

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID

كلية التكنولوجيا



قسم الري

Faculté de Technologie

Département d'hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de
Master en Hydraulique

Option : Eau, Sol et Aménagement ESA

Protection des eaux de la source d'Ain Fezza

Présenté par :

Mr MEDJAHDI Soufyane

M^{lle} ZIANI Yasmine

Soutenu le : 03 /07/2017 devant les membres du Jury :

Mr M. BESSEDIK

Président

M^{me} K. BABA HAMED

Examinatrice

M^{lle} W.FANDI

Examinatrice

M^{me} F. ADJIM

Encadreur

Mr M. ADJIM

Co-encadreur

Année universitaire : 2016-2017

Remerciements

*Nos remerciements vont en premier lieu à nos encadreurs Mme **Adjim F.** Professeur au département d'hydraulique, et Mr **Adjim.M** pour avoir accepté de nous encadrer, former, et suivis jusqu'à la fin, nous n'avions pas reçu mieux.*

*A Mme **Baba Hamed K.** et Mlle **Fandi W.** d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*A Mr **Benmensor A.** pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance.*

*Nous remercions également Mr **Kazi-Tani L.** Maitre-de conférence du département d'agronomie pour nous avoir accueilli plusieurs fois et donner ses précieux conseils, et que grâce à qui nous avons pu enrichir nos connaissances en pédologie.*

*Nous remercions Mr **Haddouche D.** chef département des ressources forestières*

Qui nous a reçu et conseiller pour l'enquête sur terrain.

Enfin, on remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, on nomme les personnels de l'ADE, LTPO, APC de « Ain Fezza », DRE, ANRH, et la subdivision de Chetouane.

Dédicace

À la mémoire de ma grand-mère qui nous a quittés voilà six ans. Puisse dieu l'accueillir dans son infinie Miséricorde.

À ma mère qui a éclairé ma route par sa compréhension, qui m'a encouragé pour aller de l'avant et m'as donné tout son amour pour aboutir à mes rêves.

À mon père.

À mon oncle et mes tantes pour l'amour et le respect qui m'ont toujours accordé.

À ma chère sœur et mon cher petit frère.

À mes amis pour leurs encouragements et leur sincérité si merveilleuse.

À mon binôme pour son sérieux et ses efforts appréciables

À toute personne qui m'a aidée à franchir un horizon dans ma vie.

Je dédie ce travail.

Soufyane Medjahdi

Dédicaces

A mes parents,

A la génération montante qui persévérera pour la quête des sciences
avant celle des mentions.

Ziani, Y.

Résumé :

La source Ain Fezza ou plus connue sous le nom de Ain Sakhra dans le chef-lieu de la commune d'Ain Fezza située à une douzaine de kilomètres (12 Km) de la ville de Tlemcen est une source naturelle aménagée en une zone de loisir principalement fréquentée par le public venant s'emparer de bouteilles d'eau et dont l'excès est dirigé vers les espaces verts limitrophes. Cette source qui a connu un tarissement début des années 2000 durant la période de sécheresse, a poussé les localités à procéder à la réalisation d'un puits à proximité pour combler le déficit en eau et subvenir aux besoins en irrigation par gravité.

Notre étude s'est basée sur la cartographie de vulnérabilité de cette source qui repose sur la combinaison de plusieurs cartes avec la méthode RISK au moyen du logiciel SIG qui tient compte des paramètres Roche aquifère, Infiltration, Sol et Karstification.

Les résultats de notre étude ont montré une vulnérabilité modérée avec plus de 61% de la superficie totale de notre zone d'étude, suivie par 25% en vulnérabilité élevée, 13 % en vulnérabilité faible et 0.38% de vulnérabilité très faible.

La combinaison de la carte de vulnérabilité et la carte d'aléas de la zone d'étude a permis d'établir une carte de risque des pollutions potentielles autour de la source Ain Sekhra, des risques modérées et faibles. Notre source en question présente des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques très satisfaisante, néanmoins les autres points d'eau montrent des contaminations bactériologiques. Ces points d'eau qui sont mis en communication avec les eaux superficielles par endroit ou sont des ouvrages à parois non étanches telles que les puits à d'autres endroits, prouvent que l'occupation du sol a un rôle sur la vulnérabilité de notre source qui est sujet de notre mémoire.

Mots Clefs :

Ain Fezza, Ain Sakhra, Source, vulnérabilité, cartographie, méthode RISK, SIG.

Abstract:

The source Ain Fezza known as Ain Sakhra in the capital of the city of Ain Fezza is located 12 kilometres from the town of Tlemcen In Algeria, it is a natural source that made into a recreational area that is mainly frequented by the public who take over bottles of water and whose excess is directed towards the adjacent green spaces.

Our study was based on the Vulnerability Mapping of this source, which is based on the combination of several maps using the RISK method and the SIG software, which takes into consideration the parameters Aquifer, Infiltration, Soil and Karstification parameters.

The results of our study showed moderate vulnerability with more than 61% of the total study area, followed by 25% in high vulnerability, 13% in low vulnerability and 0.38% in very low vulnerability.

The combination of the vulnerability map and the hazard map of our study area generated a risk map of potential pollutions around the Ain Sekhra source, with moderate and low risk temperaments.

Our source has very satisfactory physicochemical and bacteriological characteristics, but the other points show bacteriological contamination, these water points which are placed in communication with the surface waters in places or are structures with non-watertight walls such as wells In other places, prove that the occupation of the land has a role on the vulnerability of our source which is subject of our dissertation.

Keywords:

Ain Fezza, Ain Sakhra, water source, vulnerability, cartography, method RISK, SIG.

ملخص

تقع عين فزة أكثر تسمية عين الصخرة التي هي عبارة عن منبع جوفي طبيعي في بلدية عين فزة التي تبعد عن مدينة تلمسان ب (12 كم)، تم تحويلها إلى منطقة ترفيهية يرتادها أساساً من قبل الجمهور للشرب والفائض يوجه لري المساحات الخضراء المجاورة.

عرفت عين الصخرة فترة جفاف حادة بداية السنوات 2000 مما دفع المسؤولين الى تنفيذ مشروع بناء بئر بمحاذاة المنبع وذلك لاسترجاع العجز المائي ومنه توفير الكميات اللازمة من الماء للسقي.

ترتكز دراستنا على رسم خرائط لإمكانية تعرض المياه الجوفية لعين الصخرة للتلوث وذلك باستعمال منهجية RISK التي تأخذ بعين الاعتبار معايير كبنية الصخرة تسلل الماء، طبقة التربة وkarstification.

أظهرت نتائج الدراسة أن 61% من المساحة الإجمالية لمنطقة دراستنا حول عين الصخرة ذات حساسية معتدلة، تليها 25% ذات حساسية مرتفعة، 13% ذات حساسية ضعيفة وأخيراً 0,38% ذات حساسية ضعيفة جداً للتلوث.

أدى تركيب خريطة الحساسية للتلوث وخريطة المخاطر الى نتيجتين: خطر تلوث معتدل وضعيف، التحاليل المائية البكتريولوجية والفيزكماوية لثلاث نقاط، منها عين الصخرة التي تتمتع بجودة مرضية صالحة للشرب، اما النقاط الأخرى فهي تسجل تلوثاً بكتريولوجياً أهم أسبابها تسرب المياه السطحية عليها واختلاطها، او عدم تطهير مياه الآبار للخواص.

الكلمات الدلالية:

عين فزة، عين صخرة، منبع جوفي طبيعي، الحساسية للتلوث, RISK, SIG.

Table des matières

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Introduction général

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines 1

I.1. Introduction : 1

I.2 Réservoirs aquifères : 1

I.3 Systèmes aquifères : 2

I.3.1 Aquifère de socle : 2

I.3.2 Aquifère volcanique : 2

I.3.3 Aquifère Karstique : 3

I.3.4 Aquifère Alluvial : 3

I.4 Alimentation et écoulement des eaux souterraines : 3

I.5 Captage des eaux souterraines : 6

I.5.1 Captage des sources : 7

I.5.2 Captage par forage : 7

I.5.3 Captage par puits : 8

I.6 Conclusion 11

Chapitre II : Pollution et protection des eaux souterraines 12

II.1 Introduction 12

II.2 Pollution des eaux souterraines : 12

II.2.1 Mécanismes et types de pollutions : 13

II.3 Vulnérabilité des aquifères aux pollutions : 13

II.3.1 Notion de vulnérabilité des aquifères aux pollutions : 13

II.3.2 Critères et typologies des vulnérabilités : 14

II.3.3 Vulnérabilité des aquifères karstiques : 15

II.4 Cartographie d'analyse de vulnérabilité :	17
II.4.1 Nécessité de protection des eaux souterraines :.....	17
II.4.2 Cartographie et méthode d'analyse de vulnérabilité :	18
II.5 Protection réglementaire des eaux souterraines :	19
II.5.1 Introduction sur la législation européenne pour la protection des eaux souterraines :	19
II.5.2 Protection réglementaire des captages d'eau potable en France :	20
II.5.3 Synthèse sur les textes législatifs en Algérie pour la protection des eaux souterraines :	21
Chapitre III : Description de la zone d'étude	23
III.1. Présentation de la zone d'étude	23
III.1.1- Présentation de la source Ain Sakhra.....	23
III.1.2- Aperçu sur la zone d'étude délimitée autour de la source Ain Sakhra :	24
III.2- Relief et topographie	25
III.3 Aspect climatique :	26
III.3.1 Les stations climatique retenues :	26
III.3.2 Les précipitations :	27
III.3.3 la température :	28
III.4 - Aspect géologique :	29
III.5- Aperçu Hydrogéologique et hydrochimie :	31
III.5.1- Introduction sur l'hydrogéologie générale de la zone d'étude :	31
III.5.2- Propriétés hydrogéologiques des formations de notre région :	31
III.5.3- Qualité des eaux souterraines :	32
III.6 Contexte hydrologique :	39
III.7 Contexte pédologique	40
III.7.1 présentations des fouilles	41
III.7.2 Principaux caractéristiques des échantillons	43
III.8 Points d'eau et infrastructures hydrauliques :	54
III.9 L'occupation du sol	56
III.9.1 Agriculture	56
III.9.2 Elevage	59
III.9.3 Zones d'activités	60
III.9.4 Population et leur répartition spatiale.....	63
III.9.5 Environnement	63
III.10 Conclusion	65

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)	66
IV.1 Choix de méthode de la cartographie de vulnérabilité :	66
IV.1.1 Introduction	66
IV.1.2 La méthode RISK.....	67
IV.1.3 L'indice de vulnérabilité :	70
IV.1.4 Cartographie des pressions polluantes	70
IV.1.5 Cartographie du risque de vulnérabilité	71
IV.2 Cartographie de la vulnérabilité selon la méthode RISK :	71
IV.2.1 Le Critère Roche aquifère « R » :	71
IV.2.2. Critère Infiltration « I »	73
IV.2.3 : Critère Sol « S »	76
IV.2.4 Critère K.....	79
IV.3 Carte de vulnérabilité « R.I.S.K »	80
IV.3.1 Indice globale de la vulnérabilité	80
IV.4 Cartographie des aléas	84
IV.4.1 Evaluation des risques.....	85
IV.5.2 Poids des aléas selon notre zone d'étude :	85
IV.4.3 Pondération des aléas (calcul d'indice de danger) :	87
IV.5 Cartographie du risque de pollution :	88
IV.5.1 Application sur la zone d'étude	88
IV.5.2 Discussions des résultats :	90
IV.5.3 Conclusion et recommandations	92
Conclusion général	93
Références bibliographiques	95
Annexes :	98

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux.

AEP : Alimentation en eau potable.

A.N.A.T : plan directeur d'aménagement et d'urbanisme wilaya de Tlemcen.

ANRH : Agence nationale des ressources hydriques.

APC : Assemblée communale populaire.

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières.

DRE : Direction des ressources en eaux.

F° : Degré français.

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

LTPO : Laboratoire des travaux publics Ouest.

MNT : Modèle numérique du terrain

OMS : Organisation mondiale de la santé.

ONEMA : Office nationale de l'eau et des milieux aquatiques.

PDAU : Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme.

RN : Route nationale.

SIG : Système d'information géographique.

RISK : Roche aquifère, Infiltration, sol et karstification

TAC : Titre Alcalimétrique complet.

TH : Titre Hydrotimétrique.

TTC : Tiphényl Tetrazolium Chloride.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Alimentation des nappes d'eau souterraines par les précipitations (J.J. Collin, 2004).....	4
Figure I.2 : Exemples de variabilité des temps d'écoulement des eaux souterraines selon les caractéristiques physiques de l'aquifère pour un gradient identique (C.Drogue, 1970).	5
Figure I.3 : Influence d'un pompage sur les niveaux et les écoulements d'une nappe d'eau souterraine (Margat, 1980).	6
Figure I.4 : différents types de captages (Dupont, 1978).	9

Chapitre II

Figure II.1 : périmètres de protection de captage d'eau souterraine pour l'AEP (Roux et al.2006)	20
--	-----------

Chapitre III

Figure III.1 : Source Ain Sakhra (Medjahdi et Ziani, 2017).	23
Figure III.2 : Canaux ouverts à l'intérieur du parc servant à diriger l'eau de la source vers les terres agricoles en aval (Medjahdi et Ziani, 2017).	24
Figure III.3 : Délimitation de la zone d'étude sur la carte topographique 1/50000.	25
Figure III.4 : graphe des précipitations annuelles (poste Chouly) entre 1999 et 2014.....	27
Figure III.5 : courbe de variation des températures moyennes mensuelles de la région (station safsaf)	28
Figure III.6 : géologie du site reprise à partir d'un extrait de la carte géologique de Tlemcen 1/50000.	29
Figure III.7 : trois (03) échantillons récupérés des (source Ain Sekhra, source Ouchba et puits de l'hôtel Ain fezza) pour analyse physico-chimique et bactériologique.	33
Figure III.8 : Absence d'anneau rouge en surface démontrant la présence d'E.coli (Medjahdi et Ziani ,2017)	39
Figure III.9 : réseau hydrographique de notre zone d'étude échelle 1/50000.	40
Figure III.10 : différents coordonnés des fouilles effectués sur carte topographique 1/50000.	41

Figure III.11 : Fouille N°1 localisée dans la ville de « Ouchba » au bord de la route communale Ain fezza-Ouchba. (Medjahdi et Ziani, 2017)	42
Figure III.12 : Fouille N° 2 localisé à Ain fezza au bord de la route communale reliant Ain fezza- Ouchba (Medjahdi et Ziani, 2017)	42
Figure III.13 : Fouille N° 3 à la tarière localisée à Oum Allou, (Medjahdi et Ziani, 2017)	42
Figure III.14 : Planche de la charte Munsell (teinte YR), (Medjahdi et Ziani, 2017).....	43
Figure III.15 : différents essais au HCL sur la terre fine et les roches mère correspondantes	44
Figure III.16 : Différents étapes de l'analyse granulométrie et sédimentométrie (Medjahdi et Ziani, 2017).	48
Figure III.17 : courbe granulométrique résultante pour les fouilles Ouchba (1) et Ain Fezza (2)	49
Figure III.18 : courbe granulométrique résultante pour les fouilles Oum allou ((0-0.10(m)) (3) et oum Allou (0.10-0.24m) (4)	50
Figure III.19 : Triangles textures correspondantes aux quatre fouilles.	52
Figure III.20 : terre agricole irriguée par notre source en question, (Medjahdi et Ziani, 2017).....	58
Figure III.21 : terre agricole à moyenne potentialité à Ain Fezza (Medjahdi et Ziani, 2017)	58
Figure III.22 : Elevage ovin remarqué dans la route communale entre la ville de Ain fezza et Ouchba (Medjahdi et Ziani, 2017)	59
Figure III.23 : petite couverture forestière au nord à une dizaine de mètres de la source Ain Sekhra (Ain fezza), (Medjahdi et Ziani, 2017).....	60
Figure III.24 : Sarl Elalf, société privée gérée par le groupe Kherbouche pour la fabrication et stockage d'aliments pour animaux, route vers Sidi Belabbes (Ain fezza) ^[3]	62
Figure III.25 : carrière opérationnelle (Ouchba), (Medjahdi et Ziani, 2017)	62
Figure III.26 : carte occupation du sol établie à l'échelle 1/50 000.	64

Chapitre IV

Figure IV.1 : carte de vulnérabilité selon l'indice R.....	73
Figure IV.2 : carte topographique de la zone d'étude.....	75
Figure IV.3 : indice de vulnérabilité selon critère d'infiltration « I ».....	76
Figure IV.4 : carte de vulnérabilité selon l'indice « S »	78
Figure IV.5 : carte de vulnérabilité selon l'indice « K ».....	80
Figure IV.6 : carte de vulnérabilité selon la méthode RISK.....	82
Figure IV.7 : carte des aléas classés.....	88

Figure IV.8 : carte de risque de pollution finale	90
--	-----------

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II.1 principaux aquifères et leur vulnérabilité à la pollution (Roux 2006)	15
---	-----------

Chapitre III

Tableau III.1 : Coordonnés degré, minutes secondes du poste pluviométrique Chouly.....	26
Tableau III.2 : Coordonnés degré, minutes secondes de la station Safsaf.	27
Tableau III.3 : Résultats physico-chimiques et bactériologique de la source ‘Ain Sekhra’ ..	34
Tableau III.4 : Résultats physico-chimiques et bactériologique source ‘ Ouchba’	35
Tableau III.5 : Résultats physico-chimiques et bactériologique puits ‘Hôtel Ain fezza’.	36
Tableau III.6 : Tableau résumant les principales caractéristiques des fouilles.	45
Tableau III.7 : résultats analyse sédimentométrie et granulométrie.....	50
Tableau III.8 : tableau résumant les principales dotations et besoins des villes concernés par notre zone d’étude (P.D.A.U, 2011).....	55
Tableau III.9 : Tableau résumant la longueur en ml des conduites de distribution et d’adduction des villes concernés par notre zone d’étude. (P.D.A.U, 2011)	55
Tableau III.10 : Tableau résumant la longueur en ml des conduites de distribution et d’adduction des villes concernés par notre zone d’étude. (P.D.A.U, 2011).....	556

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Classes des critères des roches aquifères.....	67
Tableau IV.2 : Classes des critères d’infiltration « I »	68
Tableau IV.3 : classe de nature de sol selon la texture et la proportion de cailloux (ONEMA, 2005).....	69
Tableau IV.4 : classe de nature de sol selon l’épaisseur (ONEMA, 2005).	69
Tableau IV.5 : classes de critères de Karstification « K »	69
Tableau IV.6 : Les classes de vulnérabilité global selon la méthode RISK	70

Tableau IV.7 : Classes des critères des roches aquifères dans notre zone	72
Tableau IV.8 : Classes des critères d'infiltration « I » dans notre zone	75
Tableau IV.9 : Vulnérabilité Selon le critère « S » dans notre cas	77
Tableau IV.10 : classes de critères de Karstification « K » dans notre cas	79
Tableau IV.11 : Les classes de vulnérabilité global selon la méthode RISK dans notre zone	81
Tableau IV.12 : répartition de la vulnérabilité sur la zone d'étude	83
Tableau IV.13 : Cartographie des risques selon le COST 620	85
Tableau IV.14 : le poids des aléas dans notre zone d'étude	86
Tableau IV.15 : Indices et classes des Aléas	87
Tableau IV.16 : classes des risques	89
Tableau IV.17 : répartition du risque de pollution des eaux souterraine dans la zone étudiée	91

Introduction générale :

Les eaux souterraines constituent la quasi-totalité des stocks d'eau continentale et une part appréciable de leurs flux, majeure en zone aride et composante essentielle des écoulements réguliers partout. Elles sont aussi principale vecteur de transport de matières dissoutes. **(Margat, 1990)**. Leur rôle est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement d'eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays à climat aride **(Travi, 1993 In Tabouche et Achour, 2004)**.

Exutoire des eaux souterraines qui sont les sources, ces dernières forment un lieu d'apparition et d'écoulement d'eaux souterraines à la surface du sol, et sont toujours liée à l'existence d'une nappe **(Ramada, 1998)**, On dénombre pour ce fait plusieurs types de sources dont les sources d'affleurement, les sources émergentes qui apparaissent là où la surface topographique recoupe la surface piézométrique, les sources vaclusienne en terrains karstifiés et les sources filoniennes autrement dites « sources de cassures » **(Luzolo lutete, 2012)**.

Les massifs carbonatés karstiques des monts de Tlemcen en Algérie qui contiennent d'importants aquifères ont été longtemps appelés comme le château d'eau naturel de l'ouest algérien, ils s'étendent sur une superficie de 3000 Km² occupants la partie centrale de la wilaya et sont très arrosés avec 500 à 800 mm par an **(Bensaoula, 2007)**.

La source Ain Sakhra plus connue sous le nom d'Ain Fezza est située dans la commune d'Ain Fezza faisant partie des monts de Tlemcen, c'est une source naturelle alimentant les terres agricoles gravitairement en aval, qui a tarié début des années 2000. Pour ce fait un aménagement a été réalisé, un puits d'une soixantaine de mètre de profondeur a été foré à une dizaine de mètres du point origine de la source pour gérer son écoulement, et simuler son ruissèlement au grand public .En effet, cette source est entourée par un parc de loisirs et détente pour les visiteurs venant se distraire. C'est bien cette source qui va être l'objet de notre étude dans ce mémoire dont l'objectif est d'établir une carte de vulnérabilité à la pollution au moyen du logiciel SIG, en appliquant la méthode de cartographie RISK avec analyses physicochimiques, bactériologiques et géotechniques (granulométrie et sédimentométrie) de quelques point de notre zone d'étude.

Dans le premier chapitre nous avons relaté des généralités sur les eaux souterraines et les captages.

Dans le deuxième chapitre nous formulerons quelques notions sur la pollution des eaux souterraines en citant les principales méthodes de cartographie de vulnérabilité en terminant par les différentes législations européennes et algériennes sur la protection de ces eaux.

Dans le troisième chapitre nous présenterons notre zone d'étude sous plusieurs volets ; situation géographique, géologie, son hydrogéologie, et hydrographie avec résultats des expérimentations effectuées sur quelques points d'eau et fouilles dans notre zone d'étude.

Et enfin un dernier chapitre sur la cartographie de vulnérabilité et risque sur notre zone d'étude que nous avons effectué avec la méthode RISK en relatant les résultats obtenus et concluons avec quelques recommandations.

En dernier point nous avons achevé notre travail par une conclusion générale sur le thème de notre projet de fin d'étude.

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

I.1. Introduction :

Les eaux souterraines constituent le réservoir le plus important d'eau douce au niveau mondial, elles forment aussi un agent géologique général en effet, elles jouent un rôle actif dans le processus géodynamique, grâce à la large distribution spatiale de leur écoulement et à la forte capacité à interagir avec l'environnement (**Toth, 2009**). La nature des aquifères, formés soit par des matériaux consolidés comme le grès, a une influence considérable sur l'écoulement des eaux souterraines et donc sur le comportement de la dispersion des pollutions (**Tsakirglou, 2008**).

Il est donc devenu clair que les eaux souterraines ne doivent être perçues comme un réservoir d'eau potable mais également un écosystème aquatique fragile (**Gilbert, 2001**).

I.2 Réservoirs aquifères :

Un aquifère est à la fois un réservoir et un conducteur d'eau, ce qui le constitue sont les formations géologiques, sédimentaires pour l'essentiel et qui lorsqu'elles sont assez perméable et poreuses ont la capacité de permettre les écoulements verticaux et transversaux.

La quantité d'eau qu'il en magazine (réserve) et le débit qu'il écoule dépendent autant des dimensions (étendue, volume) que de la porosité et de la perméabilité des roches qui le constituent.

Deux principales catégories de réservoirs sont à distinguer :

- Les aquifères homogènes ou continus à perméabilité d'interstices :
Constitués de sables, graviers, grès. etc. C'est le cas des nappes alluviales, les vitesses d'écoulement sont généralement lentes et irrégulières.
- Les aquifères hétérogènes ou discontinus à perméabilité de fissures :
Ils sont constitués de calcaires avec des fissures souvent ouvertes cas des aquifères karstiques qui constituent de véritables conduits souterrains dans lesquels la vitesse de

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

circulation des eaux peut être très rapide et irrégulière mais également de roches volcaniques, granitiques ou gréseuses (**Margat, Roux, 2006**)

I.3 Systèmes aquifères :

Un système aquifère est l'ensemble du champ spatial d'écoulement continu suivant la répartition des potentiels (charges hydrauliques) sous l'effet de diverses impulsions naturelles ou artificielles (**Margat, 2010**).

Les caractères dominants de ces systèmes aquifères comprennent des grandes étendues (les plus grands dépassent 1 million de Km²), d'énormes réserves pouvant offrir des ressources en eau non renouvelables (**Margat, 2008**).

I.3.1 Aquifère de socle :

Les aquifères de socle sont constitués de roches cristallines, plutonique (granites, roches basiques, etc.) ou métamorphique (schiste etc.) constituent les soubassements de tous les continents, elles sont mécaniquement et hydrogéologiquement « des roches dures » (« hard rock » en anglais), elles se caractérisent principalement par une perméabilité de fissures et de fractures, et les aquifères qu'elles renferment sont classiquement considérés comme « discontinus »

Ces aquifères offrent des ressources en eaux souterraines limitées mais utiles à l'alimentation en eau rurale, voire à l'irrigation localisée, en France ces eaux souterraines présentent une minéralisation faible, voire très faible et des pH acides, souvent inférieurs aux normes de potabilité. » (**Lachassagne, Wyns, 2006**)

I.3.2 Aquifère volcanique :

Les aquifères volcaniques comprennent des nappes libres à surface libre et des nappes captives en particulier dans les couches profondes des bassins sédimentaires (**Margat, 2008**), ils se distinguent néanmoins à l'échelle mondiale de galeries des captages qui permettent de recueillir la quasi intégralité des écoulements souterrains au sein d'une paléo-vallée et de les rediriger,

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

souvent de manière gravitaire vers les lieux de consommation. Ce mode de captage requiert de lourd investissement, mais assure des rendements très élevées (**Lachassagne, al. 2006**)

I.3.3 Aquifère Karstique :

Les karsts correspondent à des aquifères discontinus comportant des réseaux souterrains de cavités et chenaux plus au moins complexes et très conducteurs, le plus souvent ces aquifères sont compartimentés et divisés en systèmes aquifères d'extension limitée. Ces aquifères captent en général la majeure partie des précipitations qui arrosent les plateaux et massifs le surplombant. Leurs émergences sont le plus souvent concentrées et forment les sources les plus abondantes connues sur terre, avec des débits moyens qui peuvent atteindre plusieurs m³/s (**Margat 2008**)

Les grottes sont des points d'observations privilégiés du milieu karstique qui contribuent à comprendre comment les écoulements souterrains organisent progressivement les vides dans lesquels les eaux circulent et s'accumulent (**Bakalowicz.1996**).

I.3.4 Aquifère Alluvial :

On réserve le terme d'alluvions à des roches meubles (non cimentés) avec une granulométrie le plus souvent hétérogène (**Collin, 2006**).

Ces aquifères alluviaux sont les plus répandus et les plus sollicités dans le monde, ils sont en général des nappes à surfaces libre et peu profonde (de quelques mètres à quelques dizaines de mètres) ou parfois des nappes captives locales. Ils sont alimentés par les infiltrations des eaux météoriques qui en zones humides peuvent dépasser 200 mm/an en moyenne, ils peuvent conduire à des émergences à gros débit ou, en zones littorales, ils peuvent participer à des écoulements souterrains affluant directement dans les océans (**Margat, 2008**).

I.4 Alimentation et écoulement des eaux souterraines :

Les nappes libres sont principalement alimentées par l'infiltration dont le terme reste imprécis car il désigne à la fois le phénomène d'imbibition des sols superficiels (zone

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

d'infiltration ou zone non saturée) et celui d'atteinte de la surface de la zone saturée en permanence qui est la nappe d'eau souterraine (**Gilli, 2008**)

Les nappes captives sont également alimentés par les eaux d'infiltration mais uniquement les zones d'affleurement à nappe libre de leur aquifère ; mais elles peuvent l'être aussi par drainance des aquifères supérieurs.

Cette infiltration qui vient d'une partie des eaux de pluies, qui compte tenu de l'évapotranspiration (**Figure I.1**), sont surtout efficaces entre les mois d'octobre et avril où l'infiltration est facile, cependant, dans les aquifères très fissurés les épisodes pluvieux des mois de printemps et d'été peuvent recharger momentanément les réservoirs aquifères (**Collin, 2004**).

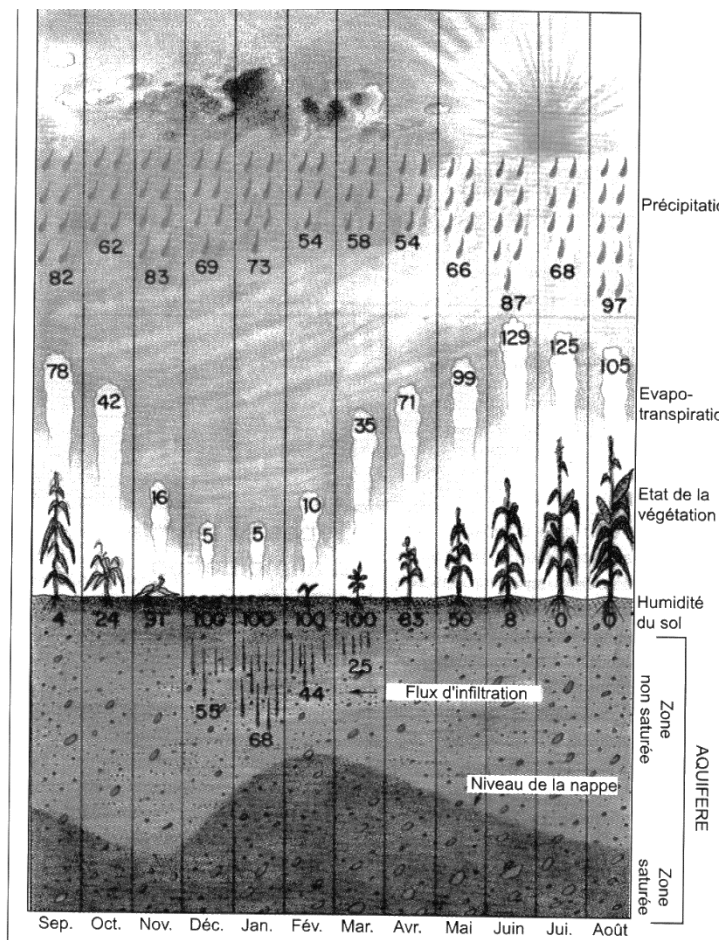


Figure I.1 : Alimentation des nappes d'eau souterraines par les précipitations (J.J. Collin, 2004).

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

Les eaux souterraines ne sont généralement pas immobiles, elles s'écoulent dans les aquifères par le biais de différences de pressions ou d'élévation du niveau de la nappe, et peut être ralenti par divers obstacles entre le point de recharge à sa sortie de l'aquifère comme les lentilles d'argiles présentes dans des couches sableuses, ou bien les formations imperméables telles que les schistes stoppent complètement tout écoulement.

Le débit d'écoulement des eaux souterraines dépend de la perméabilité et de la porosité des aquifères et du gradient de pression (**Figure I.2**) A titre d'exemple, des aquifères fortement perméables tels que les roches calcaires, répondent rapidement aux changements de taux de recharge, et les niveaux des eaux souterraines dans ces zones peuvent fluctuer de 10m à 50 m par an (**Irish, 1999**).

Les sources sont les exutoires naturels des aquifères.

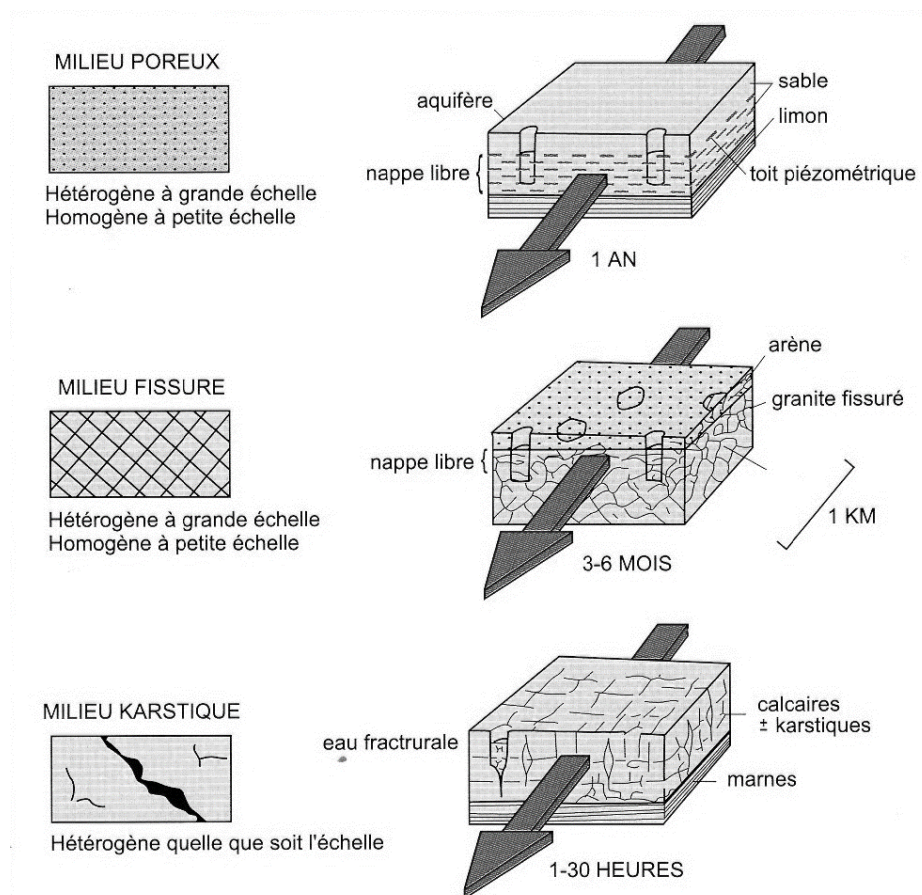


Figure I.2 : Exemples de variabilité des temps d'écoulement des eaux souterraines selon les caractéristiques physiques de l'aquifère pour un gradient identique (C.Drogue, 1970).

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

I.5 Captage des eaux souterraines :

Capter l'eau, c'est détourné son cours naturel. C'est le but des ouvrages tels que les puits, galeries et forages, mais aussi les sources captées qui sont le plus souvent aménagés par des chambres de captages ou complétés par des forages améliorant leur exploitation (**Roux, 2006**).

Chaque captage constitue un cas particulier, en fonction des caractéristiques topographiques et hydrogéologiques de son environnement. Leur présentation reste donc schématique et relativement globale. (**Eric, 2008**)

Le captage d'une source ne modifie pas les conditions d'écoulement dans l'aquifère, mais tarit ou diminue le débit du ruisseau auquel elle donne naissance.

Par contre le pompage dans un puits, un forage modifie l'état d'équilibre, inverse en partie les directions d'écoulement, et provoque un cône de rabattement de la nappe en forme d'entonnoir dissymétrie (**Figure I.3**)

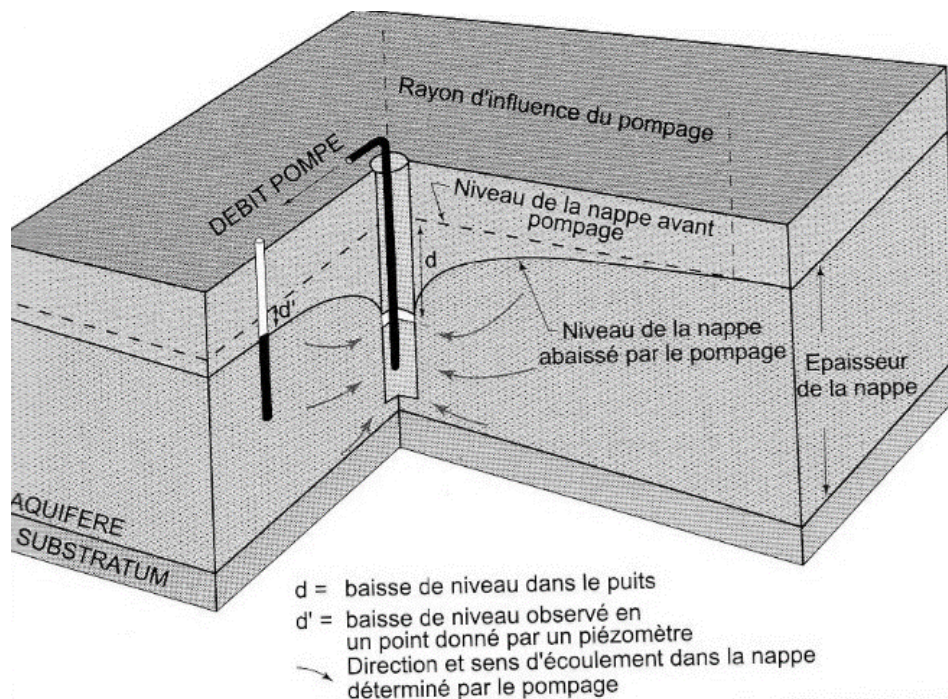


Figure I.3 : Influence d'un pompage sur les niveaux et les écoulements d'une nappe d'eau souterraine (Margat, 1980).

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

I.5.1 Captage des sources :

Une source est un milieu d'apparition et d'écoulement d'eau souterraine à la surface du sol, elle est toujours liée à l'existence d'une nappe et peut être située au mur ou au toit du réservoir aquifère. **(Ramade, 1998)**.

Une eau de source est définie selon le **(journal officiel algérien ,2004)** étant une eau d'origine exclusivement souterraine, apte à la consommation humaine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution.

Dans le cas d'une source karstique issu d'une grotte de façon très concentrée, le captage se limite à un prolongement bétonné du lit de la rivière souterraine, souvent après édification d'un petit barrage frontal destiné à créer une réserve tampon, favorable à une dérivation vers un canal ou à l'immersion d'une crépine de prélèvement.

Lorsque l'émergence provient d'une fissure ou d'une zone de fissures très localisée (réservoirs karstiques et fissurés), le site productif est chapeauté par un ouvrage de captage dont la géométrie dépend directement des caractéristiques locales. Celui-ci est suffisamment encastré dans le rocher.

I.5.2 Captage par forage :

Les forages se caractérisent par leurs diamètres inférieurs à 1m et généralement compris entre (0.2 et 0.5 m) en comparaison avec leur profondeur qui peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres rarement plus de 1000 mètres (hormis pour la géothermie et en exploitation pétrolière).

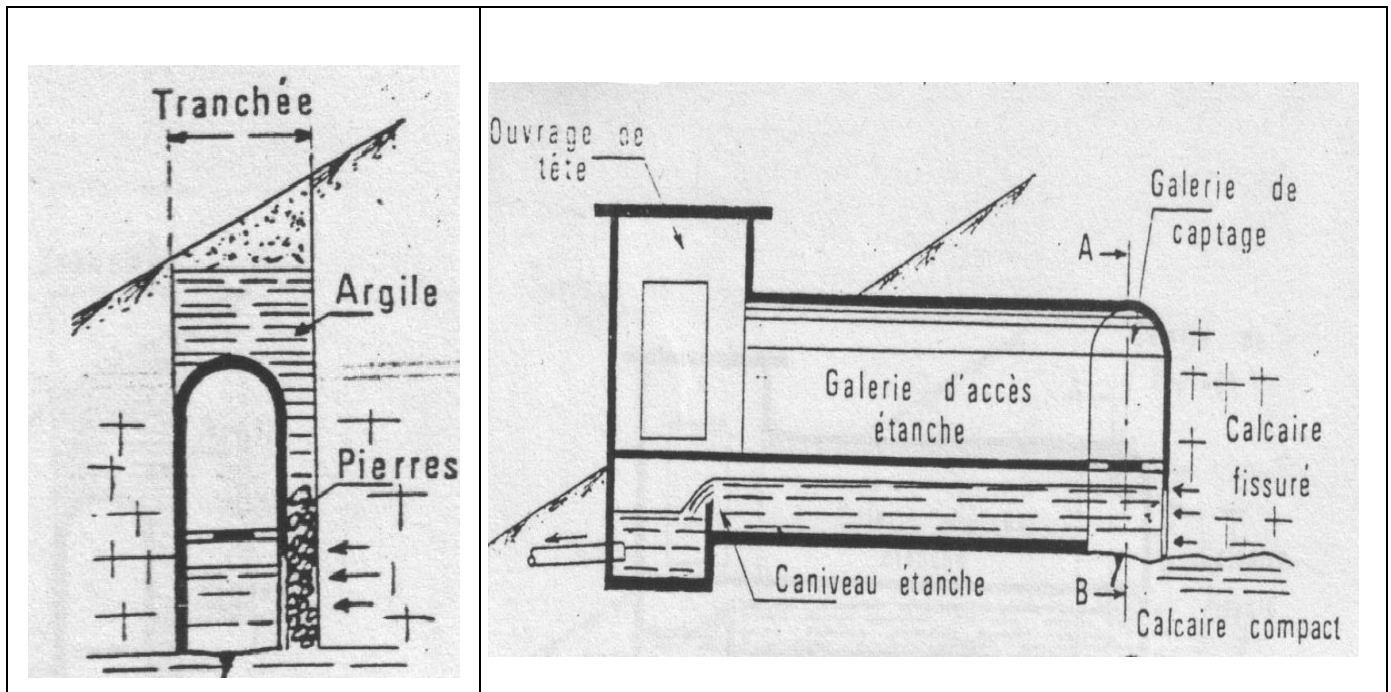
Ces ouvrages permettent donc d'accéder à toutes les nappes souterraines, aussi bien libres que captives. Ils peuvent solliciter des horizons aquifères bien déterminés à l'aide de tubes crépinés, en isolant les nappes indésirables par des tubages pleins et des cimentations. De même une cimentation annulaire est-elle réalisée en partie supérieure pour éviter l'apport d'eaux superficielles **(Gilli, 2008)**

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

I.5.3 Captage par puits :

Un puits est un ouvrage de captage qui pénètre verticalement dans la nappe, il offre généralement un diamètre entre 1 à 6m et une profondeur limitée à quelques mètres ou quelques dizaines de mètres, mais certains peuvent atteindre des centaines de mètres pour des terrains rocheux.

La principale difficulté de sa réalisation résulte de la nécessité d'évacuer l'eau dès qu'il pénètre dans la nappe. C'est pourquoi les ouvrages les plus anciens ne descendaient guère au-delà de cette limite et n'étaient captant que par leur base. (Gilli, 2008)



Captages de sources :(1) écoulement diffus,

(2) écoulement ponctuel

(Extrait de : Hydraulique urbaine de Dupont 1978)

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

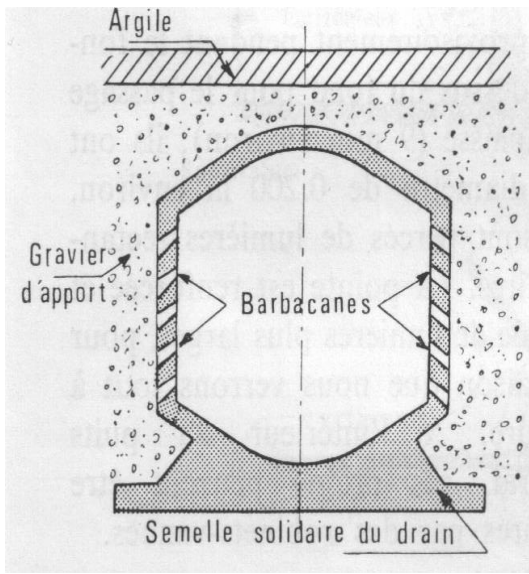
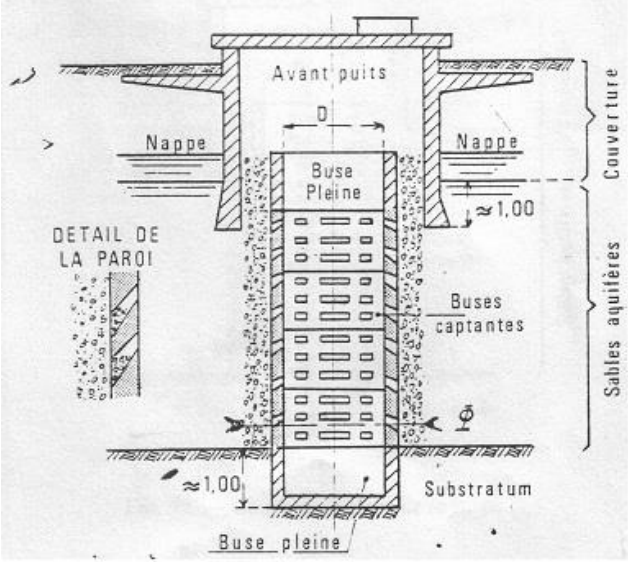
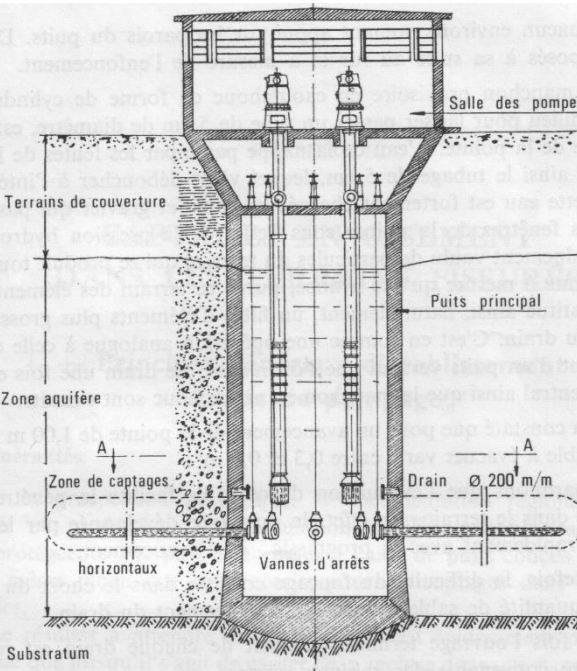
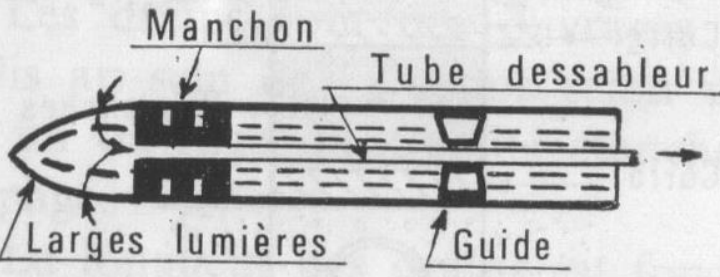
	
<p>Captage par drain</p>	<p>Captage par puits classique (Extrait de : Hydraulique urbaine de Dupont 1978)</p>
	
<p>Puits à drains rayonnants</p>	<p>Détail de la tête d'un drain (Extrait de : Hydraulique urbaine T1 Dupont 1978)</p>

Figure I.4 : différents types de captages (Dupont, 1978).

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

I.5.4 Entretien des captages :

Il est fréquent que la productivité des ouvrages de captage présente une dégradation au cours du temps. Cette évolution est provoquée par un colmatage obstruant les voies d'eau et/ou par une corrosion des organes drainants d'un forage. Elle dépend des conditions d'exécution du captage, de la composition chimique de l'eau souterraine et du mode d'exploitation de l'ouvrage.

• Dans le cas des captages de sources et des tranchées et galeries drainantes, la perte de débit résulte généralement d'un colmatage, dont les origines peuvent être diverses :

– physico-mécanique, lorsque c'est l'entraînement des particules fines du terrain qui diminue l'ouverture des barbacanes ou l'indice des vides du matériau drainant ;

– physico-chimique, lorsque l'obstruction est réalisée par un dépôt qui résulte de la précipitation de carbonates ou de sulfates de calcium ou de magnésium, ou encore d'hydroxydes de fer ;

– biochimique, lorsque le colmatage provient de boues gélatineuses résultant du cycle biologique de certains micro-organismes, en particulier lorsque les eaux contiennent des sels de fer (bactéries ferriques).

Il est donc fondamental de prévoir les possibilités de son entretien ultérieur, lors de la conception d'un ouvrage. De même convient-il de ne pas végétaliser un champ de captage et d'y enlever régulièrement la végétation arbustive ou arborée qui s'y implante naturellement, car les racines offrent une très forte capacité de pénétration où elles facilitent en outre la précipitation de dépôts chimiques.

Un contrôle préventif de la qualité de l'eau est aussi nécessaire, l'exploitant doit s'assurer que des analyses de l'eau sont effectuées avec plusieurs niveaux de contrôle (analyses routinières sur site et analyses chimiques et bactériologiques au laboratoire) avec analyses exceptionnelles lors des incidents comme un changement de couleur de l'eau ou problème de santé chez les utilisateurs. **(Extrait référentiel technique nationale, 2013).**

Chapitre I : Généralités sur les eaux souterraines

- Dans le cas des puits et des forages, les mêmes processus interviennent et peuvent être aggravés par les conditions de pompage, en particulier l'entraînement de fines dans la zone de fort rabattement et la formation de précipités générée par les dépressions.

- ✓ Les puits, du fait de l'ouverture des barbacanes de leur partie captante, sont sujets au risque d'ensablement ou d'envasement de leur partie inférieure ou de leur massif filtrant périphérique.

- ✓ La sensibilité des forages tient également au risque de corrosion des parties métalliques de leur équipement (tubages de soutènement, tube de refoulement, dispositif de pompage), lorsque l'eau prélevée est chimiquement ou bactériologiquement agressive ou par réactions électrolytiques si les constituants sont multiples.

Le seul moyen d'éviter ou d'atténuer ces effets consiste à agir sur la réalisation de l'ouvrage captant et sur son mode d'exploitation : choix des équipements (matériaux constitutifs, joints d'isolation, protection cathodique ou revêtement de surface des tubes), choix de la crépine et du fourreau de gravier, développement prolongé du forage avant exploitation, adaptation du régime de pompage.

Les procédés de rénovation sont nombreux, mais d'une efficacité toute relative :

Grattage mécanique des parois, des barbacanes et des crépines, pompage alternatif ou injection d'air comprimé ou d'eau sous pression, injection de produits chimiques sélectifs (acide chlorhydrique, acide sulfamique, polyphosphates, chlore) (Gilli, 2008).

I.6 Conclusion

En dépit des principales difficultés dont la modeste productivité des aquifères de socle par rapports aux autres aquifères, le manque de connaissance des techniques d'implantation de forages dans les formations volcaniques, et la sensibilité des aquifères karstiques aux pollutions et à la surexploitation ; des enjeux restent encore à venir concernent la compréhension des structures et du fonctionnement de tous types d'aquifères à l'échelle du bassin versant et sous bassins versant pour la mise au point de méthodologies et d'outils destinés à leur gestion quantitative et qualitative et pardessus tout leur protections.

Chapitre II : Pollution et protection des eaux souterraines

II.1 Introduction

La protection des paramètres physico-chimiques de l'eau adaptés à ses différentes utilisations est de plus en plus considérée, en particulier en ce qui concerne l'alimentation humaine. Elle débouche sur des études d'impacts avant la mise en œuvre de projets susceptibles d'altérer la ressource en eau (décharges, rejets de substances polluantes, stockages dangereux...) et sur la définition de périmètres de protection destinés à sécuriser les captages pour l'alimentation des eaux potables. D'où la nécessité d'une gestion intégrée des nappes, c'est dont nous allons relater dans ce chapitre en énonçant les mécanismes et typologie des pollutions des eaux souterraines, la cartographie pour l'analyse de vulnérabilité, et les textes législatifs décrétés pour leur protection.

II.2 Pollution des eaux souterraines :

Bien que la pollution des eaux superficielles soit très perceptible, attire de suite l'attention sur les dangers et les mesures à prendre pour la combattre. La pollution des eaux souterraines est moins apparente, de telle sorte que la tendance générale est de la négliger. Mais elle n'en est pas moins dangereuse, car elle atteint les ressources les plus précieuses par leur qualité et la nature de leurs réserves (**Schoeller, 1971**)

généralement moins facilement/rapidement polluées que les fleuves et les rivières, elles contiennent souvent des concentrations élevées en éléments dissous provenant des roches qu'elles ont traversés (**Chery, 2006**), les pollutions sévères peuvent donc affecter la qualité des eaux souterraines en effet dès que les polluants ont atteint la nappe phréatique, il peut se passer de nombreuses années avant qu'ils soient chassés de l'aquifère, la récupération peut donc prendre beaucoup de temps (**Irish, 1999**)

II.2.1 Mécanismes et types de pollutions :

Les pollutions des eaux souterraines peuvent être d'origine diffuse (engrais, phytosanitaires... etc.) du fait de leur extension et de leur action permanente, ponctuelles (décharges, industries... etc.) et linéaires (routes, voies ferrées, cours d'eau) (**Guillemin, Roux, 1992**) et avoir un caractère permanent ou accidentel.

Une pollution à la surface du sol devra traverser toute une série de barrières naturelles avant d'atteindre la nappe alors que des contaminants apportés plus en profondeurs (fuite de réseaux enterrés, mise en communication par des forages non isolés de nappes superposés) auront un potentiel bien plus important.

Différents catégories de polluants peuvent être distinguées :

- métaux lourds (produits industriels, impuretés des fertilisants, résidus miniers...).
- substances organiques (hydrocarbures, produits phytosanitaires...).
- substances inorganiques solubles (fertilisants).
- Gaz solubilisés dans les pluies ou aérosols, bactéries, virus.

La prise en compte de la nature des polluants est primordiale pour appréhender l'impact d'un rejet vers la nappe, car le transfert de la pollution dépendra du comportement du polluant dans le milieu, comportement lié à la nature et aux propriétés physico-chimiques du produit, et aux interactions physico-chimiques et biochimiques (polluant-milieu).

II.3 Vulnérabilité des aquifères aux pollutions :

II.3.1 Notion de vulnérabilité des aquifères aux pollutions :

La vulnérabilité d'une nappe souterraine aux pollutions est fonction de facteurs et caractéristiques du milieu aquifère, en l'occurrence de la couverture du sol et de la zone non saturé surmontant la nappe, qui déterminent la plus au moins facilité d'accès d'une pollution à la nappe.

Chapitre II : Pollution et protection des eaux souterraines

Cette pollution est supposée se produire au-dessus de la nappe (surface du sol, partie supérieure de la zone non saturée). C'est le sens strict du mot « vulnérabilité ». Comme la propagation horizontale de la pollution dans la nappe qui n'est pas prise en compte dans l'appréciation de « vulnérabilité » : il s'agit donc d'un élément de l'analyse du risque d'extension de la pollution dans la nappe et plus particulièrement vers les captages prélevant l'eau dans cette nappe en aval de la source de pollution.

Dans l'étude de « vulnérabilité » il s'agit de prendre en compte que les facteurs permettant de favoriser ou de ralentir l'infiltration verticale dans la zone non saturée d'une eau chargée en polluant, et son entrée dans la nappe. **(Roux, 2006)**

II.3.2 Critères et typologies des vulnérabilités :

Les trois critères à prendre en compte, qui déterminent la vulnérabilité des aquifères sont :

- Conditions de surface et sub-surface :
 - Topographie : pente du sol conditionne l'aptitude au ruissellement des eaux de pluie.
 - Pédologie : épaisseur de formations superficielles, structure, texture, perméabilité vertical, qui conditionnent l'infiltration et l'aptitude à l'auto-évaporation par adsorption, dégradation organique.
- Zone non-saturée :
 - profondeur de la nappe ; perméabilité verticale ; structure : milieu poreux ou fissuré, faciès, discontinuité.
- Zone saturée :
 - type de nappe (libre ou captive) ; épaisseur de l'aquifère ; recharge ; paramètres hydrodynamiques : perméabilité, porosité efficace, gradient hydraulique. **(Roux, 2006)**

Tableau II.1 principaux aquifères et leur vulnérabilité à la pollution (**Roux 2006**)

Nappes alluviales	La vulnérabilité à la pollution est la plus grande en raison généralement, de leur absence de protection, de leur faible profondeur, et du risque de propagation rapide de la pollution du cours d'eau.
Nappes libres des aquifères calcaires très fissurés	Terrains dans lesquels la pollution parvient à se propager rapidement et peut s'étendre sur de grandes distances. Risque de pollution immédiate.
Nappes libres peu profondes (<50m)	Nappes dans lesquelles la pollution parvient et se propage plus lentement, filtration importante : sables, grès
Nappes de terrains perméables et peu perméables	Calcaires, marnes, sables, argiles, schistes, où la pollution se propage rapidement par les eaux de surface
Terrains éruptifs et métamorphiques	Granites, gneiss, schistes, calcaires. Risques de pollution en principe limité aux eaux de surface. Toutefois, possibilité de pollution des eaux souterraines par infiltrations dans les fissures.
Terrains peu perméables ou imperméables	Dans lesquels la pollution affecte surtout les eaux de surface ; marnes et argiles des terrains sédimentaires protecteurs des nappes captives

II.3.3 Vulnérabilité des aquifères karstiques :

Le karst a souvent été considéré comme un aquifère à risques car il est réputé particulièrement sensible aux pollutions, leur vulnérabilité est systématiquement mise en avant et présentée comme le défaut majeur qui doit inciter à rechercher d'autres ressources en eau. (**Bakalowicz, 2002**).

- **Difficultés propre aux aquifères karstiques :**

L'exploitation de tout aquifère se fait par l'intermédiaire d'ouvrages qui en drainent une partie du flux hydraulique. Dans tous les cas, cela implique une pénétration plus ou moins importante dans la masse de la roche aquifère les problèmes que cela pose dans le cas particulier des aquifères karstiques, comme :

* **la résistance mécanique de la roche**, et c'est une des raisons qui ont retardé l'exploitation des aquifères karstiques par les méthodes de creusement manuel. En Algérie, c'est la situation qui a prévalu jusqu'en 1950 dans tous les grands massifs.

* **Profondeur assez forte des niveaux piézométriques**, par l'existence de fissures élargies par la dissolution jusqu'à former de véritables chenaux qui peuvent atteindre une extension considérable. Elle constitue un facteur défavorable pour l'exploitation par de simples puits creusés à la main.

* **Très grande hétérogénéité du milieu** : Par exemple, dans les dolomies de Tlemcen, on recoupe en moyenne une dizaine de niveaux très fissurés par kilomètre foré (ces niveaux se marquent clairement au cours des travaux de forage par la perte totale de la boue de forage).
(Collignon, Bernard, 1987)

- **Variation de la composition chimique des eaux dans les aquifères karstiques :**

L'eau circulant dans un conduit d'un système karstique résulte néanmoins d'un mélange entre l'eau qui a effectué un parcours rapide au sein d'un conduit et de l'eau qui provient des sols et a effectué un parcours lent dans les microfissures de la roche.

Les proportions entre les deux types d'eau varient en fonction du régime hydrique de la source. En période de basses eaux l'eau provient majoritairement de la roche et sera proche de l'équilibre avec la calcite, à l'inverse, en période de crue, la majeure partie de l'eau transite rapidement par les conduits et sa composition sera proche de l'eau météorique.

D'une façon générale plus la composition de l'eau est stable et proche de la saturation avec la calcite plus les conduits sont petits et mal connectés.

Chapitre II : Pollution et protection des eaux souterraines

A l'inverse les sources dont la chimie varie fortement sont caractéristique de conduits principalement de fort diamètre. **(Olivier, 2015)**

Du fait de la rapidité des écoulements et de l'absence de filtration, la vulnérabilité des aquifères karstiques d'une manière générale dépendent de :

De l'existence ou non d'une couverture peu perméable ou d'un colmatage partiel de la zone non saturée.

Du degré d'organisation du drainage des eaux souterraines ;

De l'importance du karst noyé.

Par conséquent, il est important de connaître le fonctionnement et la structure des systèmes karstiques de façon à évaluer avec plus de précision possible leur vulnérabilité générale. Lorsque cette vulnérabilité n'est pas homogène dans l'espace, il est de ce fait possible de délimiter, en termes de probabilité, les zones les plus ou moins vulnérables, les traçages permettent d'affiner cette zonation mais surtout de préciser les vitesses de transits. **(Quevaullier, 2010).**

II.4 Cartographie d'analyse de vulnérabilité :

II.4.1 Nécessité de protection des eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont souvent perçus comme une ressource inépuisable, nettoyé par l'action purificatrice (filtration) des aquifères, et maintenue comme une sorte de lac ou de rivière souterraine. Ces perceptions ne reflètent pas la vérité, ce qui peut avoir un effet sur la façon dont l'utilisation de la ressource est abordée, générant des problèmes sans qu'ils aient pu être anticipés.

La plus part des malentendus sont liés à une mauvaise compréhension de la taille des aquifères, la distribution des nappes en leur sein et des échelles de temps sur la base desquelles les systèmes des eaux souterraines fonctionnent **(Buck et Moench ,2000).**

La protection des nappes phréatiques repose donc sur deux composantes qui sont étroitement liés :

- La protection des terres en surfaces, basée sur des connaissances hydrogéologiques et des informations sur les aquifères et leurs vulnérabilité.
- Les mesures de protection des eaux souterraines vis-à-vis des activités potentiellement polluantes, les exigences en matière d'évaluation des risques et le cas échéant. (Quevaullier, 2010)

II.4.2 Cartographie et méthode d'analyse de vulnérabilité :

Les méthodes de cartographies sont généralement basées sur la combinaison de cartes et de référentiels hydrogéologiques (Marchet, 2002) qui permettent de rendre mieux explicites les conséquences de la nature et de ses structures du sous-sol (propriétés des roches telles que porosité, fissuration, perméabilité, et également niveau des structures régionales telles que l'épaisseur, l'étendue et la profondeur des couches géologiques, et aquifères associés (Margat, 2008).

Et de divers autres paramètres (critères de vulnérabilité) en donnant un index numérique à chaque paramètre, cette combinaison qui se fait au moyen de logiciel de traitement multicritères (SIG par exemple).

La combinaison de ces informations permet en utilisant une méthode d'analyse de risques, d'évaluer la probabilité de pollution de l'aquifère vis-à-vis de certains polluants, et, aussi de définir des mesures telles que la mise en place d'un réseau de contrôle et d'alerte ou de mesures de prévention au niveau des sites telles que les dispositions de rétention et de traitement (Lallemand-Barrès, 1994). Dans ce but de nombreuses méthodes normalisés ont été développés parmi les quelles DRASTIC, SINTACS, GOD, EPIK, et RISK dédiés spécifiquement aux aquifères karstiques et vont 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 affectant la vulnérabilité (Dessargues, 2000).

II.5 Protection réglementaire des eaux souterraines :

La protection de la qualité des eaux souterraines passe d'abord obligatoirement par la stricte application des réglementations générales existantes en matière d'urbanisme, d'agriculture, d'activités industrielles, de stockage, visant à protéger qualitativement la ressource en eau souterraine.

II.5.1 Introduction sur la législation européenne pour la protection des eaux souterraines :

Le cadre réglementaire de l'Union européenne sur la protection des eaux souterraines a été développé en premier lieu à la fin des années 1970 par l'adoption de la directive 80/68/CEE sur la protection des eaux souterraines contre les pollutions causées par certaines substances dangereuses (**Commission européenne, 1980**). Cette directive établit un cadre de protection des eaux souterraines par une obligation de prévention de l'introduction (directe ou indirecte) de polluants dangereux et de limitation de l'introduction d'autres polluants afin d'éviter la pollution des eaux souterraines par ces substances.

Une étude générale de l'Etat des ressources des eaux souterraines a été réalisée en Europe en 1982, consistant en un programme d'évaluation de la quantité de la ressource (**Commission européenne, 1982**).

Depuis sa publication, l'attention en Europe (ainsi qu'aux Etats Unis) s'est également tournée vers les aspects qualitatifs, et des programmes de surveillance de la qualité des eaux souterraines se sont mis en place, ainsi que des schémas de protection. Le besoin d'action supplémentaire pour éviter la détérioration à long terme de la qualité et la quantité des ressources en eau douces a été reconnu début des années 1990. Par le biais d'une proposition de programme d'action pour la protection et la gestion intégrée des eaux souterraines en 1996, la commission européenne a souligné la nécessité d'établir des procédures réglementaires concernant le prélèvement des eaux douces et la surveillance de la qualité et la quantité. C'est bien ces considérations qui ont coïncidé avec les discussions qui allaient mener à une proposition de directive établissant un cadre pour la politique européenne dans le domaine de l'eau (future directive cadre sur l'eau ou DCE). (**Commission européenne, 2000 In Protection des eaux souterraines Quevaullier, P. 2010**).

II.5.2 Protection réglementaire des captages d'eau potable en France :

La zone de captage des eaux souterraines captées pour la distribution d'eau potable fait l'objet d'une réglementation spécifique qui renforce la réglementation générale.

Cette réglementation dont l'origine remonte à 1924, et a été complétée principalement par les lois sur l'eau en 1964 et de 1992, préconise la délimitation immédiate et rapprochée (obligatoires) et éloignée (facultatif) autour des nappes, captages ou sources, (**Figure II.1**).

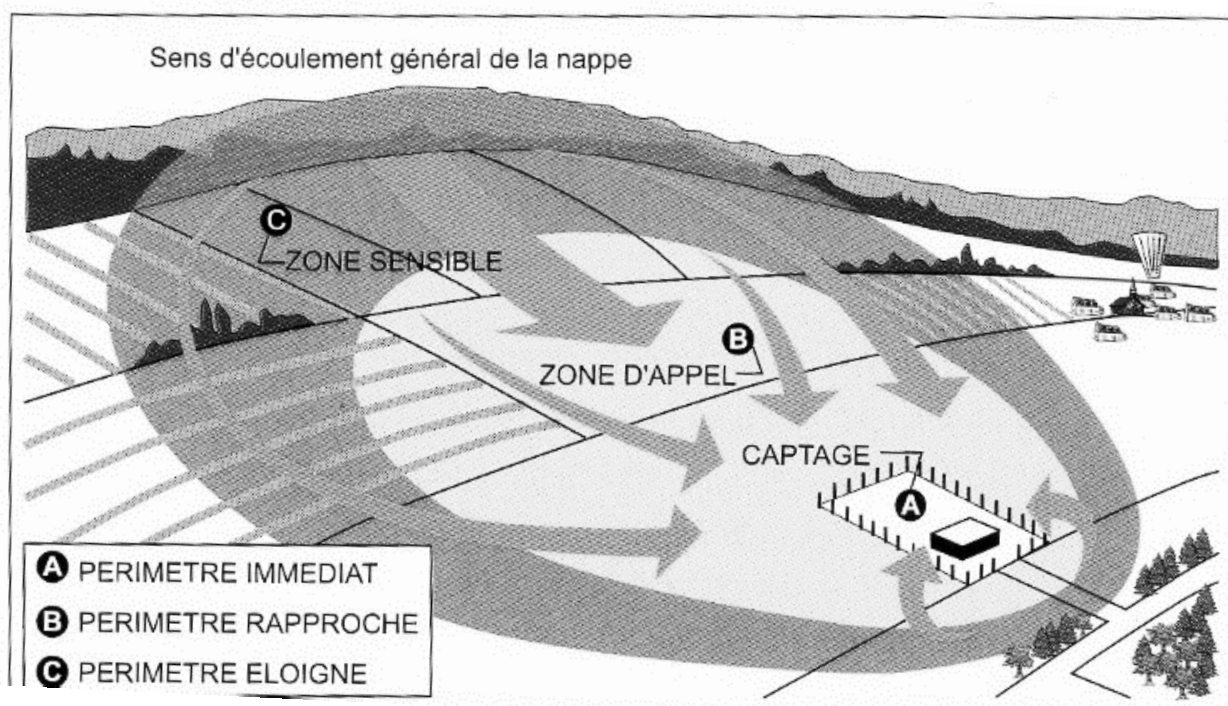


Figure II.1 : périmètres de protection de captage d'eau souterraine pour l'AEP (Roux et al.2006)

Dans les périmètres de protection définis par des « hydrogéologues » agréés, des activités et des installations qui pourraient nuire à la qualité des eaux captées peuvent être interdites (périmètres immédiats et rapprochés) ou réglementées (périmètre éloigné), concernant notamment l'exécution de forages, les pratiques culturales, l'urbanisation, les carrières, installations industrielles, les stockages et épandages, en fonction du contexte de l'aquifère et de sa sensibilité aux activités humaines c'est-à-dire de sa vulnérabilité

Chapitre II : Pollution et protection des eaux souterraines

Ces périmètres de protection font l'objet ensuite d'un arrêté de déclaration d'utilité publique, et sont inclus dans les plans d'occupation des sols. (Lallemand-Barrès, Roux. 1994)

II.5.3 Synthèse sur les textes législatifs en Algérie pour la protection des eaux souterraines :

Depuis 1983 l'Algérie a adopté un cadre réglementaire pour la protection des eaux souterraines en publiant des décrets dans le journal officiel. Les premiers arrêtés sont venus pour délimiter les périmètres de protections autour des forages et sources avec interdiction d'activités susceptible d'altérer la qualité des eaux. En 2004 par exemple des articles ont été dégagés pour les exploitants de sources naturelles minérales pour commercialisation, ces derniers doivent avoir un cahier de charge comportant toutes les informations techniques sur la sources minérale telles que les installations de pompage, débits d'exploitation, délais de production, et le plus important tous les ouvrages que doit contenir le périmètre de protection, avec surveillance des eaux minérales, en proposant des mesures de contrôle pour la stabilité et la quantité des eaux exploités ainsi que les installations destinés au captage, enfin des sanctions ont été relatés pour les exploitants qui n'ont pas utilisés leur eau de plus de deux années, ou lorsque des analyses d'eau n'ont pas été effectués et consigner soigneusement dans le cahier de charge.

En 2005, des mesures de protection ont été citées dans l'article 2 où des définitions de périmètres de protections à savoir les périmètres de protection quantitative et qualitative ont été renseignées.

Ci-dessous quelques décrets :

- **Loi N° 83-17 du 16 juillet 1983 du code des eaux :**

Cette loi a tracé les grandes lignes concernant la protection des ressources en eaux souterraines à travers les articles 109 jusqu'à 124 et a défini le périmètre de protection comme un contour délimitant le domaine géographique à l'intérieur duquel est réglementée toute activité susceptible de porter atteinte à la conservation qualitatif des ressources en eau, dont l'exploitation des carrières, installations des conduites d'eau usées, épandages de fumier et établissement de toute construction.

- **La loi 05-12 du 4 septembre 2005 relatif à l'eau :**

Il a pour objectif de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale, et elle a à assurer et réglementer les ressources par des périmètres de protection quantitative et qualitative.

- **Le décret exécutif N°07-399 du 23 décembre 2007 :**

Ce décret a pour objet de fixer les modalités de création et délimitation des périmètres de protection qualitatives (immédiat, rapproché, éloigné) des ressources en eau ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans ces périmètres.

- **Le décret exécutif N°15-207 du 27 juillet 2015 :**

Ce décret est relatif à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable et a pour objet de fixer les modalités d'initiation et l'élaboration du plan nationale d'action environnemental et de développement durable.

II.6 Conclusion

La sollicitation accrue des nappes souterraines et les prélèvements excessifs principalement dans certains aquifères ne sont pas toujours adaptés à leurs conditions de recharge et peuvent conduire à l'appauvrissement des réserves disponibles, de même que pour les périmètres de protection mis en place pour la protection des captages. Celle-ci reste encore très lente pour cause, les retards étaient dus aux conflits d'usage entre les utilisateurs du sol et les servitudes liées à la protection des captages et au coût des études et travaux en France par exemple, ou bien à la durabilité des périmètres de protection d'où la nécessité d'une sensibilisation des personnes habitant dans les environs sur le rôle d'un périmètre de protection, les mesures d'hygiène des points d'eau particuliers (puits) et les interdictions d'activité en fonction des périmètres.

Chapitre III : Description de la zone d'étude

III.1. Présentation de la zone d'étude

III.1.1- Présentation de la source Ain Sakhra

La source Ain Sakhra dans le chef-lieu de la commune de Ain Fezza située au nord Est à une douzaine de kilomètres (12 Km) de la ville de Tlemcen est une source naturelle aménagée récemment en un parc de loisir pour le public et principalement pour irriguer les espaces verts limitrophes. (**Figure III.1**)



Figure III.1 : Source Ain Sakhra (Medjahdi et Ziani, 2017).

Cette source située à environ 600 m du centre de la ville d'Ain Fezza sur le chemin communale reliant la ville d'Ain Fezza à Ouchba. A connu un tarissement début des années 2000 durant la période de dessèchement causant probablement l'abaissement de son niveau piézométrique, ce qui a poussé les autorités locales à procéder à la réalisation d'un puits à proximité sur une profondeur de 61 mètres avec un débit mobilisé de 10 L/s (**Annexe.1**) à fin de subvenir aux besoins en irrigation par gravité aux parcelles en aval via des canaux ouverts (**Figure III.2**) jusqu'à l'extrémité de la route (fin de la limite du parc).



Figure III.2 : Canaux ouverts à l'intérieur du parc servant à diriger l'eau de la source vers les terres agricoles en aval (Medjahdi et Ziani, 2017)

Le parc est contrôlé et entretenu par un fonctionnaire 24H/24 installé In situ.

III.1.2- Aperçu sur la zone d'étude délimitée autour de la source Ain Sakhra :

Notre zone d'étude (**Figure III.3**) occupe une superficie de 2867 Ha, soit un peu après 15% de la superficie totale de la commune d'Ain Fezza (18300 ha), incluant les villes de Ouchba, Ain fezza et une partie des villages Tizi et Oum El Allou au nord.

Elle est bornée au sud par Bled Aine et Fatma et Djebel Hanif, à l'ouest par El M'dighe, et en fin Djebel El Hadj et Djebel Fraifis à l'Est.

Chapitre III : Description de la zone d'étude

Le choix de notre zone d'étude s'appuie sur plusieurs paramètres incluant la topographie de la région, la géologie pour les formations perméables, l'hydrographie des eaux de surface et leur ruissèlement avec élargissement du périmètre de notre zone pour maximaliser l'étude de vulnérabilité autour de la source qui est l'exutoire.

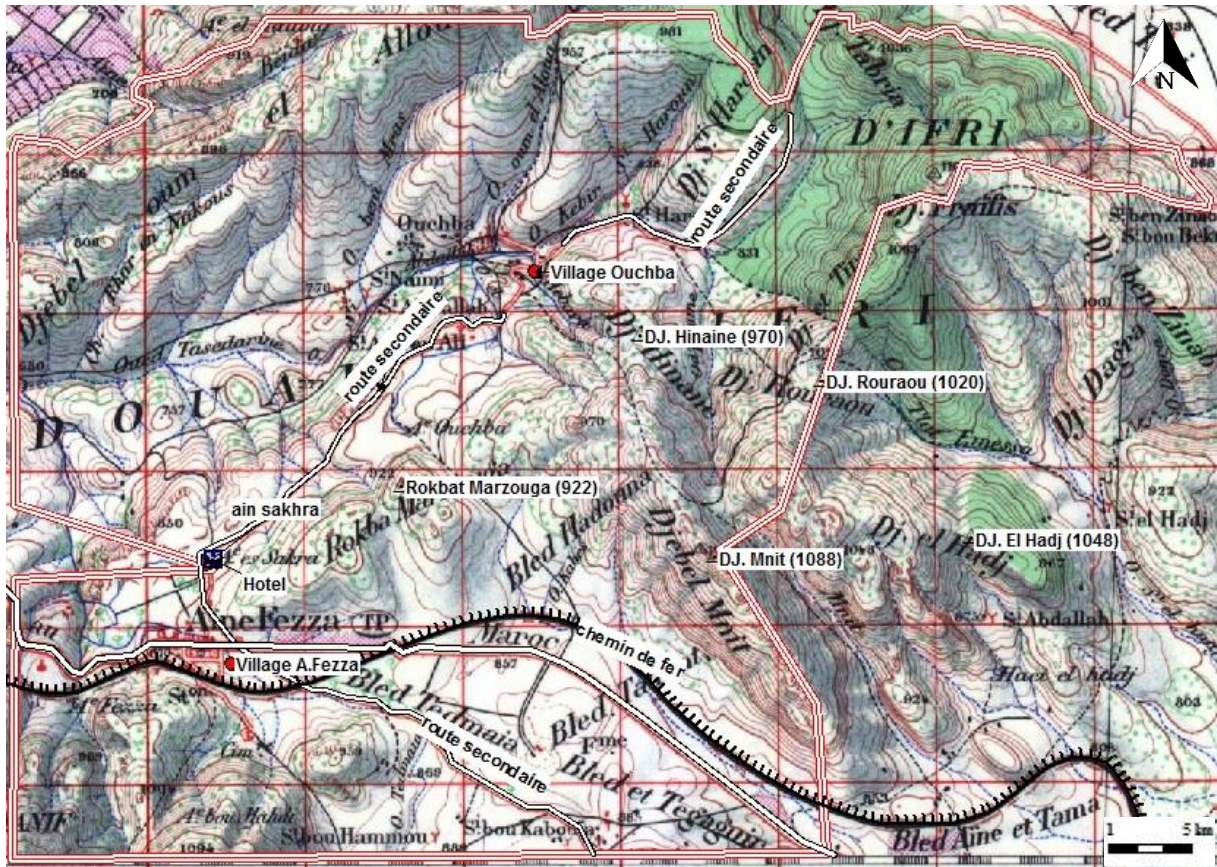


Figure III.3 : Délimitation de la zone d'étude sur la carte topographique 1/50000.

III.2- Relief et topographie

La géomorphologie de notre zone d'étude est délimitée et se distingue par deux types de reliefs :

- 1- Des massifs montagneux lié aux monts de Tlemcen un au sud-ouest formé par Djebel .Hanif, Djebel .EL Hadj et Djebel Mnit au sud-est, Djebel Hinaine et Djebel .Rouraou à l'est et Djebel Oum El Allou au nord.
- 2- Un plateau au niveau de la zone centrale le long de RN7, d'une altitude moyenne de 800 m où se situe l'ensemble du trafic routier et ferroviaire de la commune autour de l'agglomération d'Ain Fezza (P.D.A.U, 2011).

III.3 Aspect climatique :

Le climat de la région de Ain fezza est un climat méditerranéen intermédiaire, entre les types de climats semi-aride (le plus répandu) et sub-humide du point de vue température moyenne, pluviométrie annuelle et répartition saisonnière des précipitations (Aissa Madaoui, 2016). Avec une saison chaude et sèche qui dure 6 mois coïncidant avec la saison estivale qui subit fortement l'influence de l'altitude, les températures s'élèvent plus tardivement au niveau de ces versants montagneux et diminuent plus tôt sur le littoral, contrastée par une saison froide et pluvieuse (Benabadji et al.2007).

III.3.1 Les stations climatique retenues :

L'emplacement des stations dépend de leurs altitudes, de leur distance par rapport à la mer et de la topographie des lieux, ces stations peuvent être classées en stations météorologiques principales, stations météorologiques auxiliaires et postes pluviométriques qui donnent seulement les mesures de précipitations. (Belarbi, 2010)

Pour la collecte de nos données sur les précipitations et les températures nous avons opté pour le poste pluviométrique de « Chouly » dont l'altitude précisément et l'emplacement sont approximatifs à notre zone d'étude,

Et la station météorologique de SafSaf étant la plus proche de notre zone d'étude pour les données sur les températures.

- Poste pluviométrique de Chouly :

Les données pluviométriques de la zone sont obtenues de la station de Chouly sur une série allant du (1999-2014) (source, ANRH)

Tableau III.1 : Coordonnés degré, minutes secondes du poste pluviométrique Chouly.

Poste	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Période d'observation
Chouly	724	01° 08' 04"	34° 52' 01"	1999-2014

Chapitre III : Description de la zone d'étude

- Station météorologique de Safsaf :

Les données concernant la température sont obtenues de la station de Safsaf sur une série allant du (1999-2011) (**source, ANRH**)

Tableau III.2 : Coordonnées degré, minutes secondes de la station Safsaf.

Station	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Période d'observation
Safsaf	592	01° 17' 00"	34° 57' 00"	1999-2011

III.3.2 Les précipitations :

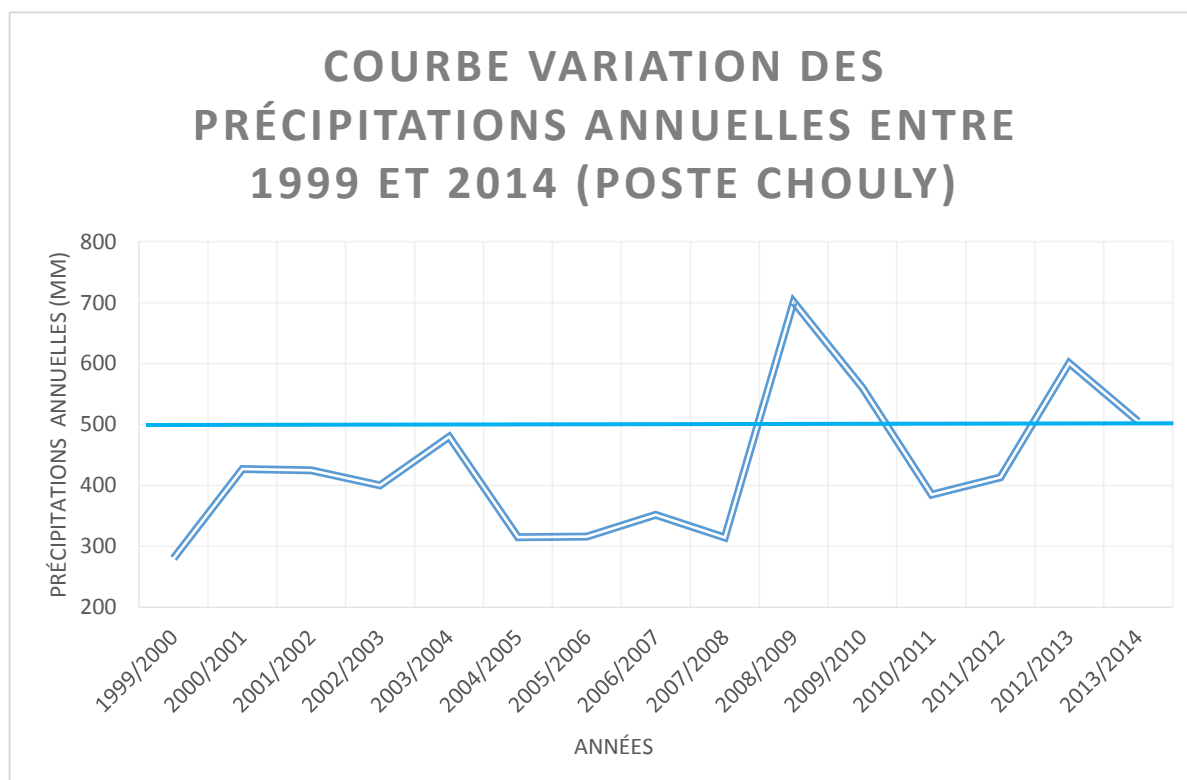


Figure III.4 : graphe des précipitations annuelles (poste Chouly) entre 1999 et 2014

On constate une irrégularité dans la répartition des précipitations, avec une année pluvieuse l'an (2009) au total de 701.1 mm de hauteur de pluie tombée et la plus sèche en l'an (2000) avec un total de précipitation de 280.4mm, et une moyenne annuelle durant les quinze (15) années estimée à 431, 71mm.

III.3.3 la température :

Les figures ci-après nous montrent la variation des températures minimales maximales et moyennes enregistré dans la station de (safsaf) dans une série de 12 ans (1999-2011)

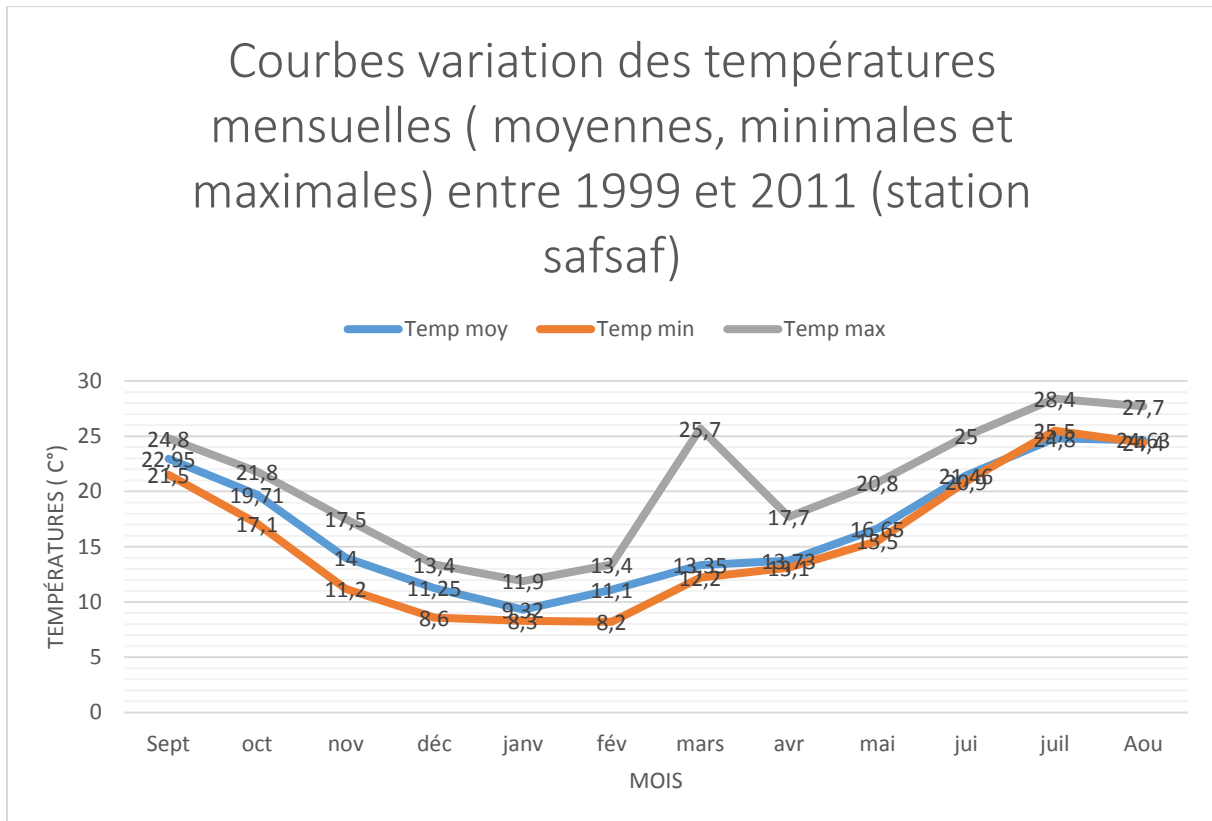


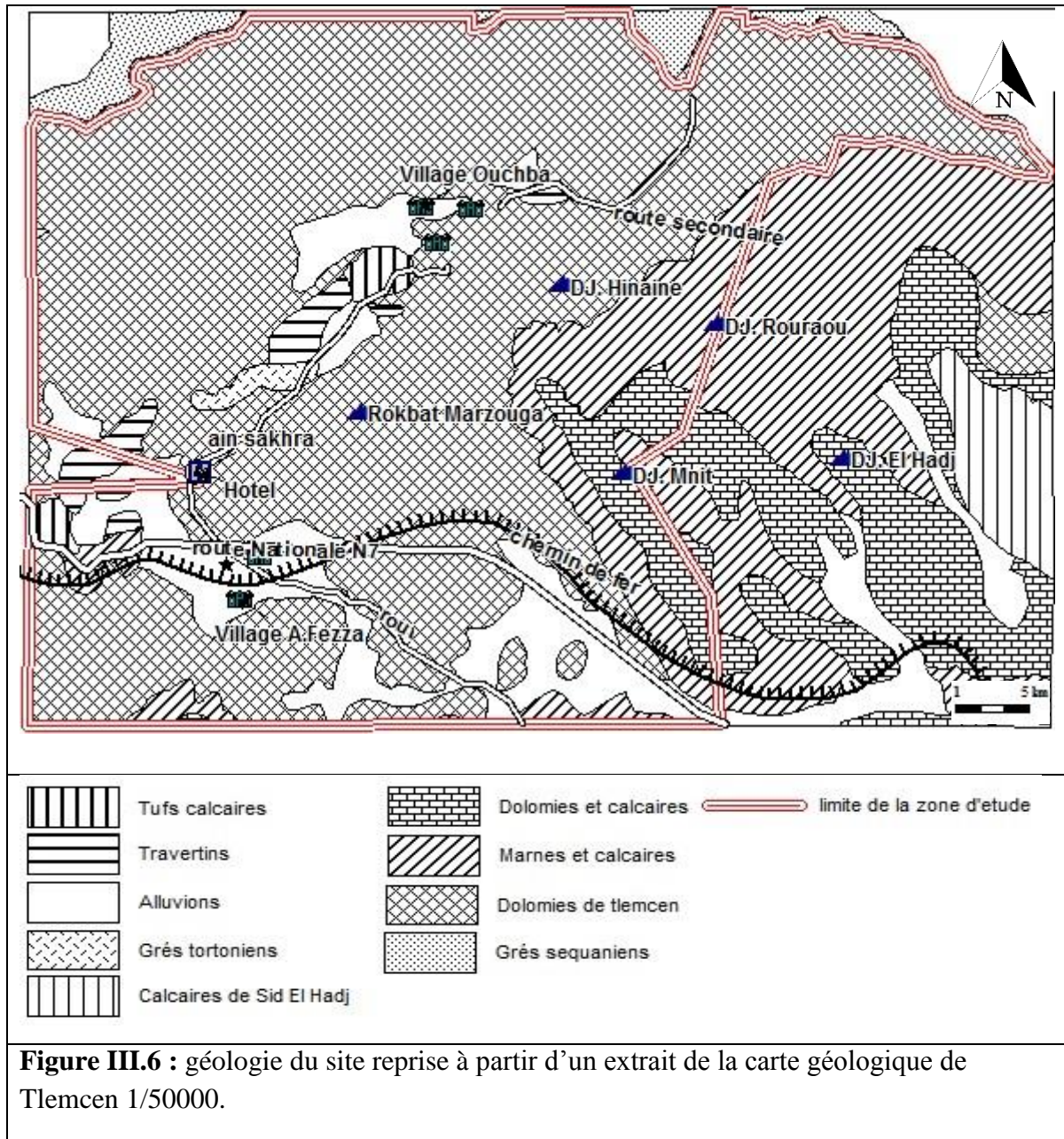
Figure III.5 : courbe de variation des températures moyennes mensuelles de la région (station safsaf)

Les températures les plus basses sont enregistrées au mois de février avec une température minimale de 8.2 °C, alors que les températures les plus élevées, sont enregistrées au mois de de Aout avec une température maximale de 28.4 °C (**figure III.5**).

Notre région subit un régime méditerranéen avec une période hivernale très froide allant de novembre à avril et une période estivale sec et chaude.

III.4 - Aspect géologique :

La géologie de notre site (**Figure III.6**) est constituée essentiellement de calcaires et de dolomies, qui sont des formations d'âge jurassique et représentée par d'autres formations qui vont du plus récent au plus anciens :



Chapitre III : Description de la zone d'étude

- Dépôts tertiaires et quaternaires :
 - **Tufs calcaires** : très développés autour des grandes sources qui sortent des calcaires et dolomies kiméridgiens.
 - **Alluvions** : dépôts caillouteux et limoneux grumeleux des vallées et dépôts de ruissellement sur les plateaux et les pentes.
 - **Travertins anciens et récents** : constitués de puissants dépôts disposés en terrasses et s'avancant en haute falaise à pic aux abords des grandes sources disparues ou actuelles originaires du kémeridgiens.
 - **Grès tortniens de Tlemcen** : de couleur jaune d'or ou citron en bancs durs et serrés, ces grès s'étagent au-dessus des marnes et calcaires et se développe en massif au bord du massif jurassique.

- Dépôts secondaires du jurassique
 - **Calcaire de sidi el Hadj (J8)** : en série puissante de bancs en discordance sur les dolomies et calcaires et ayant assez d'analogie avec les calcaires blancs.
 - **Dolomies et calcaires (J7) ou kémeridgien supérieur** : Calcaires gris en bancs, parfois rosés, cristallins à la base ; puis, dolomies d'escarpement ; enfin, calcaires plus ou moins dolomitiques, à cassure presque toujours violacée.
 - **Marne et calcaire (J6)** : Marnes grises, blanchâtre en surface, rognonneuses, esquilleuses, intercalées de nombreux lits et bancs de calcaire marneux, dur, assez fossilifères, surtout dans les horizons supérieurs. Formation parfois plutôt calcaire que marneuse à la base.
 - **Dolomies de Tlemcen (J5)** : Grossières, gréseuses, noirâtres en surface, gris-bleu à l'intérieur, très veinées en calcite, sableuse par places, dépourvues de fossiles, constitue les grands escarpements qui enserrent le cirque des cascades.
 - **Grès séquanien (J4)** : en bancs, les uns puissants les autres d'épaisseur variable, bruns, ferrugineux à la surface, à cassure d'un blanc rosâtre parfois grise (**Doumergue, 1924**)

III.5- Aperçu Hydrogéologique et hydrochimie :

III.5.1- Introduction sur l'hydrogéologie générale de la zone d'étude :

- ✓ Tout raisonnement hydrogéologique doit s'asseoir sur une meilleure compréhension de la géologie du site en question. Les formations géologiques perméables constituent les gisements d'eaux souterraines ou aquifères, dont elles identifient la configuration et la structure du réservoir.
- ✓ Selon Doumergue dans notre zone d'étude de nombreux réseaux aquifères sont constituées dans le jurassique, le miocène et le quaternaire.
- ✓ Le niveau le plus important se trouve dans la base du calcaire bleu du kéméridgien inférieur ; mais les eaux sortent plus dans les grès séquanais (J4). De ce niveau proviennent les sources d'Ain Sekhra, Ain Fezza et Ouchba. (**Daumergue, 1924**) dont les propriétés transmissives sont excellentes (**Collignon, 1987**).
- ✓ La circulation de l'eau s'effectue à l'intérieur du réseau de fissures des formations carbonatés s'ils existent, selon la direction des ressources en eau de la wilaya de Tlemcen dans son rapport sur les différents forages effectués dans la région ; ces formations ne sont pas homogènes par zone, au voisinage des failles elles peuvent être très fissurés alors que d'autres le sont moins bien ou compacte.
- ✓ La réalisation du forage d'Ain Fezza en 1985 et actuellement en service pour l'AEP de profondeur égale à 138 m a donné les résultats suivants lors de l'essai à pompe :

*un niveau dynamique égal à 27.3 mètres.

*un niveau statique égal à 24 mètres.

*des fissures entre les 90 mètres et 130 mètres de profondeur (**Annexe 2**).

III.5.2- Propriétés hydrogéologiques des formations de notre région :

Dolomies de Tlemcen :

Collignon dans sa thèse sur les monts de Tlemcen a fait remarquer que les dolomies de Tlemcen sont très perméables, elles possèdent une formation fissurée et très karstifiée en grande constitué, elles forment l'aquifère plus important du secteur d'étude.

Dolomie et Calcaire :

Représente une mineur partie de notre zone, cette formation est moins karstifiée que la précédente (dolomies de Tlemcen), elle est moins fissurée et donc moins perméable.

Marnes et calcaires :

C'est une formation non karstique possédant une perméabilité très faible voire nulle verticalement et peu perméable horizontalement. (Collignon In Benazouz et Khatir, 2016).

III.5.3- Qualité des eaux souterraines :

Les eaux souterraines forment des masses d'eau complexes et tridimensionnelles dans lesquelles les phénomènes de recharge, conditions d'écoulement et les interactions avec l'environnement solide (roches et sols) peuvent être très localisés. Ceci signifie que, dans une masse d'eau souterraine donnée, les caractéristiques chimiques, et biochimique de l'eau varient à la fois dans l'espace (horizontalement et verticalement) et dans le temps. Ces caractéristiques peuvent être modifiées, en comparaison à des conditions naturelles, en cas de pressions anthropiques. Ainsi, la qualité de l'eau d'une masse d'eau donnée ne peut être représentée par une seule série de valeurs analytiques, et le degré de l'influence humaine ne peut être établi par simple comparaison avec une liste de référence. (Custodio et Manzano, 2008).

Afin d'avoir une idée sur la nature hydro chimique des eaux souterraines de notre région d'étude, sans pouvoir conclure leurs qualités faute de données sur le changement de leurs caractéristiques dans le temps, nous avons récupéré trois (03) différents échantillons (**Figure III.7**) appartenant à notre zone d'étude dans l'espace, pour analyse physico-chimique et bactériologique en respectant les conditions de prélèvement (des verreries stérilisées empruntées de l'ADE pour l'analyse bactériologique et des bouteilles en plastiques pour l'analyse physicochimique).

Les prélèvements (température, conductivité et pH) ont été réalisé une fois nos échantillons au laboratoire.

1. Source Ain Sekhra aménagée, destinée à l'irrigation et à la consommation.
2. Puits privé de l'Hôtel Ain fezza destiné à différents usages de l'hôtel mais non à la consommation.
3. Source Ouchba destinée à l'irrigation seulement non aménagée.



Figure III.7 : trois (03) échantillons récupérés des (source Ain Sekhra, source Ouchba et puits de l'hôtel Ain fezza) pour analyse physico-chimique et bactériologique.

Les résultats des analyses physico-chimique et bactériologique de chaque échantillon sont résumés comme suit :

Tableau III.3 : Résultats physico-chimiques et bactériologique de la source 'Ain Sekhra'



Source « Ain Sekhra »			
Résultats bactériologiques	Coliformes totaux (ufc/ml)	6,5 à 9	Ph
	ABSCENCE	2800	Conductivité (µs/cm)
	Coliformes fécaux (ufc/100ml)	Eau non dessalée	Salinité (g/L)
ABSCENCE		5	Turbidité (NTU)
Streptocoques fécaux (ufc/50ml)	ABSCENCE	Pas de norme précise	TAC (mg/L) en CaCO ₃
Ain Sakhra négative aux streptocoques		500	TH (mg/L) en CaCO ₃
		200	Ca ²⁺ (mg/L)
		150	Mg ²⁺ (mg/L)
Germes totaux à 37C° (ufc/ml)	1 inférieur à la norme < (20)	Pas de norme précise	Hco ₃ ⁻ (mg/L)
		500	Cl ⁻ (mg/L)
Germes totaux à 22C° (ufc/ml)	5 inférieur à la norme <(100)	400	So ₄ ²⁻ (mg/L)
		0,2	NO ₂ ⁻ (mg/L)
		0,5	Nh ₄ ⁺ (mg/L)
		5	P (mg/L)
		50	NO ₃ ⁻ (mg/L)
		5	Zn (mg/L)
		2	Cu (mg/L)
			Coordonnées Lambert :
			X : 140,415
			Y : 183,400
			Date et heure de prélèvement :
			19 / 03/2017
			10h :10 min

Tableau III.4 : Résultats physico-chimiques et bactériologique source ' Ouchba'


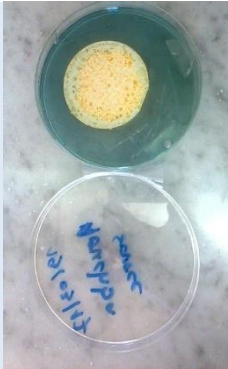

Source « Ouchba »	
	
Coordonnées Lambert : X ; 141,735 Y : 184, 356	
Date et heure de prélèvement : 19 / 03/2017 09h :30 min	
Résultats bactériologiques	Résultats physico-chimiques
Normes admises Coliformes totaux (ufc/ml) 6,5 à 9 11 supérieur à la norme >10 Coliformes fécaux (ufc/100ml) 5 ABSCENCE Streptocoques fécaux (ufc/50ml) 200 ABSCENCE Germes totaux à 37C ° (ufc/ml) 400 37 supérieures à la norme > (20) Germes totaux à 22C° (ufc/ml) 50 46 inférieur à la norme <(100)	Ph 7.50 à 20,1 C° Conductivité (µs/cm) 598 à 20 ,1 C° Salinité (g/L) 0 à 20.2 C° Turbidité (NTU) 0 ,787 TAC (mg/L) de CaCO ₃ 290 TH (mg/L) en CaCO ₃ 322,5 Ca ²⁺ (mg/L) 137,5 Mg ²⁺ 44,4 Hco ₃ ⁻ (mg/L) 354 Cl ⁻ (mg/L) 25,8 So ₄ ²⁻ (mg/L) 9 NO ₂ ⁻ (mg/L) >0,001 Nh ₄ ⁺ (mg/L) >0.01 P (mg/L) 0,02 NO ₃ ⁻ (mg/L) 9,2 Zn (mg/L) 0,09 Cu (mg/L) 0,35
« Ouchba » positive aux coliformes totaux (présence de colonies jaunes orangé bombée et lisses au nombre de 11)	
	

Tableau III.5 : Résultats physico-chimiques et bactériologique puits 'Hôtel Ain fezza'.

Résultats bactériologiques	Normes admises	Résultats physico-chimiques	Puits « Hôtel Ain Fezza »
Coliformes totaux (ufc/ml)	6,5 à 9	7.57 à 19°C	
ABSCENCE	2800	618 à 19 C°	
Coliformes fécaux (ufc/100ml)	Eau non dessalée	0 à 19,6 C°	<p>Coordonnés Lambert :</p> <p>X : 140,435</p> <p>Y : 183,410</p>
ABSCENCE	5	1,99	
Streptocoques fécaux (ufc/50ml)	Pas de norme précise	275	<p>Date et heure de prélèvement :</p> <p>19 / 03/2017</p> <p>10h :20 min</p>
28 largement au-dessus de la norme (Absence/50ml)	500	337,5	
Germes totaux à 37C° (ufc/ml)	200	172,5	
80 supérieur à la norme > (20)	150	39,6	
Germes totaux à 22C° (ufc/ml)	Pas de norme précise	335,5	
97 légèrement inférieur à la norme <(100)	500	34,4	
	400	18	
	0,2	0,003	
	0,5	>0.01	
	5	0,04	
	50	/	
	5	/	
	2	/	

Puits « hôtel Ain Fezza » positive aux streptocoques fécaux (présence de colonies noirs)



Discussion des résultats :

- Résultats physico-chimique :

La composition chimique des eaux souterraines est surtout influencée par la nature lithologique des aquifères, les aquifères sont alimentés par des eaux qui ont transité à travers le sol et qui héritent des caractéristiques dans celui-ci. A ces caractéristiques s'ajoutent celles résultant des équilibre chimique entre l'eau souterraine et les constituants minéraux des aquifères, Ces équilibres ont souvent des réactions lentes, mais les temps de séjour sont très longs en conséquence l'eau souterraine a tout le temps d'acquérir une composition découlant de l'équilibre chimique avec les espèces minérales présents dans l'aquifère (**Roux et Chery ,2006**).

De nos analyses et pour un seul prélèvement de chaque échantillon dans le temps :

- Confirmation de la nature lithologique de notre aquifère qui sont les roches calcaires en effet nous avons les éléments dominants dans nos échantillons qui sont : (Calcium Ca, Magnésium Mg, et Bicarbonate HCO_3).
- Notre aquifère renferme une eau bicarbonate calcique, avec une importante dureté en effet selon l'OMS notre TH en F° se situe entre [32 – 54].
- Selon (**Rodier et al, 2009**) décrivant la relation entre la minéralisation et la conductivité nos échantillons ont une minéralisation moyenne accentuée (conductivité comprise entre 333 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) et 666 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)).
- d'après la comparaison dans le tableau de nos résultats avec les normes algériennes publiées dans (**le journal officiel de la république algérienne N° 13 du 9 mars 2014**) les paramètres physicochimiques de nos échantillons sont tous dans les normes de potabilité.
- La concentration en nitrates (indicateur de pollution des nappes par les engrais et fertilisants) dans les deux points (Ain sakhra et Ouchba) diffère d'un point à un autre sans vraiment dépasser la norme des 50mg/l ce qui peut aussi correspondre à leur niveau naturel (moins de 10mg/l), (**agence européenne sur l'environnement, 1999**). Nous avons enregistré la valeur la plus élevée dans la source de Ouchba (9,2mg/L) contre (6,4mg/L) qui coïncide avec son emplacement en plein milieu des zones de culture.

Chapitre III : Description de la zone d'étude

- Résultats microbiologique :

En utilisant la méthode de dénombrement dans les milieux de cultures solides par filtration qui consiste à filtrer l'eau à travers une membrane et ensuite placée dans un milieu gélosé au TTC et Slanetz, durant l'incubation à 37 C° pendant (48H) pour nos trois échantillons nous avons obtenu les résultats ci-dessus (Tableaux).

- Notre source en question Ain Sakhra présente une qualité microbienne satisfaisante.
- La présence des coliformes totaux dans la source Ouchba, cette source béante non destinée à la consommation humaine qui se situe en plein milieu des vergers pour l'irrigation, sa contamination dérive probablement des substances végétales et l'infiltration des eaux de surface.
- La présence des streptocoques fécaux dans le puits privé de l'hôtel Ain fezza peut se traduire en une contamination fécale de l'eau plus ancienne ((**Fondation nationale de la santé, 2013**), une eau de puits qui est malheureusement non désinfecté à la javel.
- Nos trois échantillons sont négatifs à E.Coli (apparition d'un anneau rouge négatif dans les échantillons témoins de la production de l'indole Escherichia), (**Figure III.8**), L'origine fécale de E. coli est incontestable et sa nature omniprésente est peu probable, ce qui valide son rôle précis d'organisme indicateur de contamination fécale tant dans les eaux naturelles que traitées. (**Fondation nationale de la santé, 2013**)
- Nos 3 échantillons présentent une alcalinité élevée à la norme (**200 mg/L en CaCO₃**) pour les eaux destinées à l'irrigation ce qui pourrait colmater les conduites pour l'irrigation utilisées à l'intérieur des parcelles.

Conclusion :

- Faute d'analyses dans le temps sur nos trois points d'eau il est incertain de conclure sa qualité physicochimique.
- Les analyses bactériologiques réalisées dans les trois points d'eau de notre zone d'étude ont montré l'influence de l'environnement (occupation du sol) autour des captages des points d'eau sur la qualité microbienne de nos échantillons (source aménagée, puits, et source jaillissante à l'air libre).
- Les puits particuliers restent des points d'eau à contamination microbiologique très plausible en raison du manque de désinfection et d'entretien selon notre enquête.

- Les points d'eau (Ouchba et puits privé de l'hôtel) sont néanmoins utilisés pour d'autres fins qu'à la consommation humaine, ce qui laisse moins alarmant la situation, n'empêche qu'une bonne sensibilisation est nécessaire pour les propriétaires de puits.



Figure III.8 : Absence d'anneau rouge en surface démontrant la présence d'E.coli (Medjahdi et Ziani ,2017)

III.6 Contexte hydrologique :

La commune de Ain Fezza est drainée par deux grands oueds principaux qui sont Oued Chouly et Oued Safsaf , principaux affluents de l'Oued Isser, et un réseau intermédiaire constitué par des cours d'eau secondaires dont le plus important est celui de Ain fezza qui prend naissance dans les hauteurs sud de la commune en traversant les agglomérations (PDAU, 2011).

Ce même Oued qui a été l'objet d'une étude pour sa protection contre les inondations, est identifié par des points noirs dont la zone à proximité de la voie ferrée, une zone inondable (traversée de chemin de fer), et dans les traversés de route (passage en dalot), (Aissaoui, 2016), D'où une éventuelle montée des eaux chargées est probable.

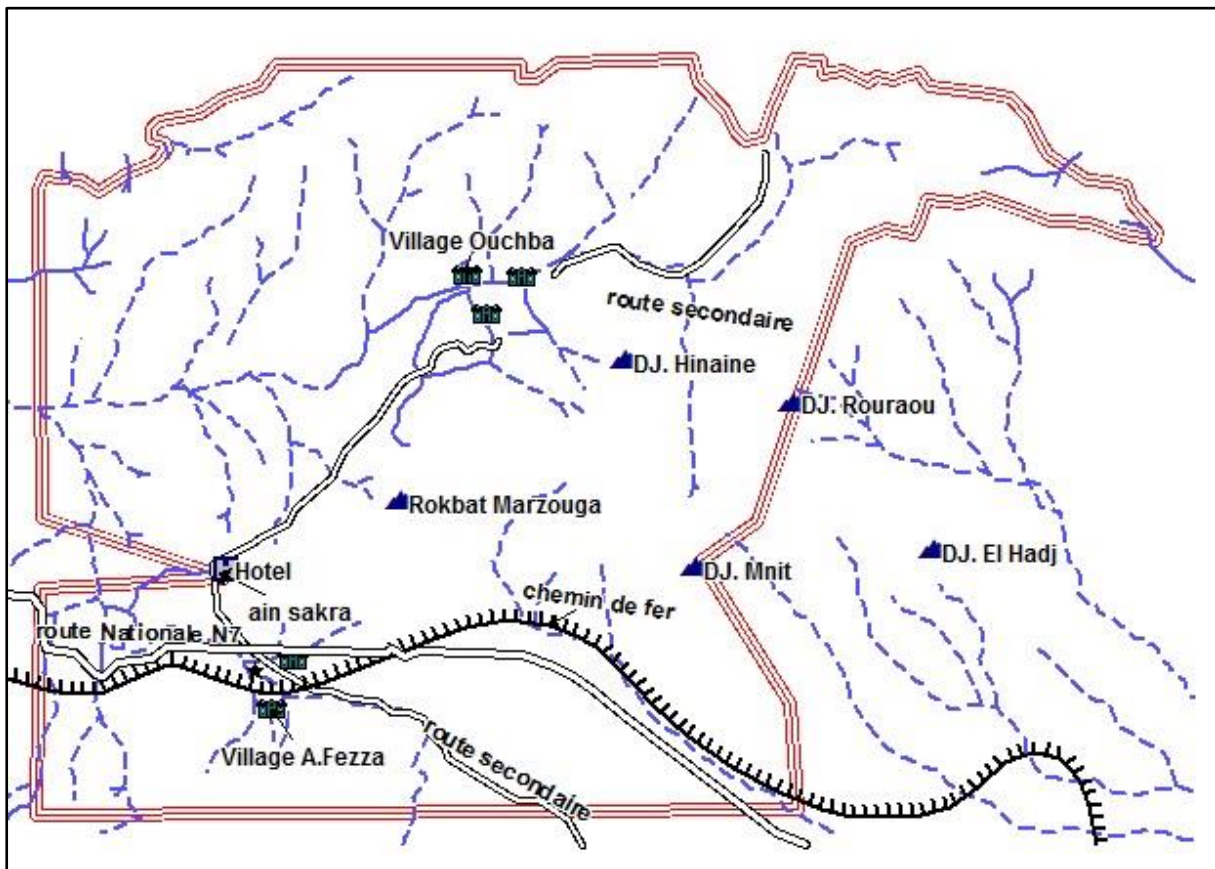


Figure III.9 : réseau hydrographique de notre zone d'étude échelle 1/50000.

III.7 Contexte pédologique

Les sols dont le produit est la désagrégation physique d'un substrat en minéraux hérités et de l'altération chimique de ces derniers sous l'effet de l'eau et des matières organiques plus au moins transformés. (**Ardouin, 2012**) modifient peu ou prou le comportement hydraulique des formations géologiques qui les portent. Plusieurs facteurs interviennent dans cette action : l'épaisseur, la proportion de fines particules (limons fins et argiles) et la nature minéralogique de ces fines. Les matières organiques jouent un rôle non négligeable dans la mesure où elles modifient la vitesse de percolation (**Agence de l'eau, 2013**). Le sol est aussi un critère essentiel pour l'établissement de la cartographie de vulnérabilité méthode RISK.

Faute de documentations sur la pédologie de notre zone d'étude, nous avons décidé de nous lancer pour des expérimentations géotechniques étant plus précises (granulométrie et

Chapitre III : Description de la zone d'étude

sédimentométrie) de trois différentes fouilles (03) avec deux horizons dans une même fouille. Nous avons opté pour quatre (04) échantillons en tous.

Ces fouilles ont été opérées à la tarière et à la pioche à la date du 11/03/2017 et analysés par nous même au laboratoire des travaux publics ouest (LTPO).

Les échantillons sont munis aussi des couleurs selon le code Munsell, un code utilisé pour déterminer la couleur d'un horizon.

La carte ci-dessous montre les différentes coordonnées de fouilles représentatives par rapport à notre limite zone d'étude que nous avons choisie.

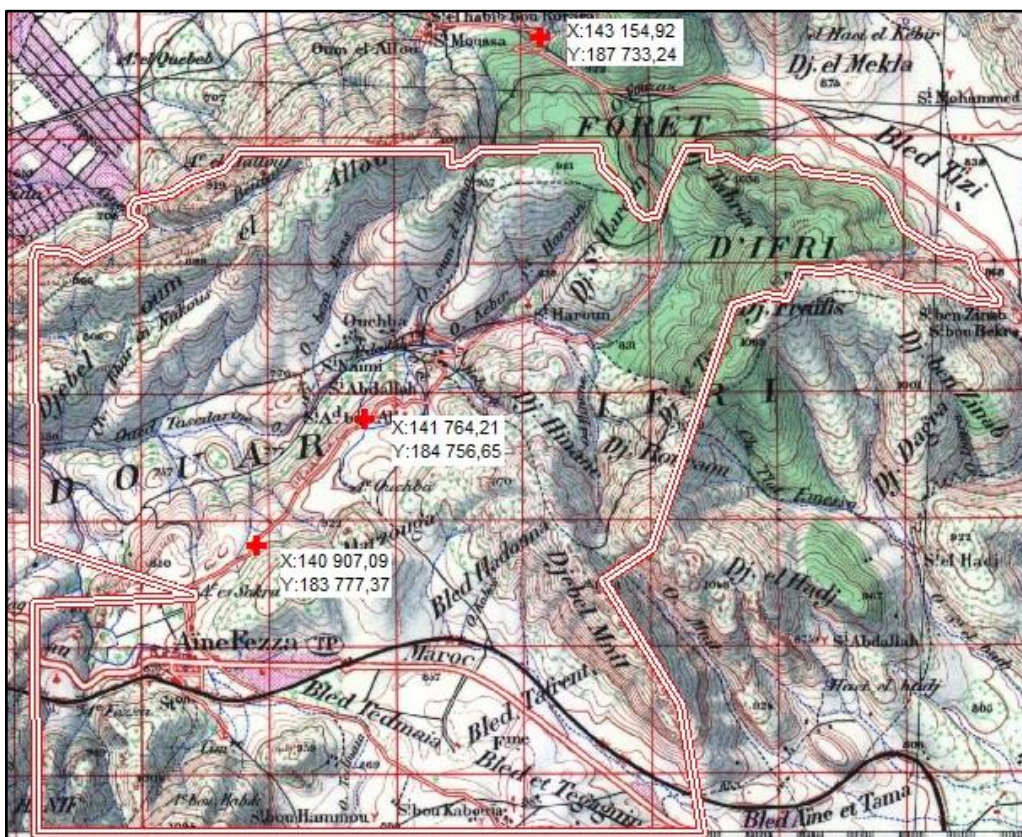


Figure III.10 : différents coordonnées des fouilles effectués sur carte topographique 1/50000.

III.7.1 présentations des fouilles

Ci-dessous les photos prises lors de notre sortie pour les fouilles :



Figure III.11 : Fouille N°1 localisée dans la ville de « Ouchba » au bord de la route communale Ain fezza-Ouchba. (Medjahdi et Ziani, 2017)



Figure III.12 : Fouille N° 2 localisé à Ain fezza au bord de la route communale reliant Ain fezza- Ouchba (Medjahdi et Ziani, 2017)



Figure III.13 : Fouille N° 3 à la tarière localisée à Oum Allou, (Medjahdi et Ziani, 2017)

III.7.2 Principaux caractéristiques des échantillons

- **Code Munsell**

C'est le code référence utilisé par les pédologues pour déterminer la couleur d'un horizon, il se compose par plusieurs planches de teintes différentes allant du rouge vif au gris, chaque pastille de couleur présente sur les planches est disposée selon un espace en trois dimensions :

Une teinte de base (hue) symbolisé par un chiffre et une ou deux lettres, comme l'exemple ci-dessous (**Figure III.14**) la teinte de base est 7,5 YR (montrée par une flèche rouge).

Une clarté (Value) notée de 2 à 8 (montrée par une flèche jaune).

Une intensité (Chroma) variant de 0 à 8 (montrée par une flèche bleue) (**Ardouin, 2012**)

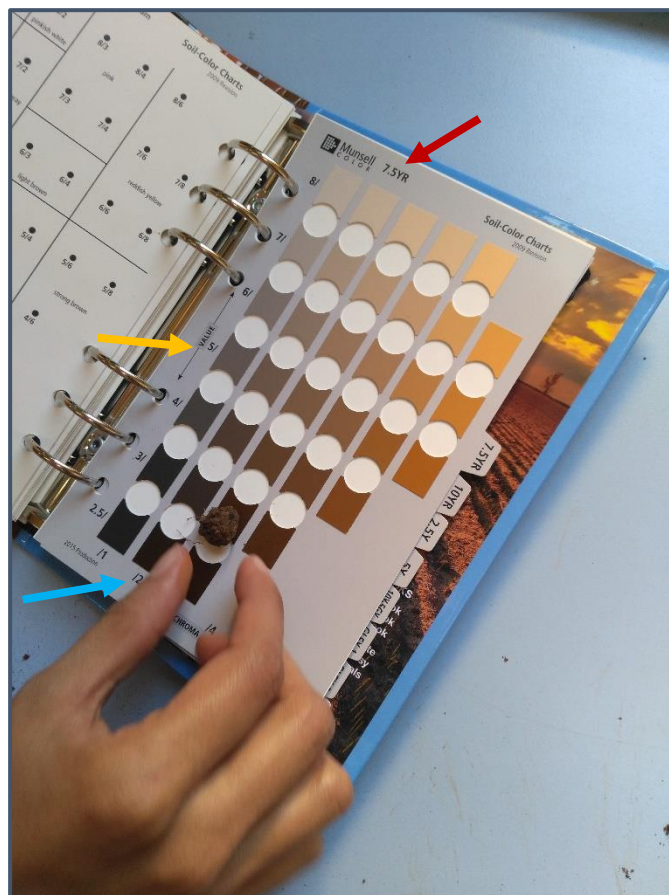


Figure III.14 : Planche de la charte Munsell (teinte YR), (Medjahdi et Ziani, 2017).

Chapitre III : Description de la zone d'étude

- **L'effervescence au HCL**

L'effervescence à froid témoigne de la présence de calcaire dit « actif » dans la terre fine, sous forme de CaCO_3

Il convient de localiser le lieu de l'effervescence sur l'échantillon c'est à dire si elle se limite à la terre fine ou à un certain volume.

- ✓ **Effervescence généralisée** : la réaction se produit avec la terre fine dans toutes les parties de l'horizon.
- ✓ **Effervescence localisée** : elle se localise à certains volumes de l'horizon comme les éléments grossiers, le reste de la trame ne fait pas d'effervescence. (Ardouin, 2012).







		
<p>Effervescence négative [terre fine] (Oum Allou)</p>	<p>Effervescence négative [terre fine] (Ain fezza)</p>	<p>Effervescence positive à Ouchba [terre fine] (Ouchba)</p>
		
<p>Effervescence négative [roche mère] (Oum allou)</p>	<p>Effervescence positive [roche mère] (Ain fezza)</p>	<p>Effervescence positive [roche mère] (Oum Allou)</p>

Figure III.15 : différents essais au HCL sur la terre fine et les roches mère correspondantes

Chapitre III : Description de la zone d'étude

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus des couleurs selon la charte de Munsell, l'effervescence au HCL avec indication des profondeurs des sols selon chaque échantillon.

Tableau III.6 : Tableau résumant les principales caractéristiques des fouilles.

	Localisation	Profondeur	Code couleur selon Munsell.	Couleur correspondante au code Munsell	Effervescence au HCL [terre fine]
Fouille N° 1	Ouchba	0.00-0.24 m	7,5 YR 2,5 /3	Very dark brown	Positive
Fouilles N°2	Ain Fezza	0.00-0.40 m	2,5 YR 2,5 /4	Dark reddish brown	Négative
Fouilles N° 3 Horizon N° 1	Oum Allou	0.00-0.10 m	5 YR 4 /6	Reddish brownish gray	Négative
Fouille N° 4 Horizon N° 2	Oum Allou	0.10-0.24 m	2,5 YR 2,5 /4	Reddish black brown	Négative

• Granulométrie et sédimentométrie

Généralités

- ✓ Principe de la granulométrie :

La granulométrie a pour objet de mesurer la taille des particules élémentaire ou grains, elle consiste aussi en l'analyse de la distribution des classes de tailles d'une collection de grains.

- ✓ Principe du tamisage sous eau :




Le tamisage sous eau consiste à mesurer le poids de sédiment retenu par les toiles de mailles de tamis calibrés. Chaque tamis est superposé par taille de maille décroissante selon une progression mathématique. Le poids de sédiment retenu (refus de tamis) peut alors être connu. Si le sédiment à analyser est composé de particules fines (vase), le tamisage s'effectue sous un flux d'eau.

Chapitre III : Description de la zone d'étude

✓ Principe de la sédimentométrie :

Il s'agit de mesurer le temps de sédimentation dans une colonne d'eau. La loi de Stokes qui décrit la vitesse de chute des particules permet de déterminer la taille des grains. (Fournier et al. 2012)

Analyse :

	<p>1 ère étape :</p> <p>Après étuvage de nos 4 échantillons durant 24h à 105 C°, nous avons pesé 600 (g) [mélange homogène] de chaque échantillon pour l'analyse granulométrique.</p>
	<p>2eme étape :</p> <p>Pesés, nos échantillons passent à l'étape d'imbibition à l'eau pour 24h.</p>
	<p>3eme étape :</p> <p>Après 24h, on effectue un lavage échantillons chacun dans un tamis de maille 0,08 mm pour séparer les limons et argiles du sable et gravier.</p>

Chapitre III : Description de la zone d'étude



4eme étape :

Argiles et limons, sable et gravier séparés, nous laissons reposer quelques heures pour décanter les sables et gravier et enlever l'excès d'eau du lavage, pour lancer le tous à l'étuve encore une fois durant 24h.



5eme étape

Passage à l'étuve durant 24h, les photos montrent le résultat.



6eme étape

1-Nous faisons passer graviers et sable dans la série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont la dimension des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Après vibration nous enregistrons les différents poids (refus) retrouvés dans chaque tamis.



6eme étape

2-on incorpora les argiles et limons (80 g) de chaque échantillon dans de l'eau distillé + 10ml de défloculant et nous laissons le tout agir durant 24h.

Chapitre III : Description de la zone d'étude



7eme étape :

Le lendemain, une agitation mécanique est faite pour chaque échantillon à fin de bien séparer les grains durant 3 min chacun.

Ils seront ensuite incorporer dans des éprouvettes en ajoutant l'eau distillée nécessaire jusqu'à 2000ml.



8eme étape :

Agiter tout au long des éprouvettes avant de commencer les lectures au densimètre, ce dernier doit être bien essuyé avant de le plonger, on commence nos lectures (à 15s, 30s, 1min, 2min, 4min, 10min, 20min, 40min, 80min, 160min, 360min, et 24h.) en notant la valeur de la densité et la température ambiante.

Figure III.16 : Différents étapes de l'analyse granulométrie et sédimentométrie (Medjahdi et Ziani, 2017).

Résultats (graphe sur Excel) : Ouchba (1) et Ain fezza (2)

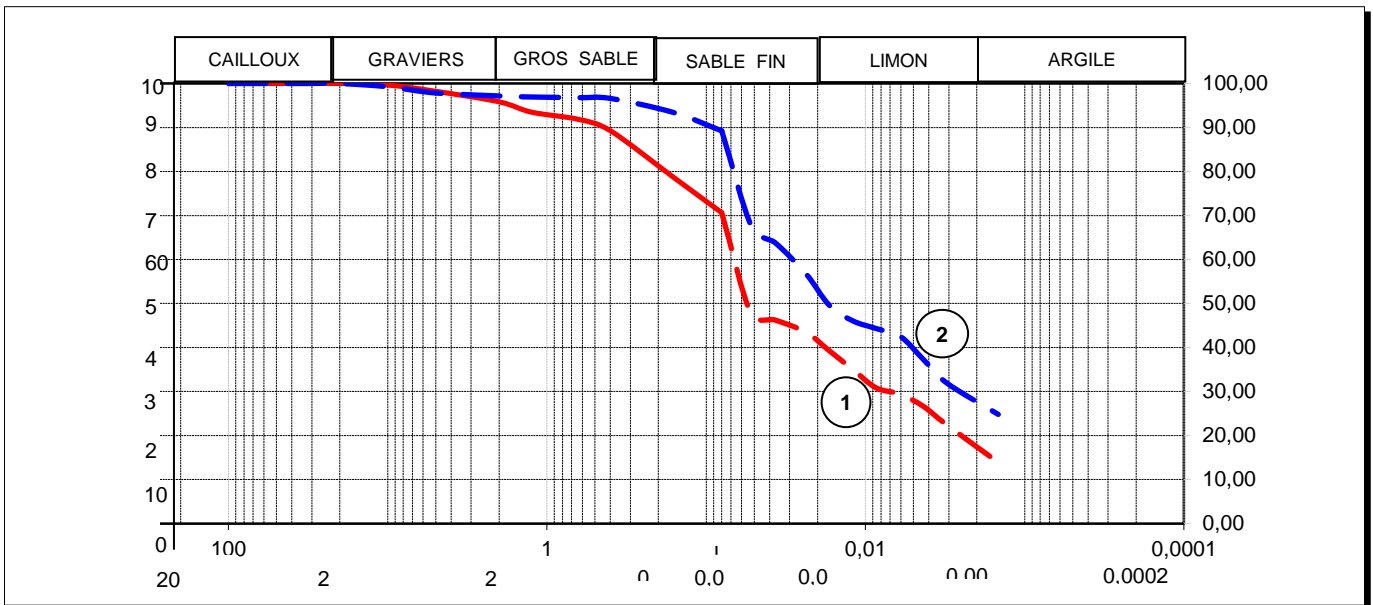


Figure III.17 : courbe granulométrique résultante pour les fouilles Ouchba (1) et Ain Fezza (2)

Résultats (graphe sur Excel) : Oum allou (0-010(m)) (3) et Oum allou (0.10-0.24) (4)

Chapitre III : Description de la zone d'étude

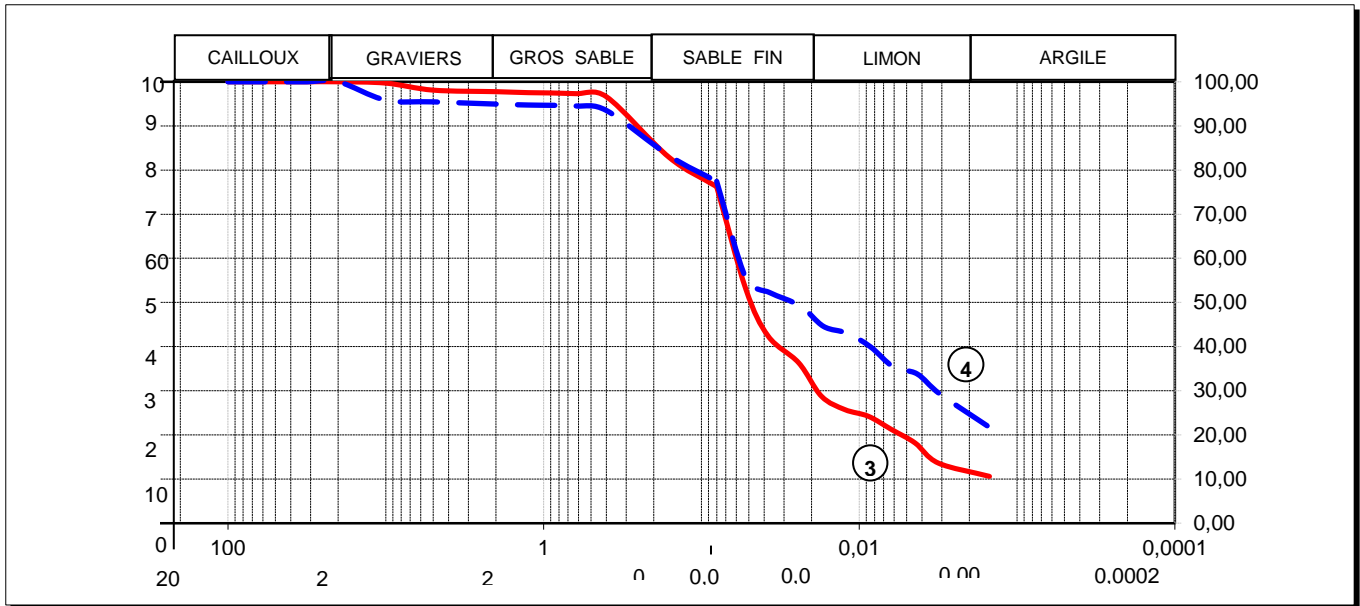
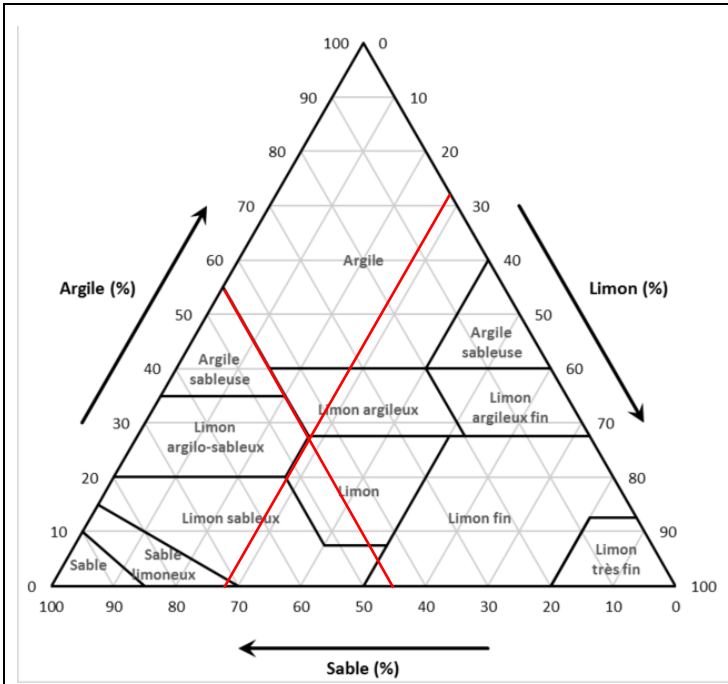


Figure III.18 : courbe granulométrique résultante pour les fouilles Oum allou ((0-0.10(m)) (3) et oum Allou (0.10-0.24m) (4)

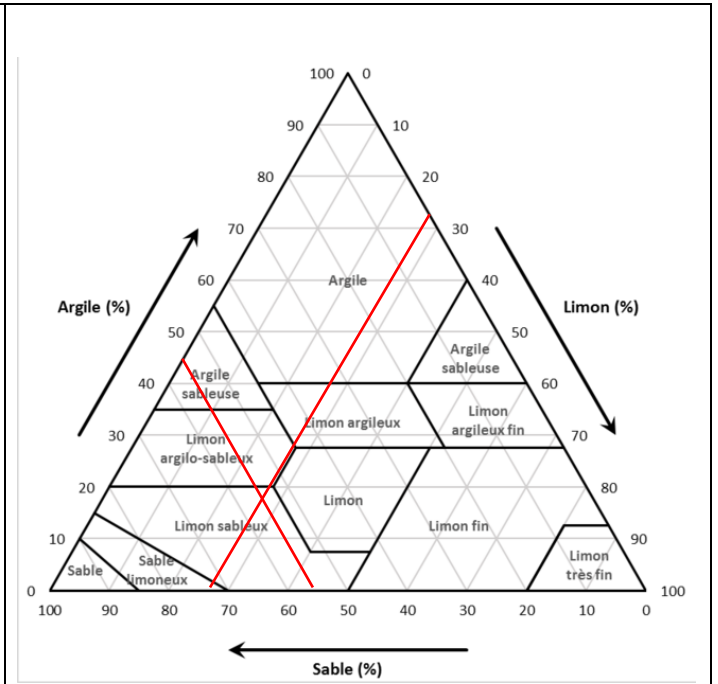
Tableau III.7 : résultats analyse sédimentométrie et granulométrie.

Echantillons	Argile (%)	Limons (%)	Sable (%)	Gravier (%)
Ain fezza Profondeur (0.00 -0.40)	25%	28%	44%	3%
Ouchba Profondeur (0.00 -0,24)	14%	27%	54%	4%
Oum Allou Profondeur (0.00- 0.10)	11%	22%	65%	2%
Oum Allou Profondeur (0,10-0,24)	22%	25%	48%	5%

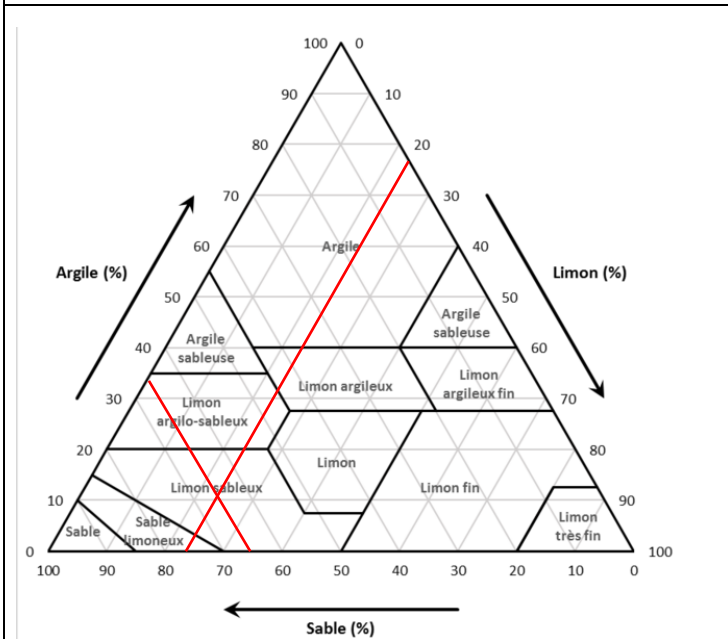
Chapitre III : Description de la zone d'étude



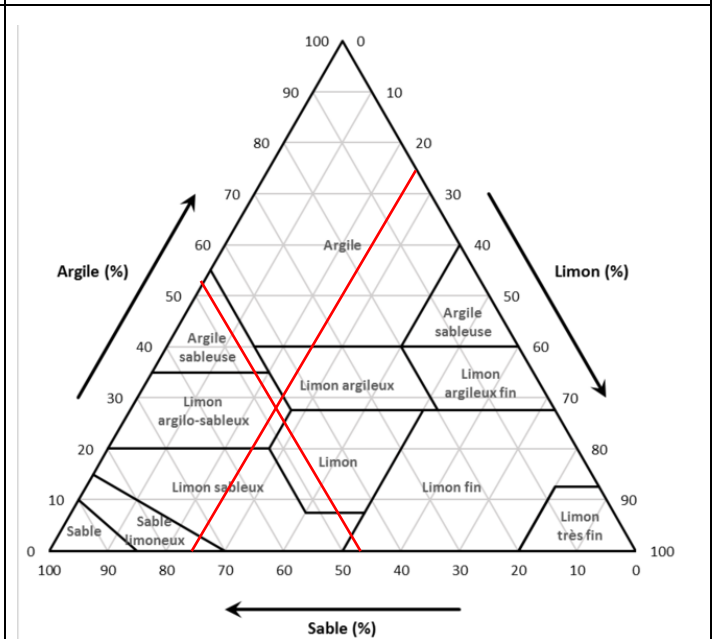
Triangle texture « fouille Ain Fezza »



Triangle texture « fouille Ouchba »



Triangle texture « fouille Oum Allou (0.00-0.10m) »



Triangle texture « fouille Oum Allou (0.10-0.24m) »

Figure III.19 : Triangles textures correspondantes aux quatre fouilles.

✓ **Interprétation des résultats :**

✓ **Différents types de sols identifiés :**

Rendzines à « Ouchba » [sol brun calcaire] :

En effet ces sols se rencontrent sur les roches mères calcaires, là où la végétation est généralement peu abondante, ce sont des sols peu profondes dits « squelettiques », ils ne possèdent pas de vrai horizons, l'horizon humifère repose sur la roche mère friable et qui affleure.

Quelques gouttes d'acide dilué posé sur un échantillon de la couche supérieur du sol produit l'effervescence (**Touyre, (2001)**) ce qui a été le cas pour cette fouille décrit ci-dessus.

Chapitre III : Description de la zone d'étude

Sols fersiallitiques rouges détectés à [Ain fezza et Oum Allou] : La plus grande partie des sols fersiallitiques est observée sous des conditions climatiques dites « méditerranéennes », l'hématite domine et colore l'horizon en rouge (10 R à 5 YR) les horizons minéraux, dans ces sols rouges le fer libre et les minéraux argileux sont fortement liés et contribuent à la formation d'agrégat poly hydriques à facette brillantes. Sur des roches mères carbonatées, abondantes l'altération est dominée par dissolution, qui libère un matériau silicaté très argileux (**Lamoureux, 1983**)

A Ain Fezza on repère la « **Terra rosa** », un sol décarbonaté dans un milieu bien drainé où les entraînements (Ca et Mg) sont supérieurs aux apports.

Située en aval le sol de Ain fezza est peu lessivé en effet, nous avons noté une épaisseur de 0,40 m.

A Oum Allou on détecte des sols fersiallitiques plus au moins sableux avec le plus grand taux de sable trouvé, lessivés et dénaturés mais hydromorphes en profondeur.

✓ **Différents types de roches sédimentaires identifiés (effervescence ou non au HCL) :**

A Ouchba, les rendzines reposent sur roches carbonatés plus au moins fragmentés.

A Ain fezza la couche du sol assez épaisse repose sur du calcaire bleu résistant et non poreux.

A Oum allou la roche est du grès riche en silice (SiO₂) [Tafza].

✓ **Différent textures identifiés dans nos fouilles :**

Une texture **limon-argileuse** pour la fouille de Ain fezza

Une texture **limon-sableuse** pour la fouille d'Ouchba.

Une texture **limon-sableuse** pour la fouille d'Oum Allou entre 0.00 et 0.1 m de profondeur.

Une texture **limon argileux sableuse** pour la fouille d'Oum Allou entre 0.10 et 0.24 m de profondeur.

Chapitre III : Description de la zone d'étude

- Les sols constitués d'éléments fins (argiles, limons fins) présentent une structure forte. Au-delà de 40 % d'argile, le sol devient lourd (structure massive, forte rétention de l'eau). Ce qui n'est pas le cas pour nos 4 échantillons.

- Les sols constitués d'éléments mixtes (limons, sables, 15 à 40 % d'argiles) – soit la majorité des sols – présentent une structure modérée.

- Les sols avec trop peu d'argile (moins de 15 %), constitués de limons et/ou sables (fins ou grossiers), ont une faible cohésion, donc une faible stabilité structurale. Ils sont facilement érodés, les particules libres étant transportées par ruissellement. Ce qui est le cas pour les fouilles Ouchba et Oum Allou entre 0.00 m et 0.1 m de profondeur.

III.8 Points d'eau et infrastructures hydrauliques :

On dénombre plusieurs sources dans la commune de Ain fezza, plus de 32 sources dont 22 opérationnelles et à écoulement pérenne, elles sont exploitées à des fins agricoles, les autres présentent un débit très faible, un écoulement saisonnier ou totalement tarées.

Dans notre zone d'étude hormis notre source Ain Sakhra, on compte plusieurs puits privés pour des besoins d'habitat rural épars et qui se sont proportionnellement multipliés avec le développement de l'agriculture, on enregistre aussi des demandes d'intéressés qui sollicitent la mise en bouteille de leur eau selon la DRE.

- **Alimentation en eau potable :**

Pour l'approvisionnement en eau potable des populations des centres de Ain Fezza et Béni Add c'est à partir d'un forage réalisé en 1985 avec un débit mobilisé de 17 L/s (2017) mais depuis la situation actuelle de distribution à travers ces centres, des tensions ont été enregistrées, ce qui a incité les autorités à améliorer la dotation à partir d'un système de dessalement de Honaine (tranche 2015).

D'autres forages existent à Ouchba et Oum Allou avec des débits moyens de 3 L/s 5 L/s alimentant des réservoirs de 500 m³ et 250 m³ gravitairement (P.D.A.U, 2011).

Tableau III.8 : tableau résumant les principales dotations et besoins des villes concernées par notre zone d'étude (P.D.A.U, 2011)

Commune	Population 2008	Dotation en l/j/hab	Besoins en eau (l/s)
Ain Fezza	3092	150	5.37
Ouchba	2867	150	4.98
Oum Allou	1645	150	2.86

- **Réseau de distribution et d'adduction :**

La distribution en eau potable est constituée par un réseau ramifié en acier galvanisé. Le tableau ci-dessous résume la longueur des conduites en ml (mètre linéaire) des réseaux d'adduction et distribution pour les villes qui concernent notre zone d'étude :

Tableau III.9 : Tableau résumant la longueur en ml des conduites de distribution et d'adduction des villes concernées par notre zone d'étude. (P.D.A.U, 2011)

Dispersion	Linéaire réseau de Distribution (ml)	Linéaire réseau d'Adduction (ml)
Ain Fezza	5255	2243
Ouchba	8596	2100
Oum Allou	9028	448

Chapitre III : Description de la zone d'étude

- **Assainissement :**

La commune dispose d'un réseau d'assainissement de type unitaire, d'un linéaire total de 20516 ml, réalisé en différents diamètres de $\varnothing 300$ à $\varnothing 600$, en béton comprimé. L'état du réseau d'assainissement à travers la commune Ain Fezza dans les villes concernées par notre zone d'étude se présente comme suit :

Tableau III.10 : Tableau résumant la longueur en ml des conduites de distribution et d'adduction des villes concernées par notre zone d'étude. (P.D.A.U, 2011)

Dispersion	Linéaire Assainissement (ml)	Lieu de rejet	Taux de raccordement (%)	Nature de Réseau
Ain Fezza	5835	Talweg	93.09	Unitaire
Ouchba	4920	Talweg	92.50	Unitaire
Oum Allou	2487	Talweg	85.81	Unitaire

III.9 L'occupation du sol

L'occupation du sol désigne pour la FAO (1998) « la couverture bio physique de la surface des terres émergés », elle peut être cartographiée pour définir les différents espaces urbains, agricoles, naturel...etc. Elle permet de comprendre l'organisation d'un territoire et sa dynamique spatiale, et peut être reproduite à partir d'images satellitaires et/aériennes. ^[1]

Dans notre zone d'étude on dénombre pas mal de terres agricoles, une urbanisation répondant à aucune norme d'urbanisation, des maisons détachés ayant pas été raccordé au réseau d'assainissement cependant des extensions ont été observé dernièrement dans la ville de Ain Fezza par de nouvelles constructions habitats, un cimetière, on compte également des carrières, des couverts forestiers par endroit et des sols nues à d'autres endroits où les roches mère sont affleurantes.

III.9.1 Agriculture

Selon l'A.N.A.T (1994 in Kherbouche 2016), la commune d'Ain Fezza est une commune essentiellement agricole, caractérisée par la céréaliculture, l'arboriculture, le maraîchage et l'élevage.

Chapitre III : Description de la zone d'étude

L'occupation des terres majoritairement par le secteur privé avec 74% est fonction des normes de pédologie, de pente, climat et d'irrigation et une superficie irriguée qui représente 410 ha, soit 7.55 % de la superficie agricole utile (**P.D.A.U, 2013**).

Les terres agricoles de la commune d'Ain Fezza sont classées comme suit :

- Les terres agricoles à hautes potentialités sont constituées de sols profonds à bonne texture irrigués ;
- Les terres agricoles à bonne potentialités sont constituées de sols de profondeur moyenne et irrigués ou de sols de bonne profondeur non irrigués et ne présentant aucune contrainte de topographie ;
- Les terres agricoles à moyennes potentialités sont constituées :
 1. De sols irrigués présentant des contraintes moyennes de topographie et de profondeur ;
 2. De sols non irrigués de profondeur moyenne et ne présentant pas des contraintes topographiques ;
 3. De sols non irrigués présentant des contraintes moyennes de topographie et de profondeur.
 - Les terres agricoles à faibles potentialités sont constituées de sols présentant de fortes contraintes topographiques, des contraintes de profondeur, de texture et d'érosion.



Figure III.20 : terre agricole irriguée par notre source en question, (Medjahdi et Ziani, 2017)



Figure III.21 : terre agricole à moyenne potentialité à Ain Fezza (Medjahdi et Ziani, 2017)

III.9.2 Elevage

L'élevage constitue une activité complémentaire à la production végétale. La commune dispose d'un cheptel évalué à 6230 têtes. La répartition de l'élevage par espèces fait apparaître la prédominance des ovins avec 5500 têtes, soit 88% du cheptel (P.D.A.U, 2013).



Figure III.22 : Elevage ovin remarqué dans la route communale entre la ville de Ain fezza et Ouchba (Medjahdi et Ziani, 2017)

III.9.2 Couverture forestière

Au nord de notre source à une dizaine de mètres une couverture forestière vierge a été contemplée, une autre aussi beaucoup plus au nord entre Ouchba, village Tizi et Oum Allou surnommé la forêt d'Ifri.



Figure III.23 : petite couverture forestière au nord à une dizaine de mètres de la source Ain Sekhra (**Ain fezza**), (**Medjahdi et Ziani, 2017**)

III.9.3 Zones d'activités

Des zones d'activité ont été observés éparpillés par endroit, les carrières d'un côté au nord de la source et de multiples industries au sud-est de notre source.

- Multiples industries :

Situées à l'Est de l'agglomération chef-lieu d'Ain Fezza, les multiples industries regroupent 05 unités dont trois unités opérationnelles :

- **Sarl Elalf** : c'est un point de fabrication d'aliment composé pour les animaux, d'un statut juridique privé, créée au juillet 2006, s'étend sur une superficie de 2.8 ha, occupe 90 employés, soit une densité moyenne de 32 emplois/ha ;
- **Sarl Inter entreprise unité Ain Fezza** (Entreprise distribution des matériaux de construction précédente) : c'est un point de fabrication de béton, d'un statut

Chapitre III : Description de la zone d'étude

juridique privé, créée en 2008, s'étend sur une superficie de 3.06 ha, occupe 23 employeurs, soit une densité moyenne de 08 emploi/ha ;

- **Complexe Ain Fezza (O.A.I.C)** : c'est un point de stockage de céréale, d'un statut juridique public, créée au 1985, s'étend sur une superficie de 07 ha, occupe 25 employeurs, soit une densité moyenne de 04 emploi/ha.
- Deux unités fermées, soit 40% du totale : (Syndicat inter commercial : c'est un point de vente de bois...etc.) (**P.D.A.U, 2011**).

- **Carrières :**

Les carrières sont les exploitations d'où l'on extrait de la pierre, du sable ou minéral non métalliques. Le chantier se fait à ciel ouvert, elles exploitent des roches meubles (éboulis, alluvionnaires) ou massives (roches consolidés sédimentaires tels que les calcaires et grès), l'impact des carrières sur l'environnement varie selon (stade d'exploitation, type d'extraction et de substrat).

On peut citer quelques impacts :

- Elles représentent un grand danger d'effondrement, car les filtrations d'eau les fragilisent ;
- Modification d'une façon importante du paysage ;
- Vibrations du transport par camions lors de leur circulation ;
- Utilisation des explosifs
- Réductions de la surface
- Réutilisation des carrières comme décharge publique

Dans notre zone d'étude on dénombre deux carrières sur les sept qui sont opérationnelles qui se trouvent dans la commune d'Ain fezza, des carrières dont certaines utilisent des explosifs, c'est le cas de la carrière d'Ouchba.



Figure III.24 : Sarl Elalf, société privée gérée par le groupe Kherbouche pour la fabrication et stockage d'aliments pour animaux, route vers Sidi Belabbes (Ain fezza) ^[2]



Figure III.25 : carrière opérationnelle (Ouchba), (Medjahdi et Ziani, 2017)

III.9.4 Population et leur répartition spatiale

La répartition de la population par dispersion fait apparaître que 29.34 % de la population est concentrée dans le chef-lieu de la commune (ACL Ain Fezza), suivi par l'AS-Ouchba avec 27.21 %, l'AS-Oum Allou avec 15.61 %. Ainsi, cette répartition démontre le caractère rural de la commune puisqu'aucun centre aggloméré ne dépasse le seuil des 5000 habitants, avec des taux d'accroissement allant de 1 à 3 % selon les villes de la commune d'Ain Fezza (**P.D.A.U, 2011**).

Une croissance qui engendre plus de demandes de logements en effet, grâce à notre enquête sur terrain nous avons remarqué de nouvelles constructions massives autour de la source qui ont très vite évolué entre notre première visite en décembre 2016 et mai 2017, des constructions en bâtiments principalement et maisons détachés ou simple garages.

III.9.5 Environnement

La commune ne compte pas une décharge publique, l'évacuation des déchets solides se fait au niveau d'une décharge public de la commune de Chetouane (Djebel El-Hdid), qui comprend les communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Ain Fezza. Elle est située à 15 Km au Nord de Tlemcen et s'étale sur une superficie totale de 42 ha. Concernant les moyens de collecte des déchets, la commune dispose de trois tracteurs, un camion, et seize (16) employeurs pour une rotation de 6/7 jours (**P.D.A.U, 2013**).

Néanmoins on distingue des déchets plastiques, cartons et emballages qui envahissent la ville chef-lieu Ain Fezza.

Chapitre III : Description de la zone d'étude

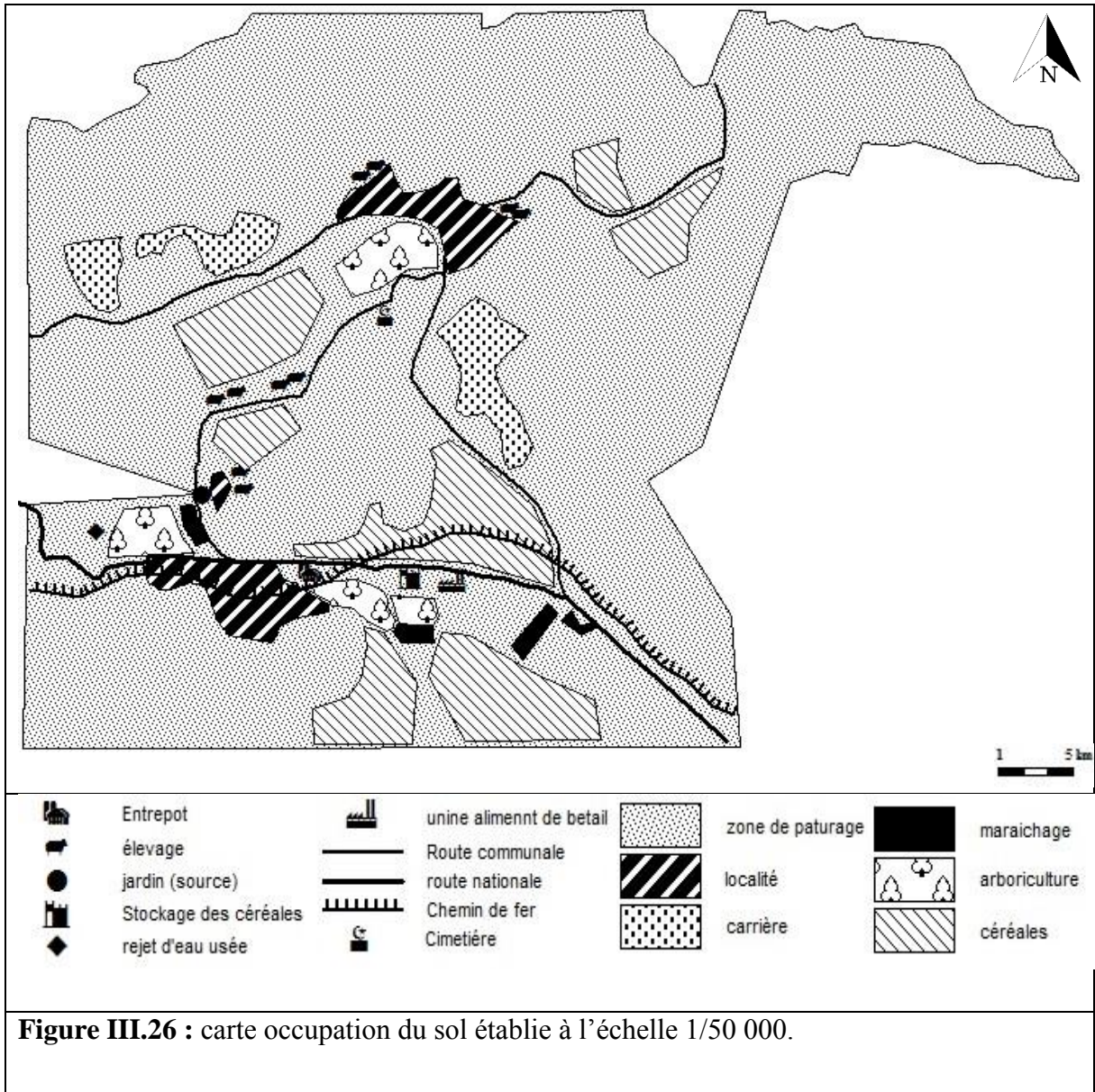


Figure III.26 : carte occupation du sol établie à l'échelle 1/50 000.

III.10 Conclusion

Nous concluons ce chapitre en ayant cité le plus que possible d'informations qu'on a pu recenser des différentes institutions dont la majorité ont été très coopératifs, ou élaborer par nous-même (analyses physico chimique et géotechniques) avec l'assistance des personnels de LTPO et ADE une étape importante pour nous car nous avons pu renforcer nos connaissances.

Les sorties sur terrain plusieurs fois entre les mois de décembre 2016 et mai 2017 ont démontré qu'avec aussi peu de temps l'extension des constructions été importante en tous les cas durant cette période-là.

Nous regrettons le manque de temps pour échantillonnages des points d'eau sur plusieurs périodes de l'année à fin de suivre son changement de qualité dans le temps, et la difficulté à accéder à certaines informations et archives.

Enfin, nous allons dans le dernier chapitre essayer d'appliquer ces données essentielles pour la cartographie de vulnérabilité de notre zone d'étude avec la méthode RISK.

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

La vulnérabilité peut être expliquée comme étant le résultat de la structure hautement hétérogène des aquifères karstiques. Ces aquifères sont d'une part alimentés par des infiltrations concentrées (perte de cours d'eau) et par une recharge diffuse à l'échelle du bassin d'alimentation, et d'autre part, ils possèdent de fortes conductivités hydrauliques au sein de leur système de drainage souterrain (réseau de conduits) et des perméabilités plus faibles au sein de la matrice rocheuse fissurée. Cette double dualité se traduit par un comportement hydraulique spécifique, à savoir des crues rapides de haute intensité liées à des infiltrations rapides à travers des réseaux de conduits aboutissant à la source (exutoire du système). Les processus de filtration et d'auto-épuration n'ont ainsi pas le temps de se développer, tels qu'on peut les rencontrer dans les aquifères à porosité (Dörfliger, 1996).

Dues à ces caractéristiques intrinsèques au milieu karstiques, les aquifères karstiques requièrent des mesures de protection spécifiques.

IV.1 Choix de méthode de la cartographie de vulnérabilité :

IV.1.1 Introduction

Les méthodes multicritères pour la cartographie de vulnérabilité qui permettent d'apprécier la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques en fonction de leurs caractéristiques de structures et de leur fonctionnement reposent globalement toutes sur un modèle conceptuel hydrogéologique similaire, et sont :

- La méthode EPIK (Suisse) de N. Dörfliger, élaborée en 1996 qui se base sur les critères : Epikarst, couverture Protectrice, Infiltration et réseau Karstique,
- Les méthodes RISKE et RISKE2 (Anglo-saxonne) qui se basent sur les critères : Réservoir aquifère, Infiltration, Sol, Karstification.

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

- Epikarst. RISKE2 prend en compte les phénomènes exo-karstiques tels que les dolines, avens et pertes.

Et enfin celle qui nous intéresse :

- la méthode RISK élaborée par la DIREN de Franche-Comté et le BRGM se base sur les critères : Réservoir aquifère, Infiltration, Sol et karstification et s'inspire des méthodes EPIK et RISKE. Elle signifie « Protection des aquifères karstiques basée sur la Protection, le Réservoir, l'Infiltration et le degré de karstification ». Elle se base donc dans un premier temps sur les critères : couverture Protectrice, Réservoir souterrain, Infiltration, degrés de Karstification. Dans un deuxième temps, le critère Infiltration est modifié avec la notion de vitesse de transfert au sein de l'aquifère permettant d'obtenir une carte de vulnérabilité du captage pouvant servir à la délimitation des périmètres de protection, Une cartographie des pressions polluantes ainsi que des risques de pollution vient compléter la cartographie de la vulnérabilité. (Agence de l'eau, (2013)).

IV.1.2 La méthode RISK

Comme définie en introduction, RISK est une méthode multicritères de cartographie intrinsèque d'un aquifère karstique. Elle prend en compte quatre critères :

- La roche aquifère (R) : c'est le type de formation géologique et la fracturation que retiens l'aquifère, en effet la nature des formations géologiques peuvent influencer sur la circulation de l'eau et donc sur les polluants potentiels, sa cartographie est réalisée sur une carte géologique 1/50 000. (Dörfliger, 2005).

Les différentes classes du critère « R » sont définies comme suit :

Tableau IV.1 : Classes des critères des roches aquifères

Critère	Caractéristiques	Indice
R0	Marnes (35-65% de minéraux argileux) – faible propriétés aquifères.	0
R1	Marnes-calcaire (35-65% de minéraux argileux) - faible écoulement.	1
R2	Calcaires avec intercalation de niveaux marneux, % de minéraux argileux (< 10 – 25%)	2
R3	Calcaire massif et/ou dolomites avec bancs épais sans fractures, calcaires en bancs minces avec fractures (fracturation homogène), écoulement souterrain facile et rapide	3

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

R4	Calcaire massif et/ou dolomites avec une forte intensité de fracturation et de karstification, écoulement souterrain facile et rapide, contamination rapide.	4
-----------	---	----------

- Les conditions d'infiltrations (I) : Les conditions d'infiltration de l'eau dans les aquifères karstiques sont très importantes dans la détermination de la vulnérabilité de l'aquifère. Elles tiennent compte de la pente (accélération du ruissellement) et de la présence de pertes (communication très rapide entre une perte et l'exutoire du réseau karstique), (Agence de l'eau, 2013). La carte des pentes est réalisée à partir d'un MNT. Le critère I prend en compte la morphologie de l'épikarst en s'intéressant à la présence de « vallées sèches », « dolines » et « Lapiez ». Dans la méthode RISK, l'épikarst joue un rôle d'accélérateur de l'infiltration. Sa présence augmente la vulnérabilité.

Les différentes classes du critère « I » sont définies comme suit :

Tableau IV.2 : Classes des critères d'infiltration « I »

Critère	Caractéristiques	indice
I₀	Très forte pente > 50%	0
I₁	Forte pente (15-50%)	1
I₂	Pente modérée (5-15%) et vallées sèches	2
I₃	Faible pente (0-5%), zones cultivées	3
I₄	Pertes active et leurs bassins versant, accidents tectoniques (failles majeures et alignement de dolines)	4

- La couverture protectrice ou sol (S) : Les formations recouvrant les roches aquifères ont un rôle essentiel par rapport à la vulnérabilité d'un aquifère. Le critère S dépend de la présence ou non d'une « couverture protectrice » entre le sol et la roche (moraines par exemple), des données disponibles sur l'épaisseur du sol, sa texture (cailloux, matrice...), sa composition (argiles, limons...). (Agence de l'eau, (2013)). Les paramètres importants en termes de protection, en plus de l'épaisseur, sont ceux qui vont conditionner l'infiltration plus ou moins rapide des polluants et les échanges susceptibles

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

de se produire dans les horizons de sol. Deux paramètres essentiels qui sont la texture d'une part, définie à partir des teneurs en argile, limon et sable ; la teneur en cailloux (pierrosité) d'autre part. (Dörfliger, 2005).

Les différentes classes des critères du sol sont comme suit :

Tableau IV.3 : classe de nature de sol selon la texture et la proportion de cailloux (ONEMA, 2005).

		texture		
		1 (argiles)	2 (limons)	3 (sables)
cailloux	1 (0-15%)	1	1	2
	2 (15-60%)	1	2	3
	3 (>60%)	2	3	3

Tableau IV.4 : classe de nature de sol selon l'épaisseur (ONEMA, 2005).

		Nature du sol			
		inconnue	1 (argiles)	2 (limons)	3 (sables)
Epaisseur	1 (>100 cm)	S1	S1	S2	S3
	2 (20-100 cm)	S2	S2	S3	S4
	3 (0-20 cm)	S3	S3	S4	S4
	4 (nulle)	S4	S4	S4	S4

- La karstification (K) : Le critère de karstification évalue le développement du réseau karstique, un critère aussi important et difficile à appréhender. (Agence de l'eau, (2013).

D'un point de vue de la vulnérabilité, les indications sur le degré du karstification peuvent être classées de la façon suivante :

Tableau IV.5 : classes de critères de Karstification « K »

Karstification	Critère	Caractéristiques	indice
	K ₀	Aquifère plus ou moins fissuré	0
	K ₁	Aquifère fissuré mais sans karstification	1
	K ₂	Réseau karstique peu développé ou mal connecté avec la surface	2

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

	K₃	Réseau karstique bien développé, présence de drains collecteurs de petite taille reconnus et connectés à la surface.	3
	K₄	Réseau karstique très bien développé, présence de drains collecteurs de grande taille, bien connectés à la surface	4

IV.1.3 L'indice de vulnérabilité :

L'indice global de vulnérabilité est calculé à partir de la formule suivante :

$$I_g = 0,15 R + 0,4 I + 0,25 S + 0,2 K$$

D'où **R**, **I**, **S** et **K** correspondent à la valeur des critères indexés.

Et les valeurs **0,15** ; **0,4** ; **0,25** ; **0,2** sont les poids de chaque critère.

Le calcul de l'indice global de vulnérabilité peut être effectué de façon automatique avec un logiciel SIG, à partir des 4 cartes de base des critères R, I, S, K.

La vulnérabilité est alors ré-classifiée en 5 catégories :

Tableau IV.6 : Les classes de vulnérabilité global selon la méthode RISK

Classification I _g	Indice	vulnérabilité
0-0.79	0	Très faible
0.8-1.59	1	faible
1.6-2.39	2	modérée
2.4-3.19	3	élevée
3.2-4	4	Très élevée

IV.1.4 Cartographie des pressions polluantes

Une carte des pressions polluantes est éditée à partir de l'occupation du sol. Cette cartographie est vérifiée par rapport à notre connaissance du terrain, elle est éventuellement

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

complétée ou actualisée. La carte des pressions polluantes est indicée en 5 classes de très faible à très élevée. On donne les indices en fonction de l'occupation du sol, ces indices mesurent la probabilité et l'intensité d'une pollution éventuelle.

Des données ponctuelles sont ajoutées à la carte, il s'agit : des installations classées pour l'environnement, des points de rejets des STEP, des décharges anciennes, des carrières, des routes.

IV.1.5 Cartographie du risque de vulnérabilité

Le risque correspond à un danger dont on peut jusqu'à un certain point mesurer l'éventualité, que l'on peut plus ou moins prévoir. Il y a dans ce terme une notion de probabilité qu'un évènement néfaste puisse se produire. (**Agence de l'eau, (2013)**).

La carte des risques provient du croisement de la carte des pressions polluantes et de la carte de vulnérabilité.

L'évaluation du risque dans le cadre de la protection des eaux souterraines karstiques, nécessite :

- Identification des risques potentiels
- Analyse de l'impact potentiel des risques sur les eaux souterraines (concentration et quantité de contaminants)
- Information sur les caractéristiques hydrogéologiques des matériaux géologiques qui peuvent influencer le transfert et l'atténuation des contaminants : vulnérabilité des eaux souterraines
- Information sur la valeur économique des eaux souterraines.

Les risques sont à nouveau répartis en 5 classes de très faibles à très élevés.

IV.2 Cartographie de la vulnérabilité selon la méthode RISK :

IV.2.1 Le Critère Roche aquifère « R » :

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Le premier des critères retenus est le type de formation qui constitue la roche aquifère. En effet, la nature des formations géologiques peut influencer les circulations de l'eau, et donc des polluants potentiels, à l'intérieur de l'aquifère. Les différentes classes du critère **R** peuvent se résumer comme suit en leur affectant à chacune un index de vulnérabilité :

Tableau IV.7 : Classes des critères des roches aquifères dans notre zone

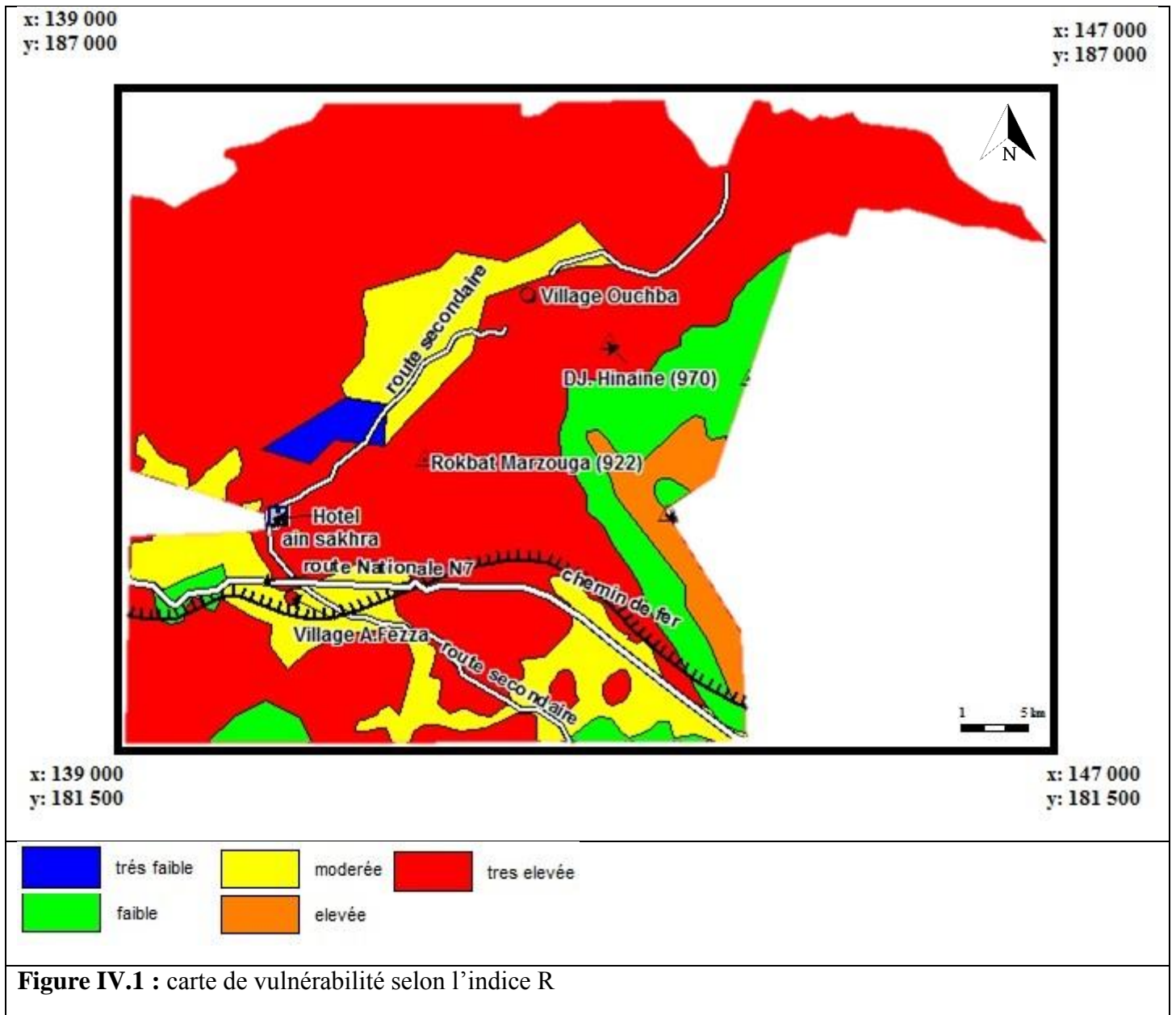
Critère	Caractéristiques	Indice
R0	Marnes (35-65% de minéraux argileux) – faible propriétés aquifères.	0
R1	Marnes-calcaire (35-65% de minéraux argileux) - faible écoulement.	1
R2	Calcaires avec intercalation de niveaux marneux, % de minéraux argileux (< 10 – 25%)	2
R3	Calcaire massif et/ou dolomites avec bancs épais sans fractures, calcaires en bancs minces avec fractures (fracturation homogène), écoulement souterrain facile et rapide.	3
R4	Calcaire massif et/ou dolomites avec une forte intensité de fracturation et de karstification, écoulement souterrain facile et rapide, contamination rapide.	4

En se basant sur les informations recueillies sur la carte géologique de Tlemcen 1/50 000, et les éléments hydrogéologiques de la zone d'étude, et à l'aide du logiciel « mapinfo », on a pu tracer la carte du critère « R » et classer les éléments comme suivant :

- L'aquifère le plus important dans notre zone et qui alimente directement la source Ain Sakhra c'est les Dolomies de Tlemcen (J^5), un massif à forte intensité de fracturation et karstification, qui engendre un écoulement souterrain facile et rapide, avec un risque de contamination rapide. On le représente sur la carte par **l'indice 4**.
- Dolomies et calcaire (J^7), formation de calcaire massif plus ou moins dolomitique, avec fractures, et un écoulement rapide et facile. Nous l'avons représenté sur la carte par **l'indice 3**.
- Les alluvions anciennes (q^1), seront présentées sur la carte par **l'indice 2**

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

- Marnes et calcaires (J⁶), contenant des minéraux argileux, qui ont un faible écoulement seront représentés par l'indice 1.
- Les grès tortoniens de Tlemcen (m³) seront représentés sur la carte par l'indice 0



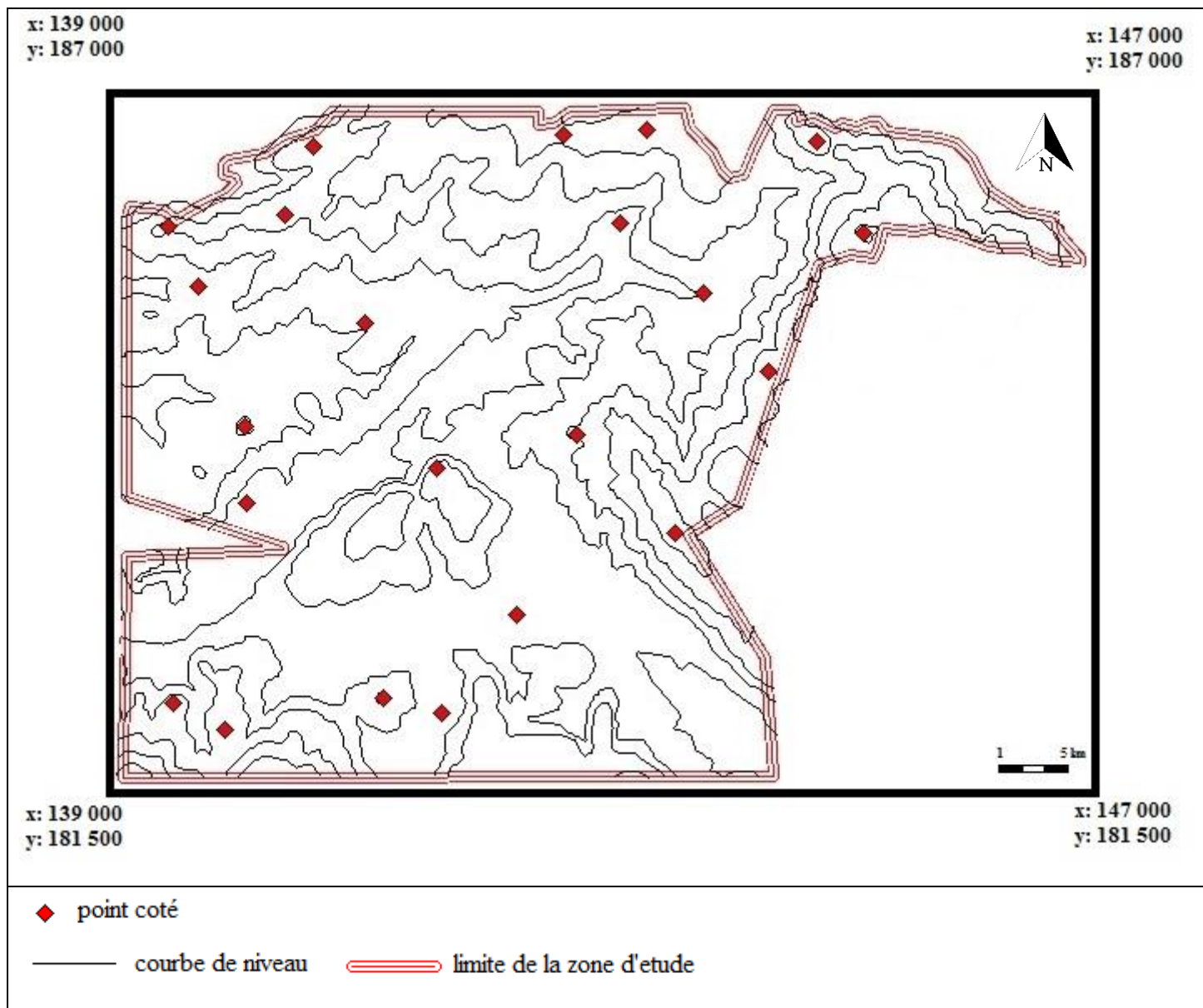
IV.2.2. Critère Infiltration « I »

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Dans le cadre de la détermination de la vulnérabilité des aquifères karstiques, ce n'est pas la quantité d'eau infiltrée qui importe mais la façon dont elle s'infiltré. La distinction essentielle se fait au niveau du mode de pénétration : Infiltration diffuse / infiltration ponctuelle.

Les deux paramètres primordiaux retenus sont la pente qui va plus ou moins favoriser le ruissellement au détriment de l'infiltration et les pertes qui vont permettre une infiltration de fissure directe et très rapide de l'eau jusqu'à l'aquifère.

Dans notre cas nous avons récolté les informations sur les altitudes en numérisant la carte hypsométrique de Tlemcen 1/50 000, puis nous avons tracé les courbes de niveau et on identifie les points coté dans notre zone d'étude comme nous montre **la figure IV.2.**



Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

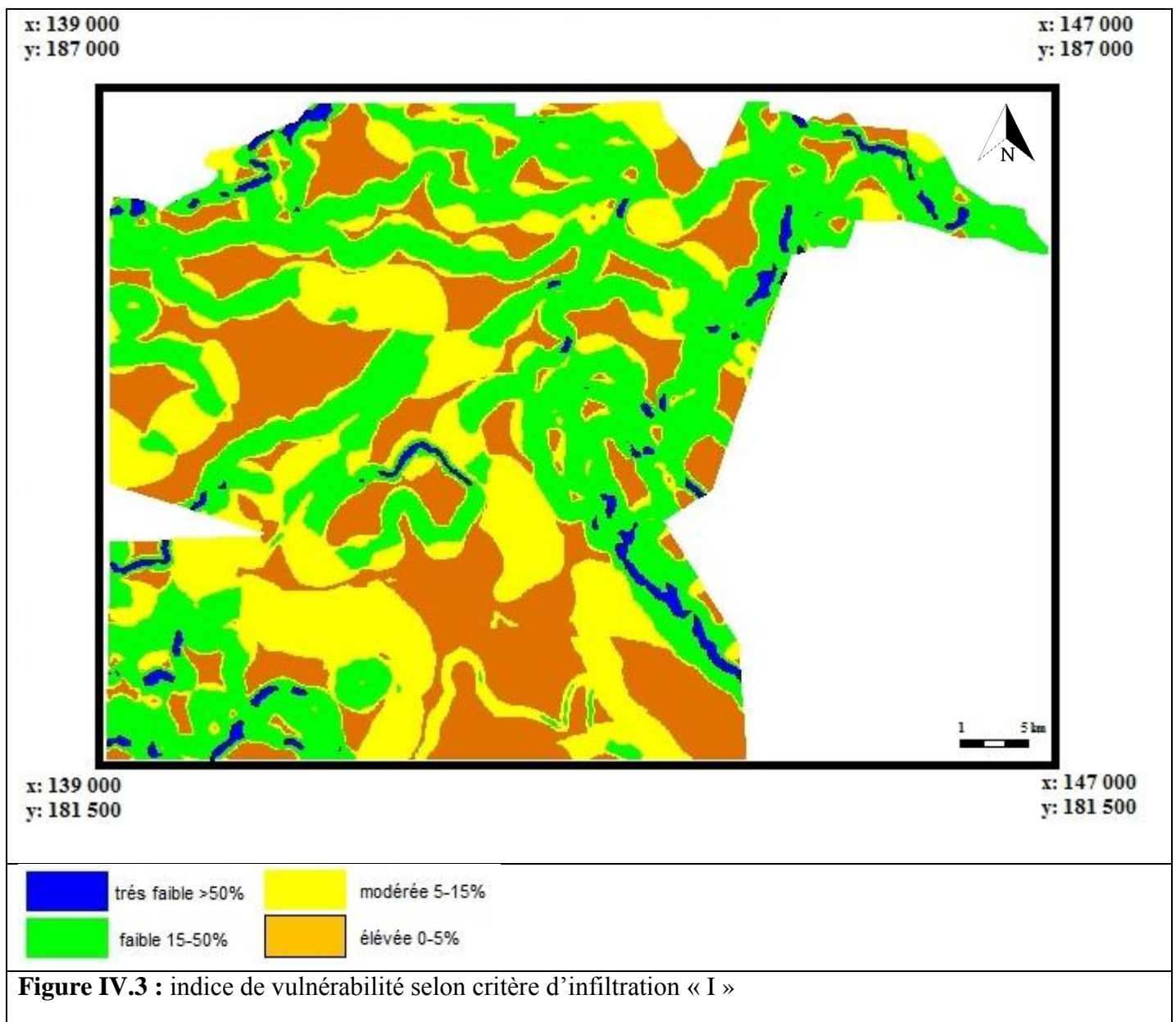
Figure IV.2 : carte topographique de la zone d'étude

En utilisant Vertical Mapper sous SIG nous avons obtenu la carte des pentes (**figure IV.5**), ainsi 4 classes du critère « I » sont définies (voir **tableau IV.2**).

Tableau IV.8 : Classes des critères d'infiltration « I » dans notre zone

Critère	Caractéristiques	indice
I₀	Très forte pente	0
I₁	Forte pente	1
I₂	Pente modérée et vallées sèches	2
I₃	Faible pente, zones cultivées	3
I₄	Pertes active et leurs bassins versant, accidents tectoniques (failles majeures et alignement de dolines)	4

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)



IV.2.3 : Critère Sol « S »

Les formations pédologiques forment une couverture protectrice au-dessus des roches aquifères. Il est donc important d'évaluer le pouvoir protecteur et/ou régulateur de ces horizons vis-à-vis de polluants potentiels.

D'une manière générale, les sols ne sont pas très développés en région karstique et quand ils sont présents, ils sont très hétérogènes dans l'espace. Leur nature et leur épaisseur sont fortement influencées par la nature du substratum.

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Connaissant la texture et la proportion de cailloux des horizons de sol, nous pouvons croiser ces informations afin de déterminer un nouveau paramètre "nature du sol".

Même si l'on ne dispose que de peu d'informations sur les sols, le paramètre le plus facilement accessible est l'épaisseur. Dans notre cas, les documents cartographiques de la pédologie de la région d'étude sont manquants, alors nous avons utilisé nos propres moyens pour collecter ces données, à l'aide de la carte de végétation, ainsi que les photos aériennes, et par nos observations et mesures ponctuelles, en utilisant les outils nécessaires, les résultats obtenus sont :

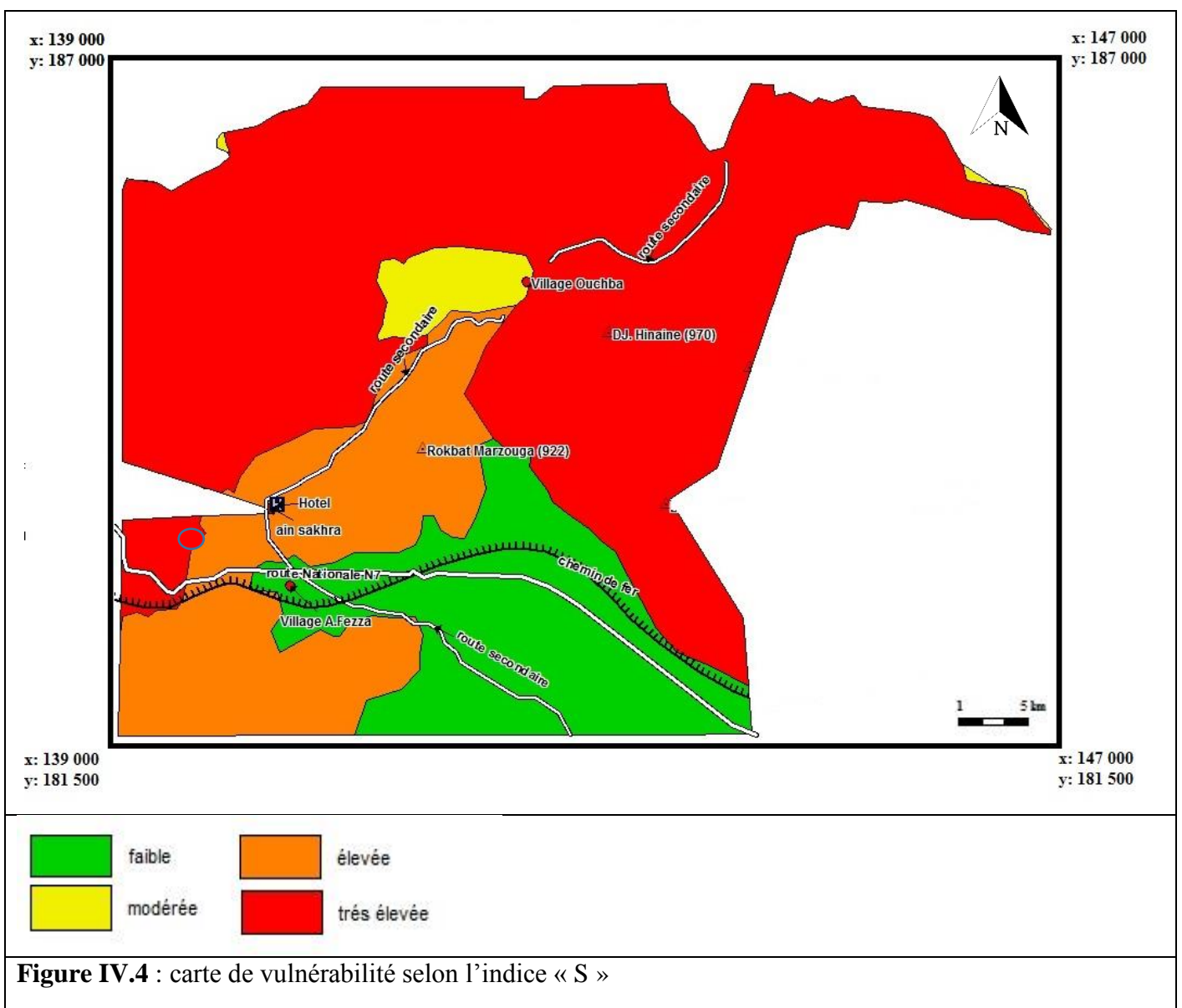
- Le plateau d'Ouchba : nous avons effectué les mesures par nous-même et nous avons trouvé une épaisseur entre 24 et 40 cm.
- La petite pleine a l'est du village Ain Fezza : se trouve des parcelles irriguées, et le forage d'Ain Fezza qui alimente le village en AEP, en se basant sur les informations requises du log lithologique de ce dernier nous avons décidé que l'épaisseur est supérieur à 100 cm.
- Une surface très importante de la zone est une région montagneuse où la roche affleure en grande partie, nous avons jugé l'épaisseur dans cette régions est nulle.
- D'autres régions couvertes essentiellement de maquis, où l'épaisseur varie de 0 à 20 cm.

Connaissant la texture et la proportion de cailloux des horizons de sol, nous pouvons croiser ces informations afin de déterminer un nouveau paramètre "nature du sol". Dans notre cas on ne dispose pas de beaucoup d'informations concernant la texture du sol et la proportion des cailloux sur toute la région, vu que le nombre de prélèvements que nous avons effectué ne permet pas d'avoir une idée globale sur la nature du sol sur toute la zone, donc nous allons utiliser l'épaisseur du sol comme paramètre principale pour déterminer le degré de vulnérabilité selon le critère « S » comme le montre le **Tableau IV.4** ci-après.

Tableau IV.9 : Vulnérabilité Selon le critère « S » dans notre cas

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

		Nature du sol			
		inconnue	1 (argiles)	2 (limons)	3 (sables)
Epaisseur	1 (>100 cm)	S1	S1	S2	S3
	2 (20-100 cm)	S2	S2	S3	S4
	3 (0-20 cm)	S3	S3	S4	S4
	4 (nulle)	S4	S4	S4	S4



Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

IV.2.4 Critère K

La karstification du milieu est l'un des paramètres les plus importants qui conditionnent la vulnérabilité. C'est aussi un des critères les plus difficiles à appréhender. Ce critère permet de caractériser la vulnérabilité du milieu souterrain, la cible de la méthode de vulnérabilité étant la source ou le captage et non la ressource.

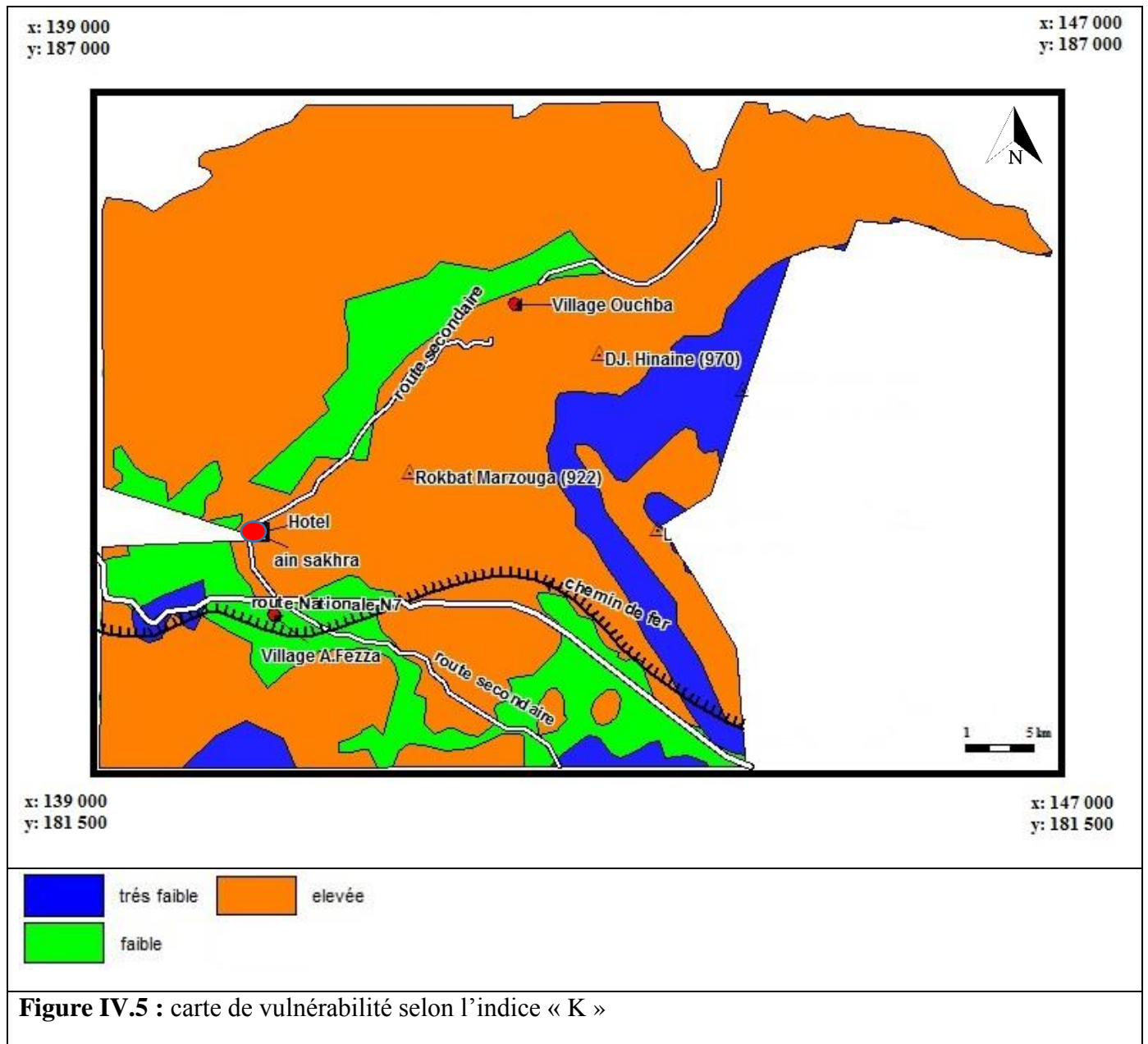
Dans notre région d'étude on distingue 3 zones principales :

- La plus grande surface c'est sur les Dolomies de Tlemcen (J5) qui est une formation contenant des zones karstifiées plus ou moins connectée avec la surface à l'image de quelques cavités trouvés dans la région nous avons choisi de la cartographier avec l'indice K₃.
- Une zone de quaternaires et d'alluvions sans karstification qu'on a cartographié avec l'indice K₁
- La zone qui est sur les marnes et calcaires (J⁷) est une formation non fissurée et donc sans karstification, nous l'avons cartographié avec l'indice K₀

Tableau IV.10 : classes de critères de Karstification « K » dans notre cas

	Critère	Caractéristiques	indice
Karstification	K₀	Aquifère plus ou moins fissuré	0
	K₁	Aquifère fissuré mais sans karstification	1
	K₂	Réseau karstique peu développé ou mal connecté avec la surface	2
	K₃	Réseau karstique bien développé, présence de drains collecteurs de petite taille reconnus et connectés à la surface.	3
	K₄	Réseau karstique très bien développé, présence de drains collecteurs de grande taille, bien connectés à la surface	4

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)



IV.3 Carte de vulnérabilité « R.I.S.K »

IV.3.1 Indice globale de la vulnérabilité

Le calcul de l'indice global de vulnérabilité est effectué selon la formule suivante :

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

$$I_g = \alpha K_i + \beta R_j + \delta I_k + \gamma S_l$$

I_g : Indice global de vulnérabilité

$\alpha, \beta, \delta, \gamma$: Poids de chacun des critères

K_i, R_j, I_k, S_l : valeurs des critères indexés

Nous avons utilisé le logiciel Vertical Mapper sous SIG pour effectuer le calcul de l'indice global de vulnérabilité en superposant les quatre cartes précédentes (R.I.S.K).

Le résultat est la relation suivante :

$$I_g = 0,15R + 0,4I + 0,25S + 0,2K$$

Nous avons obtenu alors 5 classes de vulnérabilité selon la méthode RISK

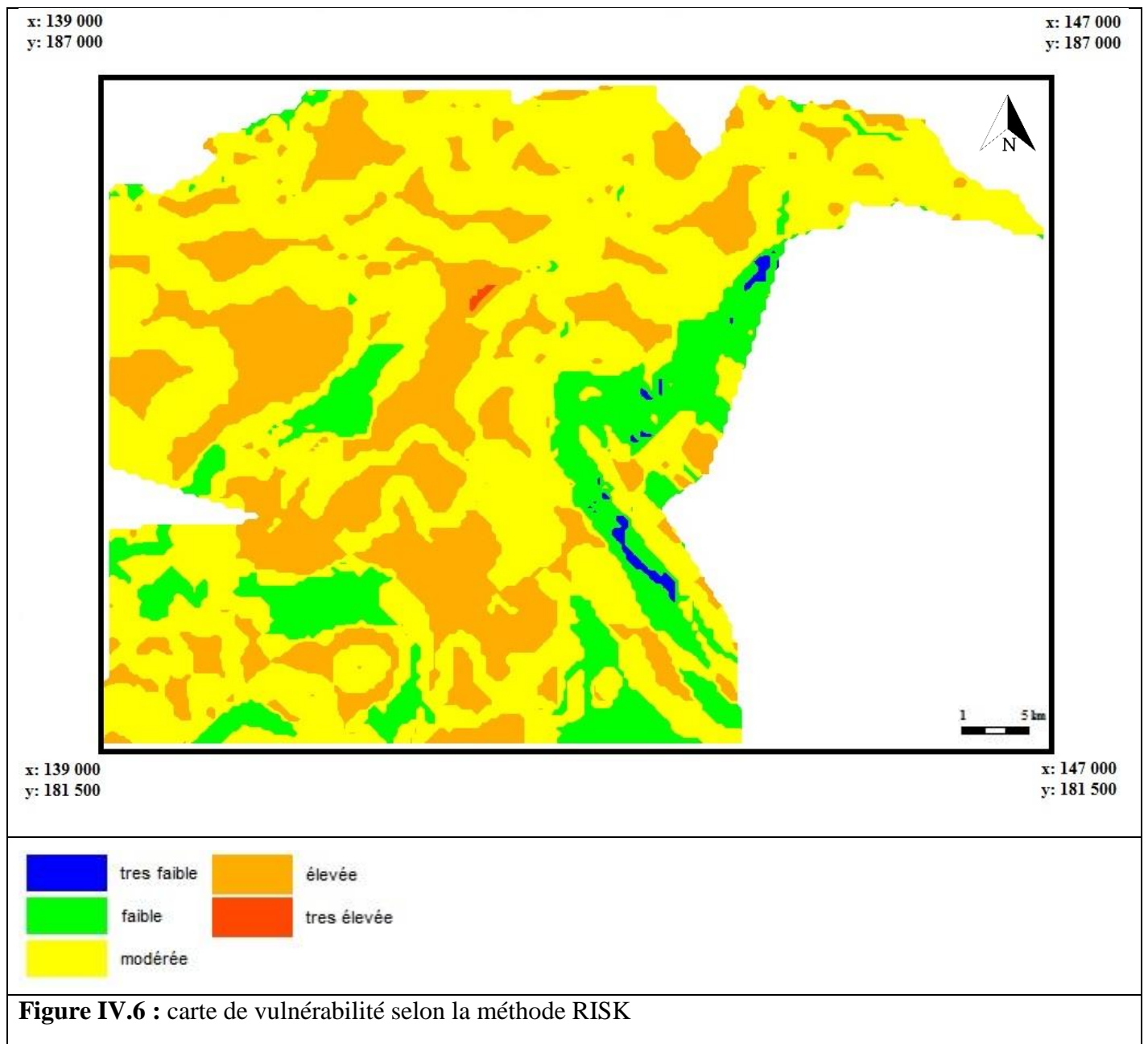
Toutes les alternatives des critères ont été classées en 5 catégories indexées de 0 à 4, du moins au plus vulnérable. La classe intermédiaire 2 correspondant aux caractéristique moyennement vulnérables de chaque critère, Voir le (Tableau IV.6).

Tableau IV.11 : Les classes de vulnérabilité global selon la méthode RISK dans notre zone

Classification I_g	Indice	vulnérabilité
0-0.79	0	Très faible
0.8-1.59	1	faible
1.6-2.39	2	modérée
2.4-3.19	3	élevée
3.2-4	4	Très élevée

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Dans la même logique, l'indice global de vulnérabilité (Ig) obtenu en chaque pixel de la zone d'étude est divisé en 5 classes (0 à 4) allant du moins au plus vulnérable



Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Après la combinaison des quatre cartes précédentes, nous avons obtenu la carte de vulnérabilité par la méthode RISK.

Cinq degrés de vulnérabilité caractérisent notre zone d'étude : très forte, forte, modérée, faible et très faible.

La région nord-ouest de la zone est directement influencée par le critère « I », on peut voir que la région cartographiée en vulnérabilité faible c'est la région où la pente est très forte (> 50%) ce qui signifie une infiltration minimale voire négligeable, et là où nous avons une pente faible (0-5%) la vulnérabilité est élevée.

Au milieu les Grès tritoniens ont la plus grande influence sur la vulnérabilité, qui est très faible dans cette région, et la seule petite zone sur la carte avec une vulnérabilité très forte c'est due à une pente très faible (0-5%) sur des alluvions ce qui favorise l'infiltration.

La région sud-ouest est influencée par le paramètre « I » ainsi que le paramètre « R », la vulnérabilité est faible dans les endroits où la pente est supérieure à 50% et modérée là où la pente est de (5-15%) et où l'épaisseur du sol est plus ou moins faible.

Sur le long de la région est on voit clairement que la vulnérabilité faible est localisée au niveau des affleurements des marnes et calcaire (J⁷) qui sont non karstifiables, et très faible sur les sommets où la pente est supérieure à 50%.

Tableau IV.12 : répartition de la vulnérabilité sur la zone d'étude

Vulnérabilité	Surface en Km ²	Proportion en %
Très élevée	0,0156	0.054
élevée	7,235	25.174
modérée	17,630	61.340
Faible	3,748	13.045
Très faible	0,111	0.387

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Selon les résultats 61% de la région est cartographier de vulnérabilité modérée, dans l'ensemble les couches minces du sol sont équilibrées soit par une forte pente, ou une formation peu Karstifiable et vice versa. Nous avons aussi 25 % de la superficie est une zone a vulnérabilité élevée, on peut déduire que cette zone est susceptible d'être sujet à des pollutions. Ceci est du particulièrement à l'existence de karstifications au niveau des formations carbonatées du jurassique ainsi qu'à l'existence des zones plates qui favorisent l'infiltration.

IV.4 Cartographie des aléas

L'évaluation du risque est une étape dans le processus de protection des ressources en eau souterraine et plus particulièrement de l'établissement des périmètres de protection. Le risque, terme utilisé pour mettre en évidence la probabilité d'une contamination possible résultant d'un événement aléatoire, constitue l'origine possible d'une contamination liée à une activité donnée. Combinée à la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque, caractérisant la sensibilité du milieu souterrain à la contamination, elle permet de déterminer les conséquences potentielles d'une contamination.

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

IV.4.1 Evaluation des risques

Une carte des pressions polluantes peut être effectuée à partir du plan d'occupation du sol, et la connaissance du terrain. Cette carte est indicée en 5 classes de très faible à très élevée.

Les risques peuvent être répartis en plusieurs catégories, selon deux niveaux comme il est indiqué sur le tableau ci-après :

Tableau IV.13 : Cartographie des risques selon le COST 620

N°	Niveau I Catégorie des risques	Niveau II Catégorie des risques
1	Infrastructure	<ul style="list-style-type: none">-Eaux usées-Déchets municipaux-Huiles et essences-Transport et trafic-Zones récréatives-Divers
2	Activités industrielles	<ul style="list-style-type: none">-Mines (en cours d'exploitation et post-exploitation)-Excavation-Exploitation de gaz et pétrole-Industries (hors mines)-Stations électriques-Stockage industriel-Traitement d'eaux usées
3	Animaux et agriculture	<ul style="list-style-type: none">-Bétail-Agriculture

IV.5.2 Poids des aléas selon notre zone d'étude :

Les pressions polluantes qui se trouvent dans notre zone d'étude sont caractérisées en détail dans le tableau suivant :

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Tableau IV.14 : le poids des aléas dans notre zone d'étude

N°	Dangers	Poids d'aléa (H)
1	Développement des infrastructures	
1.1	Eau usée	
1.1.1	Maisons individuelles raccordées à un système d'assainissement	35
1.1.3	Maisons individuelles sans assainissement	45
1.4	Transport et circulation	
1.4.1	Route non sécurisée	40
1.4.5	Chemin de fer	30
1.6	Divers dangers	
1.6.1	cimetière	25
2	Activité industrielle	
2.2	Site d'excavation	
2.2.3	carrière	25
2.4	installation industrielle	
2.4.10	Usine alimentaire	45
2.6	Stockage industriel	
2.6.1	Stockage de matières premières et produits chimiques	60
2.6.4	Stockage de matériaux non dangereux	45
3	Eleavage et agriculture	
3.1	Eleavage	
3.1.1	Grange animale (hangars, abris, étable)	30
3.1.6	Zone de pâturage intensif	25
3.2	Agriculture	
3.2.4	Zone agricole intensive	30
3.2.5	Jardin	15

Ce tableau montre le poids H de chaque type d'aléa, ou le degré de danger sur les ressources souterraines. Les valeurs de poids H varient de 10 jusqu'à 100

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

IV.4.3 Pondération des aléas (calcul d'indice de danger) :

Afin d'obtenir le tableau d'aléas classés H_i qui décrit le danger de chaque aléa, avec des valeurs qui varient de 0 à 120, et qui nous donne 5 classes de degré d'aléa, on utilise la relation suivante pour ce calcul :

$$H_i = H \times Q_n \times R_f$$

Avec :

H_i : Aléa classé

H : poids d'aléa

Q_n : facteur de classement (varie entre 0.8 et 1.2)

R_f : facteur de réduction (varie de 0 à 1)

Le facteur Q_n est utilisé afin d'indiquer la pondération quantitatif qui est la quantité de substances toxiques par rapport à la moyenne général

Le facteur R_f est utilisé dans le cas où nous avons des informations sur la sécurité de l'aléa, si on ne dispose d'aucune information le R_f prend la valeur 1, si l'aléa est sécurisé à 100% le R_f prends la valeur 0.

Le tableau ci-après nous montre les classes de l'indice H_i . (**Tableau IV.15**)

Tableau IV.15 : Indices et classes des Aléas

Classification d'aléa	Classe d'aléa	Vulnérabilité	Couleur su la carte
0 - 24	1	Très faible	Bleu
> 24 - 48	2	Faible	Vert
>48 - 78	3	Modérée	Jaune
>72 - 96	4	élevée	Orange
>96 - 120	5	Très élevée	rouge

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Après avoir fait les calculs on obtient la carte des aléas classés (**Figure IV.7**)

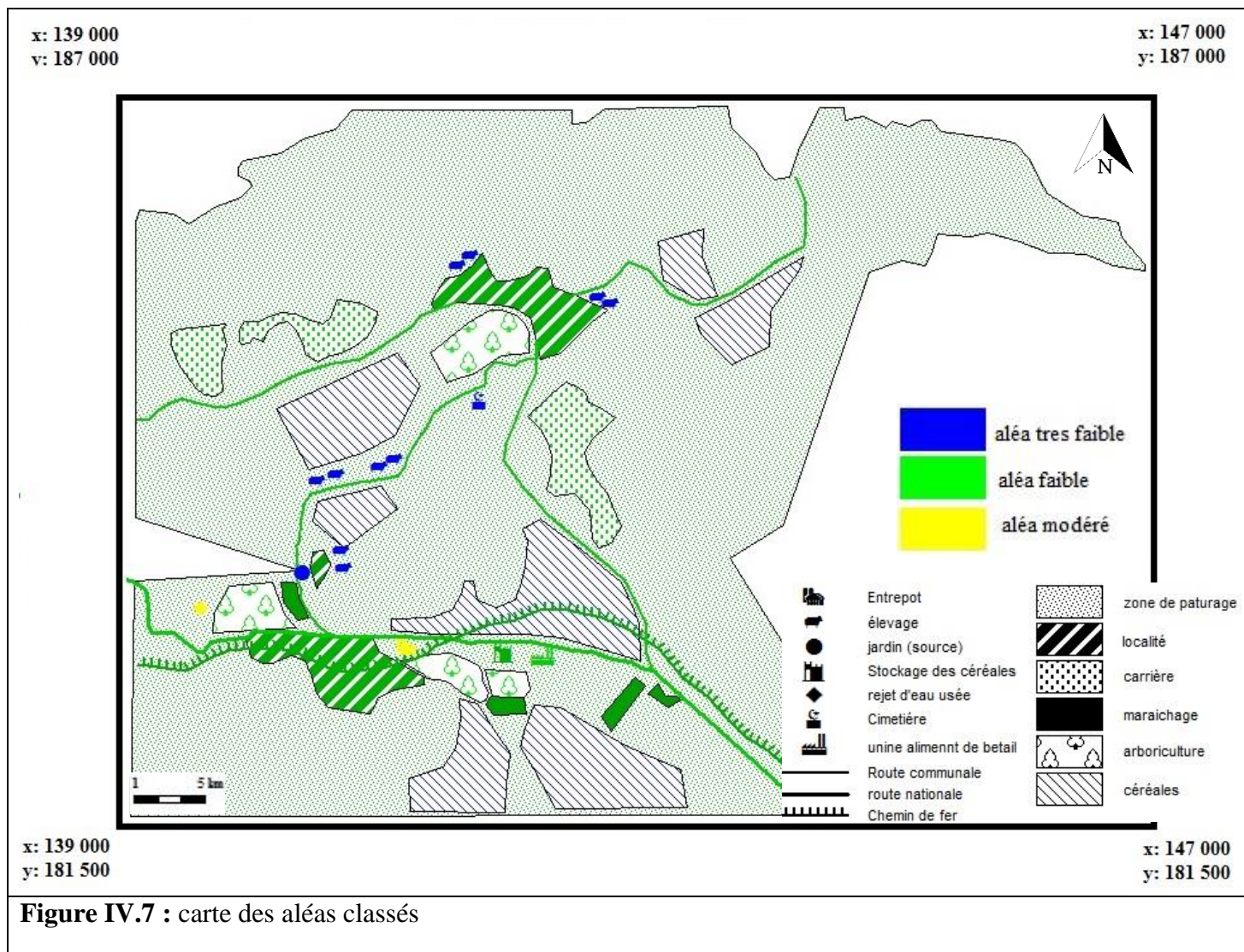


Figure IV.7 : carte des aléas classés

IV.5 Cartographie du risque de pollution :

IV.5.1 Application sur la zone d'étude

La carte des risque est le résultat d'une superposition de la carte de vulnérabilité selon la méthode RISK (**figure IV.6**), et la cartes des aléas classés (**figure IV.7**).

L'intensité du risque est obtenue à partir de COST 620 et calculée par la formule suivante :

$$R_i = H_i \times I_g$$

Avec :

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Ri : indice d'intensité de risque

Hi : indice d'Aléa classé

Ig : indice de vulnérabilité

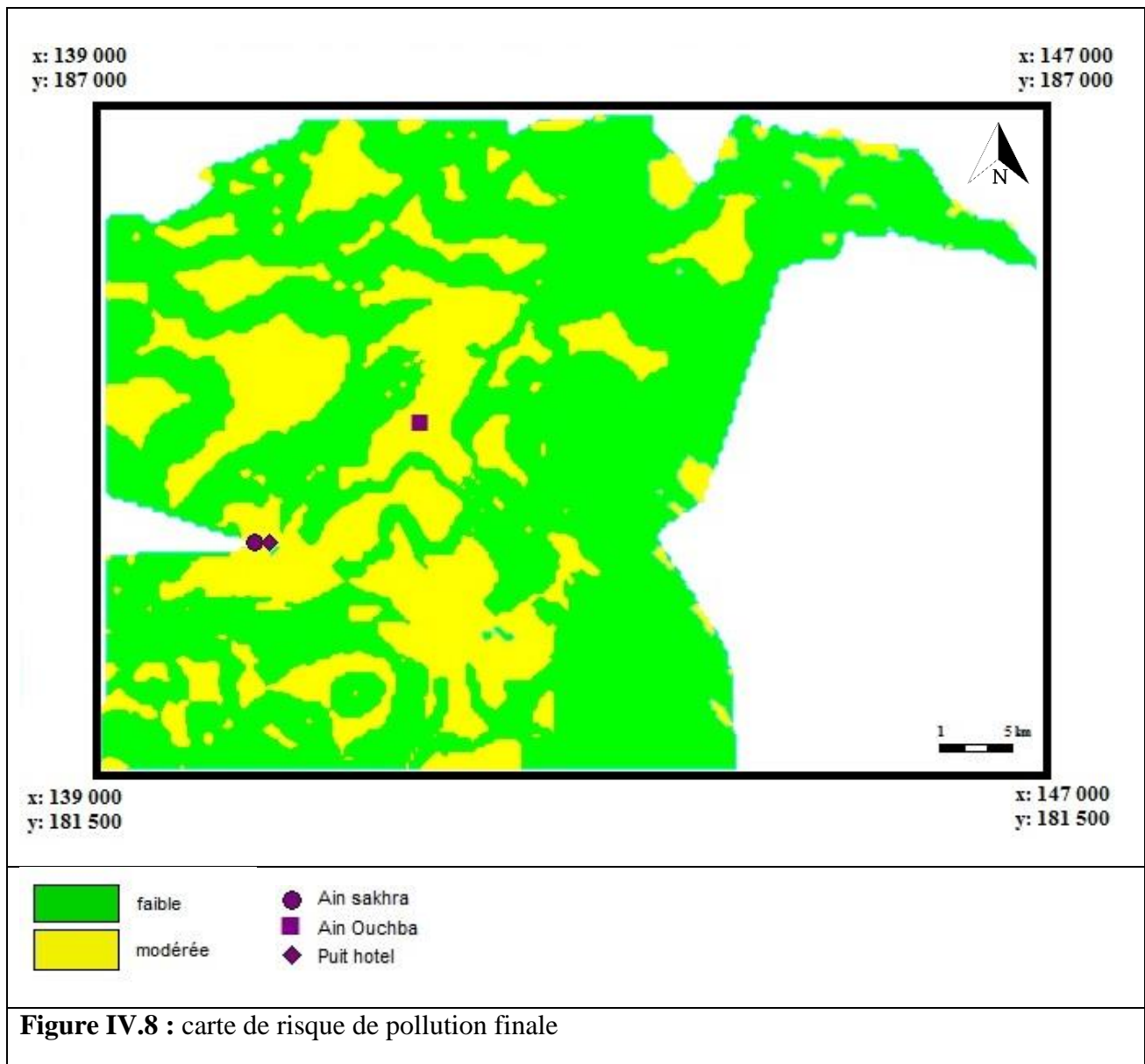
Les risques sont répartis en classes : faible, modéré et élevé (**tableau IV.16**)

Tableau IV.16 : classes des risques

Intensité de risque	Indice d'intensité de risque	Niveau d'intensité de risque	couleur
172-182	2	Elevé	Rouge
76-172	1	Modéré	Jaune
52-76	0	Faible	bleu

Le croisement des deux cartes, la carte d'aléa classé et la carte de vulnérabilité nous a donné la carte de risque présente dans la figure suivante : (**figure IV.8**)

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)



IV.5.2 Discussions des résultats :

Résultat de la combinaison de la carte de vulnérabilité contenant des classes allant de très faible à élevé, avec la carte des aléas de dangers faible à modéré, on obtient la carte risque à deux classes à savoir faible et modérée.

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

Comme indiqué dans le **Tableau IV.17**, plus de 71% de la superficie totale de notre zone d'étude est à risque faible, en effet on peut remarquer que cette zone est dépourvue d'activités industrielles, d'infrastructure et divers autres aléas à grand risque, par contre elle inclut l'élevage et l'agriculture, qui sont des aléas à risque faible à très faible. En contrepartie les 28% restantes de la totalité de notre zone d'étude est à risque modéré, cela peut être dû aux différentes infrastructures et activités industrielles focalisés dans cette région tel que :

- Le stockage des matières premières et produits chimiques.
- Le rejet des eaux usées domestiques dans le milieu naturel.

Tableau IV.17 : répartition du risque de pollution des eaux souterraine dans la zone étudiée

Le risque	Superficie	proportion
faible	20.59 km	71.82 %
modérée	8.08 km	28.18 %

Les points d'eau représentés dans la **figure IV.8** se trouvent dans la zone à risque modéré, deux de ces points : Ain Ouchba et le puit de l'hôtel, sont contaminés d'après les analyses bactériologiques effectués et détaillés dans le chapitre précédent. Seule la source d'Ain Sakhra a représenté une eau de bonne qualité.

Dans ce cas, on pense que des poids d'aléas sont sous-estimés, vu le risque qu'ils représentent réellement, notamment le point de rejet d'eau usée dans le milieu naturel hiérarchisé par un poids de 45 et après le calcul son indice de risque s'avère modéré, alors qu'il représente un danger bien élevé en réalité. La même remarque s'applique sur l'agriculture maraichère où on utilise généreusement de pesticides et sur les carrières où la circulation des engins est importante.

Chapitre IV : Application sur la zone d'étude (carte de vulnérabilité, carte du risque et recommandations)

IV.5.3 Conclusion et recommandations

La mise en œuvre de la méthode RISK en milieu karstique, nécessite d'avoir au préalable caractérisé du point de vue hydrogéologique le système karstique et d'avoir une connaissance topographique et pédologique sur ce système.

Les informations à acquérir nécessitent de collecter des données à partir des études préalables, de documents cartographiques (cartes topographiques, cartes géologiques, cartes pédologiques) ou spatialisés (photos aériennes) ainsi que des reconnaissances de terrains. Des observations naturalistes sont indispensables pour bien apprécier les différents critères et choisir l'indice de vulnérabilité approprié pour chaque critère.

Le résultat de la superposition de la carte de vulnérabilité selon la méthode RISK avec la carte des aléas classés, est la carte finale de risque qui va nous permettre de dimensionner un périmètre de protection.

Notre sujet d'étude (source Ain Sakhra) se trouve dans une zone à risque modéré, en l'occurrence un périmètre de protection immédiat ne peut pas être établi car la source fait partie du parc de loisirs qui doit être surveillé, or un grillage est esthétiquement désagréable. Par contre vu la vulnérabilité du secteur, un périmètre de protection immédiat est nécessaire dans le cas de la source Ain Ouchba qui se trouve également dans une zone à risque modéré, il sera matérialisé par un grillage afin d'éviter la contamination de l'eau par les déjections ovins vu qu'elle se trouve dans une région de pâturage intensif et d'élevage.

On propose un périmètre de protection rapproché à partir de la source Ain Sakhra, incluant la source Ain Ouchba, ce qui engendre la réglementation de l'installation des canalisations des eaux usées, et évite les pollutions ponctuelles et diffuses liés aux engrais, pesticides, les rejets des eaux usées ménagère dans les cours d'eau et les ruissellements des eaux polluées aux hydrocarbures.

On propose aussi une gestion durable des points d'eau en question (Ain Sakhra, Ain Ouchba et puit de l'hôtel) par un programme d'analyses régulières et un suivi rapproché de la source Ain Sakhra, ainsi que la désinfection fréquente du puit de l'hôtel au chlore ou à la chaux pour éviter la prolifération de la contamination.

Conclusion général

Ain Sakhra est une source située à une centaine de mètres du chef-lieu de la commune d'Ain Fezza, elle fait partie d'un parc de loisir ouvert au public.

La région d'Ain Fezza fait partie des monts de Tlemcen qui constituent un massif carbonaté très étendu et contenant des aquifères karstiques, considérés comme des aquifères à risque, ils sont réputés particulièrement sensibles aux pollutions et leurs vulnérabilités présentent un défaut capital. Pour cela des périmètres de protection sont indispensables pour protéger ces ressources, qui sont généralement la seule source d'approvisionnement en eau dans les régions arides et semi-arides.

La cartographie de vulnérabilité est l'une des meilleures méthodes qui contribuent à la protection des eaux souterraines, elle peut être ajoutée comme appui dans les législations algériennes qui d'ailleurs manquent de précision concernant les méthodes utilisées pour le dimensionnement des périmètres de protection.

Dans notre cas la carte finale, résultat de la combinaison de la carte de vulnérabilité selon la méthode RISK à celle des aléas, a donné une majorité de 72% de la superficie totale de la zone d'étude à risque faible et les 28% restante sont une zone à risque modéré.

Le parc de loisirs attire beaucoup de visiteurs pour se distraire et s'approprier des bouteilles d'eau pour la consommation. Bien que les résultats des analyses physico-chimique et bactériologique de la source Ain Sakhra soient conformes aux normes de potabilité, la protection de cette source reste une tâche importante, car on ne peut pas s'appuyer sur une seule analyse pour juger sa qualité.

Les eaux de la source d'Ain Ouchba qui est cartographié dans une zone à risque modéré sont contaminées selon les analyses bactériologiques effectuées, vu qu'elle se trouve dans une zone d'élevage et de pâturage intensif avec filtration des eaux de surface, de même pour le puits de Ain Fezza qui n'est pas désinfecté par son propriétaire et se caractérise par une paroi non étanche, avec une utilisation non fréquente ce qui facilite la prolifération des bactéries dans une eau stagnante.

Nous recommandons alors :

- Un périmètre de protection rapproché pour la source Ain Sakhra comme indiqué dans le chapitre IV.
- Un périmètre immédiat pour la source Ouchba qui est complètement au milieu des vergers sans aucune protection.
- Acheminer les eaux usées de la région vers une station d'épuration.
- Un programme de sensibilisation pour les détenteurs de puits privés pour la désinfection, et la réhabilitation de leurs puits et les formés des procédures nécessaires pour échantillonner leurs eaux en cas de besoin.
- Possibilité de conception d'un programme de surveillance de tous les points d'eau gérés par la direction des ressources en eaux avec une base de données sur les caractéristiques de l'aquifère, les paramètres à surveiller, les normes et fréquences de surveillance dans le but assurer la disponibilité de la ressource souterraine pour éviter son surexploitation, et la possibilité de pollution anthropique.
- Et enfin améliorer les textes législatifs relatifs à la protection des aquifère par l'ajout d'une méthode de cartographie de la vulnérabilité pour le dimensionnement des périmètres de protection.

Références bibliographiques

Agence de l'eau, (2013). Identification de ressources karstiques majeures pour l'alimentation en eau potable en vue de leur protection sur partie du massif de jura, Volume N°4, méthodologie de la cartographie de vulnérabilité RISK.

Aissa Madaoui,O. et Aissa Madaoui,R.,(2016). Protection des villes contre les inondations cas du centre-ville d'Ain Fezza, Mémoire de Master, université de Tlemcen.

Albinet, Met J. Margat. (1971). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, (Proceedings of the Moscow Symposium, August 1971 ; Actes du Colloque de Moscou)

Ardouin, A. (2012). Guide pratique pour la description des sols de France, CEN Bourgogne.

Atteia,O.(2015). Chimie et pollutions des eaux souterraines, Lavoisier.

Bakalowicz, M. (2002).hydrogéologie karstique, caractéristique et concept, cours DEA H H G G, université de Paris.

Belarbi, F. (2010). Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la Tafna, Mémoire magister, université de Tlemcen.

Benabadji, N.Benmensor, D.Bouazza, M, (2006). La flore des monts de Ain Fezza dans l'ouest algérien, biodiversité et dynamique, Science et technologie C N°-26, décembre 2007, pp 47-59.

Benazzouz, I. et Khatir, O. (2016).Périmètre de protection des eaux souterraines en milieu karstique, cas du système karstique de Ghar Boumaaza, Mémoire de master, université de Tlemcen

Bensaoula, F. (2007). Etude de la karstification à partir des données de forages le cas des monts de Tlemcen (Algérie), Karstologia n°49, 2007. 15-24

Collignon, B. (1987). La mise en exploitation des aquifères karstiques, quelques exemples algériens. In : Karstologia : revue de karstologie et de spéléologie physique, n°10, 2e semestre 1987.

Couture, I. (2006). Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation, CRAAQ.

Dörfliger,N. (1996) - Advances in karst groundwater protection strategy using artificial tracer tests analysis and multiattribute vulnerability mapping. Thèse 3ème cycle, Université de Neuchâtel, Suisse, 292 pp.

Dörfliger,N. (2005).guide méthodologique, cartographie de la vulnérabilité en vue de la délimitation des périmètres de protection en milieu karstique, BRGM.

Doumergue M., (1924). Notice explicative de la carte géologique de Tlemcen au 1/50000.

Dupont, A. (1978). Hydraulique urbaine, Tome :hydrologie,captage et traitement des eau, Edition Eyrolls.

Founier, J. Bannot-Courtois,C. Paris,R. Voldoire,O. Le vaut, M. (2012), analyse granulométriques, principes et méthodes, CNRS,Dinard 99p.

Guilli, E.2008.Hydrogéologie (objets, méthodes et application), 2 eme édition Dunod.

Journal officiel de la république algérienne N° 30 du 19/07/1983, loi N° 83-17 du 16 juillet 1983 sur le code de l'eau.

Journal officiel de la république algérienne N° 60 du 04/09/2005, loi N° 05-12 du 4 aout 2005 relative à l'eau.

Journal officiel de la république algérienne N° 80 du 26/12/2007, décret exécutif N° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif au périmètre de protection qualitatif des ressources en eau.

Journal officiel de la république algérienne N° 13 du 09/013/2014, décret exécutif N° 14-96 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine

Journal officiel de la république algérienne N° 42 du 05 aout 2015, décret exécutif N° 15-207 relatif à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable

Kherbouche, S. (2016). Indices spatiaux et dynamique du paysage éco-forestier dans la commune d'Ain Fezza (W. Tlemcen), Mémoire master, université de Tlemcen

Lallemand-Barrès, A. (1994). Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions, BRGM.

Lamouroux , M. (1983). Les sols fersiallitiques, CDU 631.445.61.631.41.

Margat, J. (1990). Les eaux souterraines dans le monde, BRGM.

Martin, J. C. (2005). Vulnérabilité intrinsèque des aquifères et des zones humides de la région centre, Note de synthèse, BRGM/RP-54299-fr.

Organisation nationale de la santé (2013), Guide pratique d'analyse de l'eau, 4eme édition, Brasilia.

P.D.A.U, (2011). Plan directeur d'aménagement et urbanisme de « Ain Fezza ».

P.D.A.U (2013). Plan directeur d'aménagement et urbanisme de « Ain fezza ».

Luzolo lutete, K, (2012). Les eaux souterraines : captage, exploitation et gestion, Mémoire graduat, université de Kinshasa.

Quevaullier, P. (2010). Protection des eaux souterraines (législation européenne et avancés scientifiques), Lavoisier.

Ramade, F. (1998). Dictionnaire encyclopédie des sciences de l'eau, Edscience, 1998.

Roux, J-C. et al (2006). Aquifères et eaux souterraines en France, tome 1, BRGM éditions.

Roux, J-C. (1992) .Pollution des eaux souterraines en France, réédition du rapport n°29 de l'académie des sciences. Manuels et méthodes, BRGM édition.

Schoeller, H. J. (1971). La pollution des eaux souterraines, (Proceedings of the Moscow Symposium, August 1971 ; Actes du Colloque de Moscou)

Tabouche, N., Achour, S. (2004), Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du sahara septentrional algérien, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 03 juin 2004, pp.99-113.

Touyre, P.(2001). Le monde secret du sol de la roche-mère à l'humus, Delachaux et niestlé.

Zwahlen F. (2003). (COST 620) Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers, Chairman.

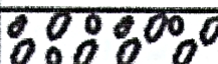
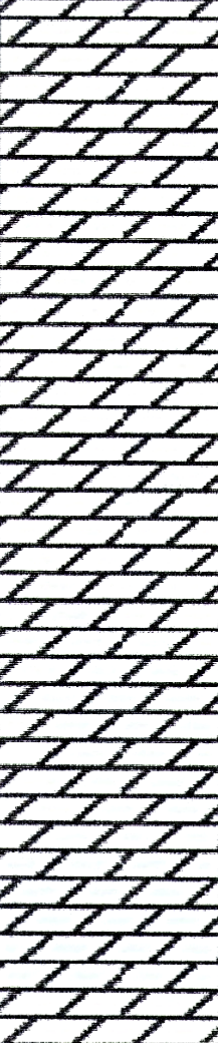
Sites web consultés :

[¹] : www.sirs-fr.com/fr/content/occupation-du-sol.html (dernière consultation le : 20/05/2017)

[²] : www.gkgroupe.com (dernière consultation le : 03/06/2017)

Annexes :

Annexe 1 : log lithologique du puits de Ain Sekhra (source DRE)

Coupe	Description géologique	Perméabilité	Etage
	0m — 3m <i>Conglomérats</i>	<i>Perméables</i>	<i>Quaternaire</i>
	<i>Dolomies cristallines massives, fissurées</i> 61m	<i>Perméables</i>	<i>Kimméridjien Inférieur</i>

Annexe 2 : Log lithologique du forage Ain Fezza destiné pour l'alimentation AEP (Source DRE)

Carte : TLEMCEN 7-8

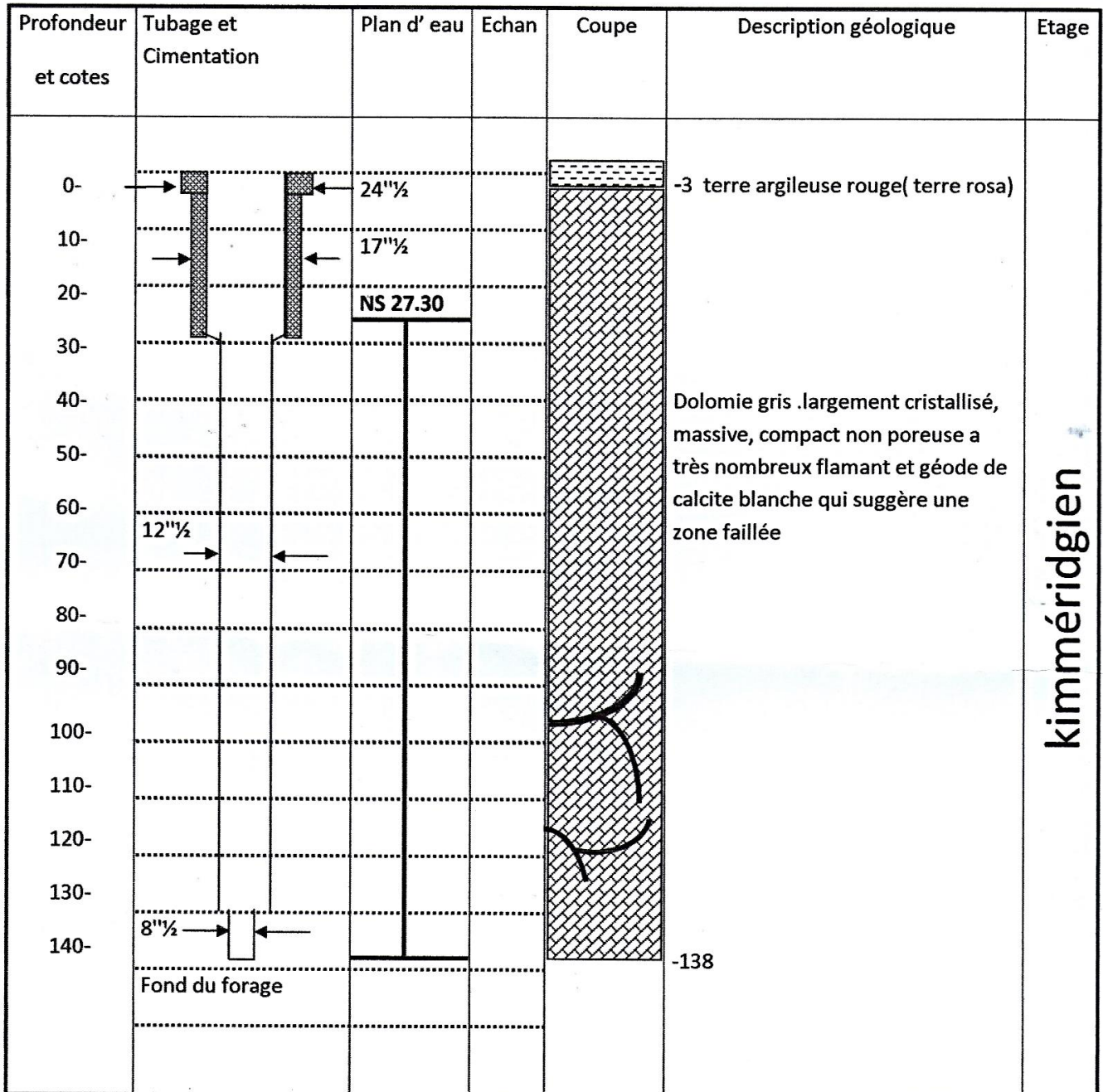
Date des travaux : 10-2-85 AU 5-4-85

Long : X : 661.85

Z : 905

Echelle de la coupe : 1/ 1000

Lat : Y : 3859.75



Mis à jour par :

