

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Abbès Laghrou
- Khenchela -

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie & Environnement

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master Ecologie et environnement
Spécialité : protection des écosystèmes

Thème

*Contribution à l'étude de vulnérabilité des eaux
souterraines à la pollution d'origine agricole-cas de la
nappe d'El Mahmel*

Présenté par :

- AMRANI NIHAD
- ZEROUK ASSIA

DEVANT LE JURY :

Président : Aouidane Laiche

MCB (Université Abbès Laghrou Khenchela)

Promoteur : Boulabeiz Mahrez

MCA (Université Abbès Laghrou Khenchela)

Examineur : Sedrati Abdennour

MCB (Université Abbès Laghrou Khenchela)

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

Je tiens avant tout à remercier **ALLAH** le tout puissant, le tout miséricordieux qui, grâce à sa protection et sa bienveillance, il m'est permis d'acquérir le savoir et d'arriver à ce niveau.

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre promoteur, Monsieur **BOULABEIZ Mahrez**, pour son savoir-faire, ses conseils, sa compétence, sa patience, son enthousiasme et l'attention particulière avec laquelle **IL** a suivie et diriger ce travail.

Nous remercions également **M Aouidane L** d'avoir accepté de présider le jury et **M Sedrati A** d'avoir accepter d'examiner cet humble travail.

Nous adressons un grand remerciement à notre chef de Département **MONSIEUR Bouzou ML** pour ses efforts avec nous pour garantis les meilleurs conditions de formation.

Comme nous sommes très ravis de saisir l'occasion de remercier tous les enseignants, qui ont guidé nos pas vers un avenir brillant. Ainsi qu'à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

NIHAD  **ASSIA**

Dédicace

**Au tout puissant Allâh A toi la louange, Ô la lumière des cieux ; de la terre et de
Ce qu'ils renferment. Gloire à toi de nous avoir assisté de ta lumière et en toute**

Circonstance matin et soir.

Je tiens à dédier ce mémoire à :

**A mes parents aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils
ne cessent combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.**

A mes sœurs : Soulef et Ibtissem

A mes frères : Abd Elghani et Wail

A toute ma famille

A mes amis notamment : mon intime Nadjet, Aicha, Imen, Fatiha

A mon binôme Nihad et toute la famille Amrani

A toutes la promotion protection des écosystèmes et tout qu'on collaboré de

Prés ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Merci d'être toujours là pour moi, que dieu leur accorde santé et Prospérité.

Zerouk Assia

Dédicace



J'offre ce modeste travail :

A mes chers parents,

Mais aucune dédicace ne serait témoin de mon profond amour, mon immense gratitude et mon plus grand respect ; car je ne pourrais jamais oublier la tendresse et l'amour dévoué lesquels ils m'ont toujours entourer depuis mon enfance.

A mes chères sœurs : khadidja et roufaida.

A ma grand-mère et ma jolie tante.

Je dédie aussi cette mémoire :

A tous mes amis ; a tous ce que j'aime et a tous qui m'ont prodigué les encouragements et ce sont donner la peine de me soutenir durant mon cursus.

A mon binôme : Assia et toute la famille zerouk.

A toute la promotion * protection des écosystèmes *

Merci d'être toujours la pour moi ; que dieu leurs accorde la santé et prospérité

Nihad Amrani

Table de matière

Table des matières	III
Liste des matières	IV
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	X
Liste des abréviations... ..	XI
Introduction générale.....	2
CHAPITRE I : Présentation dz la zone d'étude	4
1 Description de la zone d'étude.....	5
1.1 Historique.....	5
1.2 situation administratif.....	5
1.3 situation géographique	6
1.4. situation démographique	6
2 Milieu physique	8
2.1 Les reliefs	8
2.2 La pédologie	8
2.3 La lithologie	9
3 Climatologie	10
4 Situation agricole	10
4 .1 Le couvert végétal	10
4 .2 L'agriculture	12
4 .3 L'élevage.....	13
5 Ressources en eau.....	14
5.1 les eaux superficielles.....	14
5.2 Les eaux souterraines.....	15
CHAPITRE II : Etude géologique et hydrogéologique de la zone d'étude	16
1 Introduction	17
2 cadre géologique et hydrogéologique de la zone d'étude	17
2.1 cadre géologique de la zone d'étude	18
2. 2 stratigraphie.....	20
2.3. Les unités morphologiques.....	21

Table de matière

2.3.1. les plaines.....	22
2.3.2. les montagnes.....	22
2.3.3. les pentes.....	23
2.3.4. les sols salins.....	24
2.4. cadre hydrogéologique de la zone d'étude.....	25
2.4.1 tectonique.....	27
2.4.2 Généralités sur les Sebkhas.....	28
2.4.2.1- Définition de la Sebkha	28
2.4.2.2 .les systèmes de sebkhas.....	28
2.4.2.3 .classification de sebkhas.....	29
2.4.2.4. fonctionnement des sebkhas	32
3. Conclusion.....	33
CHAPITRE III : La cartographie de la vulnérabilité	34
1.Introduction	35
2.Revue de littérature.....	36
2.1. Le concept de vulnérabilité.....	37
2.2 .Techniques d'estimation de la vulnérabilité.....	38
2.2.1. Les méthodes paramétriques.....	40
2.2.2.Approches statistiques et par modélisation physique.....	41
3.Les polluants issus de l'agriculture.....	42
3.1. Répercussions sur la qualité de l'eau	42
3.2. Les effets de la pollution phosphorique et azotée	43
4. Méthodologie.....	44
4.1. La méthode SI (Susceptibilité Index).....	46
4.2. Logiciels utilisés	48
5.Résultats et discussion:.....	49
5.1. Détermination des paramètres du modèle « SI».....	49
5.2. Carte de vulnérabilité SI.....	54
6.conclusion.....	56
Conclusion et recommandations.	58
Références bibliographiques	61

Table de matière

Liste des figures

Figure - 01	carte administrative représente les limites de la commune d'El Mahmel	5
Figure - 02	Carte de situation géographique et administrative de la zone d'étude.	6
Figure - 03	carte géologique représente Les sols de la région d'El Mahmel	9
Figure - 04	carte géologique représente Le couvert végétal de la commune d'El Mahmel	12
Figure -05	carte géologie de la zone d'El-Mahmel	18
Figure -06	Coupe lithologique du forage d'El Mahmel.	19
Figure -07	carte géologique de la plaine d'El-Mahmel (extraits de carte géologique de delle feuille N204 SONATRACH)	21
Figure -08	Profil topographique (N-S) à travers la commune d'El Mahmel	23
Figure -09	Carte des pentes de la commune d'El Mahmel	24
Figure -10	Les sols salés de la région de Sebkha El-Mahmel	25
Figure -11	Carte du bassin versant d'SBIKHA	29
Figure -12	classification des Sebkhas selon le bilan hydrologique.	30
Figure 13	Sebkha fluvio lacustre	31
Figure -14	Sebkha interdunaire	31
Figure -15	Profil transversal d'une Sebkha marine	32
Figure -16	Les mécanismes de transfert de polluants	44
Figure -17	Organigramme présentant les étapes de la réalisation de la carte de vulnérabilité SI	48
Figure -18	profondeur de la nappe dans la zone d'étude	50
Figure -19	recharge nette de la zone d'étude	51
Figure -20	lithologie de l'aquifère de la zone d'étude	52
Figure -21	carte de pente de la zone d'étude	53
Figure -22	carte d'occupation du sol	54
Figure -23	la carte de vulnérabilité finale SI	55
Figure -24	Répartition des pourcentages de vulnérabilité	55

Table de matière

Liste des tableaux

Tableau - 01	Répartition des terres en (ha) dans la commune d'El Mahmel	13
Tableau - 02	Répartition du cheptel à travers la commune	14
Tableau - 03	État des forages	15
Tableau -04	Avantages, inconvénients et type d'utilisateurs cibles pour les trois types principaux de méthodes d'estimation de la vulnérabilité	41
Tableau -05	Méthode et critères de vulnérabilité spécifique proposés en comparaison avec la méthode DRASTIC	46
Tableau -06	Principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes	47
Tableau -07	Poids attribués aux paramètres SI	47
Tableau -08	Sources de données brutes et mode de traitement de chaque paramètre.	49

Table de matière

Liste des abréviations

%	Pourcentage
Ab	Sols alluviaux basiques
APC	Assemblée populaire communale
C	Sols calcaires
Cq	Sols calciques
DCA	Forces de défense aérienne du territoire
DPA	Distribution perkins Algérie
DPAT	la direction de la planification et l'aménagement de territoire de Khenchela
DSA	Direction des services agricoles
E	Est
ENAGEO	Entreprise nationale de géophysique
ETP	Evapotranspiration potentiel (mm),
FAO	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
GOD	Groundwater occurrence, Overall aquifer class and Depth of water table.
H	Habitats
Ha	Hectare
Km	Kilomètres
m³	Mètre cube
N	Nord
NRC	National Research Council
p	Précipitation
Prof	Profondeur
RGA	Recensement général agricole
RGPH	Recensement Générale de la population et de L'habitat
Rm	Sols type régosols
RN	Route national
S	Sud
SAU	Surface agricole utile
SI	Susceptibility index
SIG	Système d'information géographique

Table de matière

Sk	Solontchakes
TZ	Forages
W	West



Introduction

Générale

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Dans de nombreux pays avec des sources d'eau limitées, les eaux souterraines sont la seule source d'eau. Au cours des dernières décennies, les activités agricoles intenses et les applications d'engrais chimiques et les produits phytosanitaires ont provoqué la contamination des eaux souterraines, qui est devenue un problème sérieux et épineux.

En plus des activités agricoles, le déversement des déchets municipaux et industriels a entraîné une augmentation dans les contaminants du sous-sol (**Gheisari, 2017**).

La question de la protection des eaux souterraines contre la pollution est d'une importance cruciale. La vulnérabilité des eaux souterraines est une pierre angulaire d'évaluation du risque de contamination des eaux souterraines et de l'élaboration de stratégie de gestion pour préserver la qualité des eaux souterraines. Récemment, la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines est une clé importante pour les processus de prise de décision et l'amélioration de la planification afin de prévenir la contamination des eaux souterraines. (**Mahvi et al, 2005**)

La vulnérabilité des eaux souterraines désigne le degré de protection que l'environnement naturel qui l'offre contre la propagation de la pollution dans les eaux souterraines. La vulnérabilité est classée en vulnérabilité intrinsèque et spécifique (**NRC1993**). La nécessité d'une méthode efficace pour protéger les ressources en eaux souterraines de la contamination, les scientifiques et les gestionnaires développent des techniques de vulnérabilité des aquifères pour prédire quelles zones sont les plus vulnérables (**Mueller et al, 2012; Chenini et al, 2015**). Au cours des dernières années, l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution a fait l'objet de recherches intensives et diverses méthodes ont été développées. Récemment, plusieurs méthodes ont été utilisées pour étudier la vulnérabilité des aquifères parmi lesquelles DRASTIC, GOD, SINTACS et SI (**Aller et al ,1987; Van Stempvoort et al, 1992; Foster 1987; Ribeiro ,2000**).

2. Justification et objectifs de la présente étude

Le but de la présente étude est d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère de la plaine d'El Mahmel et de reconnaître les zones sensibles à la pollution d'origine agricole en adoptant la méthode SI (**RIBEIRO ,2000**). Reconnaître la vulnérabilité des eaux souterraines aidera à gérer leur qualité et protéger les ressources en eaux souterraines.

INTRODUCTION GENERALE

Cette mémoire est organisée à travers de trois chapitres :

- Chapitre **I** : consacré à la présentation générale de la zone d'étude et de ses principales caractéristiques.
- Chapitre **II** : traite la géologie et l'hydrogéologie de la région d'étude.
- Chapitre **III**: Expose un examen complet de la littérature avec les antécédents théoriques des concepts principaux qui apparaissent dans cette mémoire le chapitre contient aussi la cartographie de la vulnérabilité spécifique des eaux souterraines à la pollution par la méthode SI
- Notre mémoire sera terminé par une conclusion générale avec une synthèse de l'essentiel des résultats avec perspectives et recommandations.



Présentation

De la zone

D'étude

1.Description de la zone d'étude (El Mahmel) :

1.1.Historique

La commune d'ElMahmel appelée autre fois Tazougherte a été créée en 1984, après l'indépendance de l'Algérie soit au milieu des années 70 El Mahmel a fait l'objet d'une mixité avec Oum elbouaghi, après le nouveau découpage administratif, la commune d'ELMahmel a été regroupée avec la commune d'Ouled rechache et Zoui comme chef-lieu de Daïra. (Ben amour et all, 2014)

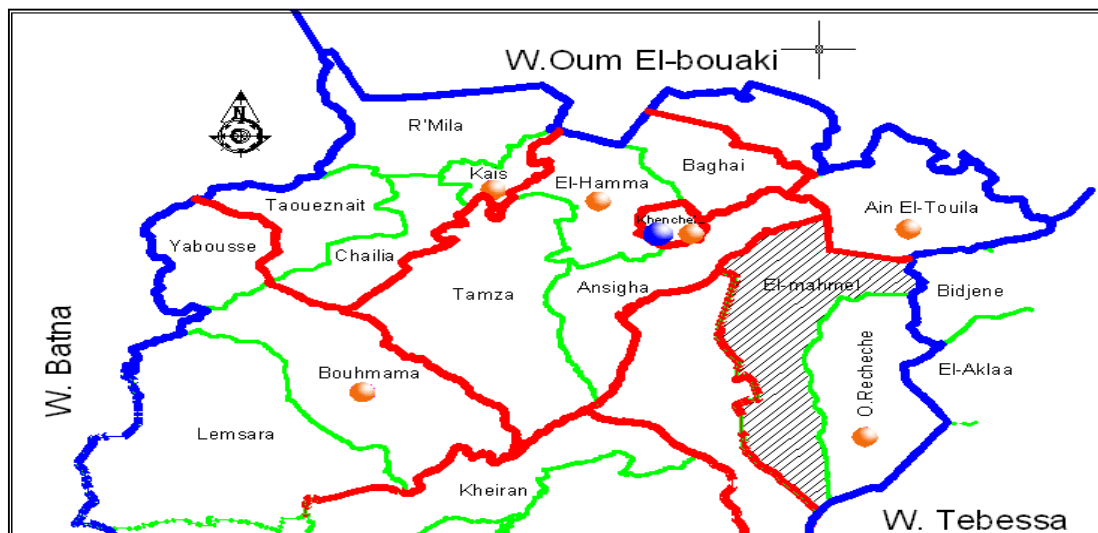
Cette région situe entre les montagnes et prend la forme d'une cuvette ce qui provoque le phénomène d'inondation lorsque là elle est appelée El Mahmel.

1.2.situation administratif:

Sur le plan administratif de La commune d'El Mahmel a des nouvelles genèses, car elle N'a vu le jour qu'en 1984 la date à laquelle est fut créée .Elle s'étend sur une superficie de 371Km²avec 3.8 % par rapport à la wilaya et 56 % par rapport a la daïra. (Sedrati, 2013)

Elle est limitée : (figure 01)

- Au nord : par la commune AIN TOUILA.
- Au nord-ouest : par la commune de N' SIGHA
- Aux ouest et sud-ouest : par la commune de BABARE
- A l'est : par la commune d'OULED RECHACHE
- Au sud : de la commune la wilaya de TEBESSA



Source : Direction de l'hydraulique

Figure01 : les limites de la commune d'El Mahmel

1.3.Situation géographique :

La commune d'El Mahmel est l'une des 21 communes que compte la wilaya de Khenchela (**DHWK, 2012**). Elle compte deux agglomérations secondaires (Ouled Azzedine et Icherthithéne). La commune d'El Mahmel fait partie de la Daïra d'Ouled Rechache (Zoui), située à 9 km du chef-lieu de la Wilaya. Sur l'axe de la RN n°:32 qui traverse l'agglomération d'est en ouest la reliant au chef-lieu de Daïra d'Ouled Rechache. Elle occupe un site relativement plat en légère déclivité d'Ouest en Est. (**Khabthane, 2010**)

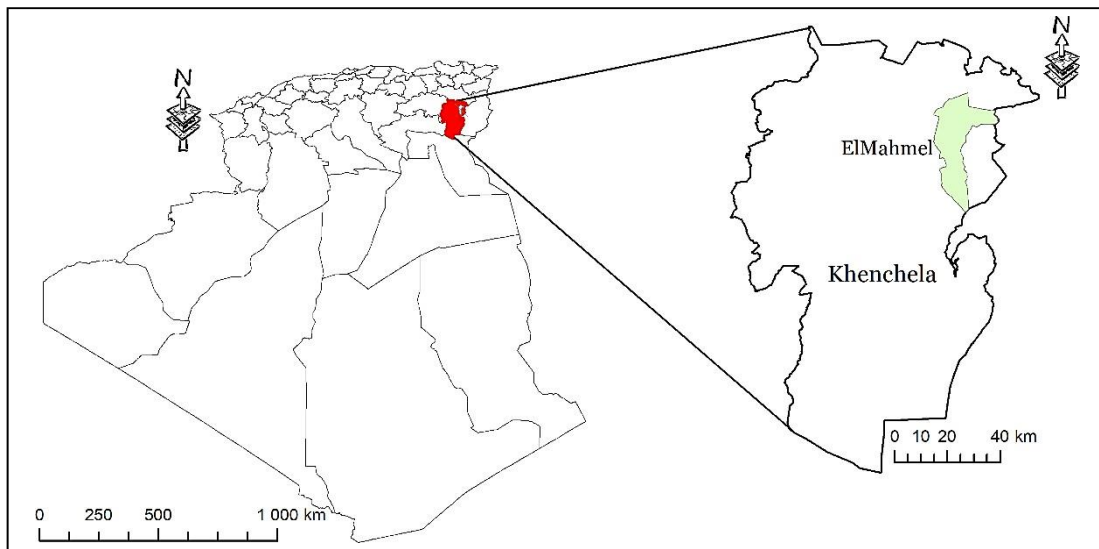


Figure02: Carte de situation géographique et administrative de la zone d'étude

1.4.Situation démographique :

La commune d'El Mahmel comprend trois agglomérations à savoir : centre de la commune ; Icherthithéne et Ouled Azzedine.

La population de la commune approchait les 39307 habitants soit un accroissement de 2.5% entre 1998 et 2008 avec une densité de 104 h/km² (**RGPH, 2015**). Dans l'ensemble les taux moyens annuels de la croissance démographique de la zone restent parmi les mêmes taux. La population inégalement répartie, elle distingue par une concentration de la population au centre de la commune plus du 72.84%, et du 5.44% dans les deux agglomérations secondaires Ouled Azzedine et Icherthithéne.

En termes d'effectifs, il est incontestable que l'essor de l'agglomération chef-lieu, s'est amorcé à partir des différents remodelages territoriaux qu'a connus la commune d'El Mahmel et la promotion en chef-lieu de commune du centre de Tazouguert. Néanmoins à partir de 1998 la concentration de la population au niveau du chef-lieu semble accentuée de façon inquiétante vu le rythme de croissance enregistré ces dernières années. Ce phénomène ne peut s'expliquer que par la situation qu'a connue le pays, ces dernières années. Cependant, d'autres facteurs relatifs aux conditions socioéconomiques des populations dans les zones éparses peuvent être à l'origine des déséquilibres, de plus en plus marqués, à l'intérieur de territoire communal où les disparités sont importantes en matière de satisfaction des besoins « logements, emplois, loisirs » (**Abboud et al, 2015**).

2. Milieu physique :

2.1. Les reliefs :

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

➤ Les montagnes :

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

➤ Les plateaux :

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

➤ Les plaines :

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

➤ Les parcours steppiques et les dépressions :

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

2.2. La pédologie

Les ressources en sols ont été évaluées sur la base de l'exploitation de la carte des sols de Tébessa de 1938 au 1/500.000ème. Les types des sols identifiés sont (**figure03**):

- ❖ **Les sols calciques (cq)** : Est à l'origine des paysages pédologiques la zone.
- ❖ **Les sols calcaires (c)** : Sont souvent humifères viennent augmenter le dosage carbonaté des sols de la zone.
- ❖ **Les sols en carbonates de calcium** : Sont présentés en grande partie dans le grand développement des croûtes et des encroûtements calcaires, ils sont des sols à caractère nuancé et blanchâtre.
- ❖ **Les sols de type lithosols** : composés de roche mère dure.
- ❖ **Les sols de type régosols (RM)** : Ce sont des sols de montagnes sur substrats, soit de roches tendres plus ou moins altérées, soit de roches dures avec horizons humifères très minces.

- ❖ **Les Sols alluviaux basiques (ab)** : Ces sols caractérisent au Centre Nord de la commune se sont des sols sales de type solontchak (sk) au cœur de la dépression « Sebkhha »
- ❖ **Les sols peu évolués ou les sols non évolués ou sols minéraux brut** : Caractérisent les fonds des Oueds et les terrasses.

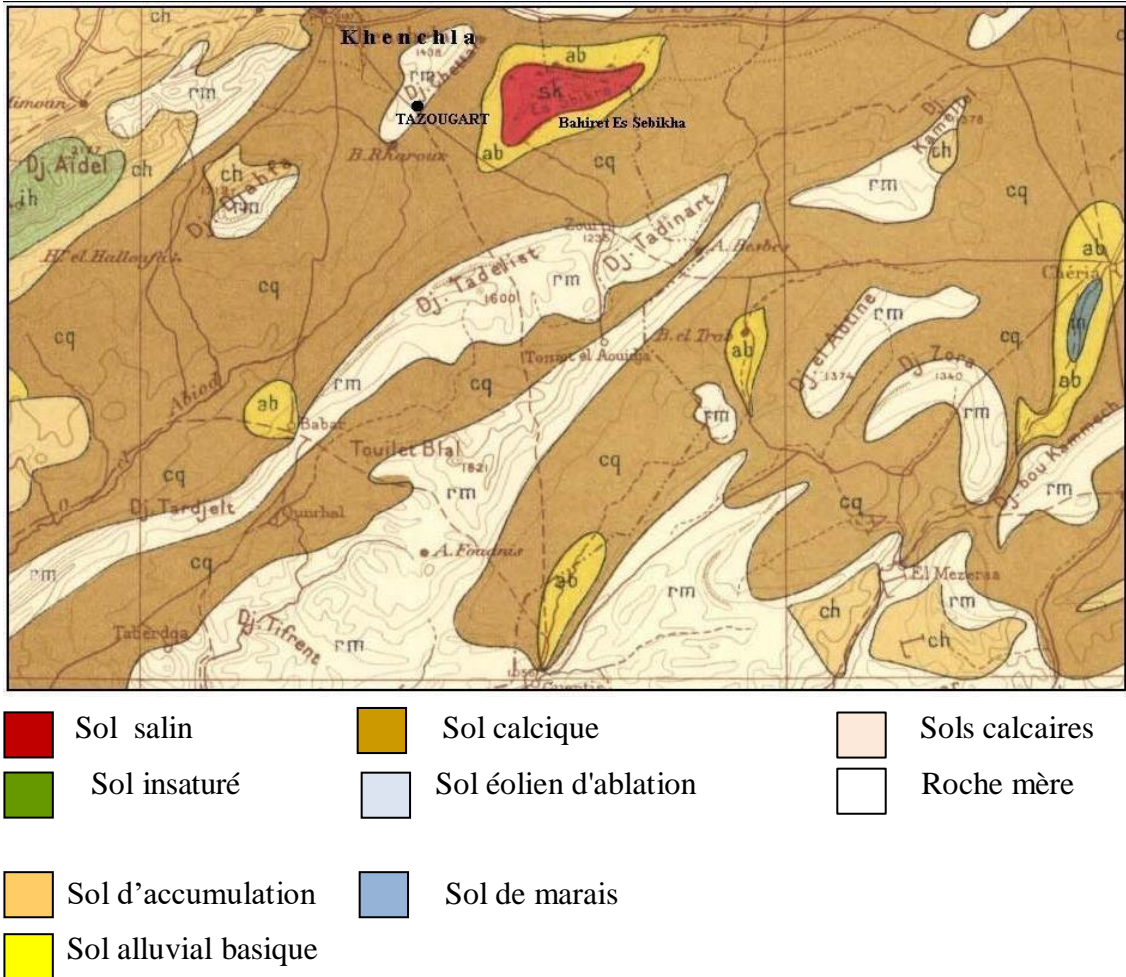


Figure 03: Les sols de la région d'El Mahmel

2.3.La lithologie :

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

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

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

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

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

- **Les calcaires friables** : Peu répandus dans la wilaya, ces faciès sensibles à l'érosion sont localisés principalement sur la bande médiane séparant le Nord du Sud de la wilaya, et localement au Nord, dans la zone des Garaet et Tarf. Ces roches donnent naissance à des sols calcaires, de profondeur variable suivant leur position topographique, et riche en humus quand ils sont couverts de végétation forestière.

- **Le trias (gypse)** : Formation saline, le trias est essentiellement répandu sur les basses plaines sahariennes au sud de la wilaya. Par ailleurs, on le trouve localement au nord de Khenchela, à l'Est de Babar et au sud d'Ouled Rechache. La végétation au niveau de ces espaces est de type halophile.

3.Climatologie :

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

4.Situation agricole :

4.1 Le couvert végétal

L'étude des sols et des conditions climatiques, particulièrement, celles des températures et des pluies, permet de relever la présence de certaines nuances qui s'ajoutent aux contrastes géomorphologiques et morpho dynamique, déjà démontré. Ce sont des nuances et des

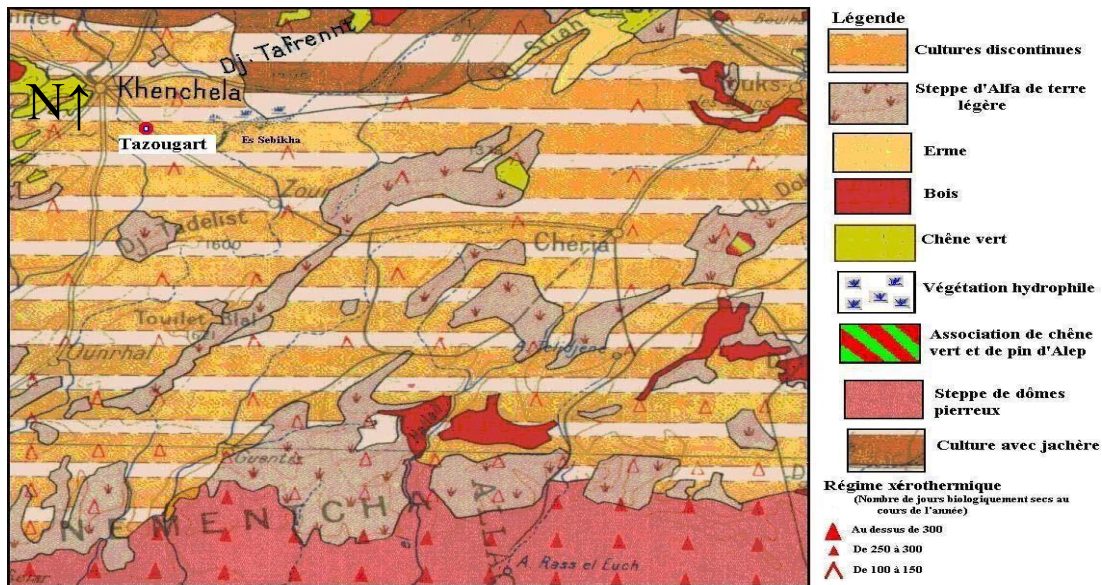
contrastes qui vont être renforcés par la diversité et la répartition du couvert végétal naturel de notre zone.

Malheureusement, la végétation naturelle dans notre commune ne persiste que très localement, elle n'est présente que sur les reliefs bien arrosés et exposés face anord. Les meilleurs endroits ayant gardé un semblant de couverture naturelle sont les quelques îlots forestiers développés sur les hauteurs de Dj. Aïdel à l'Ouest de Khenchela et modestement sur le Dj. Djahefa à l'Ouest de Tazzouguert, le Dj. Chettaïa à la limite Nord de la commune et sur les massifs montagneux des Dj. Tadinart et Dj. Tadelist. Sur ces hauteurs sont développées des essences variées, allant du chênevert au pin d'Alep et le lentisque.

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

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

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



Source : APC de Khenchela

Figure 04: Carte représente le couvert végétal de la commune d'El Mahmel (W. Khenchela)

4.2 L'agriculture :

Répartition des terres de la commune :

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

Il faut noter, que la surface agricole utile au niveau de la commune d'El Mahmel est répartie entre les surfaces à sec, représentant 27213 ha soit 92.30 % de la (SAU) et seuls 2269 ha sont irriguées. La surface agricole utile irriguée est partagée entre la céréaliculture qui occupe 272 ha, les légumes 660 ha et l'arboriculture 1.337 ha. La faiblesse de la pluviométrie et son irrégularité le long du cycle annuel ont rendu l'exercice de l'activité agricole un peu difficile. (DCA, 2006)

Tableau 01 : Répartition des terres en (ha) dans la commune d'El Mahmel

Occupation du sol	Surface
SAU	29 482
Procures et passages	1 570
Forêts	5 056
Terrenue	241
Terres urbanisées	735
surface totale communale	37084

Source: DSA Khenchela(2006)

4.3 L'élevage

La pratique de l'élevage au niveau de la commune se base, essentiellement Sur l'élevage de l'espèce ovine qui représente 75505 têtes (**tableau02**) en deuxième position vient l'élevage caprin avec 2760 têtes entre chèvres et chevreaux et en troisième position se place l'espèce bovine avec 900 têtes dont 556 d'origine étrangère et 344 locaux. L'élevage des chevaux compte 44 têtes et enfin 25 mulets et 90 ânes. Le taux de mortalité et de réforme sont de l'ordre de 10 % et le taux de fécondité avoisine les 60 %. Avec un bétail totalisant le nombre de 79324 têtes, il est évident que la région est à vocation pastorale (**DCA, 2015**).

Tableau 02: Répartition du cheptel à travers la commune

cheptel	Femelles reproductives	Males Adultes	Petits		Totale espèce
			Femelles	Males	
Bovin importation	260	38	170	88	556
Bovin local	170	18	90	66	344
Ovin	28 935	1250	18 120	27 200	75 505
Caprin	1400	130	800	430	2760
Chevalin	32	12	/	/	44
Âne	40	10	25	15	90
Mulet	15	10	/	/	25

Source : Délégation communale de l'agriculture (DCA)

5. Ressources en eau

5.1. les eaux superficielles

Le régime hydrologique des Oueds présente deux saisons. Dès le mois de septembre, le retour des pluies, après la saison sèche, n'est pas suffisant, car l'augmentation des débits des Oueds n'est pas sensible. C'est plutôt vers la fin de la période humide que les crues risquent de se produire avec une augmentation des débits des Oueds au mois de mars. La coïncidence entre cette période avec les effets du ruissèlement entraîne alors une augmentation de l'efficacité de l'action érosive des Oueds aux débouchés des plaines, qui sont soumises à des inondations régulières.

Il faut retenir que le réseau hydrographique est particulièrement caractérisé par une fréquence des chevelus d'ordre primaire qui se déversent avec tous les Oueds dans les immenses dépressions endoréiques.

Les ressources en eaux superficielles, au niveau de sebkha sont totalement absentes, car la commune ne dispose d'aucune infrastructure de mobilisation des eaux « barrages, retenues

collinaire ou Sed de dissipation » de pluies ou celles du ruissèlement des flancs des montagnes.

5.2. Les eaux souterraines

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

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

La répartition des forages par nappe et les débits se présentent dans le tableau ci-dessous : (tableau03)

Tableau 03 : État des forages

Commune	Nom du forage	Débit initial L/S	Débit exploitation actuelle	Caractéristique du forage				Observation
				X	Y	Z (m)	Prof (m)	
MAHMEEL	TR2	30	18	907.5	239.2	1181	200	Fonctionnel
	TR4	12	9	891.2	251.0	980	200	Fonctionnel décembre 2012
	TZ5	12	07	918.7	239.7	1078	44	Fonctionnel
	TZ4	08	02	920.4	239.8	1079	50	À l'arrêt
	TZ3	06	02	917.0	238.3	1078	60	Fonctionnel
	TZ6	10	03	916.0	237	1075	45	Problème
	TZ1	02	1,50	913.0	237.2	1080	40	Fonctionnel
	TZ8	30	06	912.9	244.9	1165	120	Fonctionnel

Source: subdivision hydraulique Zoui



Étude géologique

Et hydrologique de

la zone d'étude



Chapitre II : étude géologique et hydrologique de la zone d'étude

1-Introduction

Les eaux souterraines contiennent quelques impuretés, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines. Les types et les concentrations d'impuretés naturelles dépendent de la nature du matériel géologique par lequel les eaux souterraines se déplacent, et de la qualité de l'eau de recharge. Les eaux souterraines circulant à travers les roches et les sols sédimentaires peuvent absorber un éventail de composés tels que le magnésium, le calcium, et les chlorures. De ce fait, l'étude géologique s'avère très importante pour déterminer la valeur économique d'une région.

2.cadre géologique et hydrogéologique de la zone d'étude

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

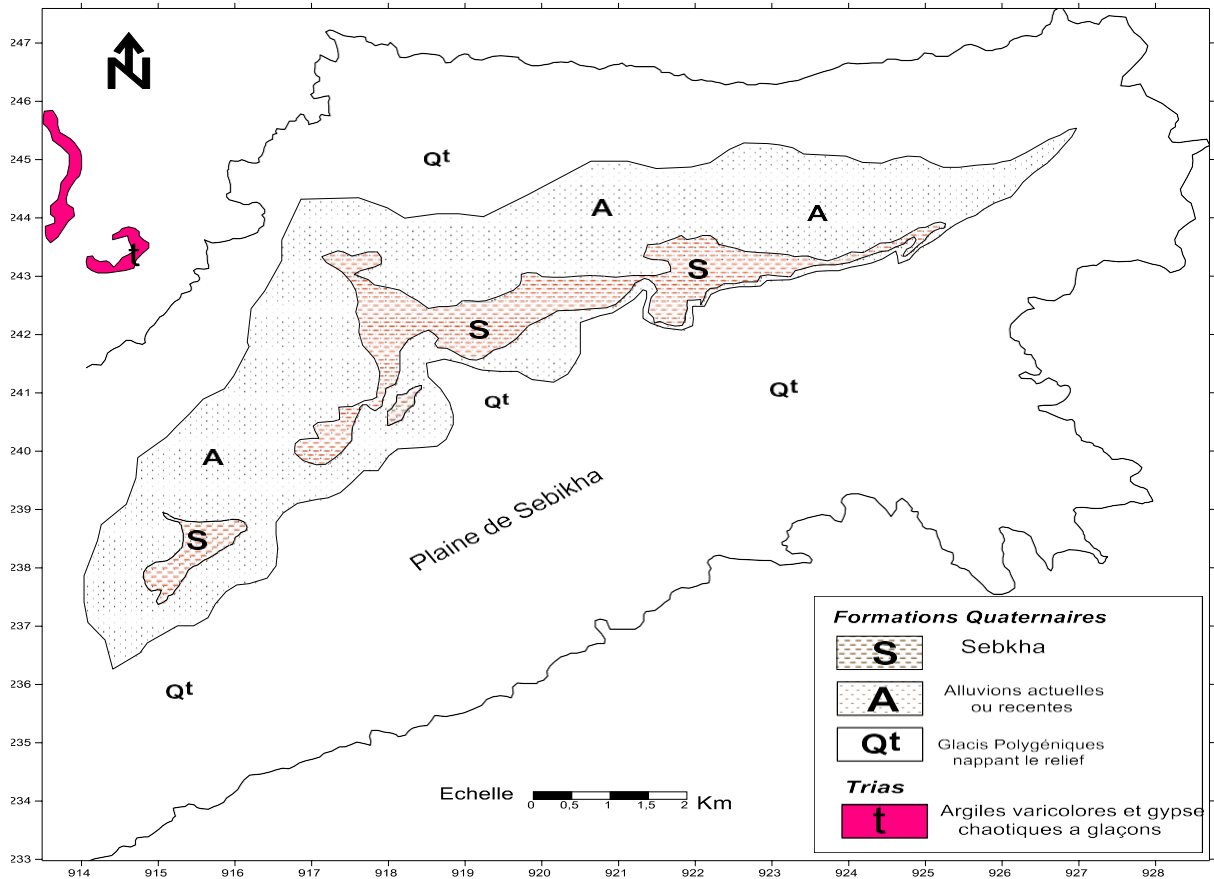


Figure05 : carte géologie de la zone d'El-Mahmel

2.1.cadre géologique de la zone d'étude

- 1- **QUATERNAIRE** : Le quaternaire recouvre la majeure partie de la plaine d'El Mahmel. Le bassin étant fermé, il a recueilli tous les produits de l'érosion des reliefs environnants. La sédimentation est en majeure partie sableux, limoneux ; avec une proportion importante de gypse. On y trouve également des intercalations de: graviers, avec de gros galets.
- 2- **CRÉTACÉ** : il correspond aux formations carbonatées situées surtout au nord de la plaine (Djebel TAFRENT) en trouve :
 - **Maastrichtien** : il correspond à des calcaires à des nodules de silex et une alternance de marnes et de calcaires.
 - **Campanien** : correspond essentiellement à des marnes et des calcaires crayeux.
 - **Santonien** : constitué par une série marneuse, d'une formation à caractère récifal et béchique.
 - **Coniacien** : correspond essentiellement à des marnes grises et marneux calcaires.
 - **Turonien** : on a le turonien supérieur constitué de marnes et de calcaires noduleux .le turonien basal correspond à de marnes à intercalations de marno-calcaires.

Chapitre II : étude géologique et hydrologique de la zone d'étude

3- **TRIAS DIAPIRIQUE** : Le Trias correspond aux terrains les plus anciens des zones externes de la chaîne Alpine. Il est essentiellement évaporitique et se présente sous forme de structure diapirique et en lames injectées le long des accidents tectoniques. Les affleurements d'extension et de constitution variable, perçant leur couverture mésozoïque et cénozoïque de façon anormale, s'observent en plusieurs dizaines de points dans les Aurès, ou sur ses bordures (**Herkat, 1982**). Le trias dans la zone d'étude se trouve à l'est de Djebel CHETAIA où on observe un époinement triasique en forme décroissante allant de Ain Krime au Djebel Tarf sur une longueur de 12 km et une largeur de 02 km. Il est en contact anormal avec le Turonien et le Sénonien supérieur.

Le diapir de Tazougert est formé par des argiles varicolores et gypses carotiques à glaçon avec passage des marnes calcaires et cargneules.

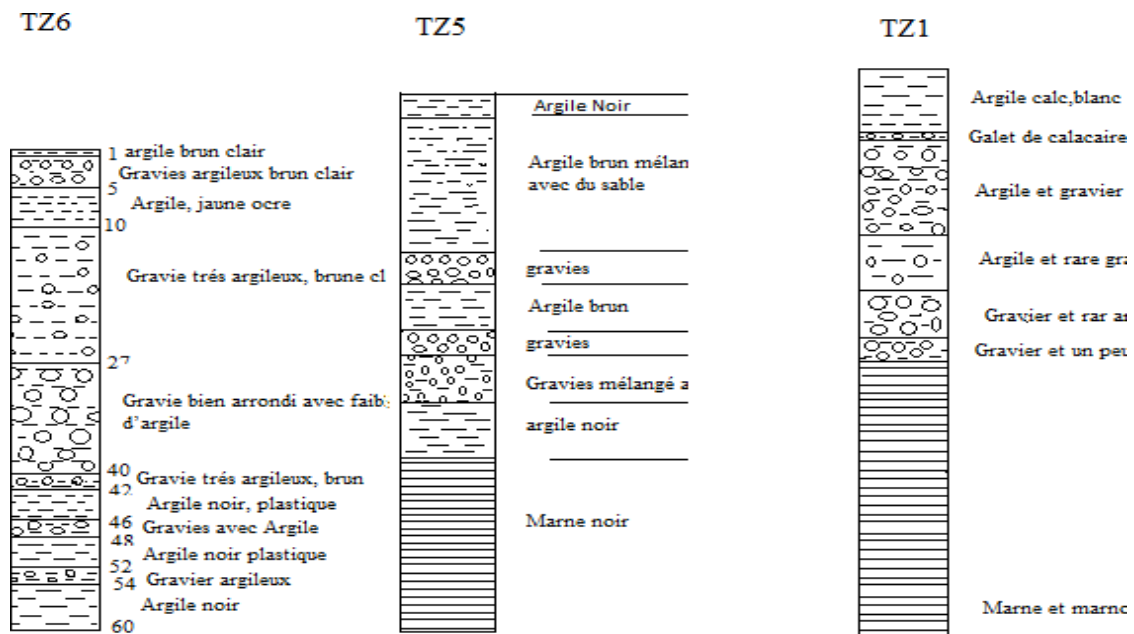
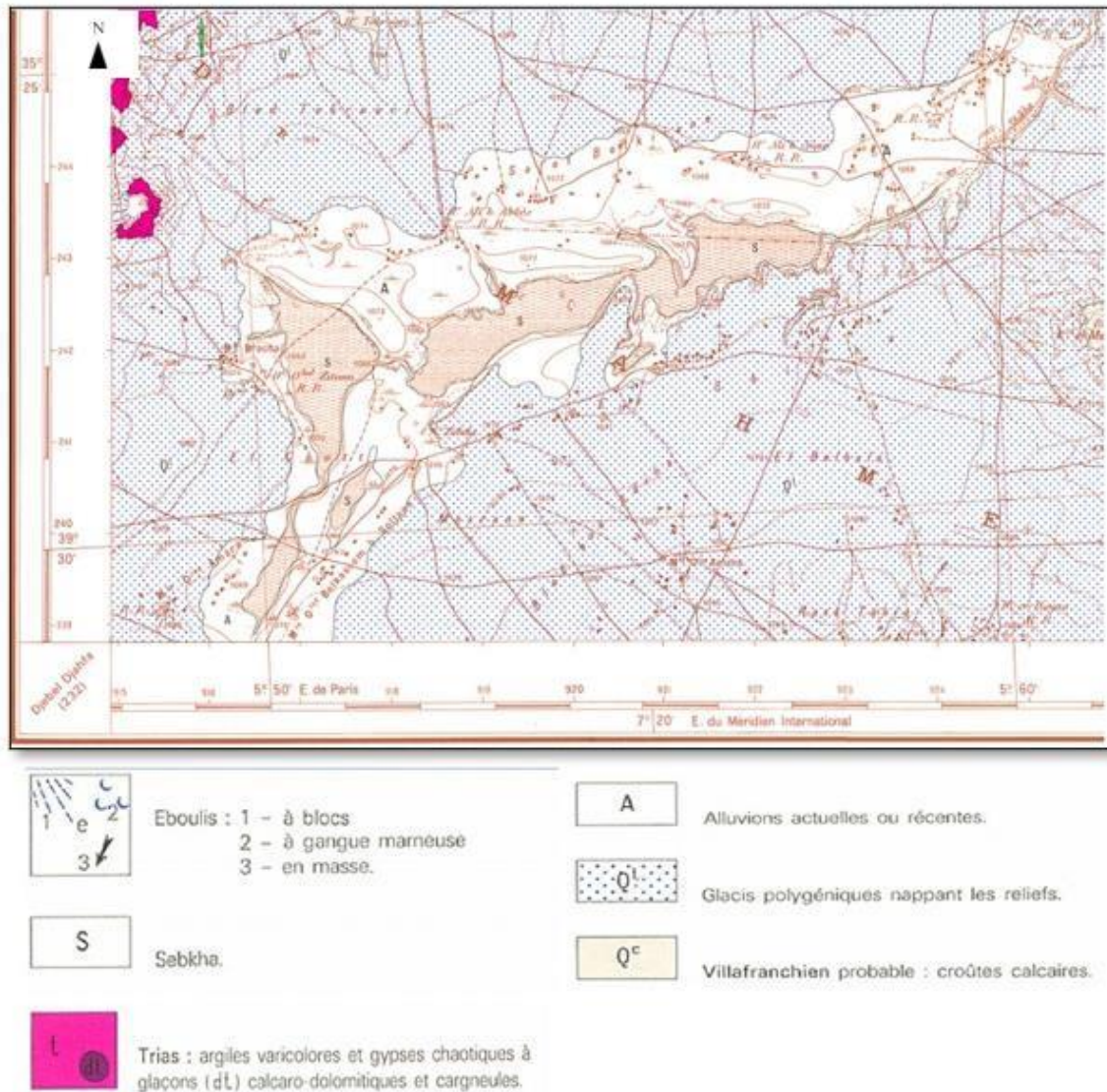


Figure 06: une coupe représente une Coupe lithologique du forage d'El Mahmel

2.2.Stratigraphie :

Dans la zone d'étude, cette carte fait apparaitre des terrains du Quaternaire et du Crétacé (ENAGEO 1988).

- **Quaternaire** : il est constitué par des dépôts sableux, limoneux et des graviers avec de gros galets.
- **Maastrichtien** : il correspond à des calcaires à des nodules de silex (95 mètres) et une alternance de marnes et de calcaires (40 mètres).
- **Campanien** : il débute par 60 mètres de calcaires crayeux, surmonté par une série de 150 mètres de marnes.
- **Santonien** : constitué par une série marneuse de 100 mètres d'épaisseur et 130 mètres d'une formation à caractère récifal et béchique.
- **Coniacien** : constitué par une alternance de marnes et de calcaires d'une épaisseur de 150 mètres.
- **Turonien** : le turonien supérieur est constitué par 150 mètres d'une alternance de marnes et de calcaires noduleux .le turonien basal correspondent à une série de 200 mètres de marnes à intercalations de marne calcaire.
- **Cénomaniien** : il correspond à une puissante série marneuse dépassant 700 mètres surmontés par une barre calcaire de l'ordre de 30 mètres formant une corniche. On ne dispose comme document géologique de base, que de la carte générale de l'Algérie au 1 /50 000.



Échelle 1/50000

Source :extrais de la carte géologique feuille N204 SONATRACH)

Figure07 : carte géologique de la plaine d'El-Mahmel

2.3. Les unités morphologiques :

La caractérisation physique de la commune ne peut se faire qu'à travers l'analyse détaillée des reliefs, la géomorphologie, l'organisation des structures et la connaissance des éléments bioclimatologiques. Ce diagnostic doit aboutir, aussi, à la compréhension des processus et des mécanismes d'évolution de la zone, à partir des liens et des interactions entre le milieu physique et l'homme. (Sedrati, 2013)

2.3.1. Les plaines

Le territoire de la commune est dominé, dans sa majeure partie, par la plaine Atlasique intramontagnarde. Cette dernière est représentée par le bassin de Bahiret Sebkhah (1066m) qui correspond à un vaste couloir intramontagneux orienté suivant la direction NE-SW, ce périmètre représente une vaste plaine dans laquelle se développent certains sols salés autour de la Sebkhah. C'est une plaine intramontagnarde assez vaste, avec une largeur variable allant de 5 à 8 Kms, elle est empruntée par plusieurs oueds à direction divergente à partir du méridien de l'agglomération de Tazougert, chef-lieu de la commune, avec des oueds orientés vers le NE, ex de l'oued Sebkhah et des oueds dirigés vers le SW, ex de l'oued El Hatiba, principal affluent de l'oued El Abiod.

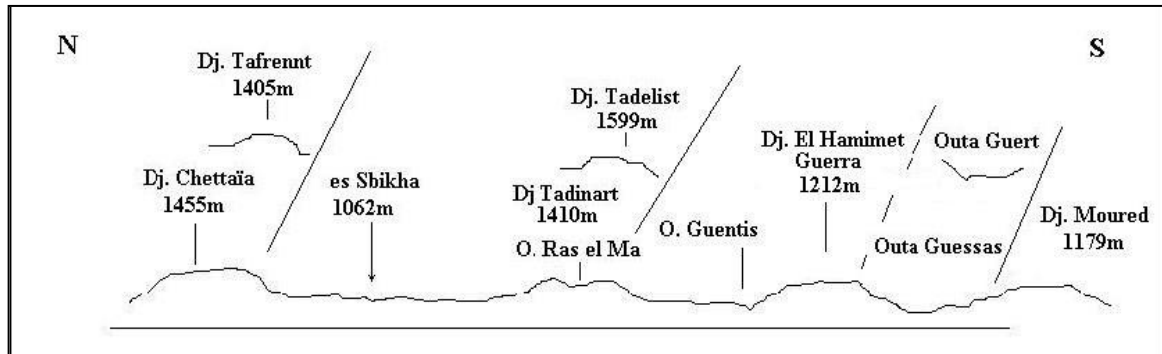
2.3.2. Les montagnes

La région montagneuse située au Nord, et au sud de la zone est constituée par quelques Djebels qui atteignent parfois 1650 m, elles sont constituées par : **(Mebarki, 2005)**

- Djebel Chattaia au nord de 1455 m d'altitude.

Chapitre II : étude géologique et hydrologique de la zone d'étude

- Djebel Tafrennt au nord-est de 1406 m.
- Djebel Tokhma et Djebel fedjidjet de 1291 m sont situés au l'est de la zone.
- Djebel Tadinart de 1408 m er Djebel Tadelist de 1410 m qui sont situes au sud de la zone.



Source : Direction de l'hydraulique

Figure08 : Profil topographique (N-S) à travers la commune d'El Mahmel

2.3.3. Les pentes

Les pentes dans cette zone sont généralement faibles au niveau des bassins (<2%), moyennes au niveau des piémonts, entre 2 et 10 %, et fortes sur les versants à caractère montagneux avec des pentes supérieures à 10 % et pouvant atteindre des valeurs de plus de 30 % sur les versants escarpés des massifs de Dj. Chattaia, Dj. Tafrennt, Dj. Tadelist, Dj. Aouinet.

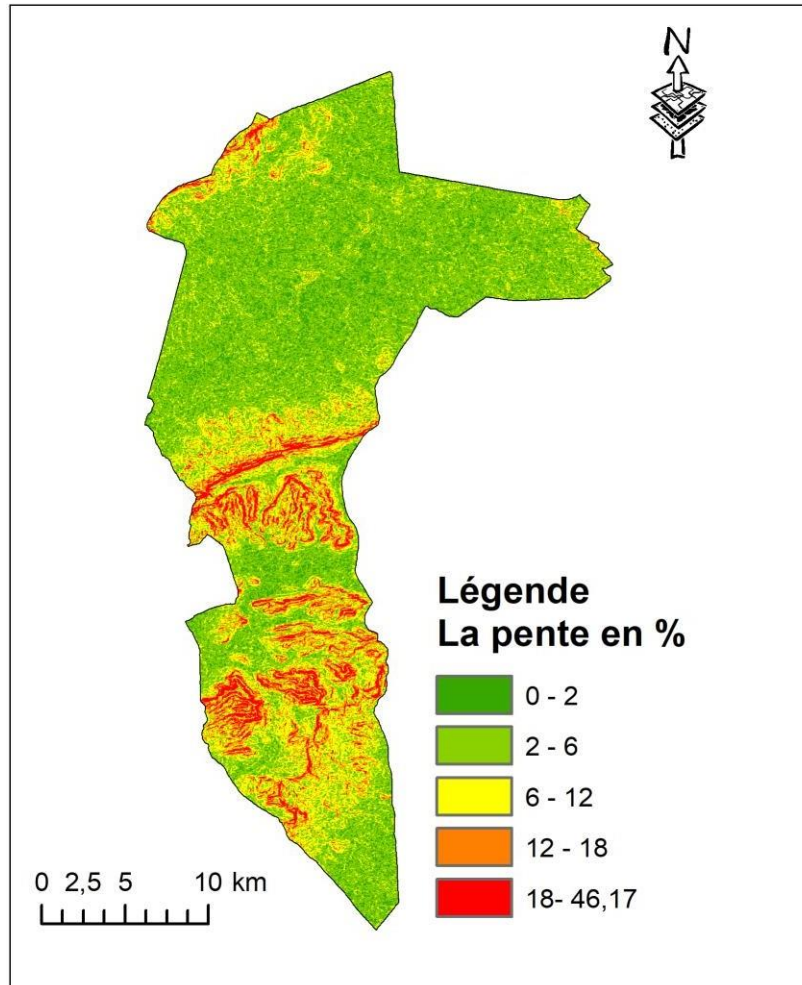


Figure09 : Carte des pentes de la commune d'El Mahmel

2.3.4. Les sols salins

Les sols salins se rencontrent principalement dans la région d'Sebka, Il se développe au-dessus de roches riches en sodium. Il peut s'agir de roches naturellement riches en sodium ou de roches secondairement enrichies en sodium en provenance d'une nappe salée d'origine continentale. L'enrichissement secondaire résulte de mauvaises pratiques culturales, au cours desquelles des remontées d'eau chargées en sel finissent par stériliser les sols. Les causes de ces remontées de sel sont multiples. L'irrigation, associée à une forte évapotranspiration, est une des causes la plus souvent avancées.

Les sols salins se caractérisent par un profil simple avec un seul horizon, assez épais, constitué de matières organiques et minérales encroutées de dépôts de sel précipité.



Figure10 : Les sols salés de la région de Sebkhah El Mahmel

2.4.Cadre hydrogéologique :

L'hydrogéologie est définie par deux grands aquifères, l'un superficiel constitué par des dépôts de sables, argiles et gravier d'épaisseur moyenne 50 mètres ,Ces formations d'affleurements et d'extension réduite ne peuvent constituer à elles seules, un aquifère important dans la région, néanmoins elles pourraient répondre aux besoins domestiques et agricoles à petite échelle. Les débits extraits n'excédant pas 10 l/s.

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

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

Les calcaires du Turonien, constitué par une alternance de calcaires et de marnes (150 mètres) peuvent-être aussi un aquifère potentiel dans la région, cependant son importance hydrogéologique ne peut être connue que par un forage de reconnaissance (**ounissi ,2017**).

Chapitre II : étude géologique et hydrologique de la zone d'étude

❖ **Dépôts quaternaires :**

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

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

❖ **Dépôts Maestrichtien**

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

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

❖ **Dépôts Turonien :**

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

Chapitre II : étude géologique et hydrologique de la zone d'étude

2.4.1-tectonique

L'examen des coupes géoélectriques révèle l'existence de discontinuités électriques plus ou moins franches qu'on peut associer à des failles ou à de forts pendages. Ces discontinuités sont visibles surtout dans la partie Ouest de l'étude, ceci du fait de la présence d'un terrain résistant qui pourrait correspondre à la barre calcaire du Maestrichtien.

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

Chapitre II : étude géologique et hydrologique de la zone d'étude

.2.4.2 Généralités sur les Sebkhass

2.4.2.1- Définition de la Sebkhass :

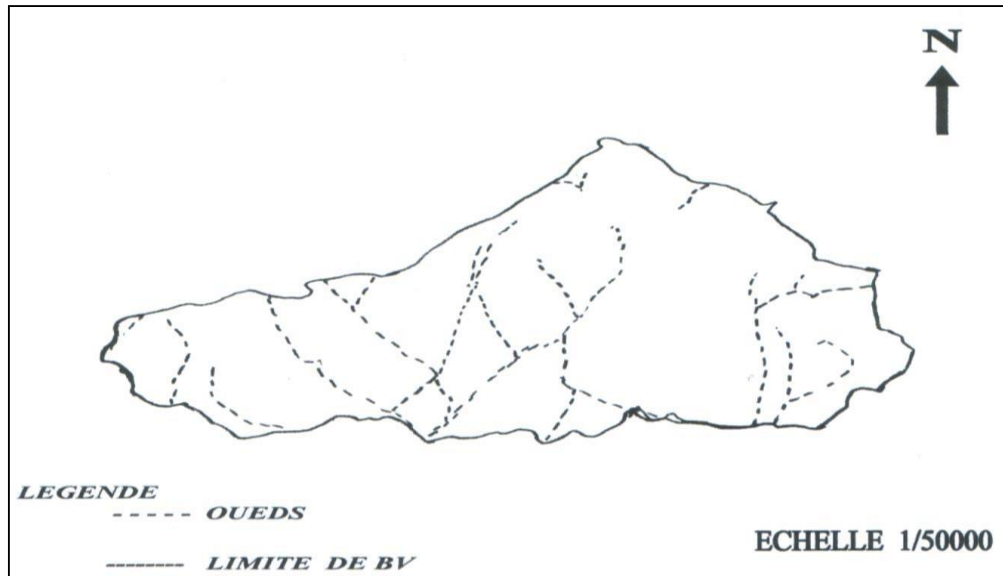
Sebkhass, mot en arabe, qui désigne les plaines salines soumises à des inondations périodiques. Dans les milieux désertiques, les dépressions ne sont occupées que temporairement par de l'eau. Une forte évaporation conduit à la formation caractéristique d'une croûte d'évaporites qui tapissent le fond de ces dépressions.

Une Sebkhass ou Sebkhass désigne un bassin occupant le fond d'une dépression à forte salinité et plus ou moins séparé d'un milieu marin, dans des régions arides (milieu supratidal). Néanmoins, il peut être toujours en contact avec le milieu marin par un très faible filet d'eau (bassin d'eau profonde), ou au contraire par des infiltrations (bassins d'eau peu profonde). Dans ce dernier cas, il peut se produire des débordements périodiques d'eau vers le bassin.

Dans les deux cas il va y avoir une augmentation de la salinité, une évaporation importante, l'apparition d'une saumure et la précipitation d'évaporites au fond du bassin si la profondeur est faible, ou à une extrémité si la profondeur est importante. Ils se trouvent principalement en Afrique du Nord et au Moyen-Orient (Yves, 2003).

4. 2.2 Les systèmes de Sebkhass

Les sebkhass sont des écosystèmes naturels qui présentent des intérêts très diversifiés. Elles peuvent être utilisées comme des indicateurs de l'évolution géochimique naturelle, les suivis de cette évolution est non disponible dans les autres systèmes, sur le plan écologique Les sebkhass, sont des biotopes très important, que ont contribues à la protection de la biodiversité, mais ces systèmes sont très fragile et sont menacés par l'effet anthropique (eaux usées, les engrais et les pesticides).



Source : Direction de l'hydraulique de Khenchela

Figure11: Carte du bassin versant d'SBIKHA

2.4.2.3- Classification des Sebkhas

a) Classification selon le bilan hydrologique :

L'étude qui faite par **Yan JP, 2001** Appliquée sur les grands lacs du monde, ceux de Qinghai et Turquie, a classé les lacs salés en 3 types, selon leurs bilans hydrologique (**Farhat, 2001**).

Types de lacs fermés			
	A	B	C
Schémas			
Type du lac	Lacs éphémères (courte durée)	Lacs éternels (moyenne durée)	Large lacs éternels (très grande durée)
Bilans hydrique	$Q_{in} \ll (E_i - P_i) A_i$ Décroissance de volume V_i	$Q_{in} < (E_i - P_i) A_i$ Décroissance de volume V_i	$Q_{in} = (E_i - P_i) A_i$ Décroissance de volume V_i
Mécanisme de concentration	Evaporation	Evaporation et dissolution du flux de la matière	dissolution du flux de la matière

Q_{in} : infiltration ; E_i : Evaporation ; P_i : Précipitations ; A_i : Surface du lac

Figure12 : classification des Sebkhass selon le bilan hydrologique.

b) Selon le milieu de formation

Les différents types de sebkha dépendent de leur milieu de formation. Mais toutes les sebkhas ont un point commun ; il s'agit de zones proches de la nappe phréatique. (Perthuisot, 1995) La déflation joue jusqu'à ce que soit atteint le niveau hydrostatique. Par capillarité, l'eau de la nappe subit une aspiration due à sa propre évaporation en surface. Se faisant, elle dépose successivement des sels dissous de carbonate de calcium ($CaCO_3$), de gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), d'anhydrite ($CaSO_4$) et de chlorure de sodium ($NaCl$), qui précipitent pour donner une croûte imperméable et parfois très épaisse d'évaporites.

On distingue trois grands types de sebkha, associés à des conditions de formation spécifique.

Chapitre II : étude géologique et hydrologique de la zone d'étude

- **La sebkha fluviolacustre**

Les eaux souterraines d'infiltration dans des bassins hydrographiques peu profonds et l'évaporation par capillarité qui en découle expliquent la formation de telles structures.



Figure13: Sebkhia fluvio lacustre

- **Les sebkhas interdunaires**

Comme leur nom l'indique elles correspondent aux lacunes laissées dans les champs de dunes par déflation. Dans les plaines salines où elles se forment, la nappe phréatique est superficielle et permet la formation de séries évaporitiques et notamment du gypse. (Tricart, 1954).



Figure14: Sebkhia interdunaire.

- **La sebkha marine ou côtière**

Située dans la zone supratidal, c'est-à-dire au-delà de la limite de haute mer. Elle est caractérisée par des inondations liées aux tempêtes ou aux grandes marées d'équinoxe. Cette

Chapitre II : étude géologique et hydrologique de la zone d'étude

influence marine est également identifiable par la présence de tapis d'algues, les stromatolithes.

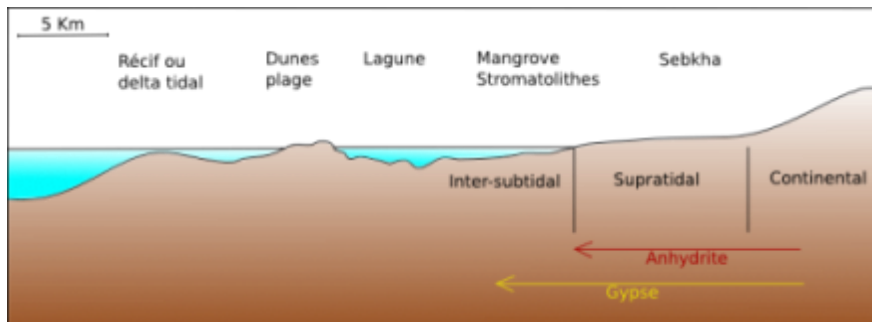


Figure 15: Profil transversal d'une Sebkha marine

2.4.2.4. Fonctionnement des sebkhas

La fréquence des sebkhas à travers les Hautes Plaines constantinoises pourrait conduire à admettre l'existence d'un niveau de base régional. Ce niveau devrait régler les écoulements hydrographiques en fonction d'un certain seuil altitudinal constant, l'ensemble décrivant une nette inclinaison du sud en direction du nord.

L'originalité de la plaine de la Sebkha apparaît avec la présence d'une certaine communication entre les Sebkhas, qui déverse saisonnièrement les eaux de la Sebkha d'Ouled Slime vers la Sebkha d'Ouled Amara puis vers la Sebkha d'Ouled M'bark. Ce type de communication entre sebkhas fonctionne à la manière de vases communiquant par déversement d'une sebkha dans l'autre.

Il faut noter que les Sebkhas sont alimentées par des venues profondes mal connues, mais indéniables. (Roger, 1999) en 1999 fait remarquer : « dans toutes les Sebkhas existent, en effet, des nappes d'eau très salées qui imprègnent la totalité de leurs remplissages détritiques. Elles doivent leurs existences à une alimentation par de puissants appareils artésiens sous-jacents. Dans ces conditions, l'hydrologie superficielle dépend fondamentalement du bilan hydrique momentané entre ces arrivées continues et les prélèvements de l'évaporation. En saison froide, la prépondérance des premières déclenche une remontée du toit de la nappe, jusqu'à son recoupement avec la surface, qui assure une submersion plus ou moins totale. Sa régression, due au renversement du bilan au cours de la saison chaude favorable à l'évaporation, entraîne l'assèchement et l'épanouissement des efflorescences salines».

Conclusion

La région d'El Mahmel fait partie de la plate forme l 'Atlas saharien. L'étude géologique permet de distinguer les formations perméables susceptibles d'abriter des eaux souterraines et celles qui forment le substratum imperméable.

La zone d'étude se présente comme un bassin sédimentaire dont la série stratigraphique est constituée par une alternance des marnes cénomaniennes et des marnes et Calcaires du Turonien, sur laquelle dépose une bande calcaire qui représente le Maëstrichtien pour trouver au sommet des dépôts sableux, limoneux et des graviers avec de gros galets qui représente le quaternaire. La zone d'étude est définit par deux grands aquifères, l'un superficiel constitué par des dépôts de sables, argiles et gravier d'épaisseur moyenne 50mètres et l'autre profond constitué par les formations de calcaires avec des intercalations de marnes d'une épaisseur pouvant atteindre 135 mètres.



La cartographie

De la

Vulnérabilité



Introduction :

La pollution de l'eau est un défi mondial qui s'est accru dans les pays développés et en développement, sapant la croissance économique ainsi que la santé physique et environnementale de milliards de personnes. Bien que l'attention mondiale se soit principalement concentrée sur la quantité d'eau, l'utilisation efficace de l'eau et les problèmes d'allocation, et la mauvaise gestion des eaux usées a créé de graves problèmes de qualité de l'eau dans de nombreuses régions du monde, aggravant la crise de l'eau. L'agriculture moderne favorise les cultures intensives et une utilisation abondante de fertilisants. Il y a cependant des risques associés à ces pratiques culturelles puisque l'utilisation excessive des engrais chimiques et organiques peut entraîner le lessivage de nitrates vers l'eau souterraine (**Refsgaard et al, 1999**). Partout dans le monde, des observations et des études indiquent un lien étroit entre l'agriculture intensive et les fortes concentrations en nitrates dans l'eau souterraine .

Les pressions agricoles sur la qualité de l'eau proviennent des systèmes de culture et d'élevage et de l'aquaculture, qui se sont tous développés et intensifiés pour répondre à la demande alimentaire croissante liée à la croissance démographique et aux changements dans les régimes alimentaires. La superficie équipée pour l'irrigation a été doublée au cours des dernières décennies (de 139 millions d'hectares - Mha - en 1961 à 320 Mha en 2012);(**FAO, 2014**) et le nombre total de bétails est triplé (de 7,3 milliards d'unités en 1970 à 24,2 milliards d'unités en 2011); (**FAO, 2016a**).L'aquaculture a été multipliée par plus de 20 depuis les années 1980, en particulier l'aquaculture nourrie dans les eaux intérieures et en particulier en Asie (**FAO, 2016b**).

La présence de plusieurs contaminants organiques et inorganiques dans les eaux souterraines utilisées pour l'irrigation peut causer plusieurs problèmes de santé aux humains et entraîner une perte de fertilité des sols et de revenus pour les agriculteurs.

Les impacts de la contamination des eaux souterraines sont plus visibles dans les zones souffrant de désertification, de salinisation ou lorsque les eaux souterraines ne sont pas suffisantes pour soutenir des activités agricoles intenses (**Komnitsas K et al, 2015**). Les nitrates et les pesticides sont les contaminants de source non ponctuelle les plus couramment détectés dans les aquifères alluviaux peu profonds des zones agricoles. Les aquifères alluviaux sont particulièrement vulnérables à la contamination par les nitrates et aux

problèmes de salinité en raison d'un certain nombre de facteurs, notamment la nappe phréatique peu profonde, les dépôts alluviaux hautement perméables, les interconnexions entre les eaux de surface et les utilisations des terres liées à l'agriculture généralement effectuées sur les terrasses des plaines inondables le long des berges des rivières et l'intrusion d'eau de mer, en raison d'un pompage excessif des eaux souterraines pour l'irrigation (**Güler C, 2012 ; Nisi B, 2013**)

La nappe d'El Mahmel (Sud de Khenchela) actuellement elle se trouve menacée par de nombreux foyers de pollution en particulier les activités agricoles exercées sur la plaine. Cette situation est aggravée par la surexploitation des eaux souterraines surtout en période sèche créant un gradient hydraulique fort qui contribue à une large dispersion des polluants et la situation devient difficilement contrôlable.

L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole pour la nappe d'El Mahmel offre une alternative peu coûteuse aux plans traditionnels de qualité des eaux souterraines et peut être utilisée pour évaluer les changements de risque au fil du temps, causée soit par des changements dans l'utilisation des terres, soit par la migration de contaminants tels que les nitrates via des voies d'écoulement hydrauliques préférentielles.

Revue de littérature

Les cartes de vulnérabilité ont toutefois la particularité de ne pas représenter directement les ressources en eaux et leurs éléments associés (niveaux piézométriques, sources, etc.), mais plutôt un ensemble de paramètres dérivés de ces éléments, voire parfois non affiliés directement à l'eau souterraine (pente, type de sols, etc.). Elles permettent ainsi de représenter une multitude de données en provenance de sources variées, en les modulant en un nombre limité d'indices relatifs de vulnérabilité. Ces cartes sont également dépendantes du temps (à l'inverse des cartes géologiques, par exemple), dans le sens où les paramètres utilisés (profondeur du niveau piézométrique, intensité de la recharge, etc.) peuvent varier temporellement.

Alors, l'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines est une procédure complexe et dépend de la variabilité temporelle et spatiale des sources de contamination (**Etteieb S et all, 2014 ; Khedidja A, 2014**)

2.1. Le concept de vulnérabilité

Le terme vulnérabilité a été introduit dans la littérature hydrogéologique par le français J.Margat en 1968 (**Martinez-Bastida et al, 2010 ; Vrba,1994 ;Zaporozec, 1994**) Il est aujourd'hui couramment usité, y compris dans sa version anglaise (vulnerability) ; cf. " Guide Book on mapping Groundwater Vulnerability " (**AIH, n°16, 1994**).

Ce terme de vulnérabilité, appliqué d'abord aux eaux souterraines, permettait par une métaphore expressive, d'abord de sensibiliser (rendre conscient que les eaux souterraines ne sont pas, en général, à l'abri des pollutions, malgré l'idée de pureté naturelle qui leur est communément attachée), puis de faire comprendre des différences (la variété des conditions naturelles rend ces eaux inégalement protégées, d'où divers degrés de vulnérabilité à identifier et cartographier).

Il n'y a pas une définition générale de la vulnérabilité des eaux souterraines (**Magiera, 2000**).

Une des premières définitions trouvées dans la littérature est celle d'Albinet et Margat (1970) qui proposent que "la vulnérabilité d'un aquifère soit la possibilité de percolation et de diffusion de polluants depuis la surface du sol jusqu'à la nappe, dans des conditions naturelles".

Olmer et Rezac (1974) suggèrent que la vulnérabilité des eaux souterraines soit "le degré de dangerosité déterminé par les conditions naturelles et indépendantes des sources de pollution actuelles". Leur point de vue est que la vulnérabilité dépend dans la zone non saturée de la perméabilité verticale et, dans l'aquifère, du gradient hydraulique et de la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine.

Vrana (1984) définit la vulnérabilité des eaux souterraines comme "le complexe des conditions naturelles de la surface et de la subsurface influençant le mouvement d'un polluant vers l'aquifère".

Villumsen et al, (1982) proposent que la vulnérabilité des eaux souterraines soit "le risque qu'a une substance chimique, utilisée ou entreposée sur ou près de la surface du sol, d'influencer la qualité des eaux souterraines". Selon ces auteurs, la vulnérabilité des eaux souterraines dépend d'une série de paramètres, aussi bien dynamiques que statiques. Ils insistent sur le fait que la composition chimique des eaux souterraines peut être utilisée

comme indicateur de la vulnérabilité et ils recommandent que les analyses chimiques des eaux soient utilisées comme vérification préliminaire des cartes de vulnérabilité.

Sotomikova et Vrba , (1987) comprennent la vulnérabilité d'un système hydrogéologique comme "l'aptitude de ce système à faire face à des impacts extérieurs, aussi bien naturels qu'anthropogéniques, qui affectent son état et ses Caractéristiques dans le temps et dans l'espace". **Civita** définit le degré de vulnérabilité intrinsèque comme la possibilité d'infiltration et de percolation de contaminants à travers la zone non saturée (**Benacchio et all, 1988**). Mais la majorité des travaux recensés utilise celle de l'association international des hydrogéologues (AIH) **Vrba Zaporozec, (1994)**: "la vulnérabilité à l'échelle du temps humain soit une propriété intrinsèque naturelle invariante des parties non saturées et saturées du système aquifère et qui dépend de la capacité ou de l'incapacité de ce système à faire face à des processus naturels et des impacts humains. "

L'approche européenne COST 65 (1995) donne un aperçu sur les différentes définitions de la vulnérabilité qui ont été proposées jusqu'à présent. La plupart d'entre eux sont tout à fait semblables. COST action 620 évaluée et discuté de cette question et propose par conséquent les définitions suivantes :

- **La vulnérabilité intrinsèque** des eaux souterraines à des contaminants tient compte de la géologie, caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques d'une région, mais est indépendante de la nature des contaminants et des scénarios de contaminations.
- **La vulnérabilité spécifique** prend en compte les propriétés d'un contaminant particulier ou d'un groupe de contaminants, en plus de la vulnérabilité intrinsèque de la zone (**Zwahlen, 2004**).

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

2.2 Techniques d'estimation de la vulnérabilité :

Le moyen le plus pratique d'exprimer vulnérabilité des eaux souterraines est cartographie de la vulnérabilité. La vulnérabilité des eaux souterraines variées dans l'espace à cause de la grande variation de faciès lithologique des matériaux qui forme la surface.

Le but de la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines est de présenter les différents degrés de protection offerte par les différentes lithologies (**Ramos Leal and Rodriguez Castillo ,2003**), et de fournir les informations pour les aménageurs et aux autorités pour contrôler les activités humaines et protéger les eaux souterraines. Ce type d'information peut aider à assigner les zones sensibles qui ne devraient pas être affectées par les activités anthropogéniques.

Pour chaque zone sensible, le degré de risque des sources de pollutions potentielles doit être estimé (**Ramos Leal and Rodriguez Castillo, 2003**). La carte de risque peut être réalisée par la superposition de la carte qui montre les zones vulnérables avec la carte qui montre la location des sources de pollution potentielles ou les activités polluantes occupant le sol (**Gogu and Dassargues, 2000**).

Comme proposé dans **Vrba et al, (1994)** (dans un recueil exhaustif sur les méthodes cartographiques de vulnérabilité), la vulnérabilité des eaux souterraines est une propriété qui est relative, non mesurable et sans dimension. Depuis ce terme introduit, plusieurs scientifiques ont essayé de développer des méthodes pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité.

Les méthodes d'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution sont très nombreuses, chacun élaborant sa méthode selon ses besoins. La multiplicité des méthodes provient aussi bien des objectifs recherchés au niveau de la réglementation, des activités humaines, des polluants, etc., que du nombre d'organismes qui développent leur propre méthode (**Aubre, 1992**).

Les méthodes d'estimation peuvent être classées en trois catégories principales (**selon Liggett et al, (2009)**) :

- Méthodes paramétriques avec indices superposables (empiriques) GOD, EPIK, DRASTIC, SINTACS, CALOD, SI, COP. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple)
- Méthodes par modélisation physique (mathématiques numériques)
- Méthodes statistiques (prévisionnelles)

2.2.1. Les méthodes paramétriques, permettant de calculer rapidement de façon empirique des indices de vulnérabilité, sont fréquemment utilisées et s'appuient sur une sélection d'attributs et paramètres physiques représentatifs de la vulnérabilité (épaisseur de la zone non saturée, type de sol, etc.), qui sont discrétisés et classés par intervalle décroissant d'effet supposé sur l'atténuation d'une contamination (donc d'accroissement de la vulnérabilité). **Gogu et al (2000)** subdivisent la famille des méthodes paramétriques en trois sous-systèmes, selon l'approche théorique utilisée :

- *Systemes matriciels*, Basés sur un nombre limité de paramètres physiques rigoureusement choisis et présentés sous forme de matrice. L'estimation de l'indice de vulnérabilité se fait alors de façon très rapide et simple, selon un système de tableau multiparamètres.
- *Systemes de paramètres classés combinés*, Les paramètres physiques jugés nécessaires à l'estimation de la vulnérabilité sont répartis sur une échelle de valeurs classées d'après leur influence estimée sur l'atténuation d'une contamination potentielle. Ces classes sont ensuite combinées selon un schéma calculatoire défini pour donner un indice final de vulnérabilité.
- *Systemes « point-count systems models PCSM » (classement – pondération)*, Proche du système de paramètres classés combinés, avec l'ajout de facteur de pondération pour chaque valeur de paramètre, selon son efficacité particulière dans l'atténuation d'une contamination potentielle. Les valeurs finales d'indices sont alors obtenues par la somme pondérée des valeurs de paramètre. La méthode DRASTIC (**Aller et al, 1987**) et la méthode SINTACS (**Civita et al, 1997**) qui en est dérivée est de bons exemples de systèmes « point-count ».

Le mélange de plusieurs de ces approches dans les schémas conceptuels d'estimation de la vulnérabilité est fréquent (exemple de système hybride matriciel / « point-count » pour la méthode COP).

Tableau04 : Avantages, inconvénients et type d'utilisateurs cibles pour les trois types principaux de méthodes d'estimation de la vulnérabilité

Type de méthode	Avantages	Inconvénients	Type d'utilisateur	Références
Méthodes paramétriques-empiriques	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts réduits • Rapides • Peu gourmandes en données hydrogéologiques • Facilement interprétables 	<ul style="list-style-type: none"> • Indices de vulnérabilité purement qualitatifs • Fortement dépendantes du jugement de l'expert • Fréquentes divergences d'estimation entre les méthodes (pour un même site) 	<ul style="list-style-type: none"> • Administrations et gouvernements • Experts divers • Domaine éducatif 	Aller et al. (1987), Civita et al. (1997), Vias et al. (2006)
Méthodes par modélisation physique	<ul style="list-style-type: none"> • Indices de vulnérabilité quantifiés • Peu ou pas de jugement subjectif de l'expert • Permettant l'estimation de la vulnérabilité intrinsèque ou spécifique • Basées sur la physique réelle des écoulements souterrains 	<ul style="list-style-type: none"> • Gourmandes en données hydrogéologiques • Difficilement utilisables sans consultation de l'expert • Coûts élevés : main-d'œuvre et logiciels 	<ul style="list-style-type: none"> • Experts en hydrogéologie et en sciences de l'environnement • Administrations et gouvernements 	Connell et al. (2003), Neukum et al. (2009), Jeannin et al. (2001)
Méthodes statistiques-prévisionnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Indices de vulnérabilité quantifiés, avec incertitudes • Peu ou pas de jugement subjectif de l'expert • Corrélations directes avec des données de terrain (contaminations réelles et potentielles) 	<ul style="list-style-type: none"> • Spécialisées : souvent développées pour un seul type de contaminant • Pas de méthodes « clé-en-main » • Difficilement utilisables sans consultation de l'expert 	<ul style="list-style-type: none"> • Experts en hydrogéologie et en sciences de l'environnement • Administrations et gouvernements 	Masetti et al. (2009), Tesoriero et al. (1997), Worrall et al. (2003), Worrall et al. (2005)

2.2.2.Approches statistiques et par modélisation physique, basées sur les processus physiques d'écoulement de l'eau et du transport des contaminants, sont a priori indépendantes du contexte hydrogéologique, les méthodes paramétriques – empiriques sont quant à elles en grande partie dépendante de ce contexte. La plupart de ces méthodes sont ainsi en règle générale dédiées à un environnement hydrogéologique précis, par le choix des paramètres géologiques pour l'estimation de la vulnérabilité. Ainsi les méthodes déjà mentionnées DRASTIC et SINTACS s'appliquent de préférence aux milieux aquifères poreux, alors que les méthodes EPIK (Doerfliger et all, (1999) ; Doerfliger et all, (1998) et DISCO (Pochon et all, (2008), entre autres, ont été développées pour les milieux karstiques et fissurés, respectivement. Les

milieux karstiques ont également été en premier lieu au centre de l'approche européenne (Zwahlen (2004).

3 .Les polluants issus de l'agriculture

Selon un nouveau rapport publié le 28 juin 2018 à Rome par le **FAO** la pollution de l'eau induite par des pratiques agricoles non durables menace sérieusement la santé humaine et les écosystèmes de la planète, un problème par ailleurs souvent sous-estimé par les décideurs politiques et les agriculteurs. Selon la publication *More People, More Food, Worse Water? A Global Review of Water Pollution from Agriculture*, (**Mateo-Sagasta, J et all, 2018**) lancée par la FAO et l'Institut international de gestion de l'eau lors d'une conférence au Tadjikistan qui se déroule du 19 au 22 juin 2018, pour de nombreux pays, l'agriculture est la plus importante cause de pollution de l'eau - à défaut des villes ou encore de l'industrie - tandis qu'à travers le monde, le contaminant chimique que l'on retrouve le plus souvent dans les nappes souterraines aquifères est le nitrate provenant de l'agriculture.

D'après le rapport, l'agriculture moderne est responsable du déchargement de grandes quantités de produits agrochimiques, de matière organique, de sédiments et de solution saline qui se déverse. Les polluants agricoles qui suscitent une vive inquiétude pour la santé humaine sont les agents pathogènes provenant du bétail, des pesticides, du nitrate des eaux souterraines, des traces d'éléments métalliques et des polluants émergents, dont font partie les antibiotiques et les gènes résistants aux antibiotiques sécrétés par le bétail restent ensuite dans les plans d'eau.

3.1. Répercussions sur la qualité de l'eau :

Le ruissèlement est simplement l'écoulement de l'eau sur la surface terrestre. L'eau peut pénétrer dans le sol, s'évaporer dans l'air, être emmagasinée dans les lacs ou les réservoirs ou être utilisée à des fins agricoles ou à d'autres fins par les humains.

L'infiltration est la pénétration de l'eau dans le sol. Une fois infiltrée, l'eau demeure dans le sol ou alimente la nappe souterraine.

L'écoulement souterrain est le mouvement de l'eau dans le sous-sol, le sol non saturé et les aquifères. L'eau souterraine peut rejaillir à la surface sous forme de source, être pompée ou rejoindre les océans. La nappe souterraine se déplace et se recharge lentement; elle peut donc rester dans les aquifères pendant des milliers d'années.

Presque toute l'eau qui tombe sur la terre atteint une source d'eau souterraine ou de surface; tout ce qui se produit dans le paysage peut donc avoir une grande influence sur la qualité de l'eau.

Il peut y avoir ruissèlement des pesticides, des engrais et du fumier, ou lessivage de l'azote dans la nappe souterraine et écoulement de l'eau souterraine dans des eaux de surface. Cela signifie que les contaminants dissous atteindront éventuellement des lacs, des rivières ou l'océan. L'essentiel du phosphore qui provient des terres agricoles se lie aux particules du sol. Le phosphore ne présente pas de problème sous cette forme, mais lorsqu'il se dépose dans les sédiments dulcicoles, il peut se libérer lentement sous une forme dissoute qui est facilement assimilable par les plantes aquatiques. Pour cette raison, les effets du dépôt peuvent se faire sentir bien des années après que la source est éliminée ou maîtrisée. De plus, des poussières atmosphériques chargées de phosphore adsorbé et de matière organique peuvent être transportées sur de grandes distances avant de se déposer par gravité ou par les précipitations.

Les phénomènes en cause sont le lessivage et l'érosion des parcelles cultivées et le non-étanchéité des bâtiments d'élevage

- **Le phosphore** provient des effluents d'élevage et des engrais de synthèse. Il est entraîné vers les cours d'eau par ruissèlement. Les pollutions phosphorées d'origine agricole se concentrent en zone d'élevage intensif.
- **L'azote** est naturellement présent dans le sol sous forme organique.
- **Les nitrates** correspondent à une partie de l'azote qui avec le temps se minéralise sous forme lessivable. Les apports organiques de fertilisants ajoutent de l'azote qui n'est pas toujours utilisé en totalité par la végétation. Le milieu est alors contaminé.
- **Produits phytosanitaires** : Elles peuvent être ponctuelles ou diffuses et impactent la plupart du temps les eaux superficielles. Les phénomènes de transfert en jeu sont le ruissèlement, le drainage et le lessivage. Il est très difficile d'identifier les sources précises et de quantifier les pollutions. Les facteurs aggravant de ces pollutions sont la proximité de point d'eau, de fossés, la topographie de la zone à traiter, son orientation, sa pédologie et les conditions climatiques en vigueur au moment du traitement.

3.2 Les effets de la pollution phosphorique et azotée : L'azote et le phosphore sont responsables de l'eutrophisation des cours d'eau. Leur excès entraîne un développement de phytoplancton responsable de la turbidité de l'eau puis de la chute des diatomées et chlorophycées. Le plancton vient à manquer de nourriture, sui- vis des poissons.

À cause de la consommation d'oxygène dissous par la décomposition des végétaux il y a une hausse de la mortalité des espèces et une baisse de la diversité.

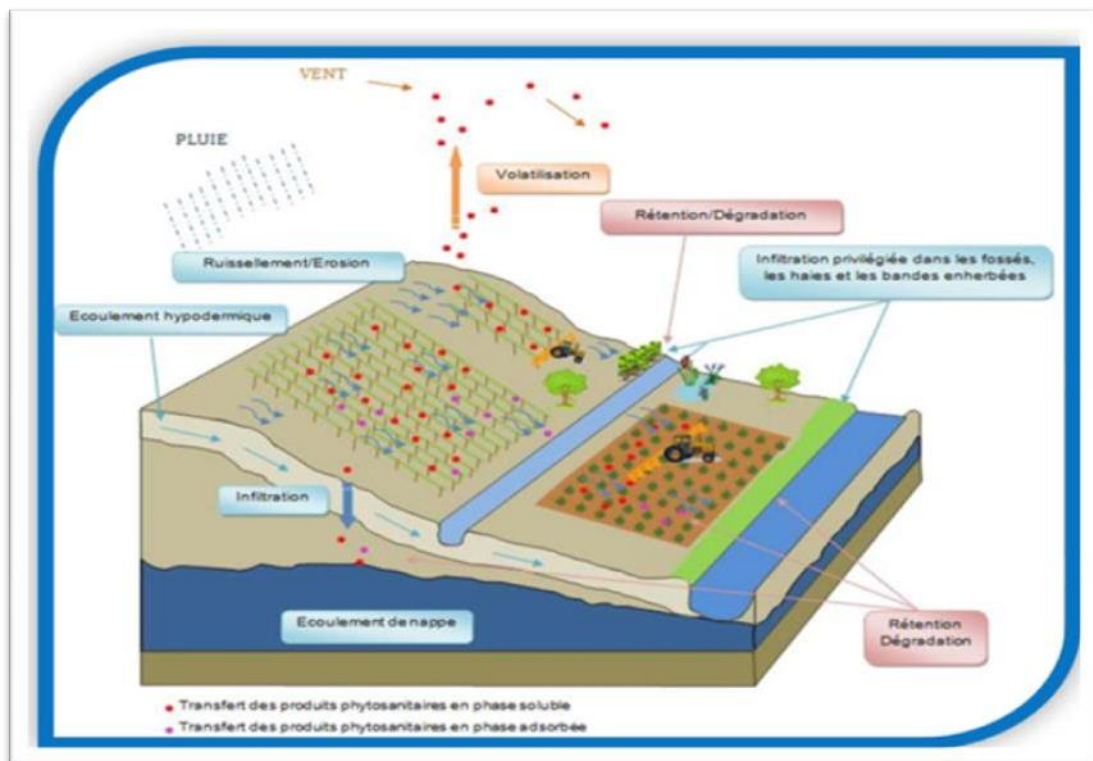


Figure 16 : Les mécanismes de transfert de polluants

4. Méthodologie

Plusieurs approches impliquant l'utilisation de méthodes déterministes ou stochastiques peuvent être utilisées pour évaluer les sols et prédire la contamination des eaux souterraines dans les zones industrielles et agricoles. Des facteurs tels que le type de sol, la charge de pollution, la profondeur de l'aquifère, la mobilité et le devenir des contaminants doivent toujours être pris en considération (Chaouki M, et al, 2013, Chen SK et al, 2013 ; Gay JR et al, 2006 ; Komnitsas K et al, 2009). Au cours des dernières décennies, plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées, notamment GOD (Foster S, 1987), SINTACS (Civita M, 1999), AVI (Van Stempvoort D et al, 1993) et la méthode PI (Goldscheider N et al, 2000). En dehors de toutes ces méthodes, la méthode DRASTIC, développée par l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA), reste l'une des approches les plus fréquemment utilisées pour évaluer la vulnérabilité à la contamination des eaux souterraines dans les aquifères poreux (Aller L et

all, 1987), (Panagopoulos GP et al, 2006). DRASTIC utilise sept paramètres, à savoir la profondeur de l'eau, la recharge nette, le milieu aquifère, le milieu du sol, la topographie, l'impact de la zone vadose et la conductivité hydraulique comme couches pondérées pour permettre une évaluation fiable de la vulnérabilité.

Des études récentes ont révélé que l'utilisation des sols est également un problème-clé qui doit être pris en compte lors de la prévision des futures réponses hydrologiques potentielles et de l'effet des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines (**Kazakis N et al, 2013 ; Teixeira J et al, 2014**). Dans ce contexte, l'indice de sensibilité (SI), développé par (**Ribeiro L, 2000**); est une adaptation contemporaine de la méthode DRASTIC et a également été appliquée dans cette étude pour évaluer l'effet de l'utilisation des terres sur la vulnérabilité des eaux souterraines dans une plaine côtière agricole. Là où les changements défavorables d'utilisation des terres sont courants (**Anane M et al, 2013**). L'indice de susceptibilité permet une analyse approfondie et complète des impacts du développement urbain continu contre la pénurie de terres à des fins agricoles.

Les méthodes Pesticide DRASTIC et SI peuvent être associées à la technologie SIG et à la télédétection pour développer une approche intégrée, en particulier pour les milieux hétérogènes, qui prend en compte les données géologiques, hydrologiques et géochimiques pour améliorer la fiabilité de l'estimation des risques (**Baaloush H, 2010**), (**Bai L et al, 2012**), (**Wang J, et al, 2012**). Les cartes de vulnérabilité qui en résultent peuvent être facilement utilisées par les autorités locales, les décideurs et les décideurs politiques pour concevoir des stratégies de protection et d'assainissement des eaux souterraines (**Arthur JD, 2007**).

- Dans cette étude, pour rendre compte de la vulnérabilité spécifique à la pollution d'origine agricole le modèle SI (**Ribeiro L, 2000**) a été appliqué. Les critères sur laquelle repose cette méthode sont représentés dans le tableau ci-dessous (**tableau 05**). Ces critères représentent les facteurs du transfert de substances polluantes depuis la surface du sol vers la nappe.

Tableau05 : Méthode et critères de vulnérabilité spécifique proposés en comparaison avec la méthode DRASTIC

	Vulnérabilité intrinsèque «DRASTIC»	Vulnérabilité spécifique «SI»
Profondeur de la nappe «D»	X	X
Recharge nette «R»	X	X
Lithologie de l'aquifère «A»	X	X
Sol(Texture)	X	
Topographie	X	X
Zone non saturée «I»	X	
Perméabilité (conductivité hydraulique)	X	
Occupation du sol «OS»		X

4.1. La méthode SI (Susceptibility Index)

La méthode SI (Susceptibility Index ou méthode d'Indice de Susceptibilité), qui estime la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole (essentiellement par les nitrates et également par les pesticides), a été développée au Portugal par **RIBEIRO (2000)**. Cette méthode prend en considération cinq paramètres. Les quatre premiers paramètres sont identiques à quatre paramètres déjà utilisés dans la méthode DRASTIC (D : la profondeur de la nappe, R : la recharge efficace de l'aquifère, A : la lithologie de l'aquifère, et T : la pente topographique du terrain). Les cotes correspondantes aux différentes classes de ces

paramètres, dans la méthode DRASTIC, ont été également conservées. Un cinquième nouveau paramètre a été introduit : le paramètre occupation des sols (OS). La classification utilisée pour ce paramètre est la classification CORINE Land Cover (**EUROPEAN COMMUNITY, 1993**) (**Tableau 06**). Une valeur appelée facteur d'occupation des sols et notée LU, variant de 0 à 100, est attribuée à chaque classe d'occupation des sols. Il est à signaler que les valeurs des cotes attribuées aux classes des différents paramètres ont été multipliées par 10 pour faciliter la lecture des résultats obtenus. Ces valeurs varient par conséquent de 0 à 100, allant du moins vulnérable au plus vulnérable. Les poids attribués aux paramètres SI varient de 0 à 1 selon l'importance du paramètre dans la vulnérabilité (**Tableau07**)

Tableau06 : Principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes

Occupation des sols selon la classification CORINE Land Cover	Valeur du facteur d'occupation des sols LU (Land use factor)
Décharge industrielle, décharge d'ordures, mines	100
Périmètres irrigués, riziers	90
Carrière, chantier naval	80
Zones artificielles couvertes, zones vertes	75
Cultures permanentes (vignes, vergers, oliviers, etc.)	70
Zones urbaines discontinues	70
Pâturages et zones agro forestières.	50
Milieus aquatiques (marais, salins, etc.)	50
Forêts et zones semi-naturelles	0

Tableau07: Poids attribués aux paramètres SI.

Paramètre	D	R	A	T	OS
POIDS	0,186	0,212	0,259	0,121	0,222

4.2. Logiciels utilisés :

En raison de la masse très importante de données nécessaires au travail, nous avons mis en place des traitements automatisés dans un environnement SIG où la combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères. Le logiciel Arc Gis version 10.3 a été utilisé.

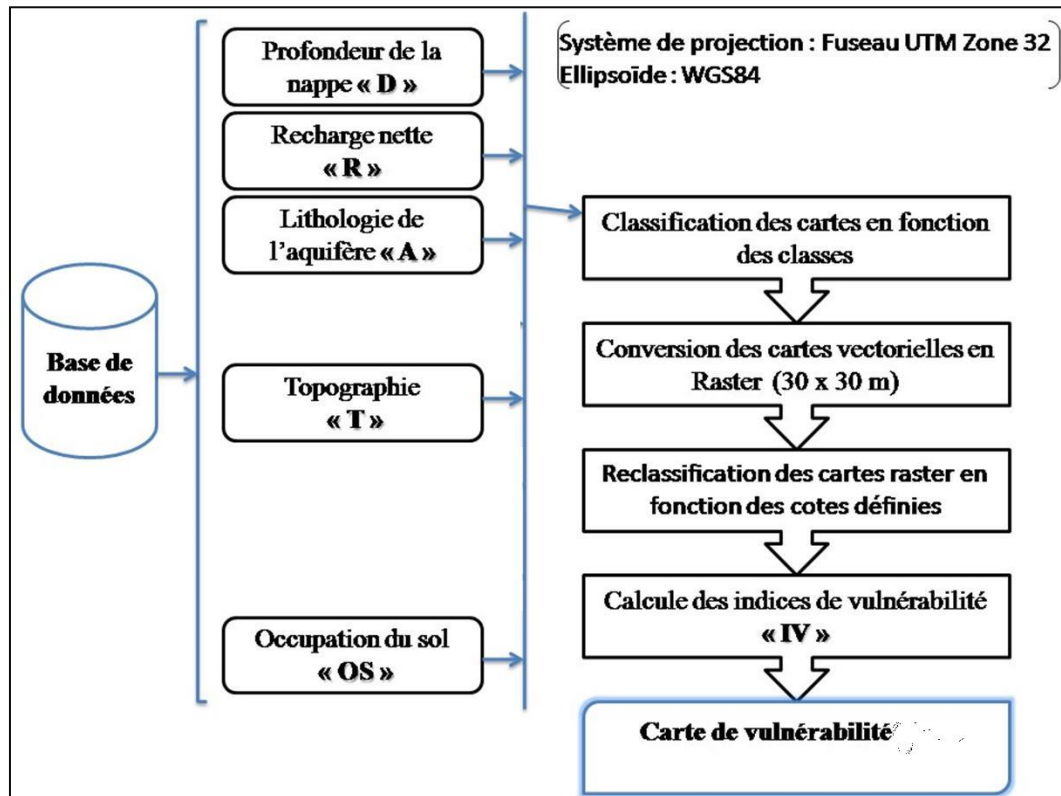


Figure17 : Organigramme présentant les étapes de la réalisation de la carte de vulnérabilité SI

Tableau08 : Sources de données brutes et mode de traitement de chaque paramètre.

Paramètre	Source de données	Type de données	Mode de traitement
Profondeur de la nappe «D»	Levez des niveaux statiques des forages	Point	Interpolation
Recharge nette «R»	Études hydro climatiques (P, ETP), et carte pédologique de Tebessa	Polygone	Digitalisation
Lithologie de l'aquifère «A»	Fiche technique des forages	Polygone	Digitalisation
Topographie «T»	Modèle numérique de terrain MNT	Polygone	Digitalisation
Occupation du sol «OS»	CCILANDCOVER-S2 prototypelandcover20mmap of Arica 2016(esa)	Point, Polygone polyline	Digitalisation

.5 Résultats et discussion:

5.1 Détermination des paramètres du modèle « SI » :

5.1.1 Profondeur de la nappe « D » : (Figure18).

La profondeur de la nappe représente la distance verticale traversée par un contaminant à la surface du sol pour atteindre la nappe. Généralement, la protection potentielle de l'aquifère augmente avec la profondeur de la nappe. Ce paramètre a été obtenu par interpolation de niveaux piézométriques de 28 puits (Les données de 2014). La variabilité spatiale de la profondeur de la nappe est représentée selon quatre classes allant de 0 à 16 mètre.

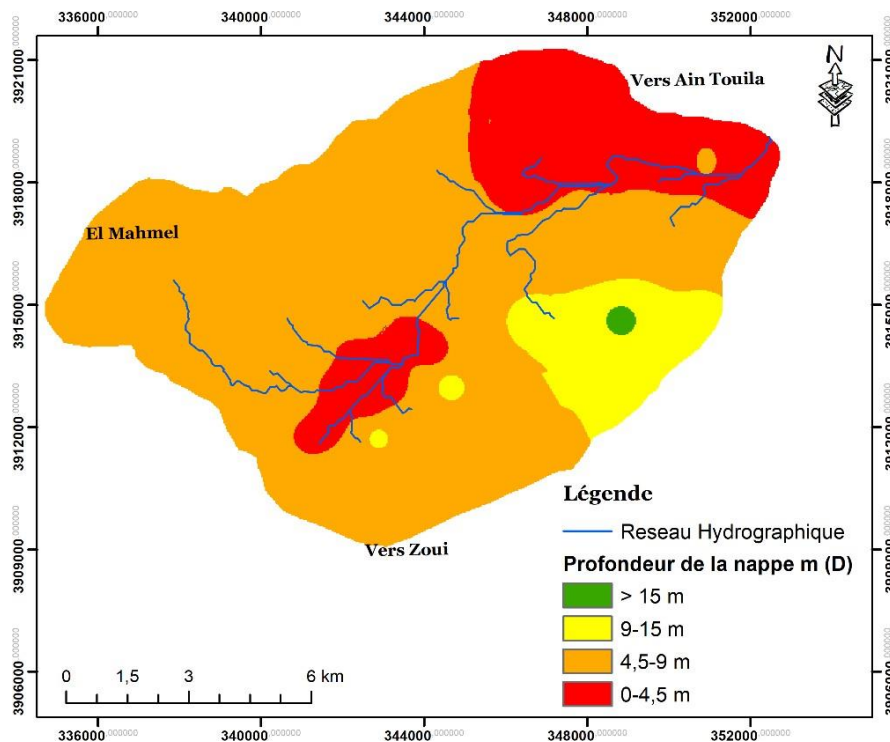


Figure18 : Profondeur de la nappe dans la zone d'étude

5.1.2.Recharge nette R : (Figure19).

La recharge nette dans la zone d'étude est obtenue selon la méthode **Williams and Kissel (1991)**. Cette méthode a été appliquée pour plusieurs zones semi-arides aux Etats Unis. La recharge « R » est calculée selon cette méthode avec les équations suivantes correspondantes à différents groupes hydrologiques de sols :

$$R = (P - 10.28) / (P + 15.43) \rightarrow \text{groupe hydrologique A.}$$

$$R = (P - 15.05) / (P + 22.57) \rightarrow \text{groupe hydrologique B.}$$

$$R = (P - 19.53) / (P + 29.29) \rightarrow \text{groupe hydrologique C.}$$

$R = (P - 22.67) / (P + 34.00) \rightarrow$ groupe hydrologique D. La carte hydrologique des sols a été tirée de la carte générale des sols de Tébessa 1 :500 000.

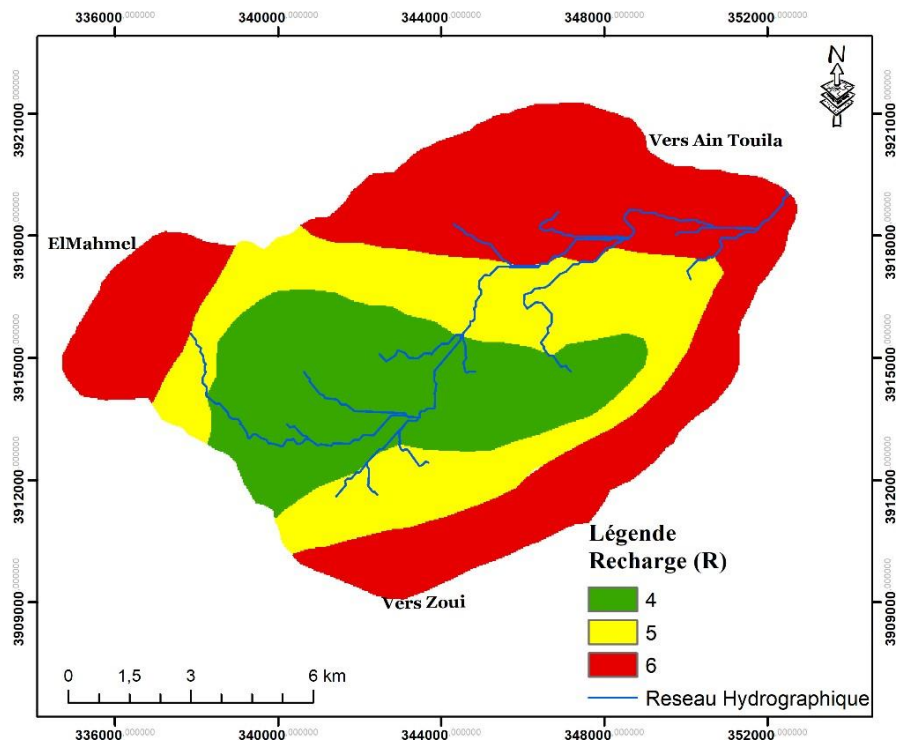


Figure19 : Recharge nette de la zone d'étude

Trois types de sols qui couvrent la zone d'étude : sols salins avec une note 4, les sols alluviaux basiques avec une note de 5 et les sols calciques avec une note de 6.

Lithologie de l'aquifère A : (Figure20).

La lithologie de la zone saturée est le responsable du contrôle de l'écoulement des eaux souterraines et qui définit le chemin du polluant et le temps du processus d'atténuation (WWRC, 1988). Une augmentation du temps du voyage du polluant dans l'aquifère, résulte plus d'atténuation du contaminant. Ce paramètre a été déterminé en fonction des logs stratigraphiques des forages existant dans la zone d'étude.

- ❖ Trois classes ont été déterminées : au nord l'aquifère est formé essentiellement par des graviers et une note de 8 est attribué. Au centre l'aquifère est essentiellement composé par des argiles et calcaires friables et une note de 5 est attribuée. Le reste de l'aquifère (En vert) est composé par des argiles et graviers et une note de 4 est attribuée.

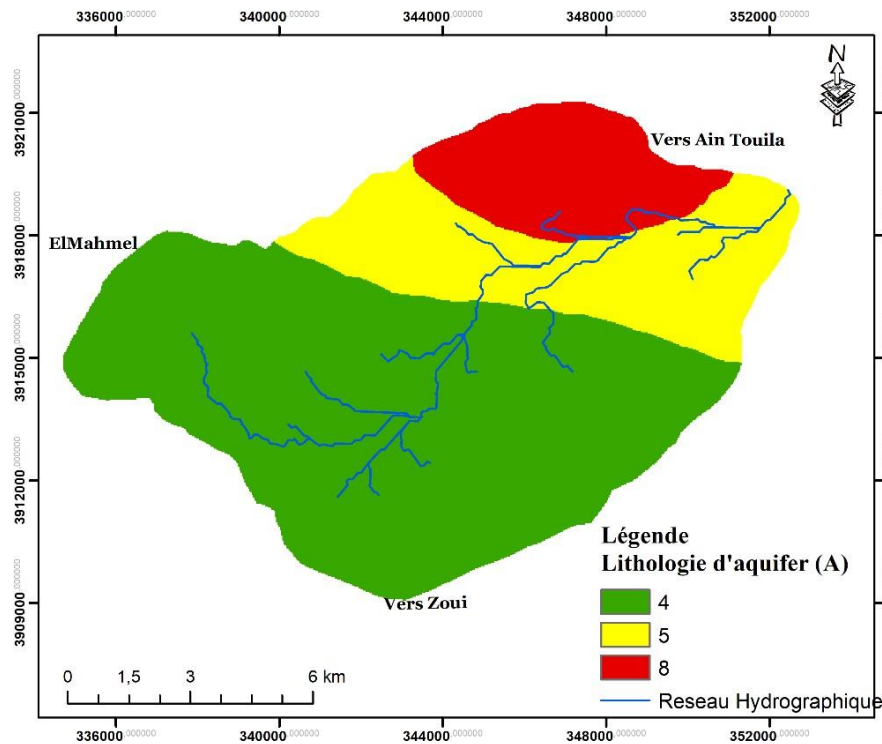
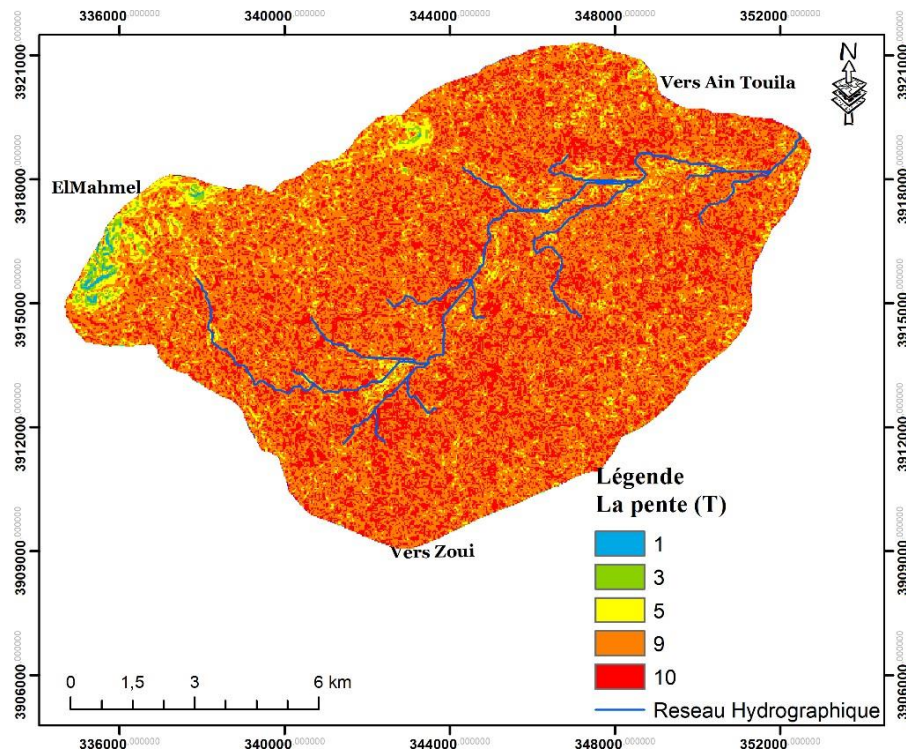


Figure20 : Lithologie de l'aquifère de la zone d'étude.

Topographie T :(Figure21)

La topographie se réfère à la pente de la surface du sol. Les pentes qui favorisent l'infiltration sont généralement associées à une grande vulnérabilité. Plus la pente est grande, moins est le potentiel de pollution due à l'augmentation du ruissèlement et le taux d'érosion.

Pour le paramètre topographie, une carte matricielle du pourcentage de pente est réalisée à partir du modèle numérique de terrain SRTM (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) avec maillage de 30m X 30m, 5 classes ont été définies dans la zone d'étude. Dans l'ensemble les pentes de la zone d'étude sont faibles ou la classe de 2 à 6 % qui dominant.



5.1.5 Occupation du sol « OS » :(Figure22).

La carte d'occupation du sol de la zone d'étude a été extraite à partir de la carte globale de l'occupation des sols de l'Afrique (CCI LAND COVER - S2 PROTOTYPE LAND COVER20m MAP OF AFRICA ,2016) cette carte est réalisée par les observations du satellite européen Sentinel-2A pendant une année de 2015 à 2016. Cette carte montre que la région de d'El Mahmel est une zone beaucoup plus à vocation agricole et pâturage (en bleu), Ce qui augmente le risque de pollution d'origine agricole.

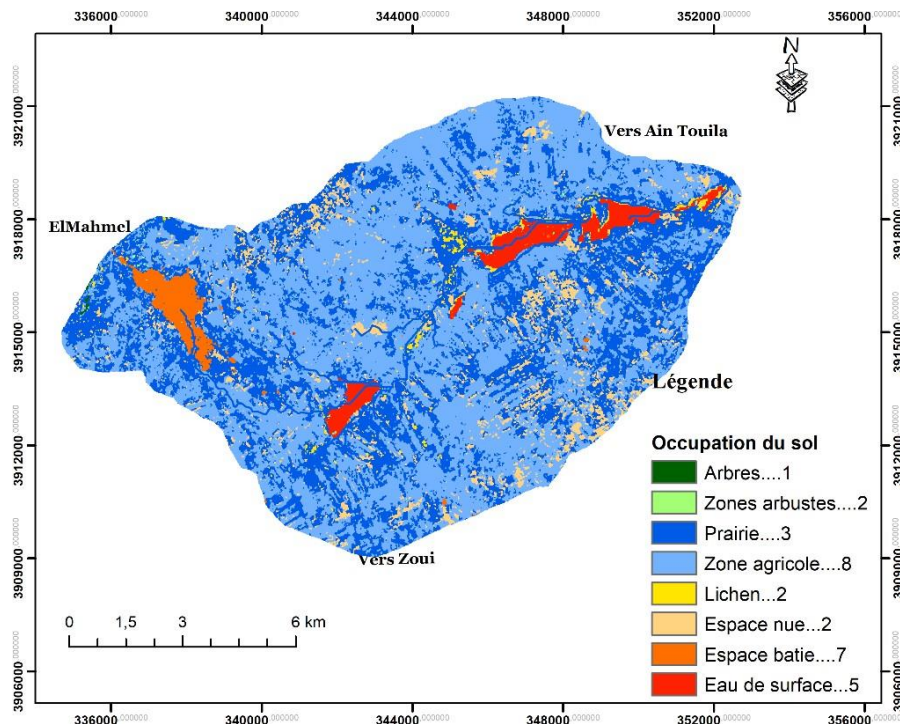


Figure22. : Carte d'occupation du sol

5.2. Carte de vulnérabilité SI. (Figure23). :

La carte de vulnérabilité finale SI (**Figure23**) est obtenue en exécutant le modèle dans l'environnement du logiciel SIG ArcView en utilisant les cinq couches du modèle SI suivant l'équation :

$$SI_{index} = rDND + rRNR + rANA + rTNT + rOSNOS$$

Les rI sont les poids des paramètres SI

Les NI sont les notes des paramètres SI

La carte de vulnérabilité obtenue montre quatre degrés de vulnérabilité :

- Très fort localisé au nord de la zone d'étude et occupe 10,02 %
- Fort représente 45,18 % de la zone d'étude
- Modéré occupe 25,08 % de la superficie totale de la zone d'étude
- Faible occupe 18,70 % de la zone d'étude

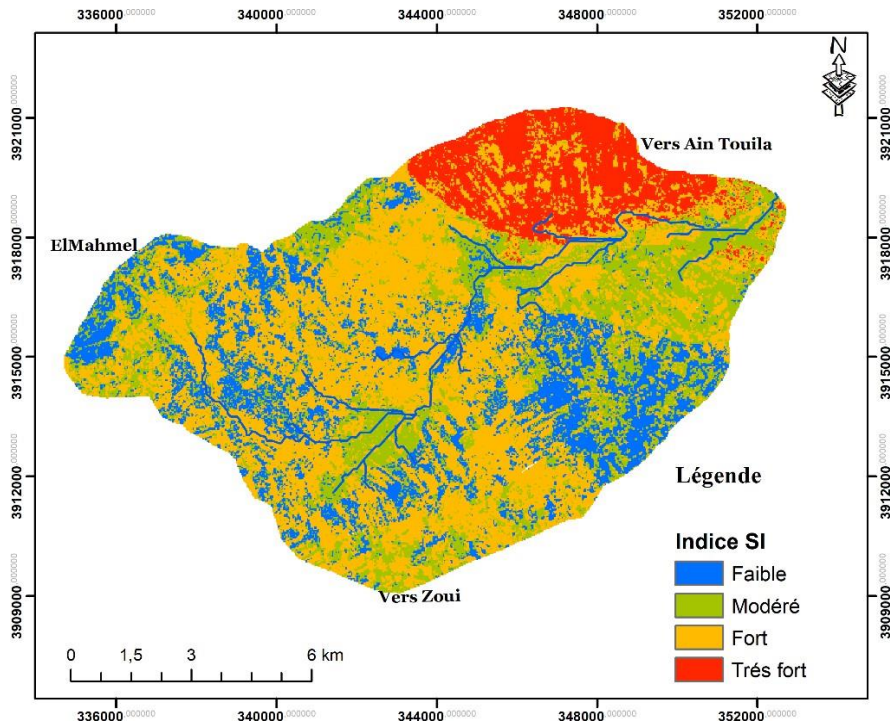


Figure 23: Carte de vulnérabilité finale SI

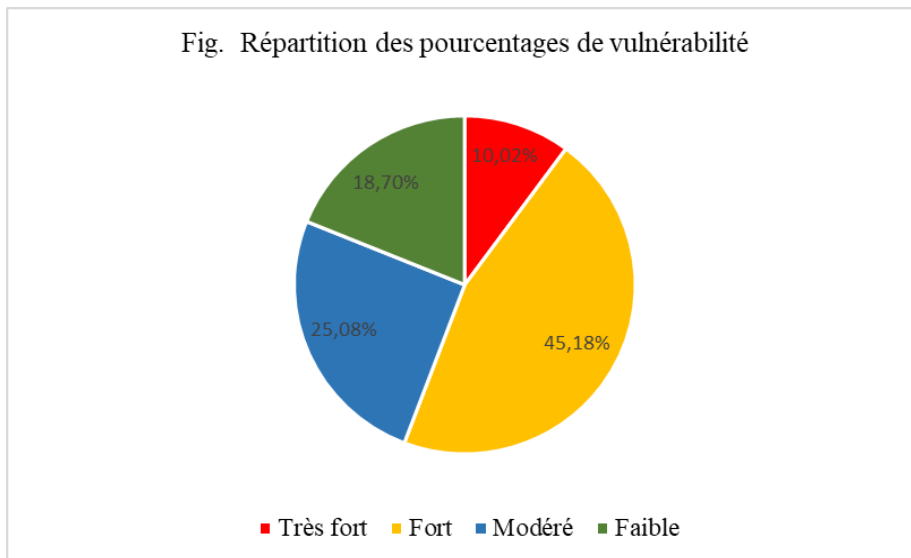


Figure24 : Répartition des pourcentages de vulnérabilité

6. Conclusion

La cartographie de la vulnérabilité spécifique au pollution agricole par la méthode SI (RIBEIRO ,2000) de la plaine d'El Mahmel permet de mieux préserver cette nappe et d'améliorer la gestion de ses ressources. Les cartes élaborées peuvent être utilisées comme outil d'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire dans cette région.

Les résultats de l'application de la méthode SI dans l'aquifère d'El Mahmel montrent qu'une grande majorité de l'aquifère est à haut risque de contamination par les nitrates si les bonnes pratiques agricoles ne sont pas appliquées.



***Conclusion et
recommandations***



Conclusion Générale

Conclusion générale

En Algérie, l'eau souterraine est le principal réservoir naturel d'eau douce. À titre d'exemple le cas la nappe d'EL-Mahmel utilise les eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable. La dégradation de la qualité de l'eau souterraine en milieux agricole est un problème majeur qui menace de plus en plus notre environnement.

L'hydrosystème « El-Mahmel » est considéré comme l'une des plus importantes zones humides et le seul écosystème aquatique naturel de la wilaya de Khenchela. Cette zone humide se trouve dans la partie nord de la commune, au nord de la RN 32 reliant El-Mahmel à Zoui. Il est dans les Hautes Plaines constantinoises, située entre 750 et 1100 m d'altitude.

Le territoire de la commune est dominé, dans sa majeure partie, par la plaine Atlasique intramontagnarde, avec des sols salins (sebkha), et un potentiel hydrologique des eaux superficielles et souterraines important. Les conditions climatiques de la région sont caractérisées par une faible pluviométrie et une forte évaporation, d'où la précipitation des éléments chimiques véhiculés en suite par les eaux vers la nappe phréatique. la région appartient aux étages bioclimatiques semi-arides.

Cette zone est définie par deux grands aquifères ; l'un est constitué par des dépôts de sable argile et gravier et l'autre est constitué par des ensembles de calcaires et des intercalations des marnes .Ces eaux souterraines sont d'une bonne qualité physicochimique. Mais elle reste menacé par le phénomène de pollution surtout d'origine agricole (Nitrate, Pesticides...)

Donc, des mesures de protection doivent être prises pour la préservation des eaux souterraines d'EL-Mahmel. Le but de la présente étude est d'évaluer la vulnérabilité des aquifères de la plaine d'ElMahmel et les zones sensibles à la pollution. Délimitée la vulnérabilité des eaux souterraines aidera à gérer leur qualité et à protéger les ressources en eaux souterraines .Pour cela la méthode SI (susceptibilité index) (Ribeiro 2000) a été choisie. Cette méthode a été utilisée dans un environnement SIG (ArcGis10.3)(ESRI ,2013) pour faciliter le stockage, l'analyse et l'affichage de données géographiques.

La cartographie de la vulnérabilité spécifique par la méthode SI a permis d'obtenir quatre classes de vulnérabilité :classe de vulnérabilité très forte qui a représenté 10,02 % et classe de vulnérabilité forte qui représenter 45,18 %.08 ; classe de vulnérabilité modérée qui

Conclusion Générale

occupe 25,08% et classe faible qui occupent 18,70% de la zone d'étude. Cette carte de vulnérabilité constitue un véritable outil d'aide à la gestion et à la surveillance de la ressource en eau souterraine.

Perspectives et recommandations :

À la fin de ce travail, et sur la lumière des résultats obtenue nous recommandons :

-cependant, depuis le l'indice de susceptibilité est une méthode empirique, une meilleure évaluation de poids de chaque paramètre et une évaluation plus spécifique du terrain, en prenant compte de facteurs tels que la durée, la quantité et l'intensité de l'application d'engrais dans une zone spécifique, permettra d'obtenir un résultat plus précis.

-L'application des textes législatifs correctement en Algérie par l'installation des périmètres de protection des eaux souterraines.

-La réalisation des canalisations pour les eaux usées qui seront exploitées dans le domaine agricole après traitement (épuration) pour éradiquer l'irrigation avec les eaux non conventionnelles dans la nappe d'EL-Mahmel.

-La réalisation des stations d'épurations dans la nappe « EL-Mahmel » pour éliminer tous les rejets d'eaux usées déversant en milieu naturel sans aucun traitement.

-La création d'une méthode de cartographie de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en prenant en considération les conditions climatiques, géologiques et hydrogéologiques propres à notre pays.

-Il est important de renforcer l'éducation environnementale des le jeune âge sur la gestion des déchets.



*Références
bibliographiques*



Référence Bibliographique

Références bibliographiques :

- **Abboud CH, Bellaa F, (2015)** synthèse hydrochimique des eaux souterraines de la commune d'EL Mahmel « w de khenchela ».diplôme du master .université de khenchela.14p.
- **Aller L, Bennet T, Lehr JH, Petty RJ ,(1987)** DRASTIC a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydro geologic settings. USEPA document no. EPA/600/2-85-018; p. 622.
- **Anane M, Abidi B, Lachaal F, Limam A, Jellali S, (2013)** GIS-based DRASTIC, Pesticide DRASTIC and the Susceptibility Index (SI) comparative study for evaluation of pollution potential in the Nabeul–Hammamet shallow aquifer. Tunisia Hydrogeol J, 21 (3) pp. 715-731
- **Andrews RJ, Loyd J W, Lerner DN, (1997)** Modelling of nitrate leaching from arable land into unsaturated soil and chalk : 1. Development of a management model for applications of sewage sludge and fertilizer. J. Hydrol., 200, 179-197.
- **Aubre F, (1992)** Développement d'une nouvelle méthode d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines au Québec. Mémoire de maîtrise (M.Sc.), École des gradués, Université Laval, 248p.
- **Baalousha H, (2010)** Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: a case study from Heretaunga Plains, New Zealand Agric Water Manage, 97 pp. 240-246.
- **Bai L, Wang Y, Meng F,(2012)** Application of DRASTIC and extension theory in the groundwater vulnerability evaluation Water Environ J, 26 (3) pp. 381-391
- **Ben amor N, Arroudj S, (2014)** Approche hydrogéochimique à l'étude de la salinité des eaux superficielles et souterraine de la nappe d'El-Mahmel (Sud de Khenchela). Diplôme de Master. Université Abbés Laghrour Khenchela.63p
- **Benacchio S, (1988)** Dljèsadegli acquiferi dell'altapianuraveneta. stato di inquinamento e vulnerabilità delle acque sotterrane edelbacino delBrenta, Vol. 5 : Vulnerabilità dei corpiidrici soterrane iall'inquinamento, Monography GNDICI-CNR Venice, n. 207, 21 p.
- **Bergstrom L, Jarvis NJ, (1991)** Prediction of nitrate leaching losses from arable land under different fertilization intensities using the SOIL-SOILN models. Soil Use Manage. 7, 79-85.

Référence Bibliographique

- **Chaouki M, Zeddouri A, Hadj-Said S ,(2013)** Study of the behavior of some pollutants and the vulnerability to chemical contamination of groundwater in the region of Ouargla (Southeast Algeria) *Energy Proc*, 36 pp. 1043-1049
- **Chen SK, Jang CS, Peng YH,(2013)** Developing a probability-based model of aquifer vulnerability in an agricultural region *J Hydrol*, 486, pp. 494-504 Science, Paris.
- **Chenini I, Zghibi A, Kouzana L, (2015)** Hydrogeological investigations and groundwater vulnerability assessment and mapping for groundwater resource protection and management: state of the art and a case study. *J Afric Earth Sci* 109:11–26
- **Civita M, (1999)**Le carte de lla vulnerabilita degli acquiferi all'inquinamento teoria e pratica *Contamination vulnerability mapping of the aquifer: theory and practice*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Pitagora, Italy;, p. 344.
- **D E W, (2015)** Direction de l'environnement de la wilaya de Khenchela (2015)
- **Doerfliger N, Jeannin PY , Zwahlehn F, (1999)** Water vulnerability assessment in karst environments A new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environ Geol.* 39(2) : 165–176.
- **Doerfliger N, Zwahlen F ,(1998)** Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK) Practical Guide. Swiss Agency for the Environment Forests and Landscape (SAEFL). Berne
- **DPAT, (2011)** Documentation et données statistiques. Service d'aménagement. Direction de la planification et l'aménagement du territoire de la Wilaya de Khenchela.
- **DURAND-DELGA M, (1969)** mise au point sur la structure du nord est de berbérie. *Pub.serv.carte géol.algérie,N.S,bull.n°399,pp89-131.7fig.*
- **ENAGEO,(2008)** étude géophysique dans le synclinale de EL MAHMEL (wilaya de khenchela). p11.
- **Etteieb S, Kawachi A, Elayni F, Han J, Tarhouni J, Isoda H, (2014)** Environmental risk assessment of groundwater quality and treated wastewater reuse on aquifer recharge a case study in Korba, Tunisia *Desalin Water Treat* 52. pp. 2032-2038

Référence Bibliographique

- **Fallah H, (2012)** la cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines dans le groupement urbain Tlemcen. Diplôme de Master .université Abou beker belkaid Tlemcen.01p.
- **FAO, (2014)**Area equipped for irrigation Infographic AQUASTAT FAO's information system on water and agriculture Rome Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (available at http://www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Irrigation_eng.pdf)
- **FAO, (2016)b** The State of World Fisheries and Aquaculture Contributing to food security and nutrition for all. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- **FAO,(2016)a** FAOSTAT Database Available at <http://faostat3.fao.org/browse/R/ RP/E> Accessed July 2016. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- **Foster S,(1987)** Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy In van Duijvenbooden W van Waegeningh HG, editors. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, International conference (Noordwijkaan Zee, The Netherlands), proceedings and information 38: p. 69–86.
- **Gay JR, Korre A, (2006)** spatially-evaluated methodology for assessing risk to a population from contaminated land Environ Pollut, 142 (), pp. 227-234
- **Gheisari N ,(2017)** Groundwater vulnerability assessment using a GIS-based modified DRASTIC model in agricultural areas. Thesis, University of Ottawa, p 100
- **Gogu RC, Dassargues A, (2000)** Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overly and index methods, Environ. Geol., 39(6), 549–559.
- **Goldscheider N, Klute M, Strum S, Hotzl H, (2000)** The PI method e a GIS based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration on karst aquifers Z AngewGeol, 46 (3) pp. 157-166
- **Güler C, Kurt M, Alpaslan M, Akbulut C ,(2012)** Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques J Hydrol, 414–415, pp. 435-451
- **Hemidi L, (2013)** vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution .diplôme en magistère . Université Kasdi Merbah Ouargla.01p.

Référence Bibliographique

- **Kazakis N, Voudouris KS, (2015)** Groundwater vulnerability and pollution risk assessment of porous aquifers to nitrate modifying the DRASTIC method using quantitative parameters J Hydrol, 525, pp. 13-25
- **Khabthane A, (2010)** Inventaire de l'avifaune de la zone humide de sebkha dans la région semiaride de Khenchela, Séminaire. Université KasdiMerbah Ouargla.10p
- **Khedidja A, Boudoukha A, (2014).**Risk assessment of agricultural pollution on groundwater quality in the high valley of Tadjenanet–Chelghoum Laid (Eastern Algeria) Desalin Water Treat, 52, pp. 22-24.
- **Komnitsas K, Modis K, Doula M, Kavvadias V, Sideri D, Zaharaki D, (2015)** Geostatistical estimation of risk for soil and water in the vicinity of olive mill wastewater disposal sites. Desalin Wat WatTreat. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2014.983988>.
- **Komnitsas K, Modis K,(2009)** Geostatistical risk estimation at waste disposal sites in the presence of hot spots J. Hazard. Mater., 164, pp. 1185-1190
- **Lasserre F, Razack M, Banton O, (1999)** A GIS linked model for the assessment of nitrate contamination in groundwater. J. Hydrol., 224, 81-90.
- **Ligget J E, Talwar S,(2009)** Groundwater vulnerability and integrated water resource management, Streamline Watershed Management Bull., 13(1), 18–29.
- **Magiera P,(2002)** GIS-gestützteBewertung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers. – Geol. Jahrb., Reihe C, Heft SC 3, 165 p., Hannover.
- **Mahvi AH, Nouri J, Babael AA, Nabizadeh R ,(2005)** Agricultural activities impact on groundwater nitrate pollution. Int J Environ Sci Technol 2:41–47
- **Margat J, (1968)** Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution [Ground water vulnerability to contamination]. Bases de al cartographie, (Doc.) 68 SGC 198 HYD, BRGM, Orleans, France.
- **Martinez-Bastida JJ, Arauzp M, Valladolid M,(2010)** Intrinsic and specific vulnerability of groundwater in central Spain: the risk of nitrate pollution. HydrogeologyJournal; 18: 681-698.
- **Mebarki A,(2005)** Hydrologie des bassins de l'Est Algérien Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état.Université de Mentouri Constantine.

Référence Bibliographique

- **Mueller NC, Braun J, Bruns J, Černík M, Rissing P, Rickerby D, Nowack B, (2012)** Application of nanoscale zero valent iron (NZVI) for groundwater remediation in Europe. *Environ Sci Pollut Res* 19:550–558.
- **National Research Council, (1993)** Groundwater vulnerability assessment, contaminant potential under conditions of uncertainty. National Academy Press, Washington.
- **Nisi B, Vaselli O, Delgado Huertas A, Tassi F, (2013)** Dissolved nitrates in the groundwater of the Cecina Plain (Tuscany, Central-Western Italy) clues from the isotopic signature of NO₃ *Appl Geochem*, 34, pp. 38-52
- **Olmer M, Rezac B, (1974)** Methodical principles of maps for protection of ground water in Bohemia and Moravia scale 1/200000. *Mem. I.A.H.* 10, 1, pp. 105–107.
- **OMS, (2008)** Nitrate and nitrite in Drinking-water, Background document for Développement of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, Geneva.
- **Ounissi O, kelifi A, (2017)** cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution cas de la nappe d'el Mahmel-Khenchela. mémoire de master. p17
- **Panagopoulos GP , Antonakos AK , Lambrakis NJ , (2006)** Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical method and GIS *Hydrogeol J*, 14 (6) pp. 894-911
- **Perthuisot JP, (1995)** La Sebkhia El Melah de Zarzis. Genèse et évolution d'un bassin salin paraliq. *Trav. Lab. Géol. Ec. Norm. Supér.*, Paris 9, 252 p.
- **Plan d'Occupation des Sols, (2010)** (POS DE RESTRUCTURATION N°6 / 2eme PHASE) El Mahmel Wilaya de khenchela.
- **Primeau S, Grimard Y,(1989)** Rivière Yamaska 1975-1988, vol. 2 Résultats complémentaires sur la qualité deseaux. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau.Sainte-Foy, Québec.
- **Ramos-Leal JA, Rodriguez-Castillo R, (2003)** Aquifer vulnerability mapping in the Turbio river valley, Mexico, a validation study. *GeoflInt*42:141–156
- **Refsgaard JC, Thorsen M, Jensen JB, Kleeschulte S, Hansen S, (1999)** Large scale modelling of groundwater contamination from nitrate leaching. *J. Hydrol.*, 221, 117-140.
- **Ribeiro L,(2000)** Um novo índice de vulnerabilidade deespecífico de aquíferos. Formulação e aplicações. [SI: a new index of aquifer susceptibility to agricultural

Référence Bibliographique

- pollution]. Internal report, ERSHA/CVRM, Instituto Superior Tecnico, Lisbon, Portugal; p 12
- **Sedrati A, (2013)** Étude de la salinité et Détermination de la contamination de la nappe de la Sebkhah d' ElMahmel. Mémoires de master, l'université de Khenchela .67p.
 - **SIDD (Système d'information sur le développement durable), (2003)** Assurer l'avenir du milieu rural le développement rural et l'agriculture durable au Canada (Page web), Disponible à www.sdinfo.gc.ca/reports/fr/monograph8/agricult.cfm.
 - **Sotornikova R, Vrba J,(1987)** Some remarks on the concept of vulnerability maps, Atti Int. Conf. Vulnerab. of Soil and Groundwater to Pollutants, RIVM Proc. and Inf. 38, pp. 471-475.
 - **Teixeira J, Chaminé HI , Espinha Marques J , Carvalho JM, Pereira AJSC, Carvalho MR , (2014)** A comprehensive analysis of groundwater resources using GIS and multicriteria tools (Caldas da Cavaca, Central Portugal): environmental issues Journal Environ Earth Sci, 73 (6) pp. 2699-2715
 - **Tricart J, (1954)** Une forme de relief climatique : Les Sebkhah, Rev. Géomorph. Dynam 3 :19p.
 - **Van Stempvoort D, Ewert L, Wassenaar L, (1993)** Aquifer vulnerability index (AVI) a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping Can Water Resour J 18 : 25-37.
 - **Viessmann W, Knapp JW, Lewis GL, (1977)** Introduction to hydrology. Haper and Row publishers, NY, pp. 618-625.
 - **VILA JM, (1980)** La chaine Alpine d'Algérie Orientale et les confins Algéro-Tunisien. Thèses.
 - **Vrba J, Zaporozec A , (1994)** Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Int. Association of Hydrogeologists. Int. Contributions to Hydrogeology, 16. Verlag Heinz Heise, Hannover.
 - **Wang J, He J, Chen H, (2012)** Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China Sci Total Environ, 432 pp. 216-226
 - **Williams JR, Kissel DE, (1991)** Water Percolation: An indicator of nitrogen-leaching potential in managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability, In R.F. Follett, D.R. Keeney, R.M.Cruse (Eds.), pp. 59-83.

Référence Bibliographique

- **Yves H, (2003)** Cours de sédimentologie, 1re année licence Science de la Terre, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- **Zeghid D ,Zerzouh W,(2019)** aptitude à l'irrigation des eaux souterraines de la plaine de F 'kirina –oum el bouaghi. diplôme de master. université de kenchela.05p.
- **Zwahlen F ,(2004)** Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, final report COST Action 620, European Commission, Directorate-General for Research, EUR 20912. Luxemburg.

Résumé :

L'aquifère alluvial d'El Mahmel au sud Est de Khenchela qui occupe une superficie de 343,54 km², est d'une grande importance économique, car elle est utilisée pour irrigation et consommation domestique. La zone de l'aquifère est essentiellement occupée par des aires agricoles caractérisées par une utilisation croissante d'engrais chimiques, menacent la qualité de l'eaux souterraines. La vulnérabilité de l'aquifère à la pollution par les polluants génériques a été étudiés en appliquant la méthode SI (susceptibilité index). Cette étude a utilisé la technologie du système d'information géographique (SIG) comme système d'acquisition, de stockage, d'analyse et d'affichage de données géographiques. La carte obtenue a mis en évidence quatre zones à différents degrés de vulnérabilité ; Très fort et fort qui occupent 55,20 % de la zone d'étude, Modéré (25,08%) et faible (18,70%).

Le mot clés : Aquifère, carte de vulnérabilité, Pollution agricole, SIG, EL-Mahmel

Abstract:

The alluvial aquifer of El Mahmel to the south-east of Khenchela, which occupies an area of 343.54 km², is of great economic importance as it is used for irrigation and domestic consumption. The aquifer zone is mainly occupied by agricultural areas characterized by an increasing use of chemical fertilizers, threatening the quality of groundwater. The vulnerability of the aquifer to pollution by generic pollutants was studied by applying the SI method (susceptibility index). This study used Geographic Information System (GIS) technology as a system for acquiring, storing, analyzing and displaying geographic data. The resulting map highlighted four areas with varying degrees of vulnerability; Very strong and strong occupying 55.20% of the study area, Moderate (25.08%) and weak (18.70%).

Key words : aquifer, vulnerability map, pollution agricol GIS ,EL-Mahmel.

ملخص :

تعتبر طبقة المياه الجوفية في المحمل جنوب شرق خنشلة والتي تحتل مساحة 343.54 كيلومتر مربع ذات أهمية اقتصادية كبيرة حيث يتم استخدامها للري والسنة الك المنزلي. منطقة الخزان الجوفي مشغولة بشكل أساسي بالمناطق الزراعية التي تتميز باستخدام الأسمدة الكيماوية، مما يهدد جودة المياه الجوفية. تمت دراسة تعرض الخزان الجوفي للتلوث بالملوثات كنظام (GIS) مؤشر الحساسية. استخدمت هذه الدراسة تقنية نظام المعلومات الجغرافية (SI) لإعطاء من خلال تطبيق طريقة للحصول على البيانات الجغرافية وتخزينها وتخليدها وعرضها. أبرزت الخريطة الناتجة أربع مناطق بدرجات متفاوتة من الضعف ؛ قوي جدا وقوي يشغل 55.20٪ من مساحة الدراسة ومعتدل (25.08٪) وضعيف (18.70٪).

الكلمات الرئيسية: الخزان الجوفي، خريطة الضعف، التلوث الزراعي، مؤشر الحساسية، المحمل.