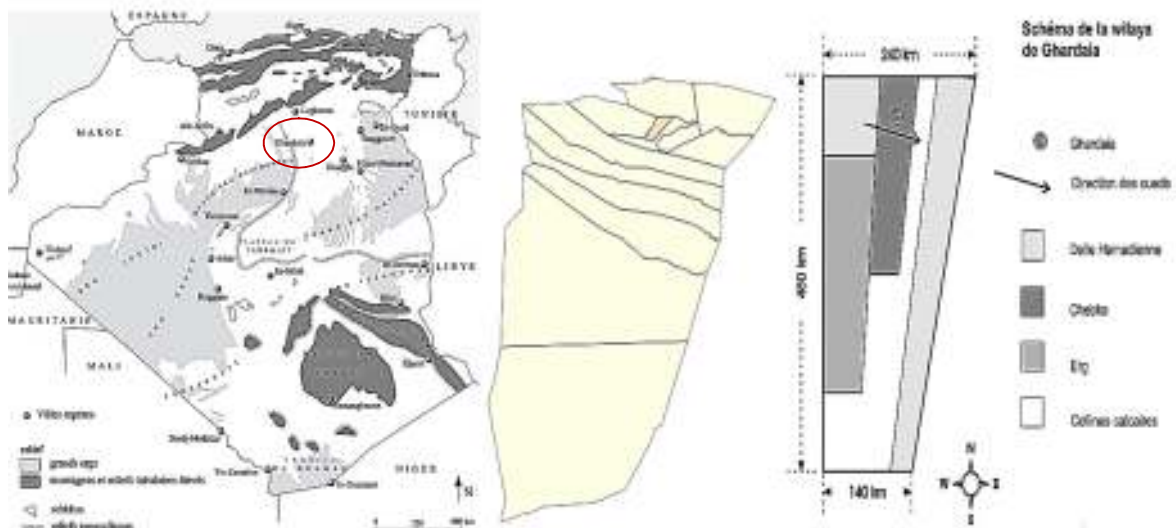


Figure IV. 1 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (Kouzmine .Y ; 2007)

Les régions naturelles, représentées sur le schéma, sont :

- les plaines de la dalle hamadienne, cuirasse calcaire avec, en surface un cailloutis anguleux;
- les régions ensablées, partie du grand Erg occidental avec des cordons dunaires particulièrement denses et élevés; cette zone Est consacrée exclusivement au pastoralisme saharien;
- la chebka, dorsale centrale à dominance calcaire en corniches continues de direction nord-sud.

### IV.2.2.La vallée du M'Zab

La vallée du M'Zab à laquelle se rattache notre zone étude est la plus importante des zones habitées de la wilaya, elle est située à l'enceinte du bassin versant. Se situe sur le plateau Hamada au Sahara septentrional. Une longitude de 3°.45 Est, et latitude de 32°.50 Nord. Les cinq villes qui composent la pentapole du M'Zab (El-Atteuf, Bounoura, Melika, BeniIsguen et Ghardaïa) se situent sur les éminences rocheuses au-dessus de la Chebka qui irriguent les palmeraies où les villes modernes se développent. Le nombre de populations de la vallée a été estimé par 158231 habitants en 2008, dont 93423 habitants à Ghardaïa où la densité de population est de l'ordre de 372 habitants/km<sup>2</sup>.



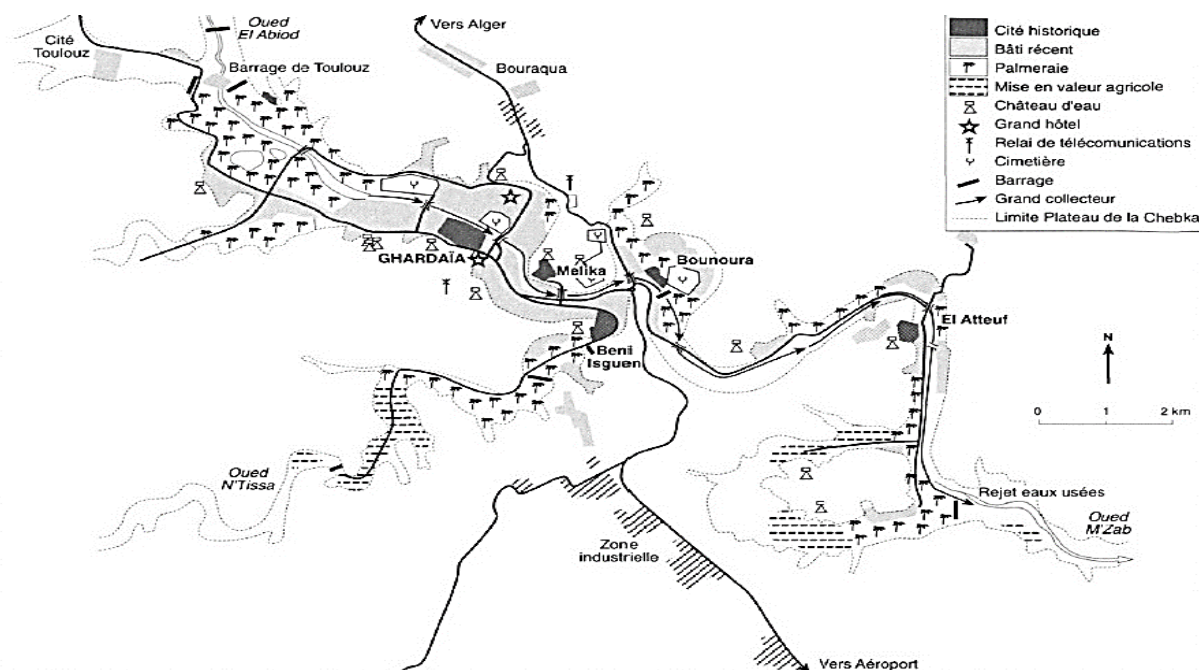


Figure IV. 2 : Situation de la vallée du M'Zab (Côte M. 2002)

### IV.2.3.Aspect climatique

Le climat de la région de Gharadaïa est typiquement Saharien, se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver. On enregistre une moyenne annuelle de 24°C, avec une évaporation de l'ordre de 2600 mm/an et une faible hauteur de pluies avec une moyenne de précipitations de 93 mm/an (ONM 2015).

Tableau IV. 1 : Caractéristiques de la station pluviométrique de Gharadaïa

Code de	Coordonnées GEO		Altitude (m)	Mise en service	Années d'Observations
13 04 27	X (degré)	Y (degré)	493	Depuis 1914	100
	03° 41' 14"	32° 29' 30'			

Tableau IV. 2 : Données climatiques de la région de Gharadaia (1986-2014) (ONM, 2015).

Mois	paramètres	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmoy (°C)	P (mm)	Insolation (h/mois)	Vent (m/s)	Evap. (mm)	H (%)
Janvier		24,05	2,7	11,9	9,83	250	5,04	111	55,5
Février		24,65	2,7	13,9	2,47	252	4,5	133,5	45,4
Mars		30	4,1	18,2	18,97	252	6,1	167,5	39,8
Avril		34,95	10,25	22,4	8,25	301	6,5	204,5	34,5
Mai		40,4	14,05	26,9	2,97	341	6,4	225	30,1
Juin		42,35	15,95	32,2	4,91	351	6,2	360	26,2
Juillet		35,15	23,4	35,3	0,53	357	4,7	387	22
Août		43,5	23,25	33,6	2,04	345	3,1	324,5	25,3
Septembre		42,65	18,75	30,1	19,52	265	3,4	327,5	36,1
Octobre		34,45	13,45	24	6,83	292	4,7	164	45,3
Novembre		28,29	6	16,9	8,07	265	3,1	123,5	49,2
Décembre		21,5	3,25	12,8	8,87	259	3,5	68	54,9
Année	Moy	33,5	11,5	23,2	7,78	294,2	4,7	216,33	38,7
	Total	-	-	-	93,26	3824	-	2596	-

### a- Température

L'analyse d'une série d'observations statistique enregistrée au niveau de la station de Ghardaïa, sur une période d'observations de 29 ans, a fait ressortir que la température moyenne mensuelle enregistrée est de 23,2°C ; avec 43,5°C pour le mois le plus chaud (août) et 2,7°C pour le mois le plus froid (janvier).

### b-Précipitation

Les précipitations sont faibles et irrégulières, de 0 à 250 mm/an, la moyenne pluviométrique étant de 93,3 mm/an. Elles tombent essentiellement sous la forme de pluies d'orage, en automne et au printemps, ou septembre (19,52mm) le mois le plus pluvieux, juillet (0,53mm) mois le plus sec, durant la période d'enregistrement de 1986-2014.

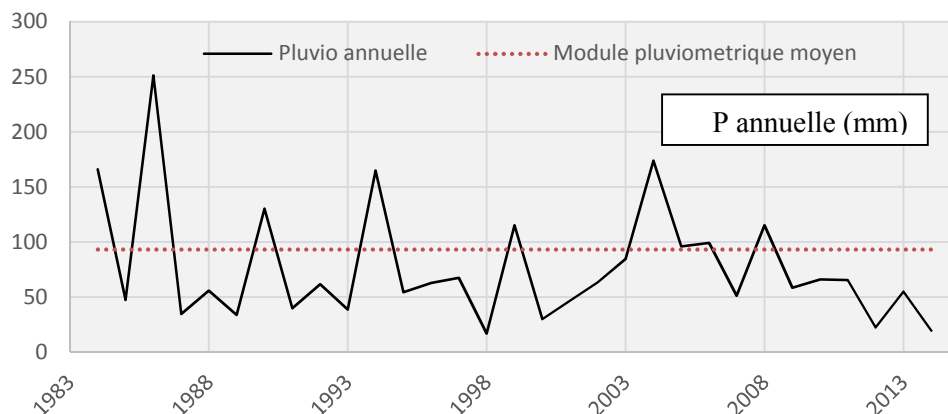


Figure IV.3 : Chronique des précipitations de 1986 à 2014 à la station de Ghardaïa (ANRH 2015)

### c- L'insolation:

Dans la région Ghardaïa, la durée maximale d'insolation est de 357heures enregistrée pour le mois de juillet et un minimum de 250heures au mois de janvier. La moyenne annuelle est de 294,2 heures.

### d- Les Vents

Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides avec une vitesse de 6,5 m/s.

Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de Ghardaïa, on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui s'étend du mois de Mai à septembre.

### e- L'évaporation

L'évaporation est très importante surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Le cumul est de l'ordre de 2596 mm/an avec un maximum mensuel de 387 mm au mois de juillet et un minimum de 68 mm au mois de décembre.

### f- L'humidité

L'air à Ghardaïa est très sec. L'humidité moyenne annuelle est de 38,7 %. Le taux d'humidité varie d'une saison à une autre. Le maximum d'humidité étant de 55,5 % pour le mois de janvier, le minimum est de 22 % pour le mois de juillet à cause des fortes évaporations et des vents chauds durant ce mois.

#### IV.2.4.Occupation du sol

La région du M'Zab est particulièrement pauvre en sol agricole, c'est une chebka rocheuse, avec seulement le réseau hydrographique qui présente des alluvions, plutôt grossières, de type calcaire et très filtrant et généralement apte à l'agriculture, et ce, en tenant compte des travaux d'aménagement et d'amélioration (engrais verts, aménagements minéraux, organiques et argileux.). Seul le système d'épandage de crues peut assurer l'amélioration de façon économiquement favorable, garantissant une agriculture durable.

Les propriétés physiques des sols de la vallée sont généralement aptes à toutes les cultures, et ce, en tenant compte des travaux d'aménagement et d'amélioration (engrais verts, aménagements minéraux, organiques et argileux, brise-vent.) (Miourigh, 2011).

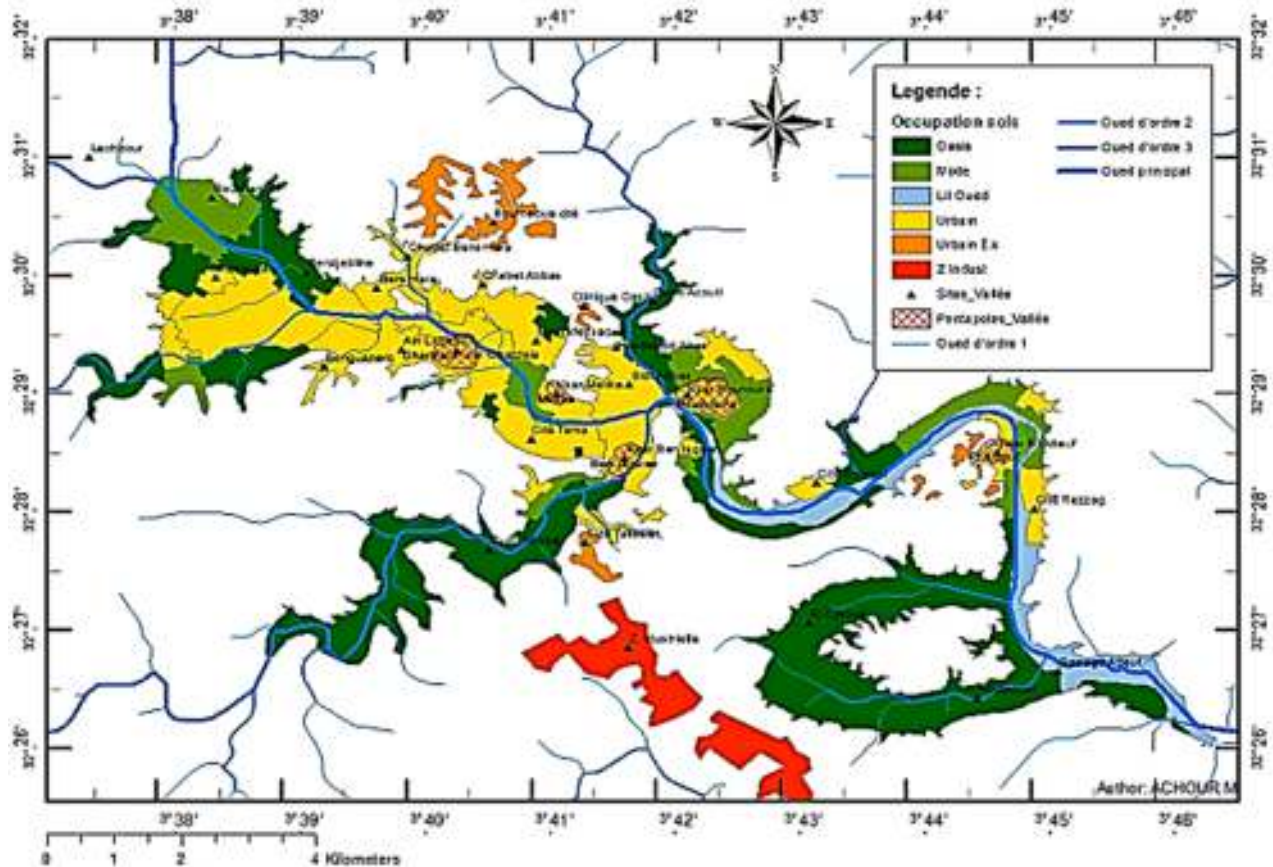


Figure IV.4 : Carte d'occupation des sols de la vallée du M'Zab (Achour.M ; 2014)

La carte de la Figure IV.4 ; montre que sur une surface totale de la vallée digitalisée de 31,2km<sup>2</sup> soit 3120 hectares ; 30% de la superficie est occupée par l'urbanisme soit 963 hectares. Les oasis dans la vallée occupent une surface de 1248 hectares, soit 40% de la surface totale (Figure IV.5). Les oasis sont localisées principalement en amont (Touzouz, Bouchen) et en aval de l'oued M'Zab (Djaoua, Aouleouel), ainsi que le long des deux principaux affluents de la vallée du M'Zab ; oued N'tissa et oued Azouil. Les zones mixtes (urbanisme et oasis) représentent 11% de la surface totale soit 343 hectares. Les zones urbaines sont localisées principalement, autour des vieux ksars (pentapole) et s'étendent progressivement vers les oasis environnantes. En aval de la vallée, une zone inoccupée de 218 hectares correspond à la zone d'épandage de l'oued M'Zab, elle représente 7% de la surface totale de la vallée (Achour.M;2014)

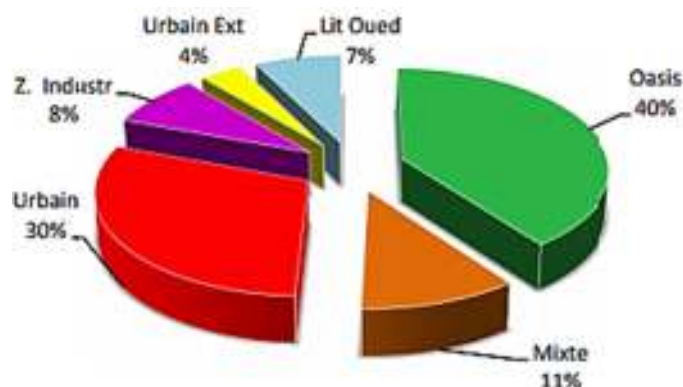


Figure IV. 5 : Répartition des surfaces d'occupation des sols dans la vallée du M'Zab

**IV.2.5.Aspect géomorphologique**

Le relief de la vallée est assez peu mouvementé. La bordure Est située à une cote de 450. Dans le quart Nord-Ouest qui comprend la chebka, les altitudes s'étagent entre 520 et 530 mètres. L'altitude moyenne de la vallée est de 468 mètres. (BG-2000)

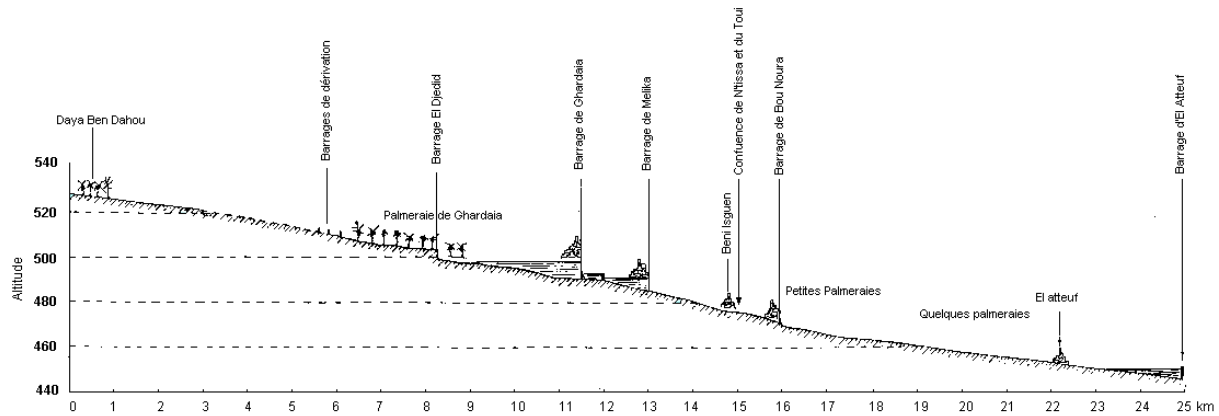


Figure IV.6 : Coupe géomorphologique schématique de la vallée du M'Zab (ANRH, 2010)

#### IV.2.5.1 Description de la Chebka

La Chebka est un plateau rocheux, aride et dénudé de toute végétation, raviné par les oueds. Dessinant des réseaux réticulés qui ont valu le nom arabe de "Chebka" par analogie à un filet. D'après [Benyoucef \(1988\)](#), la Chebka du M'Zab est un plateau de calcaire disséqué, découpé en vallées et ravins qui s'enchevêtrent les uns dans les autres. Ainsi elles sont sculptées, les mailles de ce filet géant ouvert au Nord-Ouest et Sud-Est pour laisser passer l'oued M'Zab. La Chebka du M'Zab constitue ainsi un vaste plateau d'une vingtaine de kilomètres de largeur, incliné du Nord au Sud et de l'Ouest à l'Est, son altitude varie de 800 m au Nord à 400 m au Sud et de 600 m à l'Ouest à 280 m à l'Est. La région de la Chebka est limitée au nord par la région de Daya; à l'Est, par la région de Guentras, qui se prolonge jusqu'à la cuvette de Oued Mya; à l'Ouest par le grand Erg occidental et au Sud par les plateaux du Tademait ([Ducos et al, 1962](#)). Ce plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km<sup>2</sup>, représentant 21% de la région du M'Zab ([Coyne, 1989](#)). D'après les géographes, la Chebka du M'Zab c'est un plateau secondaire d'âge crétacé formé par les calcaires durs du Turonien profondément ravinés par l'érosion fluviale pendant la période humide qui marque le début du Quaternaire ([Pavard, 1975](#)). D'après ([Ducos et al 1962](#)), la Chebka du M'Zab émerge des dépôts d'origine à la fois pluviale et éolienne, elle est constituée par des calcaires dolomitiques bruns, à structure cristalline. Ces calcaires sont stratifiés, en bancs dont l'épaisseur peut atteindre une centaine de mètres, et surmontent des formations marneuses ou argileuses.

#### IV.2.6. Aspect géologique

La région du M'Zab fait partie du grand domaine de la plateforme saharienne. [G. Busson \(1970\)](#) et [J.Fabre \(1976\)](#), ont largement consacré leurs travaux sur l'étude de dépôts mésozoïques et tertiaires de la plateforme du Sahara septentrional, lesquels une grande partie de notre synthèse géologique s'est inspirée.

##### IV.2.6.1. Cadre géologique de la plate-forme saharienne

Le domaine de la plate-forme saharienne correspond à une immense assise de roches sédimentaires d'âge secondaire et tertiaire subhorizontale, reposant en discordance sur un socle primaire (Paléozoïque) fortement plissé et érodé au cours de l'orogénèse hercynienne. L'ensemble de ces assises comble une vaste cuvette synclinale qui forme le bassin du bas-Sahara, ou bassin du Chaamba ([Conrad, 1948](#)). Le centre de la cuvette est occupé par les dunes du Grand Erg oriental. Par contre le Grand Erg occidental couvre en grandes parties ces bordures occidentales et sous ces dunes de sable le bassin correspond à un vaste bombement anticlinal à axe situé approximativement le long de la dorsale du M'Zab. C'est le domaine du Haut-Sahara ([J. Flandrin, 1957](#)). La plate-forme saharienne s'étend du massif cristallophyllien du Hoggar au Sud jusqu'au piémont méridional de la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien au Nord. Les deux domaines ; saharien et atlasique, sont nettement séparés par un grand accident structural complexe dit flexure sud atlasique (Fig IV.7).

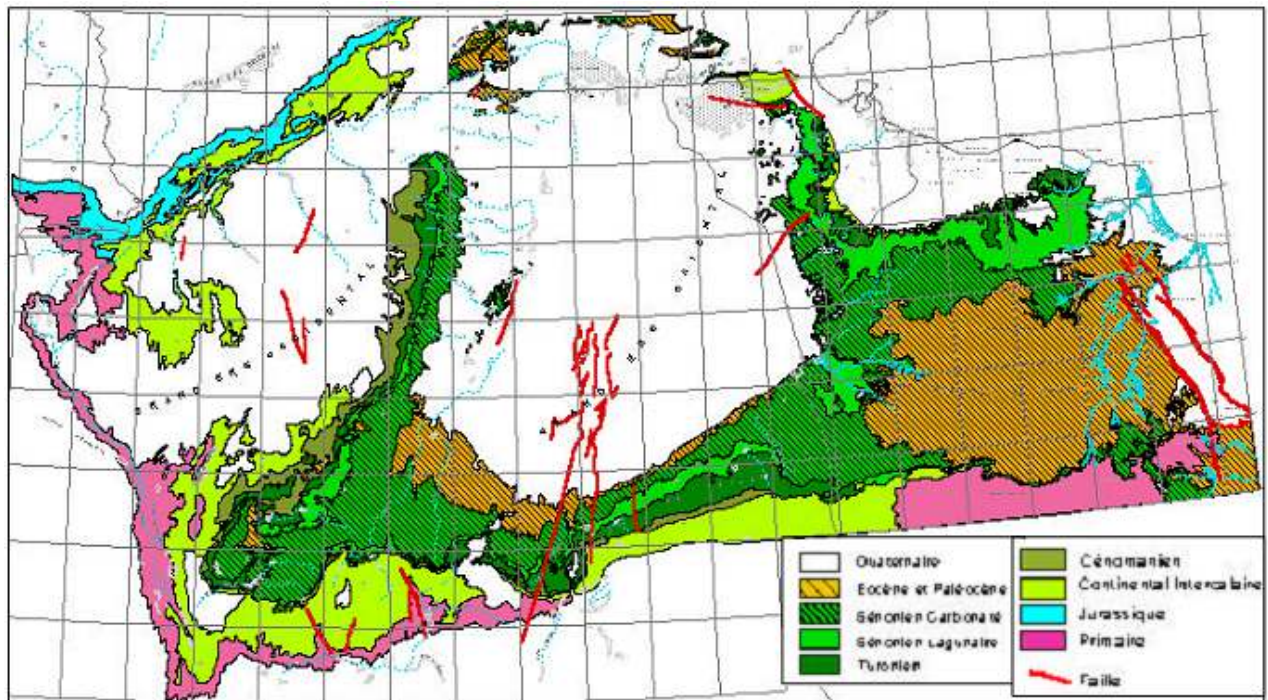


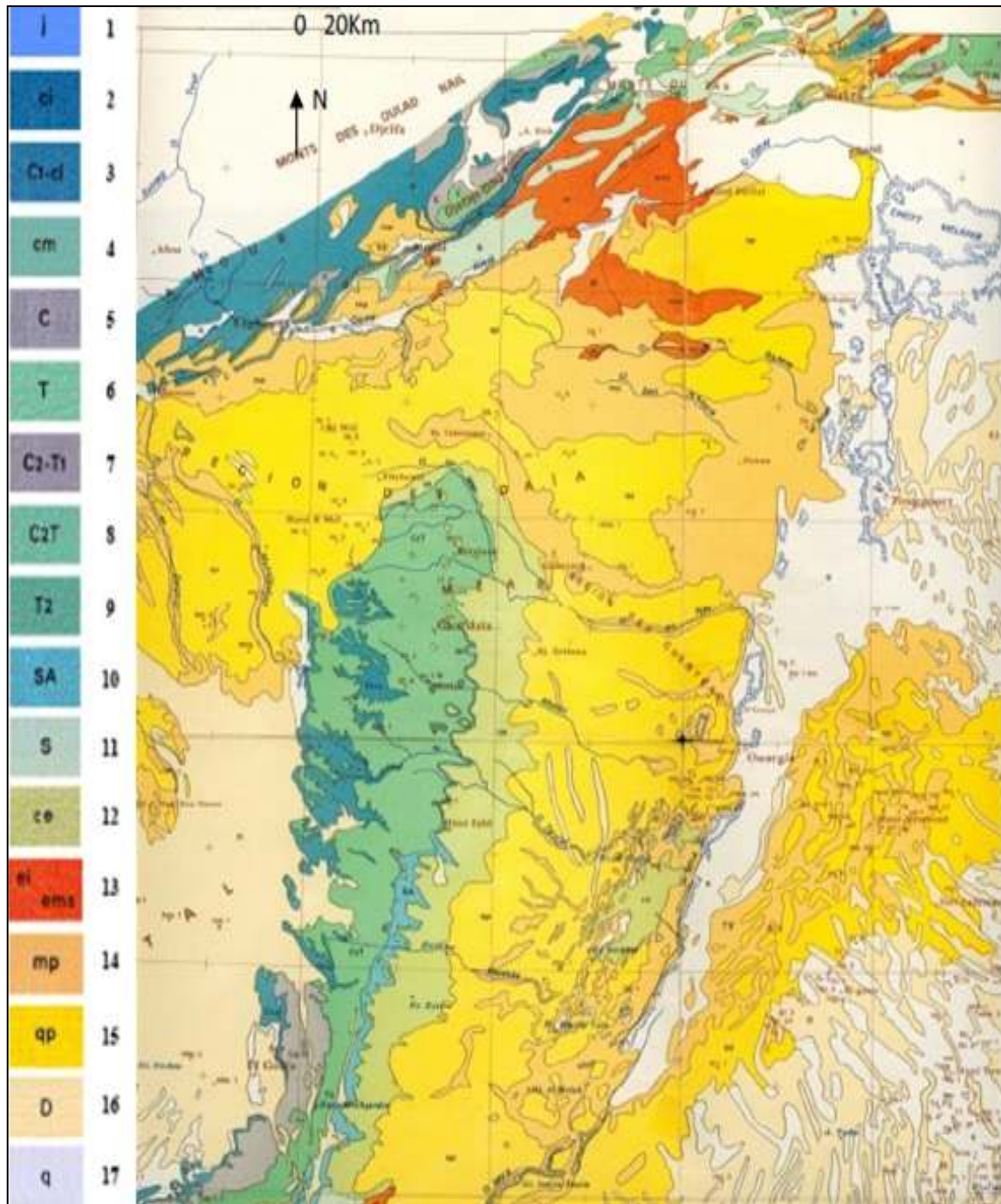
Figure IV.7 : Carte géologique du bassin septentrional du Sahara (OSS, 2003)

Mis à part les affleurements localisés sur le plateau de Tademaït et de Tinrhert au Sud, et le versant occidental de la dorsale du M'Zab, le bassin du bas-Sahara à géologie.

Assez simples, ses traits géologiques en détail ne sont connus que grâce aux sondages profonds de recherche et de prospection des hydrocarbures.

#### IV.2.6.2. Cadre géologique de la dorsale du M'Zab

La carte géologique du bassin du Sahara établie par le Service de la Carte géologique de l'Algérie (SCG) 1951 montre que la dorsale du M'Zab correspond aux affleurements des formations du Crétacé supérieur (Cénomannoturonniennes et sénoniennes), dessinant ainsi une lanière allongée sur une direction subméridienne, laquelle est entourée par de dépôt continental d'âge Mio-pliocène. Les immenses dunes de l'Erg occidental recouvrent en grande partie la dorsale au Sud-ouest. Ces assises carbonatées et marneuses du Crétacé supérieur s'épaississent et s'approfondissent progressivement vers l'Est, et se couvrent par des couches plus récentes d'âge tertiaire (Mio-pliocène et Pontien) (Fig IV.8)



Âges des terrains : 1-Jurassique (j) ; 2- Crétacé inférieur (ci) ; 3- Crétacé inférieur puis Cénomaniens argileux (C1-ci) ; 4-Crétacé moyen (cm) ; 5-Cénomaniens (C) ; 6-Turonien (T) ; 7- Cénomaniens supérieurs et Turonien inférieur (C2-T1) ; 8-Cénomaniens supérieurs calcaires et turonien (C2-T) ; 9- Turonien(T2) ; 10- Sénonien argilo-gypseux y compris du Maastrichtien (SA) ; 11- Sénonien (S) ; 12- Sénonien et Eocène indistinguables (ce) ; 13- Eocène inférieur (ei) et Eocène moyen-supérieur (ems) ; 14- Miocène ou Pliocène avec localement Nummulitique continental (mp) ; 15- Pliocène ou Quaternaire ancien (qp) ; 16- Dunes (D) ; 17- Quaternaire indifférencié (q).

Figure IV.8 : Carte géologique du M'Zab (extrait modifié G.Busson 1967)

#### IV.2.6.3. Structure de la dorsale

La dorsale du M'Zab constituée par des couches argilo-marneuses d'âge Cénomaniens surmontées par une importante couche de calcaires dolomitiques massifs, correspond à un pli anticlinal d'un très grand rayon de courbure. Elle consiste selon G.B.M. Flamond ([J. Fabre, 1976](#)) à une ondulation de quelques mètres d'amplitude et de 50 à 100 mètres de large, imitant en surface l'écho de rejeux des accidents du socle primaire fracturé du bassin Sahara lors de la phase de l'orogénèse atlasique. Les assises de la dorsale présentent des pendages modestes (30° à 20°) vers l'Est (centre du bassin).

#### IV.2.6.4. Lithostratigraphie :

La zone d'étude présente à l'affleurement une succession de formations géologiques allant du Cénomaniens au Mio-pliocène continental. Le Quaternaire correspond au dépôt d'écoulement alluvionnaire de la plupart des vallées des oueds de la dorsale du M'Zab.

Cette recherche se réfère aux travaux de ([G. Busson ; 1970](#)) et aux travaux de l'ANRH de Ghardaïa.

- **Le Barrémien** : caractérisé par des formations détritiques du Crétacé inférieur sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles avec des intercalations carbonatées peu nombreuses.
- **L'Aptien** : renferme 30m en moyen de dolomies avec d'intercalation d'anhydrite et d'argile, c'est un bon repère lithologique pour les sondages.
- **L'Albien** : est déterminé en général par des grès argileux, grès rouges et sables moyens à fins argileux avec une épaisseur de 200 à 300m.
- **Le Cénomaniens** : environ 260m d'épaisseur, caractérisé par des argiles sableuses à la base, d'une série gypso-argileux au milieu et d'une trentaine de mètres à dominance carbonatée vers le sommet.
- **Le Turonien** : essentiellement carbonaté, il est constitué de calcaire dolomitique massif et marne jaune à la base et de calcaire grisâtre à blanc au sommet.
- **Le Sénonien** : représenté généralement par une série argilo-gypseuse à la base et de calcaire dolomitique au sommet.
- **L'Eocène** : d'une épaisseur de 26m au nord de Hassi R'mel, caractérisé par des calcaires blancs à silex et a passées plastiques azoïques.
- **Quaternaire alluvionnaire** : constitué de sables et des alluvions, son épaisseur peut arriver jusqu'à 45m.

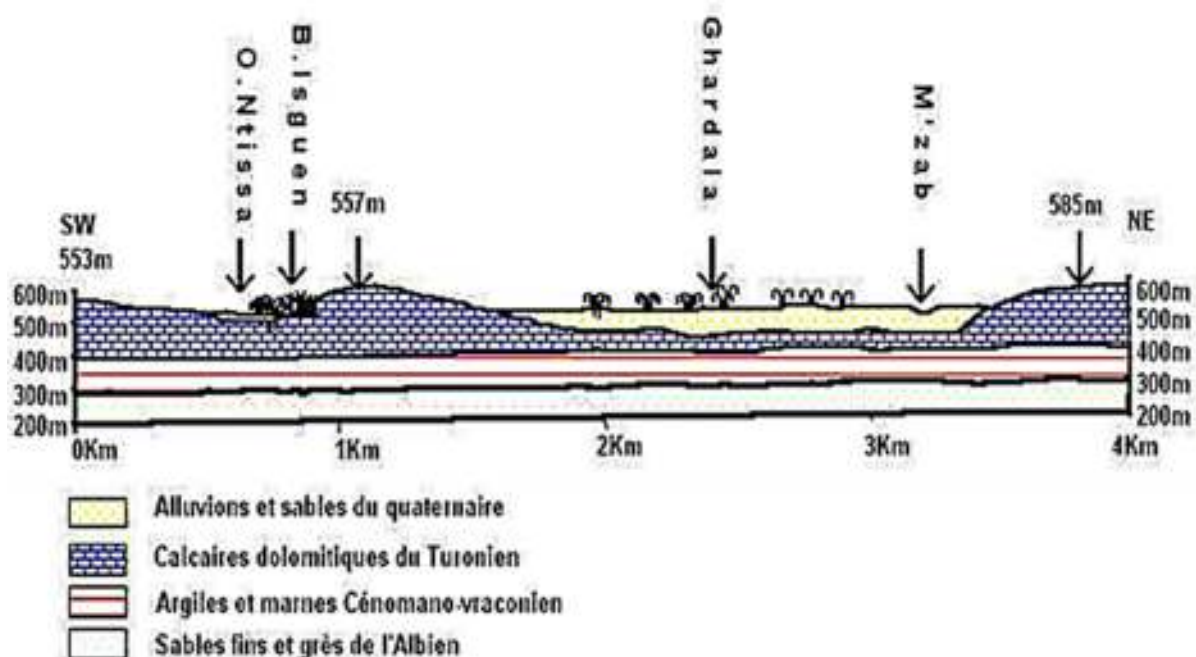
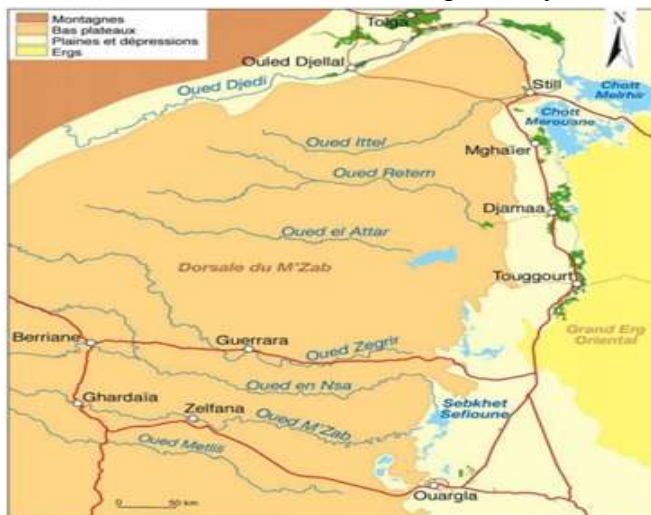


Figure IV.9: Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab ([ANRH 2003](#))

### IV.2.7.Aspect hydrologique

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont: oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab, ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leurs écoulements sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses qui connaît la région. Le bassin versant de l'oued M'Zab présent un chevelu hydrographique important et très ramifié, drainant les eaux de surface vers sebkhet Sefioune près de Ouargla exutoire du bassin. Une étude morphologique semble être très utile, elle nous permettra, en particulier, de classer les cours d'eau selon leur importance et de déceler leur développement. L'ensemble des paramètres calculés sert surtout à comparer les bassins versants entre eux. Ces oueds étaient la seule ressource hydraulique des oasis du M'Zab jusqu'à l'implantation du premier forage artésien à Zelfana entre 1946 et 1948 (Boukraa, 2003 ; Messid, 2009). D'après Dubief (1953), la superficie du bassin versant du M'Zab est de 6000 Km<sup>2</sup> environ, cette superficie se réduit à 1573 Km<sup>2</sup> jusqu'à El Atteuf. Il a été distingué 23 sous-bassins élémentaires pouvant être combinés en de nombreux ensembles, dont les grands bassins suivants : L'oued El Abiod et l'oued Lhadhira, regroupés à leur confluence en l'oued M'Zab à Daya, les bassins aux alentours de Ghardaïa depuis Daya Ben Dhahoua jusqu'à El Atteuf (Fig IV.10).



Désignation	BV
Superficie (km <sup>2</sup> )	1573
Périmètre (km)	181
Longueur principale (km)	84.4
Indice de capacité kc	1.3
Longueur équivalente (km)	69.5
Largeur équivalente (km)	22.5
Indice de pente globale (m / km)	2.7
Indice de pente moyen (%)	0.23
Alt max (m)	764
Alt min (m)	475
Alt moy (m)	684
Temps de concentration (h)	21.2
IVtesse de ruissellement (m/s)	3.9

Figure IV.10 : Les oueds de la dorsale du M'Zab (Ballais, 2010)

#### IV.2.7.1.Oued M'Zab/Oasis

Les crues des oueds du M'Zab sont rares et espacées. Dans la vallée, les palmeraies les plus prospères sont celles de Ghardaïa, avantagée par sa position en amont des autres oasis, et de Béné-Isguen, qui utilise les eaux de l'Oued N'Tissa. L'oasis la moins bien pourvue est incontestablement El-Atteuf, en raison de sa situation en aval. Il faut que la crue soit exceptionnellement puissante pour qu'elle parvienne à El-Atteuf.

Selon les données rapportées par (Dubief 1953 ; Teissier 1965), il y a eu 67 jours de crue dans l'Oued M'Zab durant quarante ans, entre 1921 et 1961 soit 16 jour de crue par an. Les crues sont irrégulièrement espacées et au cours de certaines années, nous comptons jusqu'à cinq mois ayant eu une ou plusieurs crues tandis que les périodes de sécheresse peuvent s'étendre sur plusieurs années. Les écoulements sont plus ou moins importants, parfois catastrophiques comme le cas de la crue dévastatrice du mois d'octobre de l'année 2008.

Une étude des crues de l'oued M'Zab (BRL, 1998a ; Ould Baba Sy 2005) a estimé les débits de crue décennale et centennale à 205 et 722 m<sup>3</sup>/s.

Les effets des crues sur les oasis de la région sont :

- Elles participent à l'alimentation de la nappe phréatique en eau directement et aussi par le biais des puits réalisés à cet effet ;
- Elles améliorent les sols en apportant un amendement naturel et régulier des sols ;
- Elles lessivent les terres agricoles.



#### IV.2.7.2. Les inondations dans la vallée du M'Zab

La région de Ghardaïa présente une vulnérabilité très élevée face aux risques d'inondations, surtout dans les secteurs où les constructions et les activités économiques se sont développées, telles que la palmeraie et le lit majeur de la vallée de l'Oued M'Zab. Le rôle de l'aléa météorologique dans la genèse de ces inondations a été aussi amplifié par l'activité humaine, notamment par une urbanisation anarchique, ainsi que l'élan du développement économique dans la palmeraie et les zones inondables. Cette situation risque même de s'empirer avec le « changement climatique » (Medejerab, 2009).

Les crues peuvent être parfois considérables et peuvent submerger complètement tous les jardins, par exemple celles de décembre 1922 et d'octobre 1950. Les habitants ont été obligés de féconder leurs palmeraies ou récolter leurs dattes à l'aide de radeaux improvisés (Dubief, 1953).

#### IV.2.7.3. Inventaire des crues de la vallée du M'Zab

Étant donné que les mesures de débit sur les Oueds sahariens n'ont jamais été réalisées vu les conditions climatiques, néanmoins des observations qualitatives de ces crues ou leur trace ont depuis longtemps existé. Parmi ces observations notons celles des tolbas (savants religieux) de Ghardaïa auraient conservé depuis 1728 des informations sur ces crues. Il ne nous a pas été possible d'obtenir des renseignements à ce sujet. D'après Matylinski -1885 (in Dubief 1963), il est rapporté qu'en 1264 de l'Hégire, soit autour de 1848 après JC, à la suite d'une longue période de « sécheresse » qui aurait duré sept ans, une crue formidable a causé des dégâts importants dans toute la vallée de l'oued M'Zab. Les habitants d'El Atteuf se sont réfugiés dans les mosquées. À Ben Isguen 300 maisons auraient été détruites.

Les plus anciennes crues notées dans les archives françaises sont celles d'octobre 1884 et du 15 janvier 1886. De 1887 à 1900, il n'y a aucun document. Les observations sont à nouveau notées pour la crue catastrophique du 30 septembre 1901. Les mozabites l'appelèrent "la rivière qui balaie tout" en raison de sa violence exceptionnelle. La hauteur d'eau atteignit 10 m avant la rupture du barrage. L'inondation dépassa 2 m de hauteur dans la palmeraie. Tous les barrages furent détériorés. L'oued coula à plein bord pendant deux jours et atteignit la Sebkhet Safioune.

En 1902 et 1903, Charlet (in Dubief, 1953) IVt couler l'oued à trois reprises, notamment les 17 et 18 septembre 1903. Plus tard, les 18 et 19 février 1906, les oasis d'El Atteuf et de Beni- Isguen furent inondées par une crue. D'autres crues furent observées en avril et octobre 1909.

Des crues furent ensuite observées les 7 et 8 février 1914, ainsi que le 20 juillet 1915. De l'été 1915 au printemps 1920, on rapporte une longue période de sécheresse, une crue intervenant enfin à cette dernière date. (Roche. M.a.1996).

Entre 1921 et 1951, 35 crues se sont produites. Ce nombre passe à 25 crues pour la période 1938 à 1951 telle que la crue Noukarra en 22 septembre 1952 ; la crue du 17 novembre 1980 qui fut accompagnée de quatre (04) jours de précipitations, une pluviosité de 98.8 mm a été enregistrée ; - La crue du 3 juin 1991 a détruit partiellement la digue d'El Atteuf. - La crue du 29 et 30 septembre 1994 pendant laquelle 151mm de pluie ont été enregistrés avec un débit de 873 m<sup>3</sup>/s.

#### IV.2.7.4. Inondations d'octobre 2008

Les pluies diluviennes, qualifiées de « tsunami fluviale », accompagnées de violents orages, ont commencé le lundi 29 septembre 2008, après quatre années de sécheresse. La pluie a continué progressivement le mardi avec une intensité moyenne, puis le mercredi 1er octobre le jour de l'Aïd, c'était le déluge, avec une pluie diluvienne, totalisant près de 150 mm en une heure. Les principaux oueds de la région (M'Zab, Zeghir, N'sa, Metlili) ont fonctionné à plein régime.

Selon les sources locales, c'est la première fois depuis 70 ans que les trois oueds affluents de l'oued M'Zab sont en crue. Habituellement seul un des trois oueds déborde sans mettre en danger les populations environnantes. Les autorités parlent d'un débit de 900 m<sup>3</sup>/s. L'Agence Nationale des Ressources hydrauliques (ANRH) l'a estimé à 1200 m<sup>3</sup>/s (Medejerab, 2009). Cette catastrophe qui a touché la ville est liée, d'une part, à l'intensité de l'aléa concerné et d'autre part, à la vulnérabilité de cette région aux inondations (Medejerab, 2009).

C'est une crue exceptionnelle puisqu'elle a atteint la Sebkha Séfiouane. Dubief, qui a travaillé plus de 40 ans sur les précipitations au Sahara algérien, retient le fait que si lors d'une crue les eaux atteignent la Sebkha Sefiouane, considérant que celle-ci est cinquantenaire.

À Metlili située à 40 km au nord de la ville de Ghardaïa, une hauteur d'eau de 6 m a été enregistrée, alors qu'en aval de Ghardaïa, celle-ci a frôlé les 10m. Ce déluge a entraîné l'effondrement d'une retenue collinaire construite en 2005 au niveau de l'oued Laadhira situé à 20km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa. En effet, les fortes pluies ont engendré une accumulation des eaux sur un rayon d'environ 2 km. La pression de l'eau a provoqué une brèche de 70m dans la retenue.

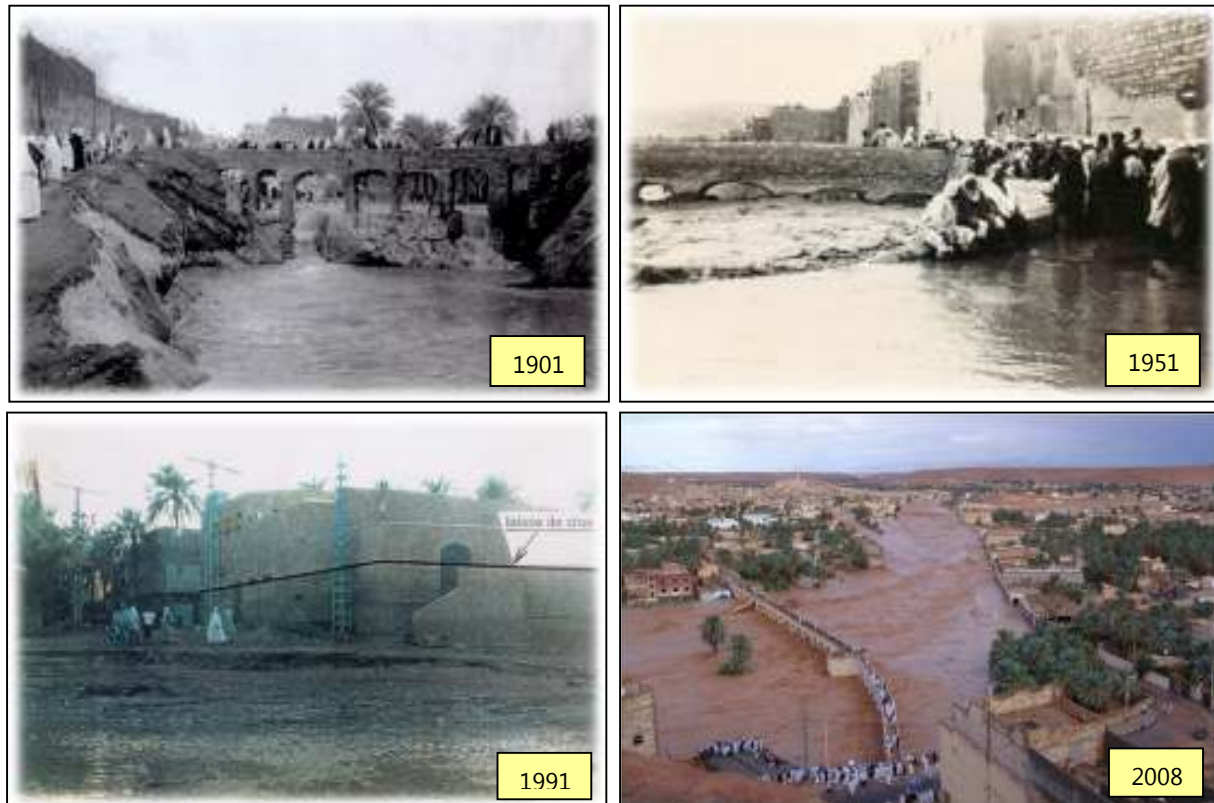


Figure IV.11: Historiques des inondations de la vallée du M'Zab (CSDS; 2015)

#### IV.2.8.Aspect hydrogéologique

Les principales ressources en eau de la vallée sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères; la nappe phréatique superficielle d'Infero flux et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albiennaise (ANRH, 2011).

- **La nappe phréatique**

Elles sont abritées dans les alluvions de Oued M'Zab. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont étroitement liés à la pluviométrie. La profondeur du niveau d'eau varie entre **10 a 30m** dont leur niveau statique de l'ordre de 6m. Leur recharge est assurée grâce à l'infiltration des pluies, améliorée par des dispositifs ingénieurs: barrages retardant l'écoulement des crues (sur l'oued M'Zab en particulier) ou murettes concentrant et dirigeant le ruissellement sur les calcaires des flancs des vallées. Les crues des oueds jouent un rôle primordial dans le régime de ces puits. Lors de chaque crue, le niveau de l'eau s'élève dans les puits. Il s'abaisse ensuite plus ou moins lentement, pour arriver à son minimum. Parfois même, l'eau disparaît complètement. Tous les puits du M'Zab ne se comportent d'ailleurs pas de la même manière après la crue ; la nappe souterraine n'est pas absolument homogène. Cette nappe est captée par des milliers de puits traditionnels (d'environ 5716), et destinés essentiellement, pour irriguer les palmeraies des vallées avec un débit de l'ordre de 1 a 3 l/s , un temps de pompage arrive a 8h/j. Notons que la qualité chimique de cette nappe est mauvaise et impropre à la consommation surtout à l'aval suite à leur contamination par les eaux urbaines.

- **La nappe du Continental Intercalaire (CI)**

Elle recouvre une superficie d'environ 1100000 km<sup>2</sup> (Algérie, Tunisie et Libye) et fut « progressivement reconnu et délimité entre 1940 et 1960 » (Dubost, 1991). Elle représente la principale ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grès et d'argiles sableuses d'âge Albien., elle est captée à une profondeur 400 m et -1000 m environ (Côte, 1996). Suivant l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, elle est jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage dans les zones de Zelfana, Guerrara, Hassi l'Fhel et HassiGara, exploitée par pompage à des profondeurs variant de 0,5m à 140m dans les zones de Ghardaïa, Metlili, Berriane, Sebseb, Mansoura et certaines régions d'El Menia (Fig IV.12). La nappe du continental intercalaire est exploitée par des forages ont des débits unitaires moyens de l'ordre de 40 à 80 l/s, peuvent s'élever jusqu'à 100 l/s. La nappe est artésienne, mais le niveau de refoulement n'atteint le haut du puits qu'en peu d'endroits. Il faut noter que les forages profonds sont coûteux et posent des problèmes de maintenance non résolus qui raccourcissent leur durée de vie. C'est cette nappe qui a permis de faire face à l'accroissement des besoins en eau dans l'oasis d'une part et a permis la poursuite du développement de la l'oasis d'autre part.

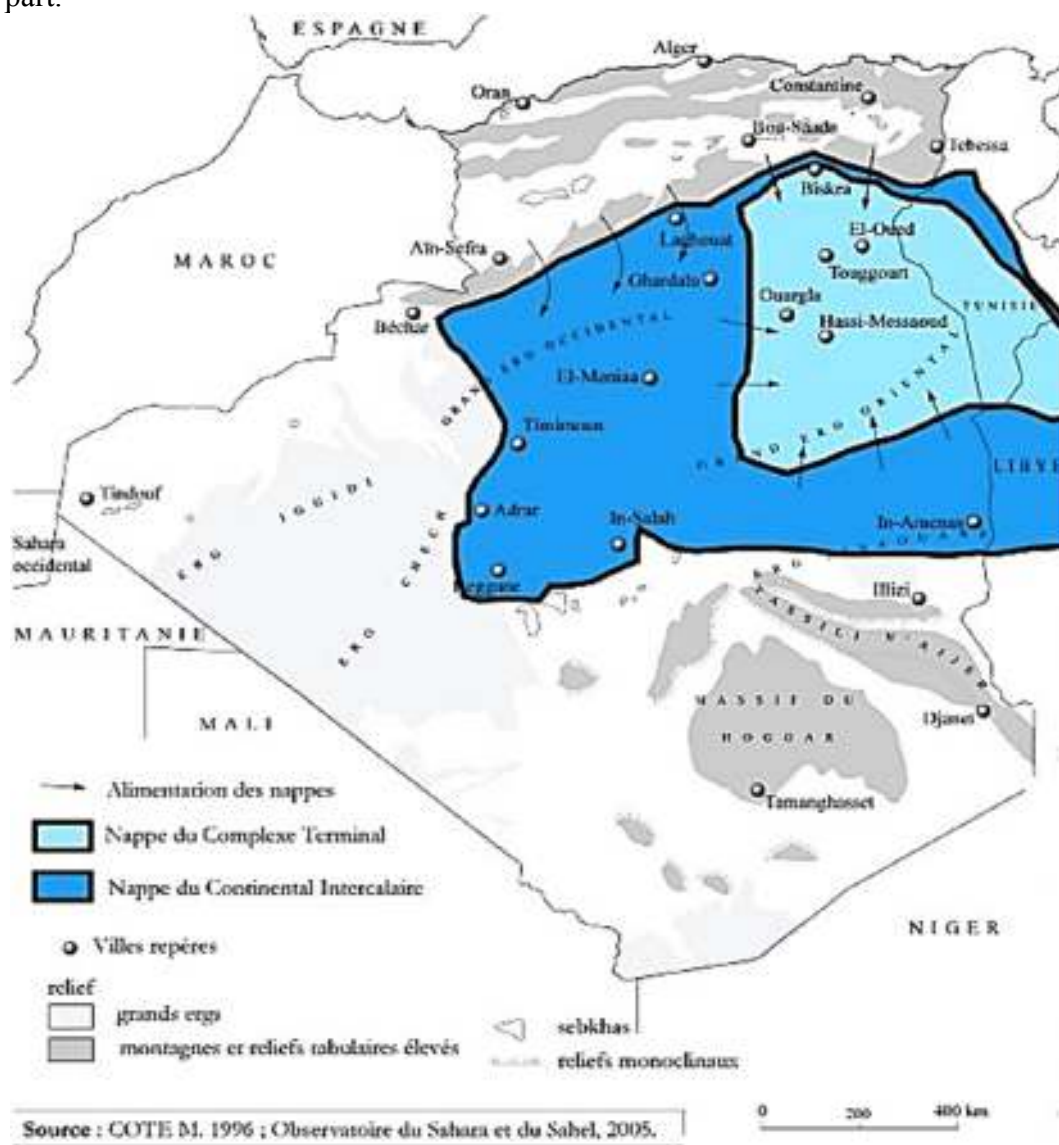


Figure IV.12 : Domaine du Système d'Aquifère du Sahara Septentrional (Cote.M, 1996).

### IV.2.9. Pédologie

Les sols de la vallée du M'Zab sont d'apport alluvial et éolien de 6 à 7 m de profondeur, ils sont favorables à l'agriculture, par contre la dorsale du M'Zab qui entoure la vallée appartient aux Regs autochtones (Pavard, 1975). Les sols de la vallée du M'Zab sont peu évolués, meubles, profonds et présente une texture sablo-limoneux avec un taux de sable proche de 80% et un taux d'argile faible (4 à 8%), sa texture permet un drainage naturel suffisant. Le taux de matières organiques est très bas (1%), ceci est dû à l'aridité du climat, qui favorise la minéralisation très rapide du moindre débris organique. Ces sols sont peu à modérément calcaires et présentent un pH neutre et une conductivité électrique moyenne (Tab IV.3).

La salinité des sols est relativement élevée par rapport à l'ensemble des sols de la région, en effet l'évaporation après ressuyage des sols provoque des remontées capillaires entraînant des accumulations salines dans les horizons superficiels. La C.E.C. est moyennement faible. Ces sols sont alcalins à fortement alcalins et présentent une faible teneur en gypse (Khadraoui, 2007).

Tableau IV. 3 : Résultats d'analyses des sols dans la vallée du M'Zab (Khadraoui, 2007).

Granulométrie			
Analyse	Profondeur (cm)		
	0-25	25-45	45-120
Argile (%)	4	7	5
Limon (%)	18	15	15
Sable (%)	78	78	80
Matière organique et réserves minérales			
Matière organique (%)	1,3	0,9	0,9
Carbone (%)	7,9	5,1	6,3
Azote (%)	0,9	0,4	0,6
C/N	9	8	9
CaCO <sub>3</sub> (%)	12,44	11,08	11,56
Solution en Sol			
pH	7,58	7,88	7,86
Ce (mmhos/cm)	14,6	11	13,84

### IV.3. Plan humain

#### IV.3.1. Historique d'urbanisation : Équilibre Homme /environnement

L'édification des cinq ksour (El'Atteuf en 1012, Bounoura en 1046, Ghardaïa en 1053, Melika en 1124 et Béni-Isguen en 1347) (B. Benyoucef, 1986) ou petites villes fortifiées qui composent la vallée n'est pas le fait du hasard. La création du ksar, comme ses agrandissements, a été délibérée (C. et P. Donnadieu / H. et J.-M. Didillon). Le groupe fondateur choisissait un site selon les possibilités de défense militaire et la disponibilité des ressources en eau, condition qui assure la création de palmeraies indispensables à l'installation humaine. La taille du ksar et l'importance de son espace bâti sont fonction des capacités nourricières du terroir. Quand il est capable, de se développer pour recevoir l'évolution démographique, le ksar se démultiplie, certains écrits relatent aussi qu'une fois la croissance démographique dépasse les capacités de la mosquée, il convient d'en édifier une autre au sommet d'un piton et de fonder une nouvelle ville autour d'elle. Cette règle a été, durant des siècles, le principe constant de la croissance urbaine par multiplication de noyaux, en dehors des étalements urbains opérés depuis 1955.

Les fondateurs devaient rationaliser l'acte d'occupation de l'espace en superposant au schéma de variété naturelle, un schéma de variété fonctionnelle. Les sols au fond de la vallée, sillonnés par les cours des oueds, sont affectés à la végétation et à l'aménagement des oasis (palmeraie) alors que les monticules rocheux étaient désignés pour l'implantation des cités. Chacun de ces sites constitue la limite de l'autre (B. Benyoucef, 2009). L'espace bâti, contenu dans des remparts, est structuré par trois éléments artificiels et symboliques, le puits garant de la vie, la tour garante de la paix et l'aire de prière garante de la doctrine. L'homme et la nature occupent harmonieusement le

territoire. Le social, l'économie et l'environnement sont réunis dans une forme de durabilité pour une vie saine et pérenne dans la vallée.

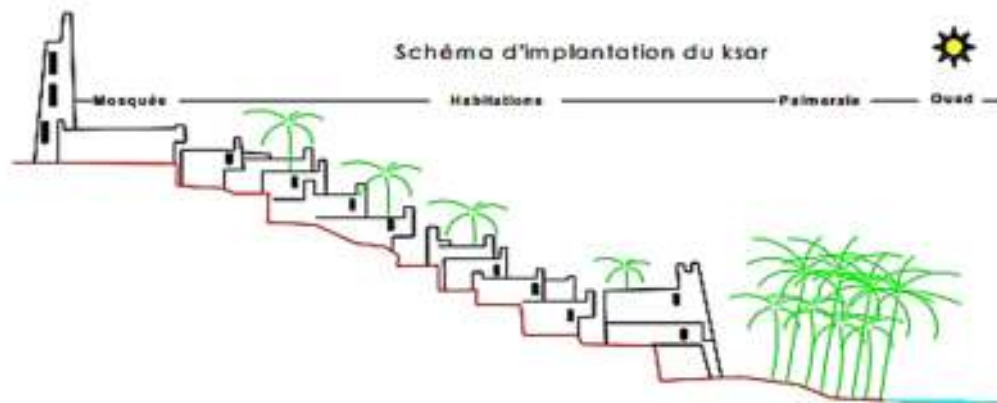


Figure IV.13: Schéma d'implantation du Ksar (Chabi M. et al; 2011)

### IV.3.2 Évolution de population 1955-1987

La vallée du M'Zab porte une importance stratégique dans la wilaya où elle regroupe 49 % de la population en 1966 ainsi qu'en 1877 et le 44 % en 1987; le taux d'accroissement élevé entre 1948 et 1955 probablement consécutif à la mise en exploitation de la nappe albienne dès 1938. Un accroissement important de Bounoura entre 1955 et 1966 dû certainement à l'implantation de l'industrie; notons que le taux d'accroissement de la population de la vallée du M'Zab est identique à celui de la wilaya pour la période 1966-1977, mais notablement inférieure pour 1977-1987, indice du degré d'urbanisation plus grand de cette région.

Tableau IV. 4 : Population de la vallée du M'Zab de 1955 à 1987 (BG ; 2000)

Communes	1955	$\tau$ (%)	1966	$\tau$ (%)	1977	$\tau$ (%)	1987
Ghardaia	21 168	3	29 421	4,83	49 129	2,41	62 518
Bounoura	1 753	17,3	10 100	2,62	13 373	3,39	18 751
El Atteuf	2 720	5,1	4 707	2,85	6 387	3,11	8 713
Daya	-	-	1 049	8,26	2 485	8,4	5 621
Total	25 641	8,47	45 277	4,64	71 374	4,3	89 982

### IV.3.3. Évolution de population 2008-2018

Le recensement de l'office national des statistiques (ONS) en 2008 indiquait une population de la vallée du M'Zab de l'ordre de 158231 habitants, l'estimation de celle-ci pour 2018 passe à 182125 soit une augmentation de 23894 habitants dans 10 ans avec un taux d'accroissement global de 1,5 % (Tab IV.5)

Tableau IV. 5 : Population de la vallée du M'Zab de 2008 à 2018

Horizon	2008	$\tau$ (%)	2010	2015	2018
Ghardaia	93423	0.7	94735	98098	100173
Bounoura	35405	2.5	37197	42085	45321
El Attuef	14752	1.5	15198	16372	17120
Daya	12643	3.3	13491	15869	17493
Total	158231	-	162632	172424	182125

#### IV.4.Situation hydraulique de la vallée du M'Zab

##### IV.4.1.Secteur d'AEP

Le réseau de distribution d'eau potable de la vallée du M'Zab dont le linéaire s'étend sur plus de 460km avec un taux de raccordement est de 95% , s'est doté de 46 forages mobilisés pour l'eau potable pompant un volume annuel d'environ 24 Mm<sup>3</sup>/an pour satisfaire les demandes de 7,75 Mm<sup>3</sup>/an estimés en 2010. Ces chiffres montrent clairement un écart remarquable entre les volumes d'eau distribués et les besoins de la population, cet état de fait indique un gaspillage certain de la ressource hydrique, cette situation pourrait être engendrée par des fuites trop importantes dans les réseaux de distribution de l'eau potable et/ou un gaspillage du a une consommation irrationnelle par les utilisateurs.le volume d'eau distribue pourraient traduire une double destination (AEP et irrigation) et par conséquent un moindre gaspillage.

La régulation et le stockage, au niveau de la vallée est assuré par des baches et châteaux d'eau répartie sur les communes pour une capacité de total de l'ordre de 57000m<sup>3</sup> situés généralement au niveau des Crête de la région

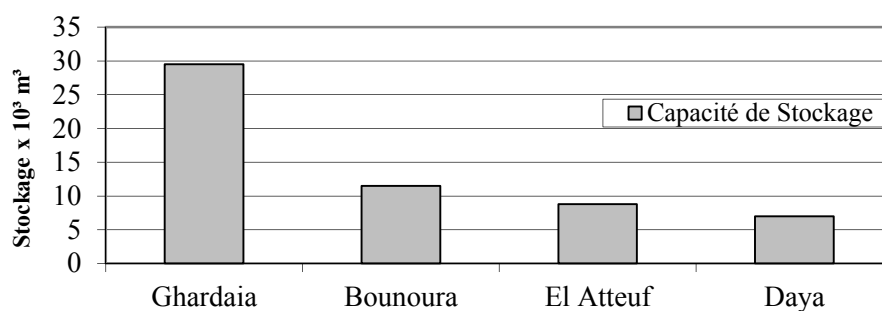


Figure IV.14 : Capacité de Stockage des Réservoirs -2010 (ABHS ; 2014)

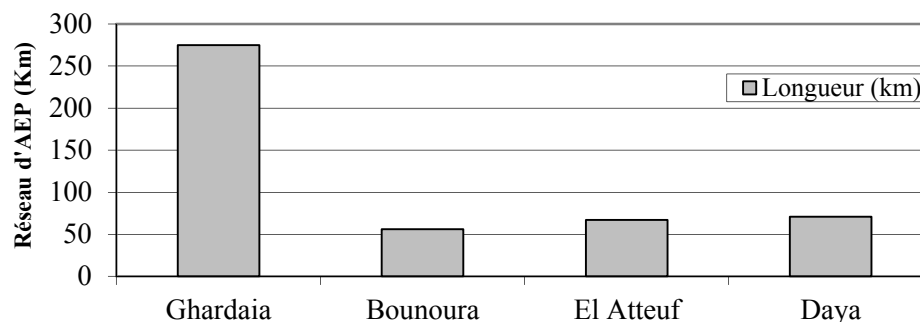


Figure IV.15 : Réseau d'AEP de la vallée -2010 (ABHS ; 2014)

##### IV.4.2. Secteur d'irrigation

Le secteur agricole de la vallée du M'Zab est limité, il est à vocation phoénicicole caractérisée par deux systèmes d'exploitation oasiens de l'ancienne palmeraie et la mise en valeur.S'étale sur une SAU de l'ordre de 5286 hectares ou l'irrigation concerne 68% de la superficie.les cultures dominantes dans la vallée sont les palmeraies dattiers qui représente 75% des cultures pratiques, 15% pour les cultures maraîchères.

L'irrigation des 5286 hectares est assurée par un volume d'eau de 85,3 Mm<sup>3</sup> au moyen de 1535 points d'eau soit une dotation de l'ordre de 16137 m<sup>3</sup>/ha/an, la distribution est très hétérogène entre les communes et l'on assiste potentiellement a une meilleure dotation pour quelques communes par rapport a d'autre.

La mobilisation de l'eau est assurée principalement par des puits et accessoirement par des forages; le mode d'irrigation est gravitaire et se pratique sur environ 90% de la superficie irriguée, suivi par le goutte à goutte sur 10%.

Le patrimoine phoénicicole de la vallée compte 150.000 palmiers productifs pour une production annuelle moyenne de 50.000 tonnes, dont 25.000 de type DegletNour qui représente 16% de la

totalité des palmeraies. Avec l'extension des surfaces, le secteur de l'agriculture offre de grandes perspectives de développement (DSA, 2015).

Tableau IV. 6 : Caractéristique du système d'irrigation (DSA.2015)

Commune	SAU (ha)	Forages (CI)		Puits (phréatique)		Volume Total Mm <sup>3</sup> /an
		Nbr	Volume (Mm <sup>3</sup> /an)	Nbr	Volume (Mm <sup>3</sup> /an)	
Ghardaia	1591	13	13,46	457	14,41	27,87
Bounoura	923	7	5,58	310	9,77	15,35
El-Attuef	993	12	14,5	283	7,5	22
Daya	1779	13	12,23	440	7,9	20,13
<b>Total</b>	<b>5286</b>	<b>45</b>	<b>45,77</b>	<b>1490</b>	<b>39,58</b>	<b>85,35</b>

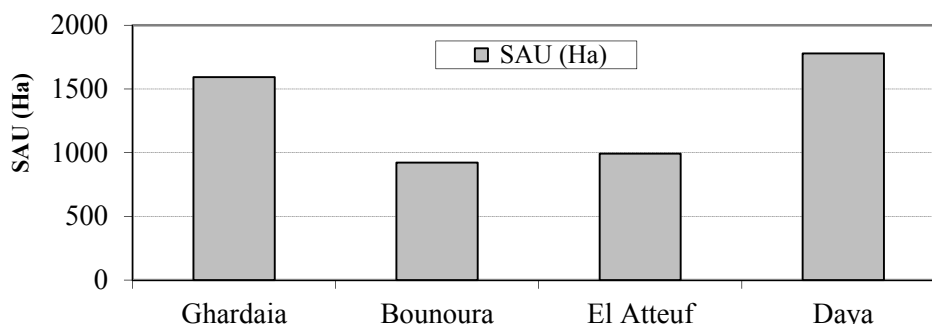


Figure IV.16: Superficie agricole utile (SAU) de la vallée du M'Zab

#### IV.4.3. Secteur d'assainissement

##### IV.4.3.1. Historique de l'assainissement de la vallée du M'Zab

- **Situation 1978-1982**

En 1978, un **drain - collecteur** a été creusé dans le lit de l'oued pour évacuer à l'aval les eaux qui y stagnaient (SEHA, 1978) ou parfois en vu un disjoints des tuyaux au plein d'Oued

Une deuxième opération fait à travers une tranchée dans le lit d'Oued remblayé au moyen d'enrochements au milieu desquels une conduite en acier perforée et non jointive fait office de collecteur de drainage revêtu des deux côtés par des murettes en béton ou par des gabions.

Ce système a dû jouer son rôle, mais il a mal résisté aux crues qui l'ont ensablé et même détruit en partie. (BG, 1996).

Les travaux de l'extension des **réseaux de collecte** des eaux usées de la vallée du M'Zab ont été lancés depuis 1983 pour la plupart des centres urbains de la vallée (SEHO, 1983)

- **Situation en 1983**

Un collecteur principal qui ne dépasse les 10km de sa longueur et d'un diamètre variant de 350 mm à 800mm pour les eaux usées de type amiante-ciment, depuis Lotissement Idder jusqu'à l'entrée d'El Attuef,

- **Situation en 1997**

Un collecteur principal de 15km en CAO dans le lit de l'Oued M'Zab dont les diamètres variant de 500 à 1000 mm; ce dernier représente 66% de la totalité de collecteur qui commence à partir de l'aval de la digue d'El Attuef jusque barrage mlika; la partie amont a des diamètres de 500mm qui représente 16% de la totalité de collecteur commençons à partir de Pont SNTV a karkoura. En particulier les habitations de la localité de Daya sont raccordées à des fosses perdues isolées. Quelques regards ont cependant été construits dans le lit de l'oued.

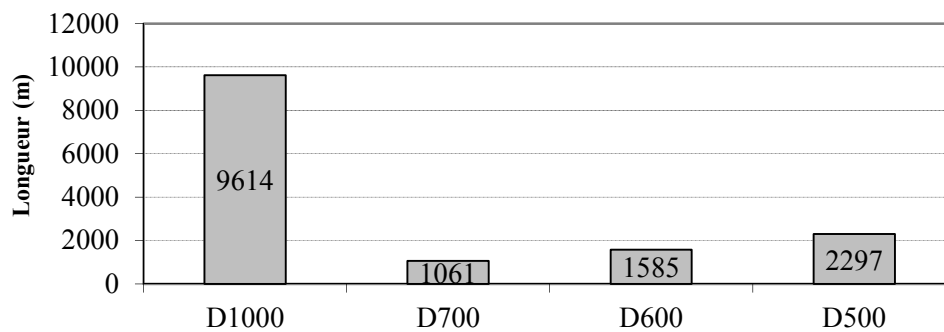


Figure IV.17 : Longueur du collecteur principal /Diamètre -1997 (BG ; 2000)



Figure IV.18: Disjoints des tuyaux et rejets au plein d'Oued -1997 (BG; 2000)

- **Situation avant 2008**

La situation sanitaire dans la vallée du M'Zab n'était pas acceptable. En plusieurs endroits les eaux usées encombraient les lits des oueds. Ceci était dû soit à des raccordements défectueux, soit à l'inexistence de collecteurs principaux. La recharge de la nappe par les eaux usées se trouvait ainsi favorisée et polluait la nappe qui a eu pour conséquence le dépérissement des palmeraies dans certaines zones du fait notamment de la salinité élevée. L'interférence des réseaux d'eau potable et des eaux usées dans les traversées des lits de l'oued faisait courir à la population des risques épidémiologiques. D'autre part et en raison des pressions sociales, économiques et foncières, les oueds ont été aménagés, déviés réduisant ainsi d'une façon notable la section de l'oued en augmentant ainsi la vulnérabilité des personnes et des biens.

#### IV.4.3.2. Collecteur principal après les Crues 2008

La mise en place d'un collecteur principal de 23 km de longueur avec des diamètres variant de 400 mm à 2 x 1000 mm pour les eaux usées, depuis Daya jusqu'à la digue d'El Atteuf,

Dans le détail

- Les travaux ont été achevés en janvier 2008 qui permis de réaliser 3600 ml en Ø 1000 et 1400 ml en galerie ovoïdale y compris tous les ouvrages annexes , déversoirs d'orages et le dallage de l'oued au niveau du pont ADDAOUUD (DRE 2012).
- La deuxième tranche reliant Pont ADDAOUUD et DAYA a permis de réaliser 4300 ml de collecteur Φ 800 et Φ 700 et 2000 ml en galerie (DRE 2012).
- La troisième tranche qui concerne les communes de DAYA et EL ATTEUF entamé en octobre 2008 a permis de réaliser 6500 ml de mur en pierré maçonné, 1428 ml de mur en béton, 5300 ml de collecteur principal en Φ 1000 et un passage submersible de 110 ml (DRE 2012).





Figure IV. 19: Collecteurs principaux d'assainissement (DRE 2012)

**IV.4.3.2. Assainissement de la vallée en 2010**

Le réseau d'assainissement de la vallée du M'Zab compte plus de 290 km de longueur auquel 95% de la population des trois communes la vallée est raccordée, par contre reste la commune de Daya non raccordée a ce jour, il est quasi totalité séparatif en bon état, le volume d'eau use évacuée à travers le réseau de la vallée est estimé par 16964 m<sup>3</sup>/j en 2010, les eaux drainées s'écoulent vers l'oued M'Zab comme milieu récepteur

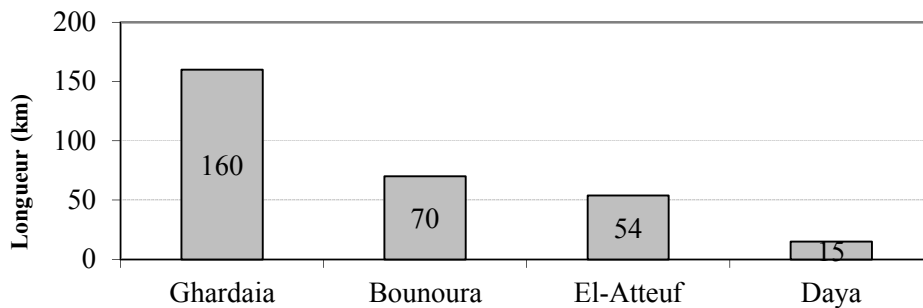


Figure IV.20: Longueur de réseau d'assainissement de la vallée -2010

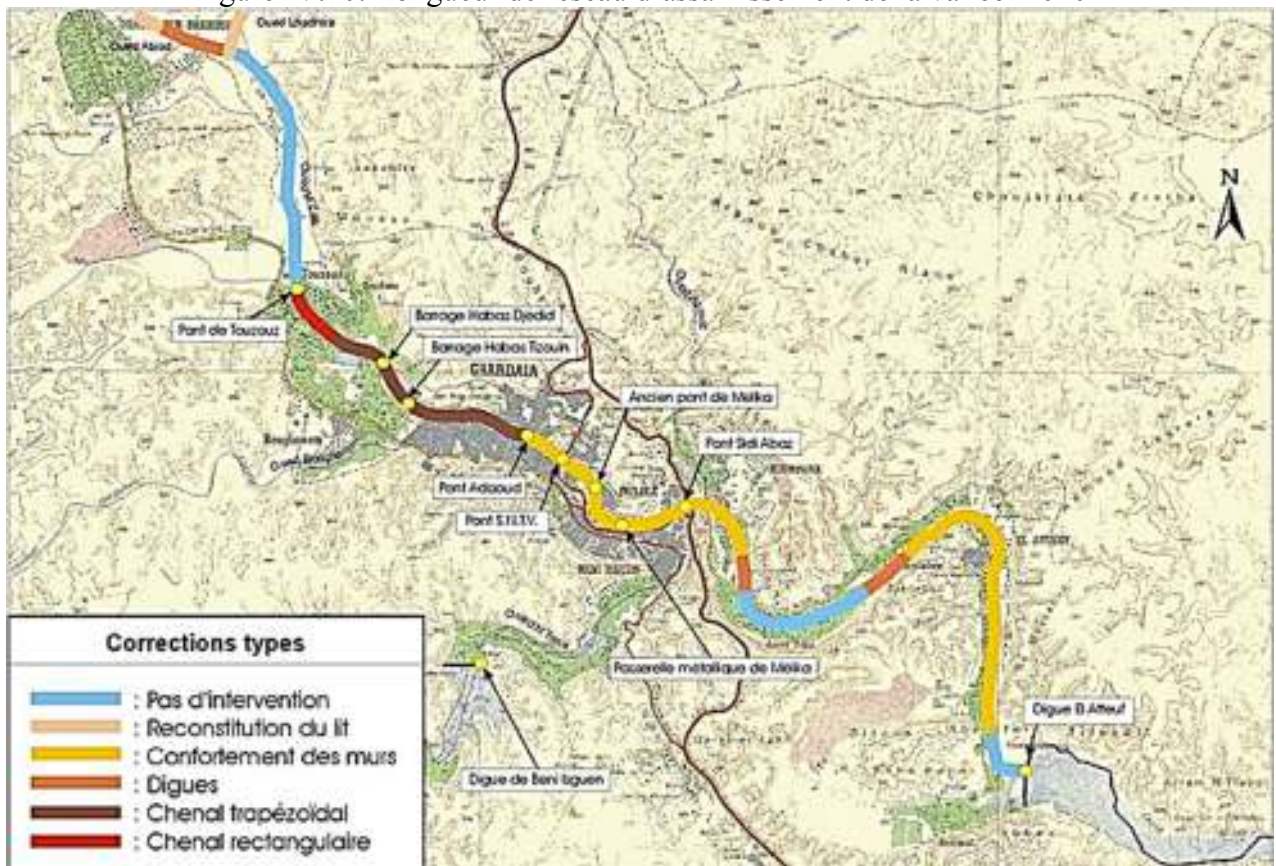


Figure IV.21: Aménagement d'oued M'Zab à travers la vallée

#### IV.4.4. Barrages de régulation

Tous les temps, les crues de la vallée sont retombés bénéfiques sur la vie quotidienne de la population locale et sur l'écosystème, mais la crue du 01 octobre 2008 qualifiée exceptionnelle a eu en revanche des conséquences tragiques en pertes humaines et matérielles. Elle a été évaluée à  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$  (Medejerab, 2009). Cette crue a submergé le système hydraulique et a détruit plusieurs ouvrages.

Les dégâts matériels occasionnés sont principalement dus aux coulées boueuses liées au transport de matière en suspension (MES) pendant la crue. En règle générale, le périmètre d'une étude doit remonter suffisamment en amont pour trouver les solutions, et suffisamment à l'aval pour diagnostiquer toutes les conséquences d'une action (Poulard et al., 2013).

Les pouvoirs publics algériens ont déployé, des efforts considérables visant à mettre en place un plan pour la protection de la vallée du M'Zab contre les crues cycliques de l'Oued, portant notamment sur la réalisation de nombreux ouvrages hydrauliques tant en amont de la vallée qu'à son aval, le calibrage et l'endiguement de l'oued M'Zab sur plusieurs kilomètres.

Les ouvrages en amont sont des digues de rétention (Fig IV.22), dont la hauteur, sur terrain naturel est respectivement de 15 m, 17 m et 9 m pour les sites d'El Abiod (barrage écrêteur des crues dans la partie amont du bassin), El Haimeur et Bou Brik. (Benmamar S et al ; 2016). L'analyse des données hydrologiques de la vallée du M'Zab par le bureau d'études Suisse BG a fixé le débit de crue centennale à  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  régulé avec les digues de rétention amont oued Labiodh, ELhimeur et Boubrik à  $140 \text{ m}^3/\text{s}$  soit un laminage de 80%, une crue millénale de  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$  régulée à  $340 \text{ m}^3/\text{s}$  soit un laminage de 72% et une crue décennale de  $1800 \text{ m}^3/\text{s}$  régulée à  $690 \text{ m}^3/\text{s}$  soit un laminage de 62%. Ces débits sont délivrés par une vidange de fond constituée d'un pertuis protégé d'une grille largement dimensionnée, suivi d'un conduit bétonné de section approximative  $1,5 \text{ m}^2$ . Pour les événements plus rares, les crues sont évacuées par un évacuateur à surface libre, dont la longueur déversante est respectivement de 150, 150 et 75 mètres. Une forte implication de la société civile a entraîné de multiples modifications dans la réalisation de ces ouvrages. (Benmamar S et al ; 2016)

L'ouvrage le plus important est la digue de **Oued Labiodh** qui a une capacité de 27 millions de  $\text{m}^3$  avec un débit de relâche du pertuis de fond de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  qui assure la recharge de la nappe phréatique qui est un procédé très ancien utilisé dans toute la vallée pour emmagasiner de l'eau. Cette digue résiste même à une crue décennale de l'ordre  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

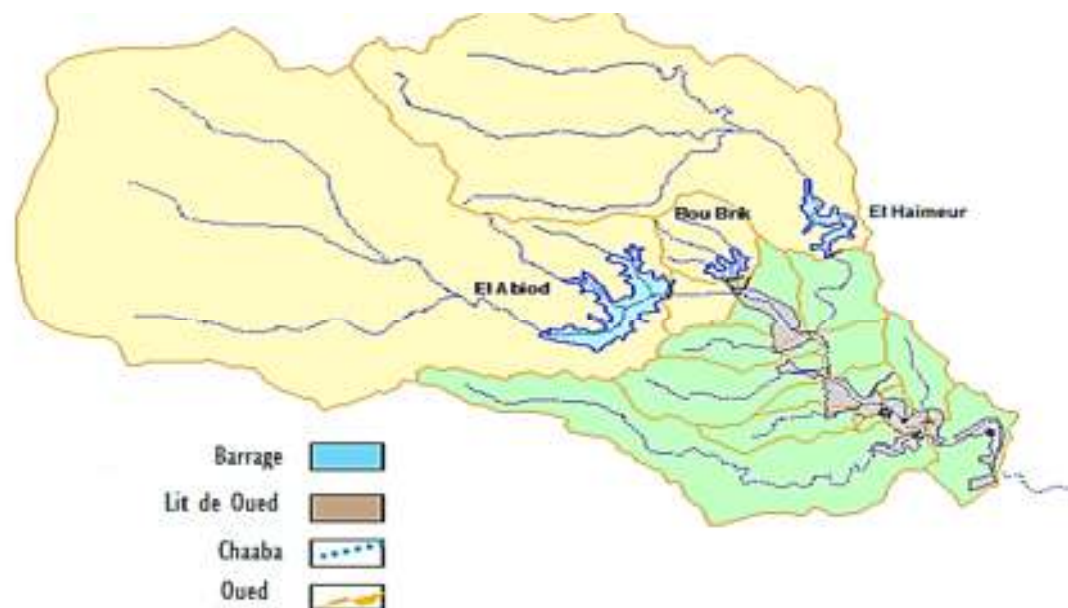


Figure IV. 22: Emplacements des barrages de la vallée du M'Zab (DRE.2012)



Figure IV. 23: Dignes la vallée du M'Zab (EL himeur - Boubrik) (DRE.2012)

Tableau IV. 7 : Caracterstiques des barrages de la vallée du M'Zab (DRE. 2012)

Ouvrage	Coordonnées (UTM)			Capacité Mm <sup>3</sup>	Apport liquide Mm <sup>3</sup> /an	S(bassin) km <sup>2</sup>	S eau (km <sup>2</sup> )
	X	Y	Z				
<b>EL Abiodh</b>	549,533	3604,085	554	27,4	9,4	769	4,47
<b>El Hameur</b>	561,138	3605,862	543	19,6	6,7	381	2
<b>Boubrik</b>	552,800	3604,600	547	3,5	1,2	35	0,6

#### IV.4.5.Epuration des eaux usées

##### IV.4.5.1.Station d'épuration 1987

La première station d'épuration installée pour la vallée du M'Zab est implantée en rive droite de l'oued M'Zab, dans le lit majeur, juste à l'aval de Bounoura. A été mise en service a lieu en 1987, réalisé pour 60.000 eq habitants et un débit global de 500 m<sup>3</sup>/h dont la presseuse d'épuration, été en boue activée avec une charge polluante rejetée de 70g/j/hab (BG, 1996).

Sa position dans le lit majeur de l'oued M'Zab sans aucune protection contre les crues, la station a subi une importante inondation qui a détérioré une bonne partie de ses installations. la station est à l'arrêt depuis l'année de mise en service des tassements différentiels importants ont causé l'ouverture des joints des bassins d'oxydation qui ne peuvent plus remplir leur rôle(BG, 1996)

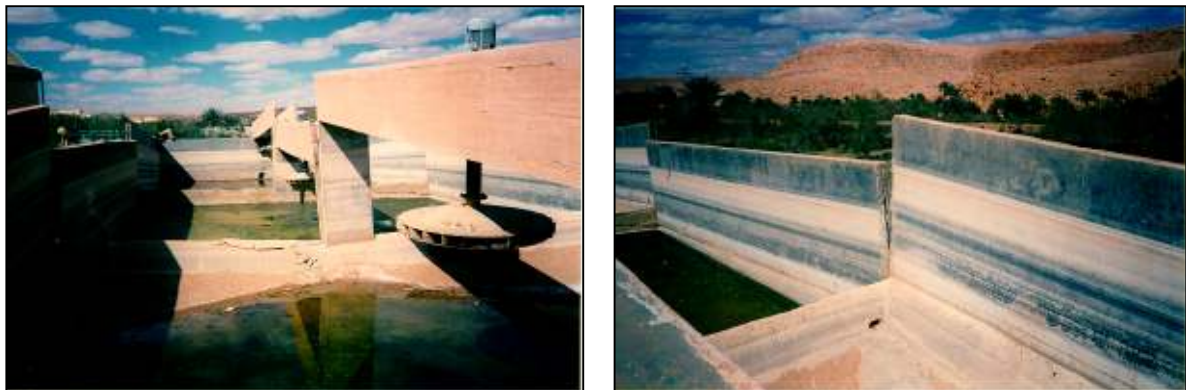


Figure IV. 24: État de la première station d'épuration (BG, 1996)

##### IV.4.5.2. Station d'épuration 2012

La station d'épuration de Kef Doukhane fait partie de la commune d'EL ATEUF qui constitue l'aval de la vallée du M'Zab. est situé à environ 21 km au sud-est de la Ville de Ghardaïa, à l'aval de la digue d'EL-ATTEUF (Fig IV.28). A été construit pendant la période 2008-2012; elle a été mise en service en novembre 2012, où le traitement des eaux usées fait par le procédé du lagunage naturel avec prétraitement, traitement primaire et traitement secondaire pour la filière eau, et déshydratation dans les lits de séchages pour la filière boues.

La station a été conue pour une capacité de traitement de 46 400 m<sup>3</sup>/j, correspondant à 331 700 éq/hab à l'horizon de 2030, elle traite des eaux usées d'origines urbaines.Le milieu récepteur des eaux usées épurées est l'oued M'Zab.

Trois communes de la vallée sont raccordées à la station c'est celle de Ghardaia –Bounoura et El-Atteuf avec un réseau d'assainissement type unitaire dont la gestion se fait par l'office national d'assainissement ONA.

Un débit moyen entrant à la station a été évalué par les techniciens de l'entreprise AMENHYD de l'ordre de 1450 m<sup>3</sup>/h avec trois (3) pics pendant la journée 8h, 12h et 20h.



Figure IV. 25 : Vue aérienne de la STEP d'El-Atteuf (DRE ; 2012)

#### IV.4.5.2.1 Caractéristiques de la STEP du M'Zab

Capacité: 331 700eq/hab

Surface totale: 79 ha

Nombre de lits de séchage: 10 lits

Nombre de bassins: 16 bassins devisés en 02 niveaux

Débit moyen journalier à capacité nominal: 46 400 m<sup>3</sup>/j.

Tableau IV. 8 : Caractéristiques de la STEP de la vallée du M'Zab (DRE; 2012)

Capacité nominale		2030
<b>Premier niveau</b>		
Nombre de lagunes		08 lagunes
Volume total des lagunes		174 028,50m <sup>3</sup>
Volume par lagune		21 753,56m <sup>3</sup>
Surface totale		4,97ha
Surface par unité de lagune		0,62ha
Profondeur des lagunes		3,6m
Temps de séjour		3 jours
Fréquence de curage 1 fois tous les		3 ans
Charge organique résiduelle		5800 kg DBO5/j
Abattement DBO5 minimal		50%
<b>Deuxième niveau</b>		
Nombre de lagunes		08 lagunes
Volume total des lagunes		464 000m <sup>3</sup>
Volume par lagune		58 000 m <sup>3</sup>
Surface totale		30,4ha
Surface par unité de lagune		3,8ha
Profondeur des lagunes		1,6 m
Temps de séjour		10 jours
Fréquence de curage 1 fois tous les		3 ans
Charge organique résiduelle		2 320 kg DBO5/j
Abattement DBO5 minimal		60%

#### IV.4.5.2.2 Ouvrages du traitement des eaux et des boues

La filière de traitement comprend :

- 1) Collecteur principal d'amenée :
  - Composé de deux conduites de 1000 mm de diamètre
- 2) Prétraitement constitué de :
  - Dessableur principal
  - Dégrilleur/Dessableur ; localisé à l'intérieur du répartiteur principal du traitement primaire
- 3) constitué de :
  - 8 lagunes primaires anaérobies alimentées en parallèle
  - Ouvrages de sortie avec cloison siphonide permettant de retenir les matières flottantes
- 4) Traitement secondaire constitué de :
  - 8 lagunes secondaires alimentées en parallèle,
- 5) Ouvrages de sortie avec cloison siphonide permettant de retenir les matières flottantes
- 6) déshydratation des boues constituée de :
  - 10 lits de séchage construits du côté des lagunes secondaires
  - Avec réseau de drainage permettant de retourner le lixiviaten tête du traitement secondaire

#### IV.4.5.2.3 différentes étapes de traitement

L'ensemble des eaux usées de la vallée sont acheminées gravitairement (pente:0,2%) depuis la fin du collecteur projeté au niveau de la digue d'El Atteuf jusqu'à l'entrée de la station grâce à deux collecteurs en parallèle de diamètre 1000 mm. Les étapes par lesquelles passant les eaux usées dans la station sont les suivantes:

- de prétraitements,
- de traitement primaire anaérobie,
- de traitement secondaire facultatifs,
- des lits de séchage des boues.

##### IV.4.5.2.3.1 Prétraitement:

Les collecteurs urbains d'eaux usées véhiculent des matières très hétérogènes et souvent volumineuses. À l'arrivée dans la station d'épuration, les eaux "brutes" doivent subir, avant leur traitement proprement dit, des traitements préalables de dégrossissage, appelés "pré traitements" et destinés à extraire des effluents la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

Le prétraitement comporte:

##### a- Dégrillage/dessablage

◆ le système comprend un ensemble de deux dégrilleurs automatiques (espace entre barreaux de 25 mm) disposés en parallèle.

En cas de mise hors service des dégrilleurs automatiques. Un système de batardeaux calés au-dessus de la cote plan d'eau maximal équipé d'une grille statique (espace entre barreaux de 40 mm) disposée en parallèle permet de by passer complètement l'ensemble du prétraitement.

◆ Au niveau de la jonction avec le collecteur principal des eaux usées de l'ensemble des collecteurs des différents bassins de collecte sont prévus des dispositifs de dessablage : de ce fait, les particules non retenues à ce niveau et qui se retrouvent directement dans les lagunes sont en quantité négligeable et sont évacuées lors des opérations de curage,

◆ La station actuellement n'est pas équipé d'un système de déshuilage.

-Le dessableur et le dégrilleur sont localisés à l'intérieur du répartiteur principal du traitement primaire.



Figure IV. 26: Dégrilleur&dessableur (Zegait;2013)

## b-Ouvrage de répartition

### ◆Répartiteurs principaux

La répartition des débits vers les huit lagunes primaires secondaires s'opère au niveau du répartiteur principal (figure IV.40).

Disposé en tête de chacun des deux niveaux d'épuration, cet ouvrage se compose des éléments suivants, d'amont en aval :

- à l'aval immédiat des canaux de dégrillage (pour le répartiteur primaire), une cloison siphonide participe à la tranquillisation des flux,
- l'élargissement de la section de l'ouvrage permet de ralentir le cheminement des eaux usées avant leur passage sur un seuil frontal décomposé en huit seuils de largeur 1m,
- les eaux usées se déversent dans deux chambres d'où partent les deux conduites de diamètre 1000mm de liaison avec les répartiteurs secondaire.

### ◆ Répartiteurs secondaires

Ils sont destinés à répartir les eaux usées vers les lagunes d'un même étage de traitement(primaire ou secondaire), implantées sur une même plage.

#### IV.3.5.2.3.2 Traitement primaire

Le traitement primaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux usées au sein des lagunes primaires dites « anaérobies », constituées de 8 bassins d'une superficie de l'ordre de 0,62 ha et d'une profondeur d'eau de 3,6 m : la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géomembrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien.

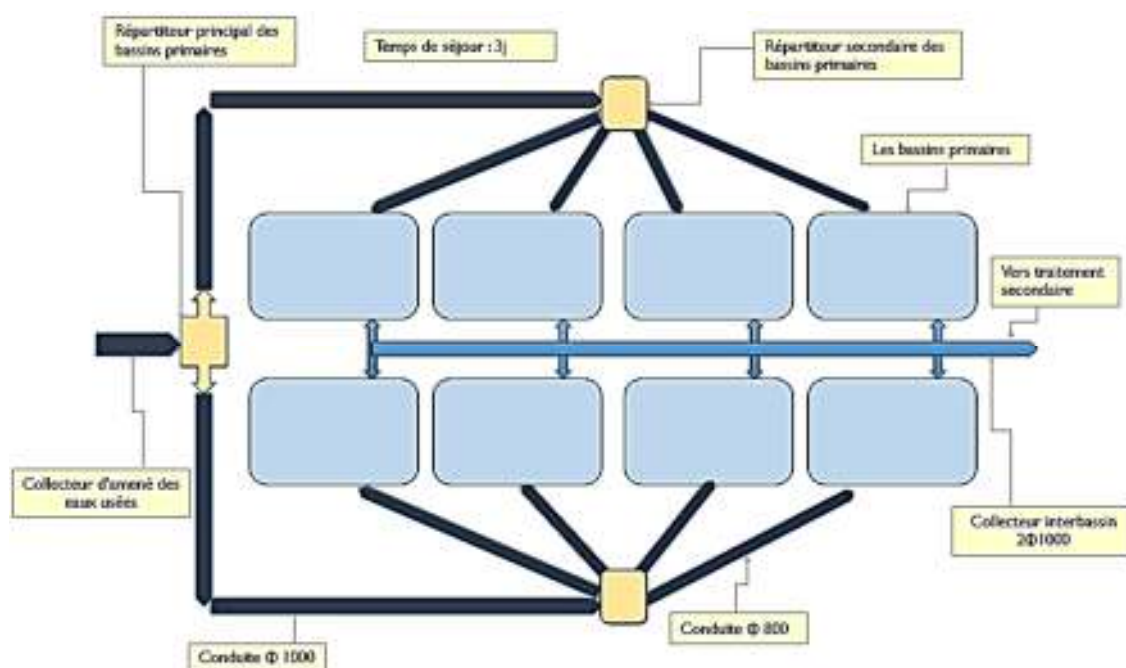


Figure IV. 27: Principe de fonctionnement des bassins primaires (DRE ; 2012)

#### IV.4.5.2.3.3 Traitement secondaire

Le circuit hydraulique du traitement secondaire est similaire à celui du traitement primaire avec les éléments suivants :

- Deux conduites de diamètre 1000mm, qui collectent les eaux ayant subi le traitement primaire, arrivent sur répartiteur principal du traitement secondaire.
- Les eaux sont ensuite réparties vers les huit lagunes secondaires.

Le traitement secondaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux au sein des lagunes secondaires constituées de huit bassins d'une superficie de l'ordre de 3,8 ha et d'une profondeur d'eau de 1,6 m : la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géomembrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien.

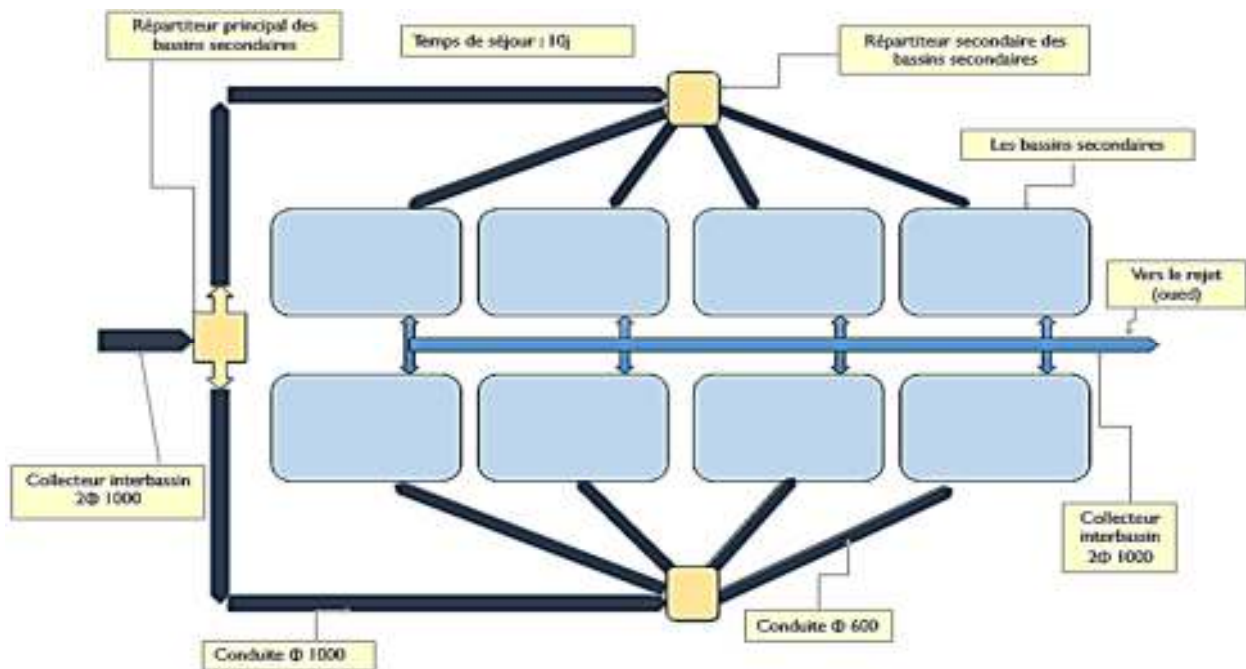


Figure IV. 28 : Principe de fonctionnement des bassins secondaires (DRE ; 2012)

#### IV.4.5.2.3.4 Traitement des boues

Le système consiste à sécher les boues décantées au fond des lagunes primaires et secondaires à l'air libre sur 10 lits de séchage.

##### ◆ Curage des lagunes :

Les opérations permettant le curage d'une lagune sont les suivantes :

- Arrêt de l'alimentation de la lagune à curer par mise en place de batardeaux au niveau du répartiteur secondaire correspondant et de l'ouvrage de sortie de la lagune concernée,
- Décantage des boues pendant une période de 1 à 2 jours,
- vidange du surnageant de façon progressive par pompage et rejet dans le répartiteur d'entrée
- Pompage des boues liquides à l'aide de pompes amovibles,
- Transport des boues liquides vers les lits de séchage,
- Épandage des boues liquides sur les lits.

##### ◆Lits de séchage

Les lits de séchage sont implantés à une cote supérieure à celle des lagunes afin de pouvoir évacuer les lixiviats drainés vers les lagunes de manière gravitaire.

En effet, les lits de séchage sont constitués d'une couche de sable lavé surmontant des couches de granulométrie plus importante incluant le réseau de drainage. De ce fait, on assiste dans un premier temps à un ressuyage de l'eau interstitielle qui donc est renvoyée vers les lagunes, et dans un second temps l'évaporation permet l'obtention de siccités élevées.

#### IV.4.5.2.3.5 Évacuation des eaux traitées

Après le traitement dans les bassins secondaires, et à travers les ouvrages de sortie des lagunes, les eaux traitées sont évacuées gravitairement vers le rejet final (Oued M'Zab) par deux collecteurs de diamètre 1000mm.



Figure IV. 29: Rejet final (Zegait; 2013)

### IV.5 Conclusion

La vallée du M'Zab est caractérisée par un climat typiquement saharien avec l'abondance de deux saisons; l'une chaude et sèche (d'avril à septembre) et l'autre tempérée (d'octobre à mars).

Les ressources en eaux sont surtout et largement dominées par les eaux souterraines, qui sont contenues dans deux grands aquifères, ceux du continental intercalaire (CI) et la nappe phréatique. L'agriculture représente la principale activité dans la vallée du M'Zab dont l'occupation des sols présente 40% de la totalité de la vallée. Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle à partir des seguias (rigoles); rares sont ceux pratiquant l'aspersion et le localisée.

La population est en pleine évolution, et se concentre beaucoup plus au niveau des sites fortement urbanisés, de par sa situation géographique, par conséquent sensible à l'activité humaine à généré éventuellement des pollutions résiduelles qui ont fortement perturbé l'équilibre naturel dans les milieux oasiens.

La situation sanitaire cruciale de la vallée depuis les années 1990 plus les crues exceptionnelles de 2008 ont conduit l'administration algérienne à projeter des aménagements d'assainissement, épuration et barrages de protection ont pour but d'améliorer la situation environnementale de la vallée.

Pour identifier l'efficacité de ces aménagements projetés, et l'impact de ces ouvrages sur l'environnement oasien de la vallée, il est nécessaire de refaire des analyses des rejets urbains, industriels, station d'épuration et nappe phréatique.

Dans ce cadre que s'inscrit l'objet du prochain chapitre de présenter les méthodes et les moyens de différentes analyses établies d'une part, les différentes enquêtes menées au terrain pour une évaluation écologique d'autre part.



# Chapitre V

## Analyses de rejets urbains, industriels et STEP

### V.1.Introduction

A pour but d'évaluer l'efficacité des ouvrages de traitement des eaux usées projetés pour l'amélioration de la situation environnementale de la vallée, nous avons élaboré plusieurs analyses des rejets urbains, industriels, station d'épuration entre 2013-2015, et ceux qu'elle avait soutenus par des enquêtes au terrain pour des zones de stagnation polluées, puits, points d'eau, des unités industrielles. On note que ces analyses ont été établies au niveau de trois laboratoires, dans lesquelles les analyses des eaux brutes et épurées de la station d'épuration ont été faites au niveau de laboratoire de la STEP à l'exception des analyses bactériologiques qui n'ont été établies au niveau du laboratoire de l'ADE de Ghardaia, tandis que les analyses des eaux de la nappe phréatique ont été faites au niveau de laboratoire de l'université de Ghardaia. Le présent chapitre est un aperçu sur les méthodes les moyens des différentes analyses établies d'une part, les différentes enquêtes menées au terrain pour une évaluation écologique d'autre part. Le chapitre se terminera par les moyens et outils d'analyses des données, qualitative, quantitative et cartographique.

### V.2. Analyse des rejets urbains, industriels et STEP

#### V.2.1. Échantillonnage

- Trois sites de prélèvement ont été échantillonnés pendant la période d'étude allant du 2013 au 2015. Ces sites de prélèvement sont situés proportionnellement à la mesure de débit à l'entrée et à la sortie de la STEP (répartiteur primaire-répartiteur secondaire-rejet final). Les échantillons d'eau ont été prélevés chaque semaine dans des flacons en polyéthylène, préalablement lavés et rincés avec de l'eau distillée.
- Les unités industrielles sont localisées principalement dans la zone de Bounoura. Généralement, les oueds de la région sont les sites les plus touchés par les rejets de ces unités, il a été procédé à la sélection de 06 unités considérées comme les plus polluantes, dont certaines ont fait l'objet d'échantillonnage au niveau des sites de rejets pour déterminer le degré et la nature des polluants.

Tableau V. 1 : Activité des unités industrielles (Zegait.R ; 2013)

N°	Unité industrielle	Activité industrielle
01	Herbiche Ali	Vinaigrerie
02	SAFILAIT	Production de lait et dérivés
03	SARL Prochisa	Produits d'entretien
04	SARL SONERAS	Fabrication radiateurs Auto
05	NAFTAL	Distribution du carburant
06	ALFA PIPE	Production des pipes



Figure V. 1 : Localisation des unités industrielles (Zegait.R ; 2013)

### V.2.2. Mesure de la température

L'analyse de ce paramètre est très importante, car elle conditionne de nombreux paramètres, tels que la conductivité électrique, l'oxygène dissous et le pH, ainsi que les réactions de dégradation et minéralisation de la matière organique. L'élévation de température s'accompagne d'une modification de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une diminution de la solubilité des gaz (oxygène). Quelques-uns de ces effets peuvent avoir une action bénéfique ; c'est par exemple que l'augmentation de la température favorise l'auto-épuration et accroît la vitesse de sédimentation, ce qui peut présenter un intérêt dans les stations d'épuration (Rodier, J, 2009) ; de plus, l'activité biologique prenant place lors du traitement décroît avec le froid, la vitesse de nitrification est très ralentie en dessous de 10°C (Martin, G., 1979). Selon (Ollier, C., Poirie, M., 1983), une eau trop chaude ou trop froide peut donner lieu à des accidents surtout sur des jeunes plantes.

### V.2.3. Le pH

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans ces phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température (Rodier, J, 2009). Il est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau. Il sert au contrôle de la qualité de l'eau à l'entrée de la station d'épuration (les variations importantes du pH sont presque toujours la conséquence de rejets industriels).

Le pH est généralement déterminé par la méthode potentiométrique, elle est plus précise et couramment utilisée. Son principe selon (Rodier, J, 2009) est basé sur la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution, elle est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'Activité des ions  $H^+$  présents.

#### Matériel utilisé

- pH- metre portable.
- Solution étalon 4.7 et 10.
- Pissette eau déminéralisé.

### V.2.4. Mesure de la conductivité électrique.

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique. Le transport des charges se fait par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau. Il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée, d'où l'intérêt que présente la mesure de la conductivité, mesure quasi instantanée, pour connaître la minéralisation d'une eau.

Selon (Rodier, J, 2009) la conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

#### Procédure

- Vérifier le calibrage de l'appareil.
- Plonger l'électrode dans la solution à analyser.
- Lire la CE et la salinité et la température.
- Bien, rincer l'électrode après chaque usage et conserve l'électrode toujours dans l'eau déminéralisée.

#### Matériel utilisé

- Conductimètre de poche Cond 340 i
- Pissette eau déminéralisée.
- Solution KCl (3 mol/L) pour calibrage.

### V.2.5. Détermination des matières en suspension MES

La détermination des matières en suspension dans l'eau est réalisée par filtration ou centrifugation d'un volume aliquote, séchage à 105°C et pesée. Le choix de l'une ou l'autre des alternatives est guidé par la charge en matières en suspension de l'eau à analyser: la centrifugation est préférée pour des eaux chargées (colmatage du filtre), par contre la technique par filtration est adaptée à des échantillons peu chargés.

Pour sa détermination, un volume aliquote d'eau est filtré (eau épurée) sur papier filtre (0.4µm) ou centrifugé (eau brute) à 3250 tr/mn pendant 20 minutes. La masse de matière filtrée ou centrifugée est déterminée par pesée après séchage à 105°C pendant 02 heures. Le résultat est exprimé en mg de matière en suspension par litre d'échantillon, et donné par la formule suivante :

$$MES (mg / l) = \frac{(M_2 - M_1) \times 1000}{V}$$

Avec

M<sub>1</sub>: masse de la capsule vide ;

M<sub>2</sub> : masse de la capsule pleine après séchage à 105°C;

V : Volume de la prise d'essai de l'échantillon d'eau en ml.

#### Matériel utilisé

- Balance de précision électronique (KERN. ABT).
- Filtre.
- Étuve (MEMMERT. UNB).
- Dessiccateur.
- Pompe à vide.

### V.2.6. Mesure de la demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante des eaux usées en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'Activité des microorganismes.

#### Principe

Il s'agit d'une oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en milieu acidifié par acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), en présence de sulfates d'argent (Ag<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) et de sulfate de mercure (HgSO<sub>4</sub>).

#### Matériel utilisé

- Pipette jaugée à 2 ml.
- Spectrophotomètre (DR 3900).
- Réacteur DCO à 150°C (HACH. LANGE).

#### Réactif

- Réactifs DCO (LCK 314) gamme (15 à 150 mg/l) pour les faibles concentrations.
- Réactifs DCO (LCK 114) gamme (150 à 1000 mg/l) pour les fortes concentrations

#### Procédure

- Ajouter 2 ml d'échantillon en tube de réactif DCO
- Agiter et placer le tube fermé dans le réacteur DCO et chauffer deux heures à 148°C.
- Laisser refroidir à température ambiante.
- Mesurer directement la concentration de la DCO par spectrophotomètre DR 3900.

### V.2.7. Mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO5)

La demande biochimique en oxygène (DBO) est un critère de pollution organique basé sur la quantité d'oxygène consommée à 20°C et à l'obscurité pendant un temps donné pour assurer l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau, par voie biologique. On utilise conventionnellement la DBO<sub>5</sub>, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée après 5 jours d'incubation. Pour mesurer la DBO l'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis sous incubation. On fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq (5) jours. Les microorganismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon. Cette dépression sera enregistrée par une OXI TOP

#### Matériel utilisé.

- Réfrigérateur conservant une température de 20°C
- Un agitateur magnétique.
- Bouteilles brunes de 510 ml.
- OXI TOP
- Pastilles hydroxyde de sodium (pour absorber le CO<sub>2</sub> dégagé par les microorganismes).

#### Procédure

La détermination de la DCO est primordiale pour connaître les volumes à analyser pour la DBO<sub>5</sub>.

- Volume de la prise d'essai (**DBO<sub>5</sub>**) = **DCO (mg/l) × 0.80**, pour les eaux urbaines.
- Introduis la quantité de l'eau à analyser suivant le tableau. En fonction de la valeur de DCO.

Tableau V. 2 : Intervalle de mesure de la DBO et volume d'échantillon (Cheick, T., 2007)

La charge	Intervalle de mesure (mg/l O <sub>2</sub> )	Volume de l'échantillon (ml)	Facteur
Très faible	0-40	432	1
Faible	0-80	365	2
Moyenne	0-200	250	5
Plus que moyenne	0-400	164	10
Un peu chargée	0-800	97	20
Chargée	0-2000	43.5	50
Très chargée	0-4000	22.7	100

- Introduit la barre aimantée (agitateur) et les 2 pastilles d'hydroxyde de sodium
- visser la tête de mesure sur les bouteilles.
- Appuyer simultanément sur les touches (S+M) durant 3 secondes jusqu'à apparition du message
- mettre au réfrigérant à 20°C pendant cinq jours.
- Lire au bout de cinq jours la valeur affichée et appliquer le coefficient pour la valeur réelle.
- Expression des résultats DBO<sub>5</sub> (mg/l) = Lecteur × Facteur.

### V.2.8. Mesure de l'ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

En présence de sodium nitroprusside agissant comme catalyseur et a une valeur du pH=12, les ions ammonium réagissent avec les ions hypochloreux et salicylique et donnent une coloration bleu indophénol

#### Procédure

- Élevez délicatement la feuille de protection du Dosicap Zip
- Ajouter 5 ml d'échantillon on tube de réactif
- Visser immédiatement le Dosicap Zip dirigeant le cannelage vers le haut
- Scouer énergiquement
- Attendre 15 min bien et nettoyer l'extérieur de la cuve
- Mesurer directement la concentration par spectrophotomètre DR3900 où la teneur en NH<sub>4</sub> est donnée en mg/l.

**Matériel utilisé**

- Pipette piston 0-5 ml
- Spectrophotomètre DR 3900
- Réactif
- Réactif ammonium LCK gamme (4,0-80,0)

**V.2.9. Dosage des Nitrates  $\text{NO}_3^-$** 

Le principe du dosage des nitrates  $\text{NO}_3^-$  est basé sur la solution d'acide sulfurique et phosphorique les ions nitrates réagissent avec les 2,6 Dimethylphenol pour donner 4-nitro 2,6- Dimethylphenol

**Procédure**

- Élevez délicatement la feuille de protection du Dosicap zip détachable
- Ajouter longuement 1 ml de l'échantillon dans le tube de réactif
- Pipetter 0,2 ml de la solution A LCK339
- Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'au mélange soit complet
- Attendre 15 min et bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesure

**Matériel utilisé**

- Spectrophotomètre modèle DR 3900 V

**V.2.10. Dosage de phosphate total**

Les ions phosphates réagissent en solution acide avec les ions molybdate et antimoine pour donner un complexe de phosphore molybdate d'antimoine celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphore molybdène

**Procédure**

- Élevez délicatement la feuille de protection du Dosicap Zip
- pipetter 0,5 ml de l'échantillon dans le tube à réaction
- visser immédiatement le Dosicap Zip dirigeant le cannelage vers le haut
- secouer énergiquement
- incubé à  $100^\circ\text{C}$  pendant 1h
- une fois refroidie ajouter 0,2 ml de réactif b dans le tube
- visser une dose cap C gris sur la cuve et mélanger la contenue
- Attendre 10 min et mesurer avec spectrophotomètre DR3900
- Les résultats sont mg/l

**Matériel utilisé**

- Spectrophotomètre modèle DR/3900 V

**V.2.11. L'Analyse bactériologique**

Selon [Rejsek F \(2002\)](#), la teneur initiale en microorganismes contenus dans l'eau risque de subir des modifications dans le flacon après le prélèvement, c'est pour cela que toute analyse doit être effectuée le plus rapidement possible.

Pour les analyses bactériologiques, les prélèvements doivent être transportés dans une enceinte froide (aux environs de  $4^\circ\text{C}$ ) avec un délai maximum de 8 heures avant l'analyse.

**V.2.11.1. Recherche et dénombrement des coliformes**

Sous le terme de coliformes sont regroupées certaines espèces bactériennes appartenant à la famille des Enterobactériaceæ qui fermentent le lactose avec production du gaz en moins de 48 heures à  $37^\circ\text{C}$ . L'organisation internationale de standardisation (ISO) a défini les coliformes comme suit : « bacille à Gram négatif, non-sporogène, oxydase négatif, facultativement anaérobie, capable de croître en présence de sels biliaires, ou autre agent de surface possédant une Activité inhibitrice de croissance similaire et capable de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures à des températures de  $35$  à  $37^\circ\text{C}$  ».

### A.Coliformes totaux

La recherche et dénombrement des coliformes totaux sont réalisés en milieu liquid BCPL par la technique du NPP (Nombre le Plus probable) (Norme NFT 90-413, 1985)

### B.Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont appelés aussi les coliformes thermotolérants. Ce sont des coliformes qui fermentent le lactose, mais à 44°C.

La recherche et dénombrement des coliformes fécaux sont réalisés en milieu liquide par la technique du NPP (Norme NFT 90-413, 1985).

## V.3.Analyse des eaux de la nappe phréatique

### V.3.1.Zone d'échantillonnage

Vu le nombre important de puits que compte la région d'étude, et étant confronté l'impossibilité d'analyser les eaux de l'ensemble de ces puits, nous avons procédé à la sélection de 62 puits répartis uniformément à travers le lit de l'aval d'oued M'Zab de l'Oasis de Bounoura jusqu'au barrage d'El-Atteuf pour prélever l'eau de la nappe superficielle ou a l'aide d'un GPS, nous avons déterminé les coordonnées UTM des points d'eau.

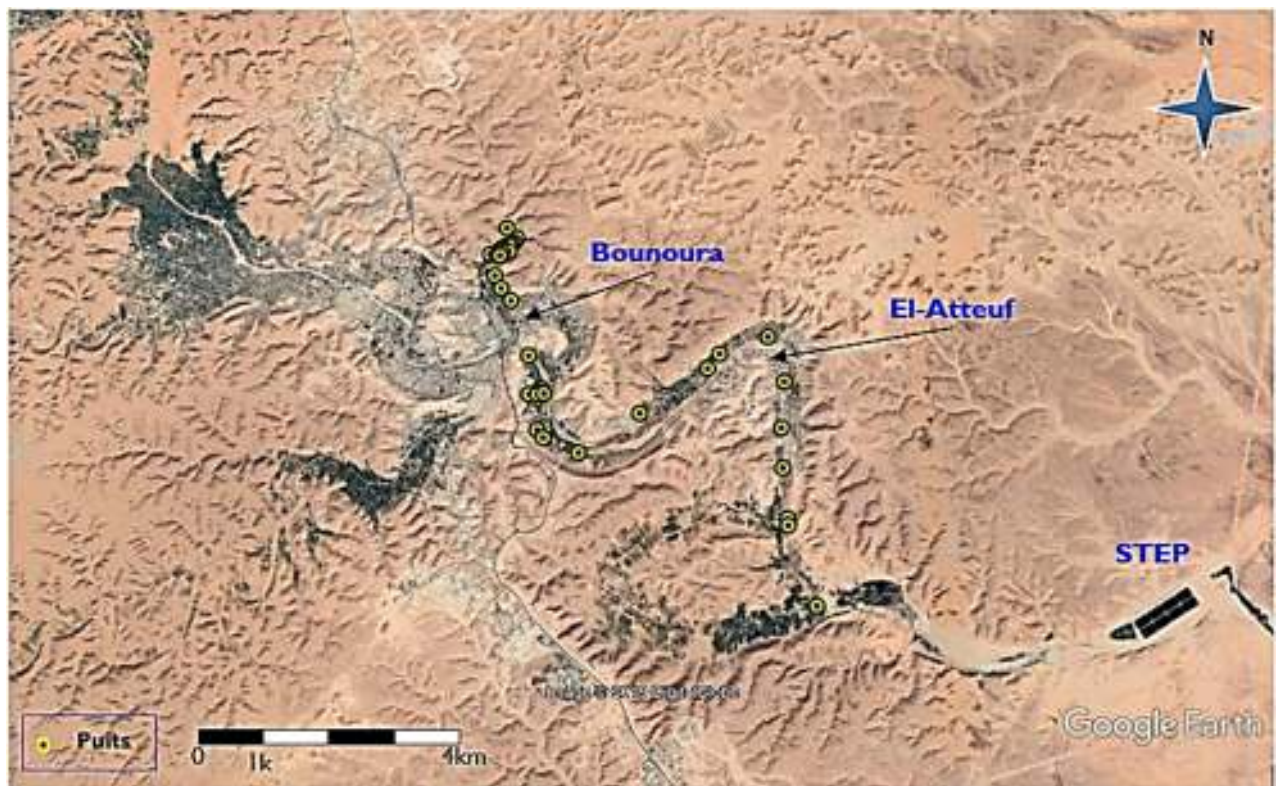


Figure V. 2 : Localisation des points d'eau échantillonnés (Zegait.R ; 2015)

### V.3.2.Mesures in situ

Les mesures de terrain concernent la profondeur de l'eau, la conductivité électrique et la température. En effet, nous avons posé aux propriétaires des puits un certain nombre de questions sur la qualité de l'eau, l'hydrodynamisme et même la nature des roches traversées.

La profondeur de l'eau par rapport au niveau du sol est mesurée à l'aide d'une sonde électrique. Ou la mesure de la conductivité électrique et la température a été faite à l'aide d'une conductimètre de terrain.

### V.3.3.Mesures et analyses au laboratoire

Au niveau de laboratoire de l'ADE de Ghardaia et de laboratoire de l'université de Ghardaia, nous avons établi toutes les analyses physico-chimiques des échantillons prélevés

### V.3.3.1. Dosage du $\text{Ca}^{++}$ , $\text{Mg}^{++}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$

Les cations  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  présents dans les échantillons d'eau sont analysés par spectrométrie d'absorption atomique (SAA), qui est un procédé de dosage quantitatif, principalement destiné à la détermination des faibles teneurs, généralement en suspension ou en solution. C'est une méthode d'analyse élémentaire qui utilise la propriété des atomes d'être excités par apport d'une énergie extérieure sous forme de photons de fréquence bien définie.

En spectrométrie d'absorption atomique (SAA) on utilise un générateur de photons dont la fréquence correspond à l'élément à doser. Une population d'atomes, générée par un atomiseur à partir de l'échantillon, est éclairée par ce rayonnement lumineux de longueur d'onde donnée. Les atomes absorbent cette énergie incidente pour passer du niveau fondamental au niveau énergétique excité et le nombre de photons absorbés dans ce rayonnement incident est en rapport avec la concentration.

Pour le dosage au spectromètre d'absorption atomique, il faudra prévoir pour ces cations des gammes étalons préparées comme suit, avec pour chaque élément, sa longueur d'onde de lecture :

- $\text{Na}^+$  : solution étalon, à partir du chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ). Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 589 nm.
- $\text{K}^+$  : solution étalon à partir du chlorure de potassium ( $\text{KCl}$ ). Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 766.5 nm.
- $\text{Ca}^{++}$  : solution étalon à partir du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 422.7 nm.
- $\text{Mg}^{++}$  : solution étalon à partir du ( $\text{MgSO}_4$ ). Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 285.2 nm.

Puis nous passons les échantillons et lisons directement les concentrations en mg/l

#### Matériel utilisé

Le SAA du laboratoire de marque Perkin Elmer type A Analyst 200

### V.3.3.2. Dosage du $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ et $\text{NO}_3^-$

- Le dosage des chlorures est effectué par la méthode titrimétrique ou le chlore est précipité par du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge de chromate d'argent (Rodier, 2009).
- Le dosage des sulfates est effectué par la méthode turbidimétrique, elle est basée sur le fait que les ions sulfates se précipitent en milieu acide et en présence du chlorure de baryum ( $\text{BaCl}_2$ ) pour former du sulfate de baryum ( $\text{BaSO}_4$ ) (Rodier, 2009).
- L'ion bicarbonate réagit avec un acide minéral et libère du gaz carbonique dans la solution
- Le dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) se fait par colorimétrie dans un photomètre UV 440 $\mu\text{m}$  avec le réactif sulfo-phérique

### V.3.4. Validité des résultats

Les résultats des analyses chimiques d'une eau doivent être impérativement soumis à un test de validité qui consiste au calcul de la déviation relative entre la somme des cations et la somme des anions. Ce paramètre permet de vérifier la précision des méthodes analytiques utilisées et la validité des déterminations chimiques. S'il est inférieur à 5%, les analyses sont considérées comme correctes, lorsque sa valeur est comprise entre 5% et 10%, les analyses peuvent être à la rigueur retenues. Par contre au-delà de 10% les analyses doivent être refaites.

## V.4. Outils d'analyse des données

### V.4.1. Aspet qualitatif des eaux

Plusieurs logiciels utilisés pour l'interprétation des résultats d'analyses portent l'aspect qualitatif

#### a. Logiciel STATISTICA

Le logiciel STATISTICA 10 est utilisé dans l'analyse statistique. Il se caractérise par sa rapidité et ces différents modules. Il nous permet de calculer les paramètres simples tels que le maximum, la moyenne, l'écart-type, le coefficient de variation... etc.



### b. Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon (Version 4, 2008) qui nous permet de classer les eaux (faciès chimique, classe d'irrigation...) et de construire en particulier les diagrammes de Piper de Schoeller-Berkaloff

## V.4.2. Aspet Cartographique

### V.4.2.1 Analyse spatiale sous ArcGIS 10.4

L'utilisation de la méthodologie du SIG sous le logiciel ArcGIS 10.4 d'ESRI pour l'analyse spatiale, nous a permis l'élaboration des cartes thématiques pour les différents paramètres étudiés, que ce soit des cartes des levées piézométriques de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab, ainsi que les cartes de l'indice de vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique de l'oued M'Zab.

Le processus de la méthode appliquée se résume comme ceci (Fig.V.3);

1. Création d'une base de données (Géodatabase) pour les données piézométriques et hydrochimiques étudiées
2. Exploration spatiale des données étudiées (ESDA) et transformation des données si elles sont anormalement distribuées autour de leur moyenne en utilisant le module Quantile-Quantile (QQ) Plot.
3. Interpolation spatiale de données piézométriques et les indices de la cartographie de la vulnérabilité par la méthode Krigeage simple et universelle.
  - Calcul du semi-variogramme
  - Choix du modèle d'ajustement
  - Calcul et ajustement des paramètres du modèle (taille des lags, Nombre des bins)
  - Traitement de l'anisotropie
4. Validation croisée du modèle ajusté
5. Génération des surfaces (cartes) thématiques de la zone d'étude.

### V.4.2.2. Interpolation spatiale

L'interpolation spatiale désigne les processus permettant l'estimation des valeurs des sites non échantillonnés à partir de points de mesures des sites échantillonnés. Le résultat de l'interpolation produit ainsi des surfaces continues à l'intérieur des limites définies par la position des sites échantillonnés. Dans ce cas, chaque point de la surface interpolée possède une valeur bien déterminée. À l'inverse de l'interpolation, la procédure de l'extrapolation permet l'estimation des valeurs de points et la création des surfaces à l'extérieur de l'espace considéré. Par conséquent, l'extrapolation est observée en tant qu'une méthode de prédiction statistique des variables spatiales (ESRI, 2010). Les données ou variables spatiales considérées peuvent être, des températures, des teneurs de sels dans le sol, des concentrations d'éléments chimiques ou d'un polluant dans un aquifère, des hauteurs piézométriques.

#### V.3.2.2.1. Méthodes d'interpolation spatiales

La formulation statistique de l'interpolation spatiale, réside à l'estimation d'une fonction (valeur)  $Z(x_0)$  en un point  $x_0$  de la surface à partir des valeurs mesurées de  $Z$  en un certain nombre  $N$  de points avoisinants  $s_i$ , tel que ;

$$Z(x_0) = \sum_{i=0}^N \lambda_i z(x_i)$$

Avec;

$X_0$  : point d'estimation (prediction)

$N$  : nombre des points mesurés

$\lambda_i$  : poids des valeurs mesurées a chacun des points avoisinants  $s_i$

$Z(x_i)$  : représente la valeur mesurée au point  $s_i$

La résolution de l'équation consiste à déterminer la valeur de la pondération pour chacun des points environnants (Gratton Y, 2002). Deux grandes méthodes sont habituellement utilisées pour la technique de l'interpolation spatiale, elles sont basées essentiellement sur la similarité des observations, l'autocorrélation et la stationnarité.

### A1.Méthode déterministe

Cette méthode statistique repose sur l'utilisation des fonctions mathématiques pour calculer les valeurs dans des lieux inconnus basés soit sur le degré de similarité, tel que l'IDW (Inverse Distance Weighted), ou le degré de lissage avec les points de données voisins, comme la méthode RBF (Radials Basis Fonctions) et la méthode des splines cubiques (Ajustement de polynômes cubiques).

### A.2.Méthode géostatistique (le Krigeage)

Le Krigeage est une méthode d'interpolation géostatistique, exacte et locale. La méthode utilise les propriétés statistiques des points mesurés et de l'existence d'une certaine structure spatiale entre eux. Elle est basée sur les estimations probabilistes et l'autocorrélation spatiale entre les points de données. Elle inclut à la fois une composante déterministe et calcule les erreurs d'estimation (prédiction). Elle a été développée pour la première fois par l'ingénieur minier Sud-Africain D.G. Krig en 1951, d'où elle tire son nom "Krigeage". En se basant sur les corrélations sur un ensemble de forages miniers, D.G. Krig a pu élaborer une série d'approches mathématiques et statistiques empiriques permettant de déterminer, avec une importante précision, la répartition spatiale des minerais d'Or.

Le Krigeage permet la détermination des poids à partir de la covariance entre les points en fonction de la distance entre ces points. Deux conditions indispensables doivent être remplies pour utiliser la méthode, appelées couramment les hypothèses de premier et deuxième ordre de stationnarité :

- La moyenne des échantillons doit être constante et indépendante de la localisation spatiale
- La covariance est la même entre les paires de points séparés par une même distance et ayant la même direction, quelle que soit la localisation des points échantillonnés.

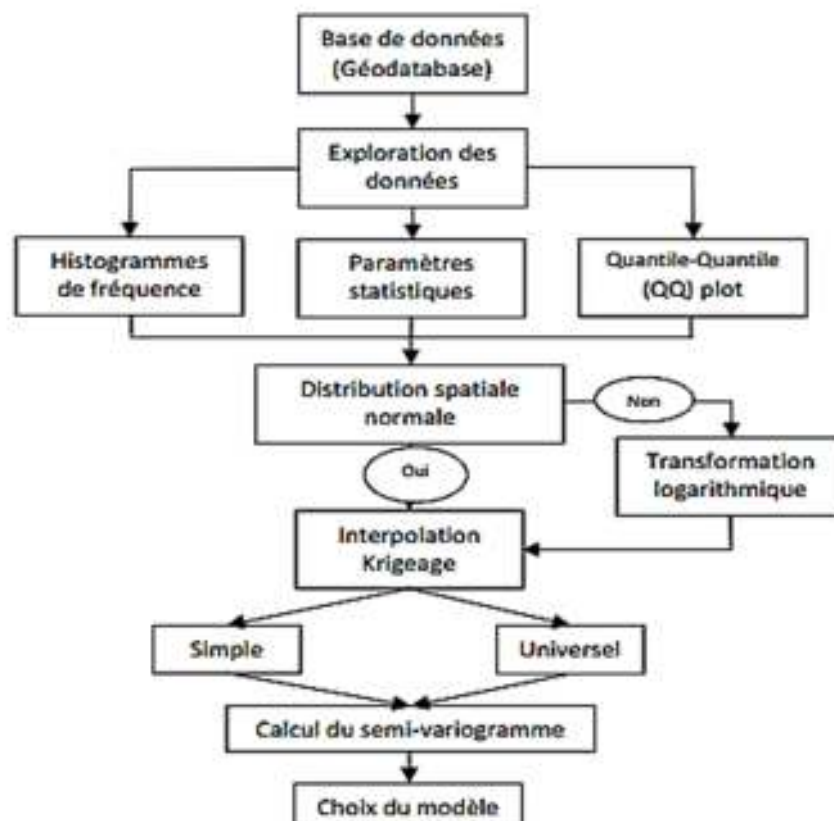


Figure V. 3 : Organigramme des étapes de Krigeage sous ArcGIS (Achour.M ; 2014)

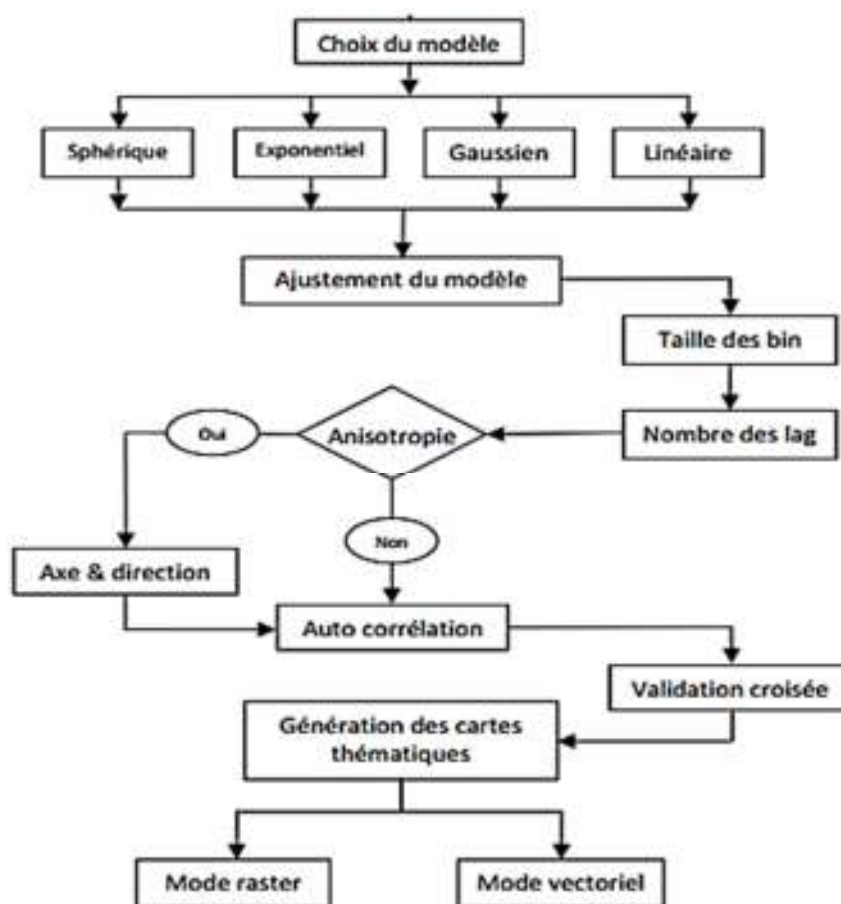


Figure V.4 : Organigramme des étapes de la cartographie sous ArcGIS (Achour.M ; 2014)

### V.4.3.Aspect quantitatif

#### V.4.3.1 Modèle WEAP

Le logiciel WEAP (Water Evaluation and Planning System) est un outil de simulation des ressources hydriques de surface et des eaux souterraines, basé sur les principes comptables d'équilibre de l'eau, crée par le "Stockholm Environment Institute" (SEI, en 2005). Il peut tester des ensembles alternatifs de conditions pour l'approvisionnement et la demande en eau.

Le WEAP21 est un logiciel qui utilise une approche intégrée de la planification des ressources hydriques. Il a connu une série de développements au cours de ses 20 années de vie.

Le WEAP21 essaie de combler le vide entre la gestion de l'eau et l'hydrologie du bassin, et l'exigence qu'un modèle intégré et efficace sur les ressources hydriques soit utile, facile à utiliser, abordable et facilement disponible pour la communauté étendue des ressources hydriques (UNFCCC, 2013). Il fournit également des fonctionnalités avancées qui permettent un accès rapide à d'autres modèles et logiciels, tels que MODFLOW, Excel, etc. La flexibilité de l'outil à s'adapter à différents niveaux de disponibilité des données et son interface conviviale graphique en font un outil approprié à utiliser dans un bassin comme celui de la vallée du M'Zab où les données peuvent être rares et les conflits entre les différents usagers de l'eau sont élevés.

Le WEAP21 intègre plusieurs processus hydrologiques physiques avec la gestion des demandes et des infrastructures installées de manière cohérente. Il permet une analyse de plusieurs scénarii, notamment les scénarii climatiques alternatifs et les facteurs de stress anthropogènes évolutifs, tels que les variations de l'utilisation des terres, les changements de la demande municipale et industrielle, les règles alternatives d'exploitation et les changements des points de déviation. La force du WEAP21 réside dans le traitement des problèmes de planification de l'eau et d'affectation

des ressources et il est important de noter qu'il n'est pas conçu pour être un modèle détaillé d'exploitation de l'eau pouvant être utilisé pour optimiser l'énergie hydraulique sur la base de prévisions hydrologiques, par exemple (in UNFCCC, 2013).

Le système de gestion dans le système d'aide à la décision (DSS "Decision Support System") de WEAP21 est décrit par une priorité des demandes définies par l'utilisateur et des préférences d'approvisionnement fixées pour chaque site de demande et utilisées pour construire une routine d'optimisation qui affecte les fournitures disponibles (Yates *et al.*, 2005a, 2005b in UNFCCC, 2013). Les demandes sont définies par l'utilisateur, mais comprennent généralement la demande municipale et industrielle, les parties irriguées des sous-bassins et les besoins de flux environnementaux.

L'analyse de la demande dans le WEAP 21 qui n'est pas couverte par la demande d'irrigation basée sur l'évapotranspiration suit une approche désagrégée, basée sur l'utilisation finale, pour déterminer les besoins en eau de chaque nœud de demande. Les informations économiques, démographiques et d'utilisation de l'eau sont utilisées pour construire des scénarii alternatifs qui examinent la façon dont la consommation totale et désagrégée de l'eau évolue au fil du temps. Ces scénarii de demande sont calculés dans le WEAP 21 et appliqués de façon déterministe à un algorithme d'affectation basé sur un programme linéaire. L'analyse de la demande est le point de départ pour conduire une analyse intégrée de la planification de l'eau, étant donné que tous les calculs d'approvisionnement et de ressource dans le WEAP 21 sont menés par la routine d'optimisation qui détermine la livraison finale à chaque nœud de demande, selon les priorités spécifiées par l'utilisateur (in UNFCCC, 2013).



## V. 5. Conclusion

Le but de ce chapitre était de présenter les matériels et méthodes utilisés afin d'évaluer la qualité des rejets urbains, industriels et épurés de la vallée du M'Zab

Sur une période de 2 ans, il a été procédé plus de 100 échantillons d'analyse au laboratoire, où nous avons établi des analyses des paramètres physico-chimiques et les paramètres de pollution tels que: DBO5, DCO, Orthophosphate, sulfate, nitrate, MES, conductivité électrique et l'azote ammoniacal pour des rejets urbains et industriels, ces analyses a été suivi par plusieurs enquêtes dans toute la vallée pour cerner les zones a environnement dégradé à cause de rejets urbains et d'observer les conséquences écologiques de la problématique traitée.

D'autre part nous avons présenté les différents outils et moyens d'analyse des données tels que (Diagramme, Statistica, ArcGIS, WEAP..etc)

Dans le prochain chapitre, on va entamer la troisième partie de résultats et discussion, commençant par les résultats de la classification de la pollution des rejets urbains de la vallée du M'Zab et les différentes cartes élaborées pour cerner les zones vulnérables.

# Troisième partie : Résultats et Discussion

## Chapitre VI

### Classification de pollution et vulnérabilité

## VI.1.Introduction

L'infiltration des rejets urbains non traités dans le sous-sol présente un risque majeur de pollution, notamment l'eau souterraine proche de la surface qui constitue une importante source hydrique dans les zones arides telle que la vallée du M'Zab, la préservation de cette ressource est essentielle. Nous présentons dans ce chapitre dans un premier temps, le bilan des analyses effectuées au niveau de lieux de prélèvement, afin de pouvoir qualifier la pollution des eaux usées dans la région d'étude, à travers l'évaluation de la pollution des rejets urbains domestiques et industriels de la vallée du M'Zab en comparant avec les normes algériennes des rejets dans le milieu naturel d'une part. La classification des sources de pollution des rejets urbains par l'indice IPO selon (IHE, 1986) d'autre part. Dans un second temps l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution de la nappe phréatique dans la vallée à l'aide d'une étude piézométrique établie sur 62 puits en appliquant trois méthodes GOD, DRASTIC et SINTACS basant sur plusieurs paramètres couplés aux SIG afin de cartographier la vulnérabilité, ces cartes seront utiles pour connaître les zones qui nécessitent une protection.

## VI.2. l'Analyse des rejets domestiques

### VI.2.1. Normes algériennes des rejets domestiques

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter qui est fixée généralement par une loi, une directive, un décret-loi.

Le tableau VI.1. représente les valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration fixée par le Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009

Tableau VI.1 : Valeurs limites maximales des rejets dans le réseau d'assainissement

Paramètres		N	DBO5	DCO	MES	NO2-	PT	PH	T°
Valeurs limites	mg/l	150	500	1000	600	0,1	50	5,5-8,5	<30° C

### VI.2.2. L'équivalent habitant

L'équivalent habitant est une estimation de la charge polluante, en termes de matières oxydables, de matières en suspension et de matières azotées et phosphatées, rejetée chaque jour par un individu. L'équivalent habitant se retrouvera dans les eaux usées véhiculées par les égouts, plus ou moins dilué selon la demande en eaux usées spécifique. Est une unité conventionnelle qui représente le flux moyen de charge polluante, engendrée par habitant et par jour, dans un volume de 150 litres d'eau.

Tableau VI.2 : Charge polluante engendrée par un habitant

Caractéristiques	Charge polluante engendrée par un habitant (g)
Matières en suspension (MES)	70 – 80
Demande biologique en oxygène DBO5	54 – 60
Demande chimique en oxygène DCO	110 – 120
Azote (N)	15
Phosphore (P)	4

### VI.2.3. Charge polluante des eaux usées

En assainissement des agglomérations, on fait souvent appel à des ratios, afin d'approcher les flux de pollution produite. Des ratios communément admis sont donnés dans le tableau VI.3 :

Tableau VI.3 : Charge moyenne en pollution d'une personne dans la zone d'étude

paramètre	Flux journalier pour un habitant	Flux annuel pour un habitant	Les concentrations pour les rejets de STEP de M'Zab
Débit	150 l	55 m <sup>3</sup>	23207 m <sup>3</sup> /j
DBO5	54g – 60g	20 – 22 kg	3715 kg/j
DCO	110g – 120g	40 – 44 kg	6382 kg/j
MES	70g – 80g	25 – 29 kg	3365kg/j

Tableau VI.4 : Estimation de la charge polluante de la vallée du M'Zab (Zegait ;2013)

Commune	Population 2013	Population raccordée	Charge polluante EH/j	paramètres	Charge de pollution totale en kg/j	Charge de pollution en kg/j	Charge de pollution en T/an
Ghardaïa	96739	91902	DBO5 = 60 DCO = 120 MES = 80	DBO5	5804	5514	2013
				DCO	11609	11028	4025
				MES	7739	7352	2684
Bounoura	40058	38055		DBO5	2403	2283	833
				DCO	4807	4567	1667
				MES	3205	3044	1111
El.Atteuf	15892	15098		DBO5	954	906	331
				DCO	1907	1812	661
				MES	1271	1208	441
Daya	14871	0		DBO5	892	0	0
				DCO	1785	0	0
				MES	1190	0	0

#### VI.2.4.Résultats des analyses des rejets de la vallée du M'Zab

Tableau VI.5 : Résultats des analyses des rejets de la vallée du M'Zab (1997-2013)

	Unité	Ben Isguen		Bounoura		Bougdema	C.Ville	Atteuf	Atteuf
Date		05/1997		06/1997		04/2005			05/2013
<b>T</b>	°C	27,20	28,90	30,91	33,43	26,8	26,3	26,4	26
<b>pH</b>	-	7,49	7,55	7,72	7,66	7,48	7,14	7,26	7.6
<b>CE</b>	us/cm	2870	3770	2800	2900	5390	3940	3840	4310
<b>S</b>	-	-	-	-	-	2,9	2,1	2	2.4
<b>O2</b>	mg/l	-	-	-	-	9,7	9,5	9,6	1.78
<b>MES</b>		126,25	137,00	98,50	135,00	-	--	-	145
<b>NH4+</b>	mg/l	-	-	-	-	0,74	0,56	0,55	18
<b>NO2-</b>	mg/l	-	-	-	-	0,02	0,14	0,15	0.31
<b>NO3-</b>	mg/l	-	-	-	-	9,8	1,7	20,7	0.2
<b>PO3</b>	mg/l	0,76	3,31	3,99	7,64	0,77	6,48	5,2	3.3
<b>DCO</b>	mg/l	218,54	438,70	308,53	225,32	57,6	230,4	268,8	275
<b>DBO5</b>	mg/l	-	161,25	216,25	192,33	20	205	90	160

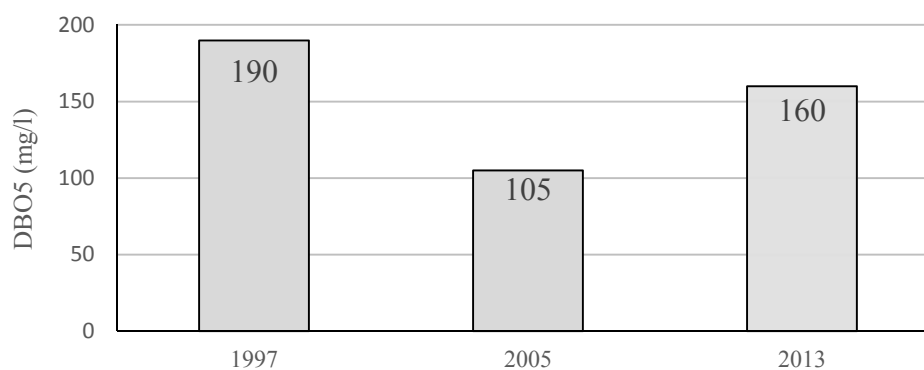


Figure VI. 1 : Variation des valeurs moyennes de DBO5

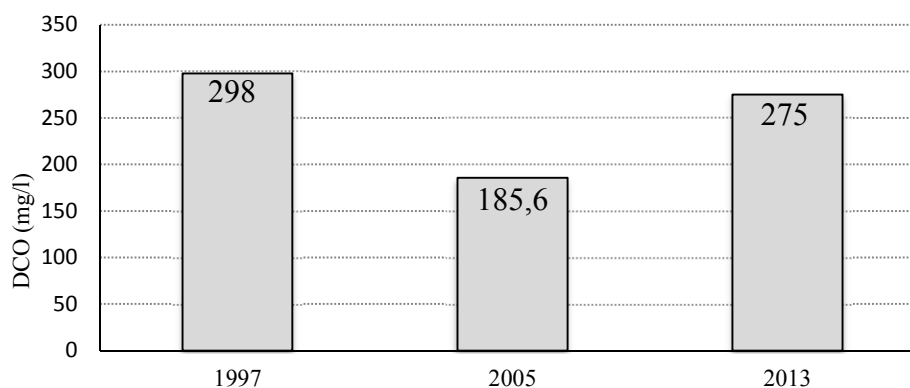


Figure VI. 2 : Variation des valeurs moyennes de DCO

L'examen de tableau VI.5 et les figures (VI.1, VI.2) font appel aux commentaires suivants :

- L'origine des eaux usées de la vallée du M'Zab est un mélange des eaux usées domestiques et le rejet de l'industrie agroalimentaire.
- Les résultats des analyses des échantillons des eaux usées au niveau des points des rejets de la vallée du M'Zab au cours de périodes (1997-2005-2013) montrent des teneurs assez faibles pour tous les paramètres mesurés et sont inférieurs à la valeur fixée par les normes algériennes fixées par le Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009.
- La variation interannuelle des paramètres des pollutions organiques (DBO5, DCO) est remarquable (Fig VI.1, Fig VI.2), ces valeurs pourraient s'expliquer par la variation de l'activité industrielle et économique de la région d'une part et la variation interannuelle de la précipitation
- L'augmentation de DCO relative avec la diminution de DBO5 peut être expliquée par les activités industrielles de la nature chimique qui sont raccordées totalement avec le réseau d'assainissement provoquant un milieu inadéquat à la propagation des bactéries.
- Un coefficient de biodégradabilité ( $K=DCO/DBO5$ ) de l'ordre de 2,4 ; qui permet de qualifier les rejets urbains de la vallée du M'Zab dans la classe moyennement biodégradable.
- D'après les valeurs trouvées, les eaux usées urbaines de la vallée du M'Zab sont polluées et nécessitent d'être épurées soit par une station d'épuration avec finition soit par la construction des bassins de décantation, lagunage naturel ou aéré afin de diminuer le taux de pollution, surtout les communes où l'activité industrielle est très importante qui est à l'obligation des traitements spécifiques des leurs rejets.

### VI.3. l'Analyse des rejets industriels

#### VI.3.1. Normes algériennes des rejets industriels

Le tableau VI.6. Représente Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents industriels liquides fixées par le Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006

Tableau VI.6 : Normes algériennes des rejets industriels

Paramètres.	DBO5	DCO	MES	Phosphore total	PH	T°
Valeurs limites maximales (mg/l)	35	120	35	10	6,5 -8,5	<30° C

#### VI.3.2. Résultats d'Analyse des rejets industriels

Les effluents industriels présentent le plus souvent une charge de polluants importante et un risque de dysfonctionnement structurel et fonctionnel des réseaux d'assainissement et des dispositifs de traitement des eaux usées. Ces risques sont d'autant plus grands que les industries sont localisées en amont du réseau d'assainissement.

Les principaux polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielle sont :

- Les métaux toxiques ; les toxines organiques ; les matières colorées ; les huiles et graisses ;
- La pollution organique ;



Tableau VI.7 : Résultats des analyses des unités industriels (Zegait ;2013)

Unité	pH	T°C	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	NO2- (mg/l)	NO3- (mg/l)	NH4+ (mg/l)
HERBICHE.Ali	6,42	30	164	377,4	10,24	20,67	0,76
SAFILAIT	7,3	18,5	70	122,8	4,497	1,47	0,143
SARL Prochisa	6 ,93	25,2	140	138,4	0,953	0,013	0,027
SARL SONERAS	6,33	27,4	30	124,5	4,126	17,54	8,36
NAFTAL	-	28	240	338,9	19,96	1,39	1,28
ALFA PIPE	8	29,1	111	128,6	2,804	-	0,057

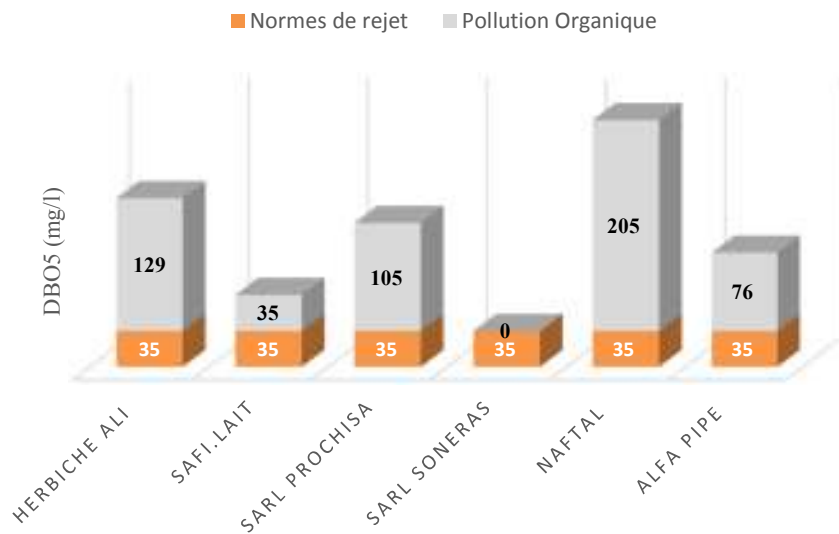


Figure VI. 3 : Résultats d’analyse de DBO<sub>5</sub> des unités industrielles

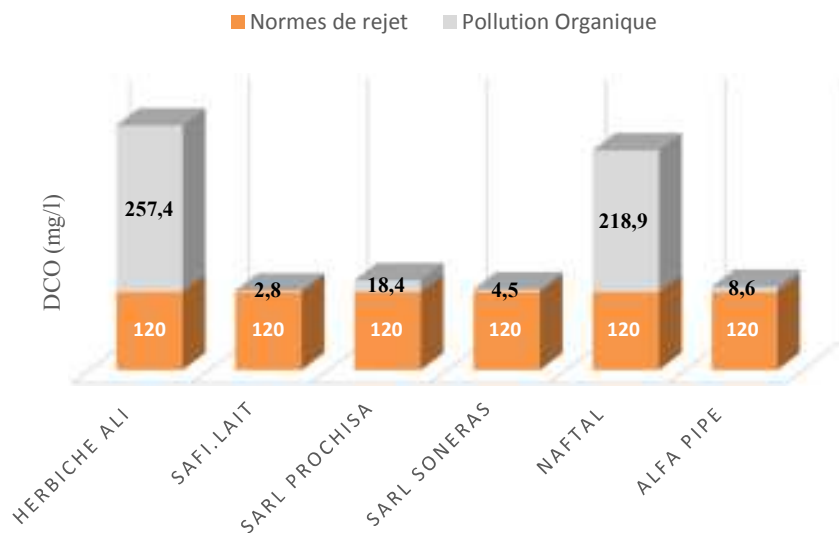


Figure VI. 4 : Résultats d’analyse de DCO des unités industrielles

Les résultats du tableau VI.7 et les figures VI.3 et VI.4 montrent que ;

- Les points de prélèvements situés au niveau des unités industrielles indiquant une prépondérance des matières minérales par rapport aux matières organiques, les valeurs obtenues montrent une grande teneur en DBO5, DCO, NO<sub>2</sub> qui est toutes supérieures aux normes algériennes (JORA.2006).
- Des valeurs du pH des rejets des unités industrielles se trouvent dans la gamme favorable pour l'activité bactérienne (6,5 à 8,5), ou le pH, indique l'alcalinité des eaux usées industrielles, son rôle est capital pour la croissance des microorganismes et l'interprétation de la corrosion dans les canalisations des installations de l'épuration.
- Des valeurs de température des rejets des eaux usées industrielles sont comprises entre 18° et 30°, qui sont comparables à la norme algérienne de rejet industriel (< 30°C), ou la température influe fortement sur l'activité biologique, le transfert d'O<sub>2</sub> et la croissance des algues.

D'après nos enquêtes au niveau des unités industrielles de la vallée nous avons constaté ;

- Les différentes industries rejettent des grandes quantités des matières inertes, les matières en suspension dans lesquelles les substances inactives sont incluses appartiennent à la catégorie des paramètres à surveilles.
- NAFTAL la société de distribution des hydrocarbures perde une faible quantité d'hydrocarbure dans le collecteur de l'unité, mais il engendre un grand problème au niveau de lieu de rejet. Huiles, graisses, matières en solution ou en suspension, détergents et phénols constituent des polluants très fréquents à leurs rejets.
- L'industrie chimique représente dans la région d'étude par fabrication des produits d'entretien (javel, vinaigre,...), produits cosmétiques et parfums rejetés des effluents posent le problème d'une biodégradabilité imparfaite,
- Nous signalons la non-biodégradabilité des rejets des industries ont des chaînes aliphatiques ramifiées tandis qu'une biodégradabilité apparente dans les industries ont des chaînes linéaires.
- Les polluants organiques industriels ont directement à voir avec l'industrie alimentaire : Fabrication des pâtes alimentaires, conserveries, abattoirs, laiteries rejettent les uns autant que les autres des quantités appréciables d'agents chimiques organiques. Ceux-ci ressemblent aux éléments habituellement contenus dans les eaux usées domestiques, par contre, les concentrations sont plus fortes.
- La laiterie présente par fois des valeurs de température de 32°C, elles sont dues aux eaux chaudes de rinçage des appareils de production. Cette température accélère le processus d'acidification par fermentation du lactose en acide lactique et favorise la formation d'une biomasse bactérienne importante. Avec surdosage en produits de nettoyage acido-basique à un rinçage nécessaire du matériel de production.

A cet effet l'activité industrielle dans la région d'étude engendre des quantités importantes d'effluents rejetées dans la nature sans traitement ni épuration, qui ont une part dans la dégradation de l'environnement et qui risquent de constituer à l'avenir la cause essentielle de la pénurie d'eau en polluant les eaux souterraines de la nappe phréatique. Ces quantités énormes de matière polluante exigent que les usines à traitements biologiques, chimiques et physiques conventionnelles soient modifiées en vue d'une épuration plus efficace.

**VI.3.3. Résultats d'analyse d'une station prétraitement**

Résultats d'analyse d'une station prétraitement des effluents industriels avant le rejet  
Prenons le cas de la station de service de Boubeker Sliman à Ghardaïa.

Tableau VI.8 : Résultats d'analyse de rejet de station de service (Boubeker Sliman)

Paramètres	Résultats d'analyses
PH	8,42
T°	26,4
DBO5	105
DCO	386,3
NO2 <sup>-</sup>	49,26
NO3 <sup>-</sup>	4,03
NH4 <sup>+</sup>	1,56

Les résultats du tableau VI.8 montrent que des stations des prétraitements des effluents industriels ne fonctionnent pas de façon correcte et de manière régulière. Le rendement épuratoire des installations antipollution de ces stations est souvent au-dessus des normes de protection de l'environnement.

**VI.4. Classification des sources de pollution**

Nous avons établi la classification des sources de pollution pour les rejets domestiques et industriels de la vallée du M'Zab, en se basant sur la classification des paramètres de l'Institut d'hygiène et d'épidémiologie (IHE, 1986) à travers le calcul de l'indice de pollution organique (IPO), les résultats de classification sont rassemblés dans les tableaux VI.9, VI.10

**VI.4.1. Classification des rejets domestiques**

Tableau VI.9 : Classification des rejets domestiques de la vallée du M'Zab -2013

Commune	Volume rejeté m <sup>3</sup> /j	Paramètre (mg/l)	Classe	Indice IPO	Degré de pollution	Lieux de rejet final
Ghardaïa	19688	O2	1.78	1	1.33	Pollution organique Très forte
El.Atteuf		DBO5	160	1		
		DCO	275	1		
		NH <sub>4</sub>	18	1		
Bounoura		PT	3.3	1		
		PO <sub>4</sub>	0.2	3		

**VI.4.2. Classification des rejets industriels**

Tableau VI.10 : Classification des rejets industriels de la vallée du M'Zab -2013

Nom d'unité	localisation	Paramètre (mg/l)	classe	indice IPO	Degré de pollution	Lieux de rejet
Herbiche Ali	Ghardaïa	DBO5	164	1	1.67	Pollution organique très forte
		DCO	377,4	1		
		NH <sub>4</sub>	0,76	3		
SARL Prochisa	Bounoura	DBO5	140	1	2.33	Pollution organique forte
		DCO	138,4	1		
		NH <sub>4</sub>	0,027	5		
SARL SONERAS	Bounoura	DBO5	30	1	1	Pollution organique très forte
		DCO	124,5	1		
		NH <sub>4</sub>	8,36	1		
SAFILAIT	Ghardaïa	DBO5	70	1	2	Pollution organique forte
		DCO	122.8	1		
		NH <sub>4</sub>	0,143	4		
ALFA PIPE	Bounoura	DBO5	111	1	2	Pollution organique forte
		DCO	128,6	1		
		NH <sub>4</sub>	0,057	4		
NAFTAL	Bounoura	DBO5	240	1	1.33	Pollution organique très forte
		DCO	338,9	1		
		NH <sub>4</sub>	1,28	2		

D'après l'évaluation de degré de pollution organique des rejets urbains de la vallée du M'Zab. On peut constater que l'ensemble des paramètres étudiés en particulier (DBO5, DCO, MES) situent les eaux usées analysées dans la tranche à concentration élevée, par ailleurs, selon la classification des effluents urbains réalisée par l'Institut d'hygiène et d'épidémiologie (IHE, 1986). Ces eaux usées affichent des valeurs de l'indice de pollution organique (IPO) entre 1-2,5 qui permet de qualifier le degré de pollution organique des différents rejets urbains (domestique, industriel) dans la vallée du M'Zab allant de forte à très forte pollution organique.

Ce degré permet de déclencher des interventions en urgence pour la préservation de l'environnement surtout pour l'unité industrielle de NAFATL.

### VI.5. Etude de vulnérabilité de la nappe à la pollution

L'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab s'est faite à partir de trois méthodes GOD, DRASTIC et SINTACS. Ces méthodes ont été couplées au SIG à fin de cartographier la vulnérabilité.

#### VI.5.1 Évaluation de la vulnérabilité par la méthode GOD:

La méthode GOD est une méthode qui utilise trois paramètres qui sont le type de nappe (G), la lithologie de la ZNS de l'aquifère (O) et la profondeur de la nappe (D) pour présenter la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale des polluants à travers la zone non saturée.

##### VI.5.1.1. Traitement des paramètres GOD:

###### 1.1. Type de nappe (G):

La vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère (Bézègues *et al.*, 2002; Renarda, 2002). La nappe phréatique étudiée est libre et son coefficient GOD égale à 0,8 ce qui lui confère un caractère plus vulnérable qu'une nappe captive due à l'absence d'horizon imperméable.

###### 1.2. Lithologie et perméabilité de la ZNS de l'aquifère (O):

La circulation et la propagation d'un contaminant dans la zone saturée dépendent aussi de la texture et la distribution lithologique des couches de l'aquifère. Cela est toujours contrôlé par la granulométrie, la porosité, la perméabilité et la lithologie des formations géologiques (Castany, 1981; Banton et Bangoy, 1997; Smida *et al.*, 2012). Cette dernière est obtenue par corrélation et extrapolation des données de logs stratigraphiques de forages et de piézomètres fournies par l'ANRH et la DRE qui montre que la ZNS est constituée de sable fin argileux, sable rougeâtre, sable moyen, sable gréseux, sable jaunâtre, sable graveleux et de gravier. Toutes ces formations font partie de la classe lithologique GOD sable et gravier qui a un coefficient 0,7.

###### 1.3. Profondeur de la nappe (D):

La profondeur de la nappe représente la distance verticale traversée par un polluant depuis la surface du sol pour atteindre l'aquifère. Généralement, la protection potentielle de l'aquifère augmente avec la profondeur de la surface supérieure de l'eau (Gravier *et al.*, 2004).

Les données de niveau de la nappe phréatique (Fig VI.5) montrent que le niveau d'eau ne dépasse pas 20 m dans toute la région. Trois intervalles de classes de profondeur du plan d'eau sont enregistrés à savoir:

- $D < 2\text{m}$  couvre 3,2% de la superficie de la nappe étudiée avec un coefficient 1,
- $2\text{m} < D < 5\text{m}$  présente 35,5 de la nappe avec un coefficient 0,9;
- $5\text{m} < D < 10\text{m}$  avec 14,5% de la surface de la nappe avec un coefficient 0,8
- $10\text{m} < D < 20\text{m}$  avec 45,2% de la surface de la nappe avec un coefficient 0,7 localisé au niveau des palmeraies de Bounoura

La faible profondeur de cette nappe l'exposera à une pollution quasi certaine.

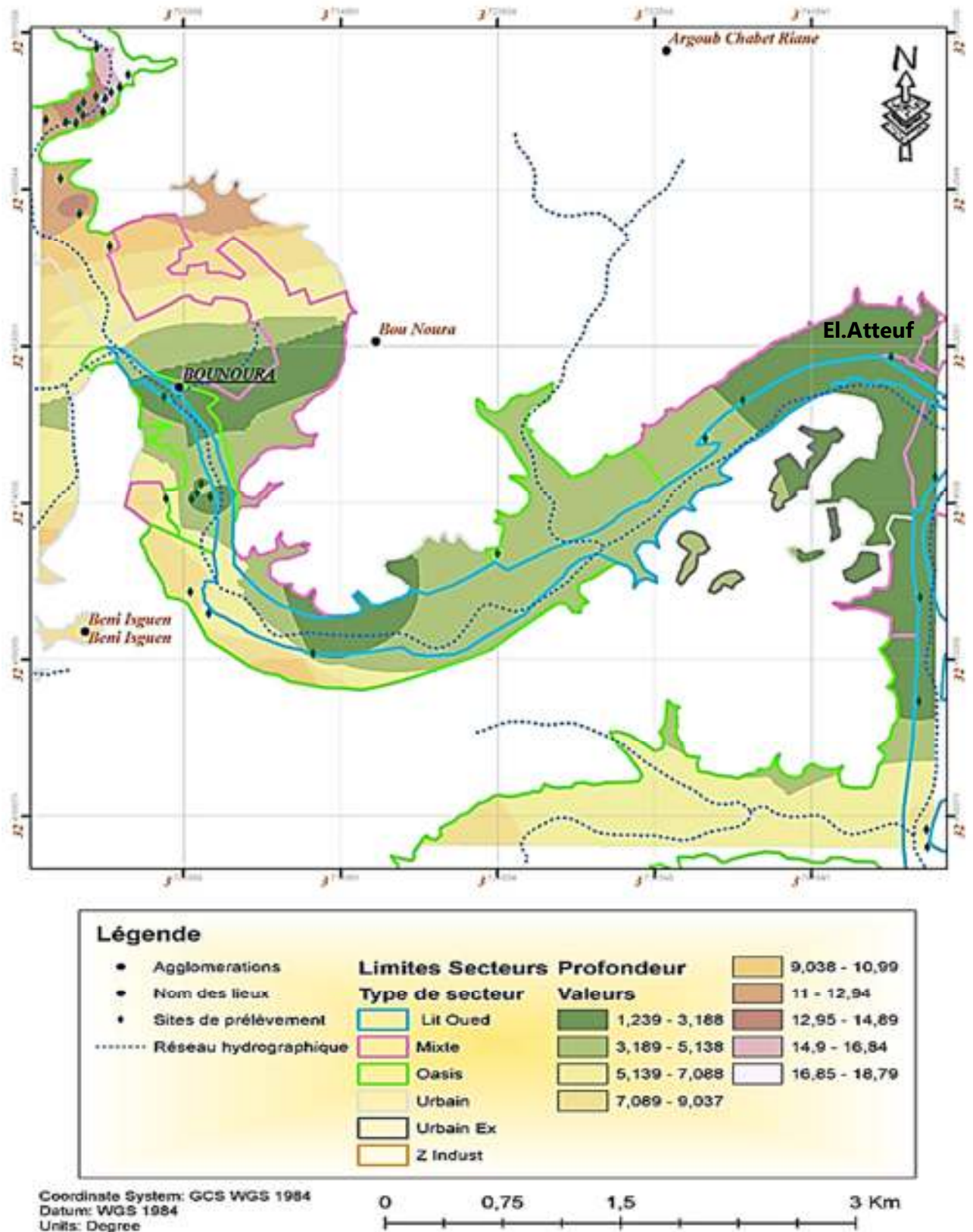


Figure VI. 5 : Carte isobathe de la nappe phréatique d'El-Attuef-2015

**VI.5.1.2. Carte de vulnérabilité GOD:**

Dans la région de M'Zab, les valeurs de l'indice GOD (IGOD) oscillent entre 0,39 et 0,56. Les valeurs obtenues sont représentées sur la carte de répartition spatiale des Indices GOD (Fig VI.6) qui montre que l'indice est égal à 0,39 au niveau des palmeraies de Bounoura, 0,50 au niveau de l'entrée d'El-Atteuf et égale à 0,45 dans la partie aval d'El-Atteuf. Les valeurs possibles de l'indice de GOD sont réparties en classes de la manière indiquée au tableau VI.11

Tableau VI.11 : Intervalles des valeurs de l'Indice GOD (Murat et al, 2003)

Intervalle	Classe GOD
<b>0-0,1</b>	Vulnérabilité très faible
<b>0,1-0,3</b>	Vulnérabilité faible
<b>0,3-0,5</b>	Vulnérabilité modérée
<b>0,5-0,7</b>	Vulnérabilité forte
<b>0,7-1</b>	Vulnérabilité extrême

La carte de vulnérabilité GOD (Figure VI.7) montre une répartition spatiale de deux classe, modérée et forte :

- Classe d'une vulnérabilité modérée : occupe une aire de 1750ha soit 70 % de la superficie de la nappe étudiée. Elle est localisée au niveau de Bounoura et à l'entrée d'El-Atteuf. Ce degré de vulnérabilité est expliqué par la profondeur de la nappe qui est supérieure à 5 m.
- Classe d'une vulnérabilité forte couvre 750 ha soit 30 % de la superficie de la nappe étudiée qui est égale à 2500 ha. Les zones relatives à cette classe se situent à El-Atteuf vers la station d'épuration dans le sens d'écoulement de Oued M'Zab où la nappe est peu profonde ( $D < 5m$ ) ce qui favorise le déplacement des polluants vers cette nappe et augmente leur risque de pollution.

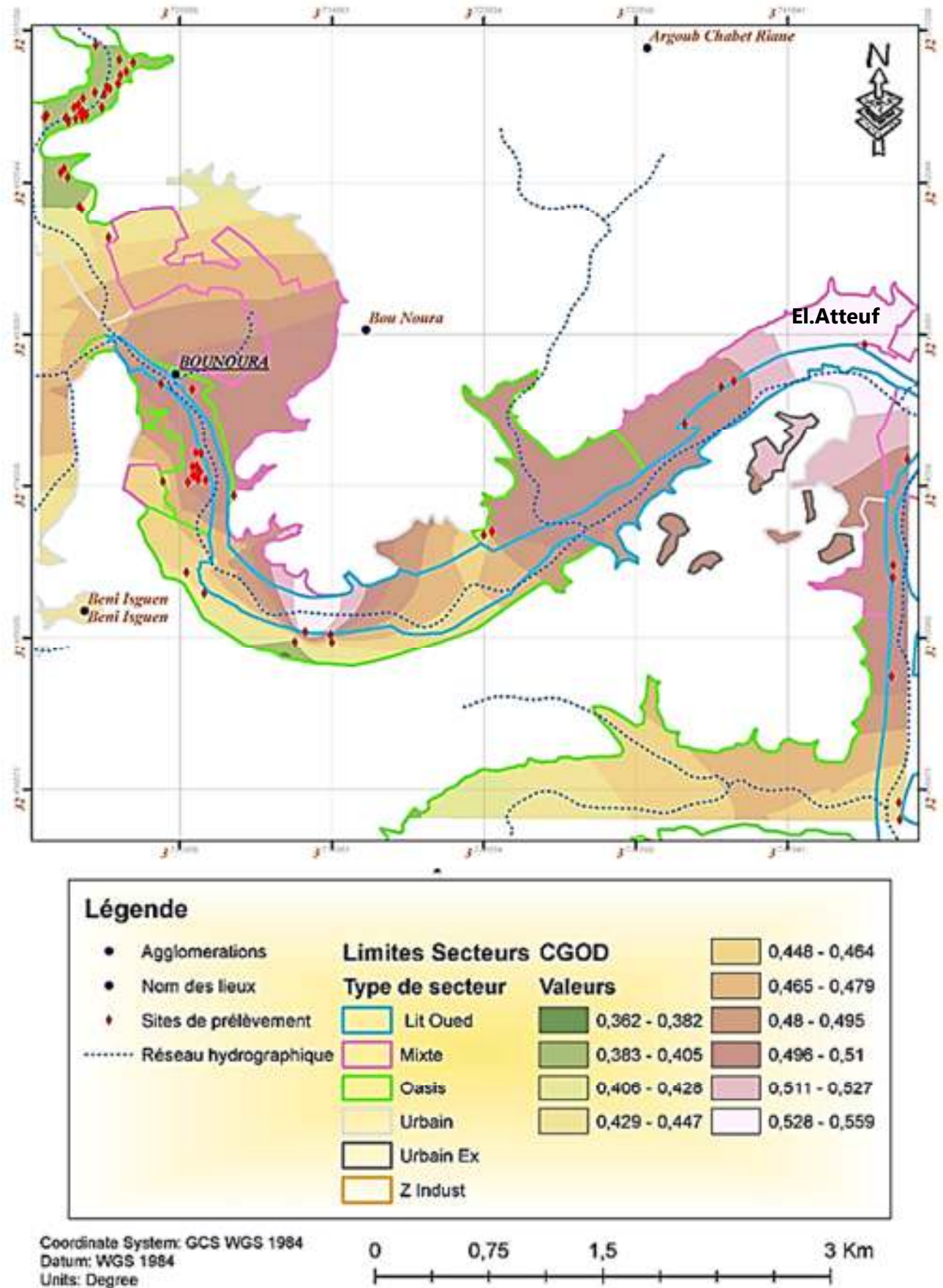


Figure VI. 6 : Carte de répartition spatiale de l'indice de GOD

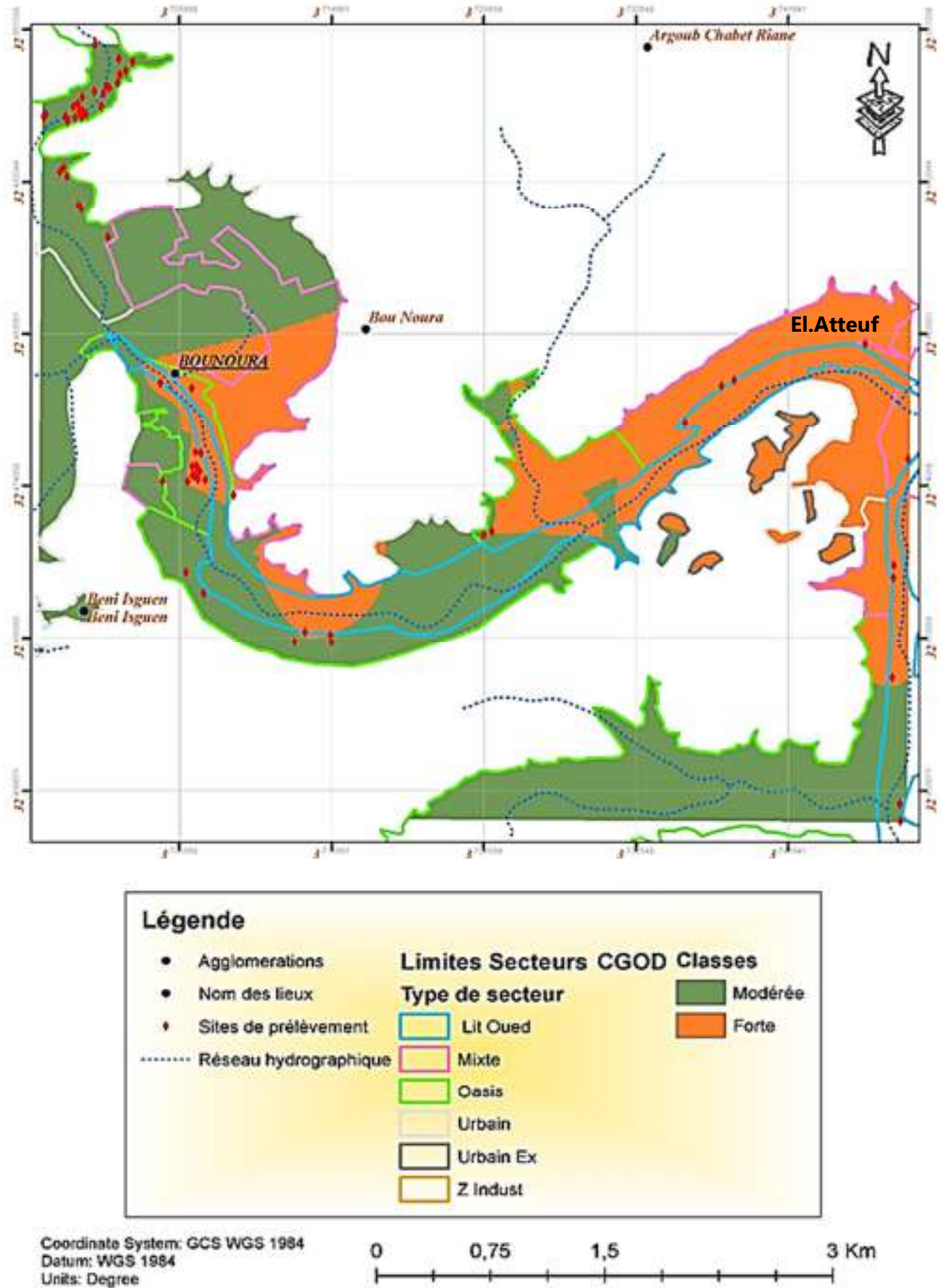


Figure VI. 7 : Carte de vulnérabilité de la nappe du M'Zab par la méthode de GOD



### VI.5.2. Évaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC:

La méthode DRASTIC c'est une moyenne pour évaluer le degré de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Elle prend en considération les facteurs suivants : la profondeur de l'eau (D) ; la recharge efficace (R) ; les matériaux de l'aquifère (A) ; le type de sol (S) ; la topographie ou la pente (T) ; l'impact de la zone non saturée (I) et la perméabilité ou la conductivité hydraulique de l'aquifère (C).

#### VI.5.2.1. Traitement des paramètres DRASTIC:

##### 1.1. Profondeur de plan d'eau (D):

La profondeur de plan d'eau dans notre région augmente en allant de l'Ouest vers l'Est. Selon la classification DRASTIC, trois classes de profondeur ont été déterminées à savoir:

- $D < 1,5\text{m}$  présente 22,9% de la superficie de la nappe étudiée avec une cote égale 10;
- $1,5\text{m} < D < 4,5\text{m}$  couvre 72,72% de la nappe étudiée où la cote est 9;
- $4,5\text{m} < D < 9\text{m}$  avec une cote égale à 7, couvre 4,38% de la région.

##### 1.2. Recharge efficace (R):

Il s'agit de la quantité d'eau atteignant la zone saturée sur une période donnée (recharge annuelle nette). Elle dépend de l'infiltration efficace et de sa répartition dans l'espace et dans le temps, donc du climat (ETP, précipitations), mais également de la topographie et de la nature des formations. Elle constitue un facteur de transfert des polluants vers les eaux souterraines (Bézègues et al., 2002; Haouchine et al., 2010). Dans ce travail, la recharge a été calculée à travers l'équation de Williams et Kissel (1991) qui est mentionnée dans le tableau VI.12:

Tableau VI.12 : Evaluation de la Recharge (Williams et Kissel ; 1991)

Groupe	Type de sol	Équation de Williams et Kissel
A	Sols graveleux profonds	$R = (P - 10,28)^2 / (P + 15,43)$
B	sols sableux, sols forestiers gréseux et sols sablo-limoneux.	$R = (P - 15,05)^2 / (P + 22,57)$
C	sols limono-sableux, sols sablo-argileux, sols argilo-sableux et encroûtement nodulaires.	$R = (P - 19,53)^2 / (P + 29,29)$
D	sols hydromorphes argileux et sols de périmètres urbains	$R = (P - 22,67)^2 / (P + 34,00)$

Où:

- R: est la recharge efficace (mm/an);
- P: est la pluviométrie annuelle (mm/an).

D'après la carte géologique de la région et l'étude pédologique établie par (Khadraoui 2007), les sols de la zone d'étude appartiennent au groupe hydrologique "B" qui englobe les sols sableux, sols forestiers gréseux et sols sablo-limoneux. La précipitation annuelle calculée à partir des données de l'ONM, pendant une durée de **29 ans** allant de l'année 1986 jusqu'à l'année 2014 est de l'ordre de 93 mm (ONM; 2015) ce qui donne une recharge égale à **52,58 mm/an** donc une cote égale à 3.

##### 1.3. Lithologie de l'aquifère (A):

Une seule classe lithologique a été déterminée qui est le sable et le gravier, sa cote est 8.

##### 1.4. Type de sol (S):

La nature de sol et leur épaisseur sont les deux facteurs qui conditionnent le caractère épurateur et l'aptitude des sols à laisser s'infiltrer un polluant (Bézègues et al., 2002).

La pédologie a été extraite des études pédologiques effectuées par (Khadraoui 2007). En se basant sur la classification pédologique de la méthode DRASTIC, deux classes ont été extraites, celle de gravier avec une cote **09** et celle de sable avec une cote **10**.

**1.5. Topographie (T):**

La pente est un élément déterminant dans l'orientation et l'organisation des cours d'eau. Plus la pente est faible, plus la vulnérabilité est forte. D'après [Achour Mansour \(2014\)](#), la pente de la région d'étude est de l'ordre de 3 ‰. Cette faible pente privilégie l'infiltration et le transfert des polluants vers la nappe ce qui augmente la vulnérabilité. La cote attribuée à cette pente égale à 10.

**1.6. Lithologie de la ZNS (I):**

La lithologie est déterminée par l'interpolation des couches, en utilisant comme données de base, la lithologie des forages disponibles dans notre zone d'étude (ANRH) et les coupes lithologiques des puits d'observation réalisés par LTPS. Une seule classe lithologique a été extraite, c'est celle de sable et de gravier avec un coefficient de 8.

**1.7. Conductivité hydraulique de l'aquifère (C):**

La conductivité hydraulique est la facilité qu'a un fluide pour se déplacer dans une formation. Elle est reliée de manière étroite à la perméabilité dont une roche plus perméable possède une conductivité hydraulique plus élevée ([Renarda, 2002](#)). Elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe ([Bézèlgues et al., 2002](#)). Les valeurs de conductivité hydraulique utilisées sont fournies par LTPS. Elle est de l'ordre de 2,15 m/j leur cote est 1.

**VI.5.2.2. Carte de vulnérabilité DRASTIC:**

L'indice DRASTIC (ID) de notre région d'étude s'échelonne de 116 à 146. La Figure VI.8 montre que les basses valeurs de cet indice sont enregistrées au niveau des zones de palmeraies de Bounoura et El-Attuef et elles augmentent en allant vers les zones urbaines.

Les valeurs possibles de l'indice DRASTIC sont réparties en classes de la manière indiquée au tableau VI.13. Les valeurs obtenues dans la région de travail font partie de deux classes de vulnérabilité qui sont la classe de degré moyen de vulnérabilité et la classe de degré élevé de vulnérabilité.

Tableau VI.13 : Classes de la vulnérabilité de la méthode DRASTIC ([Engel et al, 1996](#))

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité (ID)
Fiable	< 101
Moyen	101-140
Fort	141-200
Très fort	>200

À partir de la carte de vulnérabilité de la nappe phréatique étudiée (FigVI.9), on remarque que cette nappe est caractérisée par l'étendue spatiale des terrains à vulnérabilité élevée et moyenne.

- Les terrains à vulnérabilité moyenne qui s'étendent sur 58 % de la superficie de la nappe se rencontrent dans deux régions de Bounoura qui est caractérisée par une nappe moyennement profonde (5 m à 20 m) .
- Les terrains à vulnérabilité élevée s'étalent sur 42% de la superficie de la nappe et se rencontrent dans les régions d'El Atteuf jusque l'aval. Ces terrains sont des zones hautement vulnérables caractérisées en même temps par une zone non saturée perméable, une faible profondeur de la nappe (< 4,5 m) et sols graveleux ce qui peut augmenter leur risque de pollution.

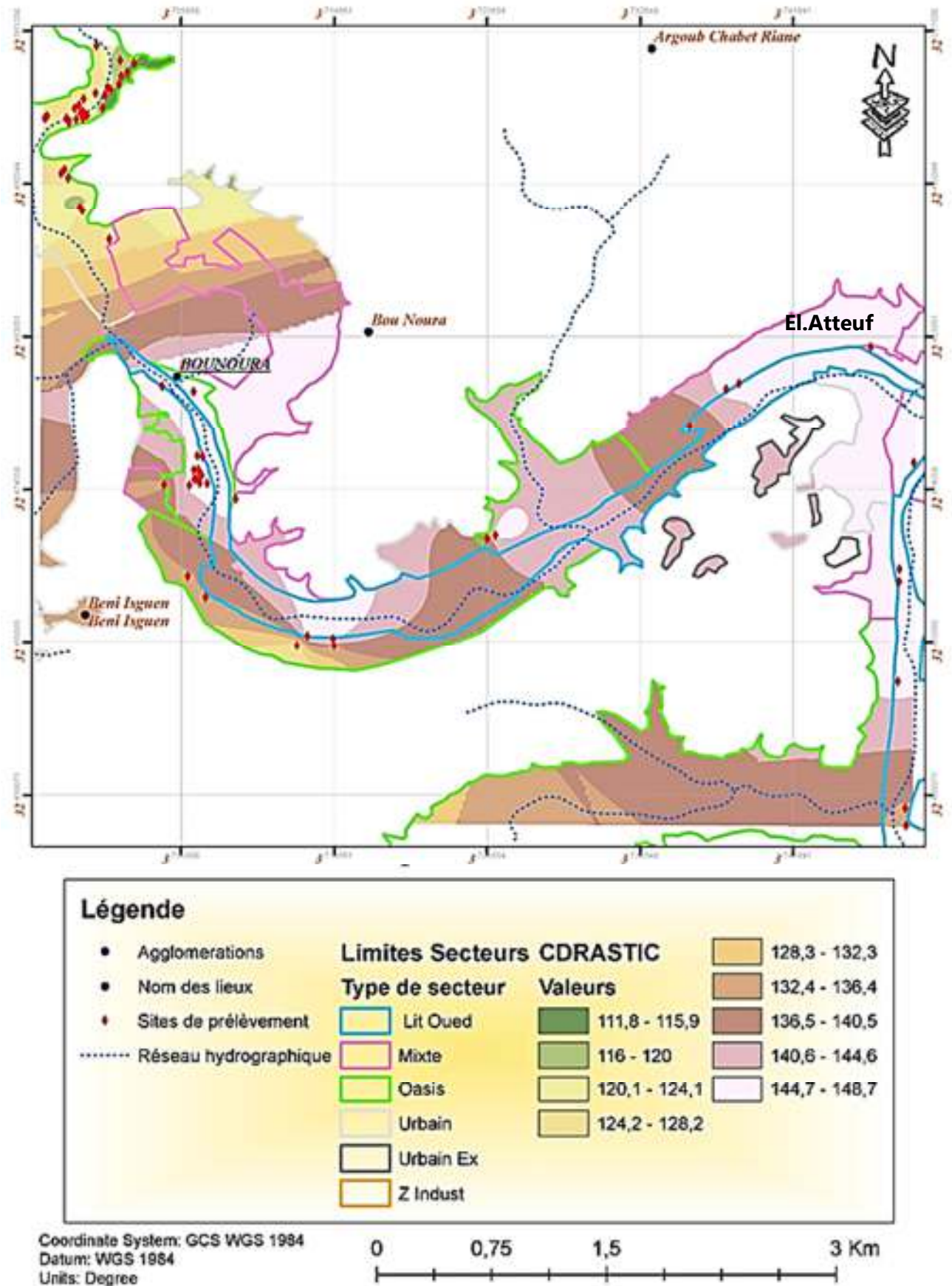


Figure VI. 8 : Carte de répartition spatiale de l'indice de DRASTIC

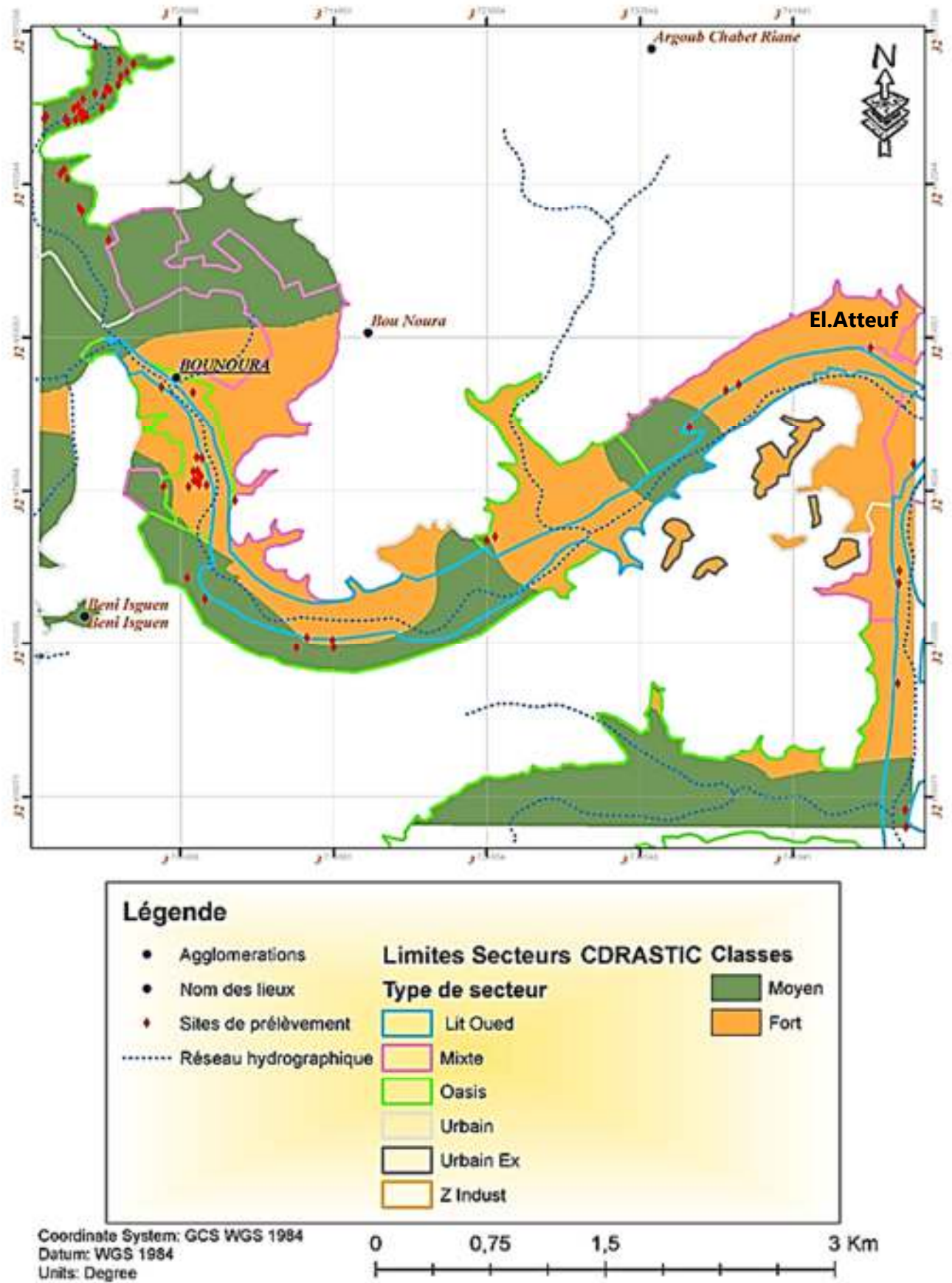


Figure VI. 9 : Carte de vulnérabilité de la nappe du M'Zab par la méthode de DRASTIC

**VI.5.3. Évaluation de la vulnérabilité par la méthode SINTACS:**

La méthode SINTACS traite les mêmes paramètres que la méthode DRASTIC sauf qu'elle prend en considération la situation de l'aquifère dont laquelle propose cinq scénarios de vulnérabilité de l'aquifère qui sont en fonction de l'occupation de sol.

**VI.5.3.1 Traitement des paramètres SINTACS:**

Le traitement de la méthode de SINTACS a été fait à la base des mêmes cotes que celles de la méthode DRASTIC pour les paramètres profondeur du plan d'eau (S), recharge efficace (I), lithologie de la zone non saturée (N), type de sol (T), type de l'aquifère (A), conductivité hydraulique (C), et topographie (S), avec l'intégration des poids qui varient en fonctions des scénarios. Le découpage de la région d'étude en fonction des scénarios a été réalisé sur la base de la carte d'occupation des sols (Fig VI.10).

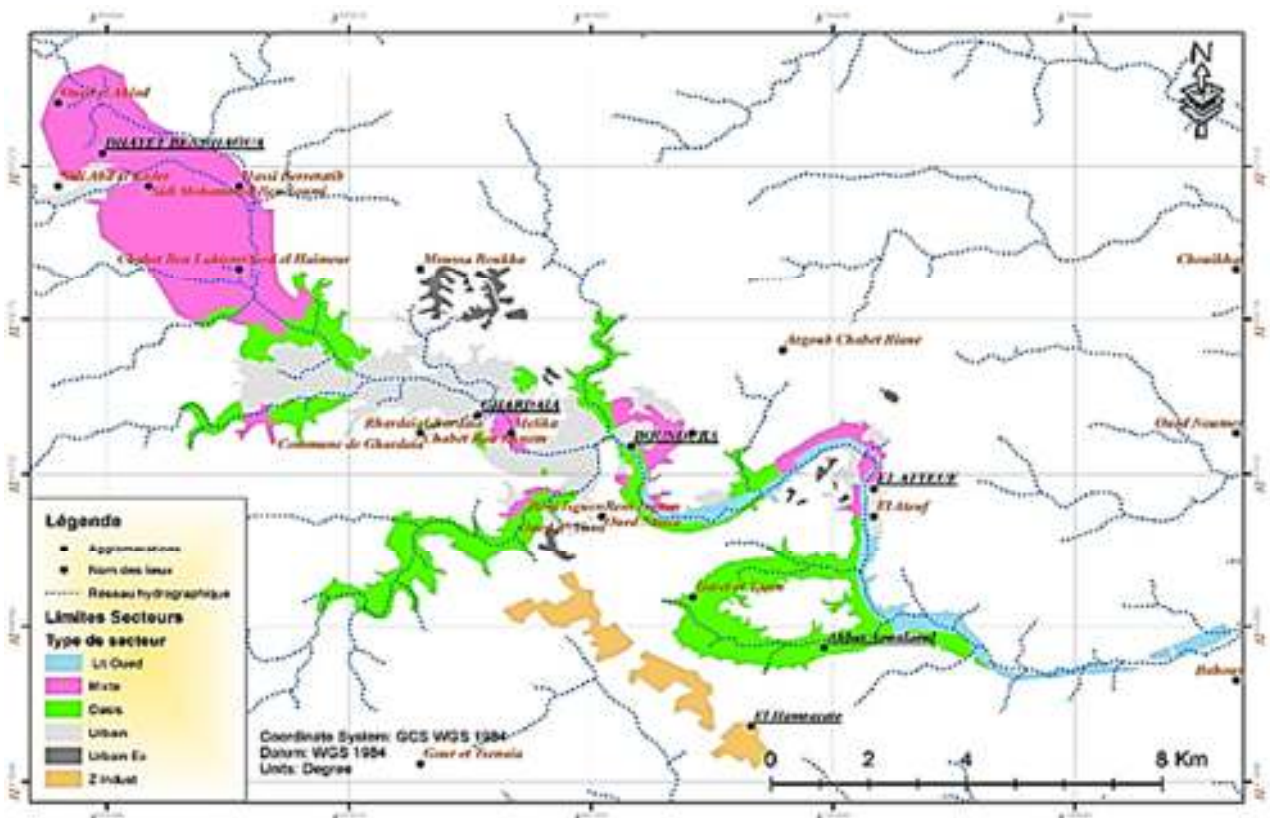


Figure VI. 10 : Carte d'Occupation des sols de la vallée du M'Zab (Zegait, 2015)

**VI.5.3.2. Carte de vulnérabilité SINTACS:**

L'élaboration de la carte de vulnérabilité SINTACS se fait de la même manière que la méthode DRASTIC après le calcul de l'indice de vulnérabilité (SINTACS).

Tableau VI.14 : Classes de la vulnérabilité de la méthode SINTACS (Civita, 1994)

Indice de vulnérabilité	Degré de vulnérabilité
<106	Fiable
106-186	Moyen
187-210	Elevé
>210	Très élevé

Dans notre région d'étude, on distingue les trois premiers scénarios à savoir :

- Le scénario "impact normal" qui concerne les zones où les transformations sont rares, avec existence ou non de terres cultivées et les périmètres urbains très dispersés, qui se trouve dans les périphéries de la région étudiée.
- Le scénario impact sévère qui correspond aux régions où l'occupation des sols est intensive, il occupe le centre de la région d'étude.
- Le scénario drainage important à partir d'un réseau superficiel au niveau des Sebkhass et les drains.

Les valeurs de l'indice SINTACS dans la région d'étude s'étalent entre 131 et 168, déterminants un seul degré de vulnérabilité qui est le degré moyen (Fig VI.11).

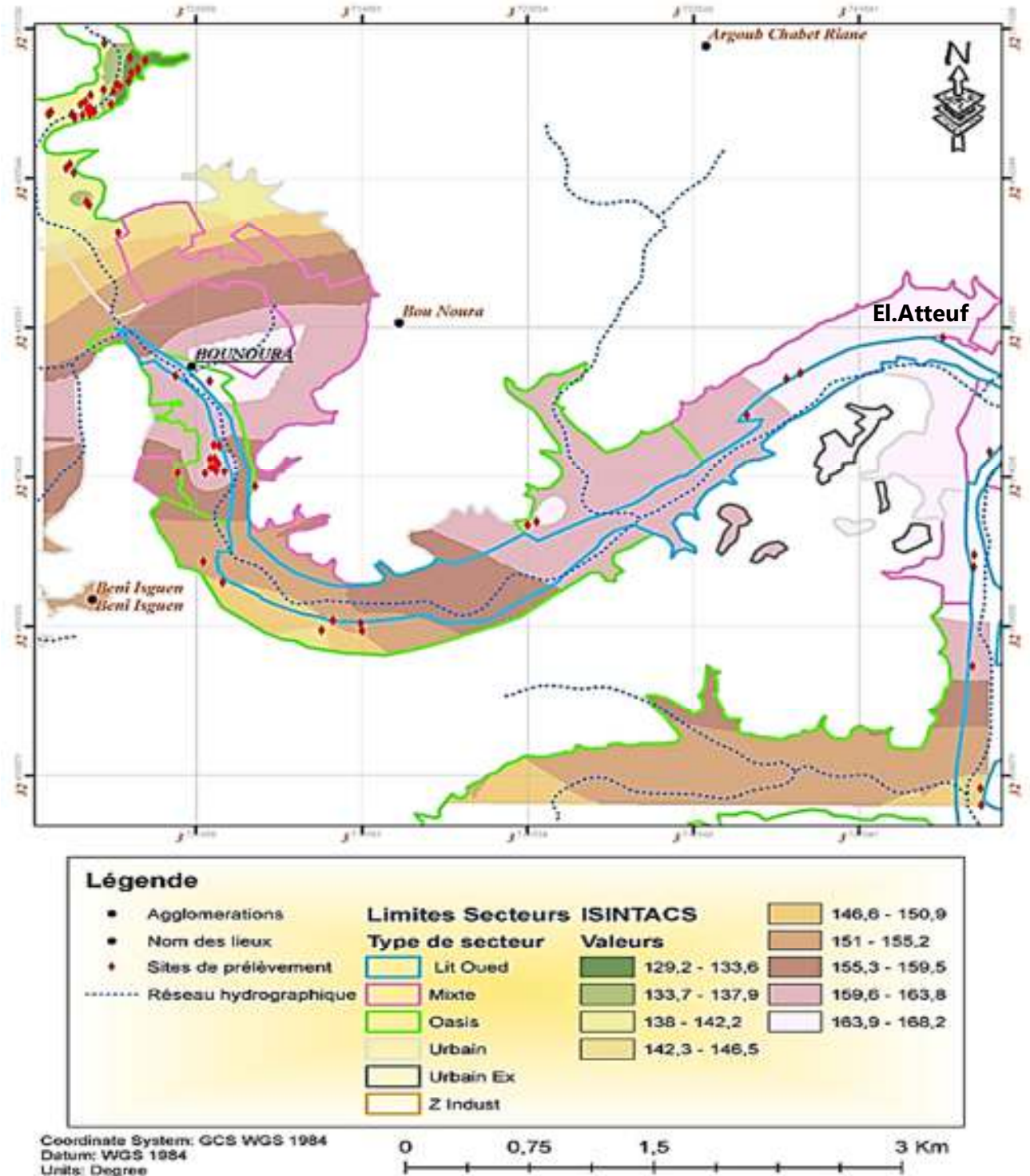


Figure VI.11 : Carte de répartition spatiale de l'indice de SINTACS

La carte de vulnérabilité SINTACS (Fig VI.12) met en évidence une seule classe de vulnérabilité ; qui concerne les zones à moyen degré de vulnérabilité qui occupe la totalité de la superficie de la région étudiée (100%).

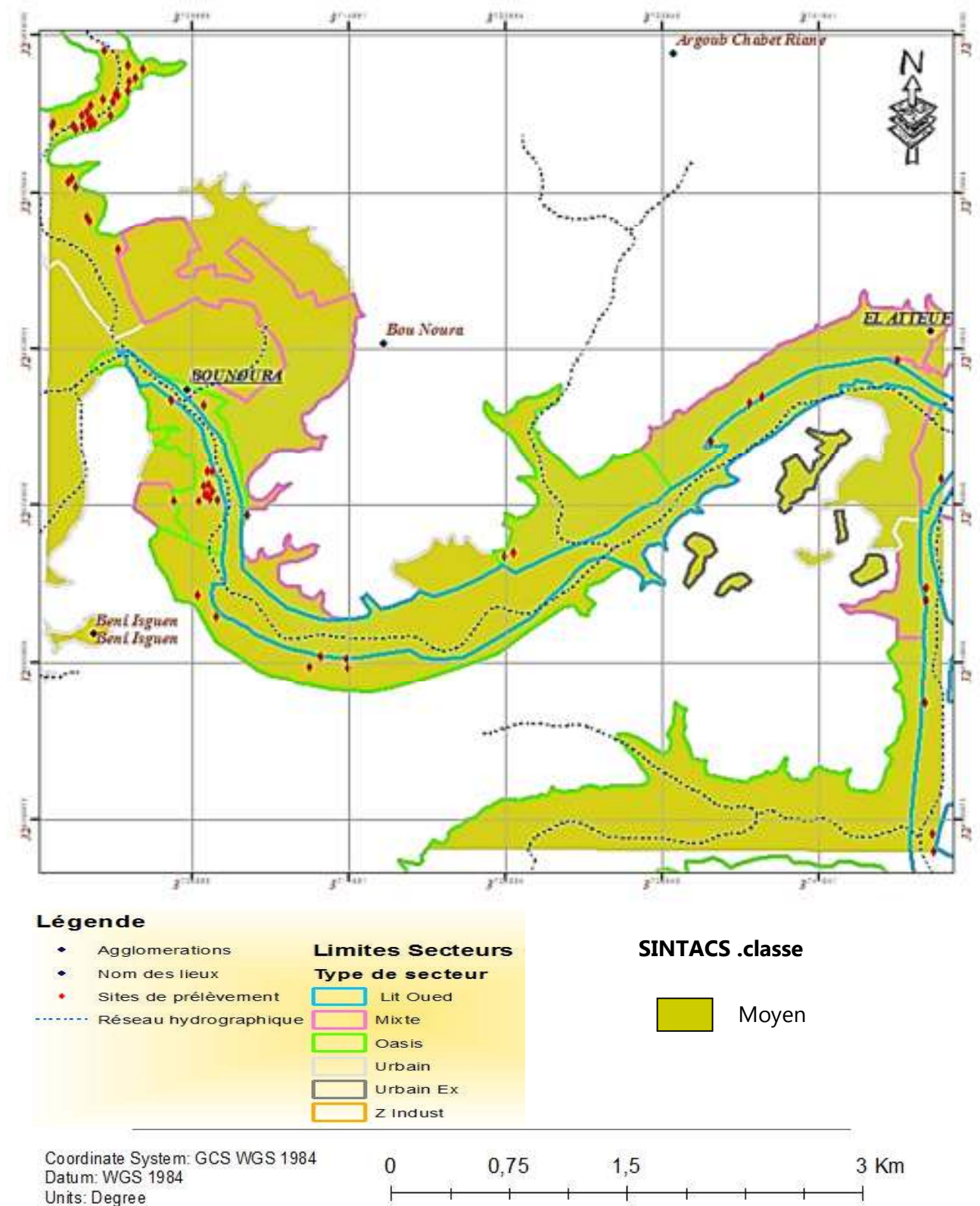


Figure VI.12: Carte de Vulnérabilité de la nappe du M'Zab par la méthode de SINTACS

## VI.6.Conclusion

Les résultats d'analyse des échantillons prélevés lors de la campagne de mesure ont permis d'aboutir aux conclusions que les rejets urbains de la vallée du M'Zab (domestique, industriel) présentent des valeurs des paramètres physico-chimiques majeurs et de pollution qui dépassent relativement les valeurs limites générales des rejets directs dans le milieu récepteur surtout les unités industrielles dont la biodégradabilité des rejets est difficile, ce qui représente un risque de pollution environnementale pour ce dernier.

Nous avons constaté une teneur élève de PO<sub>4</sub> qui s'exprime par l'utilisation intensive des produits de nettoyages (les détergents) qu'ils doivent être dégradés et hydrolysés par les bactéries en orthophosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques.

On peut constater que l'ensemble des paramètres étudiés en particulier (DBO<sub>5</sub>, DCO, MES) situent les eaux usées analysées dans la tranche à concentration élevée, par ailleurs, selon la classification des effluents urbains réalisée par l'Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie (IHE, 1986). Ces eaux usées affichent des valeurs de l'indice de pollution organique (IPO) entre 1-2,5 qui permet de déduire un degré de pollution organique allant de forte à très forte pour les différents rejets des eaux usées dans la région d'étude.

Nous pouvons signaler que le traitement de ces rejets est nécessaire et donc impératif la projection d'une station d'épuration surtout dans les zones a des rejets directs dans le milieu naturel (Daya) afin de produire un effluent qui respecte les normes algériennes fixées aux rejets, et la préservation des ressources hydriques.

L'examen des différentes cartes élaborées en appliquant trois modèles, GOD DRASTIC, SINTACS couplés aux SIG en utilisant plusieurs paramètres tels que la profondeur de la nappe, la recharge, type de sol, topographie et l'impact de la zone non saturée en vue d'évaluer la vulnérabilité intrinsèque de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab à la pollution nous permet de ressortir :

La répartition spatiale des degrés de vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab allant de moyenne à élevé. On note que les zones à moyenne vulnérabilité occupent 58 à 70 % de la superficie de la zone d'étude qui se localisent dans les palmeraies de Bounoura et El-Atteuf, alors que les indices les plus élevés sont localisés autour de zones urbaines qui représente de 30 à 42 % de la superficie étudiée. Cette analyse révèle que la profondeur de la nappe est le paramètre déterminant sur ces deux modèles de la vulnérabilité tant que les autres paramètres sont homogènes dans toute la région étudiée, cependant, la méthode SINTACS met en évidence que toute la nappe phréatique de la vallée à une vulnérabilité moyenne et qui ne reflète pas la variabilité des zones polluées dans la vallée.

D'après nos enquêtes au niveau de la vallée et l'examen des trois cartes élaborées nous permet de déduire que la méthode DRASTIC est la méthode la plus appropriée aux conditions régionales, et qui reflète la situation environnementale de la zone d'étude.

Cette approche spatialisée de la vulnérabilité permet une meilleure gestion des ressources en eau souterraine et des interventions convenables dans le cas de contamination. Elle permet aussi d'identifier les zones susceptibles d'être contaminées suite à des activités anthropiques. Elle constitue un support d'aide à la décision en matière de planification et d'aménagement du territoire.

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'installation d'une station de lagunage naturel au niveau de la vallée qui a pour but de supprimer les nuisances et les risques de contamination des eaux souterraines.

À cet effet l'objet du prochain chapitre est d'évaluer l'efficacité de la station d'épuration et la qualité des eaux épurées afin de minimiser la pollution des rejets urbains, préserver la nappe phréatique et l'environnement.



# Chapitre VII

## Performances epuratoires et réutilisation

## VII.1.Introduction

La station d'épuration de la vallée du M'Zab dont le traitement se fait par lagunage naturel, à fait l'objet d'une étude, au cours de laquelle les paramètres physicochimiques et bactériologiques ont été étudiés a pour objet de minimiser la pollution de la nappe phréatique.

Dans ce chapitre, nous allons interpréter les résultats de mesure de la qualité des eaux usées brutes et épurées dans la station d'épuration de la vallée du M'Zab et les comparer avec les normes nationales et internationales des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation d'une part, l'évaluation de la qualité des eaux de la nappe phréatique d'autre part. à la fin on va présenter une étude statistique qui permet de mettre en évidence plus des significations sur les causes fondamentales des phénomènes observés.

## VII.2.Qualité des eaux de la station d'épuration

### VII.2.1.Température (T)

Les valeurs moyennes de la température des eaux usées au cours de la période d'étude (2013-2015) varient entre 21°C à l'entrée de la STEP et 20°C à sa sortie. Ces valeurs sont conditionnées, essentiellement, par la température des rejets domestiques d'une part et des conditions météorologiques d'autre part. À la sortie, une valeur maximale de 26°C est enregistrée, au mois de Juin 2014 et une valeur minimale de 9.5°C pendant le mois de décembre 2013.

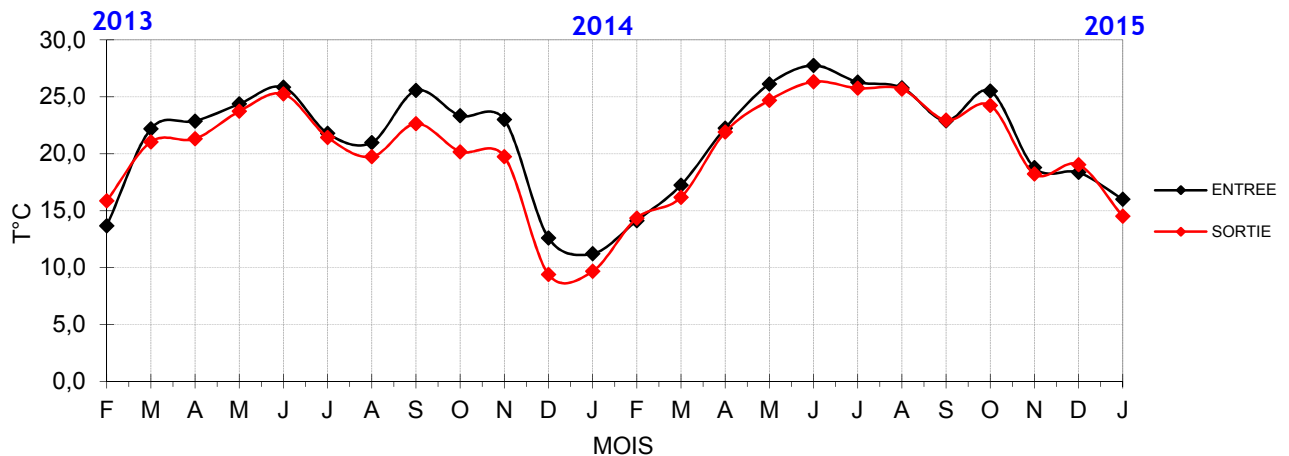


Figure VII. 1 : Variation mensuelle des T°

Les valeurs prises par la température des effluents de la STEP du M'Zab se situent dans une gamme favorable à l'activité microbienne (< 30 °C). Ceci favorise le traitement biologique des eaux usées ainsi que le développement de la végétation (Kettab, A. et al,2015).

### VII.2.2. Le pH

Le pH, est l'un des paramètres environnementaux qui influencent fortement à la croissance bactérienne. L'optimum de croissance des bactéries aquatiques se situe entre 6,5 et 8,5 (Monello.D.2009).

Le graphique d'évolution (Fig VII.2) montre clairement que les valeurs du pH mesurées durant notre période d'étude (2013-2015) varient pour les eaux brutes entre 7,36 et 7,89 pour une moyenne de 7,62 qui indique un caractère des eaux résiduaire tandis que pour les eaux traitées, le pH varie entre 7,78 et 8,36 avec une moyenne de 8,09 qui signifie une neutralité de l'eau traitée sur la durée totale de l'expérience qui répond aux normes des eaux d'irrigation, d'après les directives de FAO ( 6,5 à 8,5) et les normes algériennes (IANOR. ,2014).

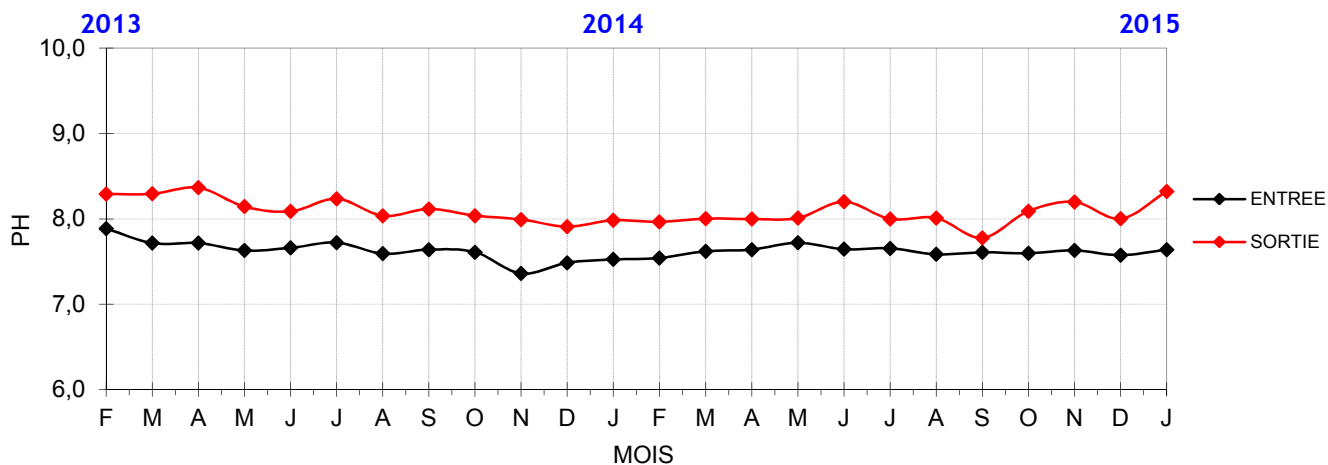


Figure VII. 2 : Variation mensuelle du pH

**VII.2.3. Conductivité électrique (CE)**

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium). Les résultats présentés dans le graphique d'évolution de CE (Fig VII.3), montrent que les valeurs de la moyenne mensuelle de la conductivité électrique varient dans un intervalle de 3,08 ms/cm et 4,27 ms/cm, pour les eaux brutes, entre 2,58 ms/cm et 4,13 ms/cm pour les eaux traitées, où la moyenne est de l'ordre de 3,17 ms/cm, celle-ci dépasse la norme de l'OMS limitée pour les eaux d'irrigation (< 3 ms/cm), cette augmentation peut être expliquée par l'augmentation des sels dissous, et d'autre part à la température qui augmente la mobilité des ions et l'évaporation et donc la concentration des sels (Rodier J.2009).

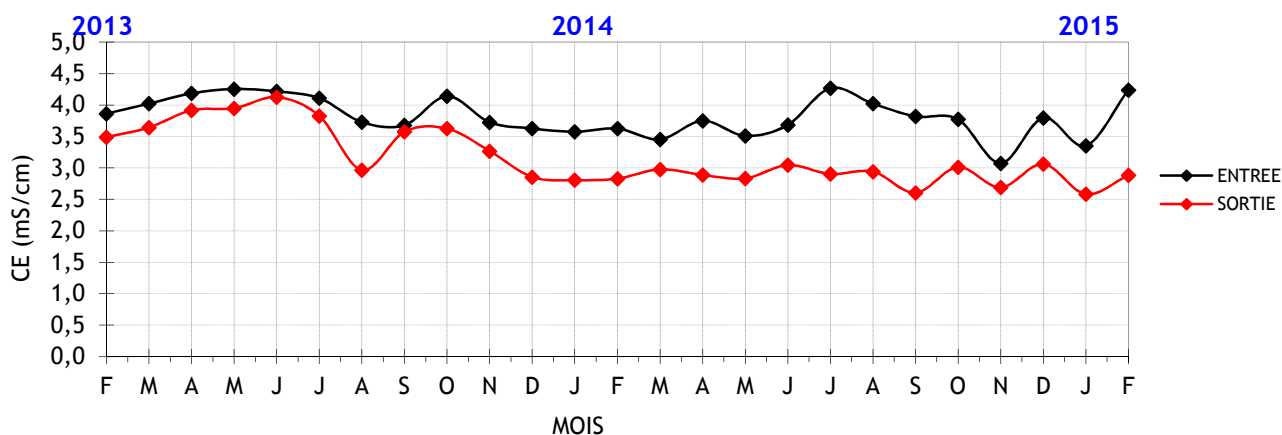


Figure VII. 3 : Variation mensuelle de CE

D'après la classification des eaux d'irrigation rapportée par Richards (Faby, J.A et al ,1997), les effluents de la STEP du M'Zab appartiennent à la classe IV. Cette classe se caractérise par une forte salinité. En cas d'exploitation en agriculture, elle peut provoquer des phénomènes de salinisation au niveau du sol. Une exploitation qui reste toujours possible sous certaines conditions.

**VII.2.4. Salinité**

La salinité d'une eau désigne la quantité des sels dissous contenue dans cette eau. Les résultats de la salinité montrent que les valeurs journalières de cette dernière varient d'un minimum de 2,05 g/l à un maximum de 2,46 g/l avec une moyenne de 2,23 g/l pour les eaux brutes. Tandis que dans les eaux traitées les valeurs de la salinité se situent entre 1,78 g/l et 2,3 g/l, avec une moyenne de 2,09 g/l (Fig VII.4), ces eaux sont classées avec les eaux très salines (1 à 3 g/l), le risque encouru par les cultures est fonction de la nature des sels minéraux contenus dans l'eau d'irrigation, leurs teneurs et la texture du sol (Kettab, A. et al,2015). Le traitement de lessivage est obligatoire pour améliorer sa qualité.

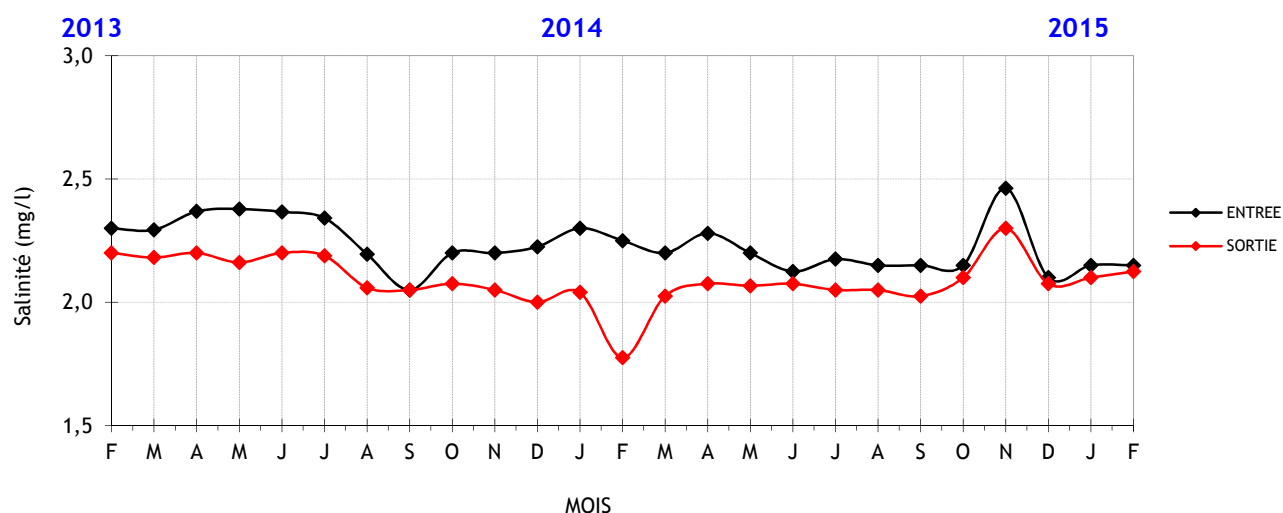


Figure VII. 4 : Variation mensuelle de la Salinité

### VII.2.5. Oxygène dissous (O<sub>2</sub>)

L'oxygène contenu dans l'eau a des origines diverses, la plus directe est représentée par la dissolution de l'air atmosphérique (SECONDAT M., 1952), sa solubilité est fonction de la température et de la pression partielle dans l'atmosphère. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10mg/l. La concentration en oxygène détermine la concentration en bactéries anaérobies et aérobies ce qui conditionne le traitement biologique de la matière organique (Rodier J.2009).

Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux brutes prennent des valeurs faibles ou la moyenne est de 3 g/l. Pour les eaux traitées, le taux de l'oxygène dissous varie entre 3,34 mg/l et 7,13 mg/l, avec une valeur moyenne de 5,21 mg/l pour toute la durée de l'expérience.

Les fluctuations de la teneur en oxygène dissous de l'eau sont liées aux variations saisonnières de la température et la salinité de l'eau qui ont un impact direct sur le processus de solubilité de l'oxygène. Nous notons en effet, une augmentation des valeurs moyennes des concentrations en oxygène des eaux traitées par rapport aux eaux brutes. Cette augmentation peut être expliquée par l'action photosynthétique des algues dans les bassins d'aération.

Notons que la valeur moyenne obtenue sur toute la période de l'expérience pour les eaux traitées (5,21 mg/l) est très proche des normes de rejets de l'OMS (O<sub>2</sub> dissous = 5 mg/l), ce qui confirme l'efficacité du traitement.

### VII.1.6. Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La demande biologique en oxygène estime la quantité d'oxygène requise pour stabiliser la matière organique susceptible d'être dégradée sous conditions aérobies. Ce paramètre évalue indirectement la quantité de matière organique biodégradable. Il constitue le principal critère utilisé dans le contrôle de la pollution des corps récepteurs de la charge organique.

À partir des résultats obtenus, on remarque que les mesures effectuées sur les eaux brutes de la STEP ont une moyenne de 189 mg/l. cette valeur est supérieure aux caractéristiques généralement trouvées pour les eaux résiduaires « 183 mg/l (ONA) ». Ainsi que tous les résultats obtenus sur l'eau traitée (53,47 mg/l) sont supérieurs à la norme de l'OMS, des eaux utilisées pour l'irrigation, et les recommandations USEPA exige une DBO<sub>5</sub> < 30 mg/l (Elhaite, H., 2010). Elle est inférieure à la valeur maximale de 30 mg/l dans le NA (IANOR, 2014). Ceci souligne le rôle des bactéries aérobies et micro-organismes minéralisateurs qui utilisent l'oxygène pour détruire la matière organique. De ce fait, un traitement tertiaire est recommandé afin d'éviter tout risque.

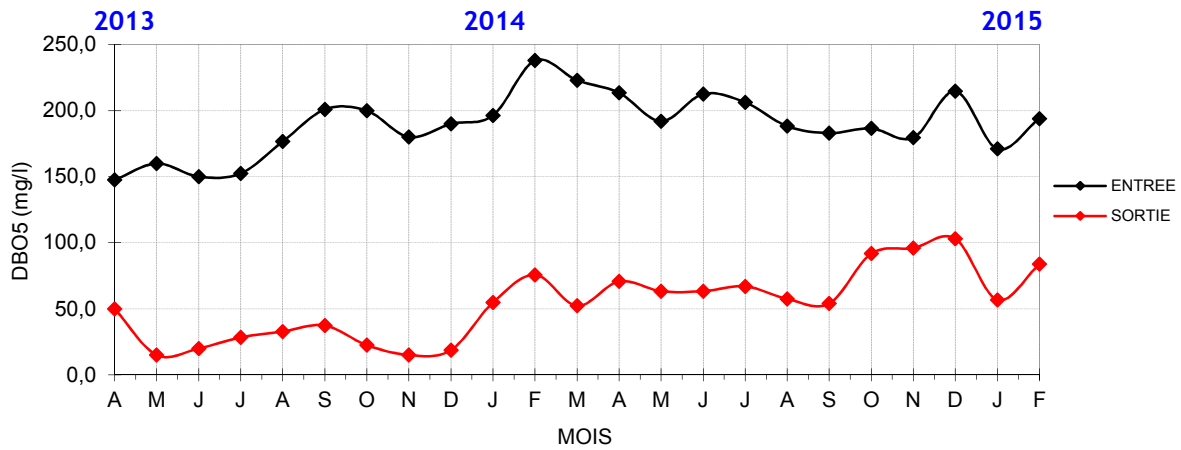


Figure VII. 5 : Variation mensuelle de la DBO5

Nous notons (Fig VII.6) une bonne élimination de cette pollution organique, avec un rendement moyen de 72,15%, qui peut arriver jusqu'à 91.67% comme une valeur maximale. Ce rendement en DBO5 peut s'expliquer par un développement important de la biomasse bactérienne à cause de la température moyenne et à l'oxygénation suffisante.

Il faut retenir que dans un milieu nettement pollué, des faibles valeurs de DBO5, peuvent être liées à la présence d'éléments toxiques inhibiteurs, d'où l'intérêt de ne pas considérer la DBO5 comme unique critère d'estimation de la qualité d'une eau (Rodier J.2009).

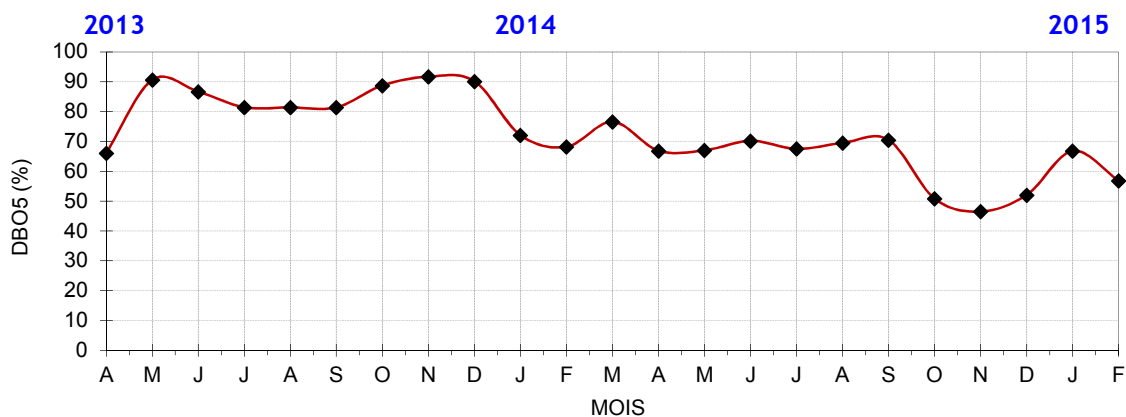


Figure VII. 6 : Rendement d'élimination mensuel de la DBO5.

### VII.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène permet une estimation de la concentration en matière organique, sa mesure ne fait pas la différence entre la matière organique biodégradable et non biodégradable (Rodier J.2009). Les résultats de DCO obtenus pour les eaux traitées varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 102 mg/l à un maximum de 211 mg/l, pour une moyenne de 152,54 mg/l.

Ces valeurs sont supérieures à la norme nationale des eaux d'irrigation (90 mg/l), tandis que celles des eaux brutes oscillent entre 310,25mg/l et 495,75 mg/l, avec une moyenne de 394,75 mg/l.

Notons que dans la Figure VII.7, une diminution des valeurs de DCO pour les eaux traitées par rapport aux eaux brutes. Cette réduction de DCO peut être expliquée par la diminution de la matière organique complète par oxydation chimique des molécules oxydables contenues dans l'eau.

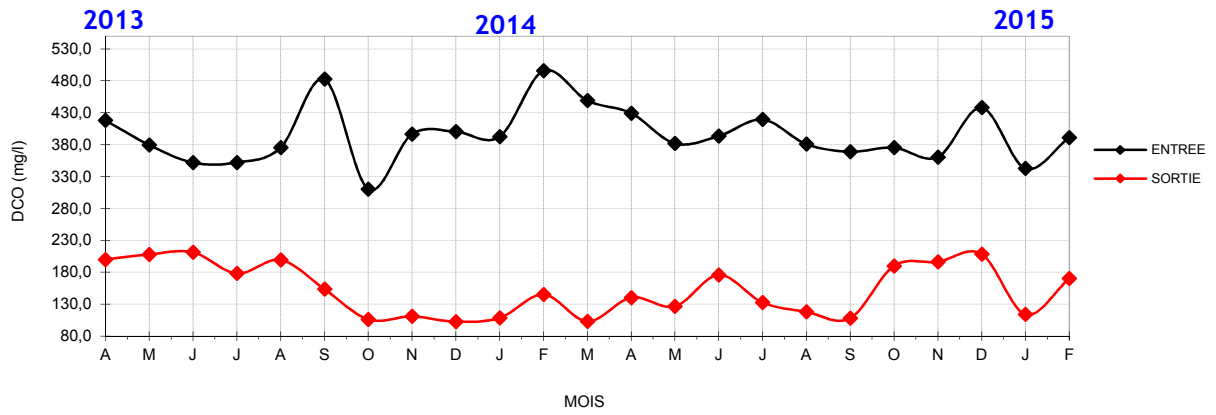


Figure VII. 7 : Variation mensuelle de la DCO

Par comparaison, entre les valeurs de DCO des eaux brutes et celle des eaux traitées, nous signalons une moyenne élimination de cette pollution organique, avec un rendement moyen de 60,97 % pour des rendements mensuels varie entre 39,94% et 77,06% (Fig VII.8).

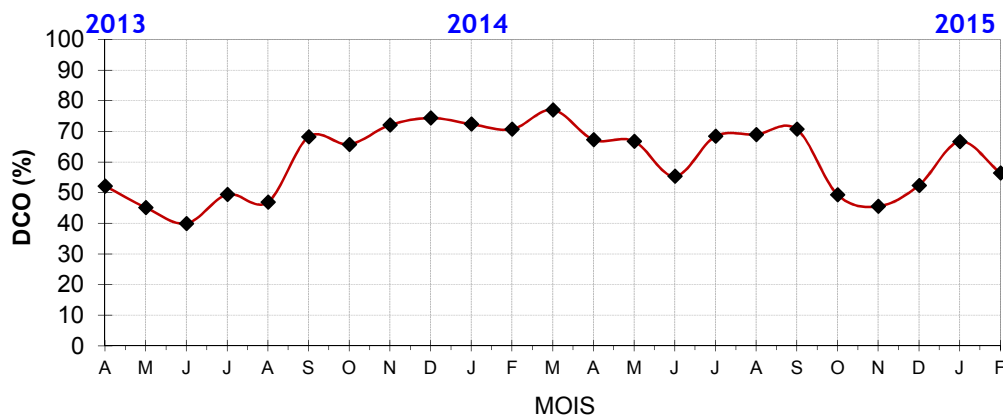


Figure VII. 8 : Rendement d'élimination mensuel de la DCO

**VII.2.8. Biodégradabilité**

Le rapport DCO/DBO5 peut donner une indication sur la biodégradabilité d'une eau usée. La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO5 (oxydation forcée) et nous donne une appréciation de la matière organique présente, même quand le développement de micro-organismes est impossible.

Ainsi, d'après le graphe Fig VII.9, les eaux usées à l'entrée de la STEP sont majoritairement de nature domestique, cela est déduit du rapport  $k = DCO/DBO5$  qui est en moyenne de  $2,1 < 2,5$ , ce qui indique que la matière oxydable (MO) de ces eaux usées est facilement très biodégradable. Par ailleurs, ça signifie que la contribution des activités industrielles – si elles existent - à l'évolution de la DBO5 et la DCO est faible.

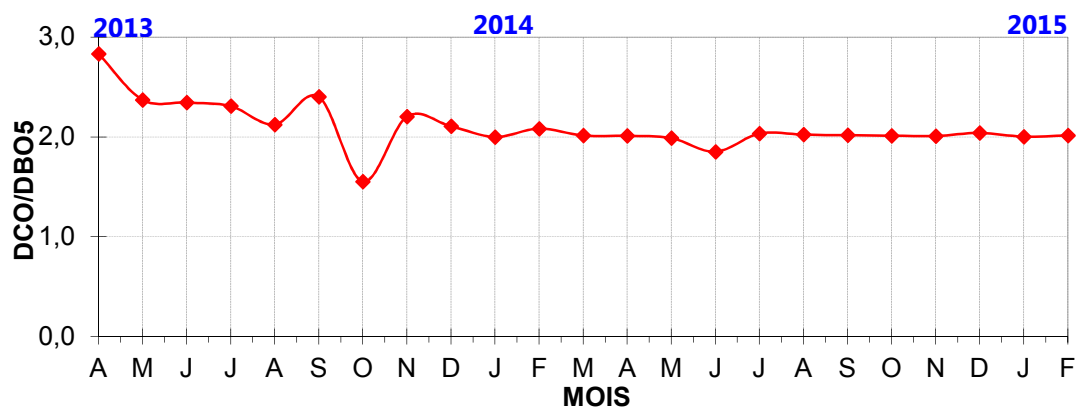


Figure VII. 9 : Variation mensuelle du rapport DCO/DBO5

### VII.2.9. Matières en suspensions (MES)

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sables, boues, particules organiques, plancton, etc.) ; elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets... etc. (Rodier J.2009). Nous observons (Fig VII.10) une variation des valeurs des MES avec une valeur moyenne de l'ordre de 143,14 mg/l pour les eaux brutes et 55,68 mg/l pour les eaux traitées. Ces valeurs sont supérieures à la norme nationale des eaux d'irrigation (30 mg/l) (IANOR, 2014).

Les valeurs élevées en MES des eaux traitées, sont causées par la présence des algues qui font partie de la matière en suspension colloïdale

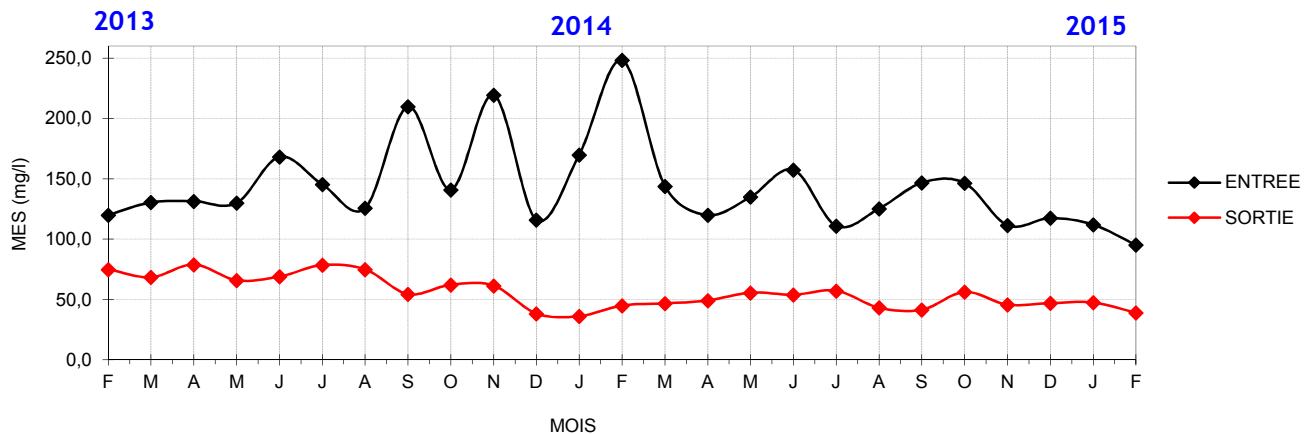


Figure VII. 10 : Variation mensuelle des MES

La variation moyenne mensuelle des rendements des MES est fonction de plusieurs facteurs telle que la charge organique des effluents, climat, saison. Nous enregistrons une élimination moyenne de cette pollution organique (59,31%) pendant 2 ans (2013-2015) (Fig VII.11).

L'augmentation de la charge des MES ne représente pas une pollution en soi, tant que le milieu récepteur est assez grand peut accepter cette charge de matière organique vivante.

Pour cette raison, les stations de lagunage doivent éviter des rejets dans des milieux clos et/ou trop petits, sous risque d'entraîner des phénomènes d'eutrophisation.

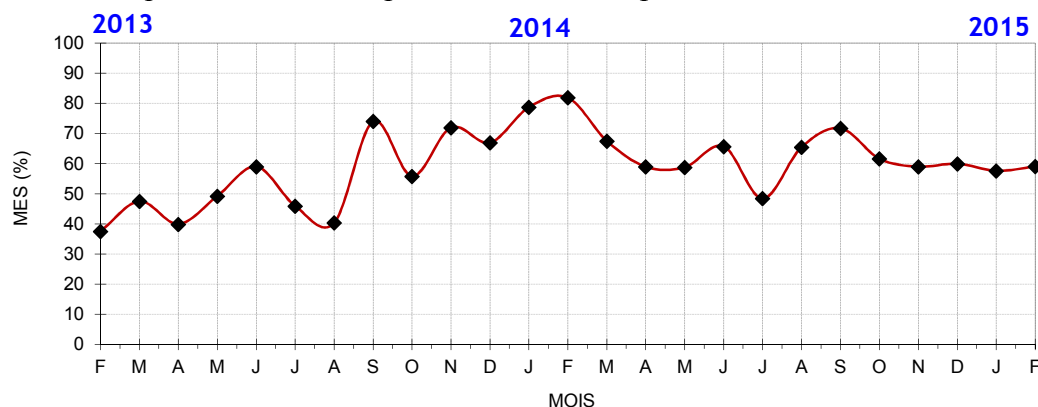


Figure VII. 11 : Rendement d'élimination mensuel des MES.

### VII.2.10 L'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Il est présent sous deux formes en solution, des formes ionisées (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et non ionisées (NH<sub>3</sub>). L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et se traduit habituellement par un processus de dégradation incomplète de la matière organique (Frank R., 2002). Immédiatement en aval des foyers de pollution. On trouve souvent des teneurs de l'ordre de 0,5 à 3 mg/l tandis que

les teneurs en nitrites et en nitrates sont relativement faibles. Plus en aval, les teneurs en azote ammoniacal diminuent et celles des nitrites puis des nitrates augmentent (Rodier J.2009).

Selon les résultats obtenus, la valeur moyenne de l'azote ammoniacal pour les eaux brutes est de l'ordre de 30,73 mg/l, et pour les eaux traitées est 31,70 mg/l. Cette dernière est supérieure aux normes internationales des eaux d'irrigation selon OMS (NH<sub>4</sub> + < 2 mg/l).

Nous signalons une légère augmentation de l'ammonium enregistrée dans le cas des eaux traitées, à cause de la transformation continue de la matière organique azotée en azote ammoniacal par un processus d'ammonification, aussi par la transformation de nitrates en ammonium dans des conditions anaérobies.

**VII.2.11. Analyses bactériologiques**

Les résultats des analyses bactériologiques des eaux épurées de la STEP du M'Zab révèlent l'existence des germes indicateurs de contamination fécale. En effet, la charge moyenne en coliformes fécaux des eaux épurées est 7.50x10<sup>3</sup> UFC/100ml et 202 x10<sup>3</sup> UFC/100ml pour les coliformes totaux.

Tableau VII. 1 : Résultats d'analyse bactériologique des eaux épurées du M'Zab

Paramètre	Min x 10 <sup>3</sup>	Max x 10 <sup>3</sup>	Moyenne x 10 <sup>3</sup>	N.OMS x 10 <sup>3</sup>
Coliformes totaux (N/100 ml)	7.6	1100	202	-
Coliformes fécaux (N/100 ml)	3.0	36	7.5	<1

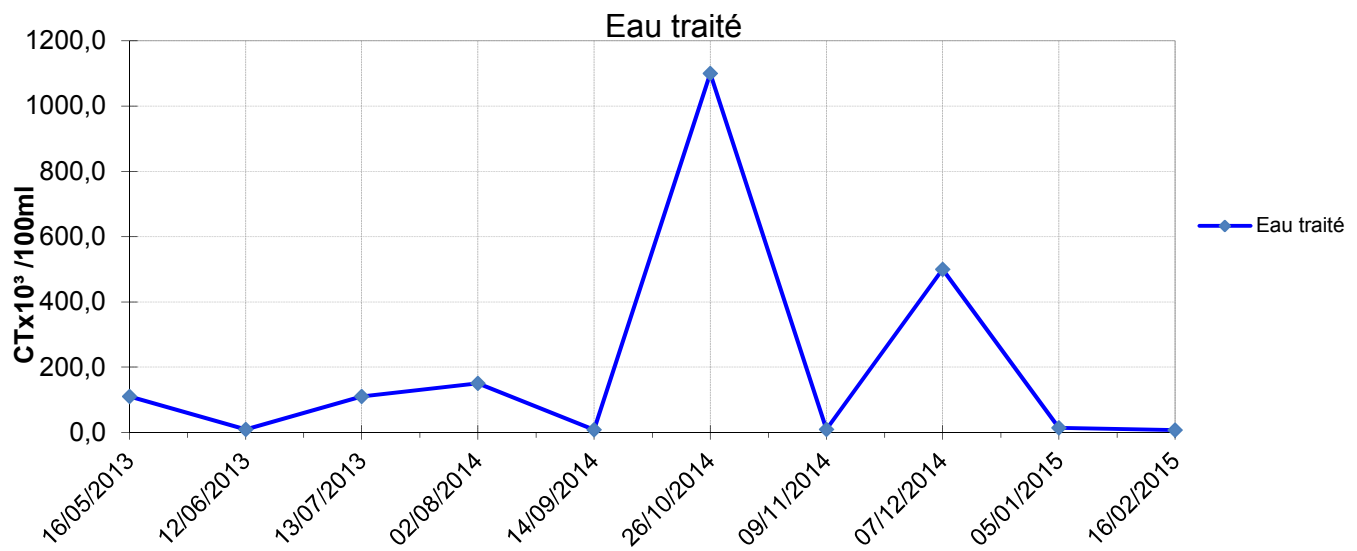


Figure VII. 12 : Variation de Coliformes totaux (2013-2015)

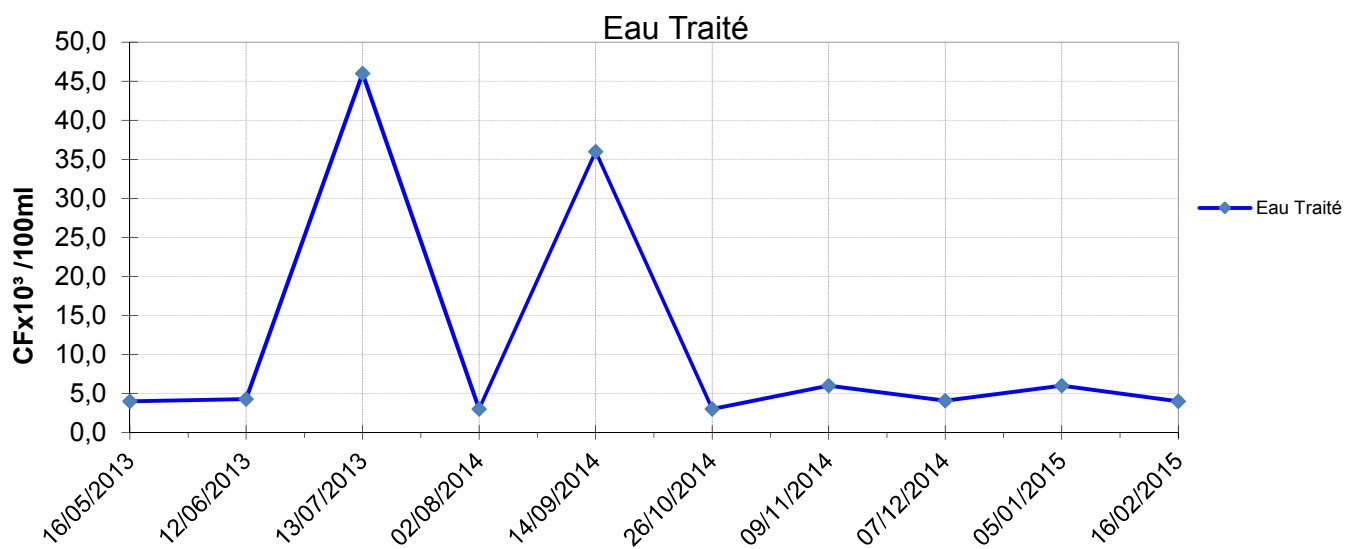


Figure VII. 13 : Variation des Coliformes fécaux (2013-2015)



Cependant, l'analyse des résultats bactériologiques montre des concentrations assez élevées en Coliformes fécaux dépassants la norme retenue par l'OMS et la norme algérienne pour les eaux d'irrigation qui est  $\leq 1000$  UFC/100ml (Blumenthal, U et al ,2000, IANOR.2014).

Les résultats obtenus des coliformes totaux pour notre station d'épuration montre que plus de 50% des échantillons analysés supérieurs à la norme, dont la moyenne autour de  $202 \times 10^3$  /100 ml. (Tab VII.1)

Un effluent résiduaire brut peut contenir jusqu'à  $4,6 \cdot 10^7$  /100 ml de coliformes fécaux d'après l'OMS, les teneurs moyennes de CF ( $7,5 \times 10^3$ /100 ml) des eaux traitées de la STEP du M'Zab sont largement supérieur à la norme ( $<10^3$ /100 ml) (Degremont.1989)

### VII.2.12.Reutilisation des eaux épurées en irrigation

La réutilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles est une pratique très répandue partout dans le monde particulièrement dans les pays en voie de développement (Ouafae M. et al, 2012).

La station d'épuration de la vallée du M'Zab dont le traitement se fait par lagunage naturel, à fait l'objet d'une étude, au cours de laquelle, les paramètres physicochimiques de pollution et bactériologiques ont été étudiés.

Pour que les eaux usées épurées soient réutilisées en irrigation, leurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques doivent être adéquats avec les directives nationales et internationales (Algérienne, OMS, Française, USEPA) et de la FAO de la réutilisation en irrigation (Tab VII.2).

Tableau VII. 2 : Comparaison de qualité des eaux épurées -normes de réutilisation

	UNITÉ	E.Epurée	ALG	OMS	FRANÇAISE				USEPA
					1A	1B	2	3	
<b>T</b>	°C	20,2	30	30	$\leq 20$	20-22	22-25	25-30	
<b>pH</b>		8,1	6,5 -8,5	5,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,05	6-9	5,5-9,5	
<b>CE</b>	mS/cm	3,2	3	-	$\leq 0,4$	0,4-0,75	0,75-1,5	1,5-3	
<b>O<sub>2</sub></b>	mg/l	5,2	-	-	-	-	-	-	$\leq 30$
<b>MES</b>	mg/l	55,7	35	30					
<b>DCO</b>	mg/l	152,5	120	90-120	$\leq 20$	20-50	50-40	40-80	
<b>NT</b>	mg/l	36,6	50	10-30					
<b>NH<sub>4</sub></b>	mg/l	31,7	-	-	$\leq 0,1$	0,1-0,5	0,5-2	2-8	
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mg/l	0,6	-	-			$\leq 44$	44-100	
<b>PO<sub>4</sub></b>	mg/l	3,0	2	2	-	-	-	-	
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/l	53,5	35	30	$\leq 3$	03-05	05-10	10-25	$\leq 30$
<b>CT</b>	N/100 ml	$202 \times 10^3$	-	-	$\leq 50$	50-5000	5000-50000		
<b>CF</b>	N/100 ml	$7.5 \times 10^3$	$<1000$	$<1000$	$\leq 20$	20-2000	2000-20000		$\leq 200$

Les teneurs moyennes des quelques paramètres analysés répondent aux normes requises, c'est le cas des paramètres suivants : T (°C), pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NT et l'un des paramètres bactériologiques (Coliformes fécaux) ; donc, l'eau épurée peut être classée comme une eau de qualité médiocre de la classe 3 d'après les normes françaises qui est juste apte à l'irrigation.

Ainsi, on peut classer cette eau dans la catégorie B1 (CF  $<10^5$ ) d'après les normes microbiologiques révisées de l'OMS (2000 et 2006) avec une irrigation restreinte pour les cultures suivantes: céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt.

Au total, nous remarquons que les valeurs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques dépassent largement les concentrations maximales admissibles fixées par la réglementation algérienne et les différentes normes internationales.

Ceci implique que ces eaux nécessitent d'autres traitements pour diminuer ces paramètres, un autre **bassin de finition** qui peut jouer le rôle d'un **décanteur**, pourra être très efficace pour l'abattement de l'MES, DCO, et la DBO<sub>5</sub>, pour la qualité bactériologique un traitement de **désinfection** s'avère indispensable.

### VII.3. Qualité des eaux de la nappe phréatique en 2015

#### VII.3.1. Classification de la pollution

Une campagne d'analyses a été effectuée en mois de Mars 2015 pour 35 puits ont été choisis, de façon à ce que tous les points de l'aval vallée de l'oued M'Zab soient représentés.

Les paramètres chimiques ciblés sont, les éléments majeurs et les paramètres de pollution

- Paramètres physiques : T°C, pH, Ce
- Les cations : Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et (Na<sup>++</sup>K<sup>+</sup>).
- Les anions : HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> et SO<sub>4</sub>
- Les substances indésirables : NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, DBO<sub>5</sub>

En pratique, il conviendrait de se référer à des grilles de qualité adaptées aux milieux considérés et en fonction des altérations d'usages en question. Ces grilles ont été établies pour les points d'eau dans le cadre d'un système d'évaluation de la qualité (Tab II.1) (Anras & Guesdon, 2007).

- Les résultats d'analyses montre que 95% des eaux de la nappe phréatique de l'aval de la vallée du M'Zab (El-Atteuf et Bounoura) appartiennent a la classe C1 de qualité physique de **bonne qualité** dont le PH varie de (6,5 au 8,5) et température inférieure a 25°C tandis que 5% des échantillons analysés appartiennent a la classe C4 de **pollution excessive nécessite un traitement spécifique** à cause des valeurs des PH (< 5,5 ou > 9) pour les puits 15 ,22 qui peut être expliqué par l'utilisation incontrôlable des engrais agricoles.
- Les résultats obtenus mettent en évidence une forte minéralisation exprimée en conductivité électrique supérieure à 2800 µS/Cm. pour 95% des échantillons analysés appartiennent a la classe C4 de **pollution excessive nécessite un traitement spécifique**. Ces résultats pourraient être expliqué par les rejets des eaux usées dans la nature et essentiellement de la qualité de l'eau potable et d'irrigation utilisée dans la région d'étude qui présente une salinité très élevée et du régime alimentaire de la population et des activités industrielles. Ces valeurs de salinité aggravée par les facteurs climatiques telles que la forte évaporation et le manqué de précipitation qui favorisent l'augmentation des taux de salinité sur la surface de sol.
- Les résultats des analyses de la qualité organique (O<sub>2</sub>, DBO<sub>5</sub>, et NH<sub>4</sub>) montrent 92% des échantillons analysés appartiennent a la classe C3, **eau de mauvaise qualité nécessite un traitement très poussé** qui explique par la contamination des eaux de nappe par les eaux usées domestiques et des engrais agricoles dont les valeurs de DBO<sub>5</sub> varient (0 a 18 mg/l) et NH<sub>4</sub> (0 a 0,19 mg/l)
- Nous avons constaté des valeurs inférieures à 1 mg/l d'O<sub>2</sub> indique un état proche de l'anaérobie (IBGE, 2005) , c'est le cas des puits 6, 9, 27, cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible tandis qu'une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments.
- Nous avons constaté aussi des valeurs de 1 à 2 mg/l d'O<sub>2</sub> indique une eau fortement polluée, mais de manière réversible (IBGE, 2005), c'est le cas des puits 28, 29 Atteuf. Tandis qu'une teneur de 4 à 6 mg/l d'O<sub>2</sub> caractérise une eau de bonne qualité; cas de juste 40% de reste des puits. Les teneurs en oxygène obtenues peuvent encore diminuer dès que la dégradation de la matière organique et la multiplication des micro-organismes aérobies s'amorcent.

**On peut conclure que; les eaux de la nappe phréatique de l'aval de la vallée du M'Zab ont de très fortes minéralisations et mauvaise qualité organique nécessitent un traitement très poussé.**

### VII.3.2. Classification des faciès hydro-chimiques

#### VII.3.2.1. Classification selon Schoeller-Berkaloff

La représentation des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff se fait selon un diagramme semi-logarithmique. Ce diagramme permet la représentation graphique des analyses chimiques des échantillons et la lecture rapide des caractéristiques chimiques.

Le faciès chimique de l'eau analysée est donné par l'association des plus fortes concentrations, côté anions et côté cations, entre anions d'une part de cation d'autre part.

L'interprétation des diagrammes de Schoeller-Berkaloff montre que les eaux de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab sont dominées par le faciès chimique **Sulfaté-Magnésien**, qui apparaît dans les figures (VII.14., VII.15, VII.16).

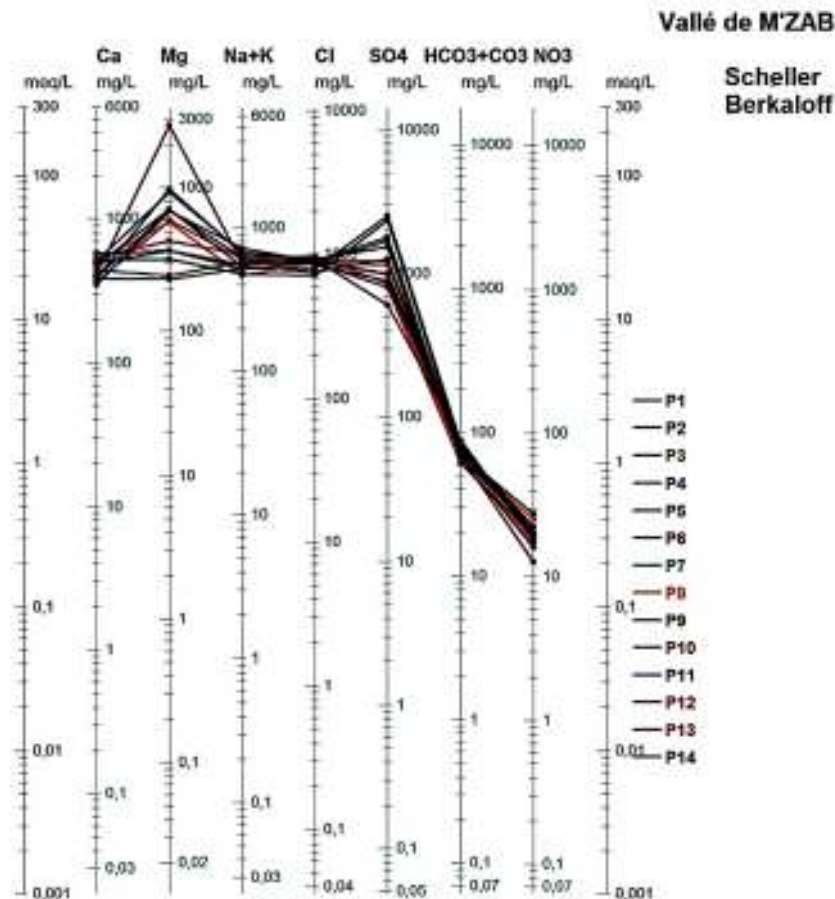


Figure VII.14 : Classification selon Schoeller-Berkaloff (P1-P14)

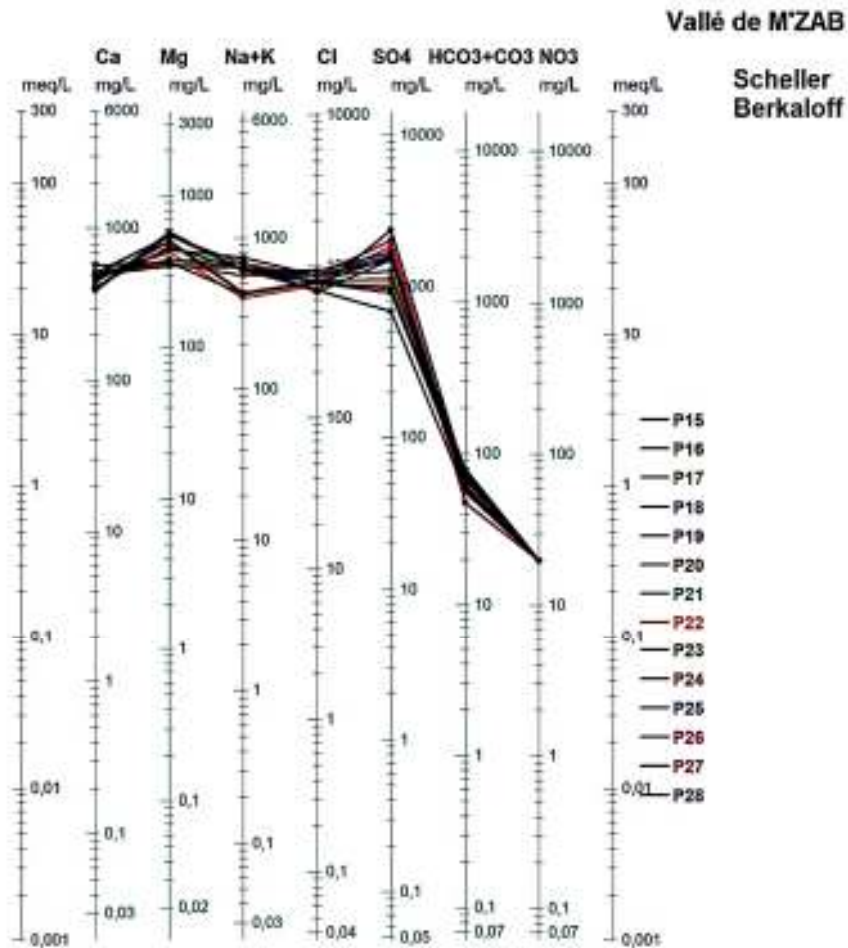


Figure VII.15 : Classification selon Schoeller-Berkaloff (P15-P28)

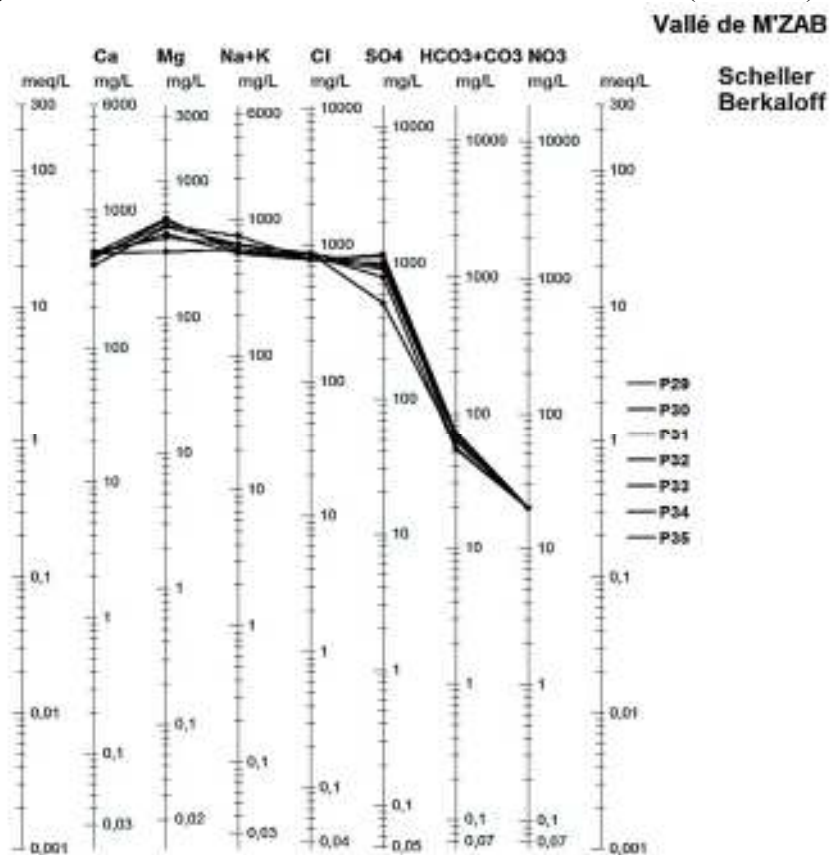


Figure VII.16 : Classification selon Schoeller-Berkaloff (P29-P35)

### VII.3.2.2 Classification selon Piper

La représentation des analyses chimiques sur ce type de diagramme permet d'avoir une idée globale sur la composition chimique des eaux. Le report des résultats chimiques des eaux prélevées dans l'oasis d'El-Atteuf sur le digramme montre que :

- le chimisme des eaux analysées est caractérisé par le faciès **chloruré et sulfaté calcique et magnésien** avec un pourcentage de **97%** des échantillons analysé (FigVII.17) ; 3% représentent le domaine **hyper sulfaté calcique**.
- Pas de cation dominant pour **75%** des échantillons analysés dont 25 % représentent le domaine magnésien.
- le sulfate est l'anion dominant pour la majorité des eaux analysées

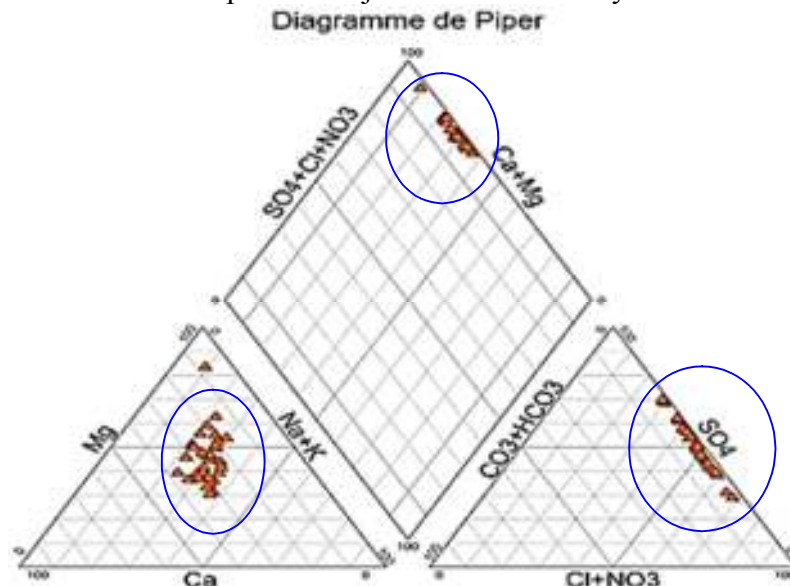


Figure VII.17 : Classification selon diagramme de Piper

### VII.3.3. Classification des eaux pour l'irrigation

La plupart des problèmes qui se développent en agriculture irrigable proviennent de la composition chimique de l'eau d'irrigation, l'utilisation de telles variétés d'eau dans l'irrigation, aussi bien que la nécessité de prédire les problèmes qui peuvent se développer quand différentes eaux d'irrigation sont utilisées, ont créé le besoin pour un système de classification de la qualité de l'eau qui est complètement différent des systèmes utilisés pour l'industrie, la vie aquatique et la santé, etc. plusieurs schémas ont été proposés pour classer les eaux par rapport à leur qualité pour l'irrigation (USSL, 1954 ; Ayers, Westcot. 1976). L'eau n'a pas de qualité inhérente en soi exceptée dans le contexte pour lequel elle est utilisée. En théorie, la qualité de l'eau se mesure aux caractéristiques qui la rendent plus ou moins apte à une utilisation donnée, c'est-à-dire à satisfaire les besoins de l'utilisation. Elle est définie par certaines caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Dans l'irrigation l'accent est mis sur les propriétés chimiques et physiques de l'eau et les autres facteurs sont rarement considérés comme importants.

La classification des eaux de la nappe phréatique de l'aval de la vallée du M'Zab selon leur aptitude à l'irrigation, a été faite par la classification du laboratoire américain Riverside (USSL de Riverside, 1954). Cette classification repose sur deux caractères principaux (Durand, 1983).

#### VII.3.3.1. La salinité de l'eau

Les résultats d'analyses permettent de déterminer deux classes d'eau selon la classification de (USSL de Riverside, 1954):

- Classe C<sub>4</sub> (2250 < CE < 5000 μS/cm) : Elle est représentée par **30%** des échantillons prélevés. Ces eaux sont **inutilisables normalement pour l'irrigation**. Exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol dont les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

- Classe C<sub>5</sub> (CE>5000 μS/cm) : Elle est représentée par 70% des échantillons prélevés. **on ne peut pas irriguer que des cultures qui sont très tolérantes à la salinité**, comme les palmiers dattiers qui supporte jusqu'à 20000μS/cm et que des sols sont très drainants (sables et gravier) riche en calcium soluble (Dubost, 2002).

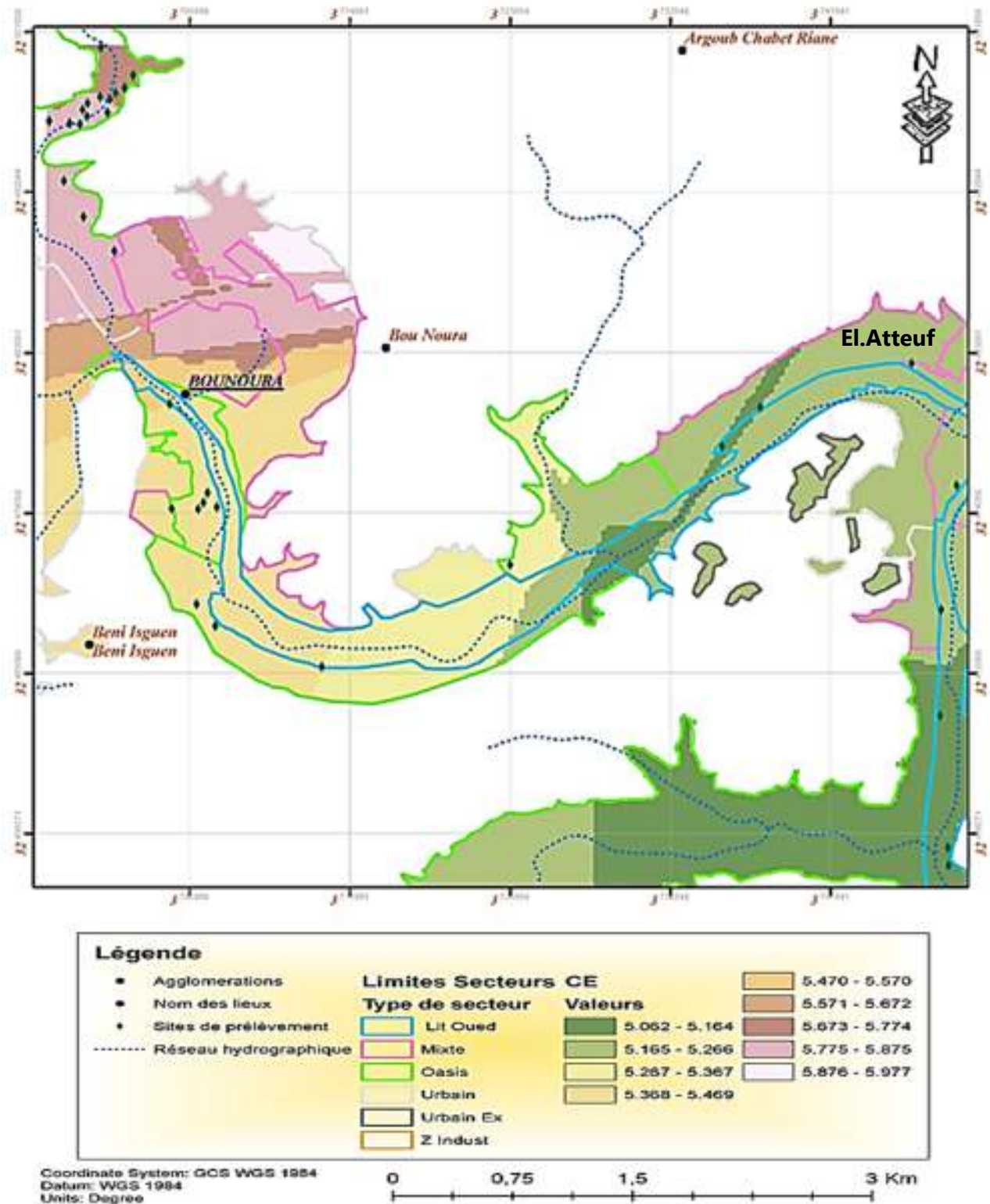


Figure VII. 18 : Carte de répartition spatiale de Ce au niveau de l'oasis d'El-Attuf

### VII.3.3.2. L'alcalinisation

Le danger d'alcalinisation du sol est estimé en fonction du sodium adsorbable par le sol dont le résultat est de lui conférer de mauvaises propriétés physiques. Il a été distingué trois classes allant d'un danger faible à un risque fort. D'après la figure VII.19, nous pouvons noter que la totalité d'échantillons prélevés dispose d'un moyen danger d'alcalinisation des sols, **ces eaux pose des problèmes pour les sols a texture fine**

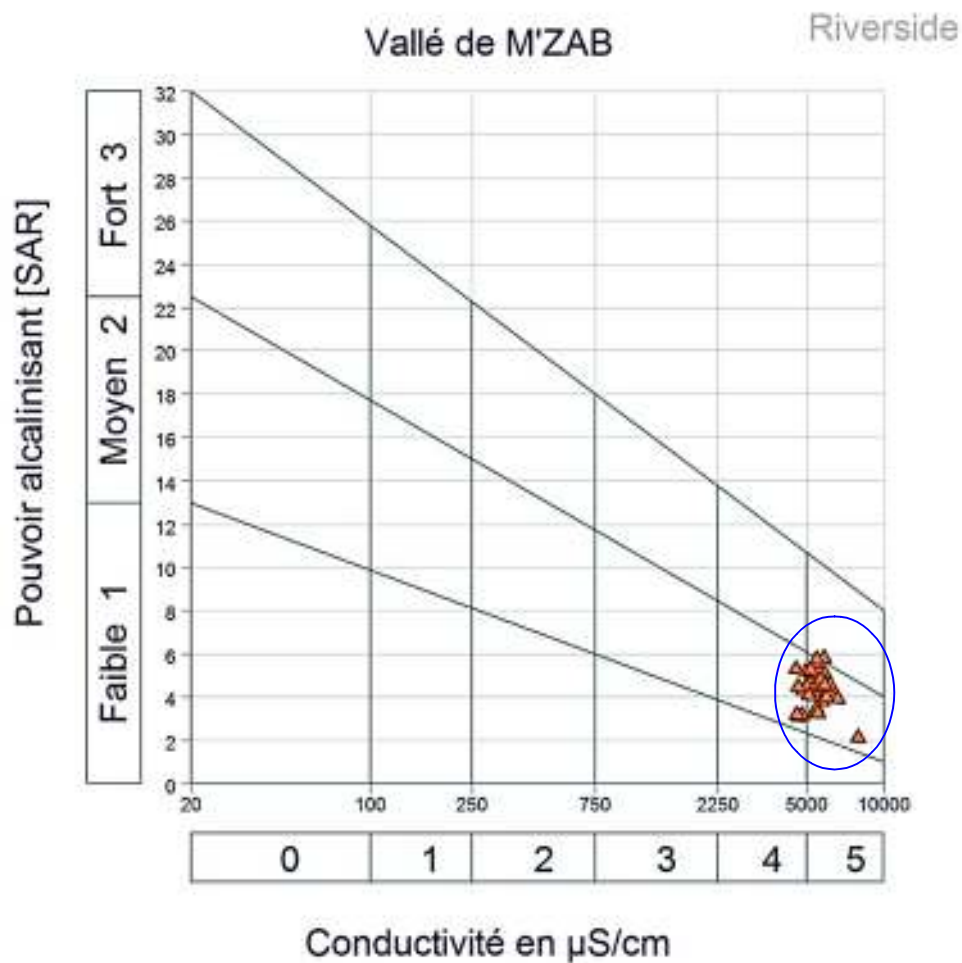


Figure VII. 19 : Classification des eaux d'irrigation de l'oasis d'El-Attuef

### VII.3.4 Classification de la potabilité

Afin de définir la potabilité des eaux de la nappe phréatique de l'oasis d'El-Attuef, nous nous baserons sur deux types des normes.

#### VII.3.4.1 Selon les normes de l'OMS

Nous avons examiné la potabilité des eaux de la nappe phréatique de l'oasis d'El-Attuef en les comparant aux normes internationales retenues par l'O.M.S (Organisation mondiale de la santé),

Tableau VII. 3 : Potabilité des points d'eau phréatique à l'oasis d'El-Attuef

Les éléments	Concentration maximale admissible	Le nombre des points d'eau dépassant la norme
pH	8,5	1
CE	2800	34
Ca <sup>++</sup>	200	35
Mg <sup>++</sup>	150	35
Na <sup>+</sup>	200	35
K <sup>+</sup>	12	8
Cl <sup>-</sup>	250	35
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	500	35
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	0

CE : en  $\mu\text{S/cm}$  ; Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : en mg/l

Le tableau VII.3, nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- les valeurs de pH des eaux de la nappe phréatique de l'oasis d'El-Atteuf sont toutes inférieures à la teneur maximale admissible de l'O.M.S.
- toutes les points d'eau analysés soit **100%** des échantillons ont une conductivité électrique supérieure aux normes admises par l'O.M.S. ce qui témoigne d'une grande minéralisation.
- Tous les points d'eau analysés présentent des taux de Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub> supérieur à la norme de l'OMS ;
- l'augmentation remarquable des teneurs de Mg<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup> au niveau de Bounoura peut être expliquée par l'activité industrielle.
- Tous les points d'eau analysés soit **100%** des échantillons ont des teneurs de NO<sub>3</sub> acceptables

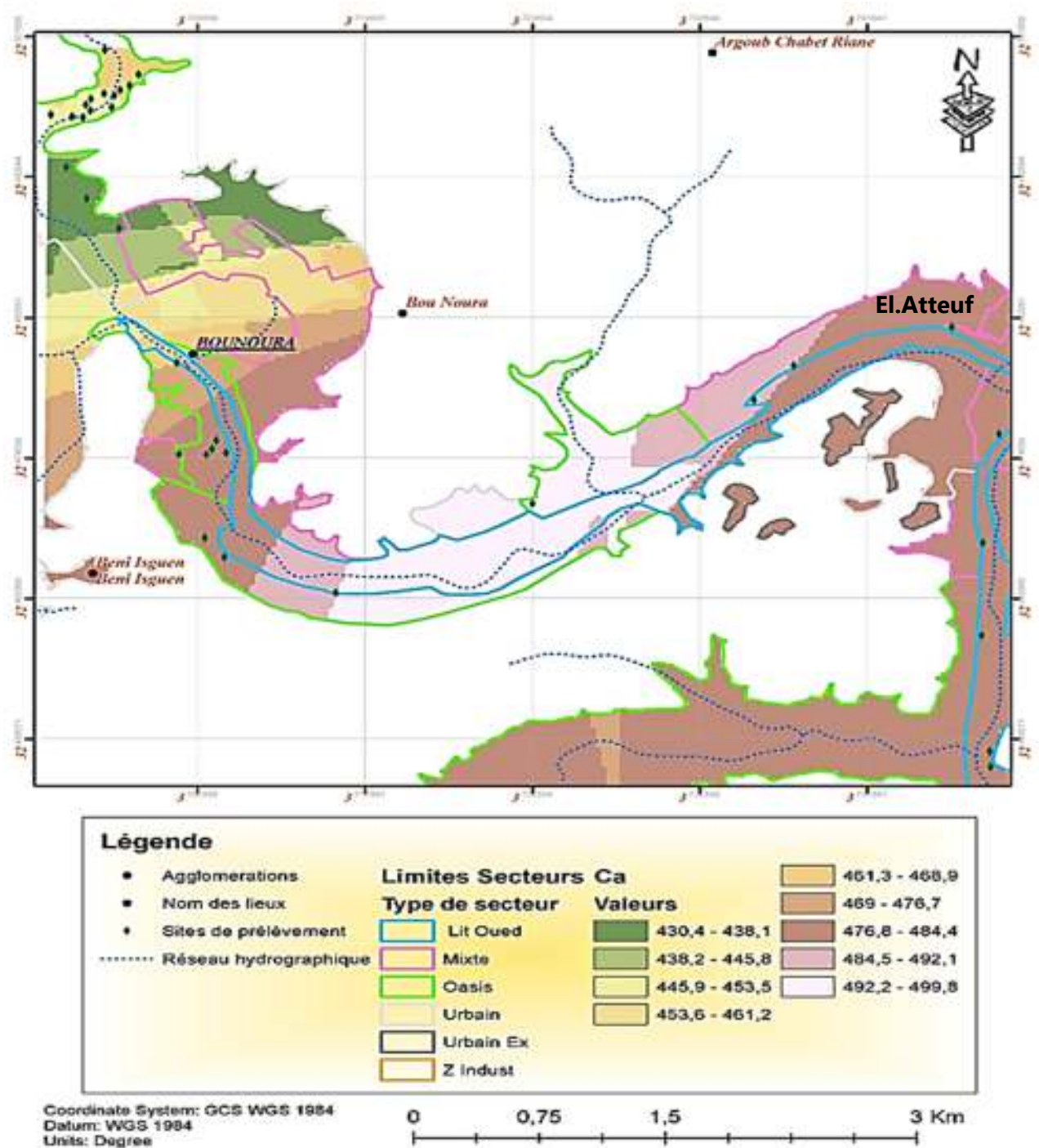


Figure VII. 20 : Carte de répartition spatiale du Ca<sup>++</sup> au niveau de l'oasis d'El-Attuef



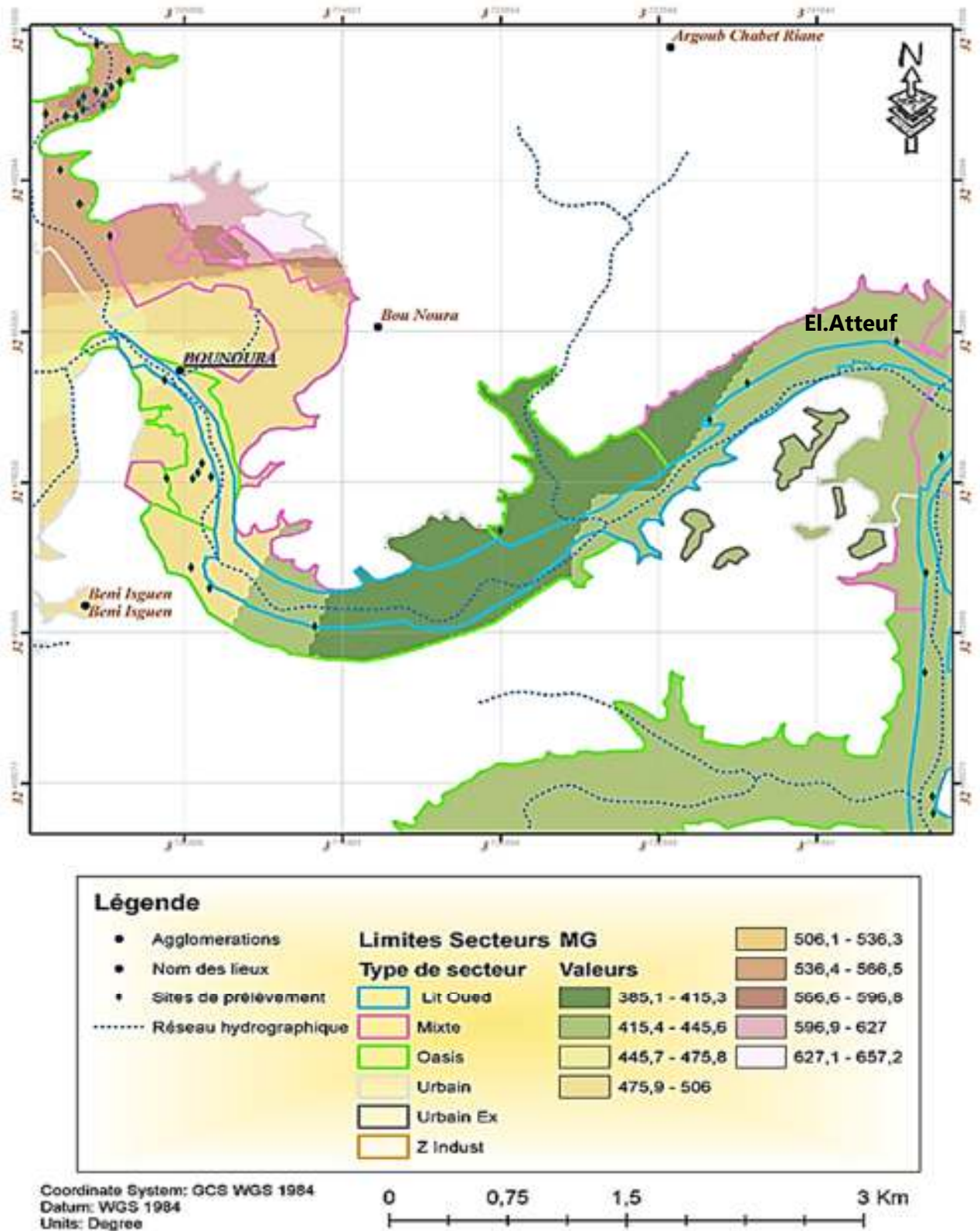


Figure VII.21: Carte de répartition spatiale du Mg++ au niveau de l'oasis d'El-Atteuf

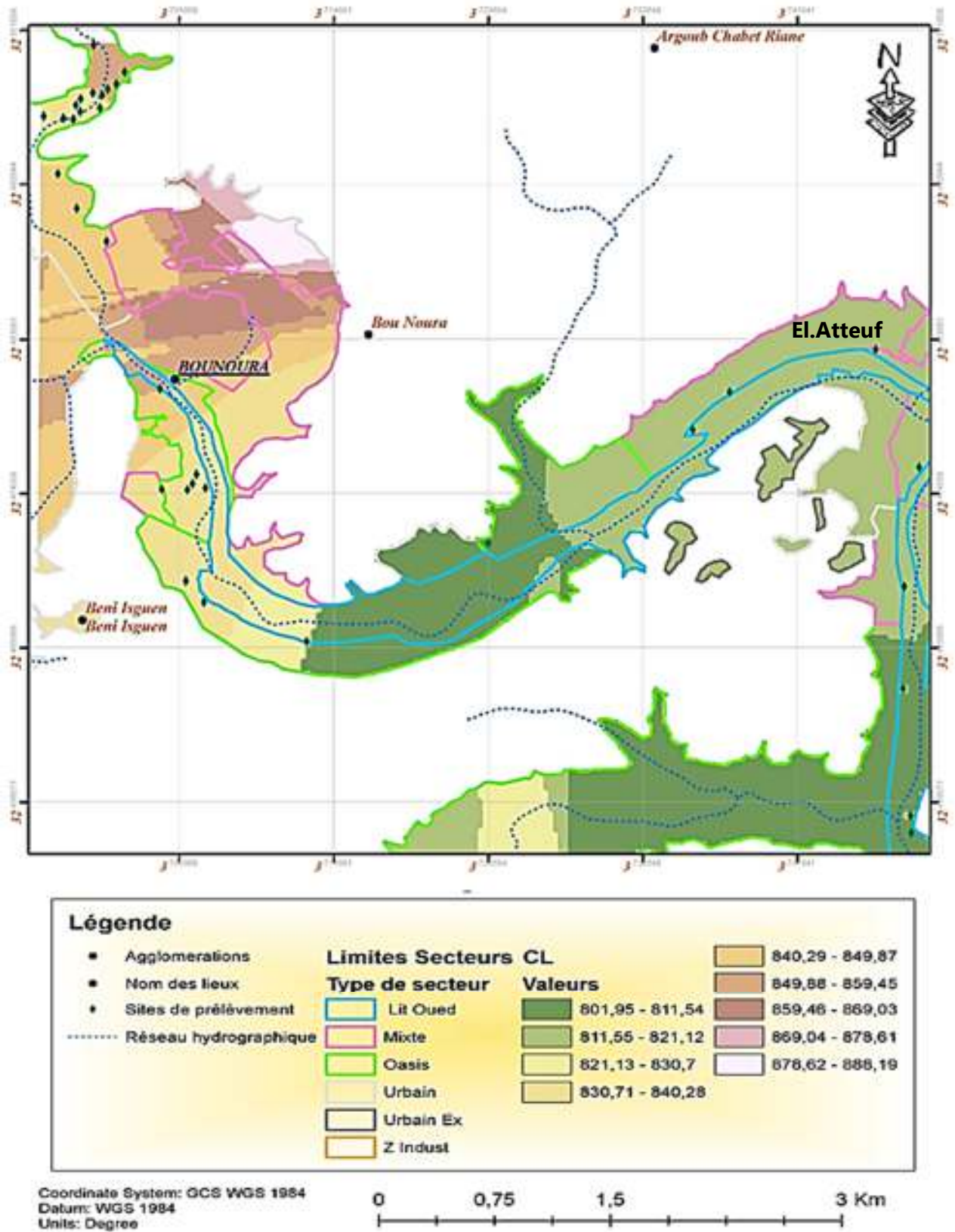


Figure VII.22 : Carte de répartition spatiale du CI au niveau de l'oasis d'El-Atteuf

### VII.3.4.2. Classification de la dureté

Le degré hydrotimétrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

$$D.H.T. = Ca + Mg \quad (\text{en méq/l})$$

ou

$$D.H.T. = (Ca + Mg) \times 5 \quad (\text{en degré français } ^\circ F)$$

r Ca : quantité en réaction du calcium exprimée en méq/l ;

r Mg : quantité en réaction du magnésium exprimée en méq/l

Nous avons examiné la dureté des eaux de la nappe phréatique de l'oasis d'El-Atteuf en les comparant aux normes qui ont été tabulées par (Théobald et Gama, 1969)

Tableau VII. 4 : Dureté de l'eau phréatique selon (Théobald et Gama, 1969)

D.H.T. (en °F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Qualificatif de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Nombre des puits	0	0	0	0	35

L'examen du tableau VII.4 ressort que la totalité des eaux de la nappe phréatique de l'aval de la vallée d'El-Atteuf est très dure par conséquent une **mauvaise potabilité**.

### VII.3.5 Classification selon l'aptitude d'élevage

La teneur globale en sels dissous (TDS) de l'eau est la caractéristique la plus importante dans la détermination de l'aptitude de l'eau pour le bétail. Il s'agit d'un paramètre facile à mesurer sur le terrain. Une forte valeur de TDS se traduit par un refus de consommer l'eau ce qui provoquerait une éventuelle déshydratation.

Les normes proposées par National Academy of Sciences (1972) basées sur les limites maximales en TDS (Tab VII.5) recommandées pour la volaille et le bétail

D'autre part, les concentrations de magnésium dans l'eau sont considérées comme des limites supérieures de sécurité pour les actions sur les aliments secs. Des teneurs plus élevées peuvent être tolérées lorsque les pâturages sont verts et succulents.

Tableau VII.5: Limites en TDS de l'eau pour le bétail et la volaille (Ayers et Westcot, 1976)

Type d'élevage	TDS (g / l)	Nombre des points d'eau dépassant la norme
Volaille	2,8	20
Bovins (produits laitiers)	7,1	0
Bovins (viande)	10,0	0
Moutons adultes	12,8	0

Tableau VII. 6 : Normes en Mg<sup>++</sup> dans l'eau selon le type d'élevage (Ayers et Westcot, 1976)

Type d'élevage	Mg (mg/l)	Nombre des points d'eau dépassant la norme
Volaille	250	33
Vaches en lactation	250	33
Bovins de boucherie	400	23
Ovins adultes	500	17

D'après le tableau VII.5 on peut conclure que 57% des points d'eau prélevés sont **non utilisables et impropres à la volaille** à l'exception de 15 points.

Le tableau IV.6 montre que 50% des eaux analysées sont utilisables pour l'élevage ovin et 65% des points d'eau sont impropres pour les **bovins de boucherie**. Le nombre de points d'eau impropres à la consommation en eau pour la volaille et les bovins laitiers est relativement important puisqu'il représente de mêmes valeurs de 94% soit 33 sur 35 points d'eau prélevés.

### VII.4.Etude Statistique

L'analyse des données peut être considérée comme étant un ensemble de méthodes qui vise à extraire les informations utiles pour le reste des traitements. L'objectif principal consiste à mettre en évidence les causes fondamentales des phénomènes observés, en montrant quelle est la part de variation qui doit être attribuée à chacune de ces causes (Dagnélie, 1982). Nous avons utilisé dans cette étude, les statistiques élémentaires et l'analyse en composantes principales.

#### VII.4.1.Etude statistique élémentaire

##### VII.4.1.1.Nappe phréatique

Tableau VII. 7 : Caractéristiques statistiques des analyses de la nappe phréatique

	Unité	Max	Min	Moy	Ecartype	CV
T°C		22,5	17,5	21,0	1,2	0,06
pH		9,2	5,2	7,8	0,6	0,08
CE	μS/cm	7922,0	4542	5466,2	650,8	0,12
O2	%	94,9	8,6	48,6	25,2	0,52
Ca <sup>++</sup>	(mg /l)	573,6	350,48	468,0	57,7	0,12
Mg <sup>++</sup>		971,1	230,85	489,1	164,9	0,34
Na <sup>+</sup>		741,5	388	574,5	91,9	0,16
K <sup>+</sup>		31,7	6	16,7	7,0	0,42
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		87,8	47,1	67,6	9,1	0,13
Cl <sup>-</sup>		972,8	680,58	834,6	73,3	0,09
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>		2510,5	510,32	1288,8	504,6	0,39
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		1,2	0,02	0,2	0,2	1,13
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		27,4	12,7	19,8	2,3	0,11
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0,2	0	0,1	0,1	0,95
TH		3130,0	611,61	1020,8	398,4	0,39
TAC		84,5	39,16	61,3	11,6	0,19

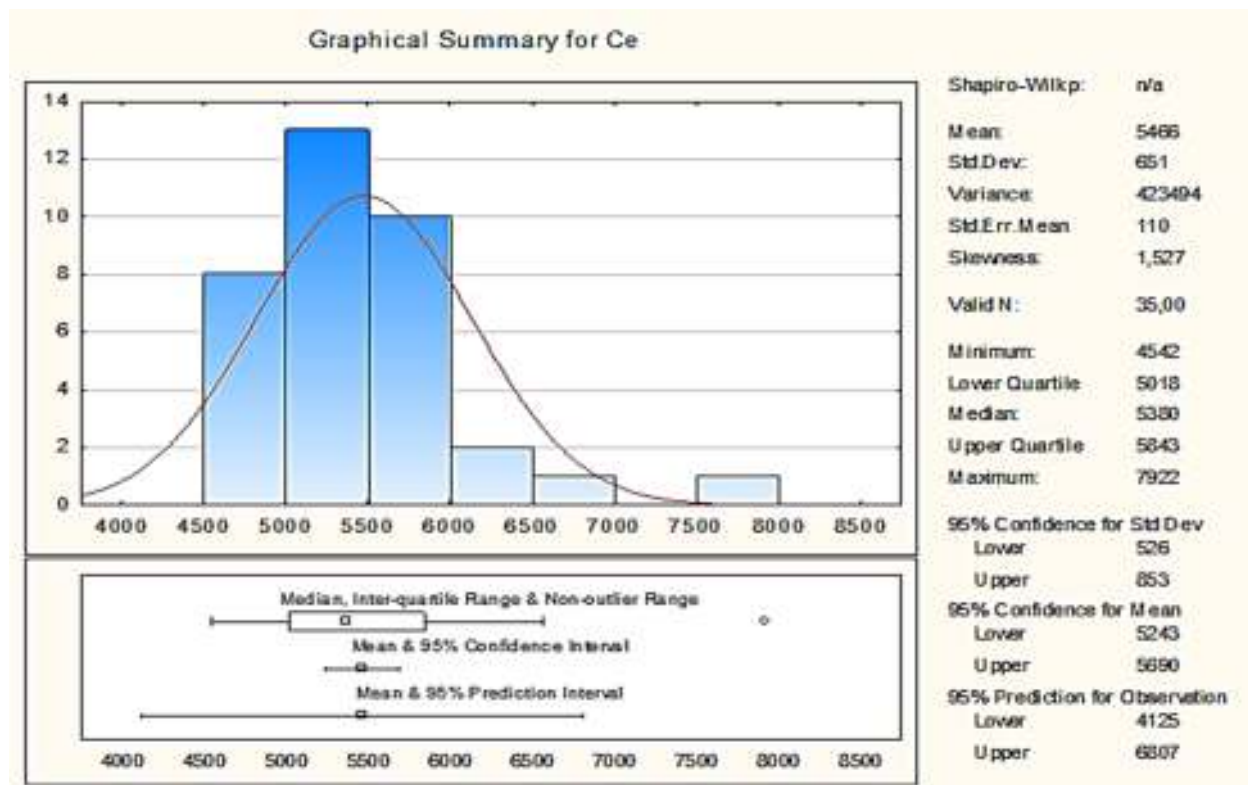


Figure VII.23: Histogramme de fréquence du CE

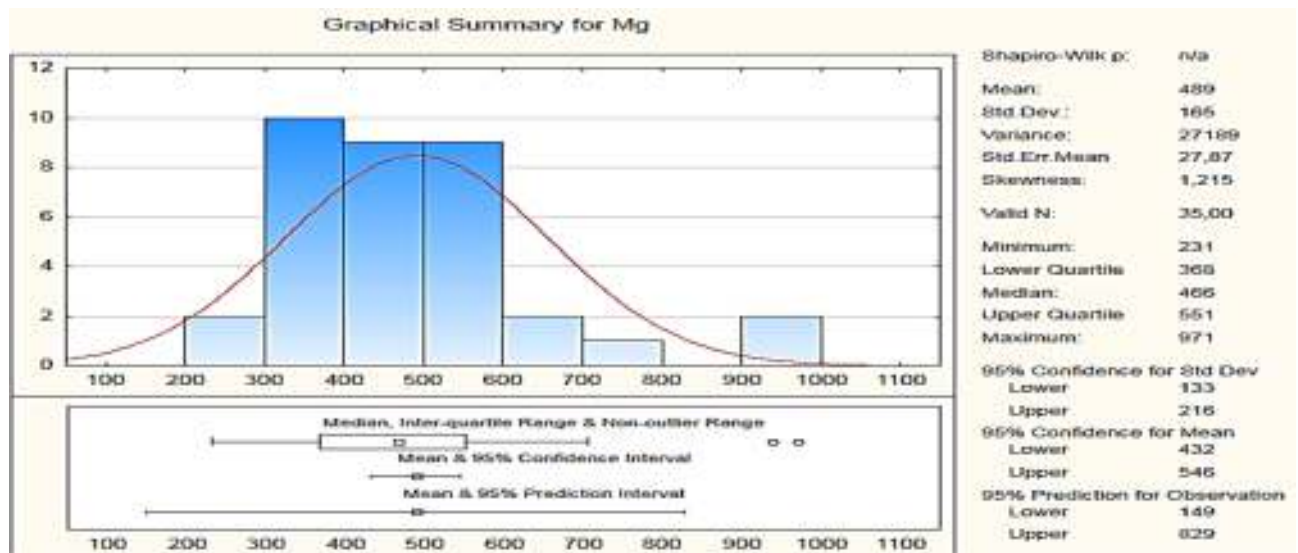


Figure VII.24: Histogramme de fréquence du Mg

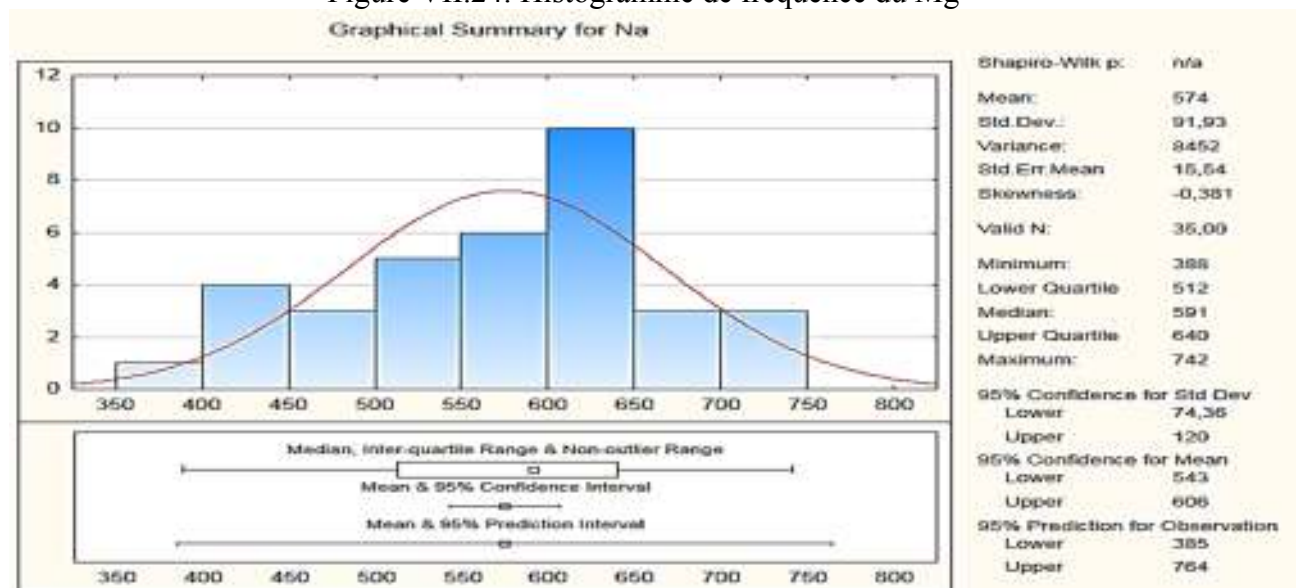


Figure VII.25 : Histogramme de fréquence du Na

VII.4.1.2. Station d'épuration

Tableau VII. 8 : Caractéristiques statistiques des analyses des eaux usées de la STEP

		Entrée					Sortie				
		Max	Min	Moy	Ecartype	CV	Max	Min	Moy	Ecartype	CV
T °C	°C	28,0	11,0	21,2	3,98	18,77	26,0	9,5	20,2	3,74	18,6
PH		7,89	7,36	7,62	0,06	0,85	8,36	7,78	8,09	0,12	1,4
CE	µS/cm	4267,50	3075,00	3819,80	239,97	6,28	4125,0	2582,5	3171,97	389,8	12,3
S	(mg /l)	2,46	2,05	2,23	0,08	3,75	2,30	1,78	2,09	0,07	3,3
O <sub>2</sub>		3,39	2,70	3,09	0,14	4,59	7,13	3,34	5,21	0,91	17,4
MES		248,33	95,25	143,14	25,50	17,81	79,0	36,20	55,68	10,87	19,5
DCO		495,75	310,25	394,95	33,85	8,57	211,3	102,50	152,45	35,99	23,6
DBO <sub>5</sub>		238,00	147,50	189,40	18,75	9,90	103,0	15	53,47	21,10	39,5
NT		56,00	28,50	40,84	6,21	15,21	47,0	22,40	36,60	3,79	10,4
NH <sub>4</sub>		45,00	12,73	30,73	9,37	30,49	49,0	20,42	31,70	5,46	17,2
NO <sub>2</sub>		0,91	0,12	0,46	0,18	39,36	0,75	0,06	0,40	0,19	47,9
NO <sub>3</sub>		4,05	0,20	1,36	0,61	44,74	0,84	0,10	0,55	0,18	33,0
PT		4,55	2,10	3,59	0,73	20,40	3,90	2,04	2,98	0,83	27,8

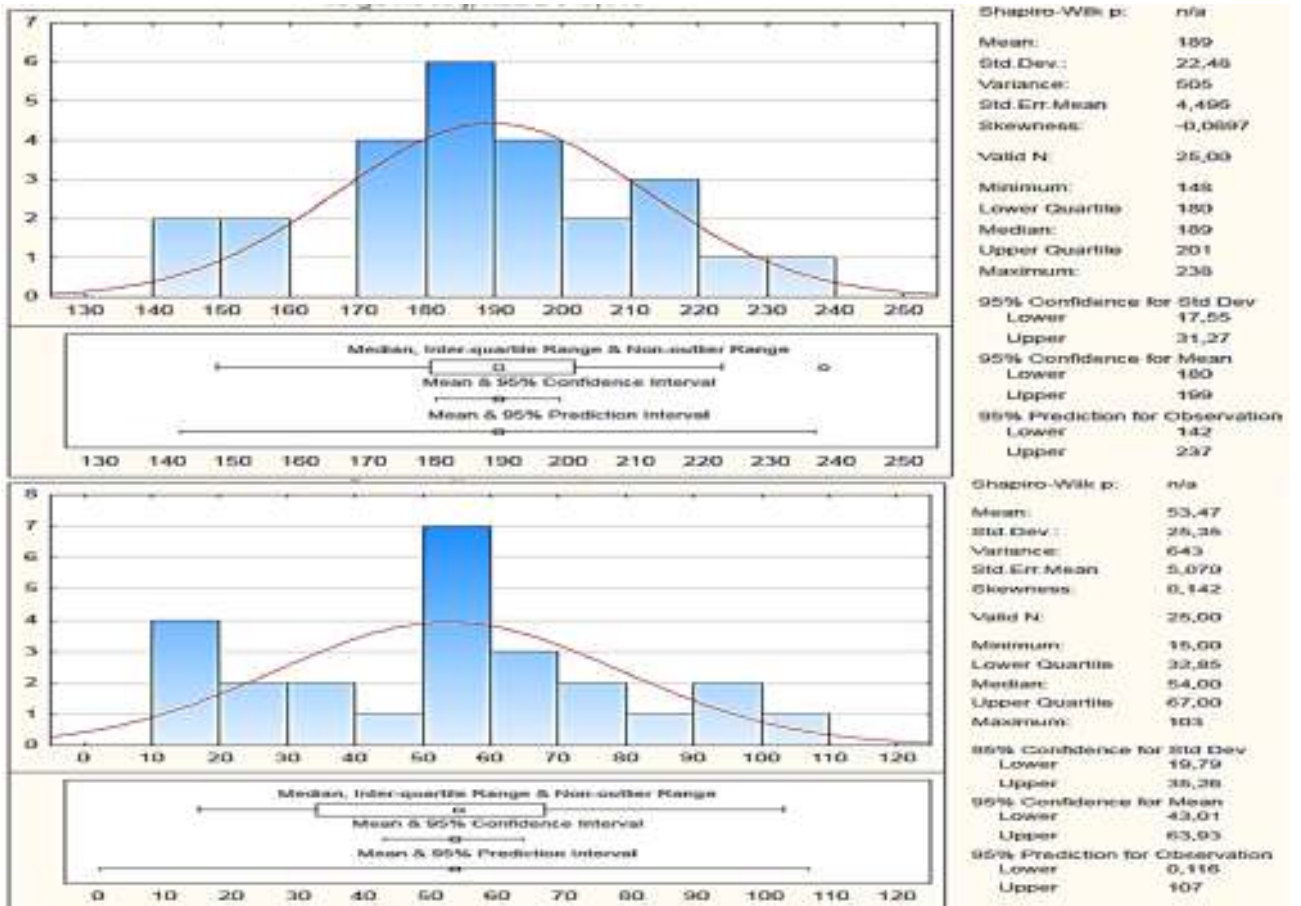


Figure VII.26 : Histogramme de fréquence de la DBO5

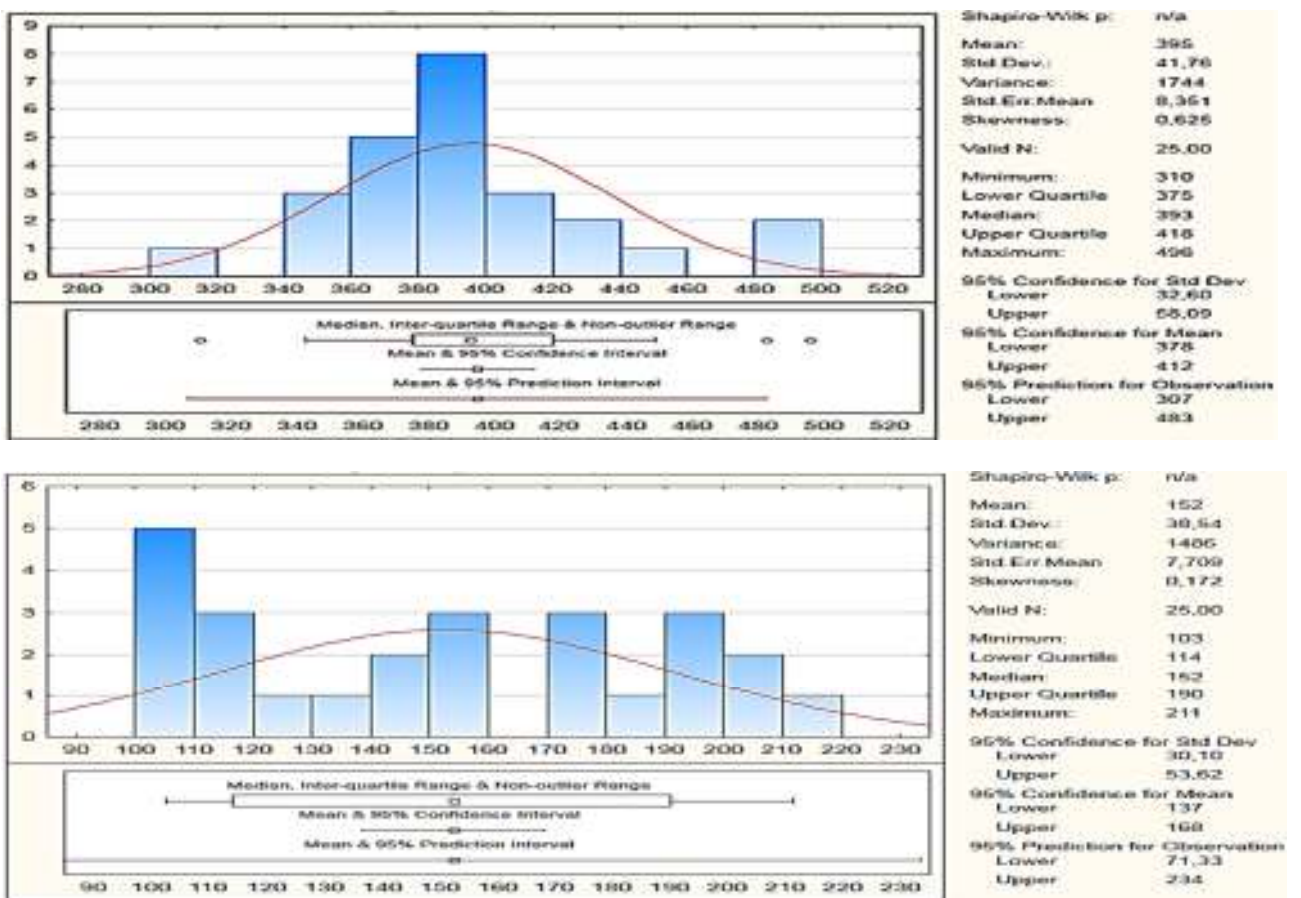


Figure VII.27 : Histogramme de fréquence de la DCO

**VII.4.2. Corrélation entre les variables**

Le calcul du coefficient de corrélation (**r**) entre les différentes variables permet éventuellement de mettre en évidence les inters- relations qui puissent exister entre les variables analysées.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Avec:

- Xi : La valeur de la variable x pour l'individu i ;
- Yi : La valeur de la variable y pour l'individu i ;
- X : moyenne de la variable x ;
- Y : moyenne de la variable y ;
- n : Nombre d'individus

La valeur **r** est limitée entre 1 et -1, plus les valeurs sont proches de 1 plus les variables sont **fortement corrélées**, et plus cette valeur est proche de -1 les variables sont négativement corrélées, et dans les cas où nous trouvons cette valeur proche de 0, on dit qu'il n'y a pas de corrélation entre les variables.

La matrice de corrélation des résultats d'analyses est résumée dans le tableau VII.9

Tableau VII. 9 : Matrice de Corrélation (Nappe phréatique)

	T°C	pH	C25°C	O2	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	Cl-	SO4	NO2	NO3	NH4	TH	TAC
T°C	1,00															
pH	0,27	1,00														
c25°C	0,10	-0,30	1,00													
O2	-0,01	0,08	-0,27	1,00												
Ca	-0,04	<b>-0,35</b>	-0,04	-0,21	1,00											
Mg	0,14	0,27	-0,19	-0,09	-0,29	1,00										
Na	0,33	0,19	0,01	-0,15	-0,20	0,25	1,00									
K	<b>-0,52</b>	-0,17	-0,08	0,09	0,15	-0,24	-0,29	1,00								
HCO3-	<b>-0,60</b>	0,11	-0,02	0,11	-0,07	0,03	-0,15	<b>0,34</b>	1,00							
Cl-	-0,14	<b>0,39</b>	-0,10	0,31	<b>-0,34</b>	0,21	0,16	0,10	0,08	1,00						
SO4	-0,28	-0,10	-0,20	0,04	-0,01	-0,23	-0,12	0,30	0,13	-0,07	1,00					
NO2	-0,08	0,13	-0,26	0,17	0,21	-0,19	-0,05	0,16	-0,03	0,09	0,22	1,00				
NO3	-0,12	0,01	-0,32	-0,20	0,32	<b>0,40</b>	0,02	-0,08	-0,02	-0,08	0,10	0,30	1,00			
NH4	0,11	0,01	0,00	0,08	0,13	-0,24	0,00	-0,01	-0,04	-0,09	-0,19	-0,06	-0,23	1,00		
TH	-0,13	0,06	0,14	-0,06	-0,14	<b>0,36</b>	0,03	-0,09	-0,07	0,19	-0,27	-0,32	0,14	-0,23	1,00	
TAC	-0,30	-0,28	0,06	0,23	-0,20	0,08	0,10	0,30	0,29	0,16	0,15	<b>-0,34</b>	-0,25	-0,17	0,22	1,00

La matrice de corrélation montre les variables qui sont bien corrélées entre-elles mentionnées en gras, indiquant probablement l'origine commune des éléments considérés ou évoluant de façon similaire.

D'après le tableau VII.9 nous pouvons constater que:

Nous signalons 6 éléments avec des corrélations significatives de l'ordre de  $\alpha=0,05$ , dont l'intervalle de variation de coefficient de corrélation (0,34 à 0,6)

- La température fortement corrélée avec HCO3- ( $r=-0,6$ ), d'autre part avec le potassium ( $r=-0,52$ )
- Le pH est corrélé avec le chlore ( $r=0,39$ ) et négativement avec le calcium ( $r=-0,35$ )
- Le magnésium est corrélé avec (NO3 et TH) ( $r=0,4$  ,  $r=0,36$ )
- Le potassium est corrélé avec le Bicarbonat ( $r=0,34$ )

Tableau VII. 10 : Matrice de Corrélation (Station d'épuration)

	pH	pHs	CE	CEs	S	Ss	O2	O2s	MES	MESs	DCO	DCOs	NT	Ns	NH4	NH4s	NO2	NO2s	NO3	NO3s	DBO5	DBO5s	
pH	1,00																						
pHs	<b>0,60</b>	1,00																					
CE	0,22	0,09	1,00																				
CEs	0,34	<b>0,47</b>	<b>0,64</b>	1,00																			
S	0,26	0,37	0,06	<b>0,40</b>	1,00																		
Ss	<b>0,51</b>	<b>0,65</b>	0,17	<b>0,45</b>	<b>0,53</b>	1,00																	
O2	0,07	0,25	0,01	-0,05	0,02	-0,01	1,00																
O2s	0,13	0,04	0,18	0,29	0,21	0,08	0,24	1,00															
MES	<b>-0,40</b>	-0,22	-0,14	0,15	-0,11	<b>-0,54</b>	-0,17	-0,05	1,00														
MESs	<b>0,50</b>	<b>0,58</b>	<b>0,46</b>	<b>0,77</b>	0,38	<b>0,48</b>	0,09	0,25	0,00	1,00													
DCO	-0,12	-0,18	-0,15	-0,12	-0,25	<b>-0,53</b>	0,21	-0,05	<b>0,44</b>	-0,23	1,00												
DCOs	0,30	<b>0,44</b>	0,26	<b>0,46</b>	0,34	<b>0,50</b>	-0,02	0,02	-0,14	<b>0,48</b>	-0,02	1,00											
NT	<b>0,41</b>	0,10	-0,20	-0,32	-0,10	0,21	0,27	0,22	<b>-0,46</b>	-0,03	-0,09	0,15	1,00										
NTs	-0,05	-0,13	-0,26	-0,39	-0,19	-0,08	<b>0,47</b>	0,30	-0,26	-0,12	0,13	-0,11	<b>0,63</b>	1,00									
NH4	-0,18	<b>-0,45</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,51</b>	-0,21	-0,13	-0,18	-0,25	<b>-0,59</b>	-0,01	-0,13	<b>0,59</b>	<b>0,41</b>	1,00								
NH4s	-0,31	<b>-0,44</b>	-0,30	<b>-0,58</b>	-0,26	<b>-0,51</b>	-0,16	-0,07	0,08	<b>-0,45</b>	0,16	0,02	0,27	0,39	<b>0,63</b>	1,00							
NO2	0,00	0,01	-0,31	<b>-0,56</b>	-0,38	0,06	0,03	-0,30	-0,36	-0,32	-0,10	0,15	<b>0,58</b>	0,33	<b>0,71</b>	<b>0,45</b>	1,00						
NO2s	0,12	0,07	-0,18	<b>-0,43</b>	-0,29	0,20	0,02	-0,20	<b>-0,41</b>	-0,17	-0,12	0,29	<b>0,68</b>	<b>0,40</b>	<b>0,70</b>	<b>0,42</b>	<b>0,89</b>	1,00					
NO3	0,07	0,12	-0,15	-0,11	-0,35	-0,10	-0,01	0,03	0,13	-0,03	0,27	-0,28	0,10	0,21	0,02	-0,13	0,01	0,04	1,00				
NO3s	-0,06	0,02	<b>-0,41</b>	<b>-0,41</b>	-0,11	0,02	0,02	-0,14	-0,16	-0,07	0,03	0,01	<b>0,51</b>	<b>0,46</b>	<b>0,47</b>	0,33	<b>0,48</b>	<b>0,46</b>	0,02	1,00			
DBO5	-0,21	<b>-0,44</b>	-0,33	<b>-0,53</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,68</b>	-0,01	-0,36	0,23	<b>-0,56</b>	<b>0,60</b>	-0,39	0,10	0,29	<b>0,42</b>	<b>0,49</b>	0,13	0,03	0,37	0,27	1,00		
DBO5s	0,14	0,01	-0,32	<b>-0,56</b>	-0,18	-0,03	0,11	-0,36	-0,25	<b>-0,44</b>	0,27	0,19	<b>0,52</b>	0,34	<b>0,58</b>	<b>0,49</b>	<b>0,60</b>	<b>0,61</b>	0,12	0,36	<b>0,46</b>	1,00	



### VII.4.3. Analyse en composantes principales (A.C.P)

L'analyse en composantes principales est une méthode statistique essentiellement descriptive, son objectif est de présenter sous forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données. L'ACP sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles.

#### VII.4.3.1. Principe de l'ACP

L'ACP consiste à remplacer une famille de variables par de nouvelles variables de variance maximale, non corrélées deux à deux et qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Ces nouvelles variables, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales.

En effet le principe général de cette méthode est la recherche d'une nouvelle base de projection dans laquelle les nouvelles variables vérifient des critères relatifs à la méthode. Ces traitements modifient donc les composantes du vecteur des éléments chimiques.

Le but de cette méthode est:

- Détermination de la structure des variables (l'association, dissociation) ;
- Répartition des variables ;
- Répartition des individus.

#### VII.4.3.2. Principe méthodologique

L'ACP est une transformation orthogonale d'un ensemble des variables  $[X_1, X_2, \dots, X_n]$  en un nouvel ensemble  $[Y_1, Y_2, \dots, Y_m]$  soit :  $Y=G.X$

Il résulte de cette transformation deux propriétés essentielles qui sont :

- Les variables  $[Y_1, Y_2, \dots, Y_m]$  générées ne sont pas corrélées c'est-à-dire que la matrice de covariance du nouveau système est diagonale ;
- La variance totale associée aux variables originales  $[X_1, X_2, \dots, X_n]$  est conservée dans les variables produites  $[Y_1, Y_2, \dots, Y_m]$  et elle est redistribuée sur celles-ci avec la plus grande proportion dans les premières composantes.

La procédure de génération des composantes principales consiste en la détermination de la matrice de transformation G. Cette procédure est divisée en trois étapes :

- Dérivation de la matrice variance covariance ;
- Détermination des vecteurs propres ;
- Transformation linéaire de l'ensemble de données.

#### VII.4.3.3. Objectif

Comme les autres analyses factorielles, l'ACP va surtout s'intéresser à l'étude des colonnes (variables) du tableau d'information pour confronter les différentes distributions et permettre (Philippeau, 1986) :

- De découvrir des irrégularités dans ces distributions ;
- D'analyser des interrelations entre les variables ;
- De mettre en évidence des combinaisons plus ou moins systématiques entre les variables.

#### VII.4.3.4. Application de l'ACP sur la nappe phréatique

L'ACP a été appliquée sur 35 individus (points d'eau) et 15 variables (CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3^-$ ), où le logiciel utilisé est Statistica.10

##### a. Étude des valeurs propres

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans le but de faciliter leur interprétation, le Tableau VII.11. met en évidence les valeurs propres de chaque axe factoriel, ces valeurs sont exprimées en pourcentage de variance totale ainsi que leur cumul. Le premier axe principal a une valeur propre égale à 2.68, il explique 16,78 % de la variance totale, la seconde composante égale à 2,37 correspond à un pourcentage de 14,79 %. Ces deux premiers axes englobent l'ensemble de l'information avec 31,56 % de la variance totale. Ces derniers sont jugés pour une approche d'analyse des variables et des individus. On peut aussi présenter sous forme d'histogramme d'information de chaque axe (Fig VII.28).

Tableau VII.11: Valeurs propres et variation des axes principaux (Phréatique)

Axe	Valeur propre	Variabilité (%)	% cumulé
F1	2,68	16,78	16,78
F2	2,37	14,79	31,56
F3	1,92	12,00	43,56
F4	1,62	10,15	53,71
F5	1,34	8,36	62,06
F6	1,03	6,46	68,52
F7	0,88	5,49	74,01
F8	0,84	5,23	79,24
F9	0,76	4,75	83,99
F10	0,63	3,95	87,94
F11	0,55	3,46	91,39
F12	0,50	3,10	94,50
F13	0,38	2,35	96,84
F14	0,24	1,50	98,35
F15	0,18	1,15	99,49
F16	0,08	0,51	100,00

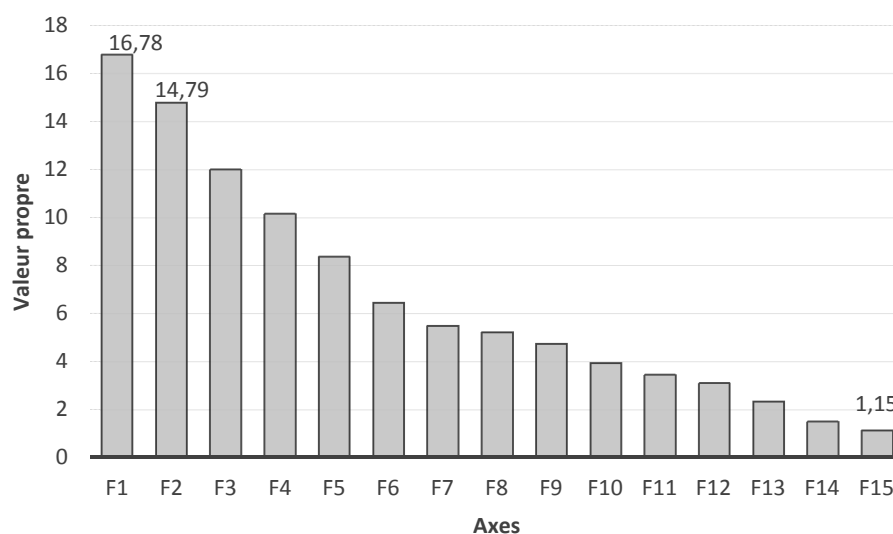


Figure VII.28: Histogramme des valeurs propres (phréatique)

### A.1. Étude des variables

La contribution de chaque variable dans la formation d'une composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré. Plus le coefficient est important, plus la variable contribue à la formation de l'axe. Les résultats sont résumés dans la figure VII.29.

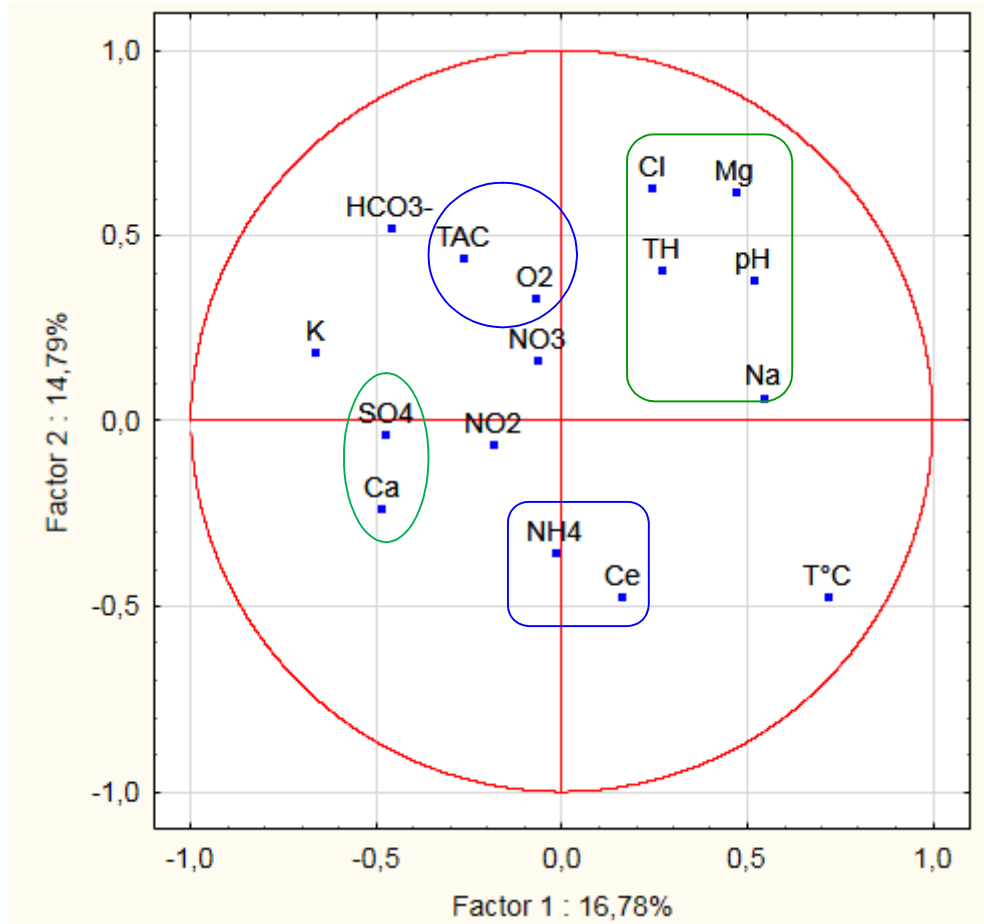


Figure VII.29: Carte factorielle des variables selon les axes F1 et F2

Le cercle de corrélation F1-F2 étant le plus représentatif, représentant 31,57 % de la variance cumulée. Le facteur F2 représentant 14,79 % de la variance totale est caractérisé par deux nuages de points. Le premier nuage de points dans sa partie négative, regroupant l'ammonium les nitrites, cependant la partie positive est caractérisée par les nitrates, l'oxygène dissous et s'oppose au premier nuage de points.

L'axe F2 regroupe donc l'ammonium les nitrites, d'un côté, et les opposent aux nitrates et l'oxygène dissous, on peut donc dire que c'est un axe représentant les éléments **polluants avec l'influence de la conductivité électrique**.

Le facteur F1 représentant 16,78% de la variance totale montre dans sa partie positive, un nuage de points regroupant , les chlorures, le magnésium et le sodium dans l'autre côté le sulfate et le calcium. Cet axe regroupe les éléments responsables des faciès chimiques des eaux de la nappe phréatique qui sont le chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, avec l'influence de la dureté de l'eau et le pH. On peut donc dire que l'axe F1 est un axe caractérisant la minéralisation, du moment qu'il regroupe tous les éléments responsables de **la minéralisation des eaux de la nappe**.

### B.1. Étude des individus

La projection des individus selon le plan F1-F2 montre selon l'axe F1 dans son sens positif un nuage de points regroupant les individus ayant des teneurs élevées en magnésium et le chlorure. Dans le sens négatif un deuxième nuage de points s'oppose au premier et il est caractérisé par les valeurs faibles magnésium et le chlorure.

L'axe F1 est donc un axe qui a regroupé les individus présentant des **faciès chimiques opposés**. L'axe F2 quant à lui regroupe dans son sens négatif les individus présentant des **teneurs élevées** en NH4 plus valeurs faibles de la dureté, dans son sens positif, il individualise le P4 présentant une teneur faible en NH4 plus des valeurs élevée de la dureté. L'axe F2 est donc un axe de **pollution influence par la dureté**.

Ces résultats sont en étroite corrélation avec ce qui était escompté à travers cette A.C.P, du moment que le but était d'individualiser les individus présentant une origine ou une évolution similaire. Donc les individus présentant les mêmes faciès chimiques ont été regroupés selon l'axe F1, alors que les individus qui présentent des teneurs excessives en nitrites et en ammonium ont été regroupés selon l'axe F2.

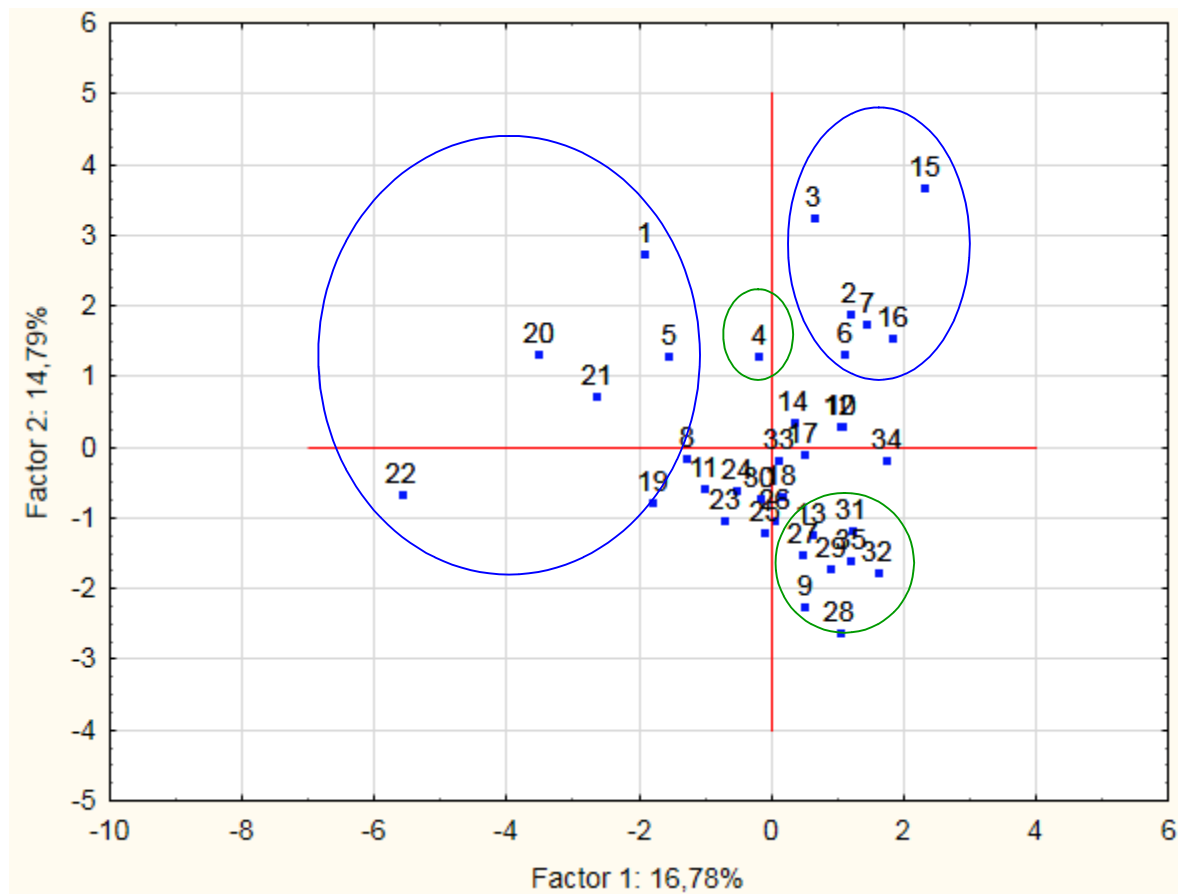


Figure VII.30: Carte factorielle des individus selon les axes F1 et F2

## VII.4.3.5. Application de l'ACP sur la station d'épuration

Tableau VII.12 : Valeurs propres et variation des axes principaux (STEP)

	Valeur propre	Variabilité (%)	% cumulé
F1	6,60	27,51	27,51
F2	4,74	19,76	47,27
F3	2,48	10,35	57,62
F4	2,02	8,42	66,04
F5	1,65	6,88	72,92
F6	1,36	5,65	78,57
F7	1,07	4,44	83,01
F8	0,88	3,66	86,67
F9	0,70	2,92	89,59
F10	0,52	2,17	91,76
F11	0,43	1,80	93,56
F12	0,37	1,55	95,11
F13	0,28	1,17	96,27
F14	0,23	0,95	97,23
F15	0,18	0,77	97,99
F16	0,15	0,63	98,62
F17	0,13	0,55	99,17
F18	0,09	0,36	99,52
F19	0,04	0,18	99,71
F20	0,03	0,14	99,85
F21	0,02	0,10	99,94
F22	0,01	0,04	99,98
F23	0,00	0,01	100,00

Nous constatons dans le tableau VII.12. que le premier axe F1 a la valeur propre la plus importante qui est égale à 6.60 correspondant ainsi à un pourcentage de 27.51% de la variance totale. L'axe F2 a une valeur propre de 4.74 qui correspond à un pourcentage de 19.76% de la variance totale. Nous pouvons noter qu'un pourcentage cumulé de l'ordre de 47.27% qui présente la part d'information expliquée par ces deux axes. Ces derniers sont jugés suffisants pour une approche d'analyse des individus. On peut aussi présenter sous forme d'histogramme d'information de chaque axe (Fig.VII.31)

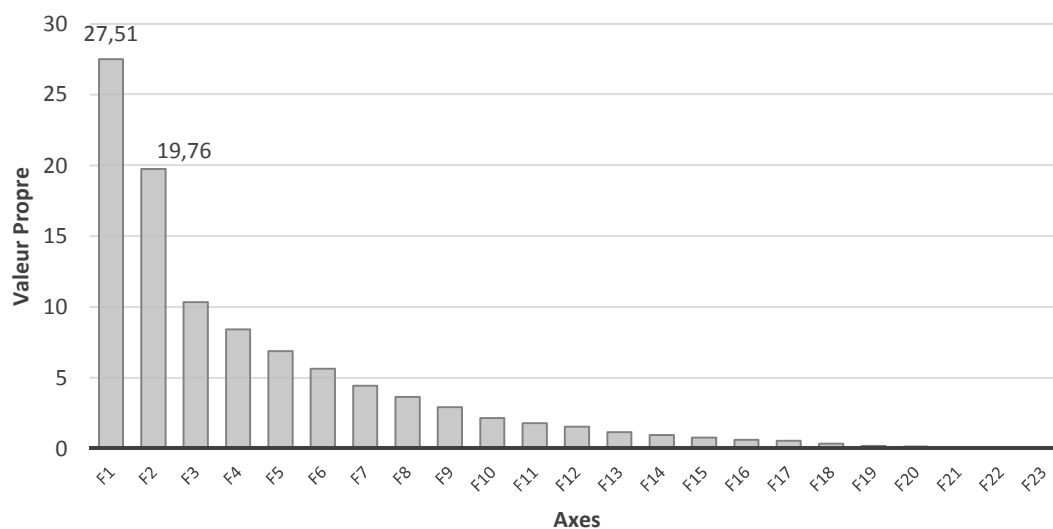


Figure VII.31: Histogramme des valeurs propres (STEP)

**a. Étude des variables**

La contribution de chaque variable dans la formation d'une composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré. Plus le coefficient est important, plus la variable contribue à la formation de l'axe.

**L'analyse du cercle de corrélation (Fig VII.32) permet de ressortir;**

L'axe 1, est exprimé vers son pôle positif par le pH, S, CE a l'entrée et a la sortie de la STEP, et les MES, qui présentent les paramètres de **pollution minérale** et le DBO5, DCO, NH4, NO3 vers son pôle négatif, qui présentent les paramètres de **pollution organique** alors que l'axe 2 est défini par la température a l'entrée et a la sortie vers son pôle positif et la MES vers son pôle négatif, qui présentent les **paramètres physiques avec l'influence de MES**.

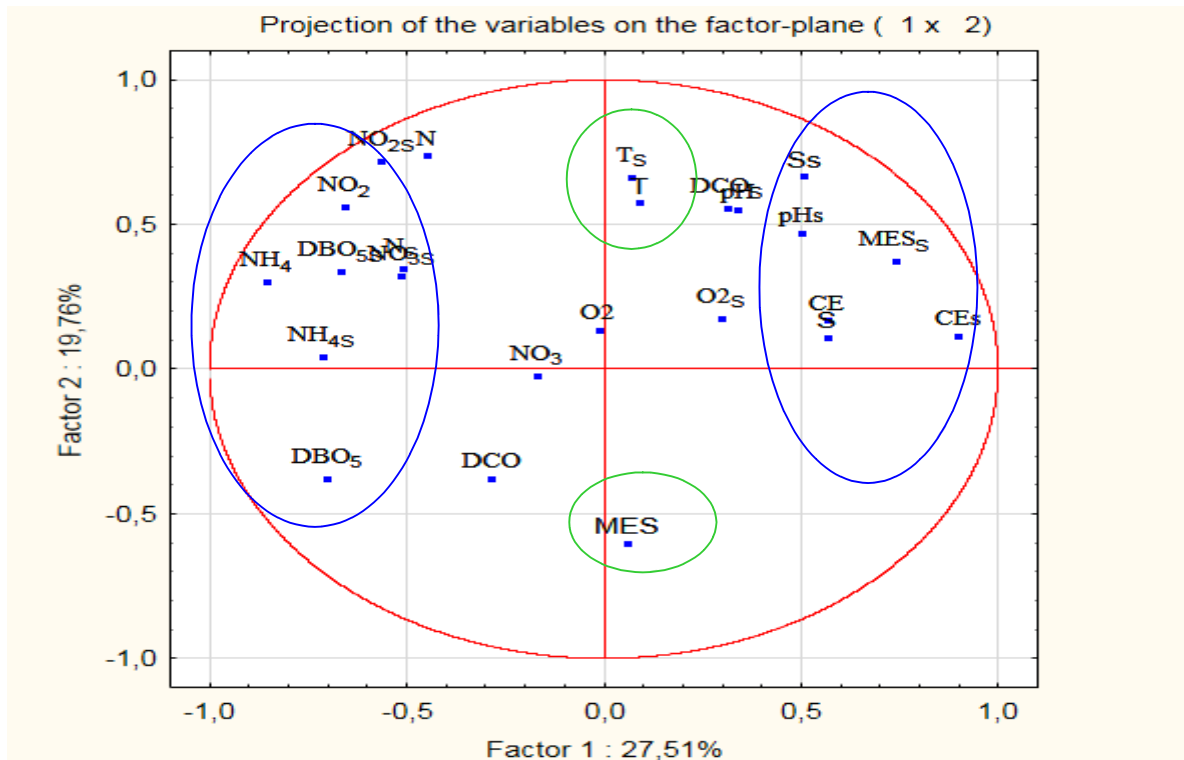


Figure VII.32: Carte factorielle des variables selon les axes F1 et F2 (STEP)

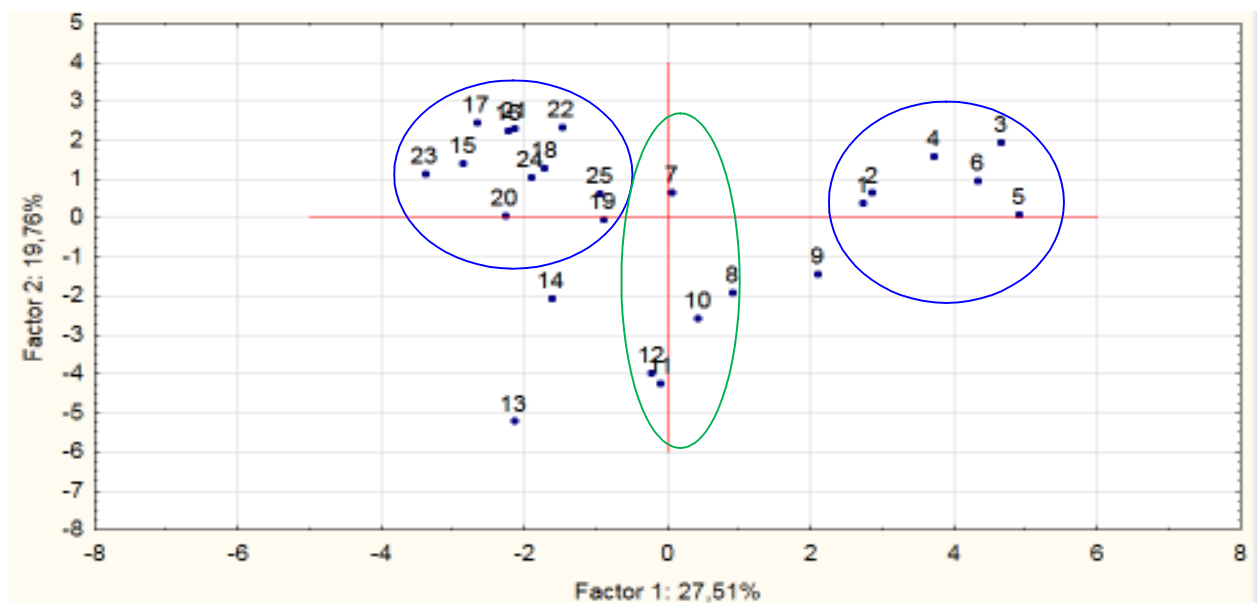


Figure VII.33: Carte factorielle des individus selon les axes F1 et F2 (STEP)

La projection des individus selon le plan F1-F2 montre;

- Selon le sens positif de l'axe F1; un nuage de points regroupant les individus qui représente les premiers mois de fonctionnement de la STEP.
- Selon le sens négatif, un deuxième nuage de points s'oppose au premier se caractérisé les derniers mois pour notre expérimentation.

On peut conclure que l'axe F1 est donc un axe qui a regroupé les individus présentant des analyses au début et la fin de notre expérimentation tandis que l'axe F2 a regroupé les individus des analyses au centre des expérimentations

Ces résultats sont en étroite corrélation avec ce qui était escompté à travers cette A.C.P, du moment que le but était d'individualiser les individus présentant une origine ou une évolution similaire. Donc les individus présentant les mêmes faciès chimiques ont été regroupés selon l'axe F1, alors que les individus qui présentent des teneurs excessives en nitrites et en ammonium ont été regroupés selon l'axe F2.

### VII.5.Conclusion

Le but de ce chapitre était la discussion des résultats des analyses des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP, qualité des eaux épurée, possibilité de réutilisation, qualité des eaux de la nappe phréatique;

Les résultats expérimentaux obtenus lors de cette étude montrent que les eaux usées de la station d'épuration de la vallée du M'Zab, dont le traitement, se fait par lagunage naturel sont des eaux usées épurées d'une **qualité médiocre nécessite un traitement tertiaire** pour les utiliser dans le domaine agricole, un stockage dans des **bassins de finition** est nécessaire pour mieux affiner ces eaux. Le traitement de **désinfection** est obligatoire pour améliorer la qualité bactériologique.

Les résultats obtenus pour les eaux de la nappe phréatique mettent en évidence une forte minéralisation exprimée en conductivité électrique qui est supérieure à 2800  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ .

On peut conclure que 95% des échantillons analysés appartiennent à la classe **C4** qui peut signifier une **pollution excessive nécessite un traitement spécifique**. Ces résultats pourraient être expliqué par les rejets des eaux usées dans la nature et essentiellement de la qualité de l'eau potable et d'irrigation utilisée dans la région d'étude qui présente une salinité très élevée et du régime alimentaire de la population et des activités industrielles. Ces valeurs de salinité aggravée par les facteurs climatiques telles que la forte évaporation et le manque de précipitation qui favorisent l'augmentation des taux de salinité sur la surface de sol.

L'évaluation hydro-chimique des eaux de la nappe phréatique de l'oasis d'El-Atteuf en vue d'utiliser en irrigation a révélé que la plupart des eaux sont chargées en sels et qu'elles présentent un danger de salinité allant du fort (C4) à excessif (C5). Quant à l'appréciation du danger d'alcalinité, les eaux se distinguent par les classes de danger allant du moyen (S2) au fort (S3). Même si la texture des sols d'El-Atteuf est à dominante sableuse, le drainage naturel ou artificiel est obligatoire.

Les eaux souterraines sont pratiquement la seule ressource utilisée dans l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail. Les résultats chimiques de ces eaux d'un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien justifient le choix des cultures à pratiquer en l'occurrence celles tolérantes en sels.

Pour l'aspect potabilité, la majorité des eaux de la nappe phréatique de l'oasis d'El-Atteuf sont de qualité **médiocre très dure** dépassent les normes de l'OMS et donc impropres à la consommation humaine, quand à l'utilisation à l'élevage nous avons noté plus de **50%** de points d'eau sont impropres à la consommation.

L'analyse statistique descriptive et multidimensionnelle (ACP) des paramètres physicochimiques et chimiques des eaux de la nappe phréatique et la STEP de la vallée du M'Zab a mis en évidence, la matrice de corrélation montre 7 corrélations significatives pour les eaux de la nappe phréatique et 76 variables qui sont bien corrélées entre elles pour les eaux de la STEP indiquant probablement l'origine commune des éléments considérés ou évolués de façon similaire.

La projection des individus des analyses de la nappe phréatique sur le plan factoriel (F1-F2) a permis d'identifier une répartition selon trois groupes, dont le premier le deuxième présentant les puits ont des faciès chimiques similaires, le troisième présentant les puits ont une pollution influencée par la dureté.

Au total on peut conclure que les objectifs qu'ont été visés par les administrateurs à travers des aménagements d'assainissement et de traitement des eaux dans la vallée ne sont pas encore atteints, d'autres interventions sont nécessaires pour mieux améliorer la situation environnementale et gérer la problématique de l'eau dans la vallée.

À cet effet ; l'objectif du prochain chapitre est l'étude de la problématique de l'excès d'eau qui se manifeste sous forme des zones de stagnation à travers l'établissement d'un bilan hydrique et une modélisation des ressources en eau pour toute la vallée, en vue d'une gestion intégrée.



# Chapitre VIII

## Gestion et planification des ressources en eau

### VIII.1.Introduction

La gestion irrationnelle des ressources en eau et l'augmentation des rejets urbains et industriels ont généré des volumes d'eau qui s'infiltrant dans la nappe phréatique, contribuent au relèvement de son niveau piézométrique tout en la polluant. Le phénomène de la remontée des eaux a pris des dimensions telles que les conséquences graves sur l'environnement, l'agriculture de la vallée. Le bilan hydrique reste l'une des méthodes les plus utilisées pour une gestion rationnelle des ressources en eau, le calcul de ce bilan hydrique repose sur la détermination de la quantité d'eau rentrant dans le processus d'évapotranspiration et par conséquent, la détermination de la quantité d'eau retournant au sous-sol. L'établissement de ce bilan permettra d'identifier et étudier les différents paramètres qui contribuent à ce phénomène.

L'objectif du présent chapitre est la discussion des résultats de quantification des ressources en eau urbaines et agricoles d'une part, l'établissement d'une modélisation des ressources en eau dans la vallée pour des horizons futurs en vue d'une gestion intégrée dans la vallée du M'Zab d'autre part.

### VIII.2. Bilan hydrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab

L'établissement d'un bilan d'une nappe phréatique exige la connaissance précise de son alimentation et de ses pertes. Or celles-ci sont multiples, directes ou indirectes, superficielles ou profondes. Le bilan hydrique global a pour but d'étudier la balance entre les apports et les pertes et ainsi d'étudier la variation des réserves en eau.

#### VIII.2.1.Délimitation de la zone d'étude

Nous avons établi une délimitation de la zone d'influence de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab à la base des données hydrographiques et hydrogéologiques, où la zone d'influence de notre nappe représente le sous-sol de lit d'oued M'Zab et ses affluents limités par les calcaires turoniens.

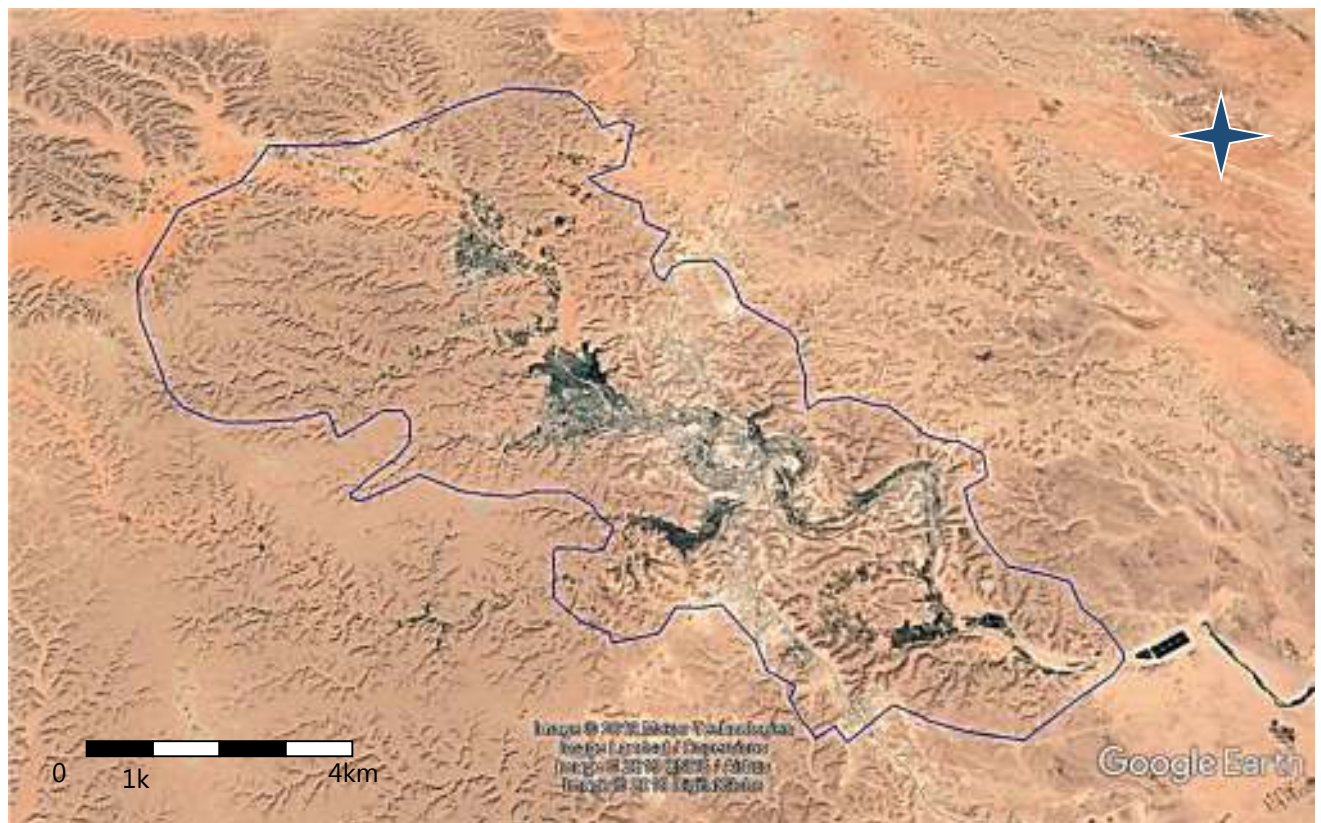


Figure VIII. 1 : Délimitation de la zone d'influence (Zegait, 2015)

### VIII.2.2. Plan d'occupation de Sol

À l'aide d'un plan d'occupation de sol de la vallée du M'Zab qui a été établi par (Achour.M ; 2014) et actualisé par (Zegait ; 2015), nous avons ressorti une superficie totale de l'ordre de 27800 ha destinée à notre bilan hydrique où plus de 74% représente des sols nus tandis que la part de la zone des palmeraies représente que 19% soit 5286 ha.

Tableau VIII. 1 : Classification des surfaces de la zone d'influence

Classe	Classification détaillée	Surface (ha)	Pourcentage %
01	Sols nus /Chebka	20603	74,1
02	Lit d'Oued	218	0,8
03	Urbain /industriel	1300	4,7
04	Oasis	5286	19
05	mixte	343	1,2
06	Plan d'eau	50	0,2
<b>Total</b>		27800	100,0

### VIII.2.3. Étude des paramètres de Bilan hydrique

L'expression du bilan correspond à la différence entre les entrées et les sorties dans la nappe phréatique de la vallée du M'Zab .

$$(\Delta Q = \text{les entrées} - \text{les sorties})$$

#### A. Les entrées

Les entrées d'eau dans la nappe phréatique responsables de la variation du niveau piézométrique de cette nappe sont :

#### A.1. Eau d'irrigation

D'après les services de l'ANRH, la vallée du M'Zab comporte plus de 93 forages pour tous les usages, la production journalière peut arriver à plus 0,19 Mm<sup>3</sup>/j où 0,13 Mm<sup>3</sup>/j, destiné à l'irrigation soit 68% de la totalité des forages. En se référant à la base des données de (DSA-Ghardaïa), le mode d'irrigation gravitaire est le plus dominant pour la majorité des superficies agricole, le système goutte à goutte ne représente que 10% de la totalité de SAU. Notons que les régions sahariennes où les sols de type sableux limoneux l'efficacité de système d'irrigation est de l'ordre de 60% pour l'irrigation gravitaire ,85 % pour l'irrigation localisée, et donc la lame d'eau infiltrée sera de l'ordre de :

$$\rightarrow \text{QF-Irr-Inf} \approx 17,16 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

#### A.3. Puits d'irrigation

Des puits traditionnels captent la nappe phréatique d'inféro - flux dans les alluvions sous le fond de la vallée ; qui ne dépassent guère 50 mètres de profondeur. Leur recharge est assurée grâce à l'infiltration des pluies et le surplus d'irrigation, améliorée par des dispositifs ingénieurs : barrages retardant l'écoulement des crues ou murettes concentrant et dirigeant le ruissellement sur les calcaires des flancs des vallées. Nous avons recensé d'environ 1500 puits destinés à l'irrigation. Le volume total extrait à partir de ces puits a été estimé par 0,11 Mm<sup>3</sup>/j (DSA.2015), soit 39,58 Mm<sup>3</sup>/an avec une utilisation arbitraire et non contrôlée.

La lame d'eau infiltrée sera de l'ordre de :

$$\rightarrow \text{QF-Irr-puits} \approx 15,84 \text{ Mm}^3/\text{an}$$



Figure VIII. 2 : Puits traditionnels d'irrigation (Zegait.2015)

Tableau VIII. 2 : Eau d'irrigation utilisée à partir de chaque type d'ouvrage (DSA, 2015)

Commune	SAU (ha)	Forages (CI)		Puits (phréatique)		Volume Total Mm <sup>3</sup> /an
		Nbr	Volume (Mm <sup>3</sup> /an)	Nbr	Volume (Mm <sup>3</sup> /an)	
Ghardaia	1591	13	13,46	457	14,41	27,87
Bounoura	923	7	5,58	310	9,77	15,35
El-Attuef	993	12	14,5	283	7,5	22
Daya	1779	13	12,23	440	7,9	20,13
<b>Total</b>	<b>5286</b>	<b>45</b>	<b>45,77</b>	<b>1490</b>	<b>39,58</b>	<b>85,35</b>

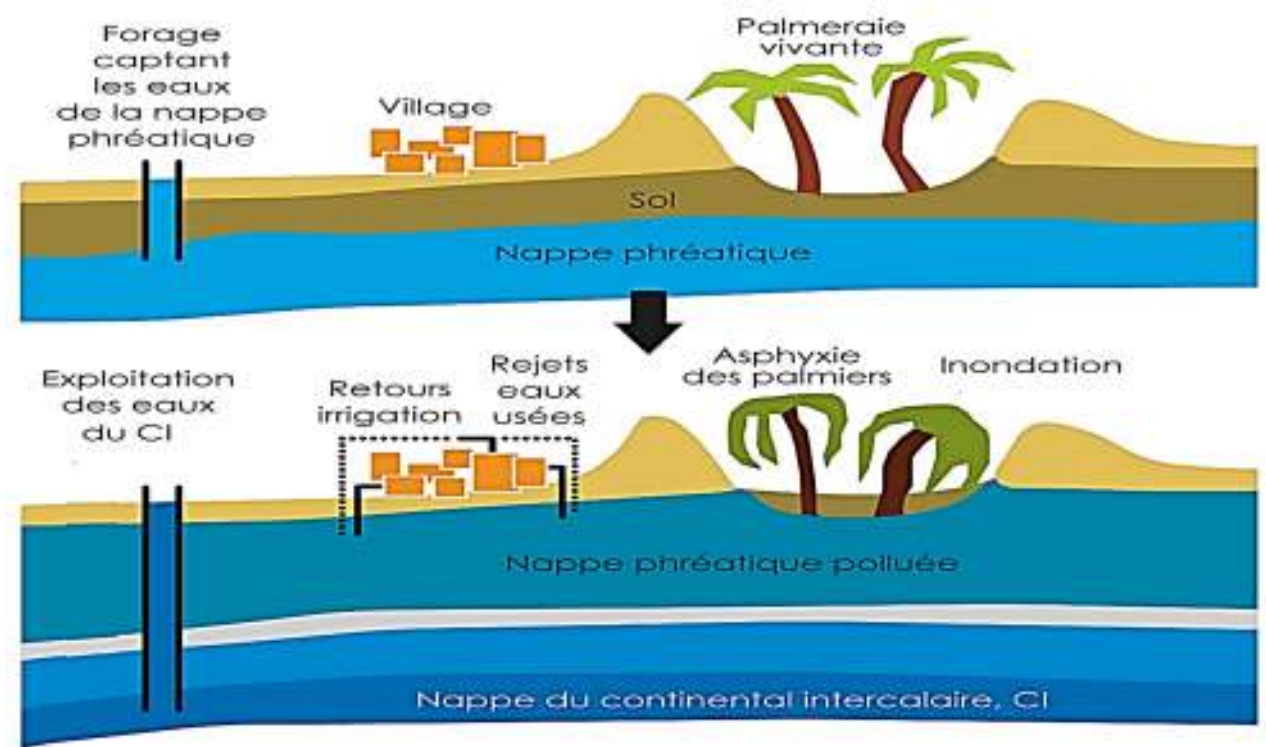


Figure VIII. 3 : Schéma expliquant la recharge de la nappe phréatique par le CI (Remini 2006)

#### A.4. Fuites d'AEP

Plus de 48 forages à usage domestique et industriel ont été implantés au niveau de la vallée du M'Zab où le volume total extrait est de l'ordre de 25,03 Mm<sup>3</sup>/an (Tab VIII.3). Un taux de fuites de 15% dans le système d'AEP de la vallée a été signalé par des enquêtes de DRE-Ghardaïa qui représente 10286m<sup>3</sup>/j soit :

$$\rightarrow Q_{\text{AEP-Fuit}} = 3,75 \text{ Mm}^3/\text{an}.$$

Tableau VIII. 3 : Volumes d'exploitation de nappe CI pour l'usage AEP/AEI (ANRH ; 2015)

Commune	AEP		AEI		Total	
	Nbre	Q(Mm <sup>3</sup> /an)	Nbre	Q(Mm <sup>3</sup> /an)	Nbr	Q(Mm <sup>3</sup> /an)
<b>Ghardaïa</b>	22	13,97	2	0,3	24	14,27
<b>Bounoura</b>	7	5,09	2	1,31	9	6,4
<b>El-Atteuf</b>	8	2,45	2	0,51	10	2,96
<b>Daya</b>	4	1,30	1	0,16	5	1,46
<b>Total</b>	41	22,75	7	2,28	48	25,03



Figure VIII. 4 : Exploitation de la nappe CI dans la vallée du M'Zab

#### A.5. Les rejets d'assainissement

Les volumes des rejets des eaux usées à l'aval de la vallée du M'Zab a été estimé par 24000 m<sup>3</sup>/j (ONA 2014) soit 8,76 Mm<sup>3</sup>/an, notons que ce chiffre représente les volumes des rejets de trois communes (Ghardaïa, Bounoura, El Atteuf) raccordées au collecteur principal avec un taux de (95%). Les rejets des eaux usées rejoignent effectivement la nappe phréatique de la vallée du M'Zab ne sont que les rejets de la commune de Daya où les fosses perdues représentent les seuls points de rejets de la zone soit (0,63 Mm<sup>3</sup>/an), et 5% de population non raccordée (0,38 Mm<sup>3</sup>/an). Soit un total de :

$$\rightarrow Q_{\text{rejets}} = 1 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

Tableau VIII. 4 : Volume des eaux usées rejetées /commune (ONA ; 2014)

Commune	Population	V. Rejeté (m <sup>3</sup> /j)	%
<b>Ghardaïa</b>	123253	16215	63,9
<b>Bounoura</b>	41316	5086	20,0
<b>El Atteuf</b>	18279	2367	9,3
<b>Daya</b>	14305	1715	6,8
<b>Total</b>	197153	25383	100,0

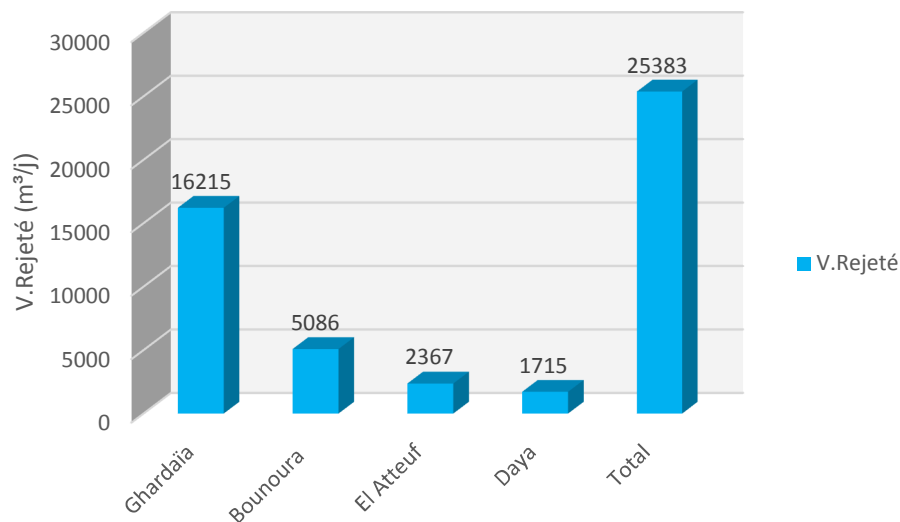


Figure VIII. 5 : Volume des rejets urbains de la vallée du M'Zab

### A.6. les précipitations

Les eaux de pluie rejoignant effectivement la nappe phréatique par infiltration : QP-Inf. Le processus d'infiltration des eaux météoriques ou de surface a fait l'objet de nombreux travaux en zone aride. Parmi les auteurs qui ont abordé ce processus, nous pouvons citer : [C. Samie - P. Dutil 1960](#) et [M.A. Roche 1973](#). Il s'agit d'études ponctuelles sur les sols nus, qui indiquent qu'en gros l'infiltration peut être assez favorable dans plusieurs endroits de sites étudiés.

Les facteurs qui tendent à favoriser l'infiltration des eaux dans les sols ([M.A. Roche 1973](#)) sont : (Dimension des sables ; morphologie du site ; L'humidité à faible profondeur ; les gradients de température... .)

Nous exposons dans ce qui suit les résultats de certaines études réalisées pour l'évaluation du taux d'infiltration au Sahara septentrional.

Selon ([M.A. Roche, 1973](#)), les valeurs suivantes ont été adoptées :

- Pour une pluviométrie moyenne annuelle de 40 mm, le coefficient d'infiltration est de 5 à 10 %;
- Pour des pluies ponctuelles de 5 à 20 mm, le coefficient d'infiltration est de 40 %.

À la lumière de ces résultats, nous pouvons à travers une extrapolation adopter pour notre cas, un coefficient d'infiltration de 16 %. Pour une pluviométrie de 93 mm/an ([Station de Ghardaïa, 1986-2014](#)) et une surface de 20821 ha (Tab.VIII1 : Classe N°: 1+2) , la lame d'eau rejoignant effectivement la nappe phréatique est de l'ordre de :

$$\rightarrow \text{QP-Inf} = 0,093 \text{ m/an} \times 0,16 \times 20821 \text{ ha} \approx \mathbf{3,1 \text{ Mm}^3/\text{an}}$$

### A.7. Les eaux de surface : QP-Cru

Elles sont représentées par les apports d'Oued M'Zab qui débouchent au niveau de (S.Safioune) à Ouargla, et qui participent à l'alimentation de la nappe phréatique en période de crues. Selon les travaux de [NAZOU MOU.2002](#) sur le ruissellement interannuel moyen sur le SASS , considérons 30% du ruissellement s'infiltrer , l'Apport de la nappe phréatique à partir du ruissellement dans l'Oued M'Zab de l'ordre 40,8 Mm<sup>3</sup>/an. ([Ouled baba sy, 2005](#)).

Notons que la superficie de la zone d'étude de l'ordre 27800 ha qui représente **5,56%** de la superficie totale de bassin versant de Oued M'Zab, on peut estimer les volumes des eaux provient des eaux de surface par :

$$\rightarrow \text{QP-Cru} = \mathbf{2,23 \text{ Mm}^3/\text{an}}$$

### B. Les sorties

Il s'agit de

- L'évaporation : En zones arides, l'évaporation et l'évapotranspiration sont les mécanismes majeurs de pertes en eau. Dans des bassins arides fermés, ils sont les seuls modes de perte en eau (hors pompage) ([Ullman, 1985](#)).

### B.1. Évaporation à partir des plans d'eau libres

L'estimation de l'évaporation à partir des plans d'eau libres a été faite à partir des données relevées sur bac. Nous disposons d'une série de mesures allant de 1986 à 2014. Les surfaces sujettes à la détermination de ce paramètre sont (Classes N°6) reportées sur le tableau VIII.1.

Cependant, en zones arides et semi arides, il faut tenir compte de certains facteurs qui influent sur le taux d'évaporation, parmi eux nous pouvons citer :

#### - La salinité :

Il est connu que la salinité a pour effet de diminuer l'évaporation.

Les expériences menées aux États-Unis en zones arides et semi-arides permettent d'introduire des coefficients de correction. À partir de ces expériences, Sami et Dutil (1960) suggèrent un coefficient de correction  $r = 0,90$ .

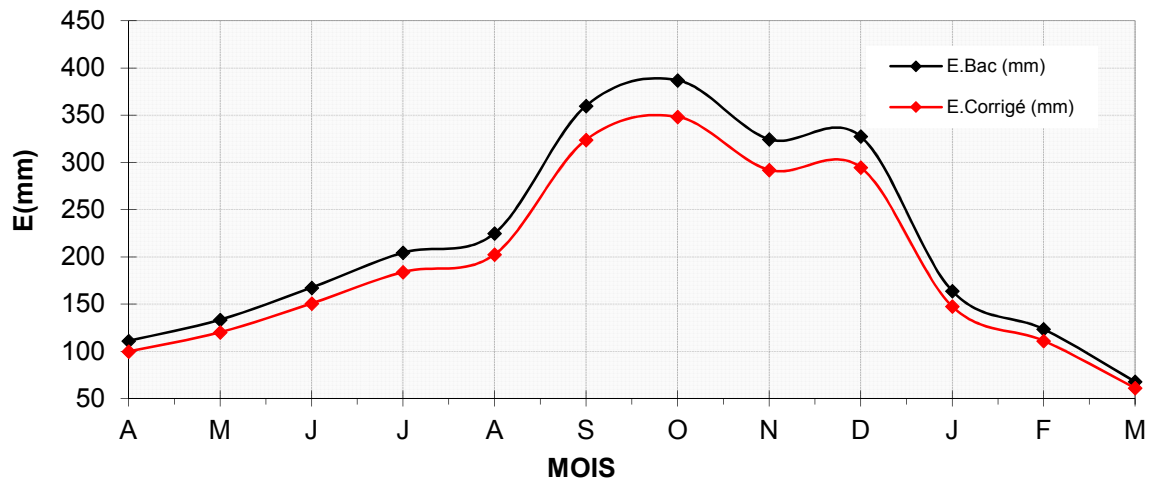


Figure VIII. 6 : Évaporation en bac corrigée (Station Ghardaïa 1986-2014)

Pour une surface totale des plans d'eau libres de 50 ha, le volume d'eau évaporé est estimé à :  $QE-P1 = 1,17 \text{ Mm}^3/\text{an}$  où l'évaporation moyenne annuelle corrigée est de l'ordre de  $2,34 \text{ m}/\text{an}$

### B.2. Évaporation à partir des zones humides

Les flux évaporatoires de la nappe phréatique (E) en fonction de la variation du niveau d'eau (Z), sont estimés selon l'expression suivante (Gardner.W.R,1958 ; Warrick, A. W, 1988)

$$E = A \times Z^{-n}$$

Où A et n, sont les paramètres empiriques, dépendant de la nature de sol (Gardner.W.R,1958 ; Warrick, A. W, 1988). En région aride et semi-aride (Coudrain.A et al ; 2003) des relations empiriques en fonction de la profondeur du niveau saturé ont été établies. Au M'Zab le flux d'évaporation de la nappe phréatique est calculé selon la relation empirique établie en région aride (Coudrain.A et al ; 2003)

$$E = 63 \times Z^{-1,5}$$

À une profondeur  $Z = 2,8 \text{ m}$ , l'évaporation moyenne étant de  $14 \text{ mm}/\text{an}$ , pour une superficie totale de 5504 ha correspondant aux classes N°2 et N°04, le volume évaporé est de l'ordre de :

$$\rightarrow QE-Zh = 0,014 \text{ m}/\text{an} \times 5504 \times 10^4 = 0,771 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

### B.2. Écoulement souterrain

La nappe phréatique de la vallée du M'Zab est une nappe libre d'inféro - flux dans les alluvions où leur alimentation dépend des précipitations et les surplus d'irrigation. Sous l'effet de gradient hydraulique à aval de la vallée (3,5%) et une section de contrôle au niveau de barrage traditionnel d'El-Atteuf, le débit souterrain maximal est très faible et lent de l'ordre de  $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit un débit annuel de  $0,033 \text{ Mm}^3/\text{an}$  (ANRH,2003)

$$\rightarrow Q_s = 0,033 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

## C. Bilan hydrique globale

Tableau VIII. 5 : Bilan hydrique

	Paramètre	Entrées (Mm <sup>3</sup> /an)	(Sorties Mm <sup>3</sup> /an)
Qf -Irr-Inf	Eau d'irrigation CI	17,16	
Qf -Irr-Puits	Eau des Puits Ph	15,84	39,6
QAEP-Fuit	Fuite d'AEP	3,75	
Qrejet	Rejet d'assainissement	1,00	
Q inf	Précipitation	3,1	
Qp-Cru	Eau de Surface	2,23	
QE-PI	Évaporation des plans d'eau libre	-	1,17
QE-ZH	Évaporation des zones humides	-	0,77
QS	Écoulement souterrain	-	0,033
<b>Totaux</b>		<b>43,08</b>	<b>41,57</b>

$$\Delta Q = + 1,51 \text{ Mm}^3/\text{an}$$

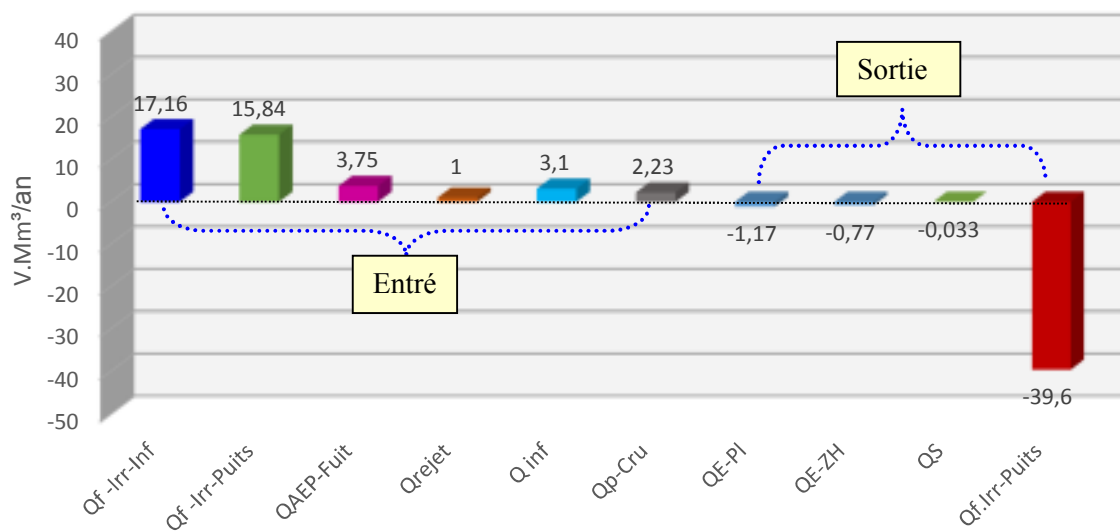


Figure VIII. 7 : Paramètres du bilan hydrique



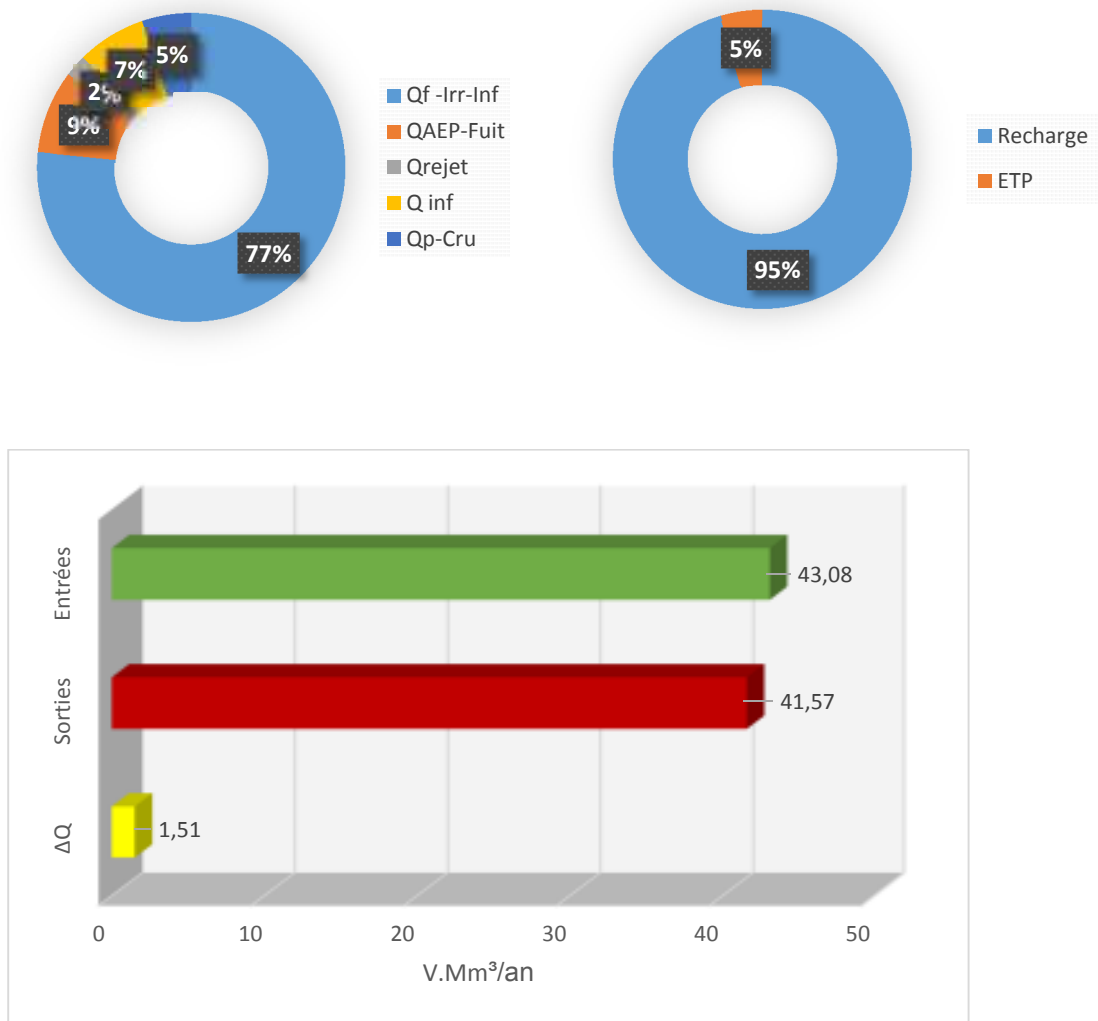


Figure VIII. 8 : Bilan hydrique

#### VIII.2.4.Synthèse de Bilan hydrique

Le calcul de bilan hydrique ( $\Delta Q$ ) de la vallée du M'Zab a montré qu'un excès important des eaux de l'ordre de (1,51 Mm<sup>3</sup>/an) où le débit entrant (43,08 Mm<sup>3</sup>/an) dans le système est extrêmement élevé comparativement avec des débits sortants (41,57 Mm<sup>3</sup>/an), ce qui contribue à l'apparition des graves problèmes relatifs à l'excès d'eau telle que l'élévation du niveau d'eau (surtout en hiver) dans les zones de dépression d'El-Atteuf, Karkoura.

Ce bilan montre clairement que les eaux d'irrigation influencent par 77% dans la problématique de l'excès d'eau suite par les fuites d'AEP par 9% dû aux gestions irrationnelles des eaux, les chiffres de la part des rejets urbains sont totalement changés après l'aménagement de collecteur principal d'assainissement de la vallée 2013 de 44% à 2% qui nous conduit d'observer un aspect positif plus tard sur l'environnement.

Les résultats obtenus montrent que le volume annuel de l'évapotranspiration potentielle dans notre zone d'étude est de l'ordre de 1,94 Mm<sup>3</sup>/an, et qui peut minimiser la recharge par 5%.

### VIII.3. Modélisation de la gestion intégrée par le modèle WEAP

Les pressions accrues sur les ressources en eau liées aux changements climatiques et d'usages de l'eau ainsi que les compétitions grandissantes entre usagers sont reconnues comme des enjeux mondiaux. La gestion des ressources en eau est l'un des grands enjeux et défis relevés par la vallée du M'Zab. Ses ressources en eau ne sont pas renouvelables, or les besoins humains ne cessent de croître et les milieux sont de plus en plus transformés par l'homme ce qui présente de nombreuses incidences sur l'eau, en quantité comme en qualité.

Les écosystèmes, milieux producteurs et régénérateurs de cette ressource sont menacés, pollués et détruits en aval de vallée.

Le défi actuel consiste à décrire la situation actuelle de la vallée, évaluer la disponibilité des ressources et les demandes en eau futures selon des scénarios climatiques et socio-économiques, puis distribuer l'eau selon des règles prédéfinies. Pour ceci, une modélisation hydrologique des changements de structure et de paramètres des systèmes hydrauliques est adoptée par le biais du modèle WEAP21 (Water Evaluation and Planning System) pour remédier aux problèmes d'approvisionnement et de demande de l'eau sur des horizons de planification à long terme dans la vallée du M'Zab, selon les projections d'augmentation des besoins et des rejets et fournit une approche intégrée de la planification des ressources hydriques.

#### VIII.3.1. Acquisition du logiciel WEAP 21

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur site : <http://www.weap21.org>. Il est fonctionnel excepté que le dispositif «économiser données» est non fonctionnel. Une version démo du logiciel est accessible à tout le monde. Par contre, pour le fonctionnel, il faut obtenir un permis ou licence d'utilisation pour les types d'utilisateurs. Pour l'obtention, il faut remplir et envoyer un formulaire. Le SEI (Stockholm Environment Institute) envoie par e-mail le nom d'utilisateur et un code d'enregistrement, les instructions pour activer le logiciel WEAP et pour permettre le dispositif "économiser données" fonctionnel. Il est préférable que l'ordinateur soit relié à l'internet, car le WEAP a un forum d'utilisateur sur le site: <http://forums.seib.org/weap>. Il faut un pseudo et un mot de passe pour entrer dans ce forum. Le forum peut aider l'utilisateur pendant la mise en marche du logiciel, le traitement de données et la mise à jour du logiciel.

Le permis d'utilisation est valide pour une durée déterminée.

#### VIII.3.2. Fonctionnement du logiciel

Le programme WEAP fonctionne donc suivant cinq (5) étapes.

##### VIII.3.2.1. Création de la zone d'étude

Dans cette partie, il s'agit de créer une carte de la zone d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (SIG) en particulier Arcview. Cette carte va servir comme fond des dessins des éléments nécessaires pour pouvoir faire la simulation tels que: les emplacements urbains, les rivières, les sources d'eaux souterraines, les réservoirs, les barrages, les industries, les sites agricoles et les autres types d'emplacements selon l'étude.

##### VIII.3.2.2. Création des hypothèses clés /références

Puisque le logiciel pourrait faire une simulation basée sur le calcul de la demande et l'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, et le traitement général de pollution, la qualité de l'eau, etc.... Il est donc primordial de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarios.

###### VIII.3.2.2.1. Hypothèses clés

Ce sont des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons quatre (4) hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel utilisation d'eau domestique, besoins en eau pour l'irrigation, pourcentage mensuel d'utilisation d'eau domestique, taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur.

### VIII.3.2.2.2. Références

Il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle. Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période de référence.

### VIII.3.2.3. Proposition des Scénarios

Dans WEAP, le scénario typique est composé de trois étapes une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, des autres scénarios pour évaluer les effets des changements socio-économiques, changements climatiques probables pour l'année ou l'horizon futur.

### VIII.3.2.4. Saisie des données

Les données sont à saisir en cliquant droit après avoir créé les éléments dans la zone d'étude (placer les emplacements urbains, industriels, élevages, etc.) ou en passant dans le menu d'affichage de la base de données.

### VIII.3.2.5. Présentation des résultats

Les résultats se présentent sous forme de graphe et (ou) de tableau. On aura deux résultats à comparer : les résultats de l'année de référence et de l'année de scénario de changements climatiques.

Le fonctionnement du logiciel peut être représenté par l'organigramme ci-dessous (Fig.VIII.9).

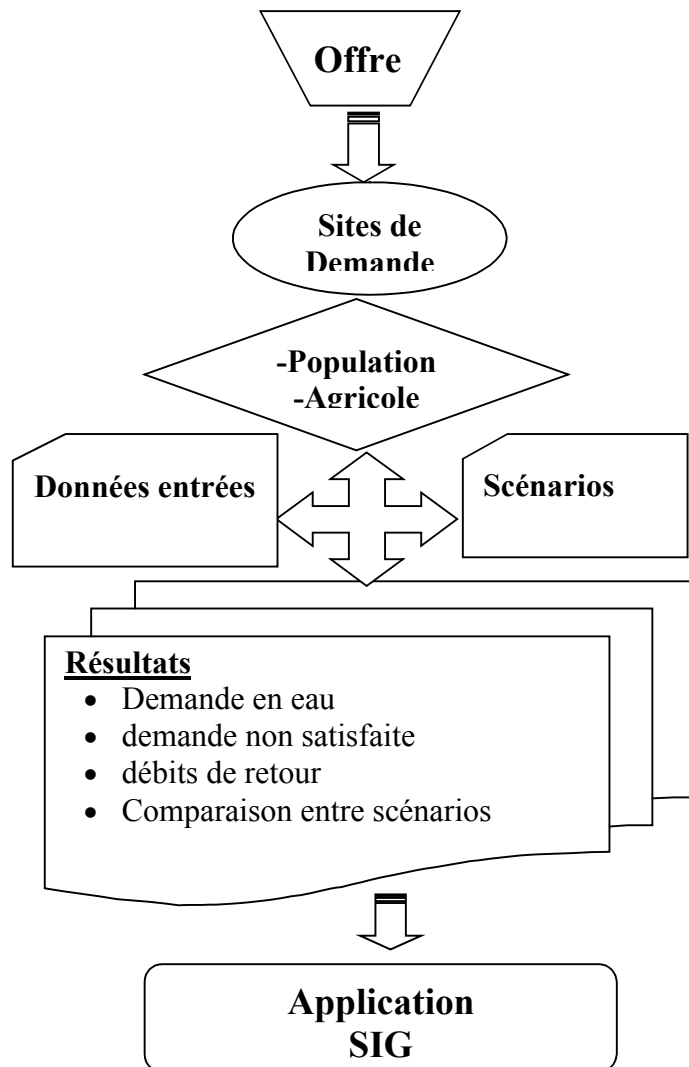


Figure VIII. 9 : Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP 21.

### VIII.3.3 Analyse et traitement des données nécessaires

Étant donné que le modèle WEAP est un outil informatique permettant de planifier la gestion intégrée des besoins en eau, la gestion intégrée des ressources en eau nécessite certaine connaissance aussi parfaite que possible sur :

- La réserve et la ressource en eau,
- Les sites de l'offre ou captage,
- Les sites de demandes.

Des données collectives à ces points ont été collectées au niveau de certaines institutions travaillant dans le secteur de l'eau et de l'assainissement dans la vallée, ainsi que dans des organismes régionaux. On numérise les sites de demande et les sites de l'offre : eaux souterraines exploitées (forages, puits) et on saisit les données nécessaires pour chaque utilisateur en cliquant droit sur les emplacements numérisés.

#### VIII.3.3.1. Étude de l'offre et de la demande en eau

Pour l'étude de l'offre et de la demande ou l'étude de l'approvisionnement en eau, les principales données nécessaires sont la quantité d'eau domestique utilisée, la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation, la quantité d'eau utilisée pour l'élevage, les nombres ou effectifs d'utilisateurs (population, bétails, etc), la surface cultivée, les précipitations, l'évapotranspiration et les débits.

Ces données supposées englobantes d'une part, les ressources en eau et d'autre part, les principaux usagers de l'eau, nous permettent de faire une modélisation simple de la gestion de l'eau, l'établissement des priorités à l'attribution de demande. La prise en compte des données sur les autres utilisateurs comme l'industrie, l'exploitation minière, le tourisme et autres rend la modélisation plus proche de la réalité.

#### VIII.3.3.2. Compte d'état actuel « CurrentAccount »

L'année de l'état actuel est choisie pour servir comme année de base du modèle et tout le système d'information (les données de la demande et de la distribution de l'eau) est introduit dans l'état actuel. L'année 2015 va servir comme compte d'état actuel « CurrentAccount », partir duquel les scénarios sont construits. Les Scénarios explorent les changements possibles du système dans les années futures, après l'année de l'état actuel.

### VIII.3.4. Application du modèle WEAP dans la vallée du M'Zab

Le modèle WEAP est un outil informatique permettant de planifier la gestion intégrée des ressources en eau ; cette opération nécessite certaines connaissances sur :

- ✓ la réserve et la ressource.
- ✓ Les caractères physico-chimiques et bactériologiques.
- ✓ Les sites de l'offre ou captage et les sites de demandes (AEP, AEA).
- ✓ Les réseaux.

#### VIII.3.4.1. Cartographie

Dans le programme WEAP il existe déjà une carte du monde où on peut choisir et créer la zone d'étude (Fig VIII.10). Ensuite on y ajoute une carte SIG (Système d'Information Géographique à vecteur à notre zone d'étude ; cette carte servira à orienter et construire notre système et affiner les limites du projet. Les données vecteur fond de plan peuvent être ajoutées par le biais de « Add Vector Layer ». WEAP lit l'information vectorielle dans le format « Shapefile ». Ce format peut être créé par la majorité des logiciels SIG (Arc view, Arc Gis, etc.).

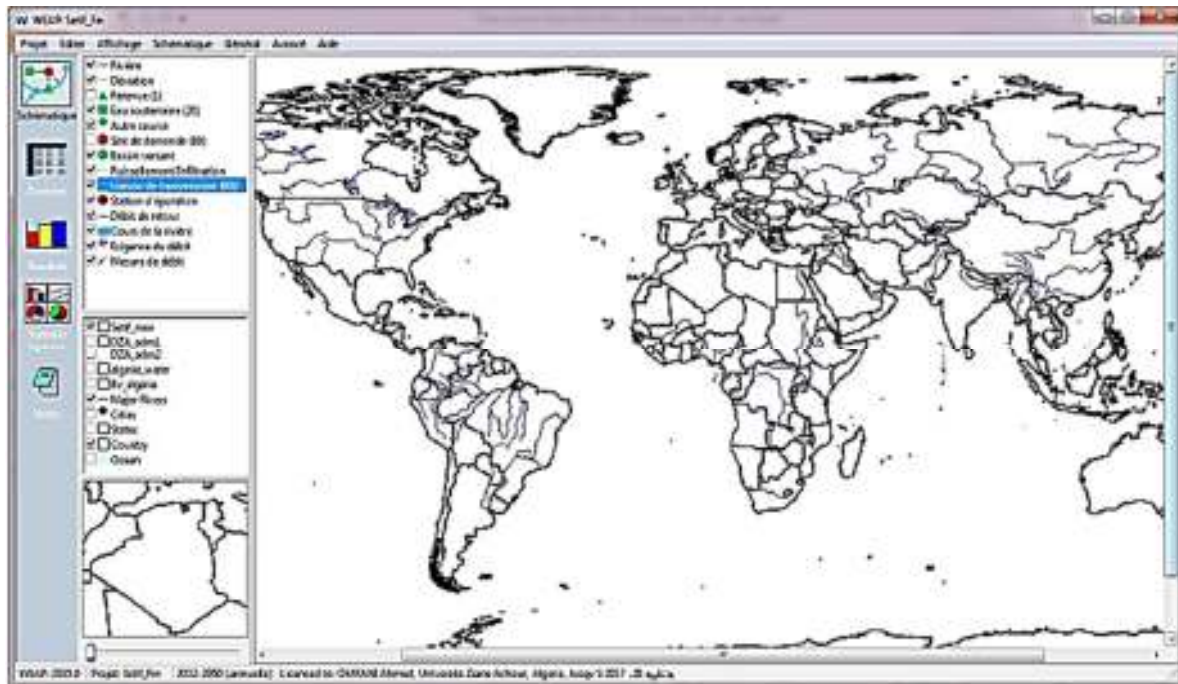


Figure VIII.10 : Carte du monde dans le logiciel WEAP.

### VIII.3.4.2. Réglage des paramètres généraux

Dans cette étude, nous nous limitons à la période entre 2015-2050 pour toutes informations sur le système (sites de demandes, données d'approvisionnement, etc.).

➤ Les données collectées et portées dans WEAP concernent :

Les sites de demandes avec leur emplacement : urbain (communes), les secteurs de demandes.

➤ Les ressources et les lieux de captage (sites de l'offre) : eaux souterraines exploitées (forages, puits), données hydrogéologiques.

### VIII.3.5. Analyse et traitement des données

Le modèle WEAP étant un outil informatique permettant de planifier la gestion intégrée des besoins en eau, la connaissance d'un certain nombre de paramètres est indispensable

- La réserve et la ressource en eau,
- Les sites de l'offre ou captage,
- Les sites de demande.

Des données collectives ont été collectées au niveau des institutions travaillant dans le secteur de l'eau et de l'assainissement, ainsi qu'auprès des organismes régionaux. Les sites de demande et les sites de l'offre sont numérisés (eaux souterraines exploitées : forages, puits). Les données relatives à chaque utilisateur sont répertoriées.

#### VIII.3.5.1. Sites de demandes

➤ les sites de demandes avec leur emplacement : urbain (communes), les secteurs de demandes (AEP), et les surfaces agricoles utilisées irrigation.

#### A. Niveau d'activité annuelle

Il détermine la demande telle que le nombre d'utilisateurs de l'eau pour l'AEP et l'AEA (niveau de consommation d'eau par unité d'activités). La demande annuelle représente la quantité d'eau exigée par chaque demande. La consommation d'eau est calculée en multipliant le niveau de l'activité annuelle par un taux d'usage. Les niveaux de l'activité sont utilisés dans l'analyse de la demande en eau de WEAP comme une mesure d'activité sociale et économique.

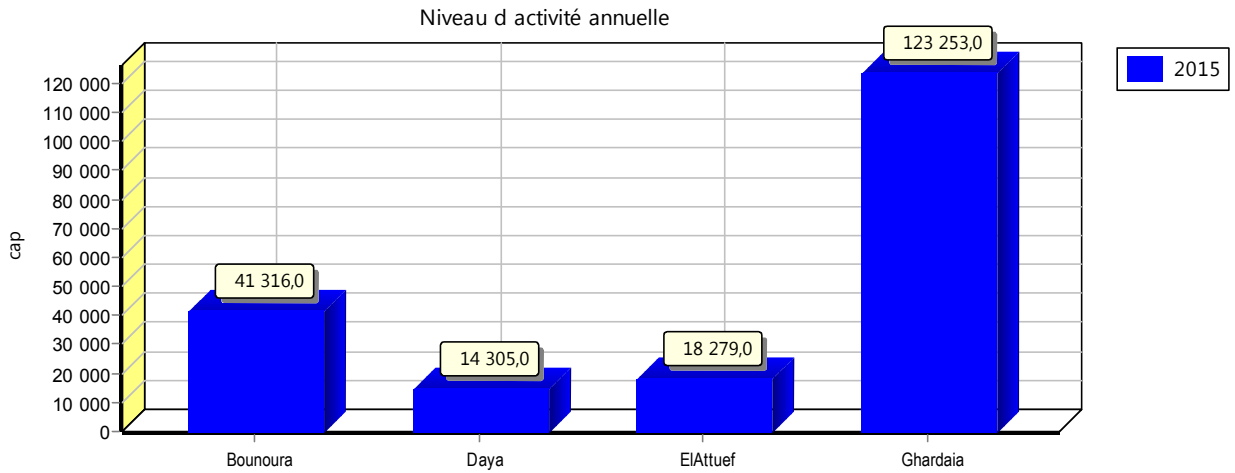


Figure VIII.11 : Niveau d'activité annuelle des sites de demandes domestiques

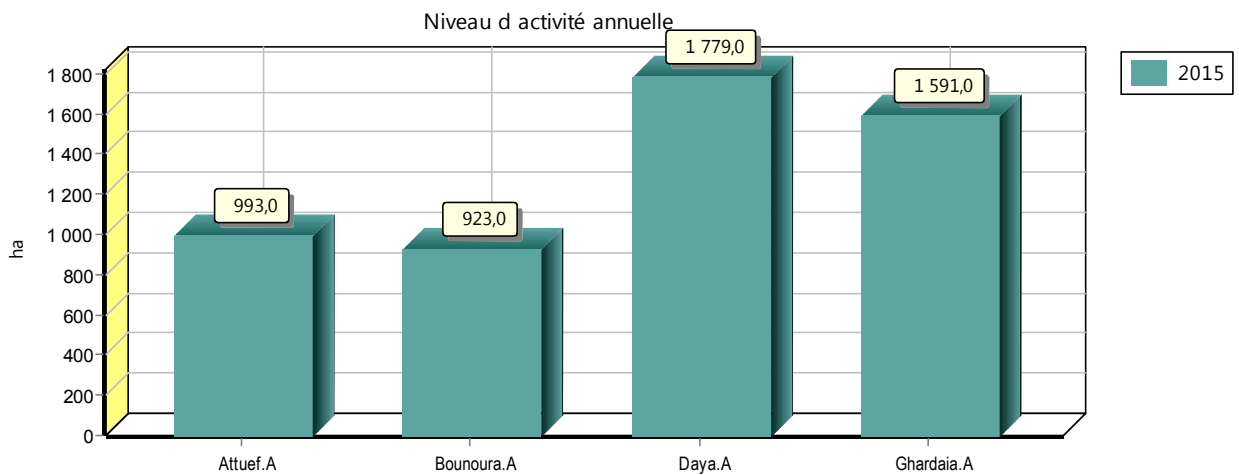


Figure VIII.12 : Niveau d'activité annuelle des sites de demandes agricoles

**D. Consommation annuelle**

C'est la consommation d'eau annuelle moyenne par unité d'activité. WEAP affiche le dénominateur accentué pour signifier que c'est un taux par unité et non le montant total d'eau à utiliser.

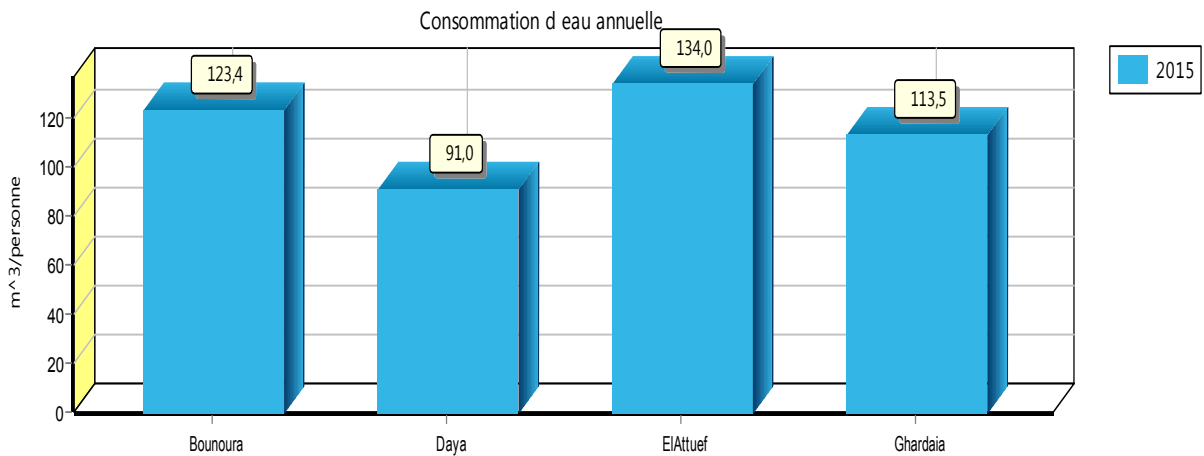


Figure VIII.13 : Consommation annuelle des sites des demandes domestiques

### VIII.3.5.2. Sites de l'offre et règles de liaison

Les sites de l'offre représentent les ressources en eau et lieux de captage tels que :

- Barrages de dérivation, eaux souterraines exploitées (forages), données hydrologiques, autres ressources.
- Débit maximal annuel en volume.
- Capacité de stockage maximale de l'aquifère.
- Quantité maximale pouvant être prélevé de l'aquifère à partir des forages (capacité de pompage annuelle).

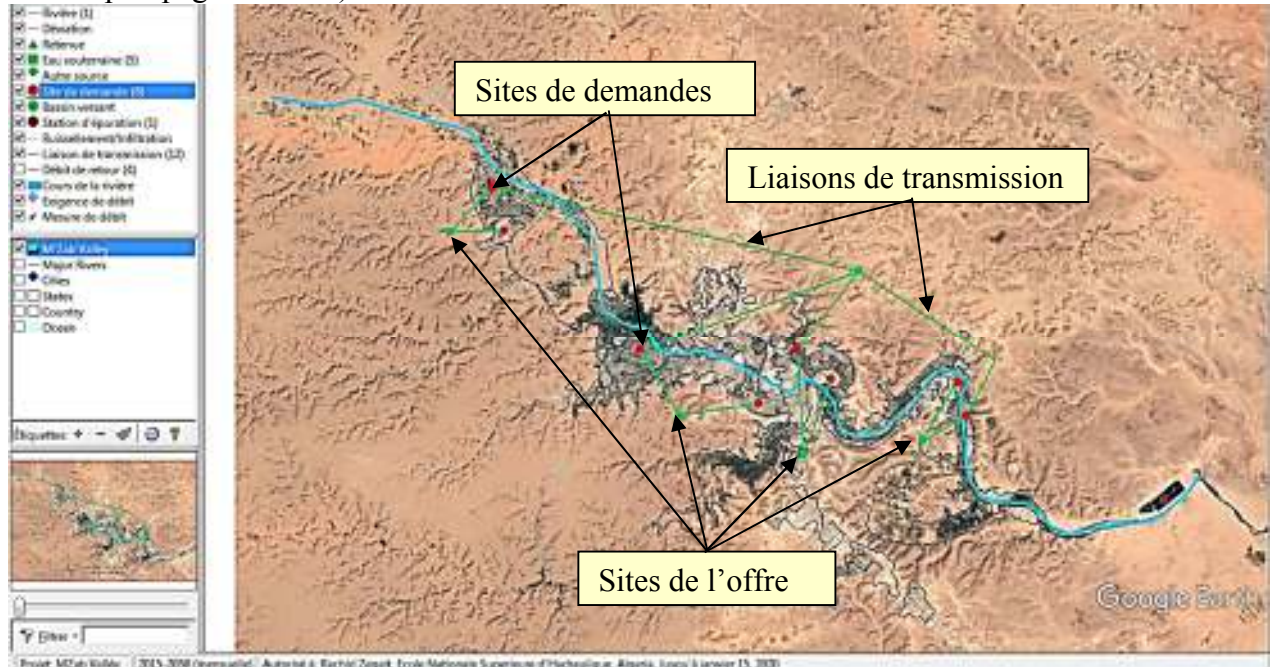


Figure VIII.14 : Sites de demandes, Sites de l'offre, liaisons de transmissions dans la vallée du M'Zab

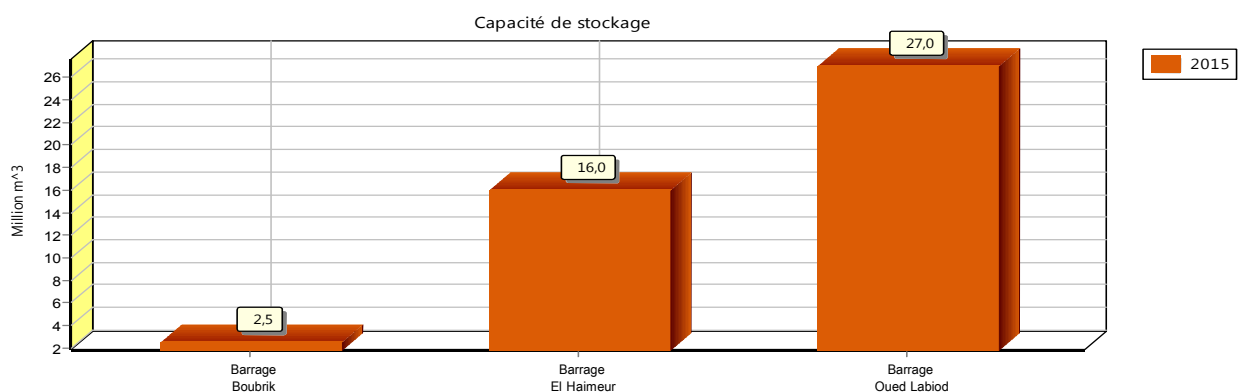


Figure VIII.15 : Capacité de Stockage des barrages de la vallée du M'Zab

### VIII.3.5.3. Création des hypothèses clés

Dans WEAP, l'effort typique de modélisation des scénarios consiste en trois étapes.

- En premier lieu, une année est choisie pour servir comme année de base pour le modèle «Comptes actuels» ; les comptes actuels sont définis par les données introduites lors des modules précédents.

- Un scénario de référence « Référence» est établi à partir des Comptes actuels pour simuler la même évolution du système sans intervention.

- Finalement, des scénarios « Quoi si » peuvent être créés pour changer le scénario « Référence » et évaluer les effets des changements des politiques et/ou des technologies.

Il faut noter que WEAP possède une fonction qui permet de calculer automatiquement l'accroissement de la population. Le logiciel modélise automatiquement les besoins en eau futurs en fonction des utilisateurs.

### VIII.3.5.4. Changement d'horizon

Le compte courant est créé depuis la zone d'étude. On change juste l'année de la fin des scénarios. En choisissant comme compte courant (2015) et année de fin des scénarios (2050).

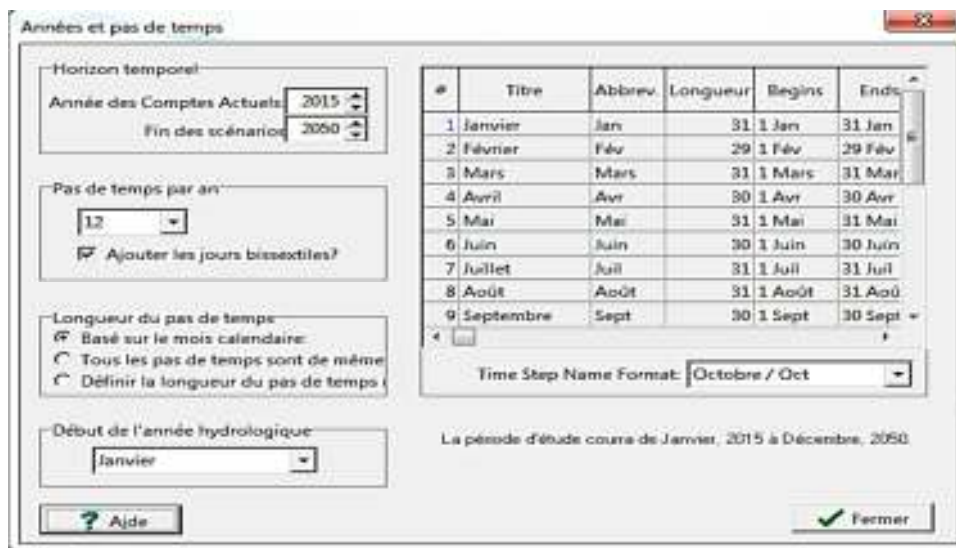


Figure VIII.16 : Horizon de Calcul pour les Scénarios

### VIII.3.5.5. Création des scénarios

De nombreuses variantes peuvent être créées et simulées par l'introduction des modifications sur la variante de « Référence » pour évaluer les effets dus aux changements des règles et technologies de gestion.

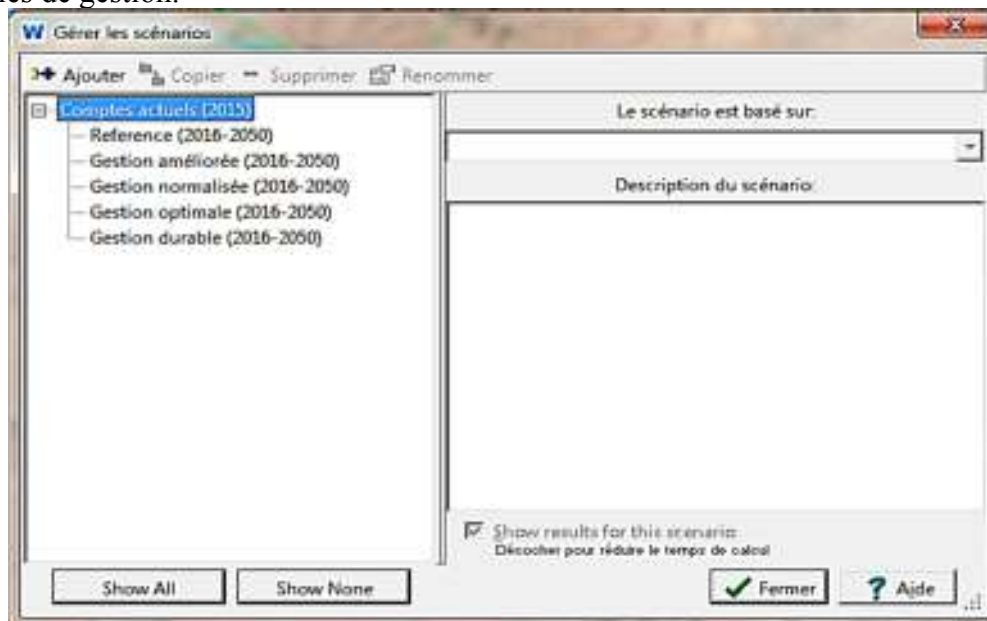


Figure VIII. 17 : Scénario de base.

### VIII.3.6. Exécuter des Scénarios.

L'évaluation de l'impact des principaux facteurs, en vue d'une approche intégrée du développement de l'approvisionnement en eau dans le contexte de la demande en eau, de sa qualité et de la préservation des écosystèmes, est entrevue à travers la création de scénarios ou variantes dans le modèle WEAP. Ces scénarios sont élaborés par l'introduction d'expressions mathématiques sous forme d'hypothèses clés traduisant les différents cas à examiner.

Rappelons que l'année « Compte actuel ou initial » sert d'année de base pour le programme. La variante de « Référence » représente une évolution simulée sans aucune influence à partir de l'année « Comptes actuels ».



VIII.3.6.1.Scénario de référence

Le scénario de référence est établi à partir du compte actuel, dans lequel toutes les données de base sont introduites, pour simuler la même évolution du système. Pour notre étude, le scénario de référence couvre la période 2015 – 2050 et traduit une projection des tendances courantes sans changements majeurs ; il sert comme point de comparaison pour les autres Scénarios dans lesquels des changements de données du système peuvent être réalisés. Les dotations journalières introduites dans le logiciel pour ce Scénario sont celles utilisées par les institutions officielles des services hydrauliques et agricoles de la wilaya de Ghardaïa ; on constate que ces dotations journalières sont très élevées, et qu’elles dépassent de loin toutes les normes reconnues ; cela est peut-être dû au gaspillage d’eau et des pertes dans les réseaux.

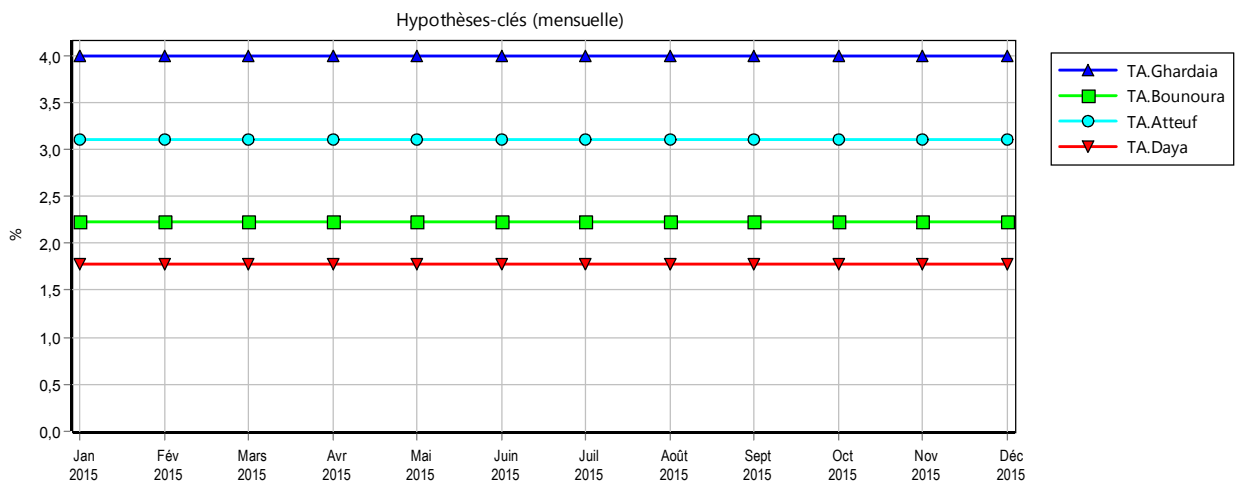


Figure VIII. 18 : Taux d'accroissement/commune

Tableau VIII. 6 : Evolution de la population (tous les scénarios)

Commune	2015	2018	2020	2030	2040	2050
Ghardaia	123253	138643	149956	221972	328572	486367
Bounoura	41316	44142	46133	57517	71710	89405
ElAttuef	18279	20038	21304	28938	39307	53392
Daya	14305	15083	15624	18639	22236	26526
<b>Total</b>	<b>197153</b>	<b>217906</b>	<b>233017</b>	<b>327065</b>	<b>461825</b>	<b>655691</b>

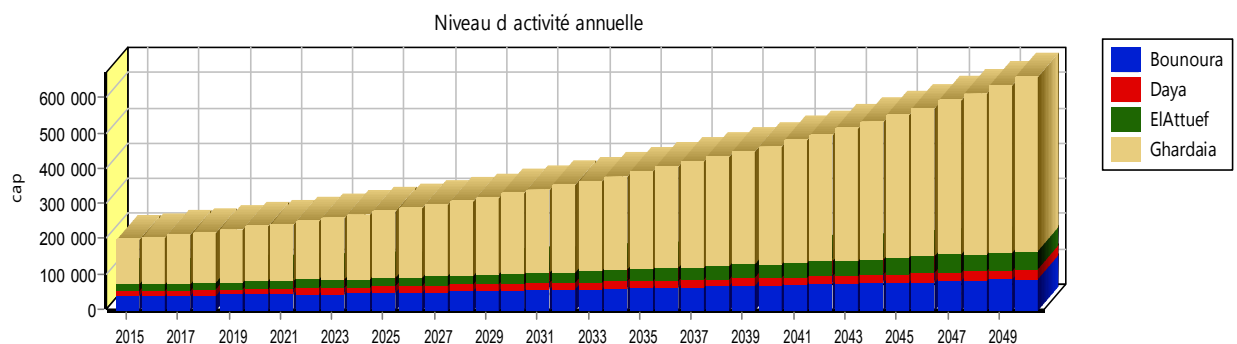


Figure VIII. 19 : Évolution de la population (2015-2050)



VIII.3.6.1.1. Evolution des SAU (2008-2015)

Écart remarquable de l'évolution de SAU au niveau de la vallée du M'Zab entre 2008 -2015, avec un taux d'accroissement très acceptable de 5,86 et 4,05% pour la commune de Ghardaïa et Daya. par contre une valeur faible pour la commune de Bounoura et négative pour El-Atteuf, ces chiffre peut être explique par la problématique des rejets et la pollution de la nappe phréatique et son apparition au niveau de certain endroit surtout dans les communes de l'aval (Bounoura, El Atteuf).

Tableau VIII. 7 : Taux d'évolution SAU/commune

	2008	2009-2010	2015	Taux d'évolution (%)
<b>Ghardaïa</b>	1128	1292	1591	5,86
<b>Bounoura</b>	906	956	923	0,27
<b>El-Atteuf</b>	1164	1216	993	-2,1
<b>Daya</b>	1386	1436	1779	4,05
<b>Total</b>	4584	4900	5286	2,2

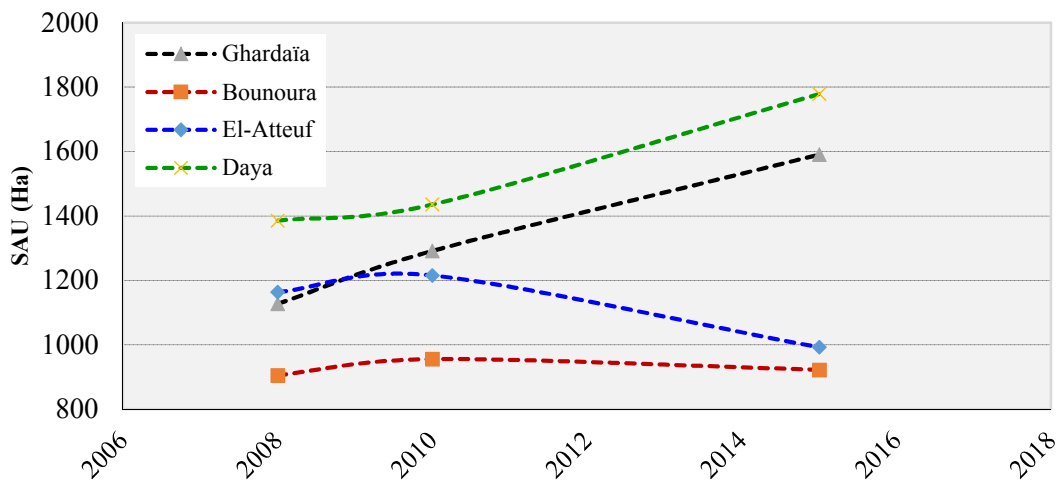


Figure VIII. 20 : Evolution de SAU/Commune

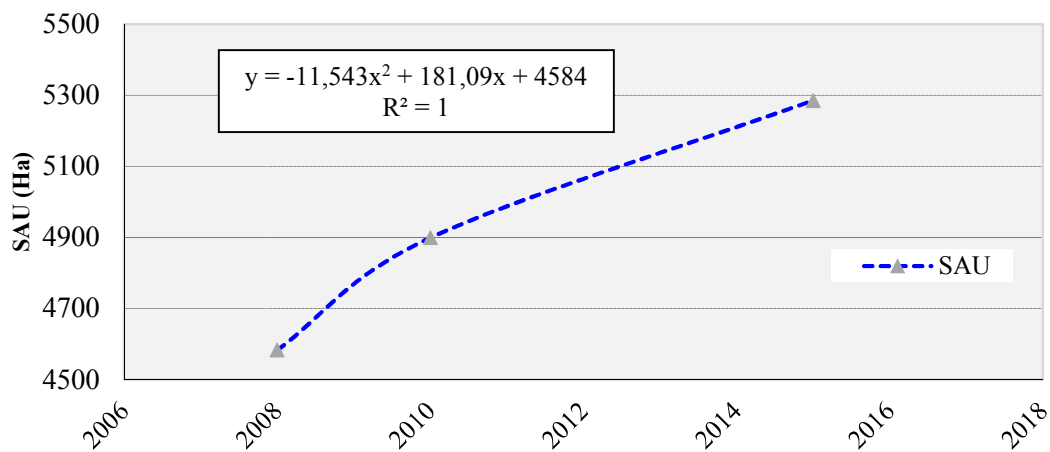


Figure VIII. 21 : Evolution de SAU total

Tableau VIII. 8 : Evolution de SAU (2015-2050)/ S. Référence

Commune	2015	2018	2020	2030	2040	2050
<b>Ghardaia.À</b>	1591	1887	2115	3738	6606	11676
<b>Bounoura.À</b>	923	930	936	961	987	1014
<b>Attuef.À</b>	993	932	893	722	584	472
<b>Daya.À</b>	1779	1972	2113	2980	4204	5930
<b>Total</b>	5286	5722	6057	8402	12382	19093

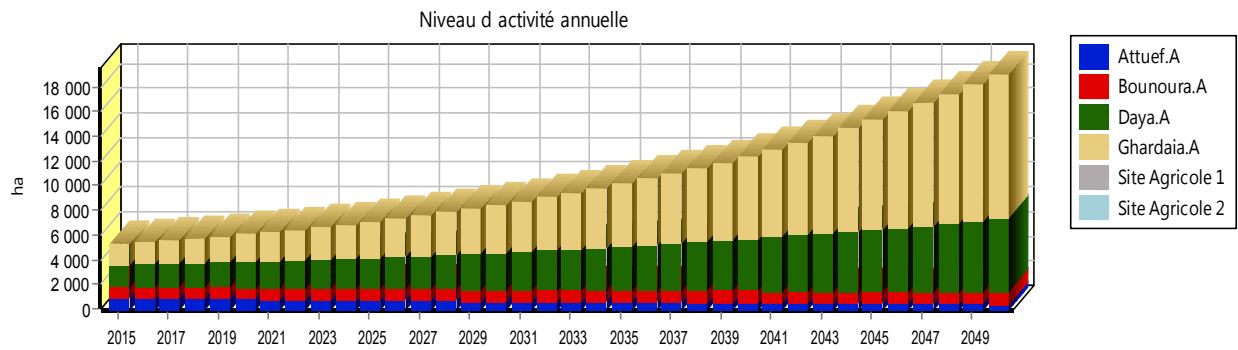


Figure VIII. 22 : Evolution de SAU (2015-2050) / S.Référence

### VIII.3.6.2. Scénario 1 : Gestion améliorée

Pour avoir un aperçu sur le futur, on a créé un nouveau scénario de même durée que le scénario de référence. Ce scénario garde les mêmes entrées concernant les utilisateurs et l'offre, mais avec une minimisation des pertes dans les systèmes d'AEP tout en satisfait les populations avec la dotation distribuée actuellement.

### VIII.3.6.3. Scénario 2 : Gestion normalisée

Ce scénario est hérité du compte courant ; il garde les mêmes entrées concernant les utilisateurs et l'offre, mais avec une réduction des pertes de consommation de l'eau potable à 15%. D'autre part selon [Toutain, G \(1980\)](#) dans la région des oasis, les besoins en eau des palmiers dattiers en plein champ sont de 28000 m<sup>3</sup>/ha/an. L'objectif de ce scénario est de minimiser les rejets urbains l'abaissement de la consommation et d'augmenter la satisfaction de la demande.

### VIII.3.6.4. Scénario 3 : Gestion optimale

Dans l'objectif d'une utilisation optimale de l'eau, ce scénario permet d'étudier l'impact sur la demande d'une politique de mise en place de nouvelles techniques d'irrigation et de réduction de la consommation en eau potable ; on a appliqué les normes de consommation spécifique en Algérie. Pour l'alimentation en eau potable, la dotation nationale en Algérie est de l'ordre de 150 l/hab./j. Selon [PEYRON, G \(2000\)](#) dans les régions arides, une installation de goutte-à-goutte peut réduire le volume d'eau utilisé pour l'agriculture grâce à une augmentation de l'efficacité de l'irrigation à l'échelle de la parcelle d'une part, l'effet d'oasis d'autre part.

L'effet oasis a été défini comme « une modification de la concentration en eau de la surface entraînant une variation progressive des flux de chaleur et de vapeur d'eau » ([RIOU, 1990](#)). Cet ensemble de cultures crée un mésoclimat où les éléments du climat saharien sont modifiés. Ainsi, à l'intérieur de l'oasis, trois éléments climat sahariens sont modifiés. Ainsi, à l'intérieur de l'oasis, trois éléments climatiques, la luminosité, la turbulence des vents et l'évaporation sont atténués par rapport au climat saharien ([TOUTAIN, 1979](#)). Ces deux facteurs ont permis de réduire de moitié la quantité d'eau nécessaire soit 14000 m<sup>3</sup>/ha/an.

Tableau VIII. 9 : Evolution de SAU (2015-2050)/ S.Amélioré , S.Normalisée , S.Optimale

	2015	2018	2020	2030	2040	2050
<b>Ghardaia.À</b>	1591	1698	1774	2205	2741	3408
<b>Bounoura.À</b>	923	985	1029	1279	1590	1977
<b>Attuef.À</b>	993	1060	1107	1376	1711	2127
<b>Daya.À</b>	1779	1899	1983	2466	3065	3810
<b>Total</b>	5286	5643	5894	7326	9108	11322

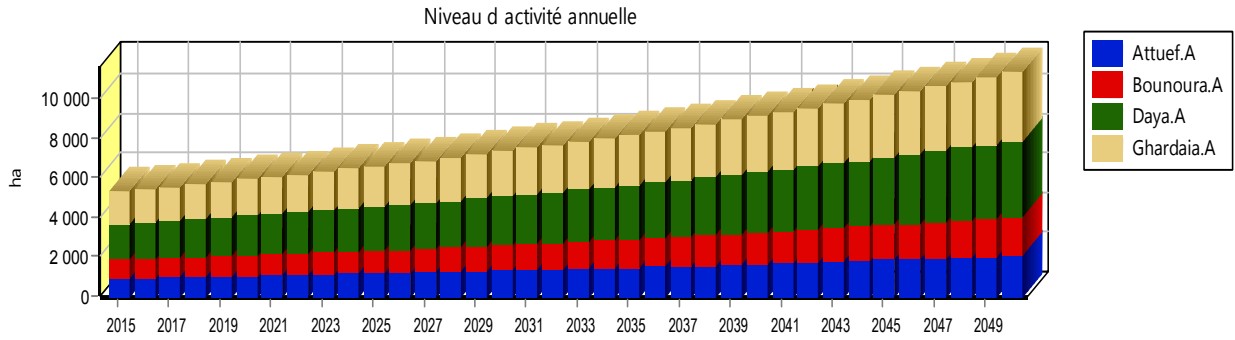


Figure VIII. 23 : Évolution de SAU (2015-2050)/ S.Amélioré , S.Normalisée , S.Optimale

**VIII.3.6.5.Scenario 4 : Gestion durable**

L’objectif de ce Scenario est une gestion optimale et durable, sert au développement de l’agriculture dans la vallée du M’Zab . Il garde les mêmes entrées de Scénario gestion optimale plus un développement de l’oasis à travers l’augmentation de taux d’accroissement des superficies agricoles a 3,5% plus la proposition de la réutilisation des eaux épurée en agriculture qui permet d’irriguée plus de 335 ha avec une gestion rationnelle et 670ha avec une gestion optimale plus la création des autres champs agricoles en amont de la vallée à partir des barrages.

Tableau VIII. 10 : Evolution de SAU (2015-2050)/ S. Durable

	2015	2018	2020	2030	2040	2050
<b>Ghardaia.A</b>	1591	1764	1890	2665	3760	5304
<b>Bounoura.A</b>	923	1023	1096	1546	2181	3077
<b>Attuef.A</b>	993	1101	1179	1664	2347	3310
<b>Daya.A</b>	1779	1972	2113	2980	4204	5930
<b>Site agricole 1</b>	0	0	500	500	500	500
<b>Site agricole 2</b>	0	0	500	500	500	500
<b>Total</b>	5286	5861	7278	9856	13492	18621

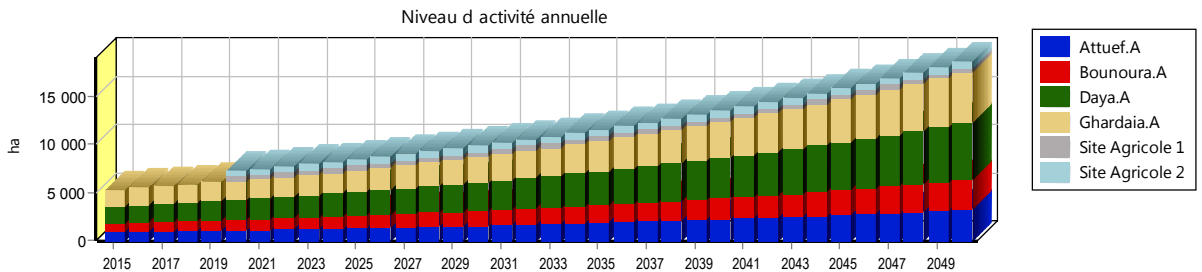


Figure VIII. 24 : Évolution de SAU (2015-2050)/ S.Durable

**VIII.3.7. Débits de retour**

Les eaux utilisées d’un site de demande sont envoyées à des destinations diverses, telles qu’une station d’épuration ou le milieu récepteur (nappe phréatique), tout en nécessitant des emplacements réutilisant directement (Figure VIII.25). Dans la région d’étude, il n’existe qu’une seule station d’épuration qui traite les rejets des eaux usées de pour trois communes de la vallée,

$$Q_{\text{retour}} = Q_{\text{sd}} - C_{\text{sd}} - Q_{\text{step}}$$

$Q_{\text{retour}}$  : Débit de retour d’un site de demande.

$Q_{\text{sd}}$  : Débit entrant dans un site de demande.

$C_{\text{sd}}$  : La quantité consommée de chaque site de demande selon l’utilisation (AEP ou AEA).

$Q_{\text{step}}$  : Débit entrant dans les stations d’épuration.

Les valeurs du  $C_{\text{sd}}$  introduites dans le modèle WEAP sont des pourcentages de la consommation des sites de demande. L’absence de données concernant les pertes sur les liaisons de retour, ainsi que l’infiltration vers la nappe phréatique, font que ces facteurs sont inclus en pourcentage de consommation dans chaque usage.



Tableau VIII. 11 : Données de base des sites de demande (tous les scénarios)

	Référence				Amélioré			Normalisée			Optimale			Durable			REUT/RES
	2015	TA%	D	Perte%	TA%	D	Perte%	TA%	D	Perte%	TA%	D	Perte%	TA%	D	Perte%	
<b>Ghardaïa</b>	123253	4,04	311	48,5	4,04	214	25	4,04	190	15	4,04	150	10	4,04	150	10	1000 ha
<b>Bounoura</b>	41316	2,23	338	55,6	2,23	200	25	2,23	175	15	2,23	150	10	2,23	150	10	
<b>El Attuef</b>	18279	3,11	367	45,7	3,11	266	25	3,11	236	15	3,11	150	10	3,11	150	10	
<b>Daya</b>	14305	1,78	249	20,0	1,78	249	25	1,78	236	15	1,78	150	10	1,78	150	10	
<b>Ghardaïa</b>	1591	5.86	17517	40	2.2	17517	40	2.2	28000	40	2.2	14000	10	3.5	14000	10	
<b>Bounoura</b>	923	0.27	16631	40	2.2	16631	40	2.2	28000	40	2.2	14000	10	3.5	14000	10	
<b>El Attuef</b>	993	-2.1	22155	40	2.2	22155	40	2.2	28000	40	2.2	14000	10	3.5	14000	10	
<b>Daya</b>	1779	4.05	11315	40	2.2	11315	40	2.2	28000	40	2.2	14000	10	3.5	14000	10	

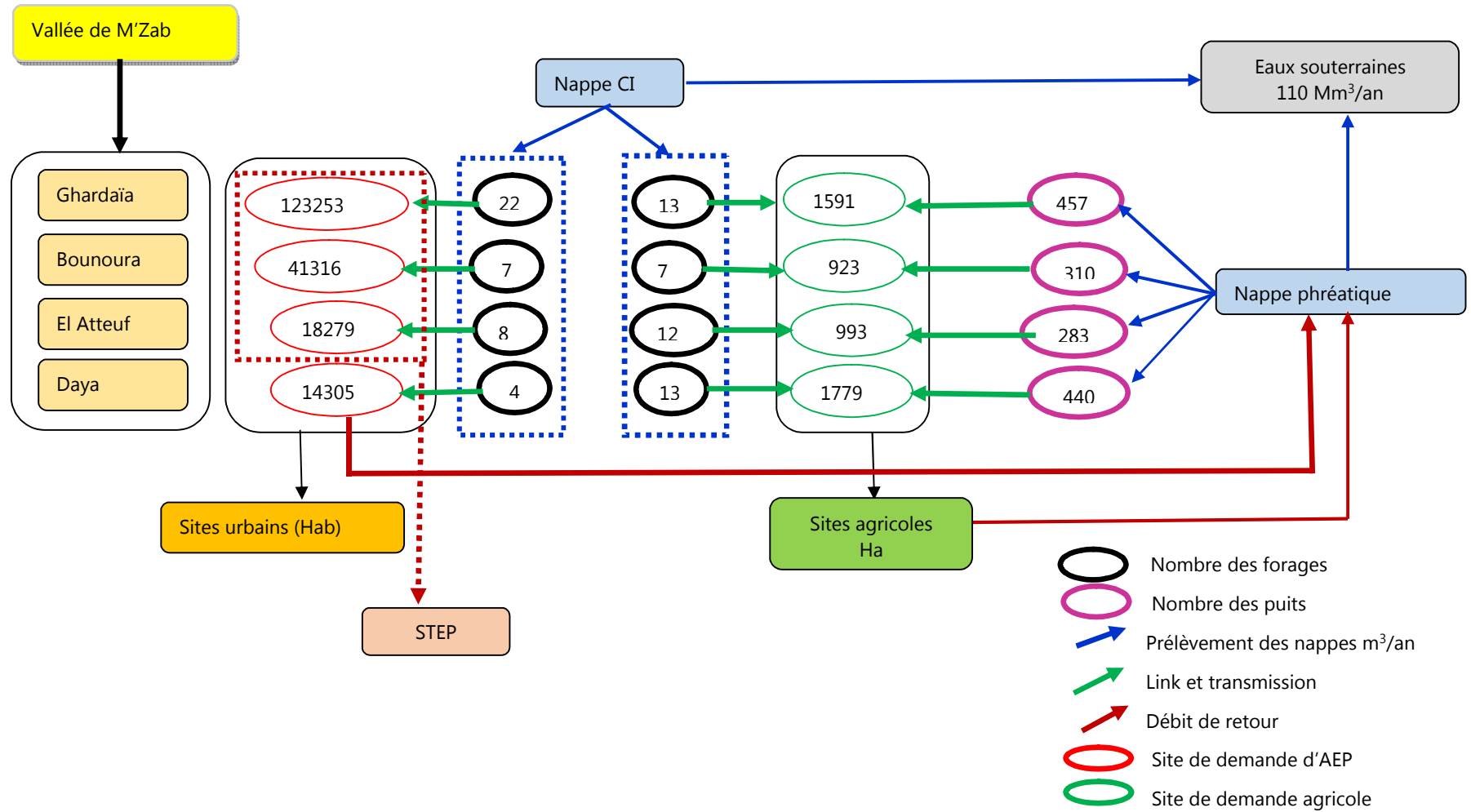


Figure VIII.25 : Schéma explicatif de système hydraulique de la région d'étude (2015)



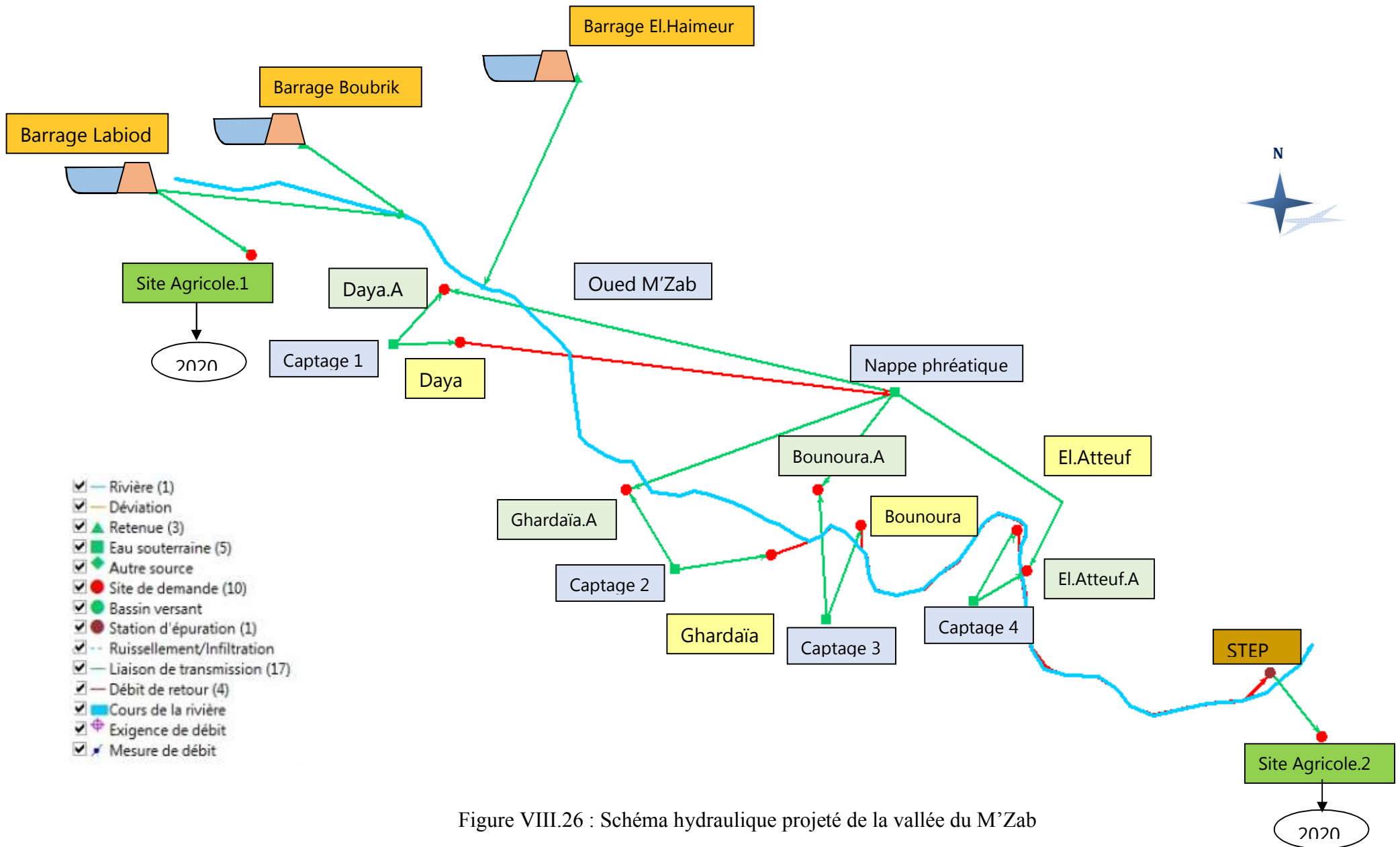


Figure VIII.26 : Schéma hydraulique projeté de la vallée du M'Zab



**VIII.3.8 Résultats et Discussions**

Les résultats sont analysés selon trois volets de façon à faire apparaître les différentes facettes de la demande : commentaire des demandes sectorielles simulées par WEAP selon les scénarios choisis, analyse de la demande globale et comparaison entre scénarios.

**VIII.3.8.1 Analyse globale**

La demande en eau globale pour les différents secteurs dans la vallée du M’Zab augmente au même rythme de 2015 à 2050 pour tous les scénarios ; cette augmentation est due à l’évolution de la population et des surfaces agricoles irriguées. La figure VIII.27 représente les tendances qui se dégagent par scénario. Les résultats obtenus sont, selon tous les scénarios, de 108,2 Mm<sup>3</sup> pour l’année 2015 peut arriver à 374,83 et 363,16 Mm<sup>3</sup> pour le scénario de référence et normalisée a l’horizon 2050. Pour le scénario consommation optimale, la simulation par WEAP donne des chiffres allant de 108,2Mm<sup>3</sup> en 2015 à 194.57 Mm<sup>3</sup> en 2050.

La diminution remarquable de la demande en eau pour ce dernier scénario provient de la dotation moyenne adaptée pour l’eau potable (150 l/hab./j) et à l’application de nouvelles techniques d’irrigation (14000 m<sup>3</sup>/an/ha)

Tableau VIII. 12 : Évolution de la demande en eau globale

Scénarios	2015	2018	2020	2030	2040	2050
Reference	108,20	116,75	123,30	169,08	246,13	374,83
Gestion améliorée	108,20	108,47	113,72	144,32	183,77	234,87
Gestion normalisée	108,20	173,40	181,50	228,23	287,56	363,16
Gestion optimale	108,20	90,98	95,33	120,56	152,91	194,57
Gestion durable	108,20	94,03	114,71	155,97	214,29	296,76

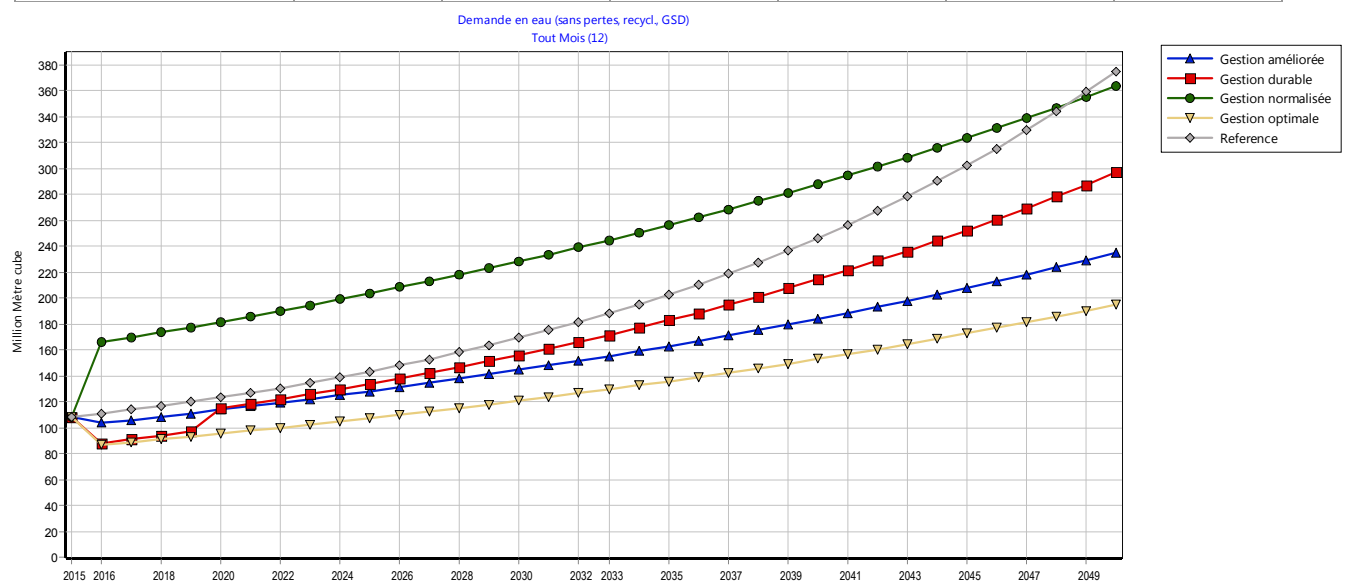


Figure VIII.27 : Evolution de la demande en eau globale des différents scénarios

Les résultats de la demande non satisfaite pour les différents sites de demande montrent que le déficit a été observé tout au long de la période de simulation (Fig VIII.28) pour le scénario de référence et le scénario consommation normalisée. Cette carence est due principalement à la forte demande pour l’eau potable et l’agriculture. Les pénuries sont également dues au fait que les ressources en eaux mobilisées seront limitées et l’offre ne présente pas une amélioration face à l’augmentation de la population et des terres irrigables. La demande non satisfaite pour le scénario consommation optimale commence à partir de l’année 2015 avec des valeurs faibles, augmente de 192,09 Mm<sup>3</sup> en 2050.

Tableau VIII. 13 : Évolution de la demande non satisfaite

Scénarios	2015	2018	2020	2030	2040	2050
Reference	68,60	113,03	119,59	165,36	242,41	371,11
Gestion améliorée	68,60	104,75	110,00	140,60	180,05	231,16
Gestion normalisée	68,60	169,69	177,78	224,51	283,85	359,44
Gestion optimale	68,60	88,50	92,85	118,08	150,43	192,09
Gestion durable	68,60	91,56	104,62	145,83	205,07	287,55

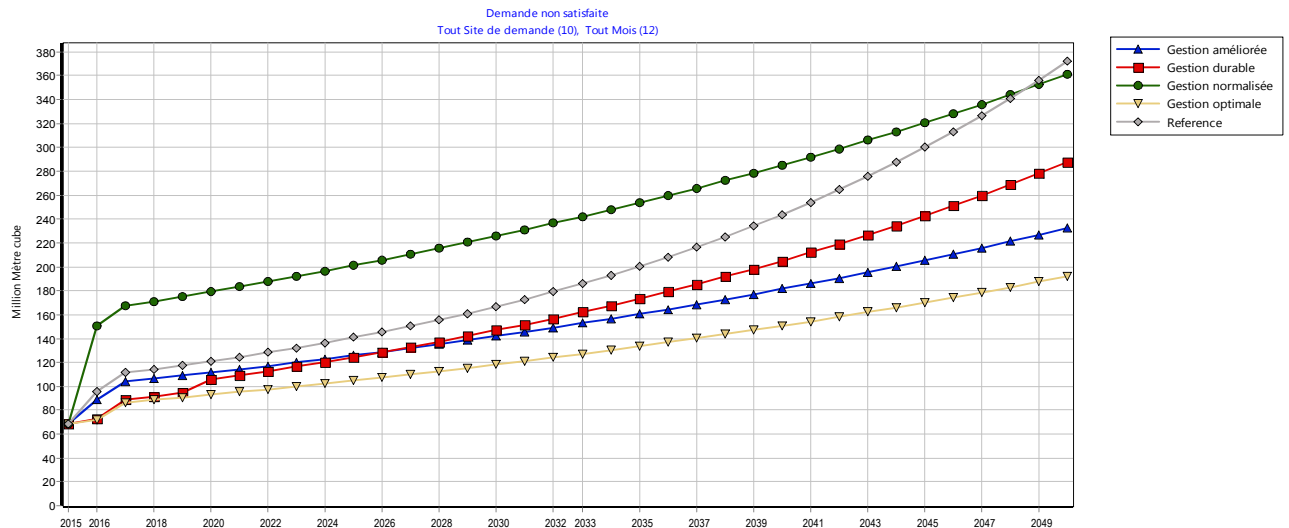


Figure VIII.28 : Evolution de la demande en eau non satisfaite globale

Pour les débits de retour, on constate une diminution considérable des rejets de la vallée du M’Zab vers la nappe phréatique d’un scénario à une autre avec le fonctionnement de la station d’épuration, les volumes vont diminuer de 60,6 Mm<sup>3</sup> en 2015 jusqu’à 29,5 Mm<sup>3</sup> à l’horizon 2018 pour le Scénario optimal. Par ailleurs, les rejets de la vallée du M’Zab diminuent fortement à l’horizon 2018, inversement aux rejets de la STEP vers l’oued, ils augmentent progressivement passant en 2030 à 86,7 Mm<sup>3</sup>/an pour une gestion durable (Fig.VIII.34).

Tableau VIII. 14 : Évolution de débit retour /Scénario

Scénarios	2015	2018	2020	2030	2040	2050
Reference	60,6	61,6	65,1	89,3	130,0	197,9
Gestion améliorée	60,6	60,7	63,7	76,2	97,0	124,0
Gestion normalisée	60,6	91,6	95,8	120,5	151,8	191,7
Gestion optimale	60,6	29,5	30,9	39,1	49,5	63,0
Gestion durable	60,6	27,5	33,5	45,5	62,6	86,7

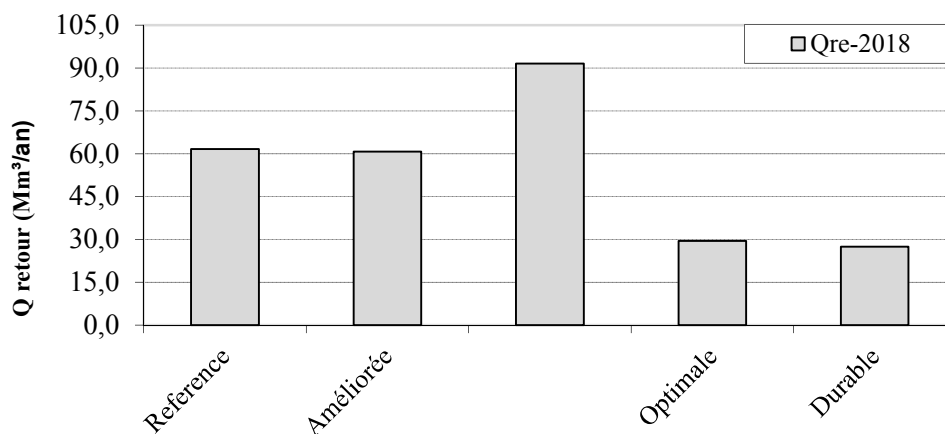


Figure VIII. 29 : Évolution des débits de retour pour différents scénarios -2018

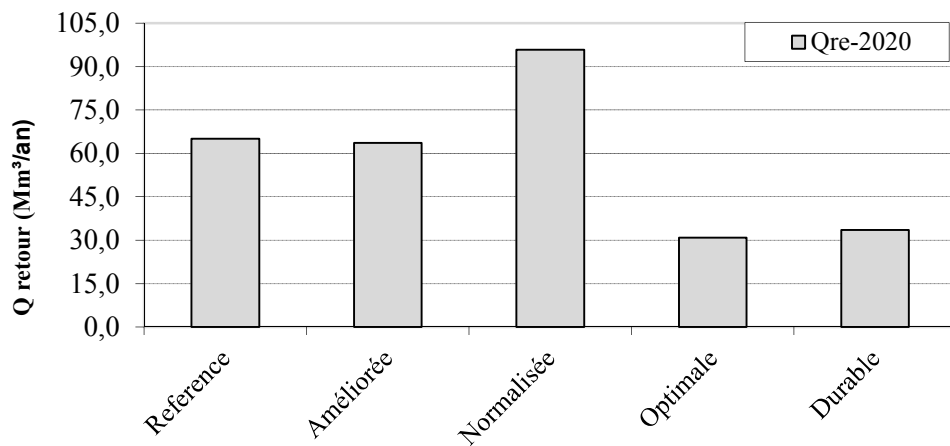


Figure VIII. 30 : Evolution des débits de retour pour différents scénarios -2020

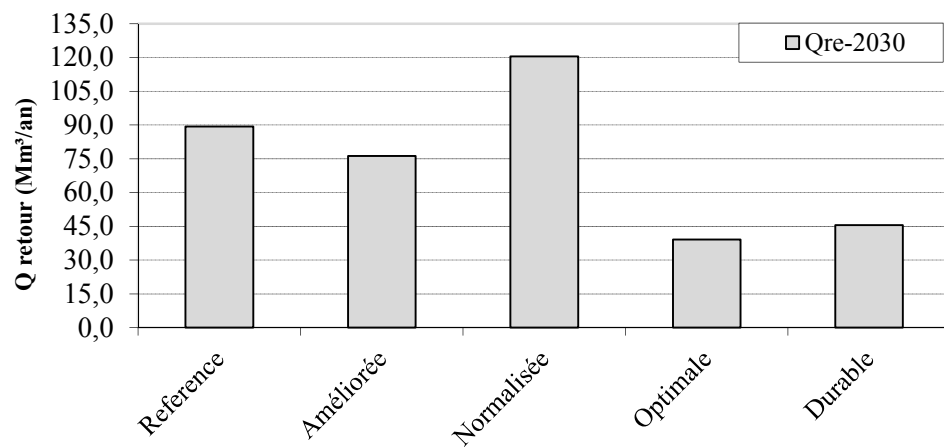


Figure VIII. 31 : Evolution des débits de retour pour différents scénarios -2030

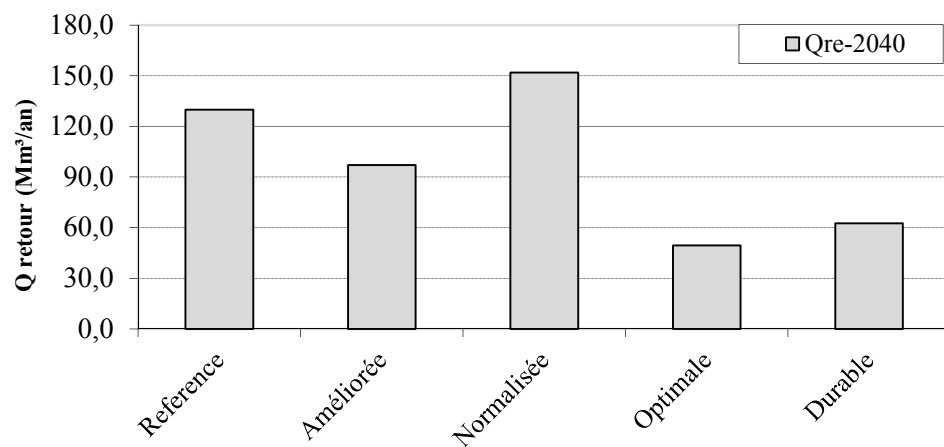


Figure VIII. 32 : Évolution des débits de retour pour différents scénarios -2040

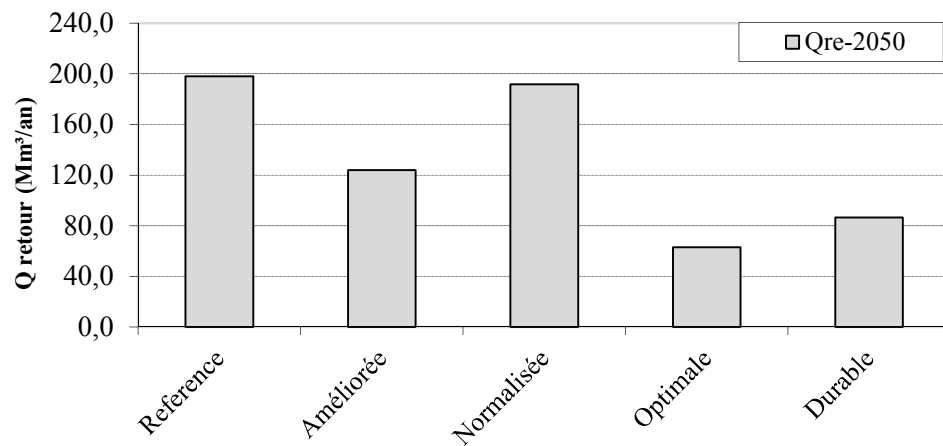


Figure VIII.33 : Évolution des débits de retour pour différents scénarios -2050

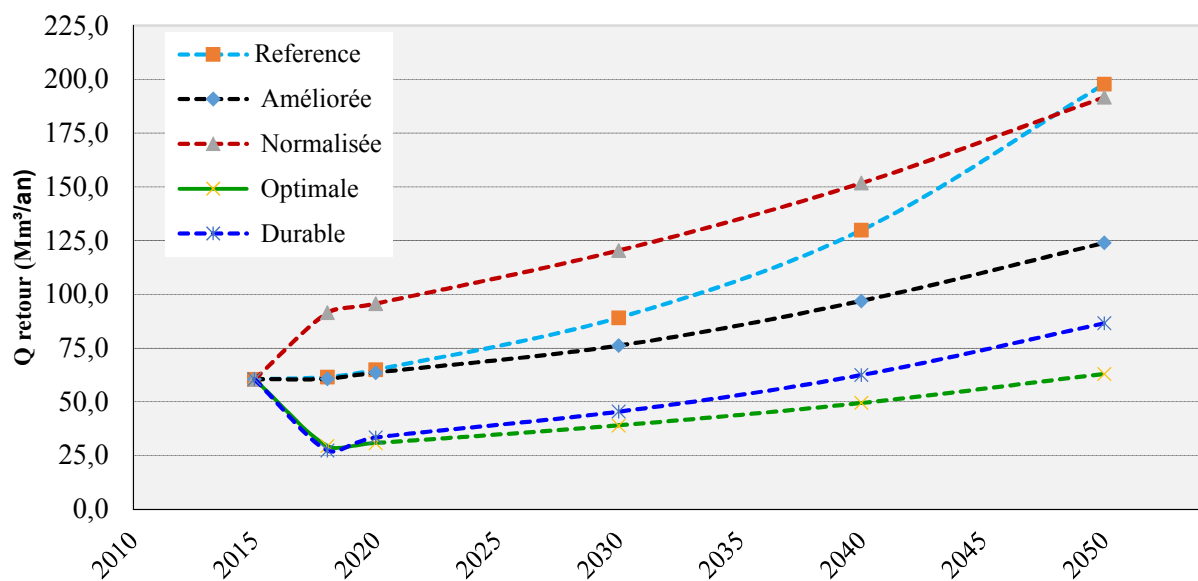


Figure VIII.34 : Evolution des débits de retour globaux des différents Scénarios

### VIII.3.8.2 Comparaison entre scénarios

Les résultats obtenus montrent que le scénario de référence est un scénario passif, car aucune action n'a été prise permettant de faire face à l'augmentation de la population et des terres irrigables. Les hypothèses proposées pour le scénario normalisé ont satisfait la demande par l'augmentation de l'offre, mais présentent une évolution considérable de la demande en eau ce qui traduit par des rejets des eaux usées importants. Ces deux scénarios ne répondent pas aux problèmes de la gestion rationnelle des eaux de la nappe phréatique et des ressources en eau. Par contre, les scénarios optimal et durable ont montré des résultats satisfaisants concernant la satisfaction de la demande et la diminution des rejets des eaux usées et d'excès d'eau d'irrigation.

En considérant le scénario durable comme favorable, on peut réduire la demande en eau par rapport aux autres scénarios qui sont de l'ordre de 108.2 Mm<sup>3</sup> en 2015 (dont 22,75 Mm<sup>3</sup> pour l'AEP) et 296.76 Mm<sup>3</sup> en 2050 (dont 62,3 Mm<sup>3</sup> pour l'AEP). Notons que ce scénario offre un développement de l'oasis à travers une augmentation régulière des terres agricoles, une réduction des pertes et donc la dotation en eau, une exploitation des eaux de surface et eau épurée.

L'un des grands problèmes dans la région de vallée du M'Zab est représenté par les rejets des eaux usées et leur impact sur la population, l'environnement et les nappes souterraines ; l'un des objectifs de ce travail est de minimiser en au maximum les rejets à l'aval au niveau d'El Atteuf. L'application

du scénario durable par rapport au scénario de référence permettra de réduire les rejets annuels de 34 Mm<sup>3</sup> en 2018 à 111 Mm<sup>3</sup> à l'horizon 2050.

Les figures VIII.35-VIII.39 montrent clairement une amélioration de débit de la nappe phréatique pour la gestion optimale et durable qui peut minimiser de ce dernier entre 111 à 134 Mm<sup>3</sup>/an à l'horizon 2050. Cette minimisation influe fortement pour rééquilibrer l'écosystème de l'oasis dans la vallée du M'Zab.

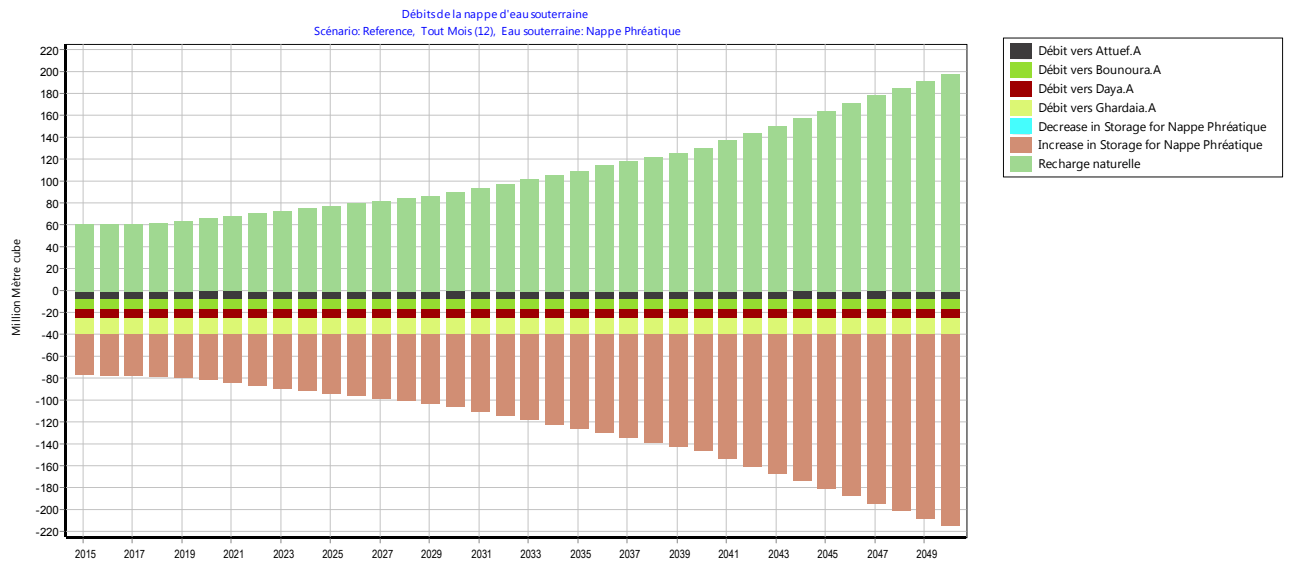


Figure VIII.35 : Débit de la nappe phréatique selon S.Référence (2015-2050)

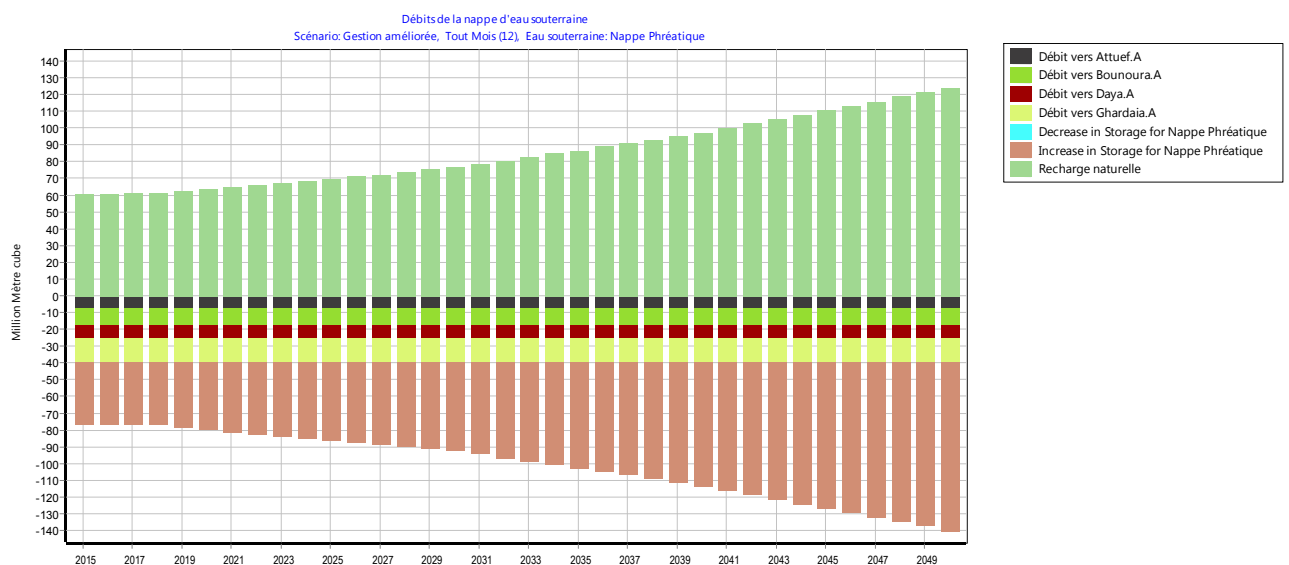


Figure VIII.36 : Débit de la nappe phréatique selon S.Améliorée (2015-2050)

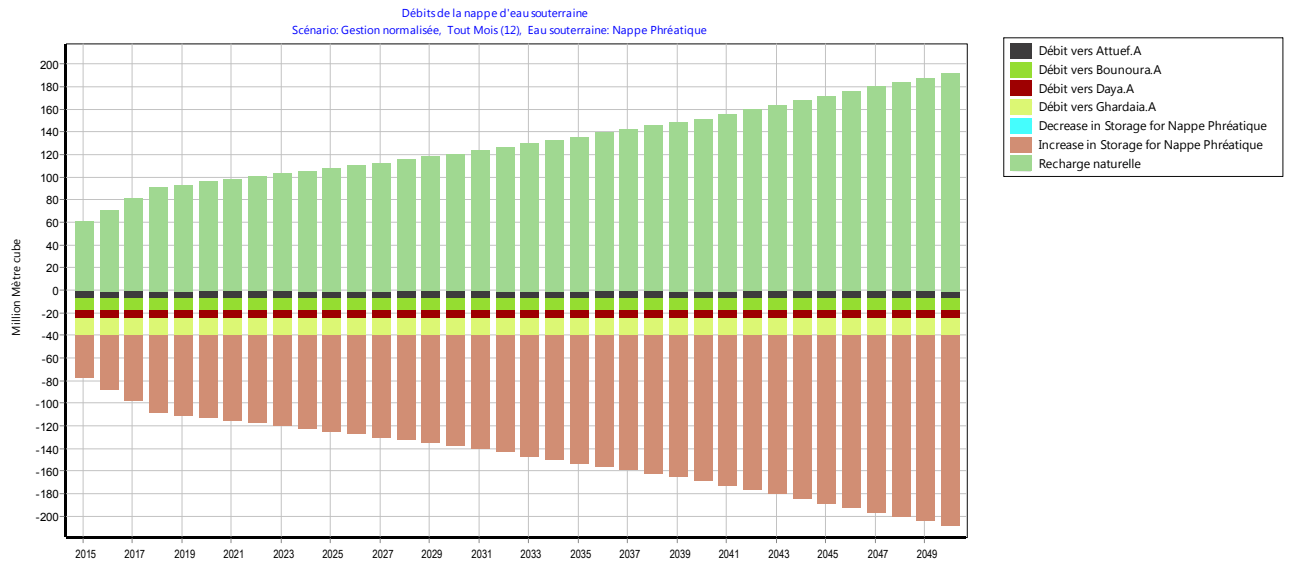


Figure VIII.37 : Débit de la nappe phréatique selon S.Normalisée (2015-2050)

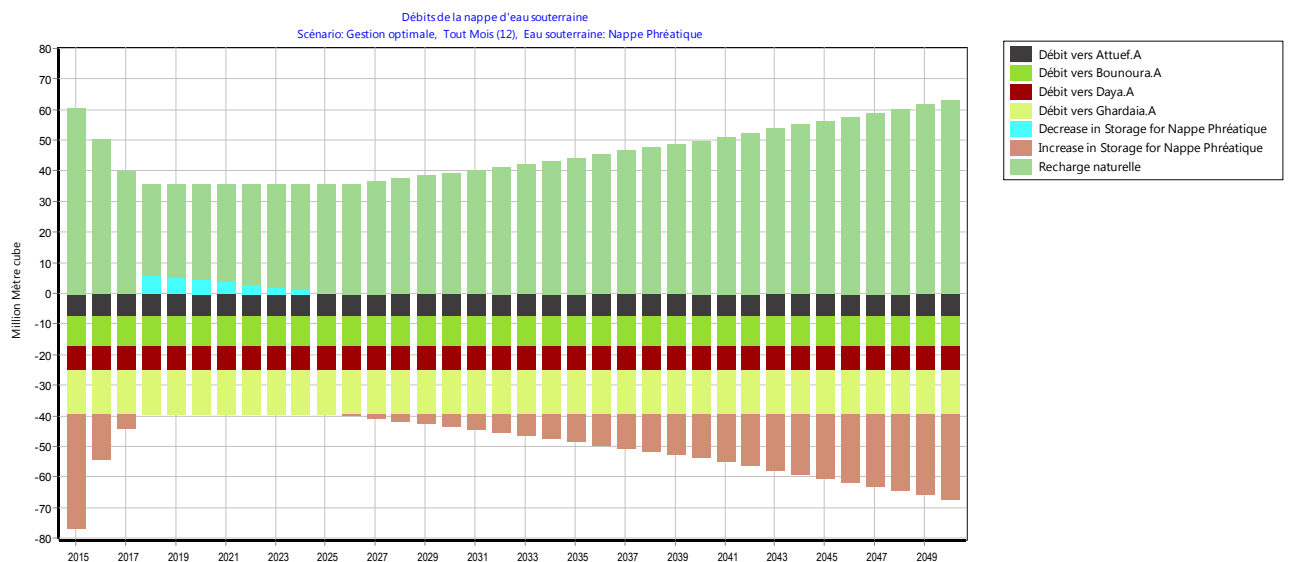


Figure VIII.38 : Débit de la nappe phréatique selon S.Optimale (2015-2050)

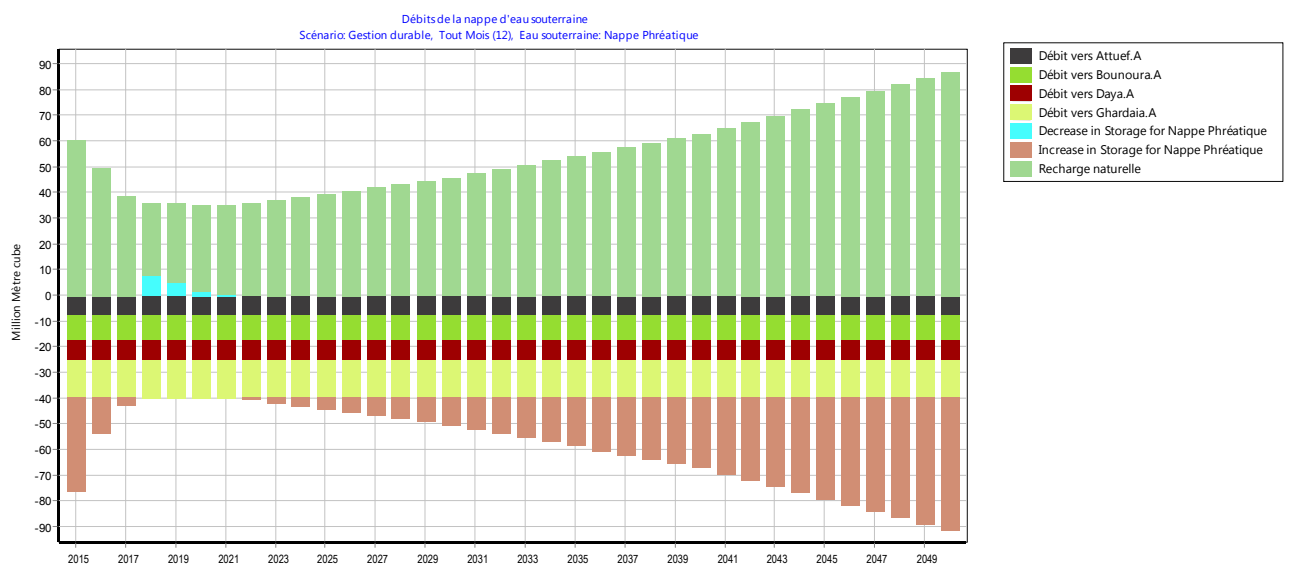


Figure VIII.39 : Débit de la nappe phréatique selon S.Durable (2015-2050)



#### VIII.4.Conclusion

L'exploitation des données disponibles a permis d'établir un bilan hydrique global semble refléter le phénomène de la remontée et la stagnation des eaux, aussi bien dans les agglomérations, dans les palmeraies ce qui est reflété convenablement par le solde positif de la réserve ( $\Delta Q$ ). L'élévation du niveau d'eau (surtout en hiver) dans ces zones basses, peut être due principalement à la gestion irrationnelle des eaux :

- aux quantités excédentaires des eaux d'irrigation (cas des palmeraies) ;
- aux fuites du réseau d'AEP et assainissement autonome (cas des agglomérations Daya, Karkoura);
- aux rejets totaux (d'El-Atteuf).
- Le système de drainage mis en place n'est pas efficace ou presque négligeable.

Le terme évaporation totale constitue l'élément fondamental de déficit à travers les zones humides et plan d'eau. Pour résoudre cette situation d'excédent hydrique dans la vallée, une modélisation d'une gestion des ressources en eau a été faite par le modèle WEAP

Les résultats montrent clairement que à travers plusieurs scénarios proposée le scénario durable qui comporte une dotation normalisée, minimisation des fuites, modernisation des systèmes d'irrigation, développement des zones agricoles et l'utilisation des eaux usées épurée en irrigation, peut représenter une nouvelle stratégie permettra de réduire l'utilisation des ressources en eau et les rejets dans la vallée par 34 Mm<sup>3</sup> actuellement et 111 Mm<sup>3</sup> à l'horizon 2050, chose qui peut conduire à un rééquilibrage de l'écosystème de l'Oasis.

# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail était de surveiller et préserver les ressources en eau de la vallée du M'Zab, en particulier les eaux souterraines, contre la pollution urbaine et industrielle et d'évaluer l'impact de la nouvelle station d'épuration dans le rééquilibrage de l'écosystème oasien.

La première partie de ce document a été entièrement rédigée sur la base d'une compilation bibliographique. Elle débute par une revue bibliographique sur les travaux antérieurs (1993-2018) relatif aux problématiques des eaux dans le milieu oasien notamment la vallée du M'Zab, suivi par des notions théoriques et bibliographiques sur la pollution des eaux, épuration, réutilisation des eaux épurées en agriculture. Nous avons noté que les travaux antérieurs cités au cours de cette thèse sont confinés dans la description de la gestion équilibrée des ressources en eau dans les oasis à travers des systèmes hydrauliques ingénieux et les conséquences environnementales des activités humaines sur ces oasis à l'instar de la pollution de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab.

À l'heure actuelle, il n'existe aucun travail de recherche permettant d'évaluer la situation de l'environnement et les ressources en eau de la vallée du M'Zab après la projection des ouvrages d'assainissement et de traitement. Notre contribution, se résume dans la caractérisation de la pollution urbaine et industrielle de la vallée du M'Zab, la cartographie de la vulnérabilité de la vallée du M'Zab à la pollution par plusieurs méthodes. L'évaluation du rôle de la station d'épuration installée pour améliorer la situation écologique de la vallée à travers la caractérisation de la qualité des eaux épurées et leur aptitude à l'agriculture, la qualité de la nappe phréatique, l'identification des mécanismes de la remontée de la nappe phréatique dans la vallée du M'Zab à travers un bilan spécifique qui nous conduit à proposer des améliorations dans la gestion des eaux dans la vallée à travers des modèles réalisés à long terme.

Cette contribution a été exposée dans les résultats et discussion qui correspondent à la dernière partie de ce document, où nous avons présenté la synthèse des résultats obtenus lors de nos travaux qui peut résumer comme suit :

Les résultats d'analyse des échantillons prélevés lors de la campagne d'échantillonnage des rejets urbains et industriels ont permis d'aboutir aux conclusions que les rejets urbains de la vallée du M'Zab présentent des valeurs de pollution qui dépassent relativement les valeurs limites générales des rejets directs dans le milieu récepteur. Ces rejets affichent des valeurs de l'indice de pollution organique (IPO) entre 1-2,5 Selon la classification de l'Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie (IHE, 1986), qui permet de classer le degré de pollution des rejets urbains de la vallée du M'Zab entre forte et très forte pollution organique. Ces rejets urbains constituent une source de pollution pour la nappe phréatique, elles peuvent être responsables d'un déséquilibre écologique irréversible ainsi qu'une eutrophisation des eaux possible de milieu récepteur, d'où le traitement de ces rejets est nécessaire afin de produire un effluent qui respecte les normes algériennes fixées aux rejets, et préservation des ressources hydriques.

Une étude de vulnérabilité de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab a été établie par trois méthodes GOD, DRASTIC et SINTACS qui fait ressortir deux horizons différents où la majorité du terrain est caractérisée par une vulnérabilité moyenne (58%), cependant les zones de forte vulnérabilité sont situées autour des centres urbains ainsi que sa zone industrielle (42%).

Cette étude a été confirmée par des analyses des paramètres de pollution dans les eaux de la nappe phréatique et des enquêtes de localisation des zones polluées au niveau de la vallée. Dans ce cadre des cartes de vulnérabilité intrinsèque et de variation spatio-temporelle de plusieurs paramètres ont été élaborées considérées aux gestionnaires un outil d'aide pour une gestion intégrée.

Les résultats expérimentaux (2013-2015) obtenus lors de cette étude ont fait ressortir que les eaux usées de la station d'épuration de la vallée du M'Zab, dont le traitement, se fait par lagunage naturel sont des eaux usées épurées d'une qualité médiocre nécessitent un traitement tertiaire pour les utiliser dans le domaine agricole, un stockage dans des bassins est nécessaire pour mieux affiner ces eaux.

Le diagnostic de l'état de la qualité des eaux de la nappe phréatique, montre que dans l'ensemble, ces eaux présentent un état de qualité assez médiocre sur la majeure partie de leurs parcours, surtout des tronçons situés en aval des rejets urbains et industriels.

Les résultats des campagnes d'analyses de la nappe phréatique en 2015 a fait ressortir que ces eaux appartient aux classes C4 selon la grille de classification des eaux souterraines qui signifie une eau a très dure a des pollutions excessives nécessite un traitement spécifique, notons que 97% des échantillons analysés ont des faciès chloruré et sulfaté calciques et magnésiens selon les diagrammes de Piper et Schoeller- Berkaloff . La projection des paramètres des eaux de la nappe phréatique sur le diagramme U.S.S.L, 1954 pour les eaux d'irrigation a fait ressortir que 70% des échantillons analysés appartiennent aux classes C5S2 qui signifie des eaux inutilisables pour l'irrigation sauf pour des cultures très tolérantes à la salinité (palmiers) et des sols sont très drainants (sables et gravier) riche en calcium soluble. Notons que les résultats obtenus confirme avec ceux des travaux antérieurs (2000-2010) sur la qualité des eaux de la nappe phréatique avant la réalisation de la station d'épuration de la vallée du M'Zab qui nous permet de déduire le rôle insuffisant de la station d'épuration dans la minimisation de la problématique de pollution des eaux de la nappe phréatique si n'a pas accompagné d'une gestion maîtrisé des rejets urbains.

L'ACP a servi à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles. Les résultats des analyses statistiques montrent l'existence de neuf (9) corrélations significatives pour les eaux de la nappe phréatique de 15 paramètres ; tandis que les eaux de la STEP nous constatons plus de 80 corrélations significatives qui répondent à des lois de régression linéaire.

Le calcul de bilan hydrique nous a permis d'observer clairement la gestion irrationnelle des ressources en eau dans la vallée plus sa contribution dans le déséquilibre de l'écosystème.

Une vision prévisionnelle pour l'horizon (2015-2050) fait à travers la modélisation de la gestion des ressources en eau de la vallée par le modèle WEAP qui considérée aux gestionnaires un outil d'aide pour une gestion intégrée. Les résultats obtenus nous permettent de rationaliser les ressources en eau de la vallée du M'Zab selon deux scénarios possibles optimal et durable à travers, la minimisation des taux de pertes des systèmes d'AEP, l'exploitation des eaux de surface de Oued Labiod et la réutilisation des eaux usées épurée en agricultures, ce dernier permet d'irriguée plus de 500 ha des cultures des palmeraies avec l'utilisation des techniques d'irrigation moderne qui peut arriver à des efficacités jusque 95% . L'application du scénario durable permettra de réduire les rejets annuels dans la vallée de 111 Mm<sup>3</sup> à l'horizon 2050. Cette minimisation influe fortement pour rééquilibre l'écosystème de l'oasis dans la vallée du M'Zab.

Dans ce contexte délicat, seule une nouvelle stratégie consiste à intégrer la gestion de l'eau dans la politique économique et environnementale susceptible de prévenir les impacts négatifs éventuels. Cette gestion efficiente des ressources en eau devrait être appréhendée en termes de maîtrise des instruments de régulation , optimiser l'utilisation de la ressource par la mise en œuvre d'une gestion de la demande, de développer la recherche scientifique dans le secteur de l'eau et entreprendre de vastes programmes d'informations et de sensibilisations des usagers à l'économie de cet élément vital. Cependant, des efforts restent à faire dans le domaine de la protection quantitative et qualitative de ces ressources en eau, les recommandations suivantes sont proposées pour affronter les défis de l'eau qui se présentent pour l'avenir dans la vallée du M'Zab :

### Recommandations

#### Au niveau des rejets urbains

- Élimination des fosses perdues dans toute la vallée, et augmenter le taux de raccordement au réseau d'assainissement
- Raccordement de la grande agglomération (Daya) situé en amont de la vallée à la galerie principale d'assainissement jusqu'à la station d'épuration
- Minimisation de l'utilisation intensive des engrais agricoles
- L'ouverture des flux de barrages amont pour favorise le lessivage périodique des sols de la vallée
- Contrôle périodique de la qualité des eaux rejeté des stations de prétraitement industriel.
- L'amélioration de la qualité des eaux usées épurée à travers la projection d'autre bassin de finition et de traitement complémentaire

**Au niveau des économies dans les prélèvements**

- Il s'agit de développer et de vulgariser les méthodes d'irrigation modernes qui permettent de réaliser des économies de l'efficacité des systèmes d'irrigation et l'introduction des méthodes d'irrigation localisée qui permet de réduire les prélèvements.
- Une gestion active des ressources en eau et leur distribution doit permettre de réduire les pertes dans le réseau de distribution et la demande exprimée à travers des campagnes de sensibilisation au niveau des secteurs utilisateurs.
- Une tarification plus large de l'eau faisant payer plus cher les tranches de consommation supérieures pouvant être envisagées pour inciter les utilisateurs à un moindre gaspillage de cette ressource rare.

**Au niveau de la gestion des ressources en eau**

- Nous constatons que les eaux usées représentent une ressource d'eau renouvelable qu'il faudra exploiter dans l'agriculture, l'industrie et dans d'autres usages municipaux, donc, constituer sans doute, demain, l'une des solutions incontournables pour notre pays qui souffre énormément du déficit hydrique.
- La réutilisation ne représente pas seulement une option économique compétitive, mais aussi de nombreux avantages sociaux et environnementaux. Ainsi cette valorisation doit être placée dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau en élaborant une stratégie nationale de la valorisation des eaux usées.
- Les institutions internationales recommandent une gestion intégrée des ressources en eau (Integrated Water Resource Management). Il est important de mettre en développement cette approche dans notre vallée pour tenir compte à la fois des dimensions sociales, économiques, environnementales et techniques de la maîtrise des ressources hydriques.
- Il est important de mettre en place un système performant de données hydrologiques, hydrogéologiques, la prévision hydrométéorologique, et l'amélioration du réseau d'observation hydrométrique par l'implantation des stations de jaugeage et des stations pluviométriques.
- Le suivi systématique de la piézométrie permet d'avoir une convergence numérique du potentiel souterrain disponible et de généraliser la modélisation au niveau d'administration de l'hydraulique comme un outil d'analyse et d'aide à la décision.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ABBASI, T. et Abbasi S.A., (2012) ; Water Quality Indices., Elsevier; 1 Edition ; 384p
2. ABHS, (2014), Actualisation de bassin hydrographique du Sahara Septentrionale, 187p
3. Achour, M ; (2014) ; Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride ; mémoire de magister ; université d'Oran, 156p
4. Adler, E., (2005). « Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement ». ENTPE, 86 pages.
5. AERM., (2007). « Les Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse, Eléments de comparaison techniques et économiques ». Document, Agence de l'eau Rhin-Meuse, 173 pages.
6. AHT group AG., (2009). « Identification et élimination des goulets d'étranglement pour l'utilisation des eaux usées dans le cadre de l'irrigation ou autres usages ». Rapport sommaire RG/2008-01/FTF
7. Alain, R., (2011). « Réutilisation des eaux usées traitées, Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action ». Rapport final, Agence Française de Développement, 85 pages.
8. Aller L., Bennett T., Lehr J.H., Petty R.J., Hackett G.(1987): DRASTIC: a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. EPA, Ada, Oklahoma. 622 p.
9. Anras L., Guesdon S. (2007). Hydrologie des marais littoraux - Mesures physicochimiques de terrain. Collection "Marais Mode d'emploi". Ed. Forum des Marais Atlantiques, 76 p.
10. ANRH (2003) note relative à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du m'Zab, rapport d'expertise 12p
11. ANRH (2005) : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ; Algérie.
12. ANRH (2010): Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du continental intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, rapport de l'Agence nationale des ressources hydrauliques, Ouargla, 9p
13. ANRH (2011) : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ; Algérie.
14. Audic, J.M., (2002). « Traitement des eaux usées urbaines ». CIRSEE, Lyonnaise des eaux, ENGEES, 523pages.
15. Baba Amer.Z., (2000) -Analyse d'une famille d'herbicides Triazines " par FT/IR et GC/MS. Application à la recherche de polluants organiques dans un puits d'El-Atteuf (Ghardaïa)
16. BACHAR.K ; (2015) ; L'intégration des dimensions environnementale et sociale dans les pratiques urbaines en Algérie. Thèse de doctorat, Université du Maine.
17. Ballais J., (2010). Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du BasSahara Algérien. Université de Provence, France, 127p.
18. Baumont, S., Camard, J-P., Lefranc, A., Franconi, A., (2004). « Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Ile-de-France ». Rapport ORS, 220 pages.
19. Beauchamp Jacquise ; (2006) ; Qualité et pollution des eaux souterraines ; Université de Picardie Jules Verne.
20. Belaid, N., (2010). « Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorpt
21. Belkhira Chachoua (2008), Contribution à l'étude de la remontée de la nappe phréatique de la région de Ouargla ; Thèse de magistère de l'université de Ouargla ; 78 pages
22. Benblidia, M., (2011). « L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique ». Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales, Etude nationale, Algérie, Version finale, PNUE/PAM, 24 pages.
23. Benmamar S, Poulard C, Berreksi A, Paquier A, Sioussiou R ; (2016) : Du système hydraulique ancestral des M'Zab aux techniques alternatives pour la gestion des inondations ; NOVATECH ; 6 pages
24. Benyoucef, B. (1986) Le Mzab, les pratiques de l'espace ; Entreprise Nationale du Livre ; 119p
25. Benyoucef, B. (1988). Le M'Zab : une vie quotidienne dans la vallée des cinq jardins, In l'eau et le Maghreb, Ed. PNUD, 103-112.
26. Benyoucef, B. (2009). « Les villes nouvelles. Autopsie d'une expérience locale » in revue vies de villes, n° 13 – Décembre 2009, Editions les Alternatives Urbaines "ALUR", Alger.
27. Bézèlgues.S ; des Garets.E (2002) Cartographie de la vulnérabilité des nappes de -- Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe) ; BRGMIRP-51783-FR ; 41p
28. Blumenthal, UJ., Mara, D.D., Peasey, A., Guillermo R.P., Stott, R., (2000). « Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: Recommendations for revising WHO
29. BNEDER, (1988). Etude des ressources du milieu pour la mise en valeur dans la Wilaya de Ghardaïa : Analyse de la situation actuelle, Alger, BNEDER, 164p.

30. Boeglin, J.C., (1998). «Traitements biologiques des eaux résiduaires ». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, Doc. J 3 942, 28 pages.
31. BRL ingénierie (1998a) : Etude du Plan directeur général de développement des régions sahariennes – Connaissances d'Ensemble. Rapport, ANRH, Alger, Algérie.
32. BRL ingénierie (1998b) : Etude du Plan directeur général de développement des régions sahariennes Modélisation du Continental Intercalaire. Rapport ANRH, Alger, Algérie.30p
33. Bonnard & Gardel ; (2000) ; **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ; rapport synthèse .123p
34. BUSSON G. (1970) : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.
35. Cabanes, F., (2006). « Déphosphatation des effluents : Précipitation et valorisation du phosphore ». Thèse de Doctorat de l'INPT, 219 pages.
36. Catherine, B., Alain, H., Jean-M, H., (2009). « Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) ». Rapport final, Convention de partenariat ONEMA- Cemagref, 100 p
37. Cazaux M. (2007). Les eaux souterraines en Gironde. Cartographie de la vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais. Rapport de stage Master II. Départ. des sciences de la terre et de l'Environnement de Montpellier. 54 p.
38. CEAE ; Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec ; (2008) ; Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales ; 90 pages.
39. Chabi M., Dahli M. (2011) ; Une nouvelle ville saharienne Sur les traces de l'architecture traditionnelle ; communication internationale.
40. Charikh Messouda (2015); Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu aride: application à la cuvette de Ouargla ; thèse de magister en pédologie environnemental.
41. Cheick.T., (2007) « Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques ».Centre régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible cout - centre collaborant de l'OMS, 43 pages.
42. Côte M.(1998). Des oasis malades de trop d'eau. Sécheresse, 9, 123-130.
43. Côte M.(2002). Une ville remplit sa vallée : Ghardaïa ; Méditerranée pp. 107-110
44. Côte M.(2005). La ville et le désert : le Bas-Sahara algérien, 306 pages
45. Coudrain Anne, Fourcade Benoit & Jaoudat Touma, (2003). Flux évaporatoire depuis les nappes phréatiques en région aride.
46. Couture, I., (2003). « Analyse d'eau pour fin d'irrigation ». MAPAQ Montérégie-Est- AGRI-VISION 2003-2004, pp 1-8.
47. Couture, I., (2006). « Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation ». Colloque sur l'irrigation, L'eau, source de qualité et de rendement, Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, 10 février , Boucherville,13 pages.
48. Crivert .(2003). La cartographie régionale de la vulnérabilité des eaux souterraines : un outil pertinent d'aide a la prise de décision en matière d'aménagement du territoire. Synthèse réalisée pou
49. CSHPF., (1991). « Utilisation, après épuration, des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures et des espaces verts ». Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 40 page
50. Daboussi Aymen (2010) ;La cartographie de la vulnérabilité des nappes : un moyen de gestion durable des ressources en eaux ; Université de Tunis El Manar ; mémoire d'ingénieur.
51. Daddi Bouhoun M.(1997). Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Thèse Magister, El-Harrach, I.N.A, 180p.
52. Dadi Bouhoun. M , Djili.K , (1991) ;étude de l'impact de la crue sur l'évolution de certains oligo-éléments dans les eaux phréatiques du M'Zab contaminé par les eaux usées; séminaire international
53. Degremont. (1989)-Mémento technique de l'eau : vol. 1, 9ème édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, pp 592
54. Dhaoudi, H., (2008). « Traitement des Eaux Usées Urbaines: Les procédés biologiques d'épuration ». Université V de Tunis, 30 pages.
55. Donnadiou C. et P. / Didillon H. et J-M. (1986) « Habiter le désert, les maisons mozabites» Editions Pierre MARDAGA. Bruxelles.
56. DRE.Ghardaia ;(2012) ; Rapport sur la situation de secteur de l'Hydraulique ; 20p
57. DUBIEF J. (1953) : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de Météorologie et dePhysique du Globe de l'Algérie ; Service des Etudes Scientifiques ; Alger, Algérie. 451p.
58. Dubost D., (2002). Ecologie, Aménagement et Développement des Oasis algériennes. Biskra, CRSTRA, 423p.
59. Duchaine D. (1998). Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution (par l'intégration d'un SIG, de la télédétection et d'un modèle mathématique). I.N.R.S-Eau. Université du Québec. 83 p.



60. Ducos J., Ruffié J. et Larrouy G, (1962). Étude hémotypologique des populations de la région du M'Zab (département des Oasis). In: Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris, 11ème Série, pp : 354-371.
61. Durand.J.H ; (1973) ; Utilisation des eaux salin pour l'irrigation , 20 pages.
62. DUTIL P. & SAMI C. (1960) : Essai de bilan hydrologique du chott de Ouargla. VIe journée de l'hydraulique, pp. 309-314, Grenoble 1960.
63. Elhaite, H., (2010). « Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation ». Thèse de Doctorat, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne,
64. Engel B.A., Navulur K.C.S., Cooper B.S., Hahn L.(1996), Estimating groundwater vulnerability to non-point source pollution from nitrates and pesticides on a regional scale, Int. Assoc. Hydrol. Sci.
65. FABRE, J. (1976) : Introduction à la géologie du Sahara algérien et des régions voisines. SNED, Alger, 422 p., 175 fig., 1 carte h. t.
66. Faby, J.A., Brissaud, F., (1997). « L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation ». Office International de l'Eau, 76 pages.
67. Fadel D., Nacer Kh., Michèle R., Raoul C.,(2004). Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). Sécheresse, vol.15, n.4, p. 353-360.
68. FAO, (2003). « Irrigation avec les eaux usées traitées : Manuel d'utilisation », Bureau Régional pour le Proche Orient et l'Afrique du Nord. Caire, Egypte, 68pages.
69. FLANDRIN J. (1957) : Le pétrole et l'eau dans le Sahara septentrional algérien. In revue de géographie de Lyon. Vol. 32 n°4, 1957.pp. 293-306.
70. Foster, S. et Hirata, R. (1991), Groundwater pollution risk assessment. A methodology using available data, World Health Organization (WHO)/Pan American Health Organization (PAHO)/ Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), Technical Report, Lima, Perou, 2nd ed., 73p.
71. Frank R.,(2002). Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Ed. Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux. 171p.
72. Gaïd, A., (1984). « Epuration biologique des eaux usées urbaines ». OPU Algérie ,Edition N° 012472 05-84, tome 1, 261 pages.
73. Gaïd, A., (1993). « Traitement des eaux usées urbaines ». Techniques de l'Ingénieur, traité Construction, Doc. C 5 220 ,28 pages.
74. Gardner, W.R, (1958). Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. Soil Scl.
75. Graillat A., Bouchet C., Durand F., Paulin Ch., Petit V., Picquet I. et Sedan O.(1994). Carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe de la Grande-Terre. Coupure IGN 4603 G de Pointe-à-Pitre éc
76. GRATTON Y. (2002) : Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale. Art. INRS-ETE, Québec, Canada.
77. Grondin, P.M.,(1998). « Eau et développement durable, Témoignages de la société civile ». Conférence internationale Eau et développement durable, GRET, ISBN : 2 - 86844 - 090 - 8 Paris 19-21mars,
78. Hannachi, A., Gharzouli, R., Djellouli, TY., (2014). « Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie » Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, pp 51-62.
79. Hélène Peeters ; (2014) ; Les filières de traitement extensif des eaux usées des procédés en expansion dans le secteur de l'épuration ; rapport d'étude ; 49p.
80. IANOR. , (2014). « Protection de l'environnement : Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles, Spécifications physico-chimiques et biologiques » Norme Algérienne NA 1768, Edition : 01, ICS : 13.060.30, 40 pages.
81. IBGE ; Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement ;(2005) ; Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface ; Cadre général ; 16 pages.
82. IDDER T., (1998)- La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbain et techniques de remédiation proposée. L'exemple de Ouargla. Thèse de doctorat, Université d'Angers, 157p.
83. IPTS., (2009). « Salinisation et sodification ». L'agriculture durable et la conservation des sols, Fiche technique n°4, European Commission, Joint Research Centre, 4 pages.
84. Joradp., (2005). « Loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau ». Journal officiel de la République Algérienne N°60, pp 3-18.
85. Joradp., (2007) « Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent ». Journal officiel de la République Algérienne N°35, pp 8-12.
86. Kandiah, A., (1990). « Environmental impacts of irrigation development with special reference to saline water use ». In: Water, Soil and Crop Management Relating to the Use of Saline Water. AGL/MIS

87. KAYMAI ,(2002) ; Conception et dimensionnement du lagunage aéré ;7p
88. Kettab, A., Karef, S., Boujelben, N., Ait Nouh, F., Malik, N., Oualkacha, L., (2015). « Evaluation de l'apport fertilisant des sous produits de l'épuration de la STEP de Médéa (Algérie) ». International conference on integrated land and water resources management in the dry areas under climate change, Djerba Island, Tunisia, May 11-14th, 2015
89. Khadraoui. A,(2007) ; Eau et impact environnemental dans le Sahara algérien, OPU Algérie 304p
90. Khadraoui. A,(2007) ; Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes, OPU Algérie 317p
91. KOUZMINE, Y (2007) ; Dynamique et mutation territorial du Sahara algérien ; Thèse de Doctorat en Géographié à l'université de Franche-Comté
92. Landreau A., (1996), Contribution à une normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions des eaux souterraines, Rapport BRGM R38846. 28 p.
93. LECLERCQ, Louis ;(2001) ; Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau ; 57 pages.
94. M.A.E.T.,(2002)- Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), Alger, 110p
95. Masséna, P.A., (2001). « Valorisation des eaux usées en irrigation localisée ». Office International de l'Eau, 14 pages.
96. Medejrab, A.,(2009). Les inondations catastrophiques du mois d'octobre 2008 à Ghardaïa, Geographia Technica, Numéro spécial, p.311-316.
97. Messaitifa .A (2001) ; La nappe phréatique du bassin de M'Zab : un atout de développement menacé par la pollution ; séminaire international sur l'écodéveloppement durable en zone aride et semi-aride
98. Miourigh M., (2011). Evaluation de la qualité hydro chimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab : Cas de l'Oued N'Tissa. Mémoire d'ingénieur, E.N.S.A., El Harrach, 75p.
99. Mohamed Hafedh Hamza , Ayed Added , Alain France', Ramiro Rodriguez (2007); Validité de l'application des méthodes de vulnérabilité DRASTIC, SINTACS et SI a` l'étude de la pollution par les nitrates dans la nappe phréatique de Metline–Ras Jebel–Raf Raf (Nord-Est tunisien), Science Direct , Géosciences de surface (Hydrologie–Hydrogéologie) ; 13p
100. Mohamed Hafedh Hamza , Ayed Added , Alain France', Ramiro Rodriguez (2008) Evaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe côtière alluvionnaire de Meltine-Ras Jebel-Raf Raf
101. Mohand,S.O., (2001) « Cours de Procèdes unitaires biologiques et Traitement des eaux ». OPU, édition 2.10.4334, 156 pages
102. Monello D., (2009). Etude de performances épuratoires d'un lagunage a macrophytes.54p.
103. NAZOU MOU Y. (2002) : Impact des barrages sur la recharge des nappes en zone aride : Etude par modélisation numérique sur le cas de Kairouan (Tunisie centrale). Thèse de doctorat. ENIT. Tunis,Tunisie 221p.
104. OIE, (2001). « Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités ». Office International de l'Eau, ISBN 92-894-1690-4, 42 pages.
105. ONM ;(2015) ; liste des enregistrements climatologique de la vallée du M'Zab (1986-2014); 15p
106. OSS (2003a) : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.
107. Ouafae M., Lahrach A., El Halouani H., 2012.- Etude de plantation de jatropha curcas valorisant les eaux usées de la ville d'Oujda. Science Lib. Ed. Mersenne, vol. 4. 16 p.
108. OULD BABA SY M. (2005) : Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse de doctorat, faculté des sciences de Tunis, 271p.
109. Ouled Sidi Amor. T;(2016) ; Vulnérabilité a la pollution des Eaux de la nappe superficielle de la vallée du M'zab ; Mémoire de master en hydrogéologie ; université de Ouragle ; 71pages
110. Ozonia., (2009). « Désinfection par UV ». Ozonia International UV, 10 pages.
111. Pavard C., (1975). Lumière du M'Zab. Paris, Delroisse, 67p.
112. Petra, P., (2008). « Paramètres de l'azote : nitrification, dénitrification ». HACH LANGE FRANCE S.A.S. DOC040.77.10015.Dec08, pp 1-4.
113. Philipeau P, (1986). Comment interpréter les résultats d'analyse en composantes principales. ITGC, 61p.
114. Poulard, C., Berthier, E., Breil, P., Labbas, M., Henine, H., Hauchard, E., Radzicki, K., (2013). La gestion des eaux pluviales coule de source, de l'amont à l'aval, du rural à l'urbain et vice versa. Novatech 2013
115. RAMADE F., (2000)- Dictionnaire encyclopédique des pollutions: les polluants, de l'environnement a l'homme. Ed. Ediscience international, Paris, 690 p.
116. REMINI B. (2017). La foggara de Tadmaït : Sans énergie, de l'eau sous-sol à la Surface du sol. Larhyss Journal, n°32, Dec, pp. 301-325.
117. REMINI B., ACHOUR B. (2013a) The qanat of the greatest western erg. Journal AWWA, Vol.105 n° 5, pp. 104-107.

118. REMINI B., ACHOUR B. (2013b). Les foggaras de l'Ahaggar : disparition d'un patrimoine hydraulique. Larhyss Journal, n°14, juin, pp. 149-159.
119. REMINI B., ACHOUR B., ALBERGEL J. (2011). Timimoun's foggara (Algeria): An heritage in danger DOI: 10.1007/s12517-010-0139-9 Arabian Journal of Geosciences (Springer), Vol. 4, n° 3, pp. 495- 506
120. REMINI B., ACHOUR B., KECHAD R. (2014). The collecting of groundwater by the qanats: a millennium technique decaying. Larhyss Journal, n°20, Décembre, pp.259-277.
121. Remini B., Achour B., Ouled Belkhir C., Baba Amar D., (2012). The Mzab foggara: an original technique for collecting the water rising. Journal of Water and Land Development. n°.16, p. 49–53.
122. Rezzag K, Ben yahkoum.R , Segni, L ; (2005) ; Influence des eaux usées sur la nappe phréatique (cas de la vallée du m'Zab) ; Mémoire d'Ingénieur en environnement ; Université de Ouargla 2005
123. ROCHE M.A (1973) : L'hydrogéologie de la haute Saoura et l'erg occidental. Travaux de collaboration bult N°47, 240p.
124. SECONDAT M., (1952) ,les variations de la température et de la concentration en oxygène dissols des eaux lacustres et des eaux courantes. Leur retentissement sur la distribution des poissons, Bull. Fr. Piscic., 167 (1952) 52-59
125. Sinan M., Bouibrine N, (2007). Utilisation des SIG pour la comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la pollution. Application à la nappe du Haouz de Marrakech (Maroc).
126. Smida H., Maiza N., Zairi M. et Ben Dhia H.(2012). Gestion quantitative et qualitative des ressources en eaux dans la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale) à l'aide d'un SIG : Etude de la recharge induite des nappes et leur vulnérabilité à la pollution, 24 p.
127. TAMRABET L., GOLEA H., BOUZERZOUR.,( 2002)- La réutilisation des eaux usées en agriculture: insuffisances et solutions des méthodes de traitement des effluents en Algérie. Watmed2002, Monastir, Tunisie, Pp, 295-302.
128. Tiercelin, J-R., Vidal, A., (2006). « Traité d'Irrigation ». 2eme Edition TEC et DOC. Lavoisier, 1251pages.
129. TOUTAIN.G, (1980) :Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée Année 1980 Volume 30 Numéro 1 pp. 151-152
130. UNFCCC ; United Nations Framework Convention on Climate Change , (2013) ;Matériels de formation du GCE pour l'évaluation de la vulnérabilité et de mesures d'adaptation ; handbook ; 38 pages
131. Warrick, A. W. (1988). Additional solutions for steady-state evaporation from a shallow water table.
132. Xanthoulis , D., (2011). « Réutilisation des eaux usées en agriculture ». journée thématique , Gestion Intégrée des Ressources en eau dans le bassin hydrographique Côtier Algérois O2A, Colloques et Journées thématiques, Coopération Technique Belge, Algérie, Hôtel El-Marsa de Sidi-Fredj, Alger, pp1-4.
133. Zwahlen F., 2003. COST Action 620. Vulnerability and Risk mapping for the protection of carbonate (Karst) Aquifers, Final report. 297 p.

# ANNEXES

Tableau A-1: Norme Algérienne: Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles (JORA N°60- 15 juillet 2012)

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = $\sigma - 3$ CE		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
	20 - 40		3
Chimiques	DBO <sub>5</sub>	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO <sub>3</sub> - N)	mg/l	30
	Bicarbonats (HCO <sub>3</sub> )	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercur	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

Du point de vue qualité physico-chimique, les mêmes spécifications sont applicables pour tous les types de système d'épuration

Tableau A-2: Norme Algérienne: Concentration maximale tolérée en DBO<sub>5</sub> dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles

Paramètre	Symbole	Unité	Concentration maximale tolérée (Moyenne/24h)
<b>Demande biologique en oxygène à 5 jours</b>	DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	30

Tableau A-3 : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents industriels (Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006)

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

Tableau A-4: Norme Algérienne: Spécifications microbiologiques des eaux usées épurées destinée à l'irrigation agricole

Groupes de cultures à irriguer avec les eaux usées épurées	Culture à irriguer	Groupe exposé	Paramètres microbiologiques		Traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique exigée
			Coliformes fécaux <sup>a</sup> (CFU/100ml)	Nématodes intestinaux <sup>b</sup> (œufs/l)	
A	Irrigation non restrictive Culture de produits pouvant être consommés crus	Population alentour Ouvriers agricoles Consommateurs	<100	Absence	Catégorie III
B	Légumes qui ne sont consommés que cuits Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire	Population alentour Ouvriers agricoles	<250	< 0,1	Catégorie III
C	Arbres fruitiers <sup>c</sup> Cultures et arbustes fourragers <sup>d</sup> Cultures céréalières Cultures industrielles Arbres forestiers Plantes florales et ornementales	Population alentour Ouvriers agricoles	Seuil recommandé <1000	<1	Catégorie II
D	Les cultures du groupe C utilisant l'irrigation localisée <sup>e</sup>	Aucun	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée	Catégorie I

a La valeur limite pour les coliformes fécaux représente une moyenne géométrique.

b La valeur limite pour les œufs de nématodes représente une moyenne arithmétique.

c L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est interdite.

d Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

e a condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée et respecte les règles d'hygiène.

Tableau A-5 : Résultats de mesure et analyses de l'eau brute à l'entrée de la STEP (2013- 2015)

Mois	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Salinité (mg/l)	O2 dis (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	NT (mg/l)	NH4+ (mg/l)	NO2- (mg/l)	NO3 (mg/l)	PT (mg/l)
<b>Fev-13</b>	13,67	7,89	3863,33	2,30	3,11	120,00	-	-	-	14,70	0,32	-	
<b>Mars-13</b>	22,19	7,72	4021,76	2,29	3,07	130,50	-	-	-	12,73	0,29	4,05	
<b>Avr-13</b>	22,87	7,72	4186,32	2,37	3,39	131,50	418,00	147,50	-	13,72	0,30	0,71	4,40
<b>Mai-13</b>	24,37	7,63	4255,71	2,38	3,22	130,00	379,33	160,00	44,90	18,50	0,31	0,20	4,55
<b>Juin-13</b>	25,83	7,66	4216,67	2,37	2,70	168,33	351,75	150,00	30,50	22,88	0,26	0,38	3,58
<b>Juil-13</b>	21,79	7,72	4108,76	2,34	3,09	145,40	352,00	152,50	37,70	16,19	0,34	0,48	
<b>Aou-13</b>	20,99	7,59	3728,56	2,20		125,75	375,27	176,69	41,36	35,24	0,51	1,42	
<b>Sept-13</b>	25,55	7,64	3680	2,05		209,82	482,5	200,88	34,55	29,80	0,31	2,33	2,9
<b>Oct-13</b>	23,33	7,61	4140,00	2,20		141,00	310,25	200,00	35,54	28,26	0,12	0,98	4,02
<b>Nov-13</b>	23,00	7,36	3725,00	2,20		219,50	396,50	180,00	31,00	21,90	0,33	1,87	
<b>Dec-13</b>	12,60	7,49	3627,50	2,23		116,00	400,25	190,00	28,50	23,00	0,31	0,60	
<b>Janv-14</b>	11,22	7,52	3574,00	2,30		170,00	392,60	196,40	35,03	28,60	0,45	0,70	
<b>Fev-14</b>	14,13	7,54	3625,00	2,25		248,33	495,75	238,00	32,50	23,30	0,22	1,25	
<b>Mars-14</b>	17,25	7,62	3455,00	2,20		144,00	449,00	223,00	44,00	36,00	0,22	2,50	
<b>Avr-14</b>	22,25	7,64	3750,00	2,28		120,00	429,25	213,50	51,00	45,00	0,54	1,20	
<b>Mai-14</b>	26,13	7,72	3510,00	2,20		135,00	381,70	192,00	56,00	42,00	0,63	1,45	2,10
<b>Juin-14</b>	27,75	7,65	3682,50	2,13		157,50	393,50	212,58	47,00	41,00	0,91	2,10	
<b>Juill-14</b>	26,30	7,66	4267,50	2,18		111,00	419,25	206,25	42,00	39,60	0,61	1,31	
<b>Aou-14</b>	25,80	7,59	4022,50	2,15		125,25	380,75	188,25	37,00	35,00	0,65	2,10	
<b>Sept-14</b>	22,90	7,61	3820,00	2,15		146,75	369,00	183,00	47,00	44,00	0,51	1,30	
<b>Oct-14</b>	25,50	7,60	3772,50	2,15		146,50	375,25	186,50	49,00	41,00	0,65	1,30	
<b>Nov-14</b>	18,78	7,63	3075,00	2,46		111,50	360,50	179,50	44,30	40,00	0,61	1,03	
<b>Dec-14</b>	18,35	7,58	3795,00	2,10		117,50	438,00	214,75	44,00	41,30	0,79	0,71	
<b>Janv-15</b>	16,00	7,64	3352,50	2,15		112,00	342,50	171,00	44,70	38,30	0,74	1,21	
<b>Fev-15</b>	-	-	4240,00	2,15		95,25	391,00	194,00	-	36,30			



Tableau A-6 : Résultats de mesure et analyses de l'eau brute à la sortie de la STEP (2013-2015)

Mois	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Salinité (mg/l)	O2 dis (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	NT (mg/l)	NH4+ (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	PT (mg/l)
Fev-13	15,87	8,29	3490,00	2,20	3,78	75,00	-	-	-	20,30	0,26	-	-
Mars-13	21,04	8,29	3644,12	2,18	5,78	68,50	-	-	-	20,54	0,33	0,41	-
Avr-13	21,32	8,36	3918,95	2,20	6,75	79,00	200,00	50,00	-	20,42	0,29	0,44	3,80
Mai-13	23,72	8,14	3949,23	2,16	6,76	66,00	208,00	15,00	39,00	27,80	0,33	0,42	3,73
Juin-13	25,25	8,09	4125,00	2,20	5,36	69,00	211,25	20,00	22,40	29,30	0,26	0,41	3,90
Juil-13	21,44	8,24	3825,46	2,19	5,69	78,60	178,00	28,33	30,70	28,55	0,30	0,42	-
Aou-13	19,74	8,04	2965,60	2,06	-	75,00	199,31	32,85	37,58	33,98	0,44	0,60	-
Sept-13	22,65	8,115	3575,00	2,05	-	54,50	153,50	37,36	32,36	23,35	0,27	0,23	2,36
Oct-13	20,18	8,04	3625,00	2,08	-	62,25	106,18	22,50	35,79	30,09	0,06	0,39	2,06
Nov-13	19,75	7,99	3267,50	2,05	-	61,50	110,75	15,00	41,50	28,20	0,24	0,82	-
Dec-13	9,40	7,91	2855,00	2,00	-	38,33	102,50	18,75	35,90	31,90	0,11	0,43	-
Janv-14	9,68	7,98	2806,00	2,04	3,34	36,20	108,40	54,80	25,63	21,33	0,17	0,45	-
Fev-14	14,35	7,97	2830,00	1,78	5,07	45,00	145,25	75,75	35,30	49,00	0,12	0,45	-
Mars-14	16,18	8,00	2976,50	2,03	5,90	46,75	103,00	52,25	38,00	30,60	0,18	0,76	-
Avr-14	21,90	8,00	2887,50	2,08	5,60	49,25	140,25	70,75	47,00	39,00	0,62	0,70	-
Mai-14	24,70	8,01	2833,33	2,07	7,13	55,67	126,67	63,33	44,00	37,00	0,41	0,84	2,04
Juin-14	26,33	8,20	3045,00	2,08	4,20	54,00	175,75	63,38	37,00	38,00	0,75	0,84	-
Juill-14	25,75	8,00	2902,50	2,05	4,15	57,25	132,50	67,00	35,10	34,50	0,64	0,80	-
Aou-14	25,68	8,01	2940,00	2,05	5,33	43,25	118,00	57,50	37,20	36,50	0,45	0,10	-
Sept-14	22,95	7,78	2605,00	2,03	5,97	41,50	108,00	54,00	39,00	33,20	0,64	0,41	-
Oct-14	24,25	8,09	3012,50	2,10	3,97	56,25	190,00	91,75	39,00	38,00	0,74	0,62	-
Nov-14	18,23	8,20	2690,00	2,30	4,73	45,75	196,30	96,00	39,50	37,20	0,62	0,71	-
Dec-14	19,05	8,00	3062,50	2,08	4,28	47,03	208,50	103,00	40,20	37,90	0,71	0,75	-
Janv-15	14,50	8,32	2582,50	2,10	-	47,50	114,00	56,75	36,40	33,10	0,71	0,76	-
Fev-15	-	-	2885,00	2,13	-	39,00	170,25	83,75	-	32,80	-	-	-

Tableau A-7 : Résultats d'Analyse des Puits de la nappe phréatique de la vallée de M'Zab (2015)

Puits	X(UTM)	Y(UTM)	Z	T	pH	O2	CE	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	Cl	SO4	NH4	NO3	TH	TAC
	m	m	m	°C		%	µs/cm	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l
P1	565822	3596095	543	18,4	8,3	47	4808	573,14	364,50	537,50	15,00	87,84	935,96	609,09	0,07	18	937,64	71,45
P2	565992	3595922	515	20,3	7,6	37,1	5854	350,48	689,52	710,20	16,00	66,30	893,42	1236,13	0,00	22,1	1040	73,2
P3	565948	3595845	514	20,3	8,5	33,3	6563	512,33	937,67	645,21	22,00	69,70	935,96	1540,21	0,00	27,4	1450	56,12
P4	565900	3595812	515	20	8,2	77,5	5302	510,32	579,68	455,10	13,00	70,30	883,20	1150,36	0,00	25,3	1090	39,16
P5	565870	3595774	514	20,1	7,2	55,8	5474	480,54	706,46	512,32	25,10	77,70	757,55	1265,13	0,02	20,08	1187	80,67
P6	565818	3595786	512	19,8	8,3	8,6	5362	397,21	691,79	612,54	8,00	81,50	855,20	887,62	0,12	19,7	1089	65,13
P7	565858	3595688	514	20,1	7,6	47,9	7922	411,30	718,70	551,20	14,00	60,10	879,23	799,46	0,02	19,2	3130	75,64
P8	565752	3595748	514	20,2	7,2	41	5291	548,31	429,69	620,00	28,00	71,50	890,21	984,65	0,09	17,1	978	55,45
P9	565728	3595707	517	22,5	7,6	10,4	5380	498,56	377,08	680,47	13,00	60,90	680,58	1520,45	0,02	19,8	875,64	61,34
P10	565750	3595665	518	22	7,5	93,1	5806	478,54	441,58	733,65	6,00	59,80	870,77	1480,26	0,02	19,6	920,12	84,54
P11	565712	3595615	538	21,1	7,4	90,4	5214	380,76	230,85	500,00	23,00	65,88	879,23	1687,36	0,11	16	611,61	68,19
P12	565659	3595622	517	22	8,2	69	5652	400,65	577,89	597,29	12,00	72,10	790,02	1560,33	0,02	21,3	978,54	61,54
P13	565551	3595633	517	22,2	8	25	6144	394,57	550,77	600,59	13,00	70,50	700,44	1292,30	0,05	19,8	945,34	45,87
P14	565631	3595261	516	22,1	8,4	57	5843	420,11	464,14	590,81	29,00	55,40	933,12	1680,65	0,18	-	884,25	66,21
P15	565735	3595041	512	21,7	9,2	87,2	5998	388,90	971,10	642,35	19,00	75,60	907,60	1003,33	0,00	20,1	1360	63,44
P16	565901	3594827	511	21,6	8,3	67,3	5304	365,24	592,58	589,87	14,20	68,50	972,83	854,58	0,01	12,7	957,82	70,76
P17	566199	3593878	538	22	7,8	38,2	5885	500,28	549,92	613,54	11,00	69,40	869,20	1600,35	0,14	16,7	1050,2	70,45
P18	566401	3593328	521	21,3	7,1	55,9	5670	511,48	543,72	654,20	17,00	61,04	870,22	1260,58	0,18	-	1055,2	69,81
P19	566380	3593267	521	22	7,3	40,7	4596	573,60	367,72	400,37	26,00	66,60	789,25	900,80	0,00	19,4	941,32	71,58
P20	566451	3593238	510	18,4	8,4	44	6120	501,00	364,50	500,00	27,50	82,96	794,15	2001,23	0,11	19,6	865,5	77,9
P21	566353	3593226	506	19,6	8,2	89,9	5542	440,88	247,86	550,00	31,67	73,20	907,60	1790,24	0,05	19	688,74	59,37
P22	566214	3593228	517	17,5	5,2	25	5738	521,04	320,76	450,00	30,00	78,08	723,24	1288,70	0,01	22,3	841,8	74,15
P23	566348	3592634	526	21,5	7,4	94,9	4618	487,54	424,76	388,00	13,00	64,20	755,44	1030,37	0,13	-	912,3	57,16
P24	566448	3592500	521	21	7,7	65,6	5197	521,65	377,59	629,50	15,00	78,60	812,50	1130,58	0,17	-	899,24	54,26
P25	567013	3592248	513	21,5	8,1	39,2	4780	458,24	507,17	413,25	19,00	73,30	800,88	954,24	0,18	-	965,41	54,88
P26	568002	3592889	533	21	7,5	39,3	5499	450,67	494,46	419,88	10,00	47,10	800,90	1830,58	0,02	-	945,13	52,21
P27	569116	3593633	526	21,6	8,3	10,9	5885	515,68	359,63	550,00	11,50	59,40	871,87	2030,15	0,00	-	875,31	43,57
P28	569316	3593878	525	22	8,3	18,2	4542	498,76	343,51	630,00	16,30	55,80	698,87	688,65	0,15	20,5	842,27	44,84
P29	570114	3594158	523	22	7,9	12,6	4980	504,25	386,20	640,25	14,90	65,10	798,54	900,50	0,01	19,8	890,45	54,81
P30	570357	3593399	524	21	7,8	82,7	4975	490,68	307,77	600,14	7,90	70,80	785,15	1155,64	0,18	17,5	798,45	55,61
P31	570281	3592627	523	21,5	7,5	30	5018	456,31	518,82	590,33	14,70	52,65	845,65	790,54	0,11	23,6	975,13	54,13
P32	570279	3591967	523	21,5	7,9	35,7	4620	478,60	418,85	554,64	8,00	60,70	874,15	510,32	0,15	-	897,45	39,21
P33	573003	3589299	517	21	7,8	49,15	5103	492,15	538,39	547,13	15,00	70,90	789,65	995,65	0,01	-	1030,54	50,01
P34	570325	3591146	525	22	7,8	40,2	5184	405,81	466,38	654,88	7,00	68,80	870,25	950,62	0,01	18,8	872,19	64,3
P35	570331	3591037	529	22	7,3	42	5448	461,25	484,85	741,54	17,00	54,60	788,67	1130,54	0,12	19,8	946,1	58,94

Tableau A-8 : Rendements d'abattement de la charge polluante (2013-2015)

Mois	MES %	DCO %	DBO5 %
Fev-13	37,50	-	-
Mars-13	47,51	-	-
Avr-13	39,92	52,15	66,10
Mai-13	49,23	45,17	90,63
Juin-13	59,01	39,94	86,67
Juil-13	45,94	49,43	81,42
Aou-13	40,36	46,89	81,41
Sept-13	74,03	68,19	81,40
Oct-13	55,85	65,78	88,75
Nov-13	71,98	72,07	91,67
Dec-13	66,95	74,39	90,13
Janv-14	78,71	72,39	72,10
Fev-14	81,88	70,70	68,17
Mars-14	67,53	77,06	76,57
Avr-14	58,96	67,33	66,86
Mai-14	58,77	66,82	67,02
Juin-14	65,71	55,34	70,19
Juill-14	48,42	68,40	67,52
Aou-14	65,47	69,01	69,46
Sept-14	71,72	70,73	70,49
Oct-14	61,60	49,37	50,80
Nov-14	58,97	45,55	46,52
Dec-14	59,98	52,40	52,04
Janv-15	57,59	66,72	66,81
Fev-15	59,06	56,46	56,83

Tableau A- 9: Résultats des analyses microbiologiques de 2013-2015

Mois	Eau brute/100 ml		Eau traité/100ml	
	Coliforme totaux	Coliformes fécaux	Coliforme totaux	Coliformes fécaux
<b>16/05/2013</b>	$\geq 11 \times 10^7$	$46 \times 10^6$	$11 \times 10^4$	$4 \times 10^3$
<b>12/06/2013</b>	$75 \times 10^5$	$93 \times 10^4$	$93 \times 10^2$	$43 \times 10^2$
<b>13/07/2013</b>	$1100 \times 10^6$	$34 \times 10^5$	$110 \times 10^3$	$46 \times 10^2$
<b>02/08/2014</b>	$\geq 13 \times 10^7$	$42 \times 10^6$	$15 \times 10^4$	$3 \times 10^3$
<b>14/09/2014</b>	$62 \times 10^5$	$84 \times 10^5$	$87 \times 10^2$	$36 \times 10^3$
<b>26/10/2014</b>	$10 \times 10^7$	$33 \times 10^5$	$110 \times 10^4$	$30 \times 10^2$
<b>09/11/2014</b>	$12 \times 10^6$	$29 \times 10^6$	$09 \times 10^3$	$60 \times 10^2$
<b>07/12/2014</b>	$71 \times 10^6$	$23 \times 10^5$	$50 \times 10^4$	$41 \times 10^2$
<b>05/01/2015</b>	$11 \times 10^6$	$33 \times 10^6$	$14 \times 10^3$	$6 \times 10^3$
<b>16/02/2015</b>	$42 \times 10^5$	$36 \times 10^5$	$76 \times 10^2$	$4 \times 10^3$

Tableau A-10 : Indice de vulnérabilité de la nappe phréatique

Puits	Cordonnées (UTM)		Profondeur (m)	Indice		
	X	Y		GOD	DRASTIC	SINTACS
1	565822	3596095	14,9	0,39	126	141
2	565712	3595615	12,83	0,39	126	141
3	565772	3595638	13,5	0,39	126	141
4	566353	3593226	2,3	0,50	146	161
5	566411	3593242	2,7	0,50	146	161
6	566397	3593267	3,76	0,50	146	161
7	566422	3593291	3,55	0,50	146	161
8	566451	3593238	2,73	0,50	146	161
9	566214	3593228	7,9	0,45	136	158
10	565959	3595897	17,25	0,39	116	131
11	565952	3595999	18,1	0,39	116	131
12	566030	3595981	18,8	0,39	116	131
13	565992	3595922	17,5	0,39	116	131
14	565948	3595845	16	0,39	116	131
15	565885	3595822	14,7	0,39	126	141
16	565900	3595812	16	0,39	116	131
17	565870	3595774	16	0,39	116	131
18	565858	3595688	15	0,39	116	131
19	565818	3595786	13,8	0,39	126	141
20	565752	3595748	13,9	0,39	126	141
21	565901	3594827	9,2	0,45	126	148
22	565735	3595041	15,4	0,39	116	131
23	565750	3595018	9,45	0,45	126	141
24	565671	3595231	11,55	0,39	126	141
25	565631	3595261	10,7	0,39	126	141
26	565650	3595288	12,1	0,39	126	141
27	565750	3595665	13,2	0,39	126	141
28	565736	3595656	13	0,39	126	141
29	565750	3595619	13,2	0,39	126	141
30	565703	3595686	13,5	0,39	126	141
31	565728	3595707	14,3	0,39	126	141
32	565673	3595595	11,55	0,39	126	141
33	565551	3595633	11,7	0,39	126	141
34	565539	3595621	13,2	0,39	126	141
35	565659	3595622	13,45	0,39	126	141
36	567161	3592181	5,3	0,45	136	149
37	567155	3592230	2,4	0,50	146	157
38	567013	3592248	1,6	0,56	146	157
39	566954	3592184	10,7	0,39	126	141
40	566448	3592500	6	0,45	136	151
41	566348	3592634	8,9	0,45	136	151
42	566380	3593267	3	0,50	146	161
43	566401	3593328	2,8	0,50	146	161
44	566379	3593325	2,9	0,50	146	161
45	566398	3593417	3,6	0,50	146	161
46	566425	3593413	3,7	0,50	146	157
47	566372	3593844	2,6	0,50	146	168
48	566610	3593137	3,5	0,50	146	157
49	566199	3593878	2,3	0,50	146	161
50	568048	3592912	4,3	0,50	146	168
51	568002	3592889	5,1	0,45	136	158
52	569116	3593633	4,6	0,50	136	158
53	569316	3593878	2,8	0,50	146	168
54	569388	3593918	2,1	0,50	146	168
55	570114	3594158	1,8	0,56	146	168
56	570357	3593399	2,6	0,50	146	168
57	570282	3592707	2,2	0,50	146	168
58	570281	3592627	2,7	0,50	146	168
59	570279	3591967	2,3	0,50	146	161
61	570325	3591146	8,2	0,45	136	149
62	570331	3591037	5,3	0,45	136	149



Figure A. 1 : Points de prélèvements des unités industrielles

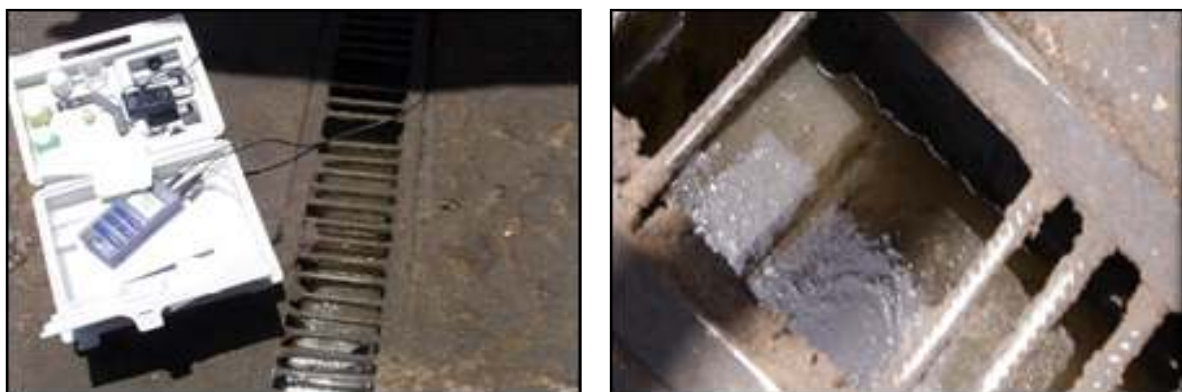


Figure A. 2 : Point de prélèvement de station de prétraitement (Zegait ; 2013)



Figure A. 3 : matériel d'analyse (laboratoire de l'université de Ghardaïa)



Figure A. 4 : Matériel d'analyse au laboratoire (Zegait,2013)