

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

N°:



**DOMAINE : SCIENCE ET
TECHNOLOGIE**
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: KEBAILI Soumia

HERIZI Ihssan

Intitulé

**Evaluation de la vulnérabilité à la pollution
potentielle de la nappe du Hodna par la
méthode Drastic (cas de région Magra)**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. MEZALI Farouk	Université de M'sila	Président
Mr. BENKHADJA Rachid	Université de M'sila	Rapporteur
Mr. KAREK Abdou	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017



Dédicace



Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en signe de respect et de reconnaissance envers :

*Ma mère **FADILA***

*Mon père **ABD EL HAMIDE***

Pour tous les sacrifices et leur soutien moral et matériel dont ils m'on fait preuve.

Je le dédie également à

Ma grand-mère

*Mes frères: **BILEL-FOUCEF-SEF EDDINE-ZAKARIA***

*Ma sœur: **WIDADE***

*Et toutes les familles: **KEBAILI et AMEUR***

Et a toute mes amis sans exception.

Et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.



KEBAILI SOUMIA





Remerciement

J'aimerais remercier, tous ceux qui m'ont aidé et encouragé à achever cette travail.

*Je remercie d'abord **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage pour accomplir ce mini projet dans les meilleurs conditions, Dieu merci.*

*Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mon vif remerciement à **Mr. BENKADJA.R** (mon promoteur) pour avoir contribué à l'élaboration de ce présent thème.*

*Je remercie **Mr. BOUZAIAN Tahar** et **Mr. MARZOUGI Ibrahim***

Je remercie également tous mes professeurs de la faculté de technologie.

Nous n'oublions pas le personnel administratif du département, de la bibliothèque et des périodiques pour leur collaboration et leur aide.

KEBAILI SOUMIA

KERIZI THSSAN



Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes parents «père & mère» en particulier et à toute la famille ; mes sœurs Nadia, Rbaiha, Dallal, Samira, Hadjer, Sabrina, Khalissa.

A :

Mon mari Maki Mohamed que je t'aime toujours :

Mes amies d'enfances: Soumia, Affaf, Aicha, Malika ;

La famille HERIZI & MAKI ;

Ainsi à toutes personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes études



HERIZI Hssan



The page features three decorative purple circles of varying sizes, each composed of multiple overlapping layers. These circles are positioned in the upper right and lower right areas. Thin purple lines extend from the top left and bottom right corners towards the circles, creating a sense of depth and movement.

SOMMAIRE



Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	01
----------------------------	----

CHPITRE I : Généralité sur la méthode DRASTIC

I.1.Définition	03
I.2.L'objectif de la méthode DRASTIC	03
I.3.Les paramètres de la méthode DRASTIC et leur poids	03
I.3.1.Les paramètres DRASTIC	03
I.3.2. Description des paramètres DRASTIC	04
I.3.2.1. Profondeur de l'eau D (Depth)	04
I.3.2.2. Recharge nette R (Net Recharge Rate of Aquifer)	04
I.3.2.3. Nature du matériel aquifère A (aquifer media).....	04
I.3.2.4.Type de sol S(soil media)	05
I.3.2.5.Topographie T (Topography)	06
I.3.2.6. Impact de la zone vadose I (Impact of the vadose zone unsaturated zone above the watre table).....	06
I.3.2.7. Conductivité hydraulique C (Hydraulic Conductivity of the aquifer)	07
I.3.3. Leur poids	07
I.4.L'indice DRASTIC	10
I.4.1.Classification des indices DRASTIC	10
I.4.2. Détermination de l'indice DRASTIC	11
I.4.3.Interprétation de l'indice DRASTIC.....	11

CHAPITRE II : Présentation de la zone

II.1.Situation de la commune de Magra	13
II.1.1.Situation géographique	13
II.1.2.Situation topographique.....	15
II.2. Contexte climatique	15
II.2.1.La température	15
II.2.2.La pluviométrie.....	16
II.2.3. Les vents	17
II.3.Etude hydrologique.....	18
II.3.1.Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite.....	18
II.3.2.Principe de calcule du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite	19



II.4.Contexte géologique	21
II.4.1.Géologie générale	21
II.4.2.Hydrogéologie	22
III.4.2.1. Aquifère	22
III.4.2.2. Les forage	23
II.5.Contexte pédologique	25
II.5.1.Etude des sols	25
II.6.Contexte végétale.....	26

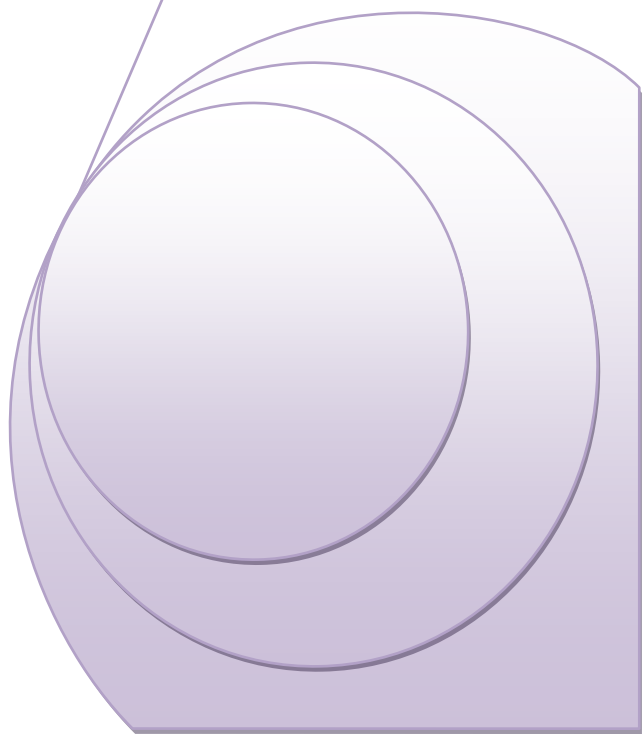
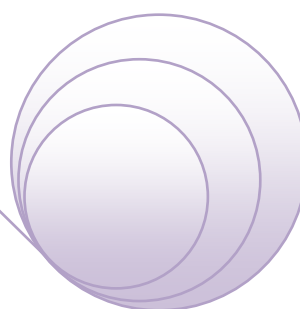
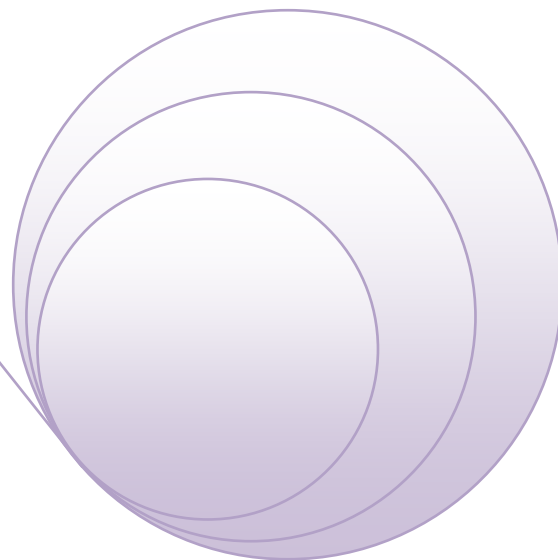
Chapitre : Evaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC

III.1. Introduction	27
III.2.Vulnérabilité les eaux souterraine a la pollution	27
III.2.1. Définition d'une pollution d'eau	27
III.2.2.concept de la vulnérabilité des eaux sousterraine à la pollution.....	27
III.2.2.1.Notion de la vulnérabilité à ma pollution.....	27
III.2.3.Type de vulnérabilité.....	28
III.2.3.1.La vulnérabilité intrinsèque	28
III.2.3.2.La vulnérabilité spécifique	28
III.2.4.Les critères de vulnérabilité	29
III.2.4.1.Critères de vulnérabilité intrinsèque	29
III.2.4.2.Critères de vulnérabilité spécifique :	29
III.2.5.Cartographie de vulnérabilité à la pollution.....	30
III.2.5.1.Objet de cartographie	30
III.2.5.2. Cartographie de vulnérabilité :	30
III.3.Détermination de l'indice DRASTIC :	30
III.3.1. Indice DRASTIC profondeur de la nappe (D)	31
III.3.2. Recharge.....	33
III.3.3. Milieu aquifères.....	34
III.3.4. Sol.....	36
III.3.5. Topographie	38
III.3.6. impact de la zone vadose.....	40
III.3.7. Conductivité hydraulique de l'aquifère.....	42
III.4.Résultats et interprétation.....	43
III.4.1. Elaboration de la carte de vulnérabilité.....	43



III.4.2. Cartographie de la vulnérabilité de la nappe alluviale du Magra.....	43
III.4.3. Commentaire de résultats	44
III.4.4. Degré de vulnérabilité et répartition spatiale des nitrates (Niveau de la validité de la carte de vulnérabilité à la pollution).....	45
Conclusion	45
Conclusion générale	46

***LISTE DES
TABLEAUX***





LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : généralité sur la méthode DRASTIC

Tableau I.1 : les poids des paramètres DRASTIC	07
Tableau I.2 : classification des indices DRASTIC (Aller et Al)	10
Tableau I.3 : Degré de vulnérabilité.....	11

CHAPITRE II: présentation de la zone

Tableau II.1 : Les valeurs moyennes mensuelles, station de Barika.....	15
Tableau II.2.Précipitation moyenne mensuelle	16
Tableau II.3. Vitesse du vent.....	17
Tableau II.4.Résultat du bilan hydrique selon la méthode Thornthwaite	19
Tableau II.5 : Les données des forages	24

CHAPITRE III : évaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC

Tableau III.1 : Indice du paramètre profondeur de la nappe de Magra.....	32
Tableau III.2.Indice du paramètre recharge à la nappe du Magra.....	34
Tableau III.3: Indice du paramètre matériaux à la nappe du Magra	35
Tableau III.4 :Indice du paramètre solde la région de Magra	37
Tableau III.5 :Indice du paramètre Profondeur à la nappe du Magra	39
Tableau III.6 :Indice du paramètre de la zone non saturée à la nappe du Magra.....	41
Tableau III.7 : Classification des plages de vulnérabilité	43
Tableau III.8 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC(ENGELetAL.1996).....	43

The page features three decorative elements consisting of concentric circles with a purple-to-white gradient. One large circle is in the top right, a smaller one is in the middle right, and another large one is in the bottom right. Thin purple lines extend from the top left towards the middle circle and from the top right towards the bottom circle.

LISTE DES FIGURES



LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : généralité sur la méthode DRASTIC

Figure I.1 : Vulnérabilité exprimée	11
Figure I.2 : Base de données de la méthode DRASTIC	12

Chapitre II: Présentation de la zone

Figure II.1 : Localisation de la commune de Magra dans la wilaya de M'sila	14
Figure II.2 : Plan situation de la ville de Magra	14
Figure II.3 : Graphique de la température moyenne mensuelle	16
Figure II.4 : Graphique des précipitations moyennes mensuelles.....	17
Figure II.5 : Graphique des vitesses des vents	18
Figure II.6 : Graphique du bilan d'eau (Thorntwaite).....	20
Figure II.7: La carte géologique de la région de magra	21
Figure II.8 : La carte géophysique	23
Figure II.9 : La carte piézométrique.....	25
Figure II.10 : la carte pédologique	26

CHAPITRE III: évaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC

Figure III.1 : Répartition spatiale de la profondeur de l'eau de la régionMagra.....	31
Figure III.2 :Répartition spatiale de la profondeur de l'eau assignée à leur cote et poids	32
Figure III.3 : Répartition spatiale de la recharge de la région de Magra.....	33
Figure III.4 : Répartition spatiale de matériaux aquifères de la région de Magra.....	34
Figure III.5:Répartition spatiale de l'indice DRASTIC des matériaux aquifères	35
Figure III.6 :Répartition spatiale du type sol de la régionMagra	36
Figure III.7 :Répartition spatiale de type de sol assignée à leur cote et poids	37
Figure III.8:Répartition spatiale de la pente de la région d'étude.....	38
Figure III.9 : Répartition spatiale de pente assignée à leur cote et poids.....	39
Figure III.11 : Répartition spatiale de la zone non saturée de la région.....	40
Figure III.12 : Répartition spatiale de la zone non saturée assignée à leur cote et poids.....	41
Figure III.13 : Carte pluviomètre modèle HODNA 2005 (source l'ANRH)	42
Figure III.14 :La carte vulnérabilité de la nappe alluviale de la plaine de Magra	44



تلخيص

تقع منطقة مقررة حوالي 60 كم شرق مدينة المسيلة. تحديد الضعف في المنطقة المتضررة من التلوث البشري مهم جدا لإدارة الموارد المائية. في الواقع توضح قابلية المياه الجوفية هي الأدوات القياسية للمساهمة في حماية موارد المياه الجوفية من أي تلوث محتمل. فهي لا تقدر بثمن لاي قرارات في المستقبل. في دراستنا تم تحديد الضعف من أسفل طبقة المياه الجوفية لمقررة من خلال تطبيق طريقة جذرية نظام المعلومات الجغرافية SIG و يجري منطقتنا مع الزراعة وضعت على نطاق واسع تم الحصول عليها خرائط الضعف التي تظهر ان اكثر من أي شيء من هذا المؤشر منطقة درجتين الضعف منخفضة بين [100-65] و متوسط مؤشر الضعف بين [140-101] وانه يجب اتخاذ تدابير الرامية الى أي نشاط ذي صلة بمنطقة مقررة.



Résumé

La région de Magra est située à 60km environ à l'est de la ville de M'sila. La détermination de la vulnérabilité dans la région affectée par la pollution de nature anthropique est un élément très important pour la gestion des ressources en eau. En effet, les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standards pour contribuer à la protection des ressources hydriques souterraines contre une éventuelle pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future. Dans cette étude, on a déterminé la vulnérabilité de la nappe de Magra en appliquant la méthode DRASTIC et à un système d'information géographique (SIG). Etant donné que cette région est d'une agriculture largement développée, on a obtenu des cartes de vulnérabilité qui montrent que presque toute la totalité de la zone présente deux classes de vulnérabilité : faible avec un indice entre [65-100] et une vulnérabilité moyenne d'un indice entre [101-140]. Des mesures de surveillance doivent être prises pour toute activité concernée sur la région.



Summary

Magra region is located about 60km east of the M'sila city. Determination of vulnerability in this region affected by anthropic pollution is a very important element management of water resources. Indeed, aquifer vulnerability maps are standard tools for contributing to the protection of underground water resources against possible pollution. They are valuable for any future decision. In our study, we determined the vulnerability of the Magra water table by applying the DRASTIC method and geographic information system (GIS). Given that this region with a largely developed agriculture, we obtained vulnerability maps that show almost all of the area has two classes vulnerability: low vulnerability with drastic index between [65-100] and medium vulnerability with index between [101-140]. Monitoring measures should be carried out for all relevant activities in this region.

The page features three decorative purple circles of varying sizes, each composed of multiple overlapping layers. These circles are positioned in the upper right and lower right areas. Two thin purple lines originate from the top left and extend towards the circles, creating a sense of depth and movement.

***INTRODUCTION
GENERALE***



INTRODUCTION GENERALE

L'étude de la vulnérabilité à la pollution des nappes permet une meilleure gestion des eaux souterraines et des interventions convenables dans le cas de contamination. Elle permet aussi de préciser les zones sollicitées à être contaminées suite à des activités anthropiques. Une fois identifié, ces régions peuvent être visées avec prudence par les planificateurs et les utilisateurs de la terre. Les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standard pour protéger les eaux souterraines contre toute éventuelle source de pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future.

Dans ce cadre s'inscrit le thème de notre mémoire intitulé : Evaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe du HODNA (région MAGRA) par la méthode DRASTIC.

Les eaux souterraines de la nappe de MAGRA subissent une pollution multiforme qui fragilise cette vaste et riche plaine. Essentiellement alimentées par les eaux de pluie mais également par l'infiltration des eaux des oueds traversant la plaine et communiquant en permanence avec la nappe alluviale. Les ressources en eaux souterraines de cette nappe sont de plus en plus sollicitées pour couvrir les besoins en eau qui ne cesse de croître dans divers domaines (alimentation, irrigation, industrie, etc.). Ces ressources en eaux souterraines sont toutefois menacées par plusieurs facteurs liés à la mauvaise gestion, à la surexploitation et à l'utilisation intensive des engrais et pesticides.

Le niveau des nitrates de presque la moitié des points d'eau (forage et puits) situés sur le bassin de HODNA dépasse largement la limite admissible de l'OMS.

Dans le but de préserver les ressources en eau souterraine de l'aquifère de MAGRA et d'améliorer sa gestion, ce travail consiste à cartographier sa vulnérabilité à la pollution par l'application de la méthode DRASTIC.

L'étude de la vulnérabilité des eaux à la pollution au moyen de la méthode DRASTIC présente l'avantage de combiner les sept paramètres. La cartographie de ces différents paramètres permet après leur superposition, l'établissement de la carte de vulnérabilité.

Notre travail sera composé de trois chapitres :

❖ Le premier chapitre est consacré aux généralités sur la méthode DRASTIC qui a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (Schnebelen et Al, 2002). Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept paramètres. (La profondeur (D) ; Recharge nette (R) ; Nature de l'aquifère (A) ; Nature du sol (S) ; Topographie (T) ; I de la zone vadose (I) ; Conductivité hydraulique (C)).



- ❖ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la région d'étude Magra.
- ❖ Le troisième chapitre est relatif à l'évaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC et leurs différents types. En utilisant le système informatique géographique SIG à l'aide du logiciel Arc Gis cela permettra de compiler les données spatiales et calculer les indices à partir de la répartition géographique des scores pondérés aux sept paramètres. Enfin on présentera la cartographie de ces différents paramètres DRASTIC qui après leur superposition, permettra l'établissement de la carte de vulnérabilité.

The background features three large, overlapping purple circles with a gradient effect, positioned in the top right, middle right, and bottom right corners. Two thin purple lines intersect to form a large 'V' shape that frames the text on the left side of the page.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LA METHODE DRASTIC



I.1. Définition [1]

La méthode DRASTIC a été développée par l'association NWWA (National Water Well Association) pour le compte de l'USEPA (U.S. Environmental Protection Agency).

Conçue entre 1983 et 1987, dans la but d'offrir une base pour l'évolution du potentiel des eaux souterraines, cette méthode a été testée et appliquée dans douze régions hydrogéologiques des Etats-Unis d'Amérique (Fréchette, 1987).

La méthode DRASTIC est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité qui sont la synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région. Son application nécessite néanmoins la vérification de certaine condition d'application :

- ❖ La source de pollution potentielle est localisée à la surface du sol ;
- ❖ Les polluants sont entraînés depuis la surface du sol jusqu'à la nappe par l'infiltration efficace ;
- ❖ Dans le cas où la source de pollution serait située en profondeur dans le sol, la méthode demeure valable en modifiant les paramètres affectés par la position de la source de pollution.

I.2. Objectif de la méthode DRASTIC

L'objectif principal de cette étude est la représentation cartographique de l'évolution de la vulnérabilité des nappes.

I.3. Les paramètre de la méthode DRASTIC et leur poids [2]

I.3.1. Les paramètres DRASTIC

La particularité de cette méthode réside dans l'attention particulière est accordée par les concepteurs, aux sept paramètres physiographiques qui sont :

- ❖ D : la profondeur du plan d'eau dans l'aquifère (Depth to Watre) ;
- ❖ R : recharge nette (Net Recharge Rate of Aquifer) ;
- ❖ A : nature de l'aquifère (Aquifer Media) ;
- ❖ S : nature du sol (Soil Media) ;
- ❖ T : topographie (topography) ;
- ❖ I : Impact de la zone vadose (Impact of the vadose zone unsaturated zone above the watre table) ;
- ❖ C: ConductivitéHydraulique (Hydraulic Conductivity of the aquifer).



I.3.2. Description des paramètres DRASTIC

I.3.2.1. Profondeur de l'eau D (depth)

C'est un paramètre déterminant dans le contrôle du transfert de l'atténuation du polluant dans la zone non saturée. Dans le cas d'une nappe libre, la profondeur de l'eau représente la portion du sol entre la limite de la couche végétale et la surface piézométrique libre de la nappe.

- ❖ Dans le cas d'une nappe captive, la profondeur de l'eau représente la tranche de sol entre la couche végétale et le toit de l'aquifère. Ce paramètre, difficile à évaluer, nécessite souvent des mesures de terrain.
- ❖ Dans le cas d'une nappe semi-captive, c'est à l'utilisation de décider de travailler avec les conditions d'une libre ou captive, en se basant sur des arguments valables et précis.

I.3.2.2. Recharge nette R (Net Recharge Rate of Aquifer)

La recharge nette, correspondant à l'infiltration efficace, est le seul paramètre responsable de la réalimentation des nappes. Elle représente ainsi le moyen de transfert du polluant de la surface du sol vers le milieu aquifère. La vulnérabilité des nappes augmente alors avec l'accroissement des infiltrations. Cependant, cette conclusion prête à confusion dans la mesure où recharge importante saturerait le sol et la zone vadose, provoquant ainsi une dilution des polluants. Par ailleurs, la recharge reste liée à plusieurs facteurs climatologiques, géologiques, topographiques et hydrologiques. Elle peut être estimée à partir des équations du bilan hydrologique ou déduit de la différence de charge des nappes entre les périodes de hautes et basses eaux. Pour un aquifère donné, la recharge nette ne correspond pas seulement à la part de l'infiltration des précipitations, il faut inclure aussi des eaux d'irrigation, des eaux de l'infiltration des eaux d'irrigation, des eaux provenant d'autres horizons aquifères situés en profondeurs ou latéralement par rapport à la nappe concernée et éventuellement de l'alimentation artificielle des nappes.

I.3.2.3. Nature du matériel aquifère A (aquifer media)

Le milieu aquifère, ou zone saturée est le lieu approprié où peuvent être stockées des quantités d'eaux importantes. Son rôle dans l'atténuation du polluant dépend de la nature lithologique et texturale des formations qui constituent le milieu aquifère. Le potentiel de pollution est proportionnel au degré de porosité des terrains qui constituent l'aquifère, en particulier la perméabilité d'interstices et des fissures.



Les concepteurs de la méthodologie DRASTIC ont arrêté une liste de formations aquifères de nature lithologique différente :

- ❖ **Argiles massives (argiles schisteuses ou massives) :** ce sont des roches sédimentaires à grains très fins (lutites) contenant au moins 50% de minéraux argileux. En effet, la structure très fine des grains réduit considérablement leur perméabilité. Le potentiel de pollution y est généralement très faible.
- ❖ **Roches métamorphiques et ignées :** ce sont également des roches à faible porosité. Cependant, des aquifères peuvent se former dans les niveaux superficiels de ce type de roches qui sont généralement altérées, mais également dans les horizons fracturés. De ce fait, le degré de vulnérabilité de ces roches est sensiblement lié à leur degré de fracturation ou d'altération.
- ❖ **Till :** c'est une roche formée par la stratification de particules d'argile, sable et gravier, généralement de faible perméabilité. Le potentiel de pollution est fonction du taux de fissuration.
- ❖ **Grès massifs :** Ce sont des roches sédimentaires formées essentiellement de grains de quartz. Le potentiel de pollution est contrôlé par la présence de fissures et le degré de porosité du grès.
- ❖ **Calcaires massifs :** ce sont des roches sédimentaires carbonatées formées essentiellement de calcites. Leurs perméabilités, qui déterminent leur sensibilité aux polluants, est strictement liée à leur densité de fissuration.
- ❖ **Sables et graviers :** ils forment généralement les remplissages de vallées et constituent, généralement, d'excellents réservoirs d'eau souterraine. Leur degré de vulnérabilité dépend en fait de la répartition des pourcentages de gravier et de sable ainsi que de la présence ou non d'argiles qui sont souvent associés à ces dépôts.
- ❖ **Calcaires karstiques :** ce sont des calcaires à fissures élargies par l'action corrosive des eaux. Ces fissures larges (ou karst) sont le siège de circulation importantes d'eaux à très grande vitesse, ce qui augmente considérablement leur vulnérabilité à la pollution.
- ❖ **Basaltes :** ils possèdent une forte porosité résultant d'un important taux de fissuration à l'origine d'un potentiel de pollution souvent élevé.

I.3.2.4. Type de sol S (soil media)

On s'intéresse à la couche végétale du sol de 1 à 2.5 m d'épaisseur, siège d'une activité biologique et chimique intense. Le sol au sens pédologique résulte de l'altération des roches mères.



Le SCS (Soil Conservation Service) a établi en 1984 une classification des sols sur la base du potentiel de pollution décroissant :

- ❖ Peu épais ou absent ;
- ❖ Graviers ;
- ❖ Sables ;
- ❖ Tourbes, matières organiques non décomposés ;
- ❖ Terres grasses limono-sableuses ;
- ❖ Terres grasses équilibrées en argiles, limons et sable ;
- ❖ Terres argileuses, limono-argileuses ;
- ❖ Matières organiques décomposées ;
- ❖ Argiles non épaisses non en association ;

L'attribution d'un côté standardisée pour le type de sol repose essentiellement sur la granulométrie. Une cote élevée, reflétant des conditions de haute vulnérabilité, est attribuée aux sols caractérisés par des particules grossières. La classification d'un sol dépend des capacités de l'utilisateur, car le sol est formé par différents niveaux ou horizons qui ne sont décrit que par l'analyse des profils pédologique. Pour la sélection d'un type de sol, il est recommandé de :

- ❖ Consulter la carte générale de l'occupation du sol ;
- ❖ Définir les grandes classes de type de sol ;
- ❖ L'adaptation de la texture du sol à classification du SCS.

I.3.2.5. Topographie T (topography)

La variation de la pente des terrain contrôle la possibilité d'infiltration des polluants. On considère les terrains dont la pente est supérieure à 18% sont caractérisés par une prédominance des ruissellements permettant une évacuation des substances polluantes vers l'aval. Tandis que les secteurs de pente compris entre 0 et 6% favorisent l'infiltration d'eau éventuellement polluée.

I.3.2.6. Impact de la zone vadose I (Impact of the vadose zone unsaturated zone above the water table)

La zone non saturée de l'aquifère constitue souvent le siège des processus de biodégradation, de filtration, de précipitation, de volatilisation, de dispersion et d'atténuation du polluant. Ces processus sont d'autant plus importants que la perméabilité des terrains de la zone non saturée est faible. Cette perméabilité est étroitement liée à la nature lithologique, à la granulométrie et au degré de fissuration des terrains.



I.3.2.7. Conductivité hydraulique C (Hydraulic Conductivity of the aquifer)

C'est l'aptitude d'un aquifère à permettre le mouvement de l'eau, sous l'effet d'un gradient hydraulique donné dont la direction diffère généralement de celle de l'écoulement. Ce paramètre est étroitement lié à la granulométrie des formations aquifères, il peut ainsi être estimé à partir de la lithologie des formations aquifères.

I.3.3. Leur poids

A chacun de sept paramètres correspond un poids (valeur prédéterminée) :

Tableau I.1 : les poids des paramètres DRASTIC

❖ Paramètre D

Profondeur du niveau saturé (m)	
Intervalle	Notation
0-1.5	10
1.5-4.5	9
4.5-9	7
9-15	5
15-25	3
25-30	2
30	1

❖ Paramètre R

Recharge nette (mm/année)	
Intervalle	Notation
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
250	9



❖ Paramètre A

Formation de l'aquifère		
Type	Notation	Valeur typique
Argilites compactes	1-3	2
Métamorphiques/ignée	2-5	3
Métamorphiques/ignée altérées	3-5	4
Dépôts glaciaires meubles	4-6	5
Calcaires et/ou grés et/ou argilites	5-9	6
Grés compacts	4-9	6
Calcaire compactes	4-9	6
Sédiments meubles (sables et graviers)	4-9	8
Basaltes	2-10	9
Calcaires karstifiés	9-10	10

❖ Paramètre S

Caractéristique du sol	
Type	Notation
Fin ou absent	10
Graviers	10
Sable	9
Tourbe	8
Argiles agglomérées et/ou amincies	7
Loam sableux	6
Loam	5
Loam limoneux	4
Loam argileux	3
Muck	2
Argile non agglomérées-amincies	1



❖ Paramètre T

Topographie (pente en %)	
Intervalle	Notation
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18	1

❖ Paramètre I

Impact des formations de la zone vadose		
Type	Notation	Valeur typique
Formations confinantes	1	1
Limons/argiles	2-6	3
Argilites	2-5	3
Calcaires	2-7	6
Grés	4-8	6
Calcaires et/ou grés et/ou argilites stratifiés	4-8	6
Sable et graviers avec teneurs significatives en limons/argiles	4-8	6
Métamorphiques/ignées	2-8	4
Sable et graviers	6-9	8
Basaltes	2-10	9
Calcaires karstifiés	8-10	10



❖ Paramètre C

Conductivité hydraulique de l'aquifère (m/s)	
Intervalle	Notation
3.10^{-7} - 3.10^{-5}	1
3.10^{-5} - 7.10^{-5}	2
7.10^{-5} - 1.10^{-4}	4
1.10^{-4} - 3.10^{-4}	6
3.10^{-4} - 7.10^{-4}	8
7.10^{-4}	10

I.4.L'indice DRASTIC [3]**I.4.1. Classification des indices DRASTIC**

Tableau I.2 : classification des indices DRASTIC (Aller et Al)

Intervalles	Indice DRASTIC
23-79	8
80-99	7
100-119	6
120-139	5
140-159	4
160-179	3
180-199	2
200-226	1

- ❖ Les classes 1 et 2 : une vulnérabilité extrême ;
- ❖ La classe 3 : une vulnérabilité élevée ;
- ❖ Les classes 4 et 5 : une vulnérabilité modérée ;
- ❖ Les classes 6 et 7 : vulnérabilité faible ;
- ❖ La classe 8 : vulnérabilité très faible.



I.4.2. Détermination de l'indice DRASTIC

La méthode DRASTIC permet de déterminer le degré de vulnérabilité et le potentiel polluant des eaux souterraines. L'indice de vulnérabilité est égal à la somme des produit (coefficient*ponds) des sept paramètres DRASTIC selon l'équation suivant :

$$I_{\text{DRASTIC}} = (D_c * D_p) + (R_c * R_p) + (A_c * A_p) + (S_c * S_p) + (T_c * T_p) + (I_c * I_p) + (C_c * C_p)$$

c : cote des paramètres;

D_c : est la cote du paramètre D et D_p est son poids.

I.4.3. Interprétation de l'indice DRASTIC

L'indice de vulnérabilité DRASTIC représente une évolution du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. Celui-ci peut prendre une valeur maximale de 226 et une valeur minimale de 23.

Le principal de cette représentation consiste à diviser la valeur indicielle de chaque zone par le score maximum pouvant être atteint 226 en le multipliant par 100 d'exprimer la vulnérabilité en pourcentage.

Tableau I.3 : Degré de vulnérabilité

Indice DRASTIC (I_D)	Degré de vulnérabilité
23 à 84 (0 à 30%)	Très faible
85 à 114 (31 à 45%)	Faible
115 à 145 (46 à 60%)	Moyenne
146 à 175 (60 à 75%)	Elevée
176 à 226 (76 à 100%)	Très élevée

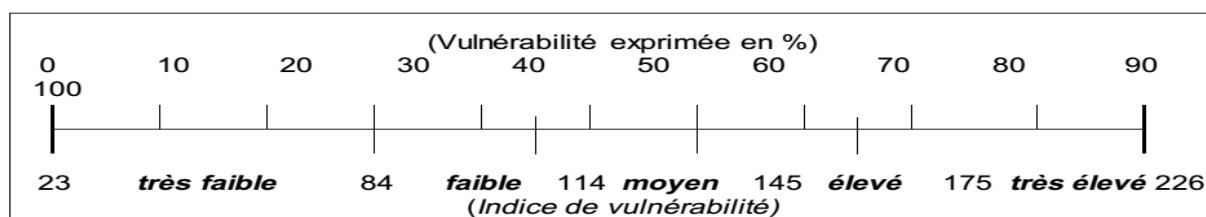


Figure I.1. : Vulnérabilité exprimée

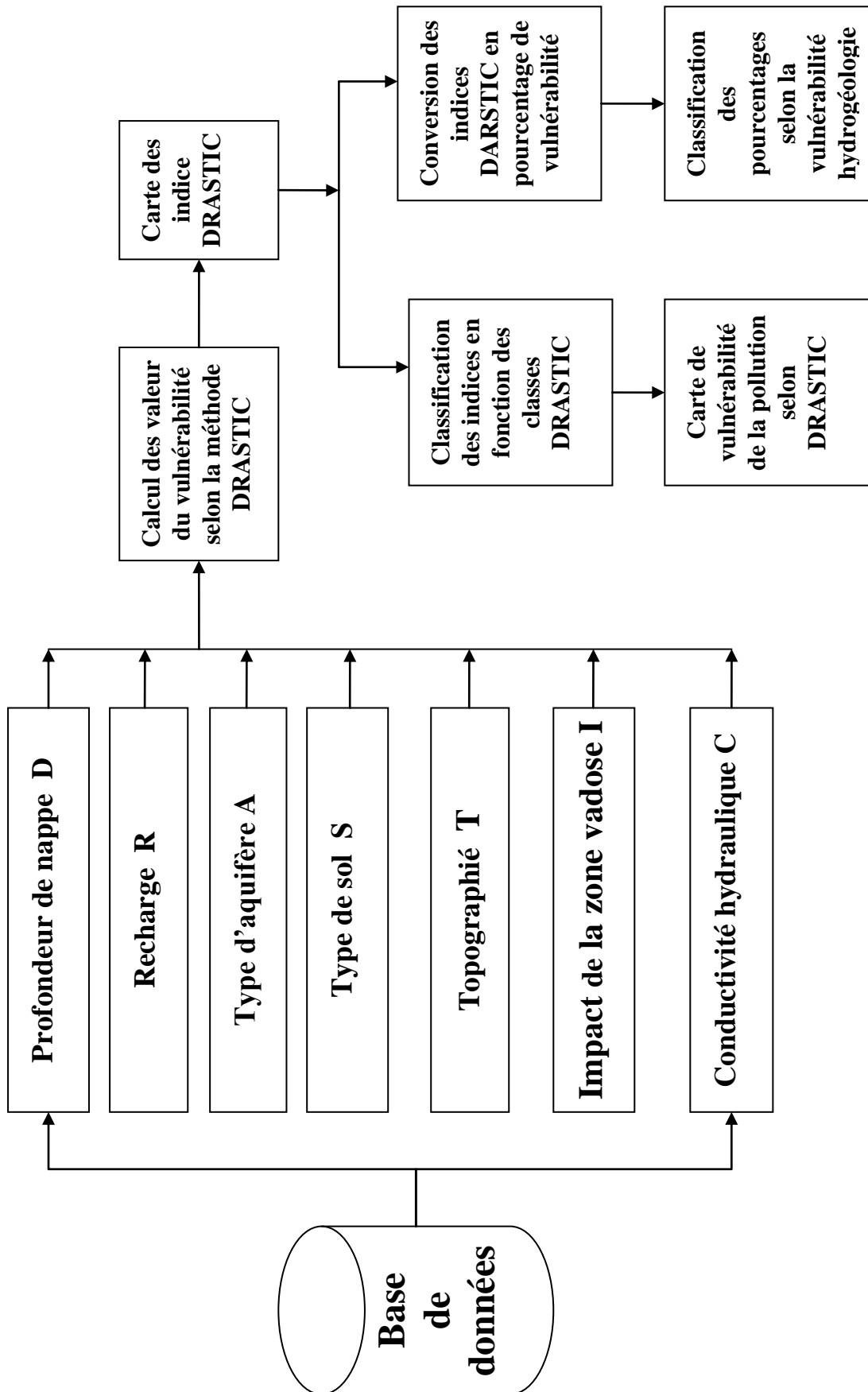


Figure I.1 : classification de la méthode DRASTIC

The right side of the page features three decorative elements: a large purple circle with a gradient and a shadow at the top, a smaller purple circle with a gradient and a shadow in the middle, and a large purple circle with a gradient and a shadow at the bottom. These circles are partially enclosed by thin purple lines that form a triangular shape pointing downwards.

CHAPITRE
II

PRESENTATION
DE LA ZONE



II.1. Situation de la commune de Magra

II.1.1. Situation géographique

Le centre de Magra se trouve à 60km environ à l'est de la ville de M'sila(chef lieu de la wilaya) et à 76 km au sud-ouest de la ville de Sétif. Il est défini par les coordonnées Lambert Nord Algérie à partir des cartes d'états major à l'échelle 1/50000 :

X= 258.50km

Y= 781.50km

La commune de Magra est limitée :

- ❖ Au nord par la commune de OuledTebben , Rosfa, Boutaleb :
- ❖ A l'est par la commune de Bel Aiba.
- ❖ Au sud par la commune de Metkaouk.
- ❖ A l'ouest par la commune de Ain khadra et Berhoum, Dehahna.

Elle fait partie de la zone nord-est du bassin du Hodna qui est limité au Nord par la chaîne montagneuse du Boutaleb malgré son caractère rural et par sa position proche des deux chefs lieu de wilaya et sa situation sur un axe routier (route national 28) important. Magra connaît un développement urbain important.

Magra centre en tant que chef-lieu de daïra et chef-lieu de commun compte d'autres agglomérations structurantes du territoire de la commune qui représentent comme suit :

- ❖ Le chef-lieu de commune regroupe les centres de Magra, OuledAraibaet Dhahna.
- ❖ Les agglomérations secondaires en tant que centre développé sont : OuledMbarek, Ouled Mansour, Oudeh.
- ❖ Les centres ruraux importants en tant que centre de vie structurant la zone sont : El Meleh, OuledAtia, OuledSaid.



Figure II.1 : Localisation de la commune de Magra dans la wilaya de M'sila



Figure II.2 : Plan situation de la ville de Magra



II.1.2. Situation topographique

La ville de Magra est caractérisée par un relief accidenté avec des pentes descendantes de l'est vers l'ouest et nord vers sud-est ; les pentes varient de 5% à 10%.

II.2. Contexte climatique

D'après les données de la station de Barika (période 1984 à 1993) qui est la station d'observation météorologique la plus proche de la ville de Magra on observe :

II.2.1. La température

La ville de Magra est caractérisée par un climat semi- aride avec un hiver froid et un été chaud et sec.

Tableau II.1 : Les valeurs moyennes mensuelles, station de Barika

Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	juin
Minimal	0.8	3.5	5.6	8.3	14.6	20.9
Maximal	14.3	13.3	13.3	22.7	28.7	36.5
Moyennes mensuelles	7.55	8.4	9.45	15.5	21.65	28.7
mois	Juil.	Août.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Minimal	22.6	22.8	16.9	14.4	8.7	4
Maximal	37.9	37.7	31	26.1	18.2	15.3
Moyennes mensuelles	30.25	30.25	23.95	20.25	13.45	9.65

Les températures moyennes mensuelles confirment l'existence de deux saisons distinctes dont le mois de janvier est le plus froid (7.55 °) et les deux mois du juillet et aout sont plus chaud (30.25°).

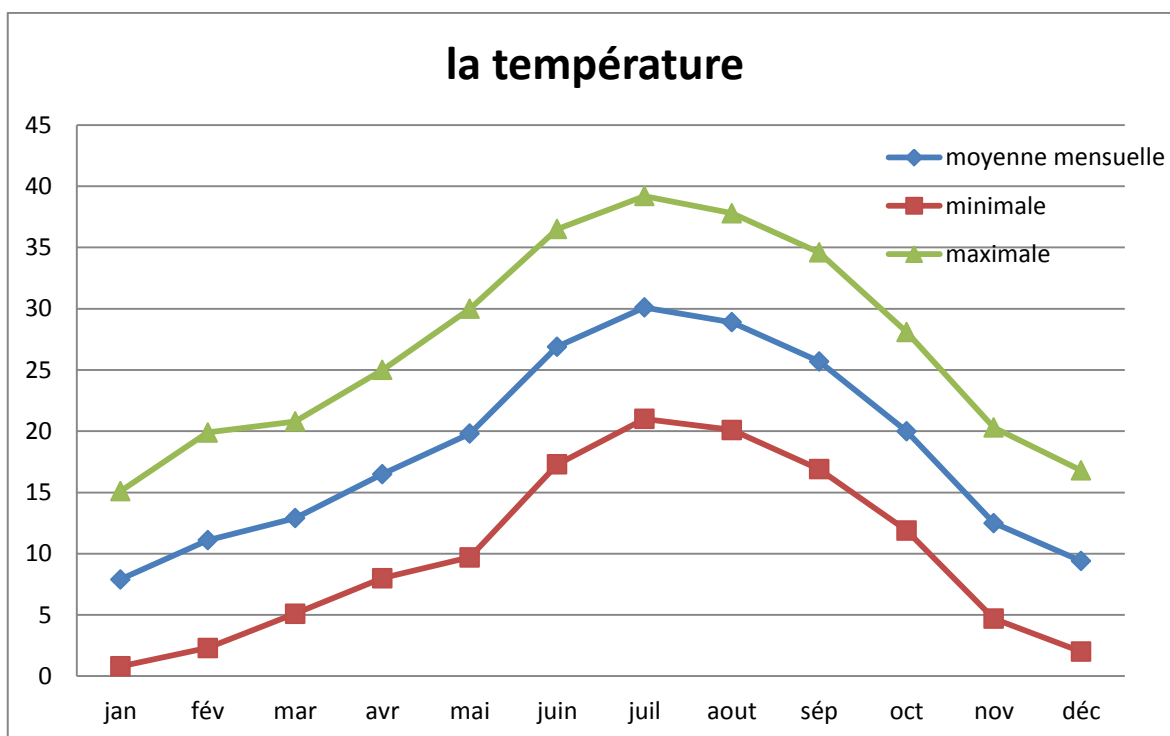


Figure II.3 : Graphique de la température moyenne mensuelle

II.2.2. La pluviométrie

Les moyennes mensuelles et totales annuelles des précipitations en mm sont données dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Précipitation moyenne mensuelle

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Août.	Sép.	Oct.	Nov.	Déc.
Moy. Mensu.	26.4	19.1	22.5	16.6	14.4	15.2	1.6	4.7	24.8	29.8	25.3	22.3

Ce tableau fait ressortir une pluviométrie annuelle de 222.7 mm qui se répartie sur deux périodes distinctes.

- ❖ Une période caractéristique de la saison estivale (juin, juillet et août) marquée par des faibles pluies d'une moyenne de 7.1 mm ;
- ❖ Une deuxième période concernant les autres saisons de l'année, marquée par une abondance des pluies.

En effet les pluies débutent en Automne (Septembre, Octobre, Novembre) avec une moyenne de 26.6 mm et s'accroissent en hiver (Décembre, Janvier, Février) avec une moyenne de 22.6 mm.

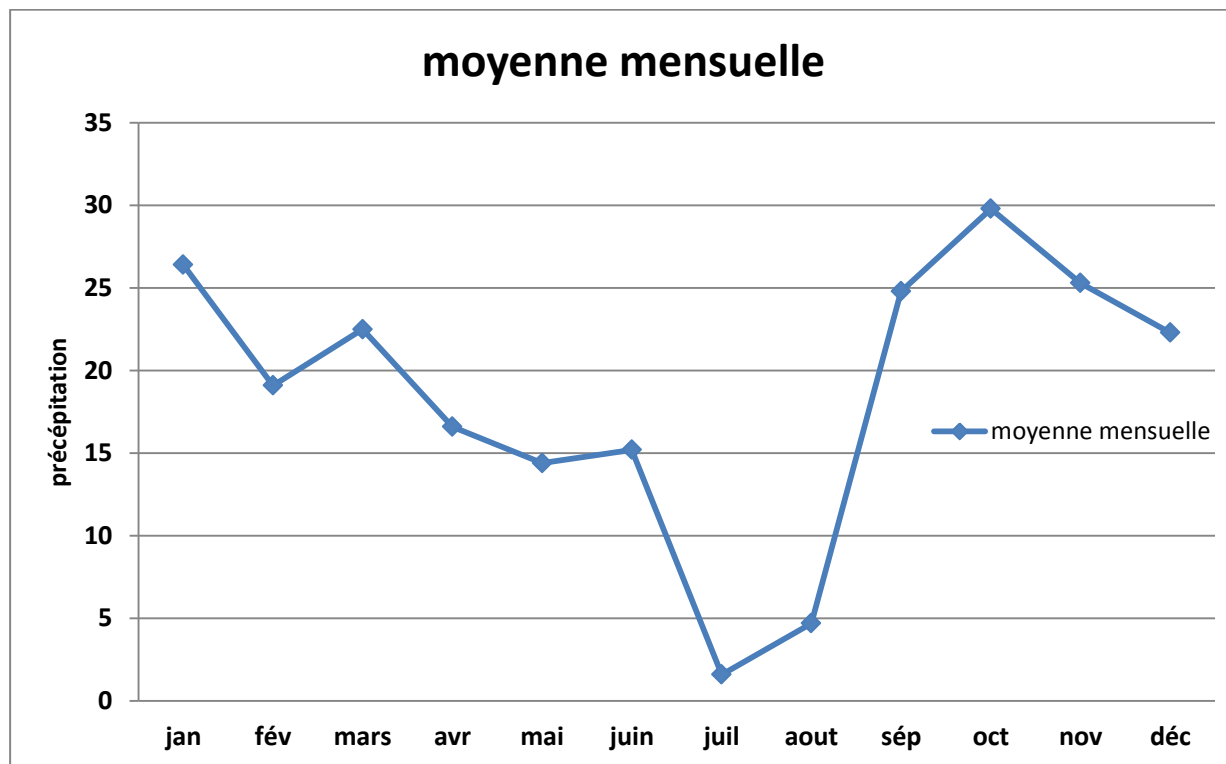


Figure II.4 : Graphique des précipitations moyennes mensuelles

II.2.3. Les vents

Les vents les plus dominants sont ceux provenant du Nord-ouest et du Sud-est la zone connaît le Sirocco pendant les mois de juillet et d'août avec une moyenne annuelle de 15 jours.

Tableau II.3 : Vitesse du vent

mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aou.	Sép.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
Vitesse de vent	6.0	7.1	6.6	6.7	6.9	6.5	5.9	5.5	3.7	5.3	5.2	7.0	6.2
Direction du vent	SN	SN	SN	SN	ESW	SN	SN	SN	SN	SN	ESN	SN	SN

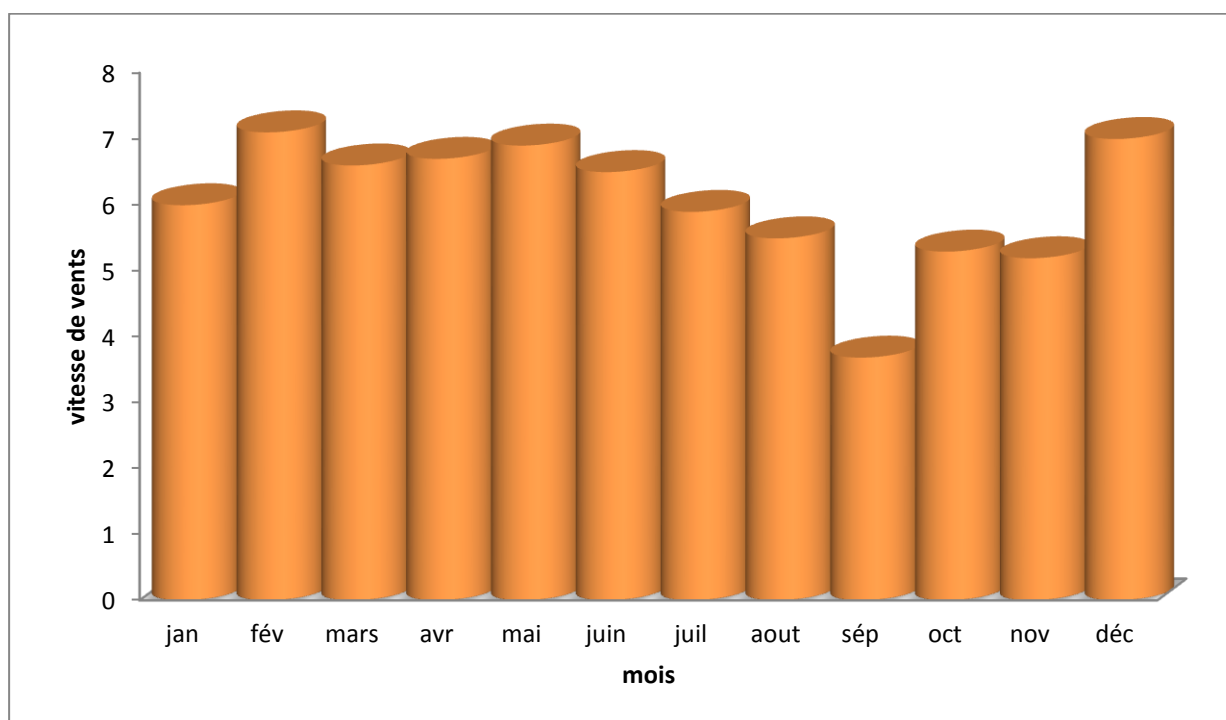


Figure II.5 : Graphique des vitesses des vents

II.3. Etude hydrologique

II.3.1. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite [1]

Le calcul du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite en utilisant les données climatiques de la station de Barika pour l'année 1994 nous permet de donner un aperçu global de la plaine.

On calcule l'ETP à partir de la formule de Thornthwaite :

$$ETP = 16 (10 T / I)^{\alpha} K$$

Avec :

i : indice thermique mensuelle $i = (T/5)^{1.514}$

I : indice thermique annuelle $I = \sum i$

T : température moyenne mensuelle du mois considéré en $^{\circ}C$

K : coefficient d'ajustement mensuel, α : exposant climatique (constante) $\alpha = 1.6 (I/100) + 50$

La méthode empirique de Thornthwaite permet de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP exprimée en mm à partir des données de base (précipitations moyennes mensuelles, températures moyennes mensuelles (T en $^{\circ}C$), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i).



II.3.2. Principe de calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite [4]

❖ Si pour un mois $p \geq ETP$:

- $ETP = ETR$
- L'excédent ($P-ETP$) est affecté en premier lieu à la RFU (si le sous sol a un pouvoir d'infiltration élevé, cet excédent va constituer la composante verticale de l'écoulement souterraine ou l'infiltration efficace vers la nappe), et si la RFU est complète, cette quantité restituée ($P-ETP$) va alimenter l'écoulement Q .

❖ Si $P < ETP$:

-Il faudra évaporer toute la pluie et prendre à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

➤ $ETR = P + \min(RFU, ETP - P)$

➤ $RFU = 0$ ou $ETR = RFU + P - ETR$

-Si $RFU=0$, la quantité ($D_a = ETR - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes.

Le calcul du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite en utilisant les données climatique de la station de Barika la plus proche de la ville de Magra

Tableau II.4 : Résultat du bilan hydrique selon la méthode Thornthwaite

Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.
T°C	7.5	8.4	9.4	15.5	21.6	28.7	30.2
i	1.8	2.2	2.6	5.5	9.2	14.1	15.2
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23
P	26.4	19.1	22.5	16.6	14.4	15.2	1.6
(mm/mois)							
ETP (mm)	9.32	11.93	17.23	48.4	104.27	182.55	205.17
ETR (mm)	9.32	11.93	17.23	48.4	14.4	15.2	1.6
RFU (mm)	100	100	100	31.8	0	0	0
Da (mm)	0	0	0	0	89.8	167.3	203.57
Sw (mm)	17.08	7.17	5.27	0	0	0	0



Mois	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Ans.
T°C	30.2	23.9	20.2	13.4	9.6	
i	15.2	10.7	8.3	4.4	2.7	91.9
K	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85	
P(mm/mois)	4.7	24.8	29.8	25.3	22.3	425.2
ETP(mm)	193.49	108.35	73.25	28.93	14.82	997.71
ETR(mm)	4.7	24.8	29.8	25.3	14.8	217.48
RFU(mm)	0	0	0	0	7.48	
Da(mm)	188.79	83.55	43.45	3.63	0	780
Sw(mm)	0	0	0	0	7.5	37.02

Da : déficit agricole ;

Sw : surplus d'eau.

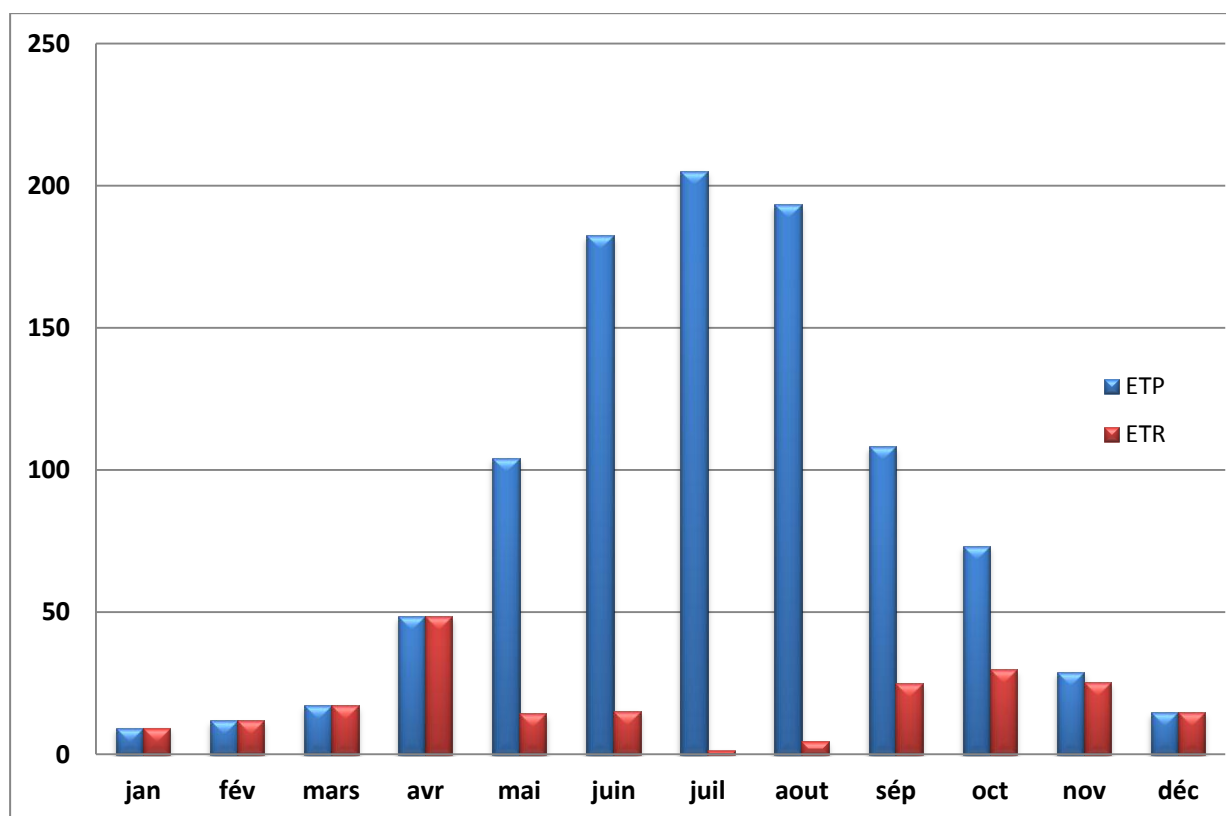


Figure II.6 : Graphique du bilan d'eau (Thorntwaite)



II.4. Contexte géologique

II.4.1. Géologie générale

La région d'étude de Magra se compose de deux parties dont les formations géologiques sont distinctes :

- ❖ La partie nord est constituée de conglomérat dépendant du troisième cycle (pliocène) et cette la troisième étape (miocène), cette zone est représentée par des terres hamadas favorables à l'urbanisation.
- ❖ La partie sud est constituée d'alluvions quaternaires (argile+sable) très riches favorables à l'exploitation agricole.

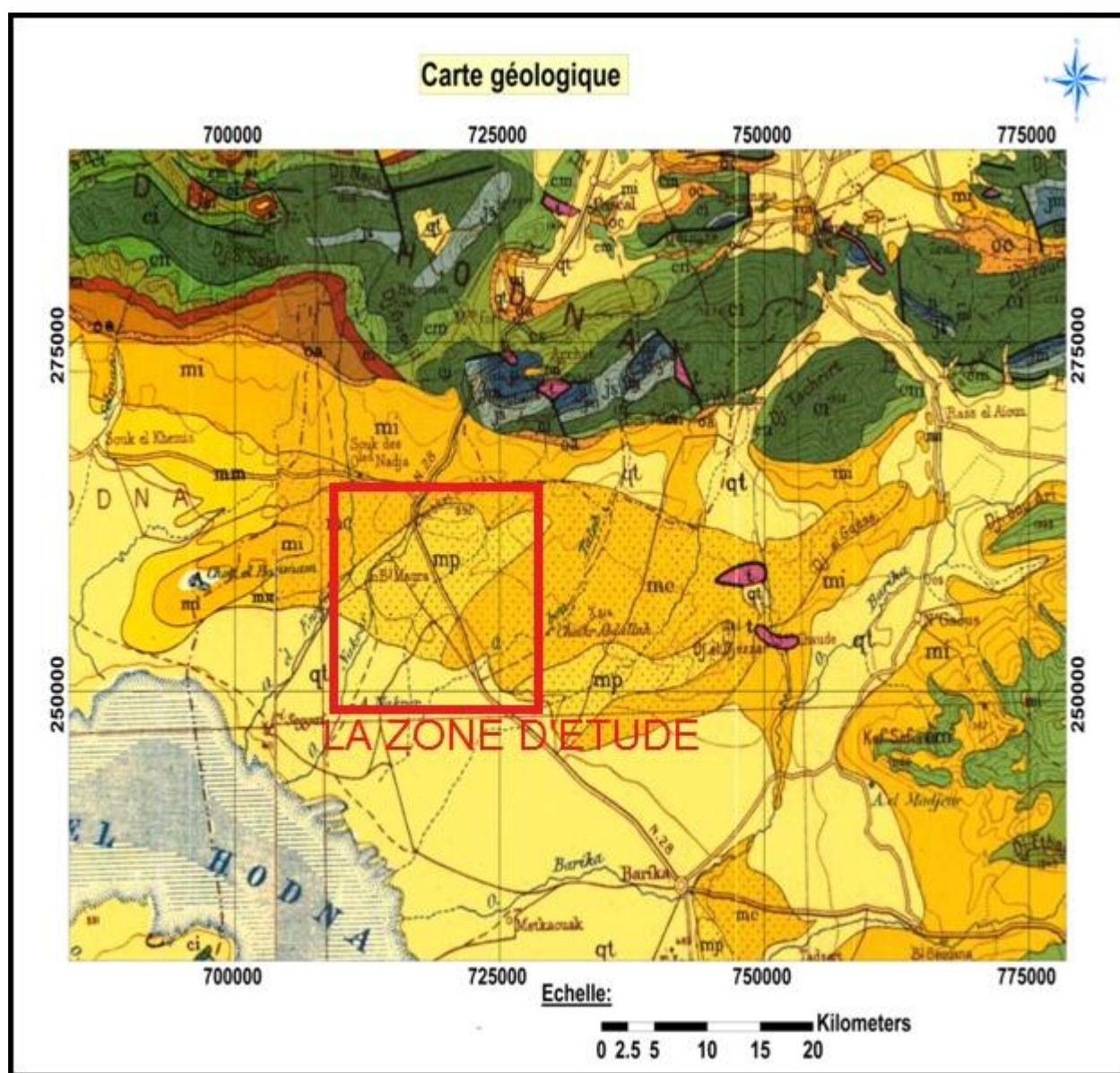


Figure II.7: La carte géologique de la région de magra



II.4.2. Hydrogéologie

II.4.2.1. Aquifère

Malgré sa complexité lithologique, l'aquifère est constitué par des niveaux plus ou moins perméables formés d'argile et de marnes plus ou moins sableuses, des niveaux à grés, de sables, de galets, et de conglomérats.

Mais compte tenu de la répartition spatial de ces niveaux on peut considérer l'aquifère comme étant bicouche avec deux niveau perméable séparés par un ensemble semi perméable formé par une alternance de marnes et d'argile plus ou moins sableuses et graveleuses avec des passées d'alluvions grossières.

On a donc la structure suivant :

- Une nappe superficielle exploitée en grande partie par des puits domestique constituée essentiellement par des argiles sableuses et des galets ;
- Un niveau à dominance d'argile et de marne plus ou moins sableux et graveleux ;
- Une nappe profonde reconnue par des forages profonds. Cette dernière est en charge au nord et devient artésienne dans la partie sud de la plaine (autour du chott) ou elle est constituée par des sables, des graviers, des galets et des conglomérats.
- Enfin le substratum à marnes gypseux miocènes.

Mais vu le tarissement de la quasi-totalité des puits (30 à 60 m), c'est-à-dire le tarissement de la nappe superficielle, on va s'intéresse dans la présente étude à la nappe profonde de Moi-Pliocène.

❖ Aquifère du Moi-Plio-Quaternaire

Définition du système aquifère : l'aquifère de Moi-Plio-Quaternaire s'étant sur l'ensemble de la plaine de Magra, il est définit comme suit :

- Au nord, les conglomérats du Moi-Pliocène affleurent d'Ouest en Est et forment une surface structurale correspondant à la limite septentrionale.
- Au sud, l'axe anticlinal reconnu en surface par la géophysique caractérise la remontée du substratum.

Les conglomérats, sable, graviers, galets et grés du Moi-pliocène représentent l'aquifère principale de la nappe profonde.

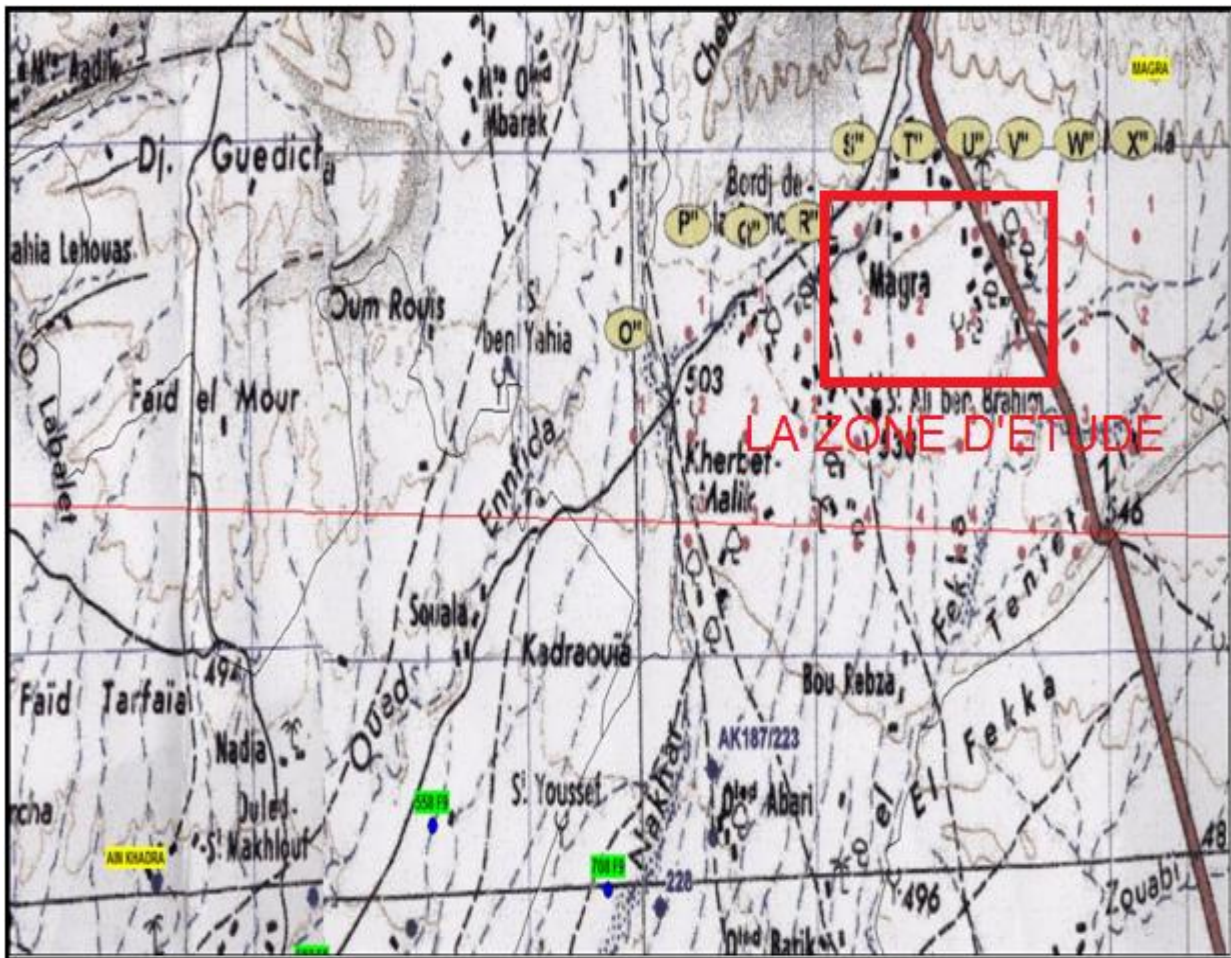


Figure II.8 : La carte géophysique

II.4.2.2. Les forages

La piézométrie joue un rôle déterminant quant à la connaissance des écoulements souterrains. Elle permet également de connaître et de fixer les conditions aux limites d'une nappe.

A l'est, on constate que le gradient hydraulique est relativement élevé et les iso pièzes sont plus serrées.



Tableau II.5 : Les données des forages

Forages	x	y	z	Profondeur (m)	NO ₃ ⁻
F01	713	254	480	250	01
F02	719	259	535	250	19
F03	719	260	553	200	32
F04	720	220		300	--
F05	713	254	480	250	01
F06	713.15	254.4	784	300	01
F07	730	256	482	250	11
F08	712	251	460	250	--
F09	708.8	249.4	422	250	--
F10	05°02'01''	35°02'48''	520	250	--
F11	716	259	540	250	03
F12	712	254	480	250	--
F13	712	254		250	--
F14	714	252	420	250	--
F15		250	384	250	--
F16	719	264	627	200	--
F17	35°36'41.2''	05°10'8.60''	606	300	--
F18	728	267	740	200	--
F19	05°04'15''	35°33'09''	384	300	--

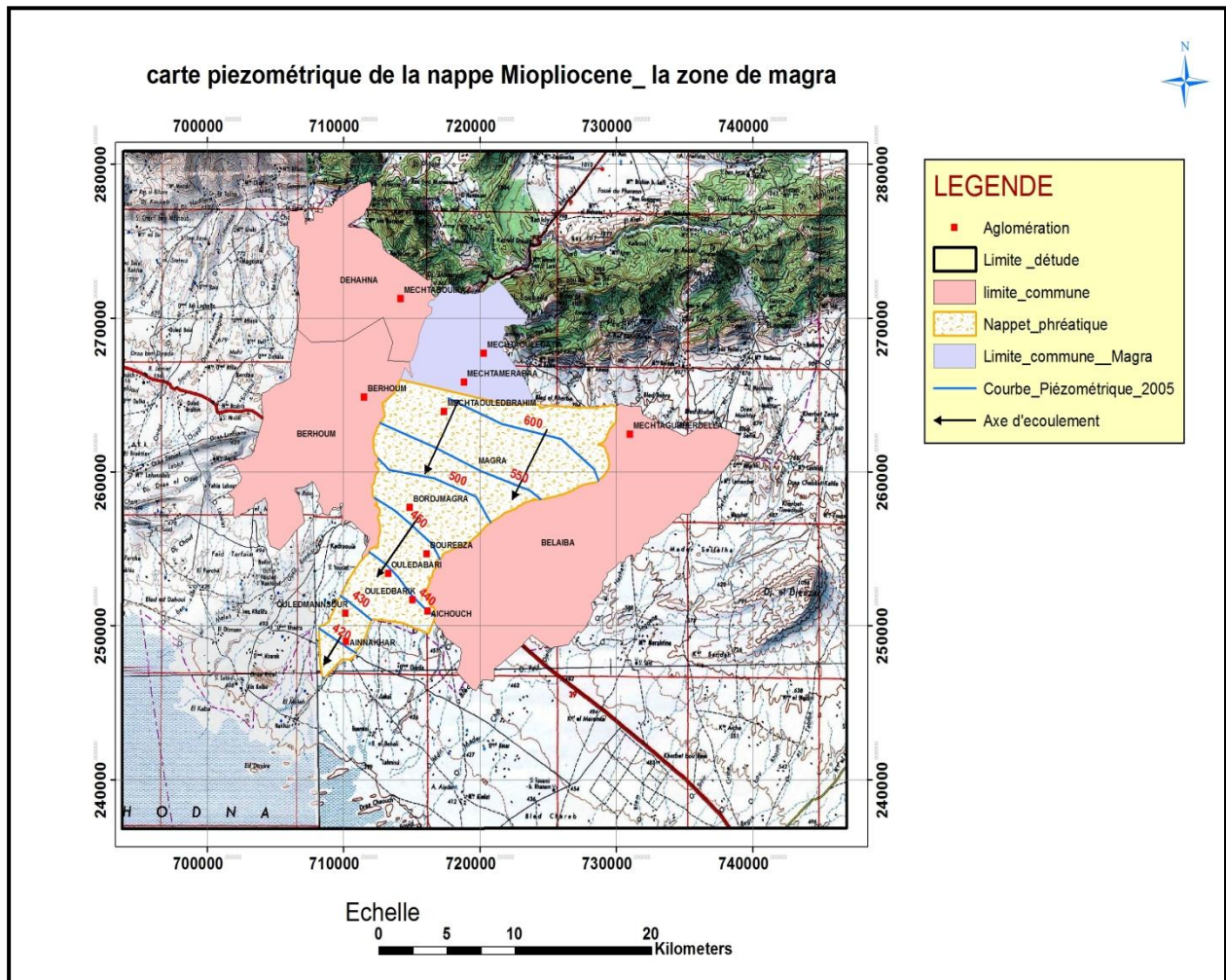


Figure II.9 : La carte piézométrique

II.5. Contexte pédologique

II.5.1. Etude des sols

- ❖ **Les sols des bordures des plaines** : ces sols sont formés par des associations de sols plus ou moins érodés, qui peuvent évoluer sur du calcaire dur ou tendre, des grés ou des marnes.
- ❖ **Les sols de la plaine proprement dite** : six classes ont été décrites : les sols peu épais ou absent, les sols peu évolués alluviale, les sols sierozems, les sols halomorphe, halomorphe et minéraux bruts éoliens, les sols lithosols et régosols.

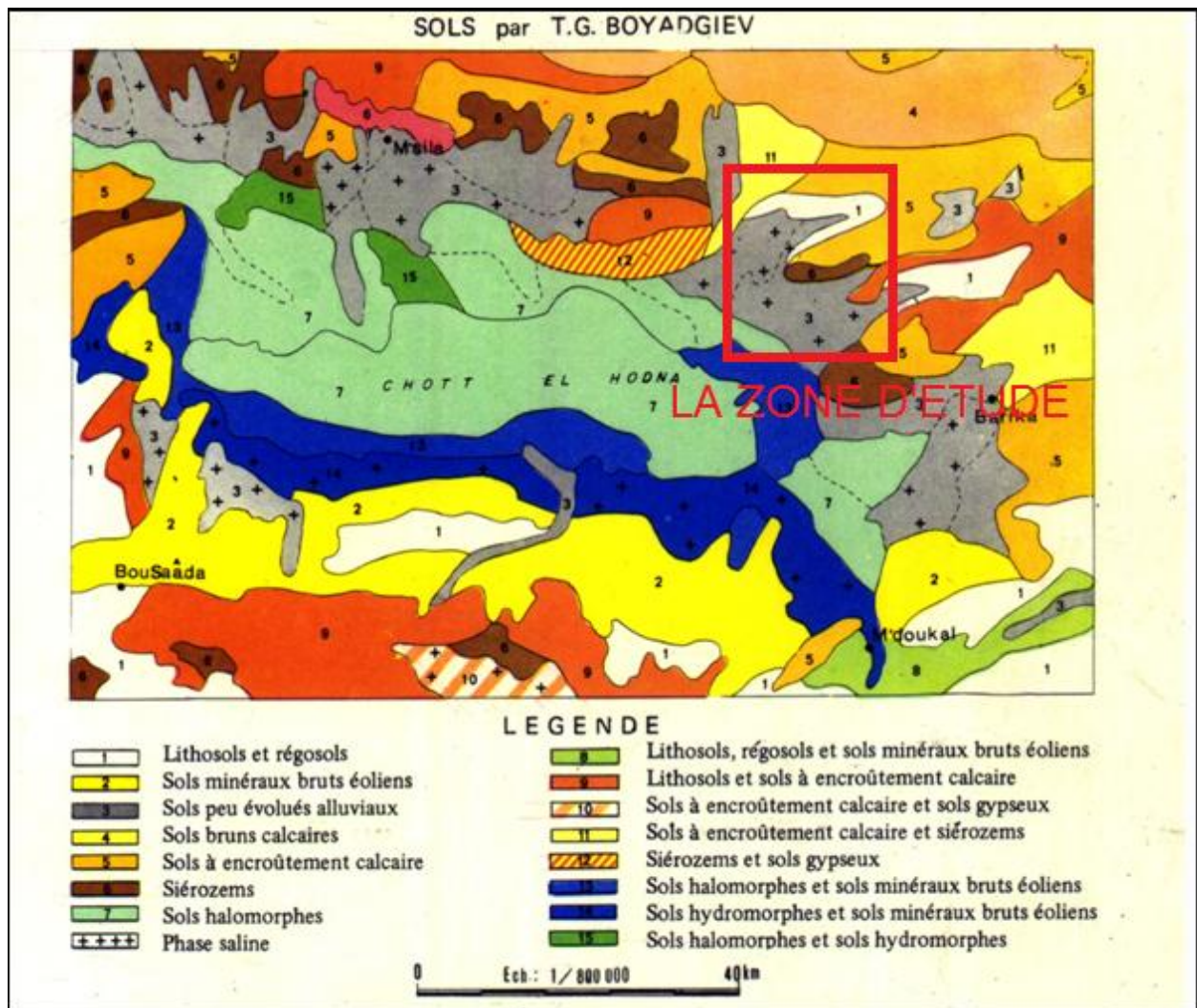


Figure II.10 : la carte pédologique

II.6. Contexte végétale

Sur le plan agricole, la région dépend de la culture des céréales (blé et orge) et de plus en plus il ya pratique des oliviers et aussi des étendues de l'armoise sauvage.

Sur des terres dunaires les légumes sont réussis, à l'exemple de la carotte, de la laitue et des choux...

La végétation très clairsemée est dominée par l'alfa par le pin.



CHAPITRE
III

***EVALUATION DE LA
VULNERABILITE PAR
LA METHODE
DRASTIC***



III.1. Introduction

De nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone saturée, aux méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité.

Dans le cadre de la présente étude, notre choix a porté sur l'application d'une des méthodes de la catégorie de cartographie réalisée à l'aide du logiciel Arc GIS permettant de compiler les données spatiales et de calculer les indices à partir de la répartition géographique des scores pondérés attribués aux sept paramètres ainsi que la réalisation de la carte de vulnérabilité qui représente la variation des indices de vulnérabilité. La classification de ces indices en fonction des classes DRASTIC permet de spatialiser la vulnérabilité relative de chaque secteur étudié.

III.2. Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution

III.2.1. Définition d'une pollution d'eau [5]

La pollution de l'eau est une altération des qualités naturelles (physiques et chimiques) d'une eau. C'est à fois l'action et les processus de dégradation des qualités de l'eau. La pollution des eaux souterraines entraîne le risque permanent de limitation de cette ressource dans un proche avenir. Elle résulte essentiellement de l'activité humaine indépendamment de la détérioration naturelle liée aux facteurs géologiques. Dans ce contexte, l'étude de la vulnérabilité à la pollution du système aquifère pourrait prévenir les risques de contamination et par la même orienter le monde de gestion et d'exploitation des eaux souterraines.

III.2.2. Concept de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution

III.2.2.1. Notion de la vulnérabilité à la pollution

La notion de vulnérabilité, liée au risque de pollution des eaux souterraines en globe à la fois celle d'agression et de défense [6]

La vulnérabilité des nappes correspond à leur sensibilité aux différents facteurs physiques stables dans la mesure où elles sont plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation du polluant dans le sol [7]

La vulnérabilité liée au risque de pollution est déterminée par la facilité de pénétration des substances polluantes s'infiltrant à partir de la surface du sol vers la nappe (Robins et al, 1989 ; Indjoudar 2003).



Le concept de vulnérabilité de l'eau souterraine est généralement défini comme la capacité d'un système hydrogéologique à transmettre un contaminant potentiel depuis la surface du sol jusqu'à atteindre la zone saturée. Véhiculé depuis l'eau des précipitations qui s'infilte à la surface du sol, le contaminant percole ainsi à travers la zone non saturée (vadose) jusqu'à atteindre la zone saturée. Certains auteurs l'ont défini comme une propriété intrinsèque des aquifères ; d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terres de surface. La vulnérabilité d'une nappe traduit la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution provenant de la surface du sol. Selon une approche déterministe : Source-Transfert-Récepteur ; la vulnérabilité correspondrait au module Transfert en représentant le transport d'un contaminant depuis la source jusqu'à milieu récepteur. Le module Source représente la répartition spatiale de la charge de contaminant à la surface du sol et le module Récepteur est l'eau souterraine. [8]

III.2.3. Types de vulnérabilité [9]

III.2.3.1. La vulnérabilité intrinsèque

La vulnérabilité intrinsèque est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. La sensibilité intrinsèque d'un aquifère est en fonction des caractéristiques intrinsèques géologiques et hydrogéologiques du milieu. La vulnérabilité spécifique ou simplement la vulnérabilité d'un aquifère est définie en incluant l'occupation du sol et les caractéristiques d'un contaminant. En Europe, la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère est définie comme uniquement fonction des paramètres hydrogéologiques.

III.2.3.2. La vulnérabilité spécifique

La vulnérabilité spécifique (zone à risque) est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque. La vulnérabilité spécifique comme décrivant les impacts potentiels dus à l'utilisation du sol et des contaminants présents. Parfois la charge de contaminant au sol est considérée comme un paramètre dans l'évolution de la vulnérabilité.



III.2.4. Critères de vulnérabilité

III.2.4.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque

La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou de la concentration de la contamination, soit sur son temps de transfert. L'ensemble des critères de vulnérabilité rencontrés dans la littérature sont exposés ci-dessous.

Critères relatifs au sol

- ❖ **Ruissellement – infiltration** : le ruissellement et l'infiltration efficace (quantité d'eau s'infiltrant jusqu'à la nappe) sont représentatifs de la recharge de la nappe. Ils sont étroitement liés à la topographie et à la nature des formations superficielles.
- ❖ **Couverture pédologique** : la nature, la texture, la teneur en argiles et en matière organique, ainsi que la puissance (ou épaisseur).

Critères relatifs à la zone non saturée

- ❖ **Profondeur de la nappe libre** : L'épaisseur de la zone non saturée conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe (rétention, stockage, interactions physico-chimiques).
- ❖ **Amplitude de battement de nappe** : Elle peut devenir un critère de vulnérabilité dans la mesure où elle est significative (l'amplitude de rabattement de la nappe conditionne l'épaisseur du recouvrement de la nappe).
- ❖ **Perméabilité verticale de la zone non saturée** : Elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe.

III.2.4.2. Critères de vulnérabilité spécifique

Le comportement du polluant potentiel (milieu fixe) dépend des caractéristiques du milieu, mais également des propriétés physico-chimiques et biologiques du composé lui-même (réaction acides bases, d'oxydo-réduction, de désorption, biodégradation synthèse cellulaire, diffusion, évaporation, filtration, transport, etc.).

Capacités dispersives et épuratoires des sols : concerne les propriétés auto épuratoires des sols.

Qualité du réseau hydrographique : le réseau hydrographique peut être vecteur de contaminations vers les eaux souterraines.

Typologie de l'occupation du sol : l'occupation du sol conditionne les volumes et la nature des polluants potentiels (foret, cultures, élevage, habitant, tissu industriel, etc....).



III.2.5. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution

III.2.5.1. Objet de la cartographie [10]

la sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une qui a déjà atteint la nappe, à partir de la zone non saturée ou d'un ouvrage d'eau souterraine (puits, forage, etc.).

L'objectif d'une carte de la vulnérabilité d'un système en eau souterraine à la contamination est de fournir le potentiel et le degré de risque de contamination, mais aussi le degré des conséquences possibles d'une contamination, de même que les éléments nécessaires, tant pour la prévention que pour les mesures mises en place à la suite d'une contamination. La cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère permet une meilleure gestion de la nappe et des interventions rapides et appropriées en cas de pollution.

III.2.5.2. Cartographie de vulnérabilité [11]

Les logiciels SIG ont des fonctionnalités cartographiques, permettant la cartographie thématique selon des représentations standardisées. La méthodologie, utilisée dans ce travail, consiste à appliquer les SIG lié à une base de données pour la nappe. Les informations sémantiques et spatiales, formant les sept paramètres DRASTIC, sont traitées par digitalisation (numérisation) des cartes et élaboration d'une base de données cartographiques sous Arc Gis. (Smida et Al, 2010).

La variabilité dans l'espace des critères de la vulnérabilité est caractérisée par le découpage des critères en classes.

Chaque classe étant ensuite affectée d'un index représentatif de son degré de vulnérabilité (note faible pour les moins vulnérables, note élevée pour la plus vulnérable).

Sept cartes rendent compte de la vulnérabilité des nappes vis-à-vis de chaque critère et seront réalisées ; le découpage des critères en classes y sera représenté et l'indexation des classes sera restituée en utilisant la symbolique de couleur habituelle : couleur chaudes (rouge) pour indiquer le danger donc la forte vulnérabilité et couleur froide (vert-bleu) dans le cas contraire (Rakotovoaka, 2007).

III.3. Détermination de l'indice DRASTIC :

L'indice de la vulnérabilité est égal à la somme des produits (cote * poids) des sept paramètres DRASTIC selon l'équation suivante :

$$I_{\text{DRASTIC}} = (D_C * D_P) + (R_C * R_P) + (A_C * A_P) + (S_C * S_P) + (T_C * T_P) + (I_C * I_P) + (C_C * C_P)$$

Avec :

C : cote accordée à chaque paramètre.

P : poids accordée à chaque paramètre.



III.3.1. Indice DRASTIC profondeur de la nappe (D)

En vue d'élaborer une carte de vulnérabilité prenant en compte les fluctuations naturelles et le forçage anthropique de la nappe, l'épaisseur de la zone non saturée joue un rôle primordial dans la qualification de la capacité de l'aquifère à être affectée par l'infiltration d'un polluant. Elle est déterminée par la différence d'altitude entre la courbe de niveau et la courbe isohyète (niveau d'eau). Les données sont représentées sur l'ensemble de la région comme le montre la carte en figure III.1.

La définition des classes de l'épaisseur de la zone non saturée (D), les classes ainsi retenues pour le paramètre « D » sont récapitulées dans le tableau III.1.

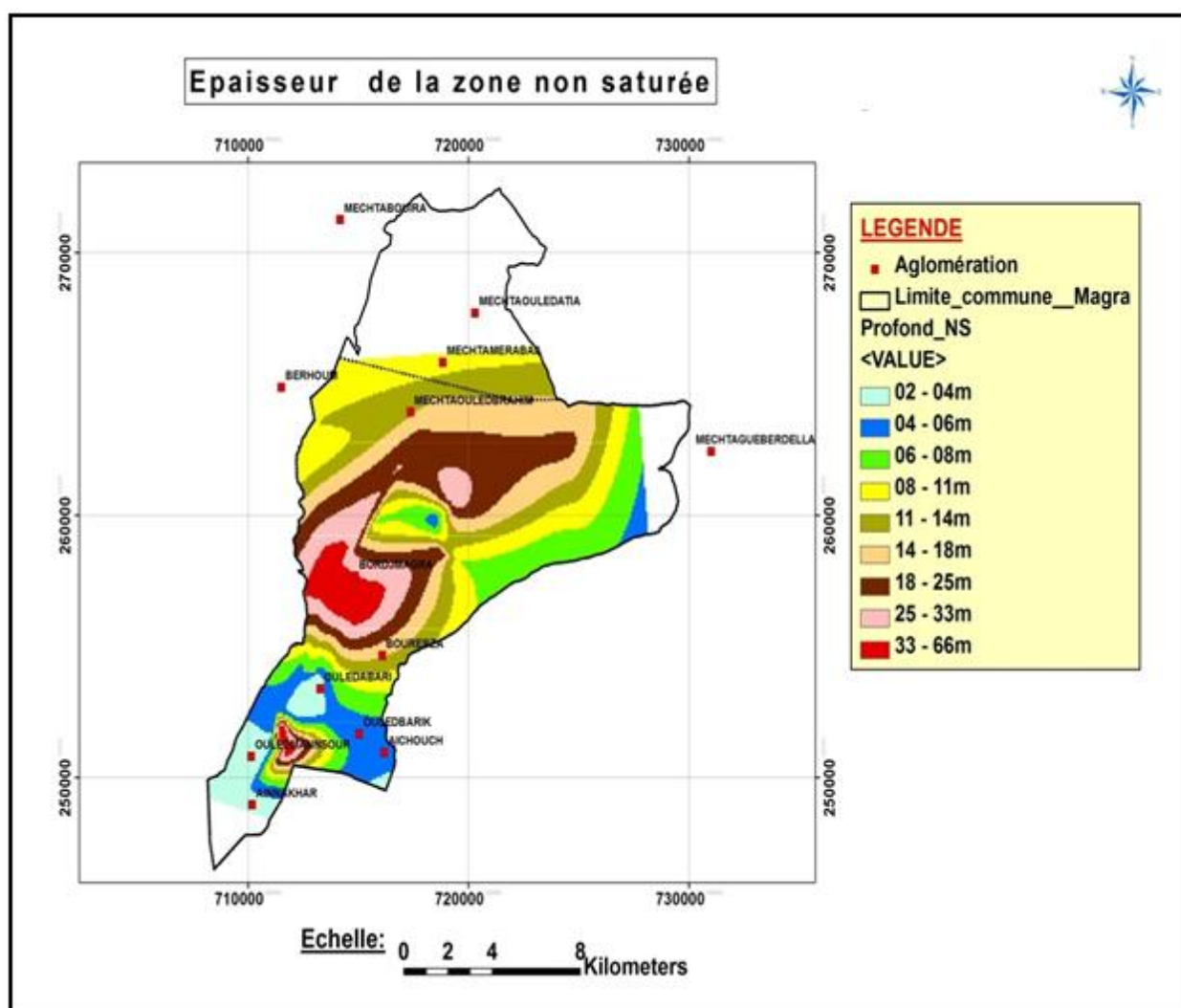


Figure III.1 : Répartition spatiale de la profondeur de l'eau de la région Magra

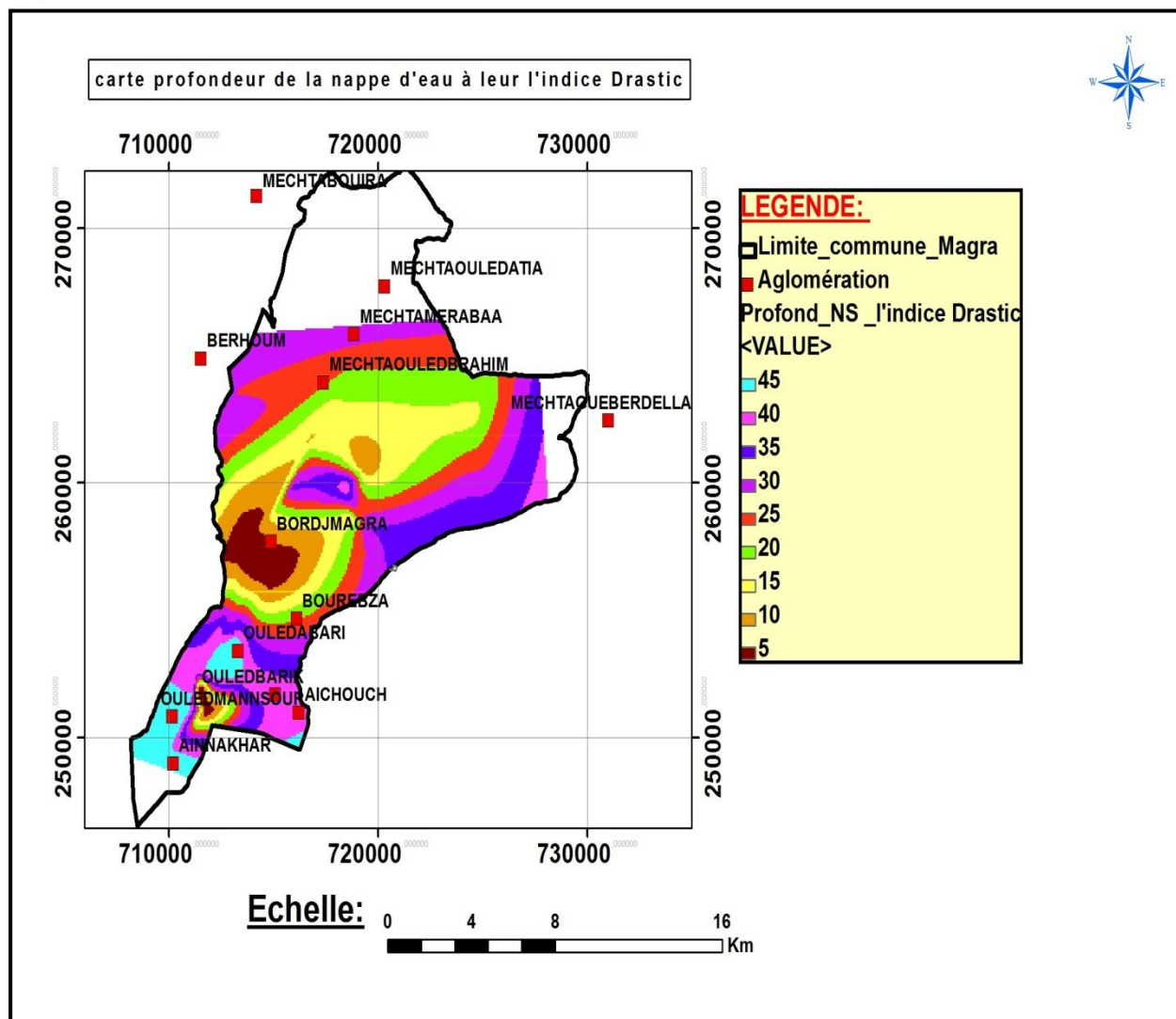


Figure III.2 : Répartition spatiale de la profondeur de l'eau assignée à leur cote et poids

Tableau III.1 : Indice du paramètre profondeur de la nappe de Magra

Classe D(m)	Superficie	Cote	Poids	Indice
2 à 4	8.944	9	5	45
4 à 6	13.54	8	5	40
6 à 8	19.32	7	5	35
8 à 11	30.46	6	5	30
11 à 14	25.71	5	5	25
14 à 18	26.52	4	5	20
18 à 25	26.11	3	5	15
25 à 33	11.60	2	5	10
> 33	6.21	1	5	5



III.3.2. Indice DRASTIC recharge (R)

Elle est définie comme étant la quantité de l'eau par unité de surface qui s'infiltré et atteint la zone saturée. Pour appliquer la méthode DRASTIC, nous avons calculé la recharge directe de la nappe à partir des précipitations de la région.

Pour une estimation plus précise des valeurs de la recharge, on a utilisé une carte réalisée à partir de la carte simulée par le modèle hydrogéologique qui permet d'estimer à long terme les paramètres influençant la recharge des ressources souterraines. Les entrées de ce modèle incluent les données de l'occupation de sol, la profondeur initiale de la nappe, la précipitation, l'évapotranspiration potentielle, la vitesse du vent et les types de sols. Ces indicateurs sont interconnectés dans le modèle par leur table d'attribut respectif.

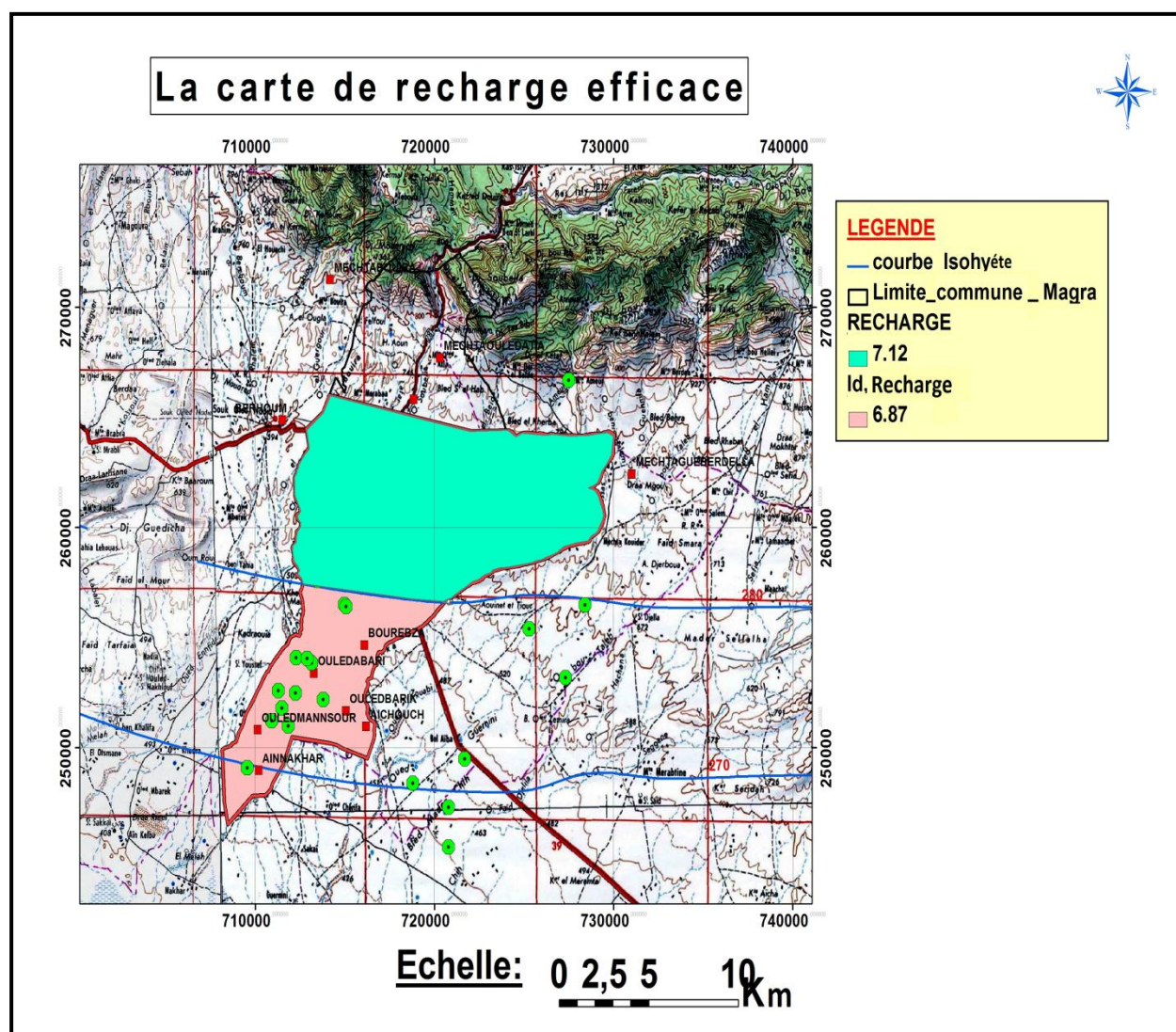


Figure III.3 : Répartition spatiale de la recharge de la région de Magra



Tableau III.2 : Indice du paramètre recharge à la nappe du Magra

Classe (mm)	Superficie	Cote	poids	Indice
0 à 50	90.24	1	4	4
0 à 50	53.99	1	4	4

III.3.3. Indice DRASTIC milieux aquifères (A)

Le paramètre du milieu aquifère désigne la lithologie des aquifères et il intervient dans le piégeage des polluants, entre les nitrates échappés au pouvoir d'absorption du sol.

Son identification a été basée sur les logs et les coupes lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude. L'analyse de ces données montre que le matériau aquifère de la nappe de MAGRA est constitué essentiellement de graviers, sables et grés.

Les indices correspondant à ce paramètre ont été estimés selon la notation illustrée dans le tableau III.3.

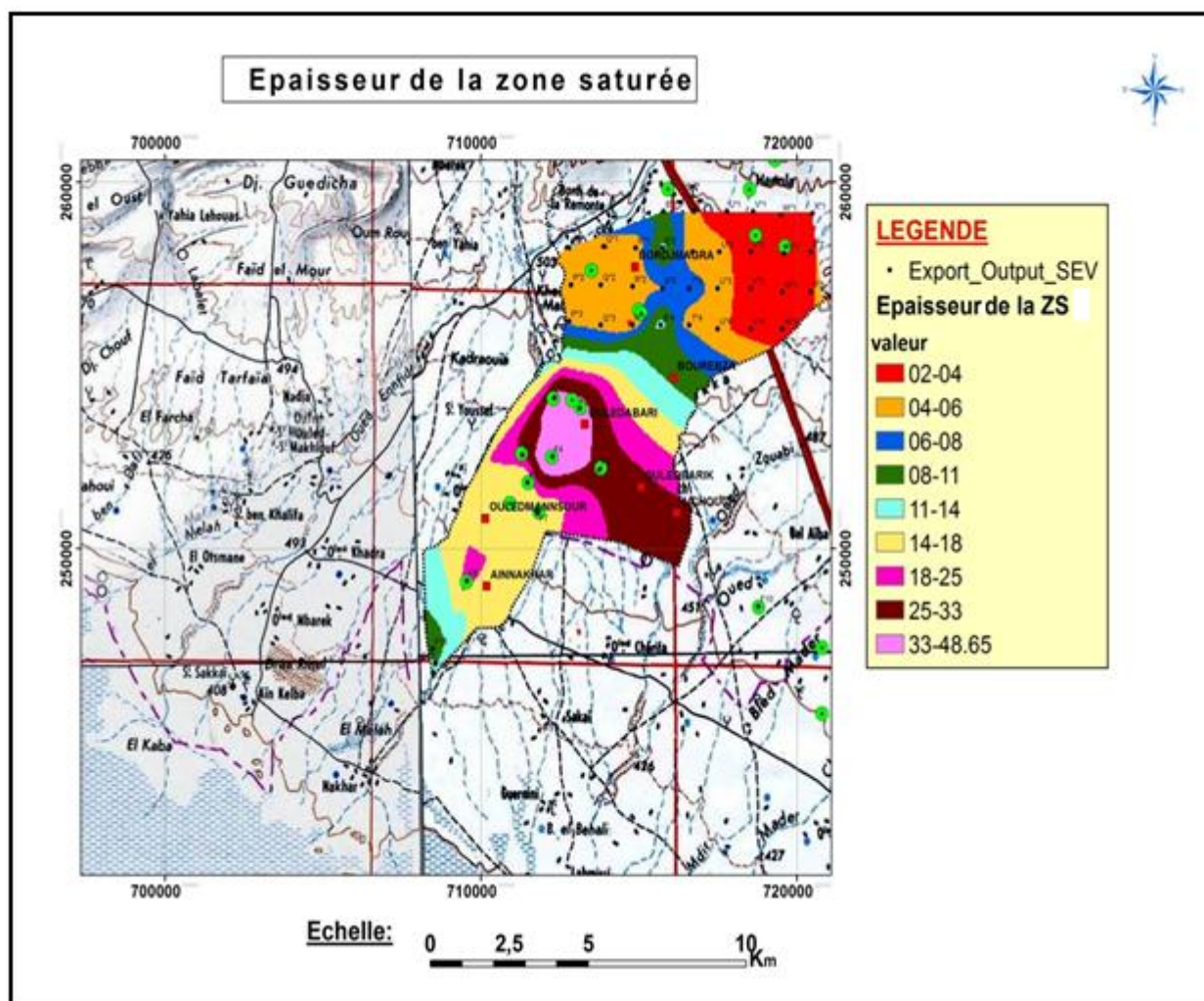


Figure III.4 : Répartition spatiale de matériaux aquifères de la région de Magra

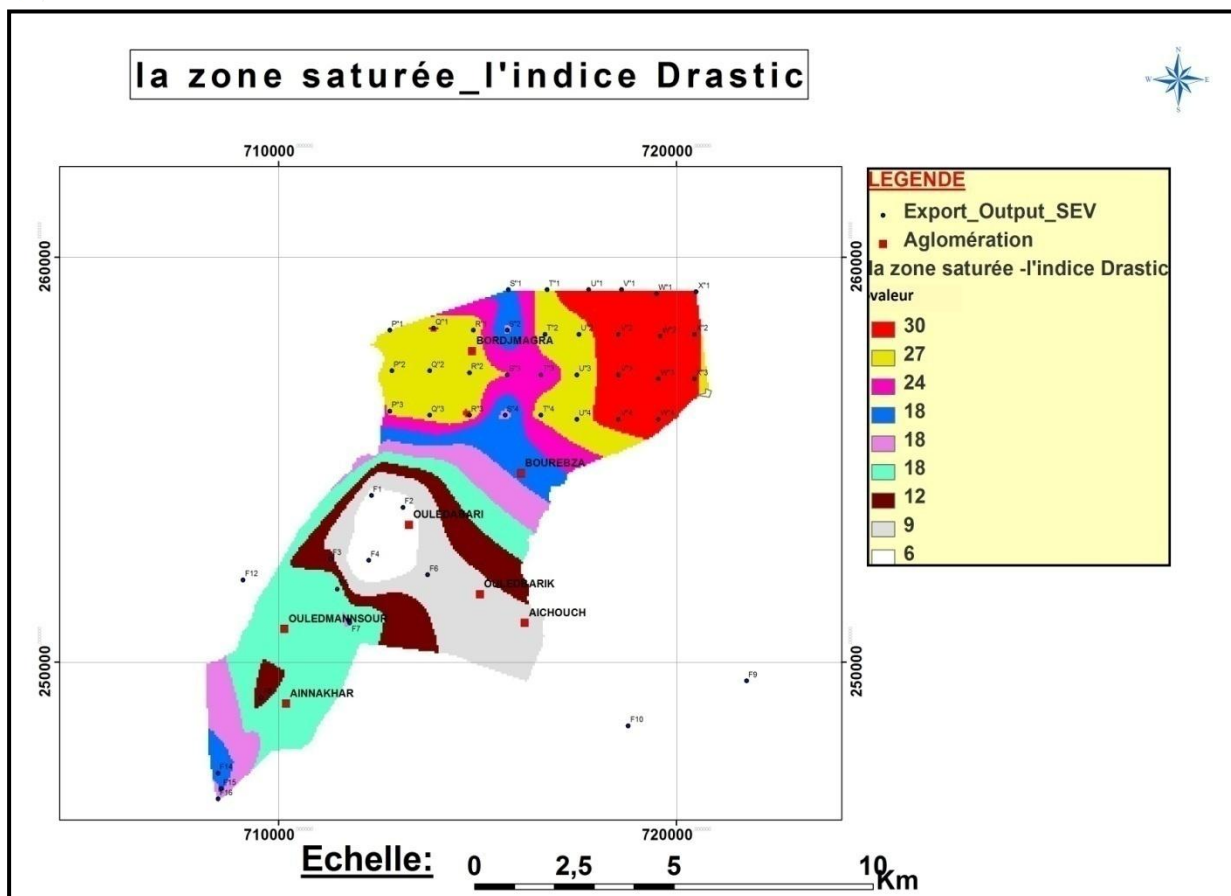


Figure III.6: Répartition spatiale de l'indice DRASTIC des matériaux aquifères

Tableau III.3: Indice du paramètre matériaux à la nappe du Magra

Classe	Superficiel	Cote	Poids	Indice
02-04	9.31	10	3	30
04-06	11.57	9	3	27
06-08	5.77	8	3	24
08-11	5.52			
11-14	5.15			
14-18	13.90	6	3	18
18-25	6.49	4	3	12
25-33	9.22	3	3	9
33-48.65	3.50	2	3	6



III.3.4. Indice de sol (S)

La nature du sol est un paramètre important, elle peut réduire ou accélère le Transfer d'un polluant provenant de surface.

Plus le sol est riche en matériaux argileux, plus l'absorption des polluants est importante et la protection des eaux souterraines est grande.

Les informations recueillies à partir des études et cartes pédologiques ont permis de définir la nature du sol (figure III.6).

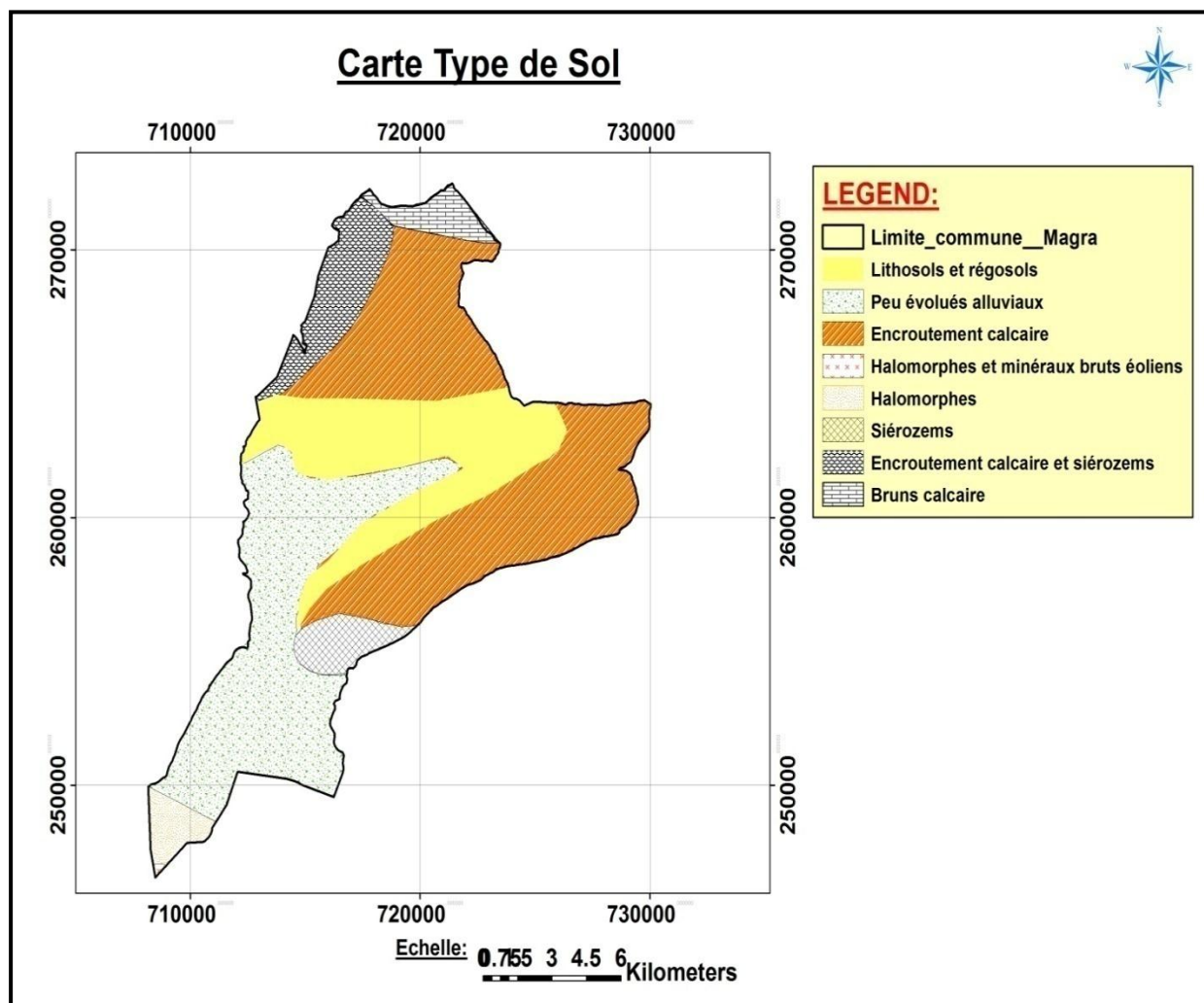


Figure III.6 : Répartition spatiale du type sol de la région Magra

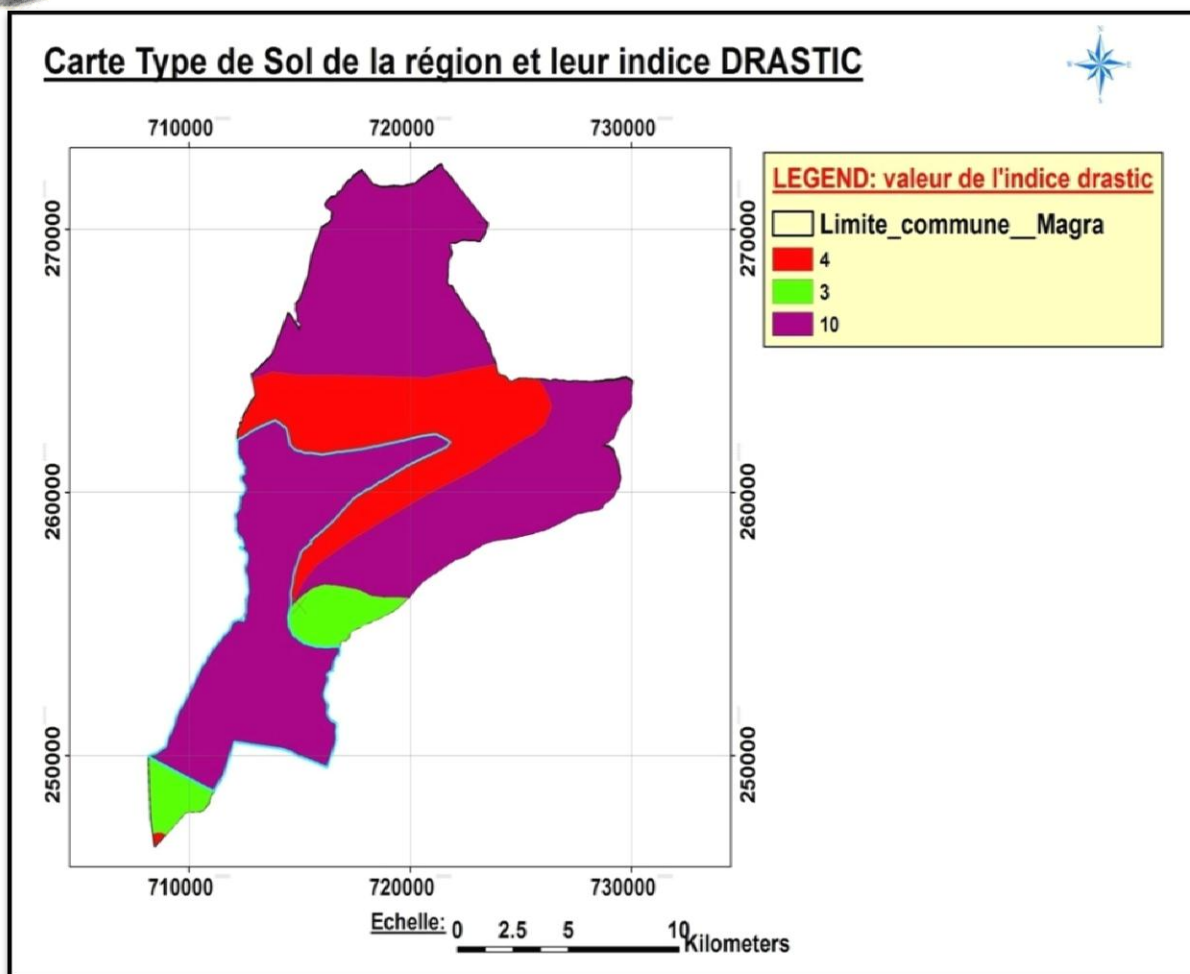


Figure III.7 : Répartition spatiale de type de sol assignée à leur cote et poids

Tableau III.4 : Indice du paramètre sol de la région de Magra

Sol	Type	Superficie	Cote	Poids	Indice
Peu épais ou absent	calcaire	164.397	10	2	20
Peu évolués alluviale	Sable et gravier				
Sierozems	Limon argileux	12.389	3	2	6
Halomorphes	Limonsilteux	46.703	4	2	8
Halomorphe et minéraux bruts éoliens					
Lithosol et régosols					



III.3.5. Indice DRASTIC topographie (T)

La pente du terrain influe sur le ruissellement et l'infiltration des eaux de surface vers la nappe. La pente a été calculée à partir du modèle numérique de terrain (MN).

L'analyse des données a fait ressortir 07 classes de pentes.

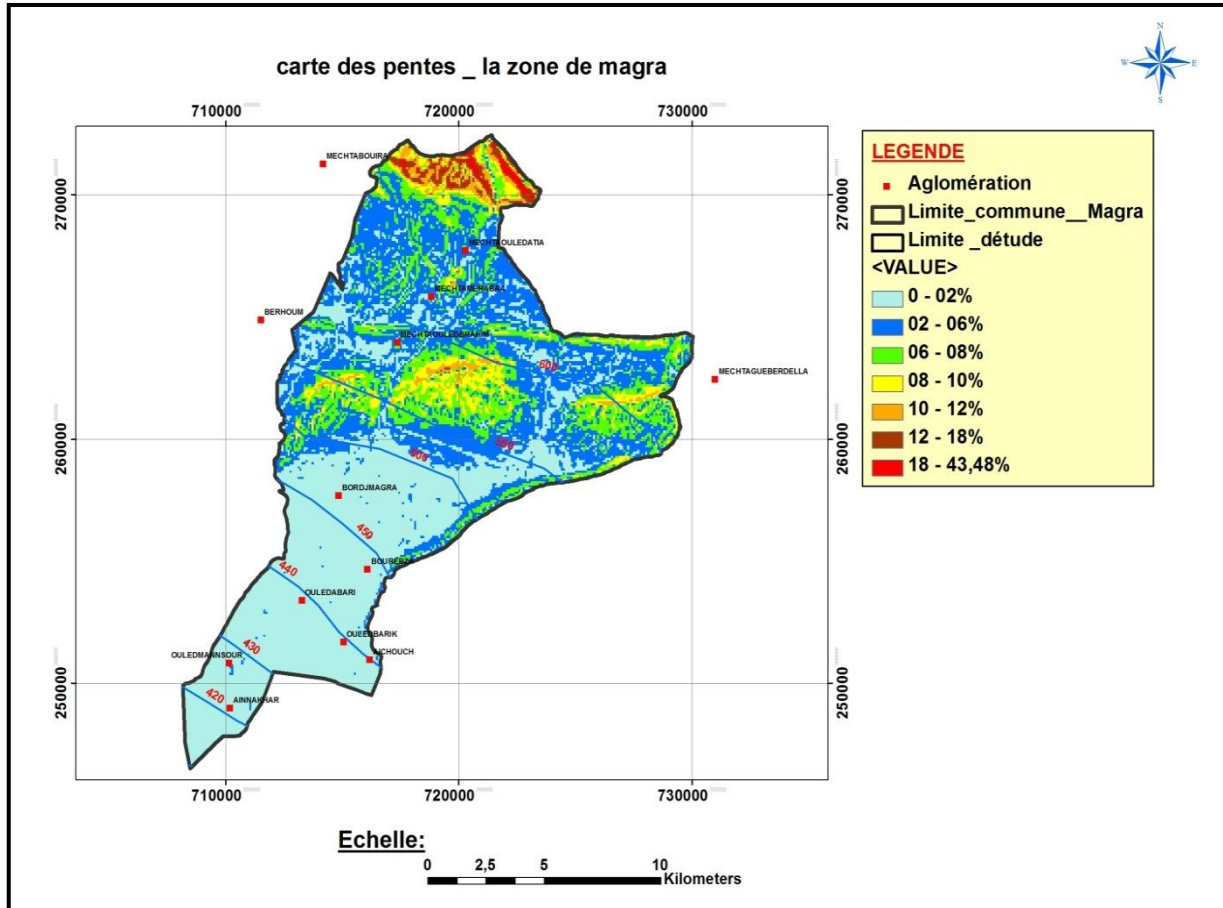


Figure III.8: Répartition spatiale de la pente de la région d'étude

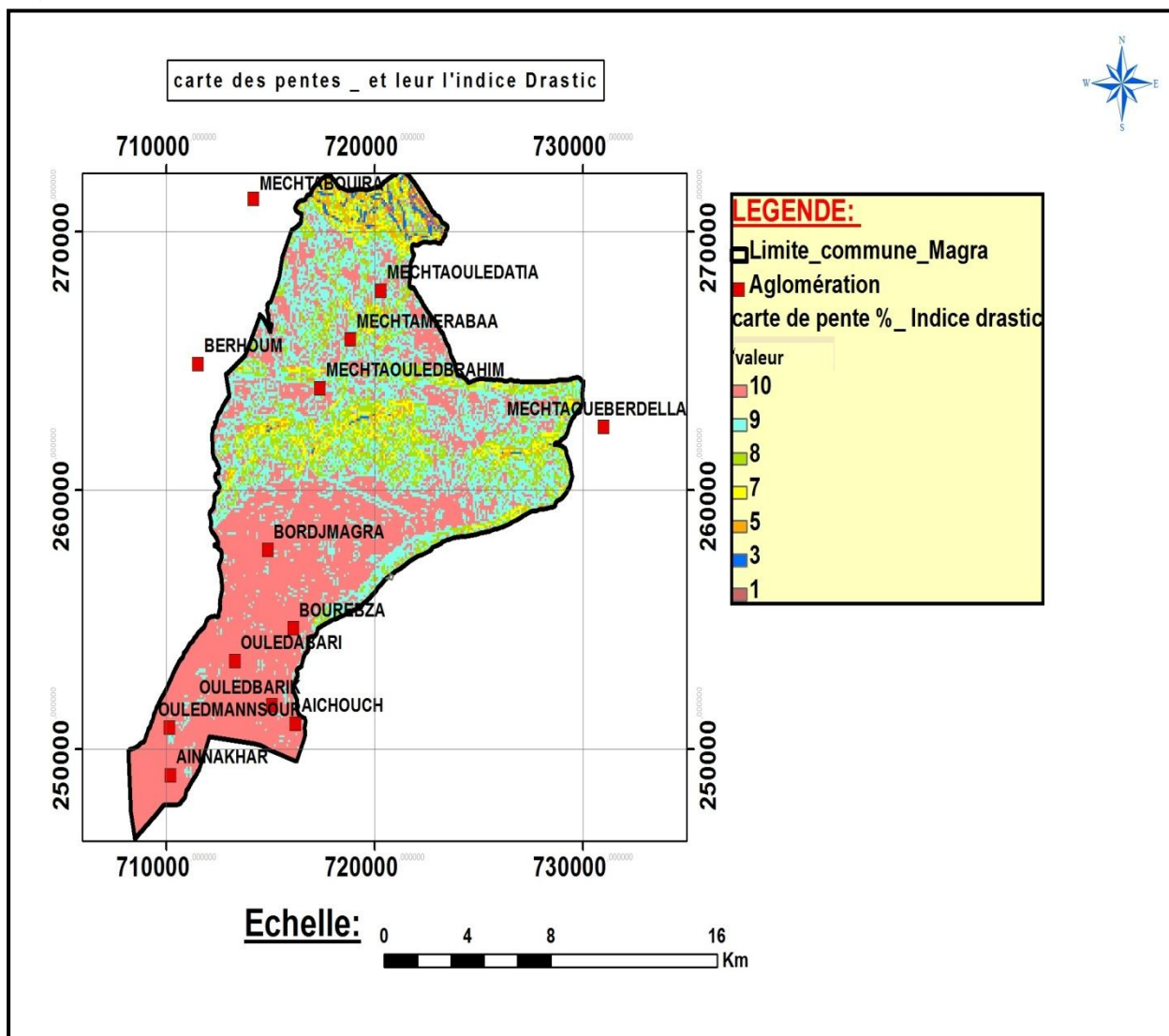


Figure III.9 : Répartition spatiale de pente assignée à leur cote et poids

Tableau III.5 : Indice du paramètre topographie à la nappe du Magra

Classe	Superficie %	Cote	Poids	Indice
0-2%	32.77	10	1	10
2-6%	52.25	9	1	9
6-8%	10.95	8	1	8
8-10%	13.24	7	1	7
10-12%	0.45	5	1	5
12-18%	4.15	3	1	3
18-43.48%	1.09	1	1	1



III.3.6. Impact de la zone vadose

C'est la zone qui est située entre la surface du sol et la nappe d'eau. La nature lithologique de cette zone influe sur la vitesse de propagation verticale des polluants vers les eaux souterraines. Pour réaliser cette carte, on a utilisé les coupes géologiques des forages dont leur interprétation a fait ressortir deux classes.

Ils sont obtenus par l'interprétation et corrélation des données de forages et par la digitalisation de la carte géologique (1/50000). Les différentes classes ainsi obtenues sont pondérées de 1 à 9 selon la méthode DRASTIC.

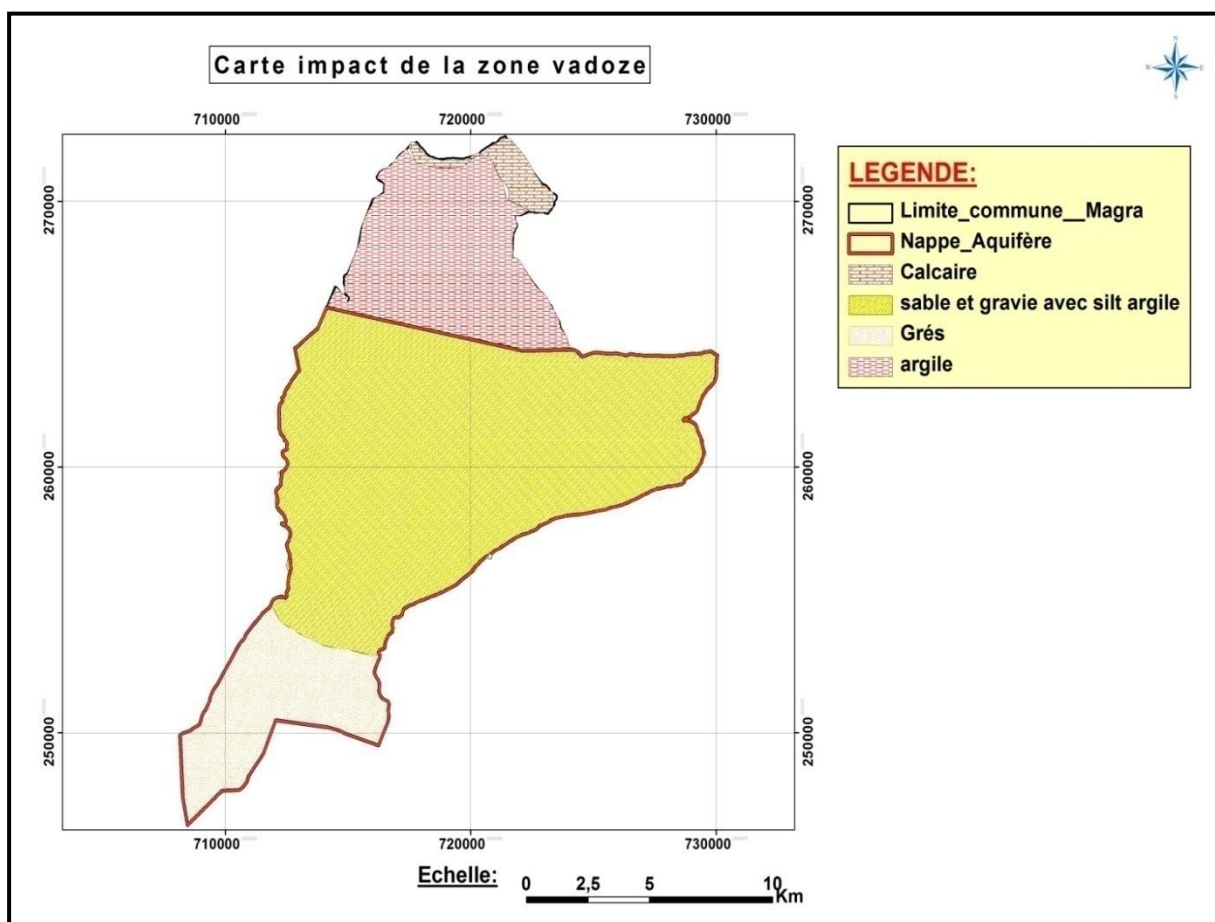


Figure III.11 : Répartition spatiale de la zone non saturée de la région

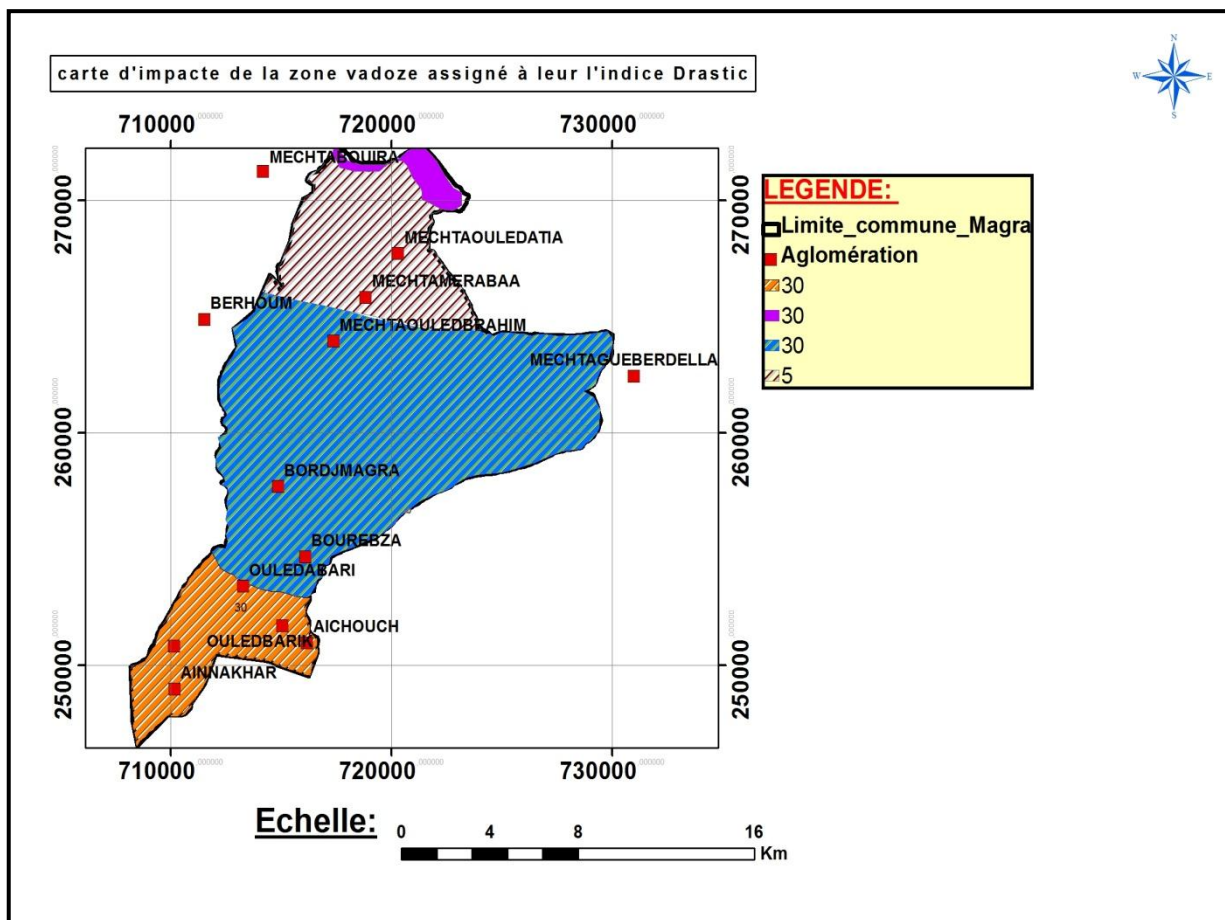


Figure III.12 : Répartition spatiale de la zone non saturée assignée à leur cote et poids

Tableau III.6 : Indice du paramètre de la zone non saturée à la nappe du Magra

Classe	Superficie %	cote	Poids D_w	Indice
Calcaire	5.40			
Sable et gravier avec silt argileuse	142.68	6	5	30
Grés	31.72			
Argiles	43.72	1	5	5



III.3.7. Conductivité hydraulique de l'aquifère

La conductivité hydraulique de la couche aquifère nous renseigne sur la vitesse de migration des polluants et leur dispersion dans la nappe du point d'injection à la surface jusqu'à la zone saturée et par conséquent, leur concentration dans la nappe aquifère. Plus ce paramètre est important, plus le transfert du polluant est rapide.

$$T = 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 5.4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

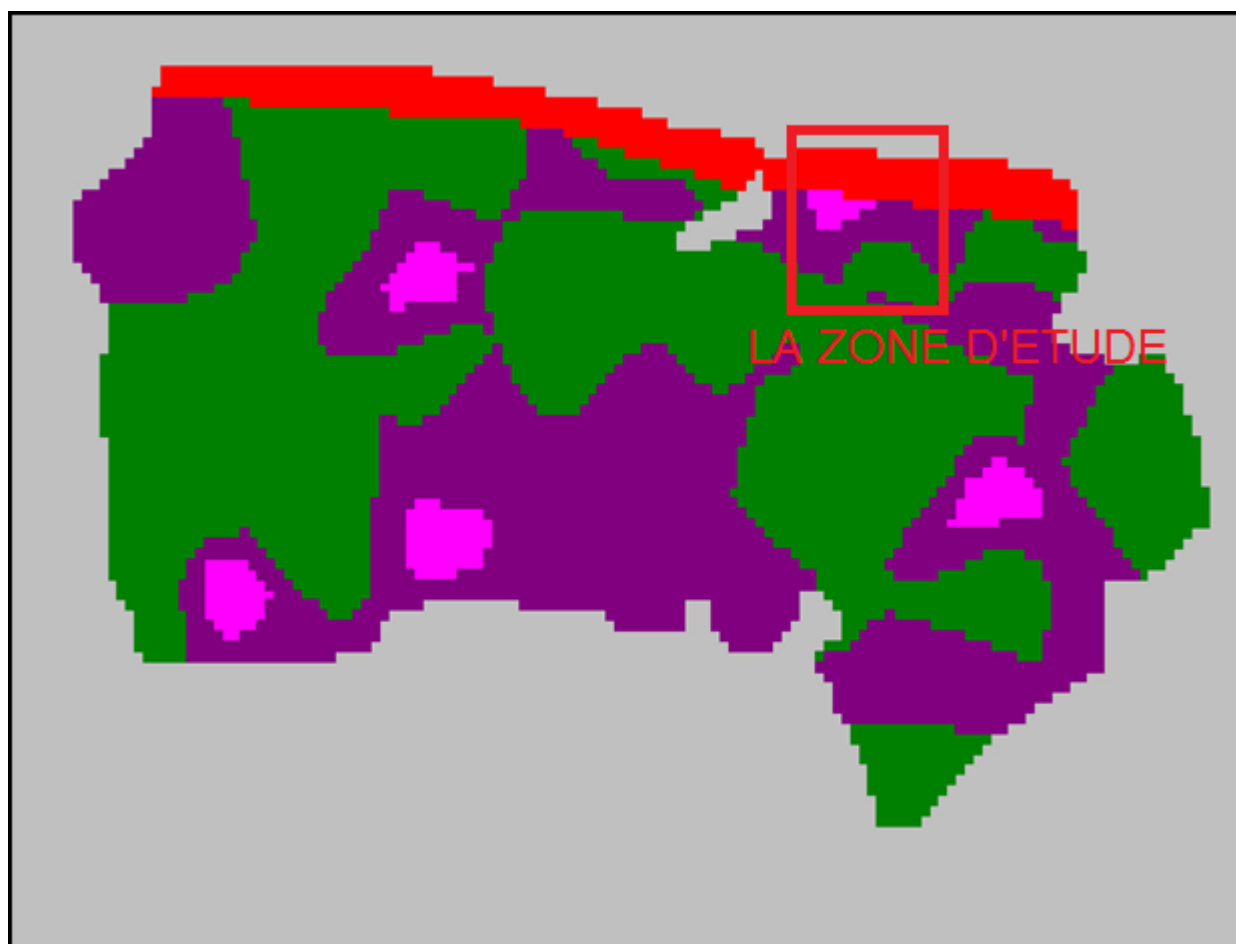


Figure III.13 : Carte pluviométrique modèle HODNA 2005 (source l'ANRH)



III.4. Résultats et interprétation

La méthode DRASTIC permet de calculer les indices de vulnérabilité. Ces indices représentent une évaluation du niveau de risque de contamination qui augmente avec la valeur de l'indice entre 65 et 111. La répartition spatiale de ces indices faite grâce au système d'information géographique (SIG) permet d'obtenir une carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. L'intérêt de cette carte réside dans le fait qu'elle étend le champ de vision sur l'ensemble de la région d'étude de Magra et ne se limite donc pas aux endroits où la pollution a déjà contaminé les eaux souterraines et où elle est mesurée. Elle permet ainsi la prise de décision de mesures de protection.

Le calcul des pourcentages de vulnérabilité à l'aide de la formule 2 et l'application de la classification d'ENGEL et AL (1996) permet d'obtenir, au niveau de la zone de Magra trois (03) classes de vulnérabilité. L'analyse de cette carte montre une dominance des aires à vulnérabilité faible et moyenne dans la majorité de la nappe phréatique.

III.4.1. Elaboration de la carte de vulnérabilité

Pour calculer l'indice de la vulnérabilité de la zone d'étude on a procédé à :

- ❖ La discrétisation de la zone d'étude en espace (500*500)
- ❖ Calculer l'indice pour chaque nœud des mailles
- ❖ La création d'une carte thématique de vulnérabilité

III.4.2. Cartographie de la vulnérabilité de la nappe alluviale du Magra

A l'aide du calcul de l'indice de vulnérabilité qui intègre les sept paramètres, on a élaboré la carte de vulnérabilité. Les indices obtenus varient entre 65 et 111 et à partir de ces indices, on a obtenu deux plages de vulnérabilité.

Tableau III.7 : Classification des plages de vulnérabilité

Valeur de l'indice ID	Degré de la vulnérabilité	Superficie%
$65 < ID < 100$	Faible	156.01
$ID > 101$	Moyenne	15.26

Tableau III.8: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC(ENGELetAL.1996)

Valeur de l'indice ID	Degré de la vulnérabilité
$ID < 101$	Faible
$101 < ID < 140$	Moyenne
$140 < ID < 200$	Fort
$ID > 200$	Très fort

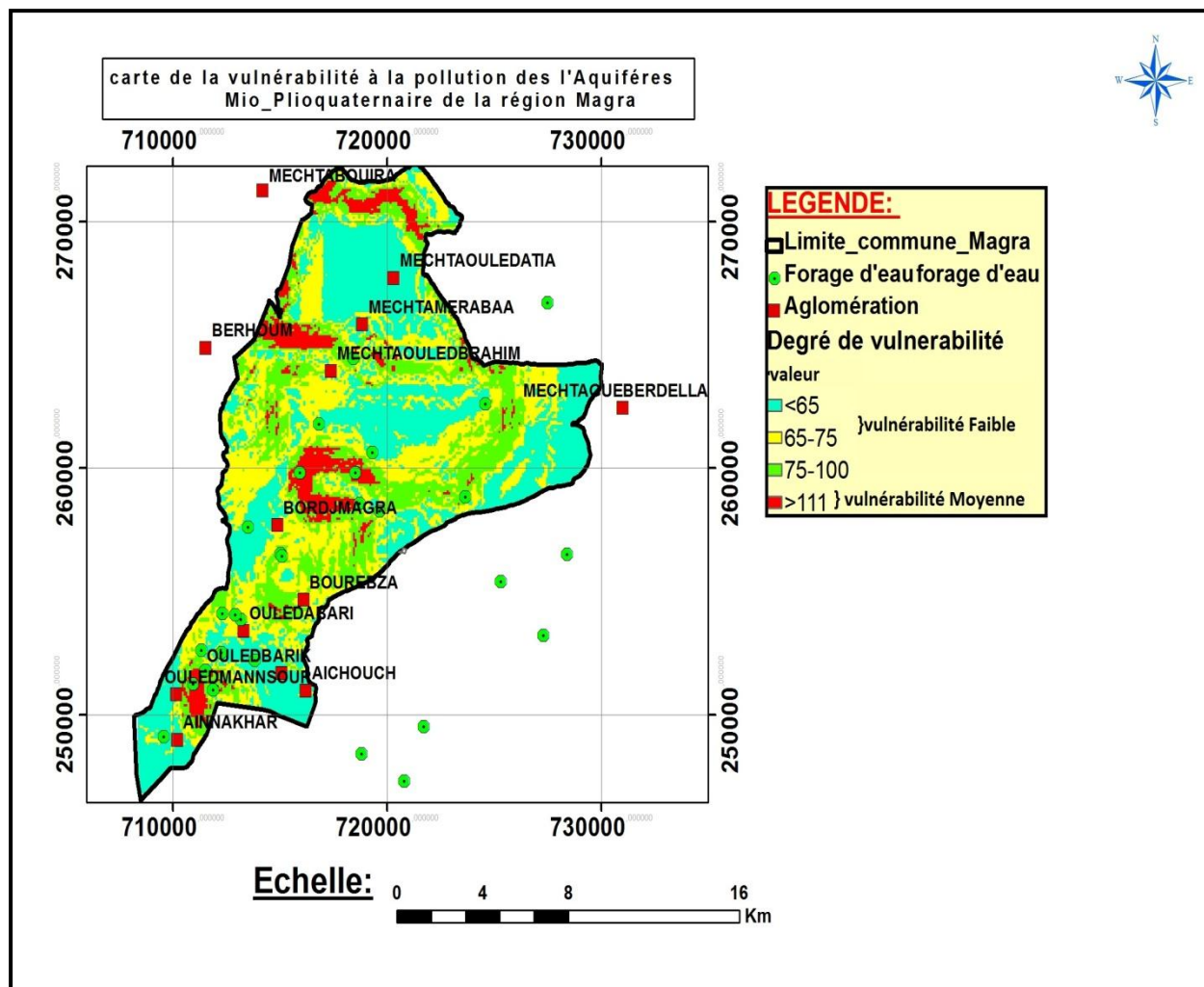


Figure III.14 : La carte vulnérabilité de la nappe alluviale de la plaine de Magra

III.4.3. Commentaire de résultats

- ❖ **Classe Moyenne :** elle occupe la partie centrale et la partie Nord-Ouest de la région, ceci s'explique par l'épaisseur de la zone non saturé ($N_s > 18m$) et la zone vadose riches en matériaux argileux qui retardent la propagation des polluants vers la nappe d'eau.
- ❖ **Classe Faible :** elle occupe le reste de la nappe d'eau. Ce degré de vulnérabilité s'explique par la profondeur de la nappe d'eau ($N_s < 11m$). Les matériaux grossiers constituent la zone vadose et à la richesse du sol en sable. Ces paramètres favorisent le transfert vertical des polluants.
- ❖ Les forages existants sont situés dans la zone à degré de vulnérabilité faible, donc les conditions de la pollution sont faibles pour les eaux de consommation par ces forages.



III.4.4. Degré de vulnérabilité et répartition spatiale des nitrates (Niveau de la validité de la carte de vulnérabilité à la pollution)

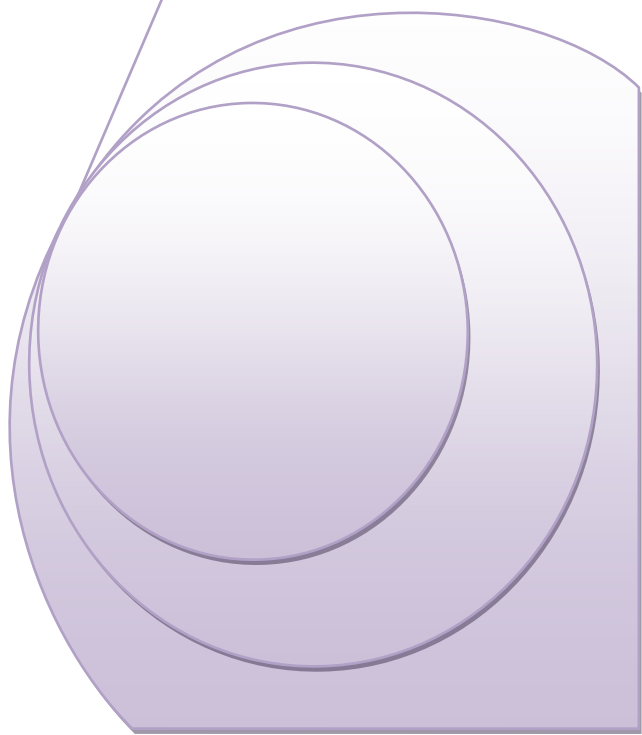
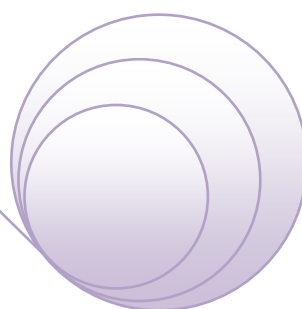
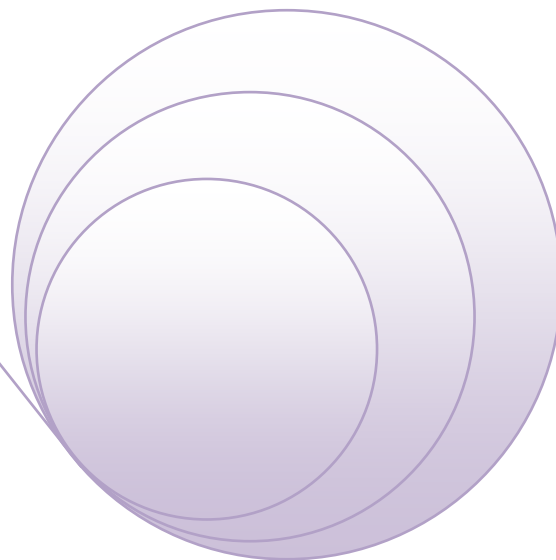
De plus la variation du taux de nitrate moyen au cours des campagnes de mesures montre que les teneurs en nitrates sont plus élevées en période de basses eaux. Les concentrations de nitrates contenus dans les eaux souterraines de la région de Magra varient entre 1 et 32 mg/l. Ces concentrations sont dans leur majorité inférieure à la norme fixée par l'OMS (50 mg/l).

Plus de 19 forages et puits, ont fait l'objet d'analyse chimique. Ces analyses indiquent que le niveau des nitrates dans 32% des points d'eau dépasse largement la limite admissible de l'OMS (50mg/l). En comparant la carte DRASTIC avec la carte de distribution des nitrates en concentration en nitrates.

Conclusion :

Les différents points abordés le long de ce chapitre ont mis en évidence la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Magra. Notre approche a permis de déterminer et classifier les zones de vulnérabilité, qui montrent que la quasi-totalité de la nappe présente une classe de vulnérabilité faible et que des mesures doivent être prises pour mettre à l'abri de la contamination par des polluants qui pourront exister à la surface de la zone. La carte vulnérabilité a ainsi une vocation à devenir un véritable outil d'aide à la gestion et à la surveillance de la ressource en eau souterraine.

***CONCLUTION
GENERALE***





Conclusion générale

L'étude de la nappe de la région de Magra est située à l'Est de M'sila dont les principaux aquifères sont du Quaternaire et Mio-Pliocène continental formés par des argiles, sables, graviers et grès.

Cependant, l'intrusion de certains polluants dans l'aquifère modifie la qualité de l'eau et réduit son usage pour le consommateur. L'estimation de la vulnérabilité permet de préciser les zones les plus sensibles aux activités anthropiques. Une fois identifiées, ces zones peuvent être gérées avec précaution par les planificateurs et les utilisateurs. Les logiciels SIG ayant des fonctionnalités cartographiques, permettent de réaliser une cartographie thématique selon des représentations standardisées.

La méthodologie utilisée dans ce travail consiste à développer un système d'informations géographiques SIG lié à une base de données pour la nappe de Magra.

La méthode DRASTIC permet de déterminer le degré de vulnérabilité et le potentiel polluant des eaux souterraines.

C'est une méthode paramétrique qui utilise la somme des produits des sept paramètres : profondeur de la nappe, recharge nette, lithologie de la zone saturée, type du sol, topographie (pente), lithologie de la zone non saturée et conductivité hydraulique de l'aquifère.

Dans le SIG, chaque paramètre est noté sur une couche en lui affectant une valeur numérique correspondant à son poids, c'est-à-dire son influence sur la vulnérabilité de la nappe.

Ensuite, ces couches sont superposées sur une couche résultat où sera calculé l'indice DRASTIC.

La carte de vulnérabilité de la nappe du commune Magra réalisée à partir de la méthode DRASTIC a révélé deux classes de vulnérabilité : faible et moyenne, avec des variations des indices DRASTIC de 65 à 100 pour la classe faible et un ID supérieur à 101 pour la classe moyenne.

La classe la plus dominante est la classe faible, qui représente la quasi-totalité de la plaine et correspond à une protection hydrogéologique incertaine des eaux souterraines en considérant l'échelle de vulnérabilité hydrogéologique comme assurément bien protégée.

La connaissance territoriale de l'enjeu plus ou moins fort que constituent les nappes souterraines est un élément important en termes d'aménagement du territoire et de gestion des eaux. Au-delà des constantes de bonne ou mauvaise qualité des eaux souterraines, il est nécessaire d'appréhender leur vulnérabilité en termes de sensibilité à la pollution, pour comprendre et remédier à des situations passées, mais aussi prévenir des situations futures.

The page features a decorative design with three purple circles of varying sizes, each composed of multiple overlapping layers. These circles are positioned in the top right, middle right, and bottom right areas. Two thin purple lines originate from the top left and extend towards the right, framing the circles. The word "ANNEXE" is centered on the page in a bold, italicized purple font.

ANNEXE



Annexe I : log stratigraphique synthétique de la région de Berhoume (1990)

SONDAGE **BERHOUM**

Carte : *Ain Kelba n° 197* Ech: 1/50000

Date des travaux : 1990

Echelle de la coupe : 1/100

N° Fichier Forages **708-F9** N° Inventaire **236/197**

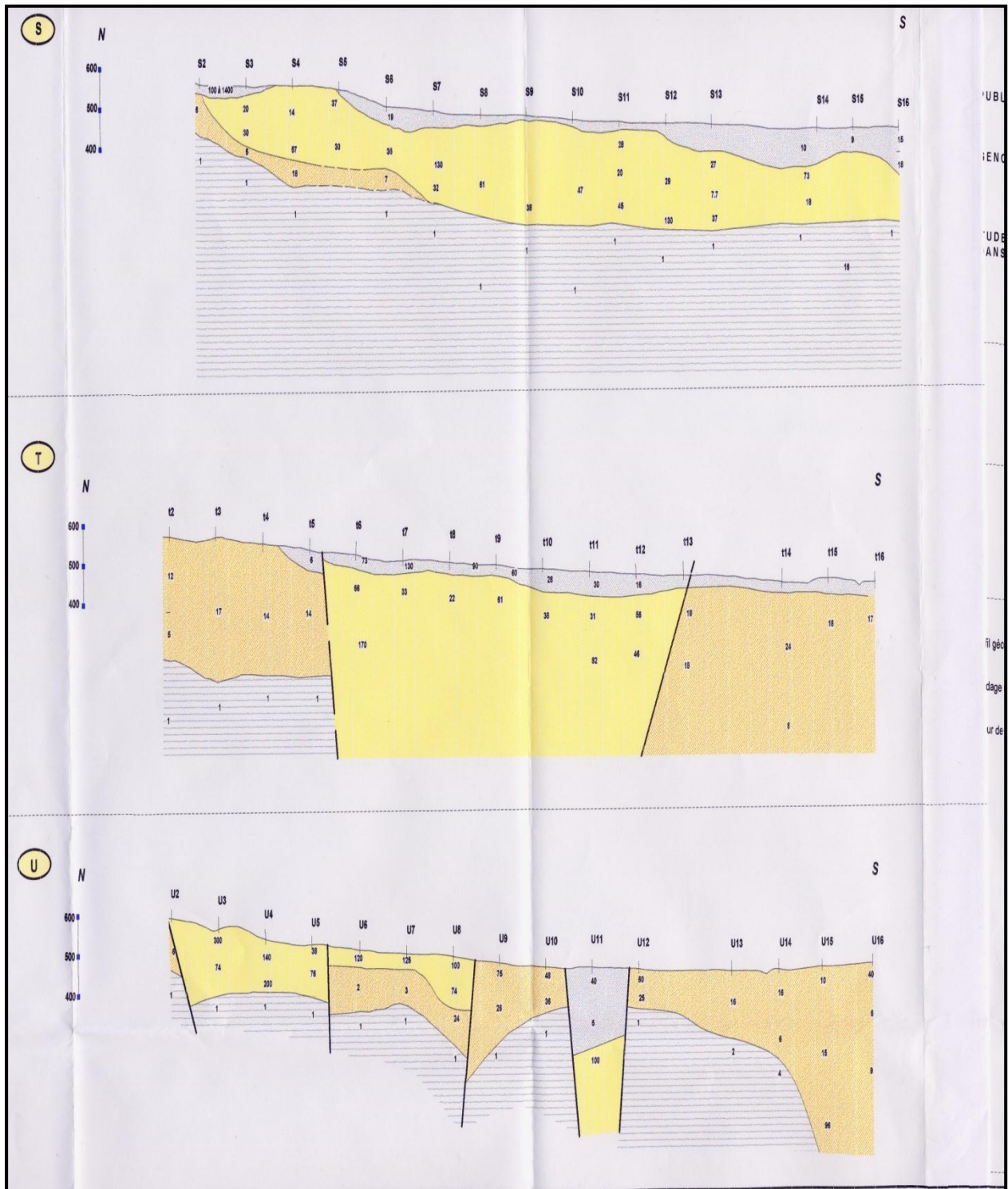
Long : X 711,300 Lat : Y 232,600 Z 468

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0					Argile brunâtre et jaunâtre (0-10m)	QUATERNAIRE - MIO-PLIOCÈNE
0-10					Gravier calcaire argileux (10-20m)	
20					Argile et gravier 50% (20-32m)	
30					Gravier et argile jaunâtre (32-36m)	
40					Gravier et zacs niveaux argileux (36-47m)	
40-50					Argile et gravier (47-49m)	
60					Gravier et argile 30% (49-66m)	
70					Argile et zacs graviers (66-70m)	
80					Gravier calcaire (70-84m)	
90					Argile, silteuse et gravier 10% (84-92m)	
100					Gravier calcaire (92-121m)	
110						
120					Graviers et argile 20% (121-129m)	
130					Gravier grossier et sable (129-138m)	
140					Argile jaunâtre et rare gravier (138-145m)	
140-150					Gravier et argile 25% (145-156m)	
160					Argile et gravier (156-164m)	
170					Gravier calcaire (164-184m)	
180						
190					Sable et argile carbonatée (184-196m)	
200					Gravier et argile (196-201m)	
210					Gravier argileux (201-211m)	
220					Argile et gravier (211-220m)	

mis à jour par *MS D. KHALIL* le *Juillet 1990*



Annexe II : Coupe géo-électrique

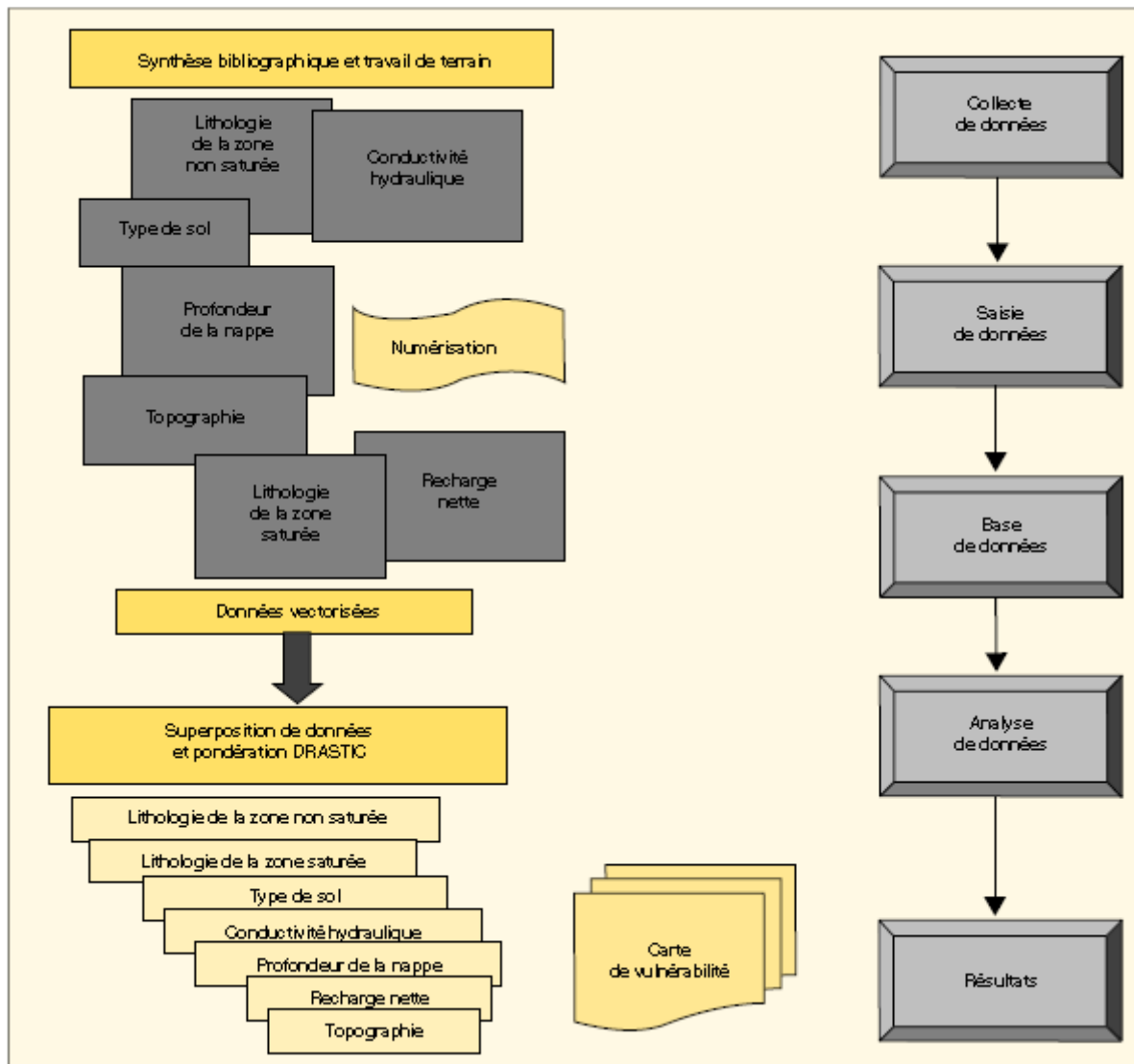


**Annexe III : Données utilisées pour le calcul de la vulnérabilité**

Paramètre	Principale source d'information
D -profondeur d'eau	<ul style="list-style-type: none">❖ Coupes de forages❖ Compagne piézométrique
R -Recharge efficace	<ul style="list-style-type: none">❖ Etudes hydrogéologiques❖ Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord
A -Matériaux de l'aquifère	<ul style="list-style-type: none">❖ Cartes géologiques (9 feuilles au 1/50000ème et 1 feuille au 1/200000ème)❖ + notices explicatives.❖ Coupes lithologiques des forages❖ Etudes géophysiques❖ Etudes hydrogéologiques
S -Type de sol	<ul style="list-style-type: none">❖ Etudes Agro-Pédologiques du périmètre du bas Cheliff❖ Etude des sols des plaines du Cheliff❖ Cartes pédologiques des plaines de Relizane, d'Inkermann (Cartes au 1/50000ème)
T -Topographie	<ul style="list-style-type: none">❖ Cartes des pentes de la région (Cartes SRTM)
I -Impact de la zone non saturée	<ul style="list-style-type: none">❖ Cartes géologiques (9 feuilles au 1/50000ème et 1 feuille au 1/200000ème)❖ + notices explicatives.❖ Coupes lithologiques des forages❖ Etudes géophysiques❖ Etudes hydrogéologiques
C -Perméabilité	<ul style="list-style-type: none">❖ Etudes hydrogéologiques



Annexe IV : Les étapes d'élaboration de la carte de vulnérabilité par le SIG.





Annexe V : la méthode DRASTIC paramètres et cotation

La méthode DRASTIC, paramètres et cotation

$D_r D_t + R_w R_d + A_w A_t + S_w S_t + T_w T_t + I_w I_t + C_w C_t = \text{DRASTIC index}$

PROFONDEUR A LA NAPPE (m)	
Facteur multiplicatif (poids) = 5	
Intervalle des valeurs	Cotes
0 - 1,5	10
1,5 - 4,5	9
4,5 - 9	7
9 - 15	6
15 - 23	3
23 - 31	2
> 31	1

RECHARGE (cm/a)	
Facteur multiplicatif (poids) = 4	
Intervalle des valeurs	Cotes
0 - 5	1
5 - 10	3
10 - 18	6
18 - 25	8
> 250	9

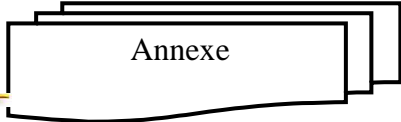
TYPE DE SOL	
Facteur multiplicatif (poids) = 2	
Intervalle des classes	Cotes
Mince ou absent; Gravier	10
Sable	9
Matériau organique (tourbe)	8
Argile fissurée ou agglomérée	7
Loam sableux	6
Loam	5
Loam limoneux	4
Loam argileux	3
Matériau organique (terre noire)	2
Argile intacte	1

TYPE D'AQUIFERE		
Facteur multiplicatif (poids) = 3		
Intervalle des classes	Cotes	Cotes moy
Shale massif	1 - 3	2
Roche métamorphique ou ignée non altérée	2 - 5	3
Roche métamorphique ou ignée altérée ou fracturée III	3 - 5	4
Séquence de grès, calcaire et shale	4 - 6	5
Grès ou calcaire massif	5 - 9	6
Sable et gravier	4 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	9 - 10	10

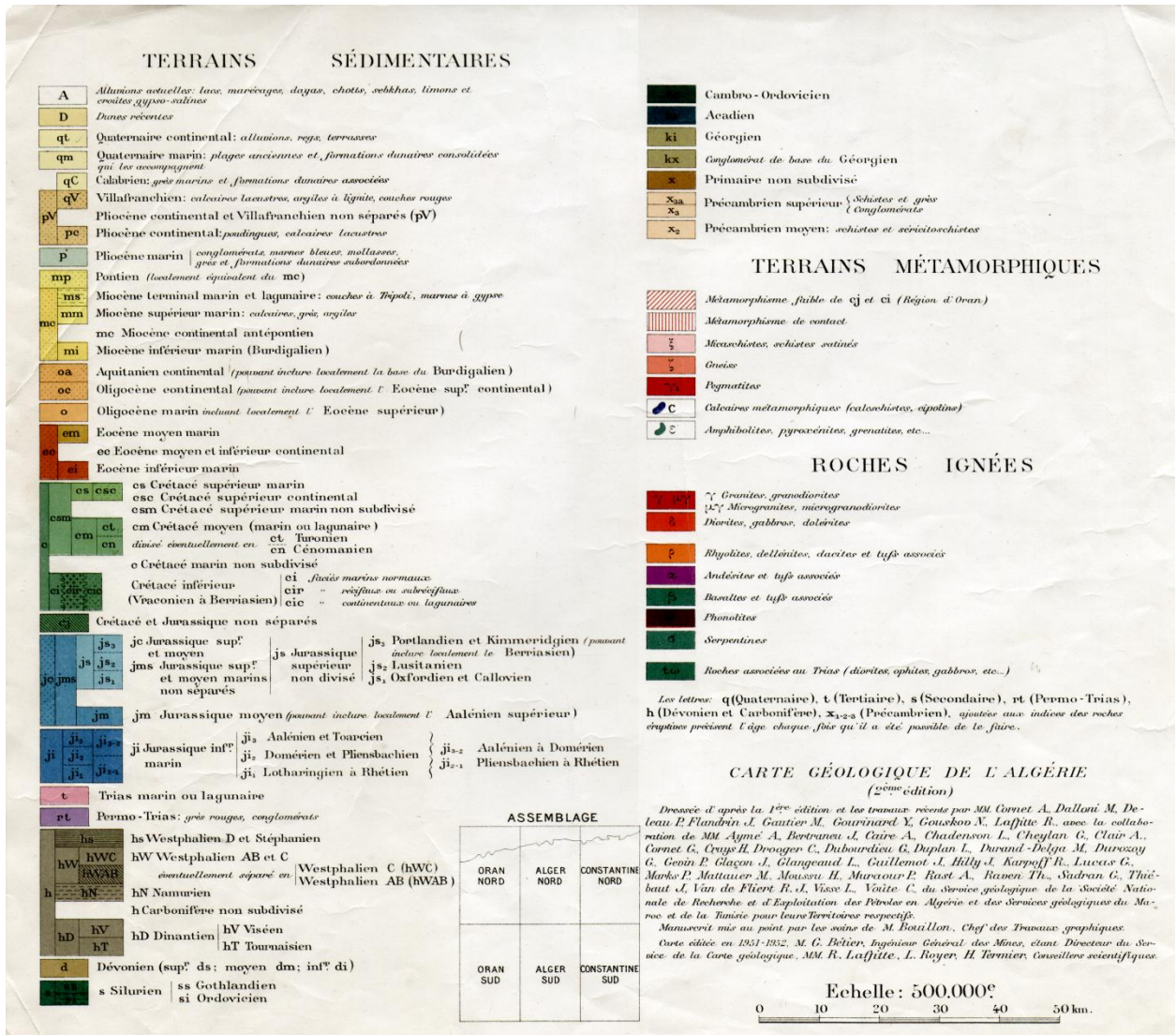
ZONE VADOSE		
Facteur multiplicatif (poids) = 5		
Intervalle des classes de la zone non saturée	Cotes	Cotes moyennes
Aquifère confiné	1	1
SNV argile	2 - 6	3
Shale	2 - 5	3
Calcaire	2 - 7	6
Grès ou séquence de grès, calcaire et shale	4 - 8	6
Sable et gravier avec une bonne proportion de limon et d'argile	4 - 8	6
Roche métamorphique ou ignée	2 - 8	4
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	8 - 10	10

CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE (mD)	
Facteur multiplicatif (poids) = 3	
Intervalle des valeurs	Cotes
< 4	1
4 - 12	2
12 - 29	4
29 - 41	6
41 - 81	8
> 81	10

TOPOGRAPHIE					
Facteur multiplicatif (poids) = 1					
Topographie (%)	0 - 2	3 - 6	7 - 12	13 - 18	> 18
Cotes	10	9	5	3	1



Annexe VI : Légende de la carte géologique



A decorative graphic on the right side of the page. It features three overlapping purple circles of different sizes, arranged vertically. The top circle is the largest, the middle one is smaller, and the bottom one is the smallest. The circles are positioned on the right side of the page, with the top one near the top right, the middle one in the center right, and the bottom one near the bottom right. The circles are partially cut off by the right edge of the page. The word "BIBLIOGRAPHIE" is centered on the page, below the middle circle.

BIBLIOGRAPHIE

**BIBLIOGRAPHIE**

ANRH : caractéristique de la région d'étude nappe du HODNA (région MAGRA).

Labo ADO : les analyses chimiques de l'eau [NO³⁺].

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU, SUPDIVISIONAIRE DE DAIRA DE MAGRA : données sur les forages.

Données météorologique : Station de Barika.

[1] : MIGUEL Edilasio Augusto Capapelo, PAIM Paulo Jorge da Costa, Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Bas Cheliff Application de la méthode DRASTIC, mémoire master II, 2014-2015

[2] : Hamza M.A., A., Added, A. Frances, R., Rodriguez, M. Ajmi et S. Abdeljaoued (2008) : Évaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe côtière alluvionnaire de Meltine-Ras Djebel-Raf Raf (Nord-est tunisien) selon les méthodes paramétriques DRASTIC, SINTACS et SI ».Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 21, n° 1, 2008.

[3] : Aller L, Benett T, Lehr JH, *et al.* Drastic: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. *National Water Well Association* 1987; Rapport EPA-600 /2-87-035.

[4] : SAHRAOUI Abdelbasset, Erosion éolienne et risque d'ensablement dans la région de Barika : Approche quantitative et cartographie automatique.

[5] : Dr SCHOELER.H. , (1962) Les eaux souterraines Edition MASSON

[6] : Djabri L, 1996 : mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la seyousse. Origine géologiques, industrielles, agricole et urbaine. Thèse de Doctorat d'Etat. Université d'Annaba.

[7] : Albinet M., (1989) : Pollution des eaux souterraines. BRGM. Service d'hydrogéologie.

[8] : Margat J., (1991) : La vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions, Conception-Estimation-Cartographie.

[9] : CHAOUI W. (2007). Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf. Université de Badjimokhtar, Algérie.

[10] : BEZELGUES.S., DES.GARETS.E., MARDHEL.V., DORFLIGER.N., 2002, Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante – Guadeloupe.

[11] M. Mohamed Sinan; Mlle. Najoua Bouibrine (2007): Utilisation des SIG pour la comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la pollution.



Résumé

La région de Magra est située à 60km environ à l'est de la ville de M'sila. La détermination de la vulnérabilité dans la région affectée par la pollution de nature anthropique est un élément très important pour la gestion des ressources en eau. En effet, les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standards pour contribuer à la protection des ressources hydriques souterraines contre une éventuelle pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future. Dans cette étude, on a déterminé la vulnérabilité de la nappe de Magra en appliquant la méthode DRASTIC et à un système d'information géographique (SIG). Etant donné que cette région est d'une agriculture largement développée, on a obtenu des cartes de vulnérabilité qui montrent que presque toute la totalité de la zone présente deux classes de vulnérabilité : faible avec un indice entre [65-100] et une vulnérabilité moyenne d'un indice entre [101-140]. Des mesures de surveillance doivent être prises pour toute activité concernée sur la région.

Summary

Magra region is located about 60km east of the M'sila city. Determination of vulnerability in this region affected by anthropic pollution is a very important element management of water resources. Indeed, aquifer vulnerability maps are standard tools for contributing to the protection of underground water resources against possible pollution. They are valuable for any future decision. In our study, we determined the vulnerability of the Magra water table by applying the DRASTIC method and geographic information system (GIS). Given that this region with a largely developed agriculture, we obtained vulnerability maps that show almost all of the area has two classes vulnerability: low vulnerability with drastic index between [65-100] and medium vulnerability with index between [101-140]. Monitoring measures should be carried out for all relevant activities in this region.

تلخيص

تقع منطقة مقرة حوالي 60 كم شرق مدينة المسيلة. تحديد الضعف في المنطقة المتضررة من التلوث البشري مهم جدا لإدارة الموارد المائية. في الواقع توضح قابلية المياه الجوفية هي الأدوات القياسية للمساهمة في حماية موارد المياه الجوفية من أ يتلوث محتمل. فهي لا تقدر بثمن لاي قرارات في المستقبل. في دراستنا تم تحديد الضعف من أسفل طبقة المياه الجوفية لمقرة من خلال تطبيق طريقة جذرية نظام المعلومات الجغرافية SIG و يجري منطقتنا مع الزراعة وضعت على نطاق واسع تم الحصول عليها خرائط الضعف التي تظهر ان اكثر من أي شيء من هذا المؤشر منطقة درجتين الضعف منخفضة بين [100-65] و متوسط مؤشر الضعف بين [140-101] وانه يجب اتخاذ تدابير الرامية الى أي نشاط ذي صلة بمنطقة مقرة.