

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

Faculté de Technologie

FILIERE : Hydraulique

Département d'Hydraulique



Option : Ouvrage Hydraulique

Mémoire présenté pour l'obtention du
diplôme de Master Académique

Par : Hasbaia Kamel

Abdelli Younes

Intitulé

Délimitation des zones de recharge potentielle
des eaux Souterraines dans le bassin de M'Djedel

Soutenu devant le jury composé de

Temim Djamel

Université M'sila

Président

Mezali Farouk MCB

Université M'sila

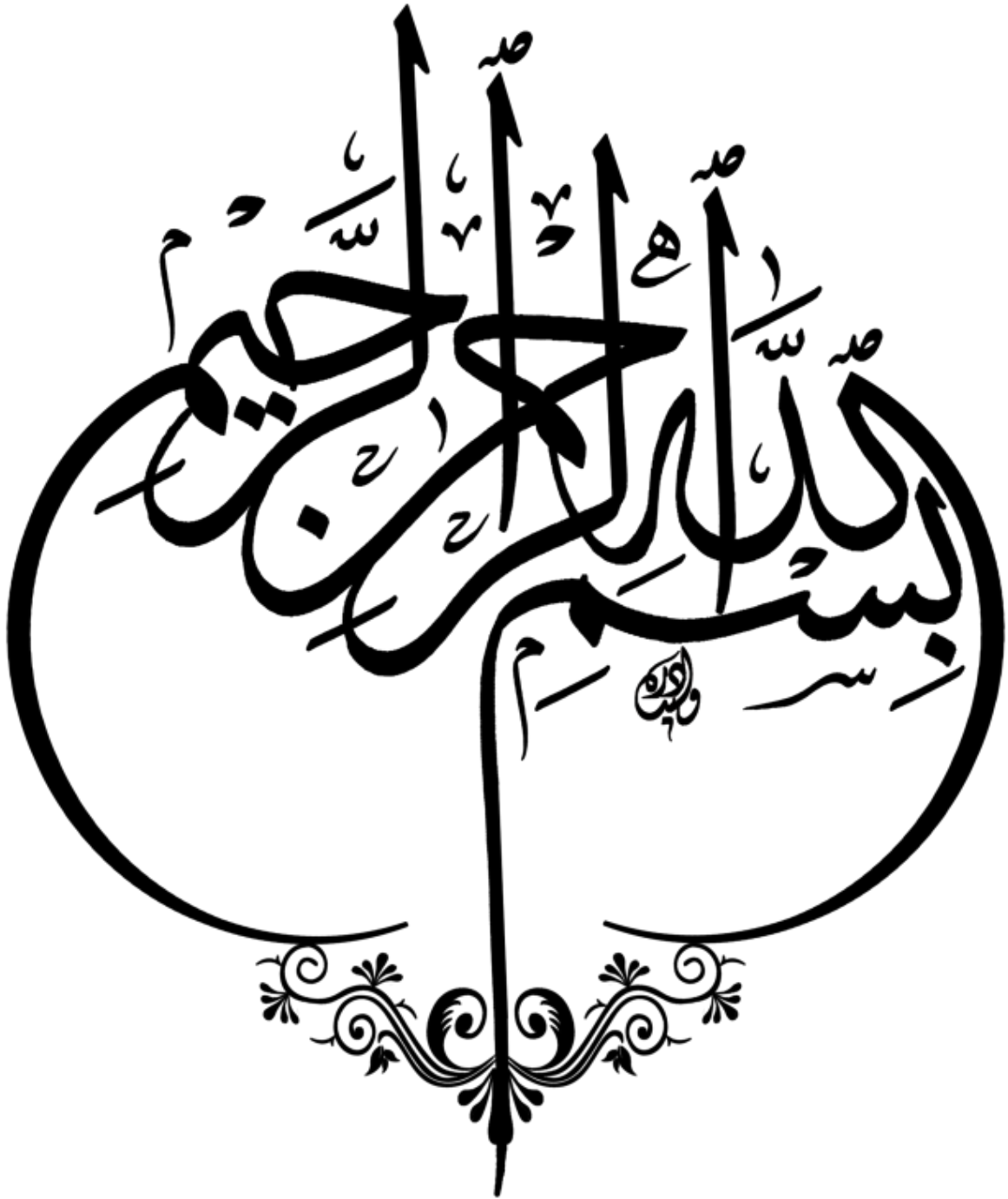
Rapporteur

Mahdi Jalal

Université M'sila

Examineur

Promotion : 2022/2023





Remerciements

الحمد لله وحده أهل الحمد و أهل الثناء على توفيقه لنا و تهيئته للظروف
التي سهلت لنا إنجاز هذا العمل المتواضع

Mes sincères remerciements

A Mr MEZALI FAROUK mon encadreur pour sa
patience et ses conseils

Mr BERGHOUT ALI (Enseignant)pour ses
encouragements.

Mr JERBOUI SALIM (chef de département) pour
m'avoir accorder l'occasion de s'inscrire dans le
MASTER

Mr MOKHTARI E HADJ (Enseignant) pour son
sourire qui ne quitte pas son visage.

Mr HASBAIA MAHMOUD(Enseignant) pour sa
sympathie

A MON EPOUSE « العاقلة »



Dedicaces

Un jour un sage a dit :

**« Je m'en fous de deux choses : La vie des autres
et l'avis des autres »**

**Ce mémoire est dédié à tous ceux qui n'ont pas eu
l'occasion de recevoir des dédicaces dans leur vies
et je leurs dis «il n ya pas de quoi c'est gratuit »**

**Ce mémoire est dédié aussi à ceux qui ont
beaucoup échoué dans leurs vies et je leurs dis que
parmi les boules d'échec que vous avez pris, il y a
surement une boule de réussite que vous n'avez
pas encore prise, alors ne cessez pas d'en prendre,
peut être que la prochaine serait la bonne**

RESUME

L'exploitation des eaux souterraines demeure parmi les remèdes efficaces pour compenser le manque des ressources hydriques de surface.

La prospection des eaux souterraines est une opération très coûteuse en termes d'argent et d'équipement, et la localisation des zones aquifères demeure toujours un problème dans ce genre de situation.

Dans ce travail, l'objectif est de réaliser une cartographie qualitative à l'échelle du bassin versant de M'jedel du potentiel de recharge de sa nappe en utilisant les outils des SIG et de la télédétection conjugué avec une analyse mutuelle d'influence des facteurs qui favorise la recharge.

Ces facteurs sont : type de sol avec un poids (40.5%) ,la pente (11.5 %) , utilisation/couverture des terres (LULC) (23 %) , lignes de linéament (Fractures) (15 %) et la densité de drainage (9.8 %)

Après classification et arrangement de ces facteurs, on a obtenu la carte de synthèse de recharge du bassin versant de M'jedel avec une zone de forte potentielle de recharge de 3480 ha (5.33%), bonne potentielle de recharge de 17720 ha (21.15%) , moyenne potentielle de recharge e de 31790 ha (48.71%),faible potentielle de recharge de 12270 ha (18.8%)

Mots clés : recharge des nappes, GIS, télédétection, poids, classification

الملخص:

لا يزال استغلال المياه الجوفية أحد الحلول الفعالة للتعويض عن نقص موارد المياه السطحية.

ان استكشاف المياه الجوفية عملية مكلفة للغاية من حيث التكاليف والمعدات، ويمثل تحديد طبقات المياه الجوفية دائما مشكلة في هذا النوع من الحالات.

والهدف من هذه الدراسة، هو رسم خرائط نوعية في منطقة الحوض الساكب مجدل لإمكانات اعادة شحن طبقة المياه الجوفية التابعة لها باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد مقترنة بتحليل متبادل لتأثير العوامل التي تعزز إعادة الشحن.

هذه العوامل هي: نوع التربة ذات وزن (40.5%)، الميل (11.5%)، استغلال/غطاء الأرض (23%)، الكسور (15%) وكثافة الصرف (9.8%).

بعد تصنيف وترتيب هذه العوامل، حصلنا على خريطة توليف إعادة الشحن لمنطقة الحوض الساكبنجدل مع منطقة ذات جودة عالية من حيث إمكانية إعادة الشحن تبلغ 3480 هكتارًا (5.33%)، وإمكانية إعادة شحن جيدة تبلغ 17720 هكتارًا (21.15%)، وإمكانية إعادة شحن متوسطة تبلغ 31790 هكتارًا (48.71%)، وإمكانية إعادة شحن منخفضة (18.8%).

الكلمات المفتاحية: إعادة شحن، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، الوزن، التصنيف.

Abstract

Groundwater exploitation remains one of the effective remedies to compensate for the lack of surface water resources.

Groundwater exploration is a very expensive operation in terms of money and equipment, and the location of aquifers is always a problem in this kind of situation.

In this work, the objective is to carry out a qualitative mapping at the scale of the M'jedel catchment area of the recharge potential of its aquifer using the tools of GIS and remote sensing combined with a mutual analysis of the influence of factors that promote recharging.

These factors are: soil type with weight (40.5%), slope (11.5%), land use/cover (LULC) (23%), lineament lines (Fractures) (15%) and drainage density (9.8%) After classification and arrangement of these factors, we obtained the recharge synthesis map of the M'jedel catchment area with an area of high recharge potential of 3480 ha (5.33%), good recharge potential of 17720 ha (21.15%) , potential average recharge of 31790 ha (48.71%), low recharge potential of 12270 ha (18.8%)

Keywords: recharge, GIS, remote sensing, weight, classification.

Table des matières

Remerciements	
Dedicaces.....	
Liste des figures.....	
liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I: Généralités sur le bassin versant de M'djedel.....	3
I.1. Introduction.....	4
I.2. Situation géographique du bassin versant M'djedel.....	4
I.3. Relief :	5
I.4. Caractéristiques générales du bassin versant :	5
I.4.1. Caractéristiques géométriques :	5
I.4.2. Caractéristiques hydro morphologiques :	5
I.4.3. Caractéristiques du relief :	6
I.5 Conclusion :	16
CHAPITRE II: Climatologie du bassin versant de M'djedel	17
II.1. Introduction.....	18
II.2 Températures de l'air :	18
II.3. Vitesse du vent :	19
II.4. Evaporation :	20
II.5. Précipitations :	20
II.5.1. Répartition mensuelle de la pluie annuelle :	21
II.5.2. Pluie annuelle :	22
II.6. Conclusion :	24
CHAPITRE III: Géologie du bassin versant de M'djedel	25
III.1. Introduction	26
III.2. Contexte géologique régional :	26
III.2.1. Terrains de couverture :	26
III.2.2. Lithologie et stratigraphie :	27
III.2.3. Tectonique régionale:	29

CHAPITRE IV: Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)	30
IV.1 Définition	31
IV.2 Fonctionnalités d'un SIG	31
IV.3 Les données dans le SIG	32
IV.4 Modes d'acquisition de données	32
IV.5 Types de données dans un SIG	33
IV.5.1 Données spatiales	33
IV.5.2 Données associées	34
IV.5.3. Modes de données dans les SIG.....	34
IV.6 Domaine d'application des SIG	36
IV.7 Mise en place d'un SIG.....	36
IV.8 Zone de Recharge Potentielle des Eaux Souterraines.....	37
IV.8 .1 Objectif de l'étude.....	37
IV.8 .2 Approche d'étude.....	37
IV.8 .3 L'infrastructure du modèle de potentiel de recharge des eaux souterraines ..	40
IV.8 .4 Description de la zone d'étude.....	41
IV.8 .5 Méthodologie d'analyse.....	42
IV.8 .6 Les principaux facteurs regissant la recharge	43
IV.8 .7 Établissement des facteurs liés au potentiel de recharge des eaux souterraines	47
IV.8 .8 Détermination des poids.....	56
IV.8 .9 Détermination des indices d'infiltration	58
IV.8 .10 Établissement de la carte-synthèse.....	59
IV.8 .11 Carte de synthèse	60
Conclusion générale	62
Références bibliographiques	644

LISTE DES FIGURES

Fig.I.1 : Bassin versant de M'djedel
Fig.I.2: Repartition de la courbe hypsometrique
Fig.I.3: Courbe hypsometrique
Fig.I.4 Carte hypsometrique
Fig.I.5 Reseau hydrographique du bassin versant de M'djedel
FigII.1 Répartition mensuelle des températures a la station de Djelfa
Fig II.2 Répartition mensuelle des températures à la station de M'sila.
Fig II.3 Répartition de la vitesse de vent à chaque direction.
Fig II.4 Variation mensuelle de l'évaporation sur plan d'eau du M'djedel
Fig II.5 Répartition mensuelle des précipitations.
Fig II.6 Carte des isohyètes
Fig III.1 Carte géologique du bassin versant de M'djedel
FigIV.1 Organigramme méthodologique de la zone de potentiel des eaux
souterraines
FigIV.2 L'influence interactive des facteurs
FigIV.3 Les principaux facteurs régissant l'infiltration
FigIV.4 Type de sol
FigIV.5 Type de sol
FigIV.6 Occupation du sol
FigIV.7 Densité de fracturation
FigIV.8 Densité de drainage
Fig IV.9 La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les coordonnées de la courbe hypsométrique.

Tableau I.2 : Altitudes caractéristiques du bassin versant de M'djedel

Tableau I.3 : Détermination de la pente Roche Ip

Tableau I.4 : Nature du relief en fonction de la dénivelée Spécifique

Tableau I.5 : Nature du relief en fonction de la dénivelée Spécifique

Tableau I.6 : Résumé des résultats de temps de concentration

Tableau I.7 : Caractéristiques hydro-morpho métriques du bassin versant

Tableau II.1 : Températures(C°) aux stations de Djelfa et M'sila

Tableau II.2 : Vitesse moyenne du vent à chaque direction

Tableau II.3 : Répartition de l'évaporation mensuelle.

Tableau II.4 : Caractéristiques des stations pluviométriques disponibles

Tableau II.5 : Répartition mensuelle de la pluie annuelle

Tableau II.6 : Pluie annuelle des différentes stations

Tableau IV.1 : Les facteurs influençant le potentiel de recharge des eaux souterraines

Tableau IV.2 : Classification hydrogéologique des types de sol

Tableau IV. 3 : Classification hydrogéologique des pentes

Tableau IV. 4 : Classification hydrogéologique des pentes

Tableau IV.5 : Classification hydrogéologique des densités de fracturation

Tableau IV.6 : Classification hydrogéologique des densités de drainage

Tableau IV.7 : Pondération des cartes thématiques en fonction de leur propriété hydrogéologique

Introduction générale

La gestion durable et la pérennité des ressources en eau nécessitent la connaissance et l'évaluation de trois processus fondamentaux dans un hydrosystème : la recharge, les écoulements et la décharge (Cook et Robinson, 2002 ; Cook et al., 2006 ; Sarah et al., 2006 ; Gleeson, 2009).

La recharge fait référence au volume d'eau infiltrée qui atteint la nappe tandis que la décharge est définie comme la quantité d'eau souterraine qui se déplace du milieu souterrain vers la surface où elle se décharge discrètement.

Les zones humides, les lacs, les ruisseaux et les rivières sont les exemples de décharge les plus connus. Parmi ces trois processus, la recharge est la composante la plus importante car les écoulements souterrains et les décharges dépendent fortement de ce paramètre (Sanford, 2002 ; Cook et al., 2006).

La connaissance de la recharge est primordiale dans la gestion durable des ressources en eau, car elle permet d'identifier les zones d'un aquifère qui sont vulnérables à la contamination, de déterminer son potentiel d'exploitation et d'évaluer la pérennité de la ressource (Scanlon, et al., 2002).

Cependant, la recharge demeure sans doute la composante de l'écoulement souterrain la plus difficile à quantifier, à la fois dans l'espace et dans le temps en raison de sa variabilité (Lerner et al, 1990).

A ce séjour il n'existe aucune méthode universelle applicable pour estimer la recharge des aquifères. En effet, plusieurs méthodes d'estimation de la recharge sont disponibles dans la littérature.

Nous avons entre autres, les méthodes hydrauliques, isotopiques, thermiques, numériques, etc. (Sharma et al. 1980 ; Allison, 1988 ; Lerner et al. 1990 ; Solomon et al, 1993 ; Lerner, 1997 ; Simmers, 1997 ; 2002 ; Healy et Cook, 2002).

En effet, la variabilité spatiale de la recharge ne peut être appréhendée qu'à l'échelle régionale ou d'un grand bassin versant. A cette échelle, les approches d'étude sont largement basées sur les techniques spatiales notamment la télédétection et les SIG (Saraf et al., 1998 ; Krishnamurthy et al., 1996 ; 2000 ; Shaban et al., 2006 ; Sener et al., 2005).

La télédétection permet de produire les cartes thématiques qui sont diverses et dépendent de l'objectif de l'étude et du type de milieu étudié.

En milieu de socle fracturé, les cartes thématiques couramment utilisées pour l'étude de la recharge sont les cartes d'occupation du sol, de fractures, de géologie, de pentes, et du réseau hydrographique. La diversité de ces cartes

requiert leur intégration ou combinaison afin de rendre possible une analyse spatiale de la recharge.

Ainsi, les SIG sont généralement utilisés pour intégrer les cartes thématiques avec une précision suffisante dans un délai raisonnable. Par ailleurs, les techniques spatiales ont l'avantage de couvrir des superficies de plusieurs centaines ou milliers de km² pour des coûts faibles, permettant ainsi d'appréhender la variabilité spatiale de la recharge à l'échelle régionale, contrairement aux approches expérimentales (hydrauliques, isotopiques et thermiques) qui sont des études locales et très onéreuses.

Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est de cartographier les zones potentielles de recharge des aquifères fracturés à partir des techniques spatiales notamment la télédétection et les SIG. Ces techniques s'adaptent bien à notre zone d'étude qui est un bassin versant s'étendant sur plusieurs centaines de km².

Cette approche permet d'accéder aux informations préliminaires importantes pour la première fois sur la distribution spatiale de la recharge dans la zone d'étude. La méthodologie est essentiellement basée sur la description, la classification et de l'intégration des principaux facteurs influençant la recharge tels que l'occupation et le type de sol, la géologie, les fractures, les pentes, densité de drainage et précipitations.

A decorative border with intricate floral and leaf patterns in black, framing the central text. The border is composed of four corner pieces and four side pieces, each featuring a repeating pattern of leaves and scrolls.

CHAPITRE I

Généralités sur le bassin versant de M'djedel

CHAPITRE I : Généralités sur le bassin versant de M'djedel

I.1. Introduction

La faisabilité d'une étude hydrologique est tributaire de l'évaluation des potentialités hydriques de surface et des apports générés .

Aussi est-il nécessaire de s'intéresser à :

- La description et la détermination des paramètres morphométriques et hydrographiques du bassin versant.
- L'étude des apports et de leurs caractéristiques.

I.2. Situation géographique du bassin versant M'djedel

La zone du bassin versant de l'oued M'djedel est situé à environ 55 km à l'ouest de la ville de Bousaada et à 200 km de la zone côte méditerranéenne. La zone de l'étude est située dans une zone à faible pluviométrie (entre 130 et 250 mm).

L'exutoire du bassin a été choisi au centre de la ville de M'djedel

Coordonnées WGS 84-UTM zone 31N :

X = 562 569 m

Y = 13 889 85 m

Z = 840 m, NGA

Le bassin versant de M'djedel est répertorié sous le numéro 17-05 du grand bassin versant ZAHREZ

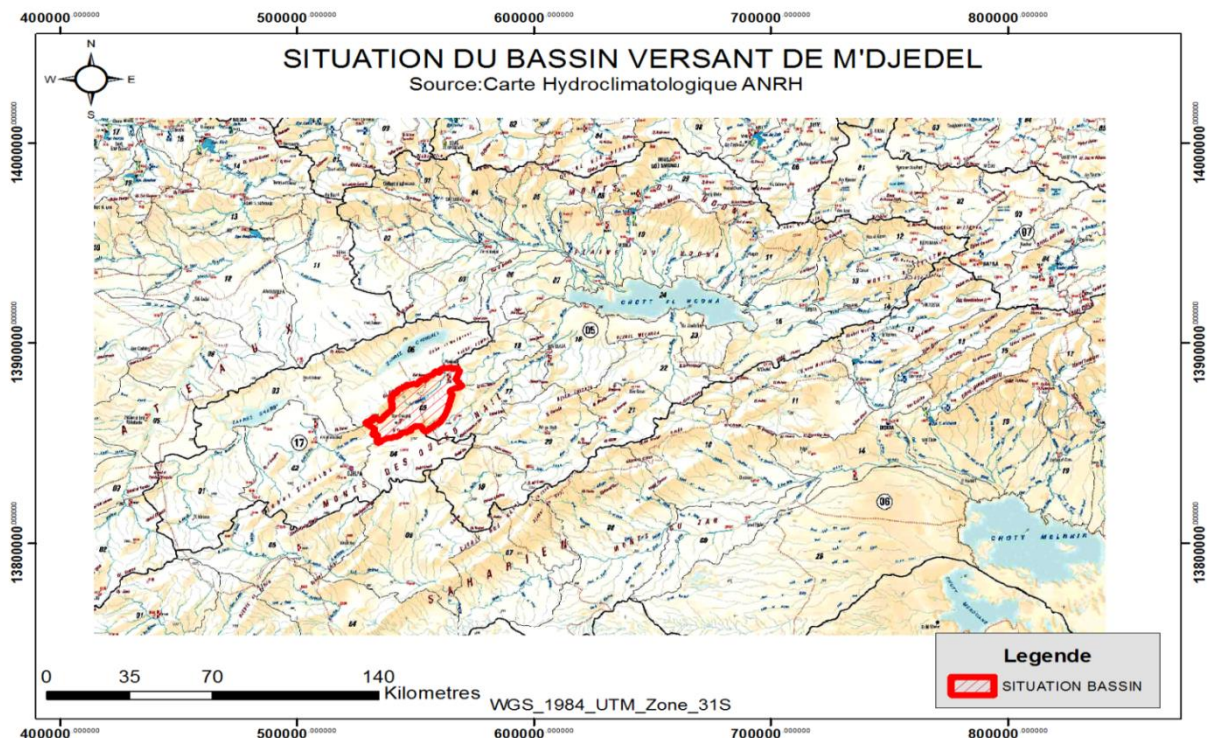


Fig.I.1 Bassin versant de M'djedel

I.3. Relief :

La zone d'intervention est une région à relief assez fort et aux pentes moyennes. Une grande surface du bassin versant s'étend entre les altitudes 1000 et 1200 m, les montagnes les plus escarpées s'élèvent jusqu'à 1400 m environ et culminent à 1484 m .

I.4. Caractéristiques générales du bassin versant :

I.4.1. Caractéristiques géométriques :

Le logiciel ARC-GIS nous permet de déterminer les caractéristiques géométriques en utilisant le raster MNT (Modèle numérique de Terrain) :

- La surface du bassin est :

$$S= 652.65 \text{ Km}^2$$

- Le périmètre du bassin est :

$$P= 162.61 \text{ Km}$$

- La longueur du thalweg principal est :

$$L_p= 58.02 \text{ Km}$$

I.4.2. Caractéristiques hydro morphologiques :

I.4.2.1. Indice de compacité de Gravelius (Kc) ou Indice de forme :

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

En revanche, les bassins en forme plus ramassée, présentant un temps de concentration plus court auront les plus forts débits de pointe.

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu,

L'indice de compacité de Gravelius(1914) définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

K_c est l'indice de compacité de Gravelius,

A : surface du bassin versant [km²],

P étant le périmètre du bassin [km].

Si $K_C \leq 1,128 \Rightarrow$ bassin ramassé

Si $K_C > 1,128 \Rightarrow$ bassin allongé

La valeur de **Kc est = 1,78**, donc le bassin versant a une forme allongée

La notion de rectangle équivalent, introduite par Roche (1963), résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.

Si **L** et **I** représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors :

Le périmètre du rectangle équivalent vaut : **P = 2x(L+I)**

La surface **A = L x I**

K_G représente le coefficient de compacité.

En combinant ces trois relations, on obtient :

$$\text{- Longueur (Lr) : } L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1.12}{K_G} \right]^2} \right]; Lr = 65.12 \text{ Km}$$

$$\text{- Largeur (lr) : } L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left[\frac{1.12}{K_G} \right]^2} \right]; lr = 8.93 \text{ Km}$$

I.4.3. Caractéristiques du relief :

Le relief a une influence directe sur l'écoulement en raison de nombreux paramètres hydrométéorologiques qui varient avec l'altitude (précipitations, végétation, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement.

Le relief se détermine au moyen de caractéristiques suivantes :

CHAPITRE I : Généralités sur le bassin versant de M'djedel

• Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique reflète une image synthétique sur la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude

Elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

La courbe hypsométrique sert en particulier à déterminer la pluie moyenne sur un bassin versant et donne des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Tranche d'altitude (m)		Hi (m)	Surface Partielle Si (km ²)	Si x Hi	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)
1500	1600	1550	5.5	86.45	5.5	0.843
1400	1500	1450	40.5	2422.5	46	7.048
1300	1400	1350	256	9450	302	46.273
1200	1300	1250	285	62100	587	89.941
1100	1200	1150	54	356250	641	98.215
1000	1100	1050	9	345600	650	99.594
900	1000	950	2.55	58725	652.55	99.985
829	900	864.5	0.1	8525	652.65	100.000
Somme			652.65	843158.95		

Tableau I.1 : Les coordonnées de la courbe hypsométrique.

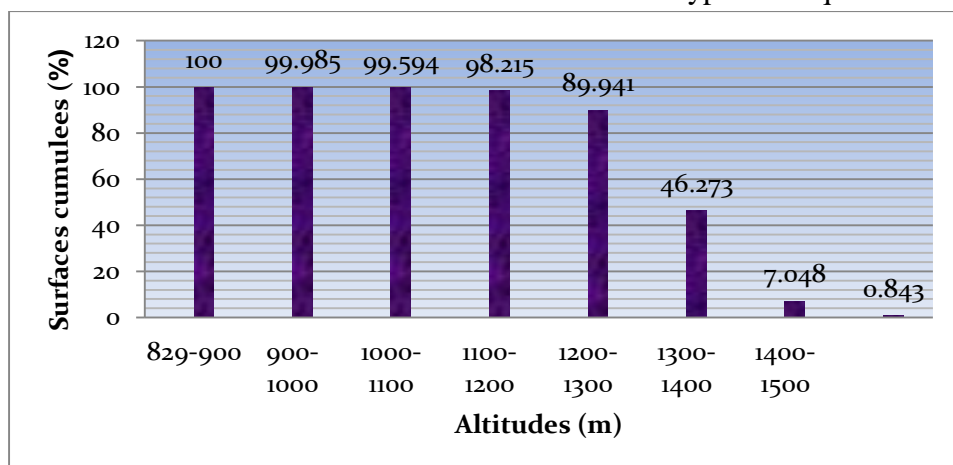


Fig.I.2:Repartition de la courbe hypsométrique

CHAPITRE I : Généralités sur le bassin versant de M'djedel

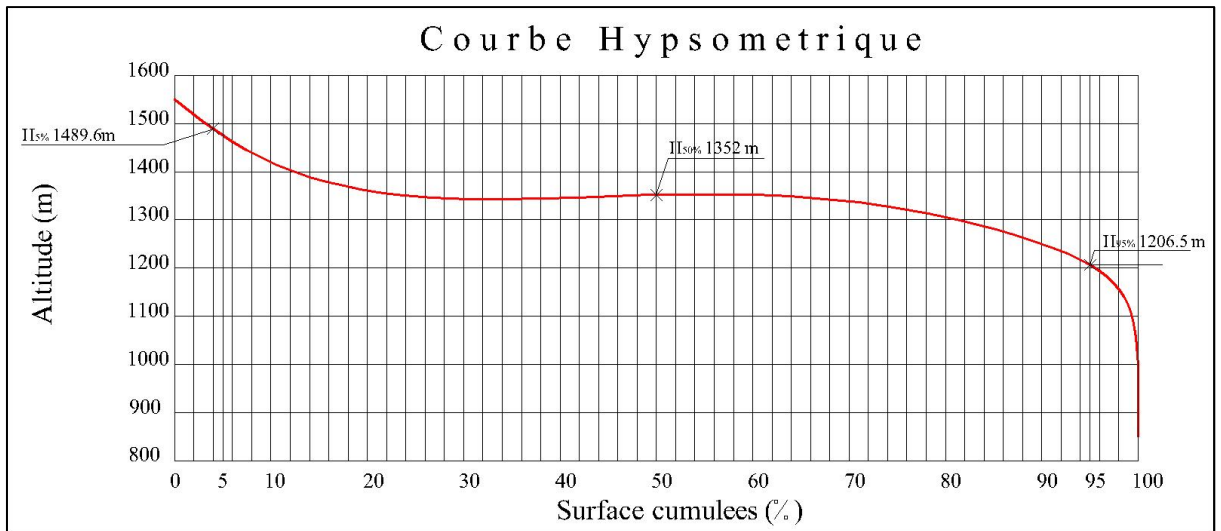


Fig.I.3: Courbe hypsometrique

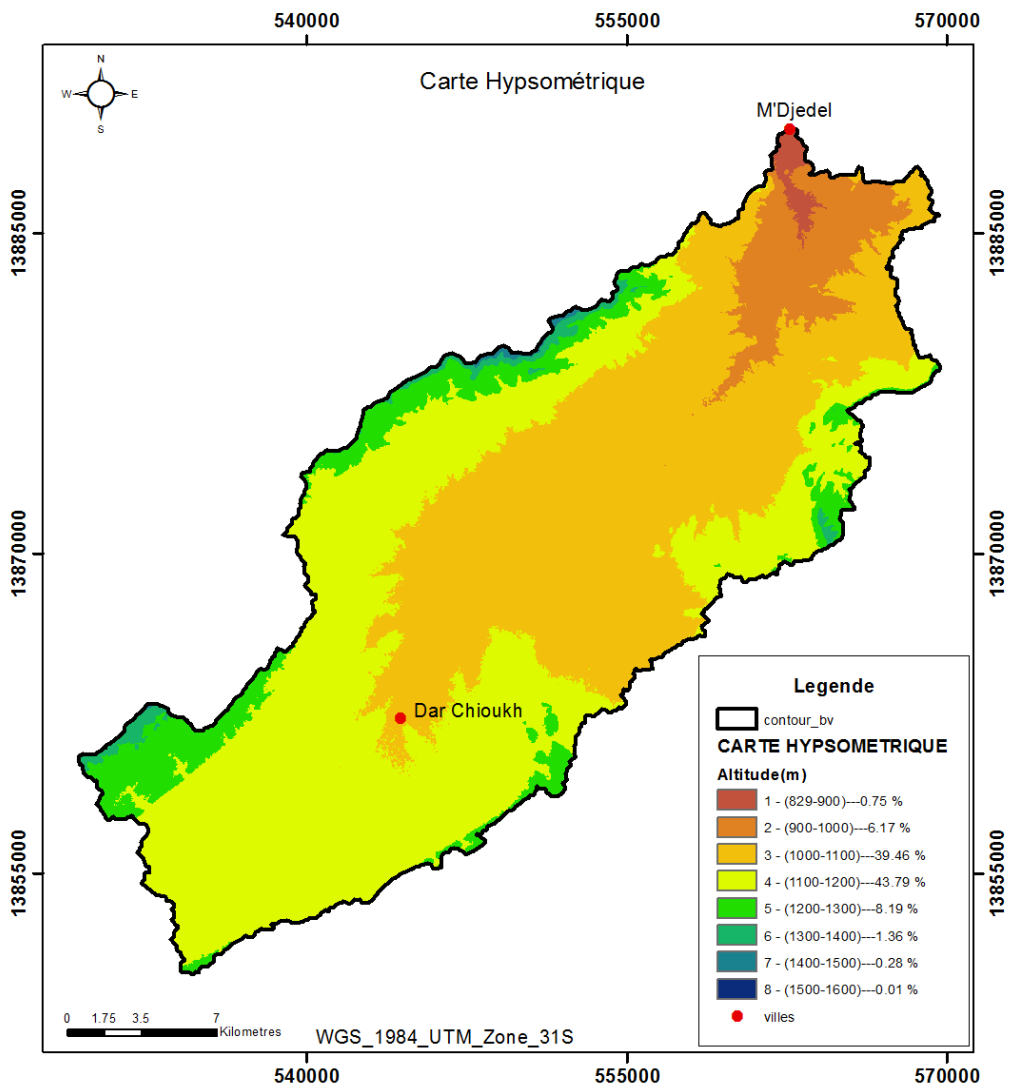


Fig.I.4 Carte hypsometrique

CHAPITRE I : Généralités sur le bassin versant de M'djedel

I.4.3.1. Altitudes caractéristiques du bassin de M'djedel :

a) L'altitude maximale et minimale :

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

b) L'altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum H_i \times \frac{A_i}{A} = 1291.90 \text{ m}$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km^2] ;

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant [km^2].

c) L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue sur la courbe hypsométrique au point 50% de la surface totale du bassin

Bassin versan	Altitude Maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude 50% (m)	Altitude Moyenne (m)	H5% (m)	H95% (m)
M'djedel	1536.00	829.00	1352.00	1291.90 m	1489.60	1206.50

Tableau I.2 Altitudes caractéristiques du bassin versant de M'Ddjedel

Donc, la pente moyenne du bassin est irrégulière, car les altitudes moyenne et médiane sont écartées de 60.1 m.

$$H_{50\%} - H_{moy} = 1352 - 1291.9 = 60.1 \text{ m}$$

I.4.3.2. Les indices de pentes :

a) L'indice de pente globale I_g :

Sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale, on aura les altitudes H5% et H95% entre lesquelles s'inscrivent l'indice de pente globale.

Il est déterminé à partir de la formule suivante :

CHAPITRE I : Généralités sur le bassin versant de M'djedel

$$I_g = \frac{D}{L_r} = 0.43\%$$

Avec :

D: Dénivelé entre H5% et H95%, D= H5% - H 95% (m)

L: Longueur du rectangle équivalent (m).

b) Indices de pente de Roche Ip :

Il s'exprime par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_I^n \sqrt{S_i \cdot D_i}$$

L : longueur de rectangle équivalent (m)

S_i : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives H_i et H_{i+1}

D_i : La distance entre deux courbes de niveau

Tranche	Surface partielle (km ²)	% surface partielle	Di (m)	$\sum_I^n \sqrt{S_i \cdot D_i}$
1	5.5	0.015	71	1.043
2	40.5	0.391	100	6.251
3	256	1.379	100	11.743
4	285	8.274	100	28.764
5	54	43.668	100	66.082
6	9	39.225	100	62.630
7	2.55	6.205	100	24.911
8	0.1	0.843	100	9.180
Somme				210.604

Tableau I.3 Détermination de la pente Roche Ip

Donc : Ip = 0,825%

c) Indice de pente Moyenne Im :

Il s'exprime par la formule suivante :

$$I_m = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} = 1.08\%$$

Avec :

L_r : Longueur de rectangle

H_{max} : Altitude max (m)

H_{min} : Altitude min (m)

I.4.3. 3. Dénivelée spécifique (Densité) D_s :

La dénivelée spécifique permet d'utiliser la classification de L.O.R.S.T.O.M qui permet de définir les différents types de relief du bassin versant quelque soient la superficie

Elle s'exprime par la formule suivante :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S} = 0.109 \text{ Km} = 109.85 \text{ m}$$

Avec :

I_g : indice de pente global

S : la surface du B.V(Km²)

L'ORSTROM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer) a élaboré selon sa deuxième classification un tableau qui donne la nature du relief suivant les valeurs de la dénivelée spécifique DS.

Classe	Nature du relief	code	Dénivelé spécifique	
			Symbole	Valeur
R ₁	Relief très faible (R.T.Fa)	05	D _s	10m
R ₂	Relief faible (R.Fa)	010	D _s	25m
R ₃	Relief assez faible	025	D _s	50m
R ₄	Relief modéré (R.M)	50	D _s	100m
R ₅	Relief assez fort (R.A.Fo)	100	D _s	250m
R ₆	Relief fort (R.Fo)	250	D _s	500m
R ₇	Relief très fort (R.T.Fo)	500	D _s	750m

Tableau 1.4 Nature du relief en fonction de la dénivelée Spécifique

D'après la classification d'O.R.S.T.O.M notre bassin versant possède un relief assez fort

I.4.4. Caractéristiques du réseau hydrographique :

I.4.4.1. Longueur caractéristique

Un bassin versant se caractérise principalement par la longueur du cours d'eau principal (L) qui est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux.

CHAPITRE I : Généralités sur le bassin versant de M'djedel

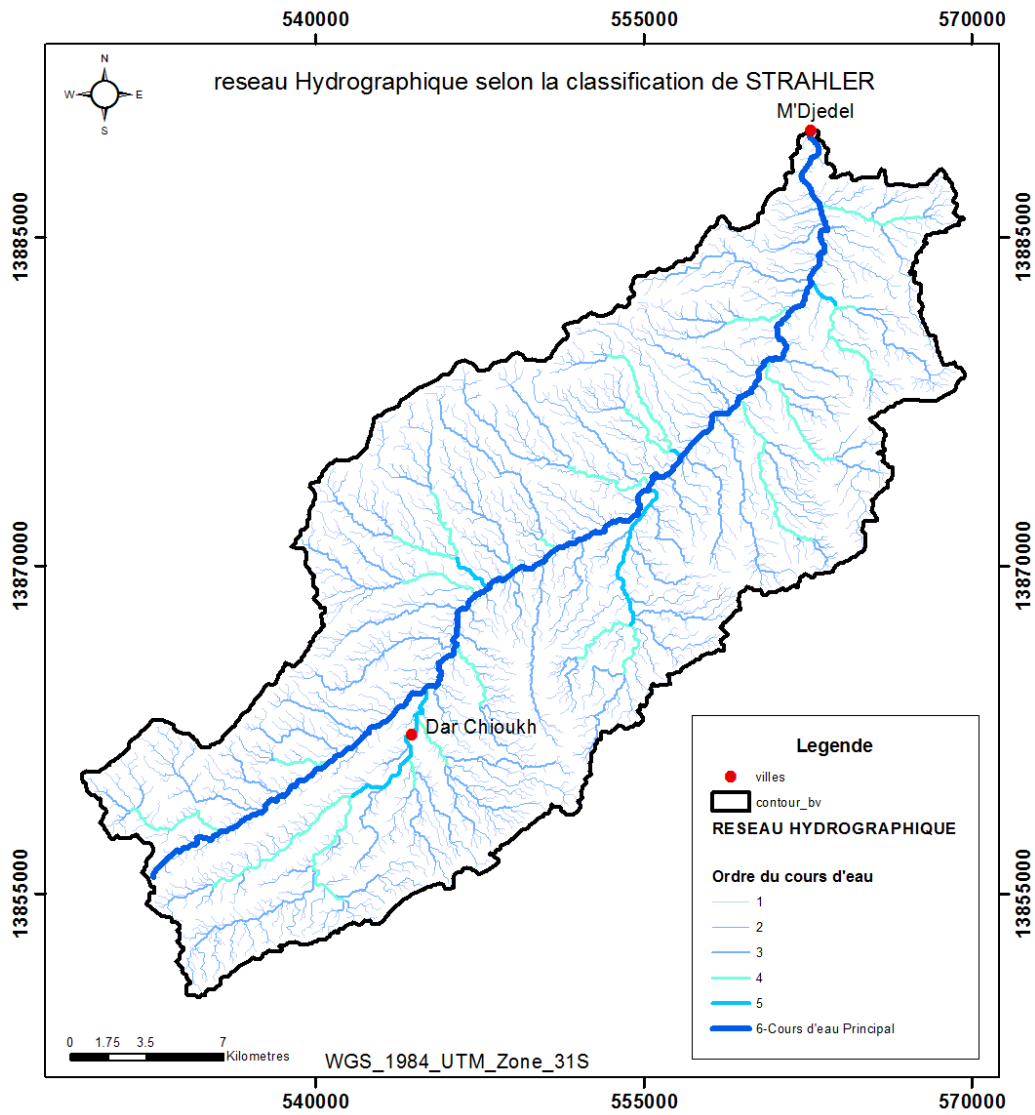


Fig.I.5 Reseau hydrographique du bassin versant de M'djedel

I.4.4.2. La longueur des thalwegs des différents ordres :

N° D'ordre	Longeur (Km)	Observations
1	914.05	
2	450.67	
3	267.59	
4	98.40	
5	20.12	
6	58.02	Principal
Somme	18 088.60	

Tableau I.5 Nature du relief en fonction de la dénivelée Spécifique

I.4.4.3. Densité de drainage

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$Dd = \frac{\sum_i^n \sqrt{L_i}}{A} = 27.72 \text{ Km/Km}^2$$

Avec :

D_d : densité de drainage [km/km²] ;

L_i : longueur de cours d'eau des différents ordres [km] ;

A : surface du bassin versant [km²].

I.4.4.4. Temps de concentration

La réaction hydrologique d'un bassin versant dépend du type et de l'intensité de la précipitation qui le sollicite ET aussi de l'état du bassin versant : le temps de concentration des eaux sur le bassin.

Le temps de concentration T_c des eaux sur un bassin versant se définit comme la durée maximum nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier.

Il est composé de trois termes différents :

- t_h : Temps d'humectation. Temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne s'écoule.
- t_r : Temps de ruissellement ou d'écoulement. Temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).
- t_a : Temps d'acheminement. Temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire.

Le temps de concentration T_c correspond donc à la somme de ces trois termes, soit :

$$t_c = \max\left(\sum (t_h + t_r + t_a)\right)$$

Le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou estimé à l'aide de formules le plus souvent empiriques. Il existe plusieurs types de relations qui permettent d'estimer T_c (Giandotti, Basso, Passini, Service routier de Californie etc...). Nous utiliserons pour le calcul de ce facteur les formules empiriques suivantes :

CHAPITRE I : Généralités sur le bassin versant de M'djedel

Formule de GIANDOTTI

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_P}{0,8\sqrt{H_{MOY} - H_{MIN}}} = 11 \text{ heures}$$

Formule ANONYME - R.BOURRIER (2, p55)

$$T_C = 4\left(\frac{\sqrt[3]{SL}}{\sqrt{P}}\right)^{0,75} = 8.27 \text{ heures}$$

Formule de CALIFORNIA:

$$T_C = \left[\frac{0.87 L^3}{H_{max} - H_{min}} \right]^{0.386} = 31 \text{ heures}$$

Formule ALGERIENNE:

$$T_C = 0.0055S + 0.1657L + 0.0078(H_{max} - H_{min}) + 0.821$$

$$= 17.63 \text{ heures}$$

Formule de l'ANRH:

$$T_C = 3 \left[\frac{SL}{10 \text{ Im}^{1.5}} \right]^{0.25} = 17.14 \text{ heures}$$

Avec :

TC: Temps de concentration (h).

LP: Longueur du talweg principal (Km).

S ; A: Superficie du bassin versant (Km²).

Pm ; P: Périmètre du bassin versant (Km).

H_{MOY}: Altitude moyenne du bassin versant (m).

H_{MAX}: Altitude maximale du bassin versant (m).

H_{MIN}: Altitude minimale du bassin versant (m).

Formules	Valeurs(heures)
GIANDOTTI	11
ANONYME	8.27
CALIFORNIA	31
ALGERIENNE	17.63
ANRH	17.14

Tableau I.6 Résumé des résultats de temps de concentration

CHAPITRE I : Généralités sur le bassin versant de M'djedel

Nous prenons $T_c = 17.14$ heures (la valeur de la formule ANRH)

I.4.4.5. La Vitesse moyenne de ruissèlement :

Il s'exprime par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L}{T_c} = 3.52 \text{ Km/h}$$

Avec :

L : Longueur du thalweg principale (km)

T_c : Temps de concentration(h)

Les Caractéristiques hydro-morphologiques sont calculées comme le montre le tableau suivant :

I.4.4.6. Récapitulation des résultats :

Les résultats de ce chapitre sont récapitulés dans le tableau suivant

Désignation		Symbole	Unités	Valeur
Superficie		S	km ²	652.65
Périmètre		P	km	162.61
Longueur du thalweg		L	km	58.02
Indice de compacité		KC	-	1,78
Rectangle équivalent	Longueur	L _r	Km	65.12
	Largeur	l _r	Km	8.93
Altitudes	Maximale	H _{max}	m.NGA	1536.00
	Moyenne	H _{moy}	m.NGA	1291.90
	Médiane	H _{med}	m	1352.00
	Minimale	H _{min}	m	829.00
	H5%	H5%	m	1489.60
	H95%	H95%	m	1206.50
Indice de pente de Roche		IP	%	0,825
Indice de pente globale		I _g	m/km	0.43
Indice de pente moyenne		I _{pm}	%	1.08
Densité de drainage		D _d	Km/Km ²	27.72
Dénivelée spécifique		D _s	m	109.85
Temps de concentration		t _c	h	17.14
Vitesse de ruissèlement		V _r	Km/h	3.52

Tableau I.7Caractéristiques hydro-morpho métriques du bassin versant

I.5 Conclusion :

Situé à environ 55 km à l'ouest de la ville de Bousaada et à 200 km de la zone côte méditerranéenne. Le bassin versant de M'djedel fait partie du grand bassin ZAHREZ sous le numéro 17-05, il appartient à une zone de faible pluviométrie (entre 130 et 250 mm).


Le bassin versant de M'djedel s'étend sur une surface de 652.65 Km² avec un périmètre de 162.61 Km, il est drainé par un cours d'eau principal d'une longueur de 58.02 Km.

D'une forme allongée selon un coefficient de forme $K_G = 1.78$ il est assimilable à un rectangle équivalent présentant les dimensions suivantes $L_r = 65.12$ Km et $l_r = 8.93$ Km .

Presque la quasi-totalité de la surface est comprise entre les altitudes 1000 à 1300 m avec une moyenne pondérée de l'ordre de 1291.90 m et des altitudes max et min respectivement de l'ordre de 1536.00 m au sommet des montagnes et 829.00m à l'exutoire.

La dénivelée spécifique D_s est comprise entre 100 et 250 m donnant un relief assez fort selon la classification de L'ORSTROM

Le bassin versant de M'Djedel est drainé par un réseau hydrographique très dense avec des ordres de cours d'eau s'étalant de 1 à 6 selon la méthode de STRAHLER le linéaires totale des cours d'eau est de l'ordre de 18 088.60 Km ,cette combinaison de réseau hydrographique et hypsométrie a fait ressortir des temps de concentration variant de 8.27 h à 17.63 h calculées par plusieurs méthodes ,la méthode adoptée dans notre cas est celle de l'ANRH qui a donné une valeur de 17.14 h car elle est proche de la moyenne de toutes les formules qui est de l'ordre de 15 h
Finalement le rapport entre la longueur du cours d'eau principal et temps de concentration donne une vitesse de ruissellement de l'ordre de 3.52 Km/h



CHAPITRE II
Climatologie du
bassin versant de
M'djedel

CHAPITRE II : Climatologie du bassin versant de M'djedel

II.1. Introduction

L'étude climatologique sert à fournir des données concernant le climat, données nécessaires pour comprendre le comportement de l'hydrosystème. Compte tenu du manque de stations climatologiques dans la zone du projet, on a recours aux observations faites à la station climatologique de Djelfa située à l'Ouest de M'djedel et la station de M'Sila, qui se trouve au Nord Est de la zone d'étude.

II.2 Températures de l'air :

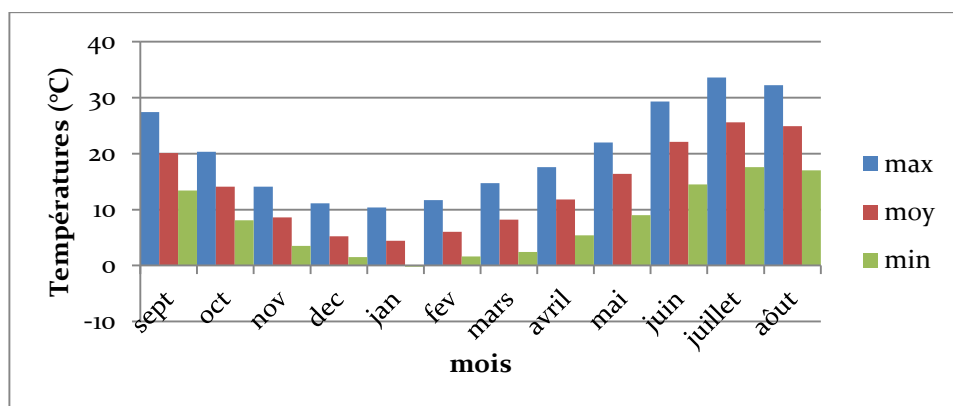
Les températures moyennes, maximales et minimales relevées aux stations de Djelfa et de M'Sila sont portées dans le tableau qui suit.

	Mois	sept	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	moyenne annuelle
Station Djelfa	Max(°C)	27.4	20.3	14.1	11.1	10.4	11.7	14.7	17.6	22	29.3	33.6	32.2	20.4
	Moye (°C)	20.1	14.1	8.6	5.2	4.4	6	8.2	11.8	16.4	22.1	25.6	24.9	14.0
	Min (°C)	13.4	8.1	3.5	1.5	-0.2	1.6	2.4	5.4	9	14.5	17.6	17	7.8
Station M'sila	Max (°C)	32	24.1	18.4	14.3	14	15.3	18.9	22.3	26.8	34.2	37.8	36.6	24.6
	Moye (°C)	24.7	18.2	12.1	8.3	7.8	9.5	12.4	16	21.1	27	30.2	29.4	18.1
	Min (°C)	18.9	12	7.4	3.7	2.9	4.4	6.2	9.7	14.2	20.2	23	22.5	12.1

Source : O.N.M

Tableau II.1 Températures(C°) aux stations de Djelfa et M'sila

Les températures varient en fonction de l'altitude, le poste de Djelfa est à la fois proche géographiquement et avec une altitude (1144m) voisine de celle du bassin versant de l'oued M'djedel (1290m).



FigII.1 Répartition mensuelle des températures a la station de Djelfa .

CHAPITRE II : Climatologie du bassin versant de M'djedel

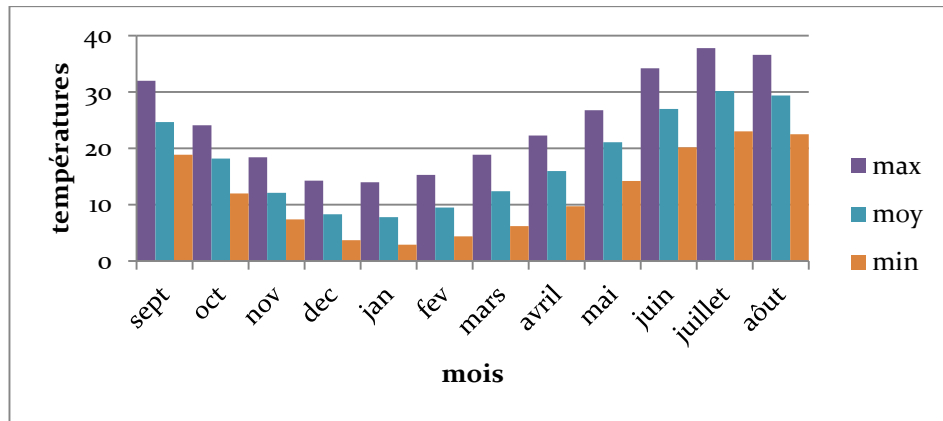


Fig II.2 Répartition mensuelle des températures à la station de M'sila .

II.3.Vitesse du vent :

Les valeurs de la vitesse du vent enregistrées pour la période 1991/2010, ainsi que leur direction sont présentées dans tableau suivant :

Direction du vent	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Vitesse moyenne (m/s)	5.1	3.8	3.4	4.1	4.6	4.6	5.1	5.4

(Source O.N.M)

Tableau II.2 Vitesse moyenne du vent à chaque direction

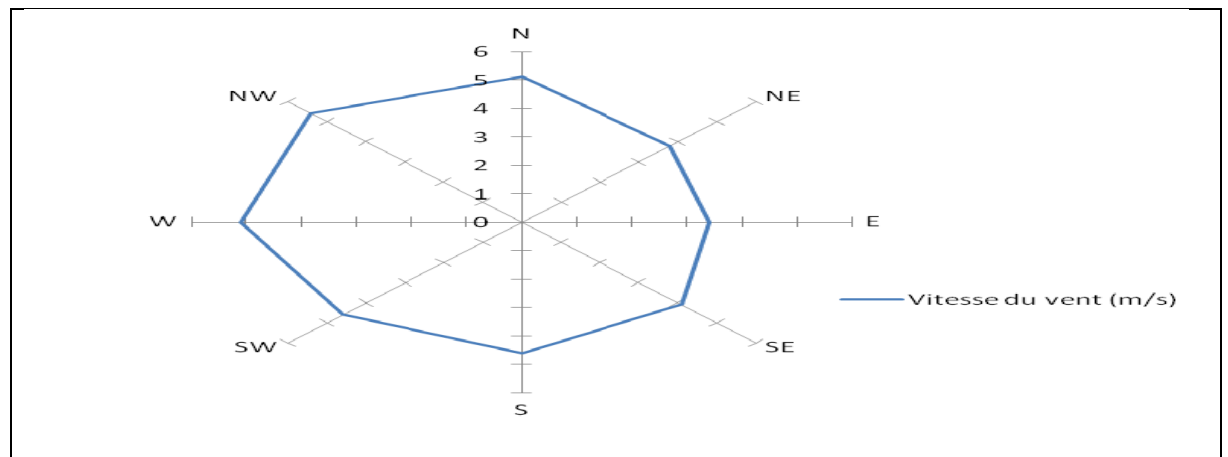


Fig II.3 Répartition de la vitesse de vent à chaque direction.

II.4.Évaporation :

L'évaporation intervient dans le calcul des pertes par évaporation à partir du plan d'eau de la retenue ou de barrage,

Donc le tableau suivant montre la répartition de l'évaporation mensuelle au cours de l'année

Mois	sep	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	total
Evaporation (mm)	158	111	77	62	65	68	91	115	161	183	237	211	1539
Evaporation (%)	10.3	7.2	5	4	4.2	4.4	5.9	7.5	10.5	11.9	15.4	13.7	100

Tableau II.3 Répartition de l'évaporation mensuelle.

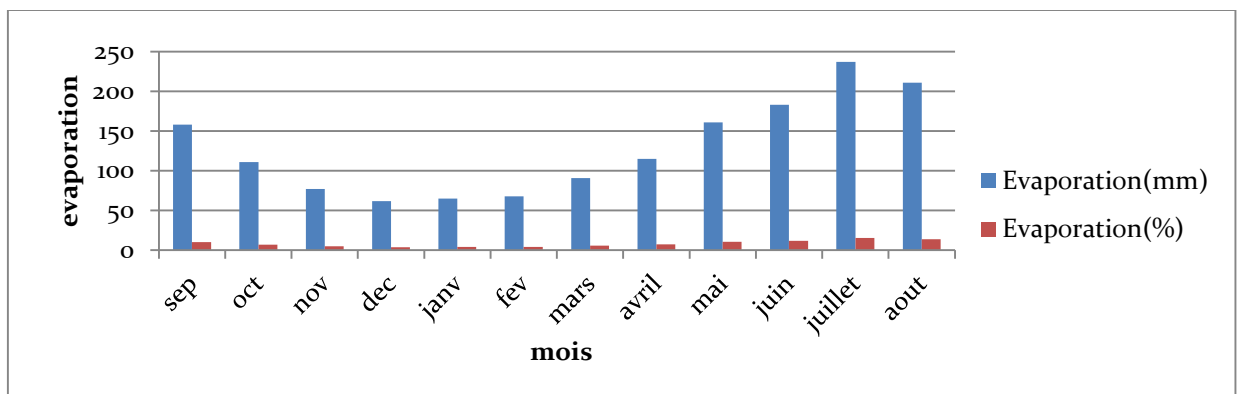


Fig II.4 Variation mensuelle de l'évaporation sur plan d'eau du M'djedel

II.5. Précipitations :

Le terme précipitations regroupe toutes les eaux météoriques qui arrivent au sol sous quelque forme que ce soit. L'étude de la pluviométrie dans une région permet de déterminer la pluie moyenne annuelle sur le bassin versant et le choix de la station pluviométrique représentative qui servira pour l'étude future. Les données pluviométriques disponibles dans la région sont fournies par l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Les stations pluviométriques existant dans et autour du bassin versant de M'djedel sont au nombre de cinq (05), une station localisé à l'intérieur, deux au Nord, une en Est et une au sud du bassin

CHAPITRE II : Climatologie du bassin versant de M'djedel

Station	Code	Coordonnées		Z(m,NGA)	Période d'observation	Nombre d'années d'observations
		X	Y			
		(Km)	(Km)			
M'djedel	17-05-01	561.96	3886.6	875	1973-1998	25
Dar chioukh	17-02-03	544.4	3861.7	1100	1970-2004	34
Slim	05-17-03	567.3	3861.8	1070	1966-2006	40
Djelfa	17/02/08	522.9	3836.5	1160	1945-1998	53
Ksob Barrage	05/10/05	641	3962.9	580	1945-2000	55

(Source : A.N.R.H)

Tableau II.4 Caractéristiques des stations pluviométriques disponibles

Et d'après la méthode de Thiessen qui est basée sur les zones d'influence sur les stations observées, donc la station de Dar Chioukh représente une zone d'influence de 75% sur toute la surface de bassin versant.

II.5.1. Répartition mensuelle de la pluie annuelle :

Selon la méthode de THIESSEN basée sur les zones d'influence ,la station de Dar Chioukh présente une zone d'influence de 75% sur toute la surface de bassin versant

Mois	sep	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	total
P(mm)	12.27	19.59	21.50	20.97	21.68	20.59	18.92	19.43	22.28	21.39	14.74	9.24	222.6
P(%)	5.51	8.8	9.66	9.42	9.74	9.25	8.5	8.73	10.01	9.61	6.62	4.15	100

(Source : A.N.R.H)

Tableau II.5 Répartition mensuelle de la pluie annuelle (Station dar Chioukh)

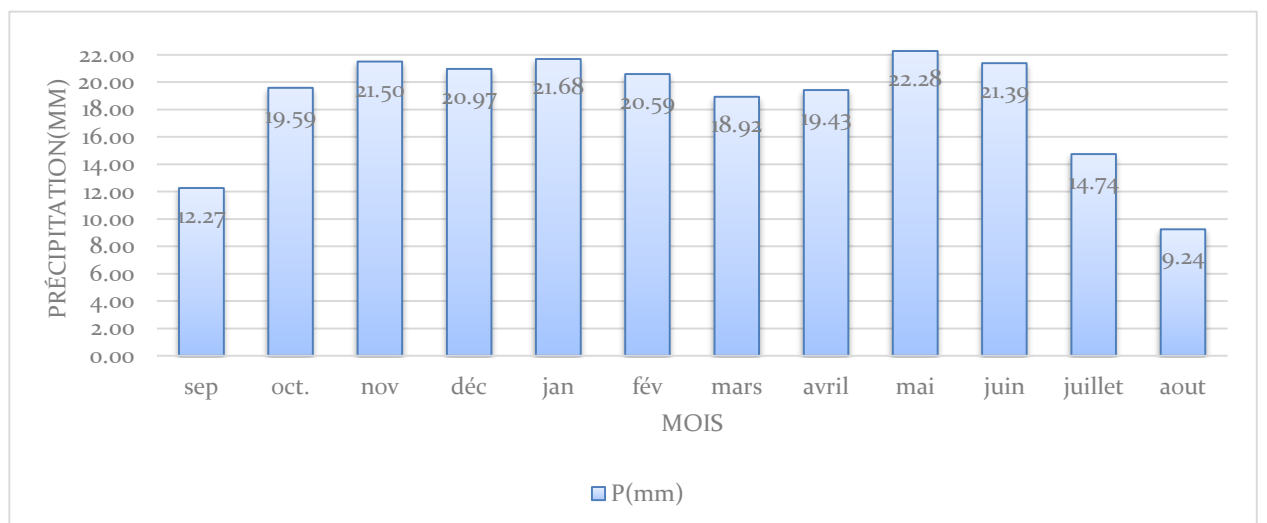


Fig II.5 Répartition mensuelle des précipitations.

CHAPITRE II : Climatologie du bassin versant de M'djedel

II.5.2. Pluie annuelle :

Les séries annuelles des cinq stations montrent une diversifications des valeurs ce qui nous permet d'établir une carte des isohyètes

Année	Station Djelfa	Station M'djedel	Station Dar Chioukh	Station Slim	Station Ksob
1945	254.5	107.5	134	208.6	130.9
1946	320.2	137.1	174	251.9	173.9
1947	325.9	79.3	96	255.7	89.4
1948	296.4	206.6	268	236.2	264.9
1949	329.1	236.2	308	257.8	318.3
1950	317.2	160.7	206	250	207.1
1951	323.3	231.1	301	254	309.5
1952	393.3	285	374	300.2	388.1
1953	294	214.7	278.9	234.6	285.7
1954	332.8	211.6	274.8	260.2	281.2
1955	332.2	198.4	256.9	259.9	261.9
1956	436.4	295.9	388.6	328.6	403.9
1957	228.1	174.6	224.7	191.1	227.3
1958	270	228.7	297.8	218.8	306
1959	325.8	288.9	379.2	255.6	393.7
1960	377.3	226.5	294.9	289.6	302.9
1961	258.8	112.5	140.9	211.4	136.9
1962	258.4	120.3	151.3	211.1	148.2
1963	190.9	166	213.1	168.6	214.7
1964	269.8	213	276.6	250.8	283.2
1965	224.9	186.2	240.4	204	244.2
1966	242.9	174.1	224.1	182.9	226.6
1967	192.3	120.1	151.1	103.2	147.9
1968	329.5	202.1	262	264.6	267.4
1969	240.5	177.9	229.2	202.9	232.1
1970	548.8	266.4	348.7	557.1	360.9
1971	259.9	154.1	197.1	173.4	197.5
1972	422.7	239.2	312.1	312	321.4
1973	208.8	199.8	258.8	224.4	264
1974	296.5	153.2	195.8	157.4	196.1
1975	373.2	156.7	202	157.8	172.5
1976	466.5	196.1	242	267.3	367.1
1977	175.9	181.6	227	203.1	245.2
1978	74.6	46.3	92	147.1	161.5
1979	206.1	59.2	72.7	107.4	179.6
1980	144.8	136.8	206.6	152.9	199
1981	210.1	212	277.8	216.2	185.3
1982	242.3	182	236	176	261.5
1983	213.2	148	190.2	190	230.1
1984	42.3	79	95.6	47.2	108.4
1985	111.5	95	118.2	196	187.4

CHAPITRE II : Climatologie du bassin versant de M'djedel

1986	169.4	163.7	250.4	192	298
1987	210.3	154.4	232.3	162.5	213.5
1988	100.4	208.1	201.8	117.7	205.9
1989	162.9	167.8	215.6	64.1	194.3
1990	215.8	316.3	379.2	228.2	260.3
1991	147	235.7	240.4	110.7	205.9
1992	184.5	190.7	221.4	158.4	249.3
1993	94.7	90.8	144.8	77.3	171.5
1994	64.3	65.1	155.9	142.5	144.7
1995	243.1	135.5	265.5	199.6	225.1
1996	207.2	251.3	350.8	248.1	268.6
1997	122.5	126.1	173.4	88.4	148.6
1998	83.9	193.1	228	127.3	244.6
1999	115.8	169.4	194.8	133.9	193.8
2000	171.1	197	212	148	197.8
2001	131.1	151	144	106.4	163.1
2002	85.9	72	67	59.2	123.9
2003	166.4	204	204	143.1	193.7
2004	194	198	251	171.9	217.7
2005	113.5	117	114	88	147.8
Moyenne	235	175	224	195	229

Tableau II.6 Pluie annuelle des différentes stations

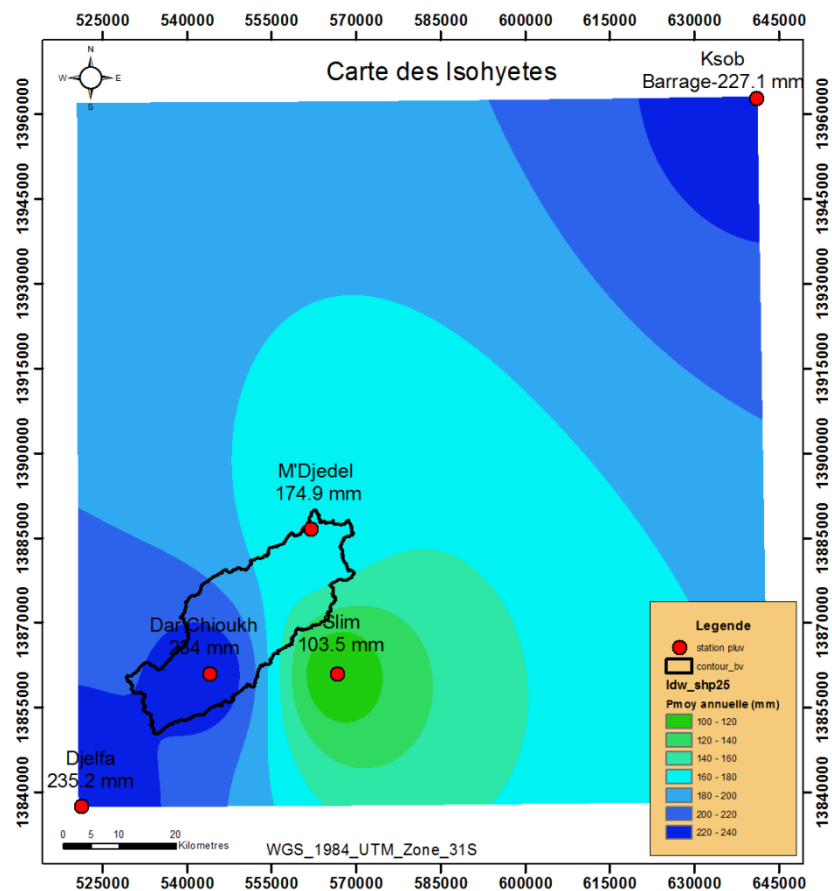


Fig II.6 Carte des isohyètes

II.6. Conclusion :

La zone d'étude est connue pour son climat semi aride avec un climat froid en hiver et chaud en été

la fluctuation de la température entre le max et le min est de l'ordre de 15°C ,la température la plus élevée est enregistrée dans le mois de Juillet 33.6°C à la station de Djelfa et 30.2°C à la station de M'sila

Tandis que la température la plus basse est enregistrée dans le mois de Janvier - 0.2°C à la station de Djelfa et 2.9°C à la station de M'sila

Les vents de direction Nord-Ouest présentent la plus forte vitesse de l'ordre de 19.5 Km/h.

Le mois de juillet connaît la valeur la plus élevée de l'évaporation qui est de l'ordre de 15.4 %

L'examen des précipitations annuelles dans cinq stations localisées à l'intérieur et aux alentours du bassin versant met en évidence la pauvreté du bassin en matière d'apport d'eau ,elles varient entre 175 mm et 229 mm au nord du bassin (Stations M'djedel et Ksob Barrage) , 235 mm au sud (Station Djelfa)et 195 mm à l'Est du bassin (Station Slim) .Tandis que à l'intérieur du bassin les précipitations annuelle sont égales à 224 mm (Station Dar chioukh) . La station de Dar Chioukh présente une zone d'influence de 75% sur toute la surface de bassin versant donc elle est la plus représentative, l'étude de la répartition mensuelle des précipitations mensuelles dans cette station montre que Janvier est le mois le plus pluvieux avec un enregistrement de 21.68 mm Tandis qu'Aout s'avère le mois le plus sec avec un enregistrement de 9.24 mm L'écart entre les valeurs de pluie moyenne annuelle des différentes stations nous a permis d'établir une carte des isohyètes.



CHAPITRE III
Géologie du
bassin versant de
M'djedel

III.1. Introduction

La delimitation des differentes formations du point de vue surface et profondeur est necessaire pour mettre en evidence le comportement de la nappe ainsi la recharge et la decharge des zones à etudier ,c'est pour cette raison qu'une étude géologique doit etre etablie,elle est basée sur l'examen des cartes géologiques et coupes lithologiques disponibles sans oublier les compagne de prospection dans la mesure du possible.

III.2.Contexte géologique régional :

La zone d'étude se situe à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien, dans la région des Monts des OuledNaïl. La morphologie est conditionnée par une succession de plis parallèles de direction SO-NE se traduisant par une alternance de crêtes allongées (djebels) le long des rides anticlinales et de cuvettes synclinales. L'altitude moyenne des rides varie de 1250 m à 1400 m, le Djebel Chebeibita culminant à 1544 m, tandis que l'altitude des dépressions se situe entre 800 m et 1000 m. La grande cuvette centrale de Dar Chioukh plonge légèrement vers le N-E et son altitude varie de 1150 m au S-O à 870 m au N-E.

III.2.1. Terrains de couverture :

Les terrains meubles de couverture sont représentés principalement par des argiles limoneuses ou sableuses et par les alluvions du lit et des basses terrasses. Accessoirement, des éboulements et des cônes de déjection de faible étendue recouvrent localement le substratum. D'autre part, l'altération en place du substratum affleurant conduit à la formation d'un horizon peu épais de sol éluvial et de rocher désagrègé. Les argiles continentales limoneuses ou sableuses sont largement répandues sur la rive droite. Elles constituent également une frange étroite mais continue au pied de la rive gauche et s'étalent vers l'aval pour recouvrir entièrement la partie inférieure de l'interfluve qui sépare le lit de l'oued du thalweg rive gauche. Une coupe type, telle qu'elle a pu être observée à proximité du site de barrage, présente à la base une couche de graviers, surmontée par des argiles sableuse dans laquelle on relève plusieurs intercalations de lentilles incluant des fragments de taille très variable

III.2.2.Lithologie et stratigraphie :

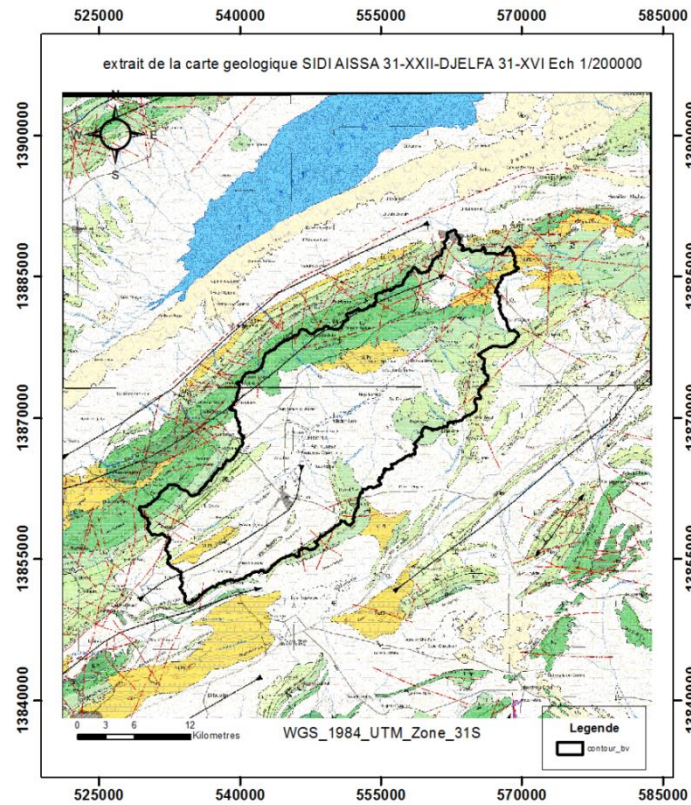
Dans la zone d'études prédominent les sédiments marins du crétacé, des formations d'âge crétacé inférieur sont exposées dans les parties hautes des reliefs correspondant aux rides anticlinales, tandis que des sédiments du tertiaire continental recourent le substratum et occupent les larges dépressions séparant les rides, et le crétacé supérieur est constitué entièrement de sédiments d'origine marine.

- **Le crétacé inférieur** est constitué par deux unités lithostratigraphique l'une est de formation argilo-gréseuse et l'autre formée d'une série argilo-carbonatée tel que les dolomies, le calcaire gréseux.
- **Le crétacé supérieur** est largement représenté comme le cénomanien qui est constitué de marnes grises et les débris organiques avec des grés argileux fins, le turonien qui est la basale calcaire constitué généralement des falaises, le sénonien est constitué de l'ammonite et de calcaire argileux, le campanien qui est caractérisé par les marnes et une tendance de calcaire.

Les séries continentales du tertiaire se composent d'une alternance d'argiles sableuses, de grés, de sables et de graviers, de conglomérats à éléments polygéniques de taille variable.

Le quaternaire récent couvre une superficie importante, il occupe toutes les zones dépressionnaires et se raccorde par un talus en pente douce aux flancs des reliefs son épaisseur dépasse 30m,

CHAPITRE III : Géologie du bassin versant de M'djedel



Légende des formations litho-stratigraphiques

	A. Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles - sables, graviers, limons et argiles
	Q ₂ . Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles et récentes par écoulement des pentes et accumulation de piémont (sables, graviers et argiles) et molasses
	Q ₁ . Quaternaire (Holocène): Formations dunaires consolidées, quelques limonelles, poudingues et grès
	Q ₀ . Quaternaire: Crête calcaire - dépôts quaternaires anciens avec surface encaissée
	Pl.Q. Plio-Quaternaire: Cailloutis (grès et conglomérats) et marnes
	M.PI. Mio-Pliocène: Argiles et conglomérats, calcaires lacustres
	M ₃ . Miocène moyen (Helvétien): Argiles, marnes et grès
	M ₁ . Miocène inférieur: Marnes grises avec bancs de grès
	M ₂ . Miocène inférieur: Crès, marnes et bancs de calcaires
	M ₃ . Miocène inférieur: Série continentale de conglomérats et de grès grossiers
	O1. Oligocène: Grès et passées marnenses
	O2. Oligocène: Série des argiles à la base et grès au sommet
	E ₁ . Eocène moyen (Lutétien supérieur): Marnes, argiles et localement conglomérats
	E ₂ . Eocène inférieur et moyen (Yprésien et Lutétien inférieur): Calcaires à silex et marno-calcaires, parfois à gypse
	Pe. Paléocène-Maestrichtien: Marnes et marno-calcaires
	K _{3,6} . Crétacé supérieur (Carnipon et Maestrichtien): Ensemble marnés à la base et calcaires variés (oolite, zoogen, à silex) au sommet
	K _{2,4} . Crétacé supérieur (Coniacien et Santonien): Calcaires
	K _{2,3} . Crétacé supérieur (Coniacien-Maestrichtien): Marnes grises et calcaires lites au sommet
	K ₂ . Crétacé supérieur (Luronien): Calcaires et marnes
	K ₁ . Crétacé supérieur (Cenomanien): Calcaires jaunâtres, marnes et gypse et dolomies
	K ₂ . Crétacé supérieur (Cenomanien): Marnes et calcaires
	K ₁ . Crétacé inférieur (Albien): Grès, calcaires ocre et argiles
	K ₁ . Crétacé inférieur (Albien): Schistes et quartzites
	T. Trias: Gypses, argiles et colomies noires

Figure III.1 Carte géologique du bassin versant de M'Djedel

III.2.3. Tectonique régionale:

Les observations de terrain dans la zone d'étude et l'analyse des documents géologiques ont permis de distinguer les ensembles morpho-structuraux suivants :

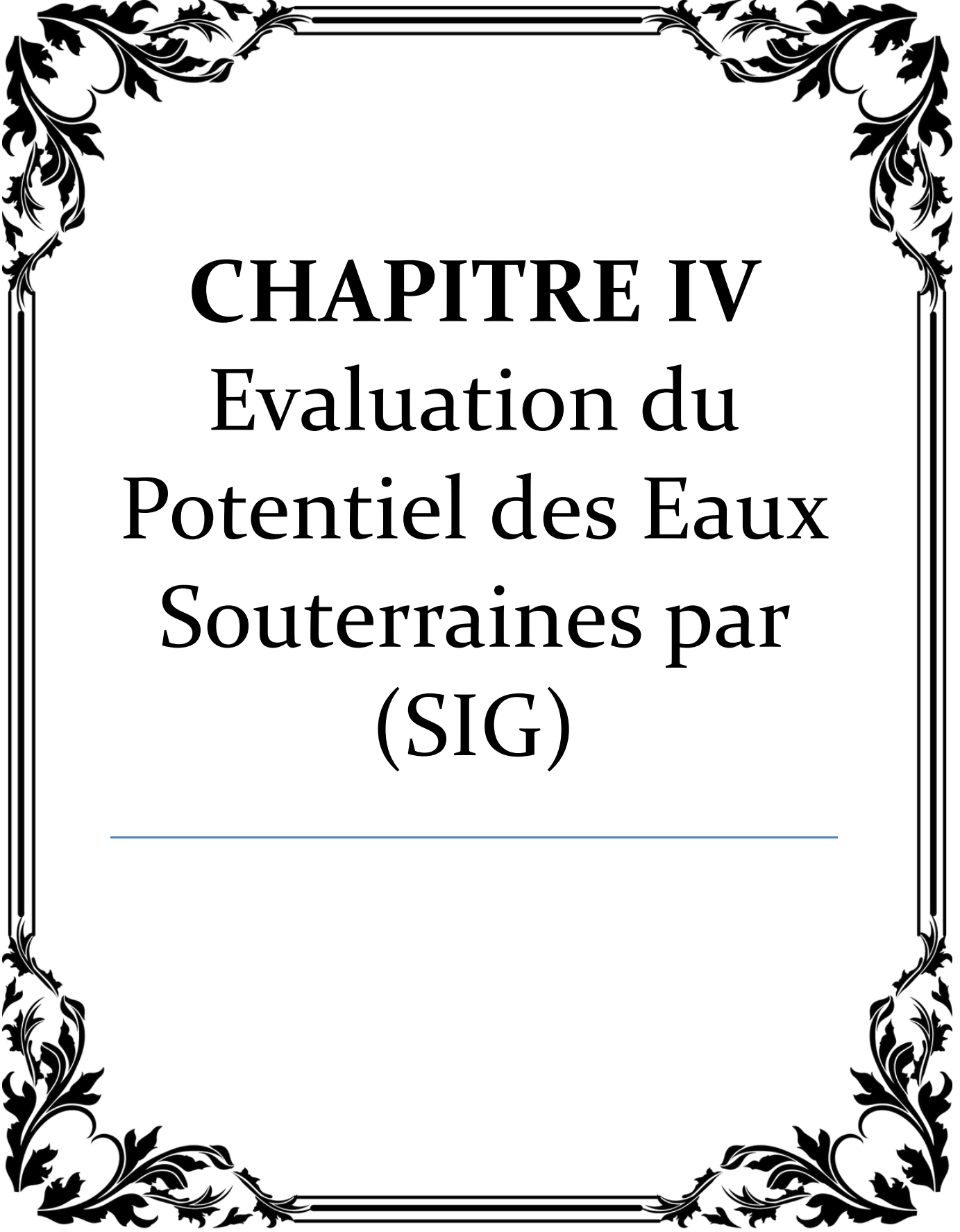
- La depression des ZAHREZ, au nord et nord-ouest du site de barrage, recouverte de dépôts quaternaires qui cachent les structures plissées des formations crétacées sous-jacentes.
- L'anticlinal du DJEBEL CHEBEIBITA lequel s'appuie la forme synclinale des Zaherz, qui est situé au sud-ouest.
- Le synclinal de DAR CHIOUKH est bien mis en évidence par les crêtes calcaires turno-senoniennes qui transparaissent à travers les dépôts quaternaires.
- L'anticlinal de DAR TISSELOUINE borde au sud le synclinal de Dar Chioukh, le long de son axe, les sédiments albiens sont localement par le cénomaniens, l'inflexion de la zone axiale de cette structure marquée par un changement de direction de nord-est et sud-ouest vers le nord-sud pourrait être liée à des accidents tectoniques.

Alors à l'échelle régionale, les principales familles de failles sont orientées **nord-est et sud-ouest** ainsi l'est-ouest, les accidents de direction nord-ouest et sud-est sont aussi enregistrés dans la région d'étude, tous ces accidents auraient joué d'abord en failles à rejet vertical, régissant la sédimentation puis en décrochements senestres (nord-est et sud-ouest) ou dextre (est-ouest et nord-est ainsi sud-est).

Donc la structuration géologique serait liée aux épisodes d'activité tectonique intense

relativement récents, d'âge Eocène moyen à Miocène, qui sont vraisemblablement superposés à des déformations plus anciennes, localement des structures

géologiques complexes, tels des plissements dysharmoniques.

A decorative border with intricate floral and leaf patterns in black, framing the central text. The border consists of a double-line inner frame and a more ornate outer frame with leaf-like motifs at the corners and midpoints.

CHAPITRE IV
Evaluation du
Potentiel des Eaux
Souterraines par
(SIG)

IV.1 Définition

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace. Un système d'information géographique est aussi un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées. C'est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. Un système d'information géographique est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et l'aide à la décision.

Un SIG répond à 5 fonctionnalités (les 5 A) :

- Abstraction: modélisation de l'information,
- Acquisition: récupérer l'information existante, alimenter le système en données,
- Archivage: stocker les données de façon à les retrouver et les interroger facilement,
- Analyse: réponses aux requêtes, cœur même du SIG,
- Affichage: restitution graphique.

En d'autres termes, un SIG est un environnement informatisé d'analyse d'une information spatiale numérisée.

IV.2 Fonctionnalités d'un SIG

Un SIG complet, permettra non seulement de dessiner puis tracer automatiquement le plan, mais en outre :

- De disposer les objets dans un système de référence géographique, de les convertir d'un système à un autre.
- De rapprocher entre elles deux cartes (deux plans) de sources différentes, de faciliter leur superposition

De corriger certains contours de la moins fiable en reprenant les coordonnées correspondantes de la plus fiable.

- D'extraire tous les objets géographiques situés à une distance donnée, d'un carrefour, d'une route ou des rives d'un lac.

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

- D'extraire tous les objets situés dans un périmètre donné
- De fusionner tous les objets ayant une caractéristique commune, par exemple les parcelles adjacentes ayant la même densité de surface bâtie.
- De déterminer, sur un réseau, l'itinéraire le plus court pour aller d'un point à un autre.

IV.3 Les données dans les SIG

Le premier aspect auquel on pense quand on évoque la notion de logiciel de cartographie informatique ou de système d'information géographique est celui de manipuler les données. Dès lors, un certain nombre de questions se posent : Comment l'information contenue dans une carte peut elle être stockée dans un ordinateur? Quelles sont les données traitées par les SIG ? La section suivante apporte les réponses aux différentes questions posées et met le point sur les modes d'acquisition de données dans un SIG.

IV.4 Modes d'acquisition de données

Dans la pratique, les données géographiques proviennent de sources différentes, ont des modes d'acquisition différents, sont sur des médias différents, on dit qu'elles sont multisources. Certaines données sont directement mesurées sur le terrain (levés topographiques) ou captées à distance (système de positionnement Global GPS, photos aériennes, images satellitaires), ou saisies à partir de cartes ou de plans existants, ou récoltées par des organismes de production de données et ensuite importées. Il s'agira d'intégrer ces données hétérogènes, car de qualité, de fiabilité, de précision et d'extensions spatiales bien différentes. Nous présentons dans ce qui suit les principales méthodes d'acquisition de données.

a. Numérisation

La numérisation (digitalisation ou vectorisation) permet de récupérer la géométrie des objets disposés sur un plan ou une carte préexistante. Elle consiste à faire évoluer un curseur sur un plan posé sur une table à digitaliser et préalablement calé en coordonnées. La table est réceptive aux signaux électriques émis par le curseur. Elle peut localiser ces signaux sur le plan de la table avec une précision de l'ordre du dixième de millimètre.

b. Balayage électronique (scannérisation)

Le balayage électronique (réalisé avec un scanner) est un autre moyen de saisir un plan existant. Il est plus rapide que la digitalisation manuelle.

c. Photogrammétrie

La photogrammétrie aérienne est utilisée de façon systématique pour constituer les cartes à moyenne échelle. Elle est retenue également dans les pays dont la couverture cartographique et géodésique est déficiente et utilisée pour la constitution de plans à grande échelle pour un coût qui peut être très avantageux.

d. Images satellitaires (télédétection)

La télédétection est un moyen très commode de créer les données à introduire dans les SIG. Il s'agit en effet d'utiliser, dans des conditions particulières et rigoureuses, soit les photographies aériennes, soit les images enregistrées et transmises par satellite .

e. Import de fichiers

C'est une façon de réduire les coûts de saisie et de récupérer des données existantes et de les convertir au format, au système d'unités et au système de projection souhaités. Pour cela, on utilise des interfaces qui permettent:

- soit de transformer directement les données dans le format interne du SIG récepteur grâce à des bibliothèques de conversions à ce format interne.
- soit de passer par l'intermédiaire d'un format d'échange reconnu, par une fonction d'importation de données du SIG récepteur.

IV.5 Types de données dans un SIG

Généralement pour qu'un objet spatial soit bien décrit et prêt à être utilisé par un SIG, trois informations doivent être fournies:

- sa position géographique dans l'espace
- sa relation spatiale avec les autres objets spatiaux : topologie
- son attribut, c'est à dire ce qu'est l'objet avec un caractère d'identification (code) Les systèmes d'information géographique permettent de traiter les données spatiales et associées .

IV.5.1 Données spatiales

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont représentés et identifiés tous les éléments graphiques:

- La localisation : coordonnées par rapport à une échelle graphique de référence.
- La forme: point, ligne, surface.
- La taille: longueur, périmètre, surface.

Les informations font référence à des objets de trois types :

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

- Point: est désigné par ses coordonnées et à la dimension spatiale la plus petite.
- Ligne: a une dimension spatiale constituée d'une succession de points proches les uns des autres.
- Polygone (zone ou surface): est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite.

IV.5.2 Données associées

Les données associées des entités géographiques permettent de compléter la représentation géométrique de l'entité spatiale. Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification qui peut être numérique ou littéral .

Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone.

Parmi ces données il faut distinguer :

a) **Données de classification:**

Ces données permettent de ranger le point isolé, la ligne ouverte ou la ligne fermée, dans une catégorie: limite administrative, contour de parcelle, bordure de trottoir, arbre d'alignement, conduite de réseau d'eau...

Souvent ces distinctions seront prises en compte par l'organisation même du travail de saisie. Tout se passe, comme si l'on distinguait plusieurs couches d'informations, que l'on saisit successivement.

b) **Données d'identification:**

Ces données permettent d'individualiser chaque objet figurant sur le plan: nom propre de l'objet, par exemple nom de la commune ou numéro permettant de l'identifier: numéro de parcelle, numéro de vanne

c) **Données attributaires:**

Ces données viennent apporter une information supplémentaire, propre à chaque objet identifié: le propriétaire de la parcelle, le diamètre de la conduite d'eau...

Souvent ces informations sont déjà disponibles sur des fichiers informatiques, où elles sont liées à l'identifiant de chaque objet. En général, la classe d'objet est déterminée, au moins en partie, par le processus de digitalisation, les identifiants étant introduits souvent en bloc à la fin.

IV.5.3. Modes de données dans les SIG

La reprise de documents cartographiques existants sur support papier en vue de les introduire dans un SIG, pouvait recourir à des techniques différentes: la

digitalisation et le balayage électronique par exemple. La première conduit directement à des données cartographiques numériques de type vecteurs, la seconde à des données tramées.

IV.5.3.1 Mode vecteur

Ce mode répond au souci de représenter un objet de manière aussi exacte que possible. Pour transformer un objet réel en une donnée à référence spatiale, on décompose le territoire en couches thématiques (relief, routes, bâtiments...) structurées dans des bases de données numériques.

Une couche réunit généralement des éléments géographiques de même type. Les éléments géographiques (objets spatiaux) peuvent être représentés sur une carte par des points, des lignes ou des polygones.

Les avantages du mode vecteur sont:

- Une meilleure adaptation à la description des entités ponctuelles et linéaires.
- Une facilité d'extraction de détails.
- Une simplicité dans la transformation de coordonnées.
- Les inconvénients du mode vecteur sont:
- Les croisements de couches d'information sont délicats et nécessitent une topologie parfaite.

IV.5.3.1 Mode raster

Le mode trame ou raster est également appelé modèle matriciel. Contrairement au mode vecteur qui ne décrit que les contours, le mode raster décrit la totalité de la surface cartographique point par point. Il est utilisé principalement dans les systèmes à balayage (scanners, capteurs en télédétection ...)

Les avantages du mode raster sont:

- Meilleure adaptation à la représentation des détails surfaciques.
- Acquisition des données à partir d'un scanner à balayage.
- Meilleure adaptation à certains types de traitements numériques: filtres, classifications

Les inconvénients du mode raster sont:

- Mauvaise adaptation à la représentation des détails linéaires.
- Obligation de parcourir toute la surface pour extraire un détail
- Impossibilité de réaliser certaines opérations topologiques, la recherche du plus court chemin dans un réseau par exemple. Ces deux modes sont complémentaires. Le raster est mieux adapté à certains types d'applications (télédétection) et apporte une réponse économique à certains besoins. L'exploitant d'un réseau pourrait par exemple se contenter de scanner des fonds de plans en les conservant au format raster et on numérise par-dessus son

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

réseau en mode vecteur (qui nécessite une définition par formes géométriques). Le vecteur correspond à l'ensemble des besoins courants en gestion de données localisées.

IV.6 Domaines d'application des SIG

Les approches ont mis en évidence le fait qu'un système d'information géographique est un outil de gestion et d'aide à la décision. C'est un outil de gestion pour le technicien qui doit au quotidien assurer le fonctionnement d'une activité. Le SIG doit aussi être un outil d'aide à la décision pour le décideur (directeur, administrateur) qui doit bénéficier de sa puissance et disposer de cartes de synthèses pour prendre les meilleures décisions. C'est cette finalité qui permet d'employer le terme de système d'information et de donner aux SIG les domaines d'applications suivants :

Pour les grandes échelles

- La gestion foncière et cadastrale (recensement des propriétés, calcul de surfaces)
- La planification urbaine (plan d'occupation des sols et d'aménagement)
- La gestion des transports (voies de circulations, signalisation routière)
- La gestion des réseaux (assainissement, AEP, gaz, électricité, téléphone ...)
- La gestion du patrimoine (espaces verts, parcs, jardins ...)
- Les applications topographiques (travaux publics et génie civil)

Pour les échelles moyennes et petites

- Les études d'impact (implantation d'un centre commercial ou d'une école)
- Les études d'ingénierie routière (constructions de routes ou d'autoroutes)
- Les applications liées à la sécurité civile (prévention des risques naturels et technologiques).
- La gestion des ressources naturelles (protection de l'environnement, études géologiques, climatologiques ou hydrographiques).

IV.7 Mise en place d'un SIG

D'une manière générale, la mise en œuvre d'un SIG peut être faite avec différents logiciels parmi lesquels les quatre suivants constituent les plus utilisés : Geoconcept, ArcView, ArcGis et MapInfo. Tous ces logiciels ont une même vocation : apporter des réponses à la problématique spatiale grâce à des analyses cartographiques ou des thématiques. Les fonctionnalités techniques sont très proches les unes des autres. Ces logiciels s'adaptent à des usages dans les divers domaines, mais leur choix devra être éclairé par : son coût dépendant

évidemment du budget alloué au projet du SIG.

- l'ergonomie de son interface.
- la nécessité de former les chargés d'études pour sa prise en main
- .• ses atouts en termes d'apport de solutions d'analyses
- .• les possibilités d'échanges de données.
- la compatibilité de ses supports de données avec d'autres

IV.8 Zone de Recharge Potentielle des Eaux Souterraines

IV.8 .1 Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est de cartographier les zones potentielles de recharge des aquifères fracturés à partir des techniques spatiales notamment la télédétection et les SIG. Ces techniques s'adaptent bien à notre zone d'étude qui est un bassin versant s'étendant sur plusieurs centaines de km².

Cette approche permet d'accéder aux informations préliminaires importantes pour la première fois sur la distribution spatiale de la recharge dans la zone d'étude. La méthodologie est essentiellement basée sur la description, la classification et de l'intégration des principaux facteurs influençant la recharge tels que l'occupation et le type de sol, la géologie, les fractures, les pentes et densité de drainage.

IV.8 .2 Approche d'étude

Les principales sources de données utilisées sont des cartes géologiques et des sol, et les images satellitaires pour extraire les données liées à l'altitude (pente, ...) et les données météorologiques mesurées aux stations dans toute la zone d'étude (ANRH).

Dans ce mémoire, cinq couches thématiques ont été générées et combinées (géologie, l'utilisation/couverture des terres, les linéaments, le drainage et la pente) pour produire une carte des zones potentielles des eaux souterraines à l'aide du logiciel ArcGIS 10.3.

Des poids appropriés ont été établis pour les différents facteurs. Enfin, la fonction d'analyse spatiale a été utilisée pour démontrer la zone de potentiel de recharge des eaux souterraines de la zone de recherche.

Toutes les cartes ont été affichés dans la zone de projection UTM 31, Datum WGS84, avec une résolution de 30 m. Toutes les couches vectorielles obtenues ont été converties au format raster.

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

La figure **IV.1** décrit les méthodes utilisées pour générer les couches de données SIG et la carte des zones potentielles des eaux souterraines (GWPZ).

Les cinq cartes thématiques (géologie, l'utilisation/couverture des terres, les linéaments, le drainage et la pente) nécessaires à la génération de la carte des GWPZ ont été produites sur une plate-forme SIG (logiciel ArcGIS 10.3).

La carte géologique de la zone d'étude a été extraite de l'assemblage des cartes géologiques SIDI AISSA NI 31-XXII et DJELFA 1 NI 31-XVI Ech 1/200000.

Les cartes thématiques de géomorphologie et de pente ont été créées à l'aide du modèle numérique d'élévation (DEM) avec une résolution spatiale de 30 m.

ASTER-DEM (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>) a été adopté pour préparer la carte de drainage, qui a ensuite été traitée pour créer la carte de densité de drainage.

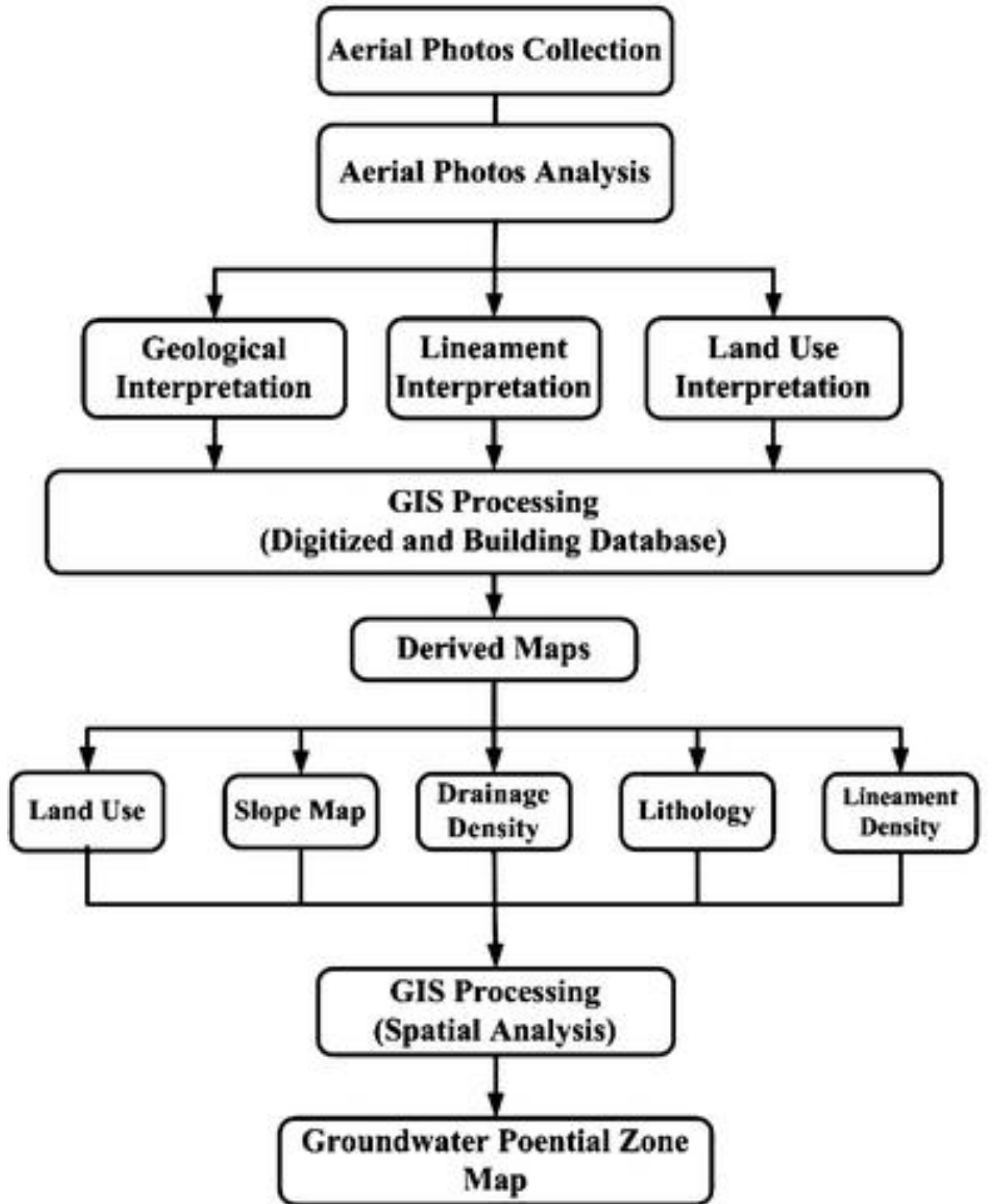
La couche de densité de drainage de la zone d'étude a été créée à partir du DEM en suivant les procédures de la boîte à outils d'hydrologie pour "remplir le DEM, la direction du flux, l'accumulation du flux, l'ordre des flux et le flux vers l'entité".

Les données de densité de drainage résultantes ont été catégorisées afin de créer une carte de densité de drainage de la région de recherche.

La carte LULC de l'étude a été générée à partir d'une série de données Landsat ETM du mars 2020 via une classification supervisée du composite de chromaticité des bandes 4, 3 et 2 pour dériver la classification de l'utilisation des terres dans le progiciel ArcGIS.

Suite à la préparation de toutes les différentes cartes thématiques avec des caractéristiques distinctes (telles que la pente, la densité de drainage, le sol, l'utilisation des terres, la géologie et les cartes thématiques des linéaments), les cartes ont été transformées au format raster et les poids appropriés ont été donnés dans séquence de leur hiérarchie dans la potentialité des eaux souterraines en adoptant le processus de l'analyse spatiale.

Des valeurs de pondération ont été attribuées en fonction de la situation sur place. La distribution de la zone de potentiel de recharge des eaux souterraines a été déterminée en la coordonnant avec la fonction d'intégration spatiale du système d'information géographique (SIG). La figure **IV.1** illustre l'organigramme de cette enquête.



FigIV.1 Organigramme méthodologique de la zone de potentiel des eaux souterraines

IV.8 . 3 L'infrastructure du modèle de potentiel de recharge des eaux souterraines

La zone de potentiel de recharge des eaux souterraines a été évaluée dans de nombreux pays (Krishnamurthy et al. 1996 ; Saraf et Choudhury 1998 ; Shahid et al. 2000 ; Jaiswal et al. 2003 ; Sener et al. 2005 ; Shaban et al. 2006).

Dans cette étude, les poids de différents facteurs pour le potentiel de recharge des eaux souterraines et le score sous diverses caractéristiques ont été évalués en fonction des caractéristiques du bassin du versant de M'djedel.

Les facteurs influençant la recharge des eaux souterraines, et leur importance relative, sont compilés à partir de la littérature précédente.

Les facteurs en double ont été combinés et seuls les facteurs représentatifs ont été extraits.

Cette étude utilise la géologie, l'utilisation/couverture des terres, les linéaments, le drainage et la pente comme les cinq couches thématiques.

Les facteurs influençant le potentiel de recharge des eaux souterraines, qui sont énumérés dans le tableau IV.1.

La technologie SIG a été utilisée pour numériser les informations hydrologiques et géographiques, et une base de données fondamentale a été construite.

Comme été signalé précédemment, des scores appropriés ont été établis pour différents facteurs. Enfin, la fonction d'analyse spatiale a été utilisée pour démontrer la zone de potentiel de recharge des eaux souterraines de la zone de recherche.

Facteurs	Basis of categorization
Lithology	Rock type, weathering character, joints,
Land cover/land use	Type, areal extent, associated vegetation
Lineaments	Lineament-density value
Drainage	Drainage-density value
Slope	Slope gradient

Tableau IV.1 Les facteurs influençant le potentiel de recharge des eaux souterraines

IV.8 .4 Description de la zone d'étude

Dans ce paragraphe on va rappeler brièvement les caractéristiques de notre bassin versant .en effet, le bassin versant de M'djedel est situé à environ 55 km à l'ouest de la ville de Bou Saada et à 200 km de la zone côte méditerranéenne. La zone d'étude constitue l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien, dans la région des Monts des Ouled Nail.

Morphologiquement, ce bassin correspond à une succession de plis parallèles de direction SO-NE se traduisant par une alternance de crêtes allongées (djebels) le long des rides anticlinales et de cuvettes synclinales.

Le réseau hydrographique de la région est moyennement dense, il comporte un tronc principal, Oued M'djedel, qui fait partie du bassin fermé du ZAHREZ.

Les sols sont de parcours steppique dont la végétation naturelle est dégradée, la végétation est spontanée et régie à la fois par des conditions climatiques et des dégradations de causes anthropiques.

Sur le plan climatique, le bassin versant de M'djedel est soumis à un climat semi aride, caractérisé par précipitations modérées en hiver et un été chaud et sec avec quelques pluies exceptionnelles en automne.

Les précipitations d'une moyenne annuelle de 226.2 mm à la station de Dar Chioukh.

L'irrégularité des précipitations dans la région indique que la recharge des nappes se fait généralement lors de fortes crues. La température moyenne annuelle est de 20.4°C. Cette forte chaleur est due à la concentration de masses d'air chaud , ce qui donne une augmentation sensible de l'amplitude thermique, favorisant ainsi une intense évaporation.

L'ensemble de la litho-stratigraphie de ce bassin est constitué par les terrains crétacés formés de grès, marnes, calcaires et argiles. Les formations néogènes (Mio-Pliocène) sont constituées de calcaires et calcaires marneux à la base, des conglomérats, grès, sables et des marnes au sommet. Le Quaternaire est formé d'alluvions.

La structure à valeur synclinale, les caractéristiques lithologiques permettent de relever les différents ensembles aquifères constitués par les réservoirs du Quaternaire, du Mio-Pliocène et du Crétacé supérieur.

La nappe superficielle : Il s'agit d'une nappe alluviale localisée dans les accumulations alluvionnaires (dépôts sableux et argilo-sableux du Quaternaire) de l'oued M'djedel. Elle est alimentée par les précipitations, l'infiltration des eaux de l'oued et les eaux d'irrigation.

La nappe du Mio-Pliocène : Cet aquifère est constitué par une alternance de

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

niveaux fins argileux ou marneux et de niveau grossiers sableux et conglomératiques. Son alimentation est assurée par les pluies exceptionnelles dans la zone d'affleurement.

La nappe des calcaires : Elle est constituée par les calcaires du Sénonien supérieur et ceux du Turonien.

IV.8 .5 Méthodologie d'analyse

La méthode consiste à croiser les informations spatiales relatives aux différents facteurs régissant la recharge des aquifères. Ceux ci sont d'abord étudiés séparément et relativement appréciés. Une classification est ainsi définie pour chacun d'eux et une cote.

Par la suite, le rôle de chacun de ces paramètres dans l'infiltration est pondéré, évalué et exprimé sous le terme d' «indice d'infiltration» ainsi que son taux de contribution (allant de 1 à 10) sera affectée à chaque classe. Une carte thématique est alors établie pour chaque paramètre.

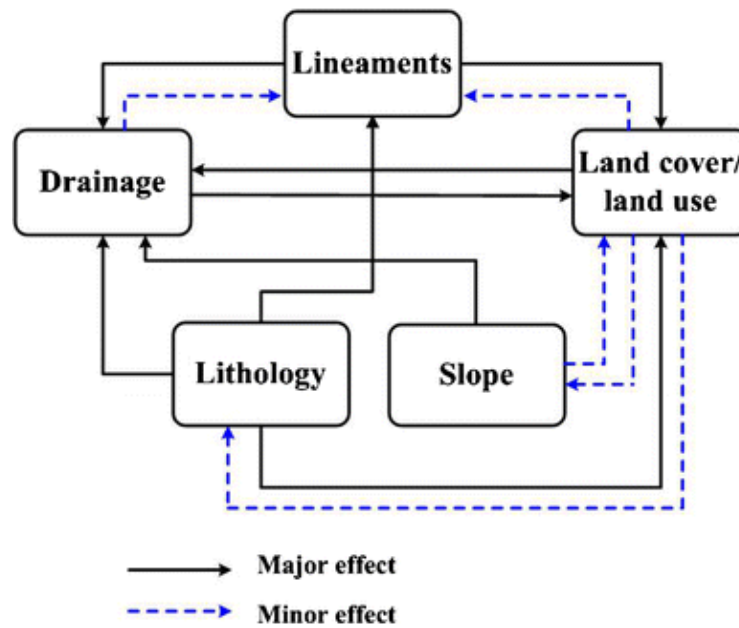
«L'indice d'infiltration» est une valeur numérique égale à la cote affectée d'un coefficient de pondération (poids) exprimant l'importance de l'effet exercé par rapport aux autres paramètres. La détermination des poids repose sur l'analyse des effets relationnels inter-paramètres : un point(1pt) est attribué pour chaque effet majeur, et un demi point(0.5pt) pour chaque effet mineur .

Le poids de chaque facteur sera alors égal à la somme des effets qu'il exerce sur les autres (Shaban et al, 2001).

Le taux de contribution de chaque facteur dans la recharge potentielle correspondra alors au rapport(en%) de son indice d'infiltration sur la somme des indices de tous les facteurs. Enfin, en procédant à la sommation de tous les indices pour une zone donnée, on obtient une valeur qui traduit l'importance relative de la recharge dans la dite zone. Le «potentiel de recharge» dans une zone donnée correspond donc à la résultante des indices de tous les paramètres pris en compte.

L'implémentation sur un SIG (superposition des cartes thématiques des paramètres) permettra alors d'établir une carte synthèse sur laquelle seront circonscrites les zones de recharge potentielle.

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)



FigIV.2L'influence interactive des facteurs (modifié de Shaban et al. 2006)

IV.8 .6 Les principaux facteurs régissant la recharge

En ralentissant l'écoulement à la surface du sol, le couvert végétal permet à l'eau de s'infiltrer. Par ailleurs, le système racinaire améliore la perméabilité du sol. Enfin, le feuillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par conséquent le phénomène de battance (Musy et Soutter, 1991) .

La couverture végétale permet aussi le confinement de l'eau au dessous de la zone couverte, diminuant ainsi le taux d'évaporation directe. Inversement, la recharge joue un rôle significatif dans la distribution de cette végétation.

Le cheminement des eaux de la surface vers les profondeurs découle de la perméabilité, de la compaction et de la nature du ciment entre les grains, donc de la connaissance du caractère lithologique ainsi que de la densité de fracturation (Kouadio et al, 2008).

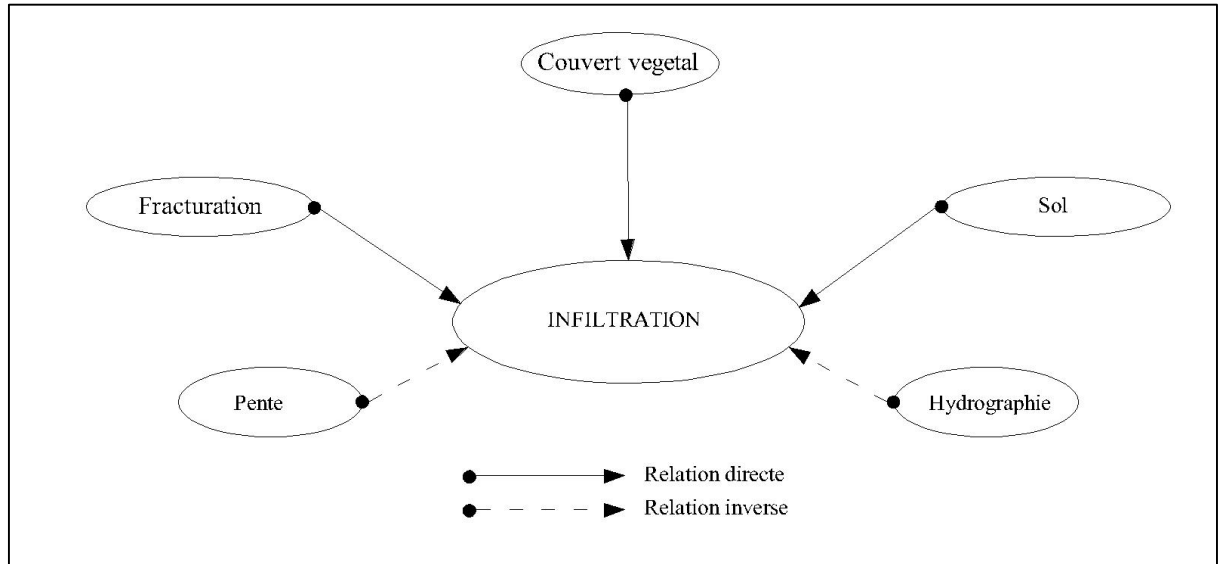
Les caractéristiques de la matrice du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles-mêmes, régissent en partie l'infiltration. De plus, la compaction de la surface du sol due à l'impact des gouttes de pluie (battance) ou à d'autres effets (thermiques éanthropiques) peut avoir pour conséquence la dégradation de la structure de la couche de surface du sol et la formation d'une croûte dense et imperméable à une certaine profondeur. La forme ainsi que la densité du réseau hydrographique permettent de tirer des conclusions importantes quant au ruissellement et à l'infiltration des eaux.

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

Un réseau hydrographique complexe et développé implique généralement une faible infiltration

Enfin, une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration.

Le schéma suivant résume les principaux facteurs régissant l'infiltration :



FigIV.3 Les principaux facteurs régissant l'infiltration

IV.8 .7 Établissement des facteurs liés au potentiel de recharge des eaux souterraines

IV.8 .7.1 Géologie (Type de Sol/Épaisseur de sol)

La pénétration de l'eau dans les couches souterraines profondes dépend du type et de l'épaisseur des sols. Lorsque la teneur en argile est élevée, les sols sont favorables plutôt à la rétention de l'eau en surface qu'à l'infiltration. Par ailleurs, si ces sols sont riches en éléments sableux, le temps de percolation est contrôlé par leur épaisseur

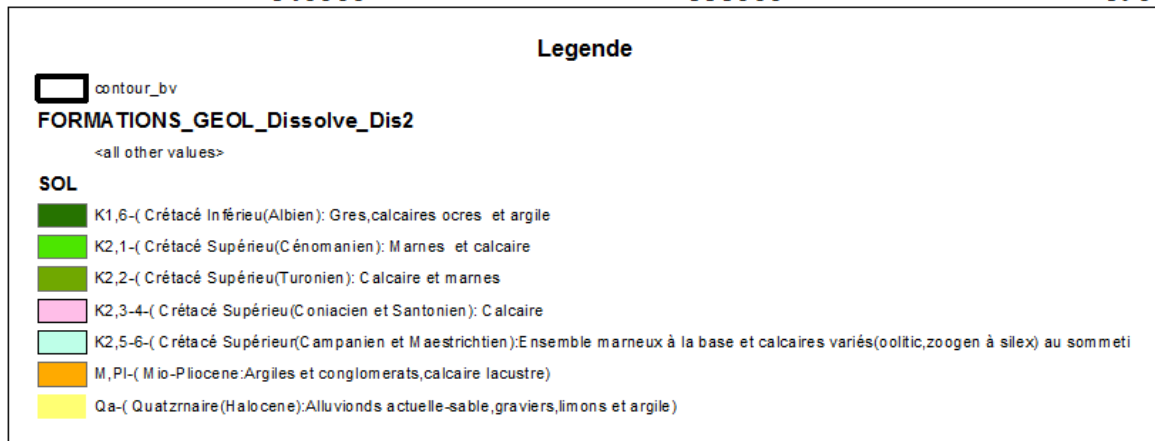
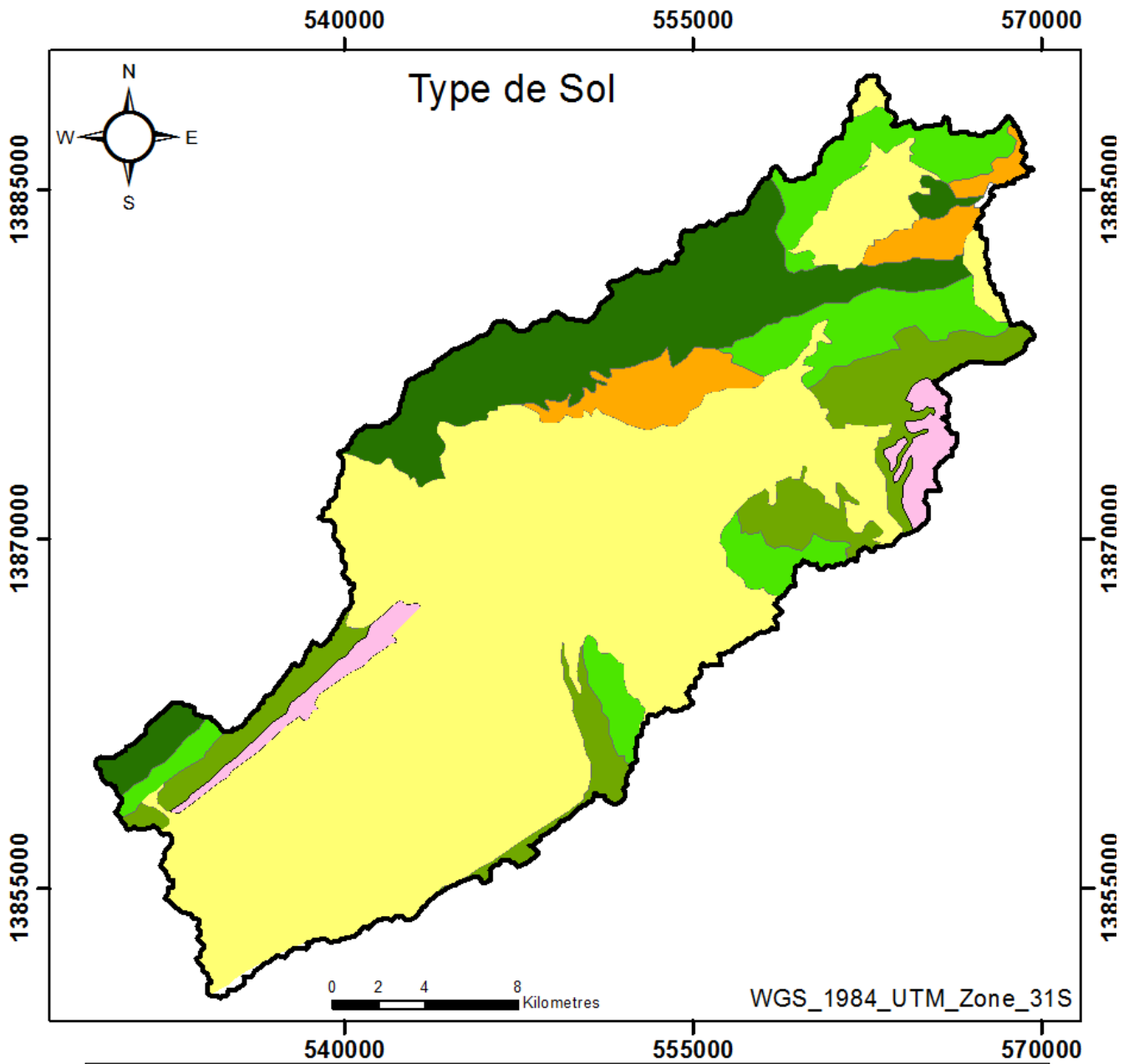
(Rodhe et Bockgard 2006 ; Gleeson, 2009).

Les sols du bassin versant ont été cartographiés à partir d'une carte **géologiques SIDI AISSA 31-XXII –DJELFA 31-XVI Ech 1/200000** qui est la seule disponible dans la zone d'étude. Sept types de sol ont été identifiés dans la zone d'étude :

- K1,6- Crétacé Inférieur (Albien): Gres, calcaires ocre et argile sols de plaines alluviales;
- K2,1- Crétacé Supérieur (Cénomanién): Marnes et calcaire
- K2,2- Crétacé Supérieur (Turonien): Calcaire et marnes
- K2,3-4- Crétacé Supérieur (Coniacien et Santonien): Calcaire
- K2,5-6- Crétacé Supérieur (Campanien et Maestrichtien): Ensemble marneux à la base et calcaires variés (oolitic, zoogen à silex) au sommet
- M,Pl- Mio-Pliocène: Argiles et conglomérats, calcaire lacustre
- Qa- Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles - sable, graviers, limons et argile

L'interprétation hydrogéologique de ces sols sont consignées dans le Tableau IV.2

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)



FigIV.4Type de sol

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

Unités	Description	Propriété hydrogéologique
K1,6- Crétacé Inférieur (Albien) :	Grès, calcaires ocre et argile sols de plaines alluviales ; Cette unité se présente dans les élévations Nord-Ouest, du point de vue granulométrique, ces sols sont très riches en grès et calcaire avec une alternance de marne, ce qui leur confère une aptitude moyenne à l'infiltration	Bonne
K2,1- Crétacé Supérieur (Cénomanién)	Cette unité se présente dans les alentours immédiats de l'exutoire ,du point de vue granulométrique, ces sols sont très riches en calcaire avec une alternance de marne, ce qui leur confère une aptitude moyenne à l'infiltration	Bonne
K2,2- Crétacé Supérieur (Turonien)	Cette unité se présente dans les zones élevées du bassin, du point de vue granulométrique, ces sols sont très riches en calcaire avec une alternance de marne, ce qui leur confère une aptitude moyenne à l'infiltration	Bonne
K2,3-4- Crétacé Supérieur (Coniacien et Santonien)	Cette unité se présente dans les zones les plus élevées du bassin, du point de vue granulométrique, ces sols sont très riches en calcaire, ce qui leur confère une grande aptitude à l'infiltration	Excellente
K2,5-6- Crétacé Supérieur (Campanien et Maestrichtien)	Cette unité se présente dans les zones élevées du bassin, du point de vue granulométrique, ces sols sont très riches en marne avec une alternance de calcaire à la base, ce qui leur confère une aptitude faible à l'infiltration	Mauvaise
M,PI- Mio-Pliocene	Cette unité se présente dans les parties basse du bassin le long du cours d'eau principal avec des pentes douces, du point de vue granulométrique, ces sols sont très riches en calcaire et conglomérats avec une alternance de marne, ce qui leur confère une très bonne aptitude à l'infiltration	Très Bonne
Qa- Quaternaire (Halocene)	Cette unité occupe une vaste surface du bassin avec des pentes douces, du point de vue granulométrique, ces sols sont très riches en gravier et sable avec une alternance de limons et marne, ce qui leur confère une très bonne aptitude faible à l'infiltration	Très Bonne

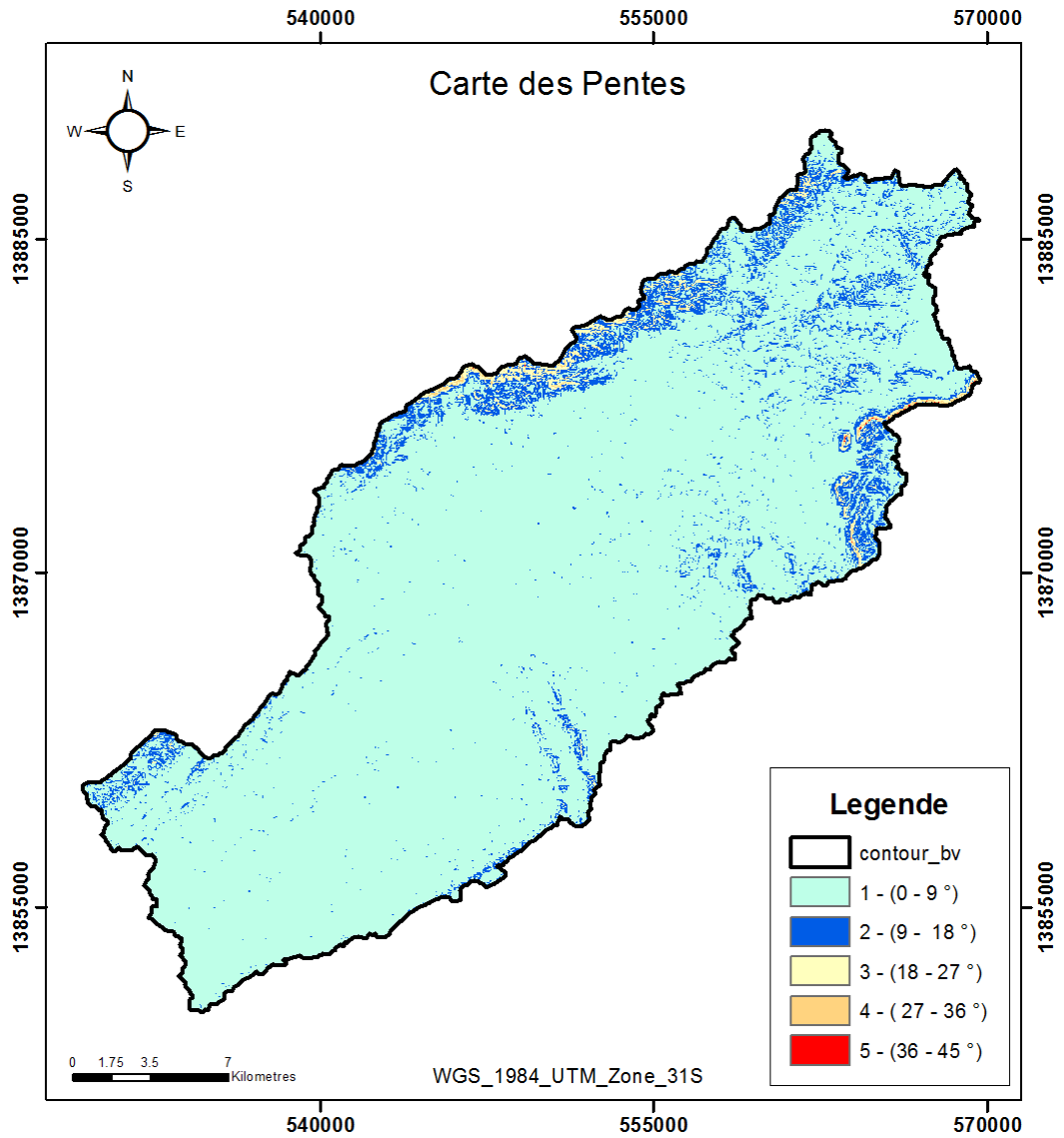
Tableau IV.2Classification hydrogéologique des types de sol

IV.8 .7.2 Pentas (Slope)

Les pentes sont inversement proportionnelles au potentiel de recharge des aquifères. Lorsque les pentes sont fortes, le ruissellement des eaux est accéléré ce qui entraîne une diminution considérable de l'eau disponible pour la percolation. A l'inverse les conditions de pentes faibles sont favorables à l'accumulation et à l'infiltration des eaux (Krishnamurthy et al., 1996 ; 2000) La réalisation de la carte thématique de ce facteur a nécessité l'établissement d'un modèle numérique de terrain. L'examen des valeurs de pentes sur ce MNT a permis de déterminer cinq (05) classes :

- Classe I : $\alpha > 36\%$ (dure) : Les valeurs de cette classe représentent les pics des montagnes entourent tout le bassin versant de M'djedel
- Classe II : $27 < \alpha < 36\%$ (très forte) : Cette classe correspond aux zones montagneuses. où le ruissellement serait très important, impliquant une infiltration minime.
- Classe III : $18 < \alpha < 27\%$ (forte) : Cette classe correspond aux zones de piedmonts. Le ruissellement perdrait de son ampleur et c'est l'infiltration qui commencerait à avoir lieu, bien que le facteur longueur de pente soit réduit.
- Classe IV : $9 < \alpha < 18\%$ (assez forte) : C'est la classe des hautes plaines. Cette zone montre des pentes relativement importantes, où l'infiltration prend de l'importance
contrairement au ruissellement qui perd son énergie.
- Classe V : $0 < \alpha < 9\%$ (moyenne) : C'est la classe des basses plaines. Elle occupe le centre de la carte et la plus grande partie de la zone d'étude.

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)



FigIV.5Pente(Slope)

Classe d'intervalle (en degré)	Propriété hydrogéologique
0 - 9	Excellente
9- 18	Modérée
18 - 27	Mauvaise
27 - 36	Mauvaise
>36	Mauvaise

Tableau IV. 3 Classification hydrogéologique des pentes

IV.8 .7.3 Utilisation/couverture des terres (LULC)

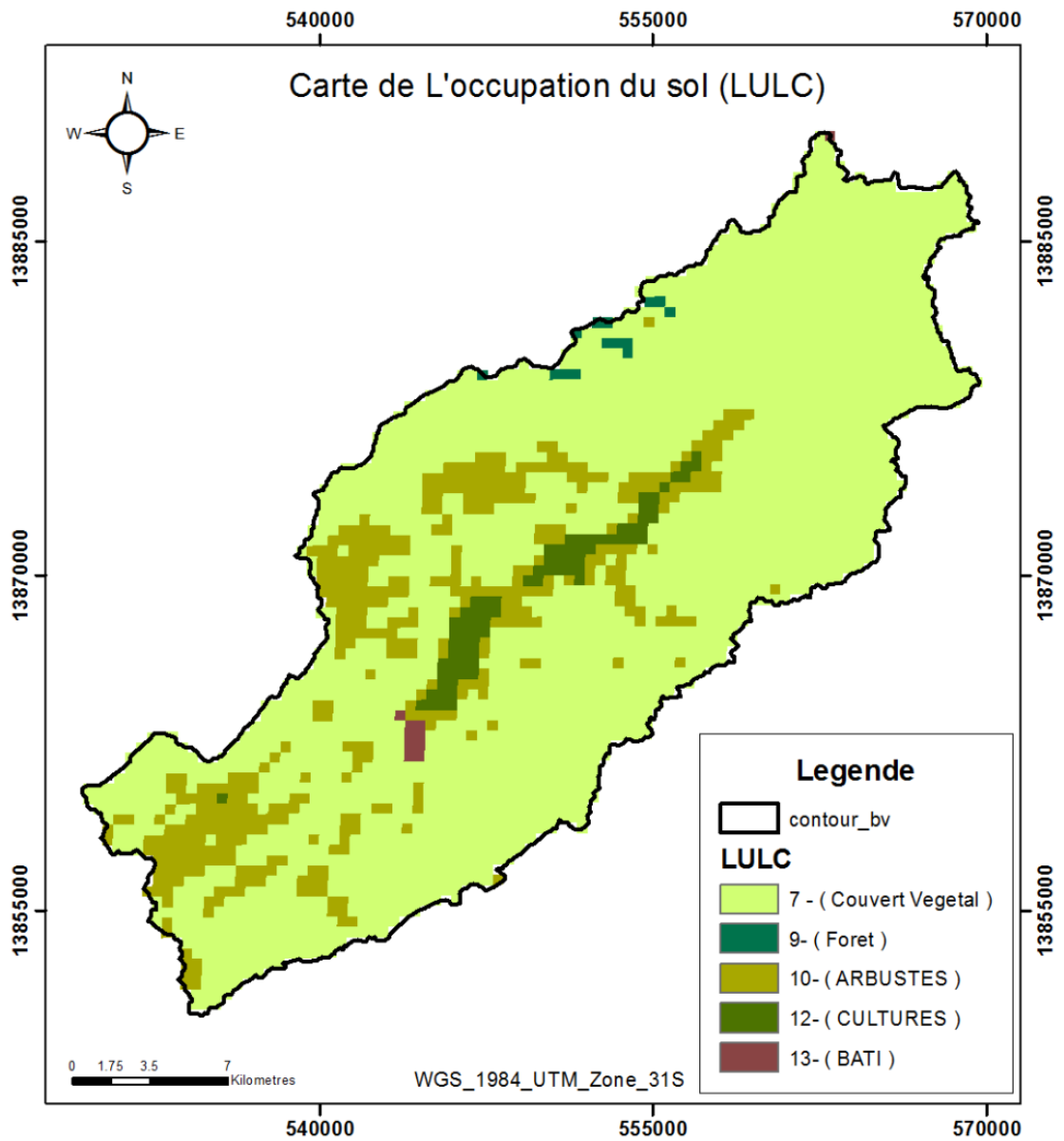
L'occupation du sol désigne un grand nombre de paramètres présents à la surface du sol qui influence la recharge. Les plus importants sur le plan hydrogéologique sont la couverture végétale et les surfaces imperméables. Les surfaces imperméables (bâtiments, routes, etc) retardent considérablement le processus de recharge (Bou Kheir et al., 2003). La couverture végétale, par contre améliore la recharge, car elle favorise le confinement de l'eau dans le sol empêchant ainsi l'évaporation directe.

L'examen de la carte d'occupation des sols nous permet de définir les types de végétations et d'occupation des sols suivants :

Couvert végétal, Forêt, Arbustes, Cultures et Constructions et localités.

L'interprétation hydrogéologique de ces classes d'occupation du sol est consignée dans le Tableau

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)



FigIV.6 Occupation du sol

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

Unités	Description	Propriété hydrogéologique
Couvert végétal (Végétation dispersée)	Cette unité est caractérisée par une forte dispersion de la couverture végétale, elle est plus favorable au processus de recharge des aquifères en raison d'une perte limitée de l'eau par évapotranspiration	Très Bonne
Forêt dense	La forêt dense favorise l'infiltration de par le confinement de l'eau dans la zone végétale. Cependant une grande partie de cette eau est perdue par évapotranspiration, son rôle est donc limité dans le processus de recharge des aquifères	Bonne
Arbustes (forêt claire)	Cette unité est caractérisée par une forte dispersion de la couverture végétale, elle est plus favorable au processus de recharge des aquifères en raison d'une perte limitée de l'eau par évapotranspiration	Très Bonne
Culture	Les cultures lorsqu'elles ne sont pas intensives améliorent la recharge des aquifères en raison de la perte limitée par évapotranspiration. Dans la zone d'étude, les cultures sont très dispersées, ces zones sont donc favorables aux processus de recharge de même que la forêt claire.	Très Bonne
Sols-nus_ zones habitées	Cette unité représente les surfaces imperméables (routes, habitats, zones industrielles, affleurements, etc.) qui retardent considérablement la recharge des aquifères en raison de la prépondérance du ruissellement.	Mauvaise

Tableau IV. 4 Classification hydrogéologique des pentes

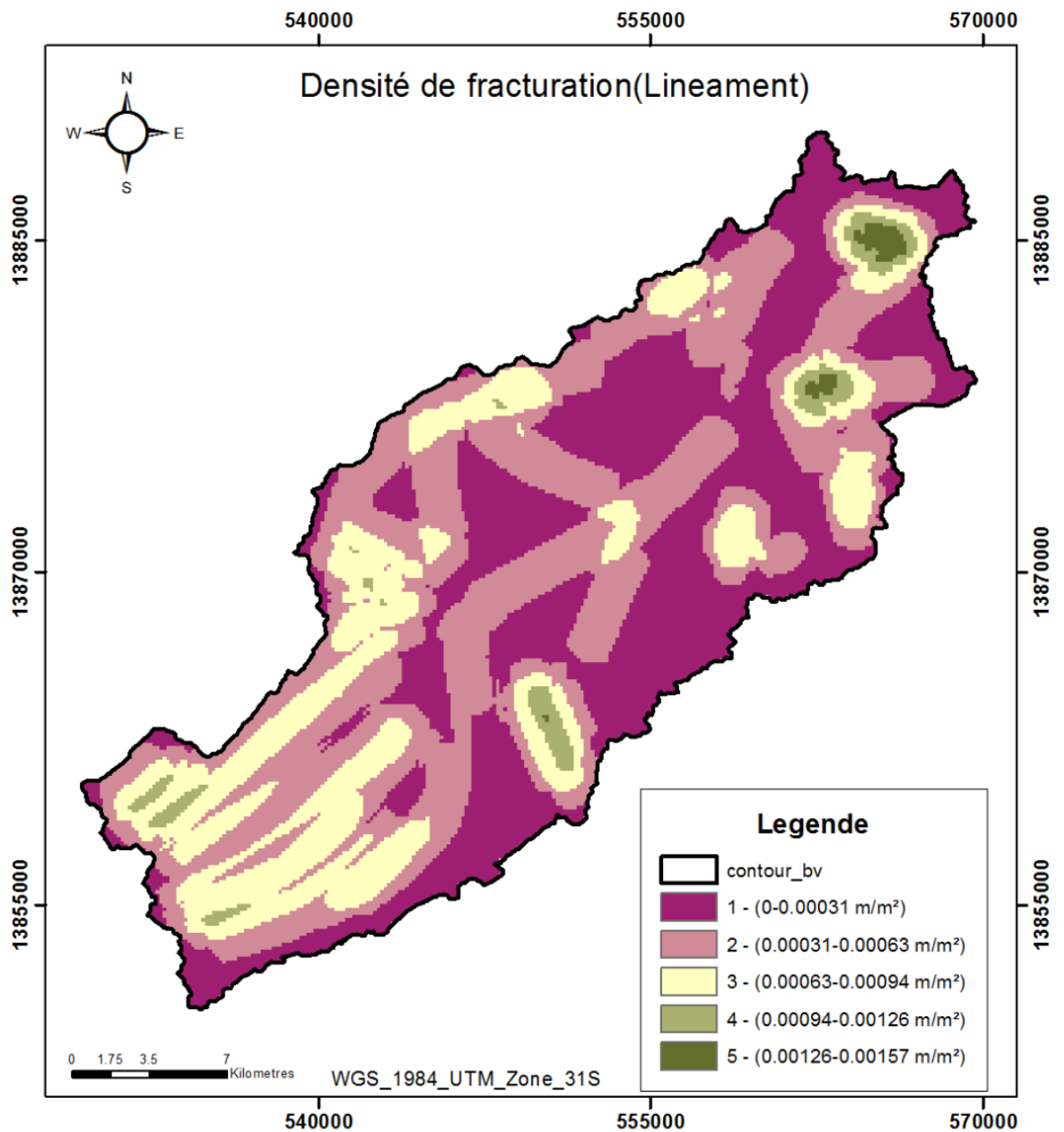
IV.8 .8.4 Lignes de linéament (Fractures)

La densité des fractures exprimée en longueur cumulée totale ou en nombre de fractures par unité de surface donne des indications sur le degré de fracturation des roches, permettant ainsi d'identifier les zones hautement fracturées qui sont les endroits perméables à travers lesquels l'eau s'infiltré et parcourt plusieurs dizaines de kilomètres. La cartographie de la densité de fracturation est par conséquent très utile dans l'identification des zones potentielles de recharge en milieu de socle fracturé (Krishnamurthy, 1996 ;2000 ; Sener et al., 2005) La carte du réseau de fractures est issue d'une carte linéamentaire détaillée. Cette dernière est produite à partir d'une image DEM

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

Une description complète de cette méthode de validation est disponible dans de nombreux travaux (Jourda, 2005 ; Jourda et al., 2006 Youan Ta, 2008). La carte validée des fractures a fait l'objet de traitement pour déterminer des paramètres quantifiables telle que la densité de fracturation qui est en rapport avec la perméabilité des aquifères. La production et la visualisation de la carte de densité de fracturation sont effectuées avec le logiciel ArcMap10.3 (Figure IV.7).

Elles sont qualifiées de très bonne, bonne, modérée et mauvaise (Tableau IV.5)



FigIV.7Densité de fracturation

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

Domaine	Densité (m /m ²)	Propriété hydrogéologique
1	0-0.00031	Très mauvaise
2	0.00031-0.00063	mauvaise
3	0.00063-0.00094	modérée
4	0.00094-0.00126	Bonne
5	0.00126-0.00157	Très Bonne

Tableau IV.5 Classification hydrogéologique des densités de fracturation

IV.8 .7.5 Densité de Drainage

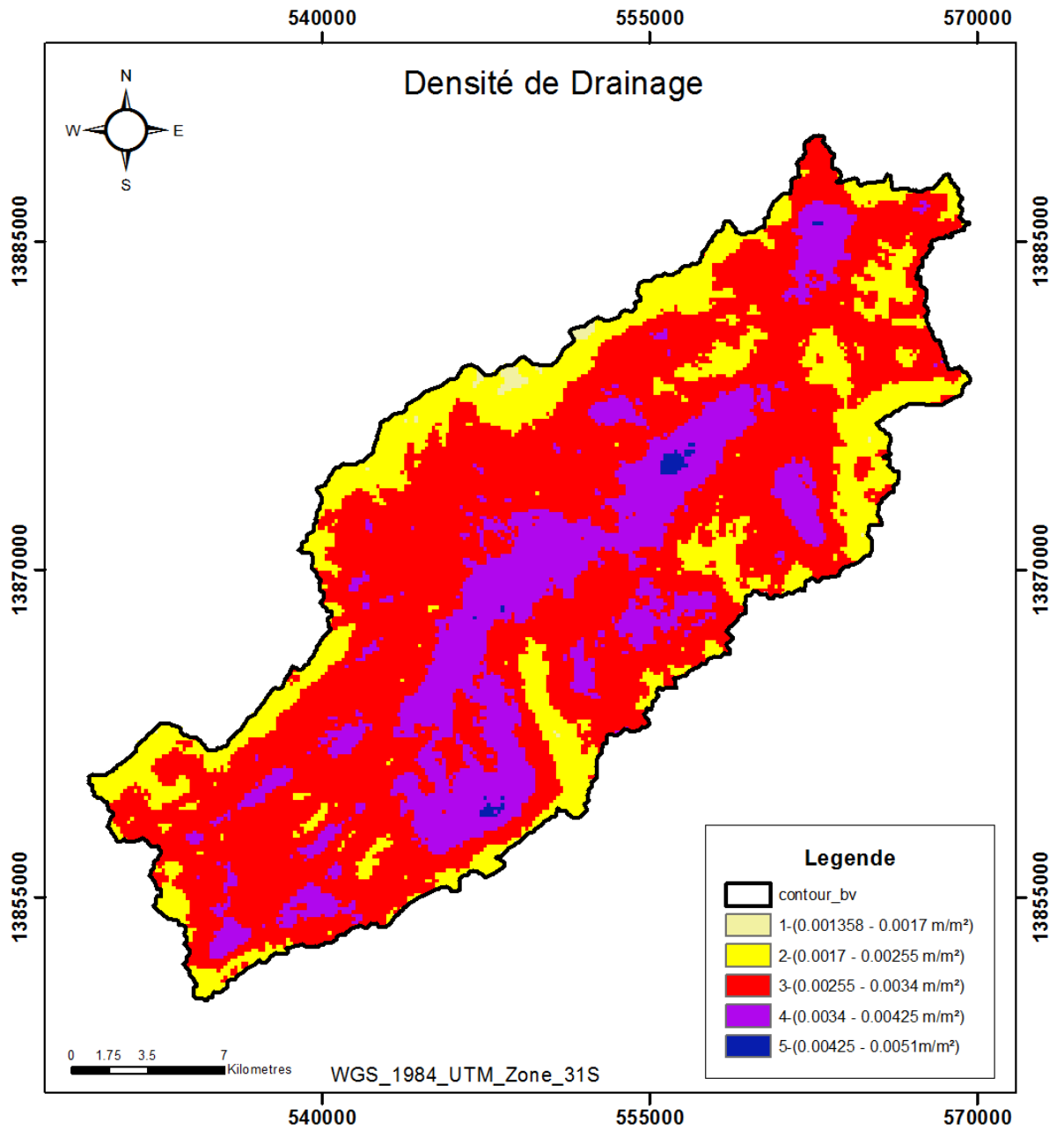
En hydrogéologie, il est bien connu que, plus le réseau de drainage est dense, plus le ruissellement est important et par conséquent il y a moins d'eau disponible pour la recharge des aquifères. Cependant, cette conception sur le réseau hydrographique s'est avérée erronée dans certains cas (Shaban, 2003 ; 2006). A titre d'exemple, dans les formations rocheuses très connues pour leur aptitude à la recharge, notamment les calcaires dolomitiques karstifiés, la densité du réseau hydrographique a un caractère original. Dans ce type de milieu, la densité du réseau de drainage est attribuée à la présence de roches compétentes fracturées qui crée un certain nombre de voies d'écoulement. En milieu de socle cristallin sous climat tropical humide, la corrélation entre densité de drainage et perméabilité des formations géologiques a été évoquée par Edet (1998). Selon cet auteur une forte densité de drainage en milieu de socle fracturé indique une grande perméabilité de la lithologie, qui est elle-même contrôlée par la nature et le degré de fracturation des roches sous-adjacentes ou affleurantes . Dans cette étude la densité du réseau de drainage est considérée comme indicateur de perméabilité. Le réseau de drainage a été utilisé comme critère d'évaluation des propriétés de recharge des aquifères fracturé par de nombreux auteurs (Sener, 2005 ; Shaban, 2006 ; Hsin-Fu 2007 ; Krishnamurphy ; 1996 ; 2000

L'établissement de la carte thématique de ce paramètre repose sur une image DEM et sur la digitalisation de tous les cours d'eau et leur classement en fonction de leur densité de drainage.

L'évaluation des propriétés hydrogéologiques de ce réseau de drainage est effectuée à partir d'une étude de densité qui est en rapport avec la perméabilité. La cartographie et la visualisation de la carte de densité du réseau de drainage

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

sont effectuées avec le logiciel ArcMap10.3 (Figure IV.8). En fonction de la densité du réseau de drainage, les zones identifiées sont qualifiées de : très bonne, bonne, modérée et mauvaise (Tableau IV.6)



FigIV.8Densité de drainage

Domaine	Densité (m /m ²)	Propriété hydrogéologique
1	0.001358 - 0.0017	Très bonne
2	0.0017 - 0.00255	bonne
3	0.00255 - 0.0034	modérée
4	0.0034 - 0.00425	mauvaise
5	0.00425 - 0.0051	Très mauvaise

Tableau IV.6- Classification hydrogéologique des densités de drainage

IV.8 .8 Détermination des poids

Pour déterminer la pertinence de chaque paramètre vis-à-vis de l'infiltration, une analyse des effets relationnels inter-paramètres a été effectuée.

- la géologie conditionne le type de couvert végétal et d'occupation du sol. En effet, pour chaque type de géologie, un genre et une densité de couvert végétal se définissent. Par ailleurs, Le couvert végétal a un rôle fixateur des terrains en place, il réduit l'ampleur de l'érosion et de glissement. La géologie aura donc un effet majeur (1) et le couvert végétal un effet mineur (0.5)
- La végétation existante se concentre dans les plaines, les lits d'oueds et les zones de dépression ,auxquels correspondent des pentes faibles à très faibles. Par contre celles des hauteurs où les pentes sont de plus en plus fortes (>10%) sont pratiquement désertiques. La pente joue un rôle important dans le ruissellement et l'alimentation, donc elle influe le couvert végétal continuellement.
- Tous les types de cultures se concentrent soit sur les rives ou à l'approche d'un oued ou thalweg ou bien à l'exutoire du bassin versant pour permettre un meilleur arrosage et un renouvellement de la terre végétale. En conséquence, le couvert végétal est fonction du réseau hydrographique et conditionné par ce dernier. Mais, il faut signaler que le couvert végétal freine le ruissellement, de ce fait un effet mineur est à relever aussi.
- Les cours d'eau présentent une forme « imposée » en grande partie par la lithologie des terrains qu'ils traversent. L'effet majeur est donc assez évident. D'autre part, la lithologie doit beaucoup au réseau hydrographique pour son alimentation en particules fines et son remaniement. En conséquence ,un effet

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

majeur existe de part et d'autre.

- En superposant la carte du réseau hydrographique et celle de la pente, nous remarquons que plus la pente est forte plus la densité des cours d'eau est grande et les affluents sont resserrés. Dans les zones de plaines les cours d'eau sont plus espacés et de très faible densité. Il y a donc un effet majeur de la part de la pente.
- La nature pédologique et la texture du sol sont continuellement modifiées et remaniées par le réseau hydrographique soit par le transport ou par les phénomènes d'érosion et de corrosion. Un effet majeur est donc exercé par le réseau hydrographique
- Les pentes les plus fortes s'aperçoivent dans les terrains durs, comme les montagnes calcaires dolomitiques ou salifères du Trias. Par contre les plus faibles se trouvent dans les terrains récents friables. Ceci implique un effet majeur de la lithologie sur la pente
- La pédologie a pour origine l'érosion des affleurements en surface. La lithologie influe sur les constituants de la pédologie, entraînant donc un effet majeur.

En conséquence, le poids de chacun des facteurs est exprimé comme suit :

- Densité de drainage : 1 majeur + 1 mineur = $(1 \times 1) + (1 \times 0.5) = 1.5 \text{pts}$
- Linéament (Fractures) : 2 majeurs = $(2 \times 1) = 2 \text{pts}$
- Pente : 1 majeur + 1 mineur = $(1 \times 1) + (1 \times 0.5) = 1.5 \text{pts}$
- Lithologie : 3 majeurs = $(3 \times 1) = 3 \text{pts}$
- Land cover/land use: 1 majeur + 3 mineurs = $(1 \times 1) + (3 \times 0.5) = 2.5 \text{pts}$

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

IV.8 .9 Détermination des indices d'infiltration

Le Tableau IV.7 résume les poids et les coefficients d'interaction attribués aux différentes classes définies. Ainsi, les facteurs ayant une grande aptitude d'infiltration se distinguent par des poids totaux élevés

Facteur	Description des classes	Côte Weight (a) (1-10)	Poids Rate (b) (1-3)	(Poids) x (côte)	Indice d'infiltration Σ (Poids x cote)	Taux de contribution Σ (Poids x cote)x100 /TOTAL
Géologie (Type de Sol/Epaisseur de sol) (voir Tableau IV.2)	Bonne	6.5	3	19.5	139.5	40.58
	Bonne	6.5		19.5		
	Bonne	6.5		19.5		
	Excellente	10		30		
	Mauvaise	1		3		
	Très bonne	8		24		
	Très bonne	8		24		
Pentes (Slope) (voir Tableau IV.3)	Excellente	8	1.5	12	39.75	11.56
	Modérée	6.5		9.75		
	Mauvaise	1		1.5		
	Mauvaise	1		1.5		
	Mauvaise	1		15		
Utilisation/couverture des terres (LULC) (voir Tableau IV.4)	Très Bonne	8	2.5	20	78.75	22.91
	Bonne	6.5		16.25		
	Très Bonne	8		20		
	Très Bonne	8		20		
	Mauvaise	1		2.5		
Lignes de linéament (Fractures) (voir Tableau IV.5)	Très mauvaise	1	2	2	52	15.13
	Mauvaise	2		4		
	Modérée	5		10		
	Bonne	8		16		
	Très Bonne	10		20		
Densité de Drainage (voir Tableau IV.6)	Très bonne	8	1.5	1.5	33.75	9.82
	bonne	6.5		3		
	modérée	5		7.5		
	mauvaise	2		9.75		
	Très mauvaise	1		12		
				TOTAL	343.75	100

Tableau IV.7 Pondération des cartes thématiques en fonction de leur propriété hydrogéologique

L'avis de quelques experts dans divers domaines afin de porter un jugement qualitatif selon une échelle de 1 à 10 a été requis, sur les paramètres influençant l'infiltration. Ces avis ont été comparés au raisonnement de HAOUCHINE *et al.* (2010) dans la détermination des zones de recharge, puis une adaptation a été faite à la zone d'étude

IV.8 .10 Établissement de la carte-synthèse

L'établissement de la carte de recharge potentielle a été rendu possible grâce à l'**agrégation** de l'ensemble des cartes paramétriques élaborées et stockées sous forme de couches dessin et données dans le Système d'Informations Géographiques utilisé.

La méthode de calcul utilisée dans le SIG pour la superposition des cartes est l'approche opérationnelle du critère unique de synthèse de Roy (GAROUNI et MERZOUK, 2006). Le principe consiste à additionner les différentes couches selon leur importance. La probabilité que la recharge dans une zone soit élevée sera donc liée aux valeurs des classes des paramètres qui se croisent suivant l'équation (1):

$$\text{GPZM} = 40.58 * [\text{S}] + 11.56* [\text{P}] + 22.91* [\text{LULC}] + 15.13*[\text{LD}] + 9.82*[\text{DD}] \quad (1)$$

avec :

GPZM : correspond à la somme des cotes pondérées calculées pour chaque pixel du raster à partir de la cote des cinq paramètres.

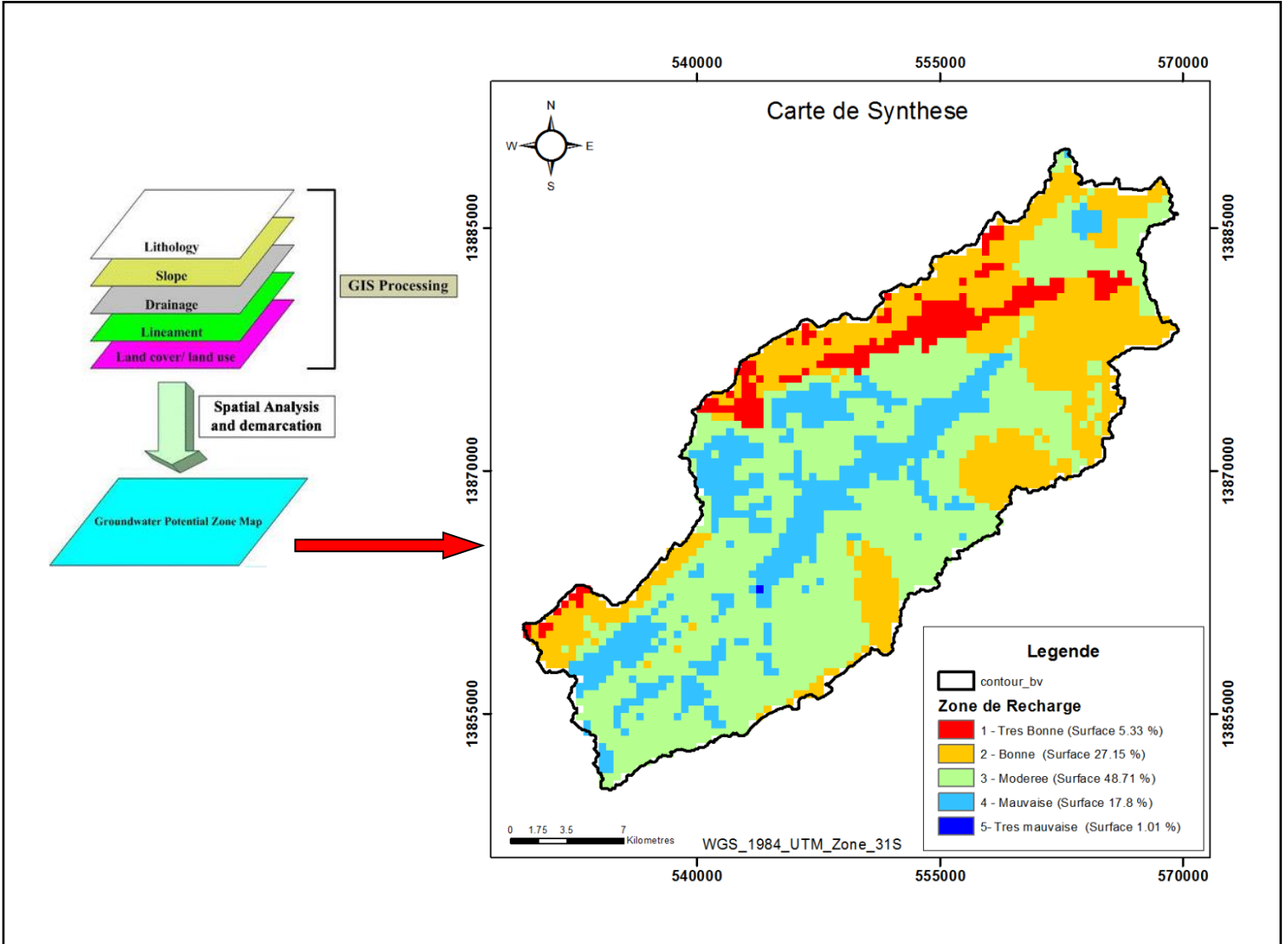
S : type de sol.

P : pente.

LULC: Utilisation/couverture des terres.

LD : Lignes de linéament (Fractures)

DD :densité de drainage et



FigIV.9 La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ)

IV.8 .11 Carte de synthèse

La Figure IV.9 montre la carte de synthèse élaborée après l'intégration des cartes thématiques. Les zones potentielles d'infiltration ou de recharge identifiées dans le bassin versant de M'Djedel sont classées selon leur importance. Elles varient de très bonne à très mauvaise. Les zones potentielles de recharge élevée apparaissent majoritairement au nord-ouest et au centre du bassin versant avec quelques zones disséminées visibles au nord montagneux. Ces zones représentent environ 5 % de la superficie globale cela concorde bien avec :

- La carte thématique du type de sol (FigIV.4) où le crétacé inférieur et supérieur prédominent, caractérisés par une aptitude hydrogéologique

CHAPITRE IV : Evaluation du Potentiel des Eaux Souterraines par (SIG)

- La carte thématique de la pente (FigIV.5) caractérisée par une pente modérée à bonne dans la partie nord-est
- La carte thématique de l'utilisation /couverture des terres (LULC)(FigIV.6) marquée par les foret dense et culture dispersée dans cette partie du bassin versant
- La carte thématique de la densité de drainage (Fig IV.8),avec une pente variant de modérée a bonne .

Cette zone indique que le taux d'infiltration pourrait être élevé en cas de pluies. Elles désignent également les zones de transmission rapide des contaminants de la surface vers l'aquifère. Ces zones doivent être donc protégées dans le cadre d'une gestion durable des ressources en eau.

À l'opposé, les zones potentielles de recharge très faible et faible sont localisées majoritairement au centre du bassin versant avec un taux de 18% de la superficie totale du bassin.

Les zones de bonne recharge qui représentent un taux de 27% de la superficie totale du bassin se propage dans la partie nord aux alentours de l'exutoire ceci s'explique par l'extension des affleurement du crétaé dans cet endroit.

Enfin, les zones potentielles de recharge modérée qui occupent 48 % de la superficie totale apparaissent sous formes disséminées à travers l'ensemble du bassin versant avec une forte concentration au centre et au sud. Les infiltrations dans ces endroits sont susceptibles d'être moyennes.

Conclusion générale

La télédétection permet d'acquérir une multitude de sources de données sous formes de cartes thématiques qui sont indispensables à la caractérisation des zones de recharge à l'échelle d'un grand bassin versant. Nous avons entre autres les cartes d'occupation du sol, les cartes de pentes, les cartes du réseau de drainage et les cartes de fractures. La diversité des données nécessite leur intégration dans un SIG. La télédétection et les SIG se sont avérés efficace dans l'évaluation du potentiel de recharge des aquifères fracturés dans de nombreuses études hydrologiques à l'échelle régionale (Salama et al., 1994 ; Shaban et al., 2006 ; Hsin-Fu et al., 2009). Cette approche a aussi l'avantage d'avoir les coûts faibles pour les études portant sur des vastes superficies allant de plusieurs centaines de km² à quelques milliers de km², comparativement aux méthodes expérimentales dont les coûts sont très élevés pour des surfaces limitées (ex : méthodes isotopiques, hydrochimiques, hydrauliques, etc.). Toutefois, l'usage de certains types de données de télédétection tels que les linéaments, qui sont considérés comme les expressions des fractures et des accidents géologiques (Lattman, 1958 ; O'Leary et al., 1976 ; Lillesand et Kiefer, 1989 ; Mabee et al., 1990), est beaucoup controversé dans la littérature. En effet, les linéaments sont habituellement cartographiés à partir des photographies aériennes et/ou des images satellitaires où ils sont représentés par des structures linéaires ou curvilignes. Certains hydrogéologues estiment que seulement 30 % ou moins des linéaments observés sur une image sont considérés être au même endroit avec la même orientation par différents analystes (Podwysocki, 1974 ; Mabee et al., 1990). Le nombre de linéaments observés dépend en général des méthodes d'interprétation et de l'expérience de l'opérateur. On se referra aux travaux de Sander (2007) pour une description complète des limites de l'usage des linéaments. Cependant, la cartographie des linéaments est soutenable, lorsque ces linéaments sont analysés de manière supplémentaire avec les données géologiques et les données de terrain (Mabee, et al., 1994; Sander et al., 1997; Tam et al., 2004). L'usage des linéaments en hydrogéologie a connu de nombreuses évolutions et son domaine d'application ne cesse de croître. Par exemple, en Côte d'Ivoire, les linéaments ont été employés dans le processus de localisation des ressources en eau souterraine dans différents endroits du pays (Savané et al., 1995; Jourda et al., 2006 ; Youan Ta, 2008).

L'utilisation des SIG dans l'intégration de diverses sources de données connaît aussi des limites. La principale difficulté réside dans la définition des limites de

Conclusion générale

classes et des poids qui sont assignées aux différents paramètres entrant dans la réalisation du SIG. Le choix des limites de classe s'opère le plus souvent en fonction de la faculté de discernement de l'opérateur et de son sens de jugement (Jourda et al., 2006). Il faut par ailleurs noter que les limites des différentes classes définies pour les critères et les indicateurs ne doivent pas être perçues comme des barrières tangibles mais plutôt comme des zones de transition entre les différentes classes. Ce même jugement est fait lors de l'assignation des côtes aux différentes classes définies.

Les zones potentielles de recharge des aquifères ont été identifiées dans la présente étude selon une méthode simple basée sur les données cartographiques fournies par la télédétection et les SIG.

Dans le présent travail, ce modèle a permis de fournir de manière qualitative des informations préliminaires importantes sur la distribution spatiale de la recharge des aquifères fracturés dans le bassin versant de M'djedel.

La superficie des zones potentielles de recharge élevée représente environ 30 % de la superficie totale du bassin versant. La répartition spatiale de ces zones n'est pas cependant homogène. Elles sont localisées majoritairement au nord-ouest et au centre. Elles apparaissent de manière fragmentée au nord du bassin versant. Ces zones de recharge formellement identifiées à partir des techniques spatiales doivent être protégées dans le cadre d'une gestion durable des ressources en eau, car elles représentent les aires de recharge rapide des aquifères régionaux et aussi les zones de transmission des polluants.

Les résultats de cette étude sont perfectibles en validant la carte de distribution spatiale des zones potentielles de recharge. Cette validation pourrait se faire soit par des méthodes expérimentales telles que l'isotopie ou l'hydrochimie, soit à travers la calibration d'un modèle numérique

Références bibliographiques

Délimitation des zones de recharge potentielle des eaux Souterraines dans la région d'El Hodna Mansour yakoub Et Toual Hanaa Maissa

Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master .Filiere: Hydraulique, Université de M'Sila

Evaluation de la vulnérabilité au risque d'inondation en utilisant l'approche Multicritères sous SIG (AMC) de la région du Hodna, Bourahla Khouloud. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master .Filiere: Hydraulique, Université de M'Sila

Assessment of groundwater potential zones using multi-criteria decision-making technique: a micro-level case study from red and lateritic zone (RLZ) of West Bengal, India, SabitaRoy , Sugata Hazra ,Abhra Chanda , Sourav Das. Revue Sustainable Water Resources Management

Cartographie de la recharge potentielle des aquifères en zone aride Abdelhamid Haouchine, Boudoukha Abderrahmane, Fatima Zohra Haouchine,Rachid Nedjaï, Revue HAL open science

Cartographie des zones potentielles de recharge de la nappe de Bonoua (sud-est de la Côte d'Ivoire) Cartography of potential recharge areas of the Bonoua aquifer (Southeastern Côte d'Ivoire), Gabriel Etienne Ake, Kan Jean Kouame, Affoué Bénédicte Koffi et Jean PatriceJourda . Revue des sciences de l'eau

Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon, Amin Shaban · Mohamad Khawlie · Chadi Abdallah .Revue Hydrogeology Journal