

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

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT
D'HYDRAULIQUE
N° :



DOMAINE : SCIENCE ET
TECHNIQUE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : OUVRAGES
HYDRAULIQUES

**Mémoire Présenté Pour L'obtention
Du Diplôme De Master en Ouvrages Hydrauliques**

PAR: BOUNAB Ameer & OULEDJABALAH Amine

Thème:

**Cartographie des classes de la perméabilité et de la
structure des sols**

Cas de Oued El Hai (Wilaya de Biskra)

Composé de :

Dr. Université de M'sila Président

Dr. BERGHOUT Ali..... Université de M'sila Encadreur

Doctorant BEN AMOR Samir Université de Batna 2 Co-Encadreur

Dr. Université de M'sila Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

Dédicace

Je dédie ce modeste travail A

ma très chère mère

A mon très cher père

A mes chères sœurs, frère.

A toute ma famille

A tous mes amis

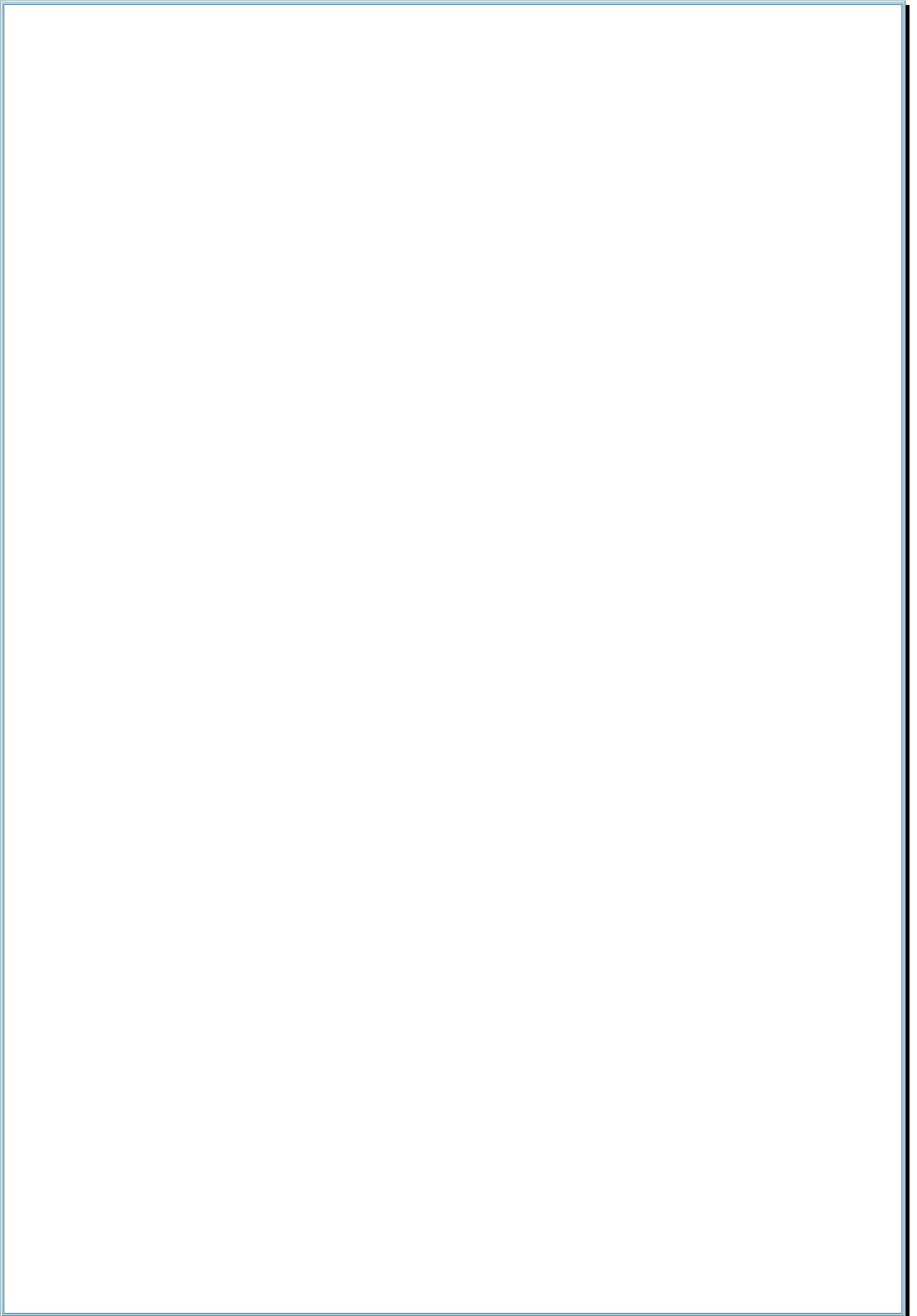
AMEUR & AMINE

Remerciements

*Je remercie en premier Dieu pour tout
Je remercie en second Mon père et ma mère, qui
ont sacrifiés leur vie pour notre bien*

*En fin, mes sincères reconnaissances et gratitude à
tous mes enseignants et en particulier le directeur de ce
mémoire Berghout Ali, pour ses nombreux conseils, et
sa disponibilité.*

AMEUR & AMINE



SOMMAIRE	PAGE
INTRODUCTION GENERALE	
Chapitre I : Généralités sur les classes de perméabilité et de structure	
Introduction	2
I. Classes de perméabilité du sol	2
I.1. Définition de la perméabilité	2
I.1.1.Classes de la perméabilité	2
I.1.2.CLASSIFICATION DES SOLS- USDA-NRCS	3
I.1.2.2.CLASSIFICATION DES SOLS- MTQ	5
I.2- Classes de structure du sol	7
I.2.1. Définition de la structure du sol	7
I.2.2. Classification de la structure du sol	8
I.2.2.1.La première classification	8
I.2.2.2.La deuxième classification (ITC)	11
I.2.2.3. La troisième classification	14

Chapitre2 : Présentation du milieu de l'étude

II. Introduction	18
II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	18
II.2.CARACTÉRISTIQUESGÉOGRAPHIQUESDU BASSINVERSANT	19
A. Caractéristiques de forme	19
B. Indice de capacité de Gravellius Kc	20
C. Rectangle équivalent	20
II .2.2.HYPSOMETRIE	20
II .2.2.1.LA COURBE HYPSONOMETRIQUE	20
II .2.3.LES INDICES DE PENTE	22
A. Indice de ROCHE	22
B. Indice de pente globale Ig	22
B. Dénivelé spécifique DS	22
D. Coefficient orographique Co	23
II.3.LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE	23
II .4.MORPHMETRIE	24
II.4.1. LA DENSITE DE DRAINAGE DD	24
II .5. LE TALWEGPRINCIPALE	25
II .6. LE TEMPS DE CONCENTRATION (Tc)	26
II.7 .GEOLOGIE DES BASSINSVERSANTS	27
II.7.1. DOMAINE MORPHO-STRUCTURALE	2 8
II.7.1.1. LES SYNCLINAUX	2 8

II.7.1.2. SYNCLINALE BATNA– AIN TOUTA	28
II.7.1.3. SYNCLINALE D’EL-KANTARA	28
II.8. CONCLUSION	29
CHAPITRE III-Cartographie des codes de perméabilité et de structure	
III. Introduction	3 0
III .1- Pourcentage de limon Li	3 2
III .2- Pourcentage d'argile Ar	33
III .3- Pourcentage de sable Sa	34
III .4- Pourcentage de matière organique	35
III .5- Pourcentage de sable fin S_{fin}	35

III .6- La carte du paramètre M	37
III .7- Code de la classe de perméabilité (b) du sol	38
III .8- Code de la classe de structure (c) du sol	43
III .9- Carte du facteur K	47
Conclusion générale	48

Liste des Tableaux

Numéro de Tableau	Chapitre 1 : Généralités sur les classes de perméabilité et de structure	Page
Tableau I.1	Matrice d'assignation des groupes hydrologiques (USDA - NRCS, 2004)	5
Tableau I.2	Classification hydrologique du MTQ des sols selon la texture du sol en surface (MTQ, 2004)	7
Tableau I.3	Codification de la structure des sols (c_s) (Wischmeier et Smith, 1978)	14
Tableau I.4	Codification de la perméabilité du sol (b_p) (Wischmeier et Smith, 1978)	14
	Chapitre 2 : Présentation du milieu de l'étude	
Tableau II.1	Les valeurs de la densité de drainage	25
Tableau II.2	Récapitulation des caractéristiques morphométriques du bassin versant	27
	CHAPITRE III-Cartographie des codes de perméabilité et de structure	
Tableau III.1	Code de la classe de perméabilité (b) du sol	38
Tableau III.2	les différentes couches de sol	38
Tableau III.3	Codification de la perméabilité du sol (b_p) (Wischmeier et Smith, 1978)	39
Tableau III.4	Codification de la structure des sols (c_s) (Wischmeier et Smith, 1978)	43

Introduction générale

L'estimation de l'érosion produite par un bassin versant par les modèles USLE, RUSLE, MUSLE et EPM passe obligatoirement par la détermination du facteur d'érodibilité K , ce dernier est fonction de la composition lithologique du sol et des classes de sa perméabilité et de sa structure déterminées généralement par échantillonnage et en utilisant la nomogramme de l'érodibilité des sols de Foster, choses qui rendent la cartographie de l'estimation de l'érosion très difficile.

Ce travail a pour objectif de donner un outil simple de cartographier les deux paramètres codes de perméabilité et de la structure intervenant dans le calcul du facteur K , par conséquent dans l'estimation de l'érosion.

Nous avons scindé notre travail en trois chapitres :

- Premier chapitre sera consacré aux généralités sur les classes de la perméabilité et de la structure.
- Le second chapitre définit la zone de notre étude : Bassin versant d'oued El - Hai.
- Le dernier chapitre sera consacré au fond de notre étude, qui est la cartographie des deux paramètres codes des classes de la perméabilité et de la structure.
- En fin, le mémoire sera conclu par une conclusion générale.

Chapitre 1 : Généralités sur les classes de perméabilité et de structure

I.- Classes de perméabilité du sol :

I.1- Définition de la perméabilité :

La perméabilité est une caractéristique physique qui représente la facilité qu'a un matériau à permettre le transfert de fluide au travers d'un réseau connecté. La Loi de Darcy permet de relier un débit à un gradient de pression appliqué au fluide grâce à un paramètre caractéristique du milieu traversé : la perméabilité k .

La loi de Darcy (Henry Darcy, 1856) s'exprime par :

$$\frac{Q}{S} = \frac{k}{\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

Avec Q le débit, S la section de l'éprouvette qui pour une éprouvette cylindrique est $\pi \cdot R^2$ avec R le rayon de l'éprouvette, k la perméabilité, η la viscosité dynamique du fluide et $\Delta P/\Delta x$, le gradient de pression.

La perméabilité k est donc :

$$k = \frac{Q}{S} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta P} \cdot \eta$$

$$\frac{\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{Pa}} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} = \text{m}^2$$

La perméabilité k s'exprime en m^2 . Lorsque les unités suivantes sont utilisées : Q en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$, S en cm^2 , $\Delta P/\Delta x$ en $\text{atm} \cdot \text{cm}^{-1}$ et η en poises, la perméabilité k s'exprime également en Darcy. Ainsi, $1 \text{ Darcy} = 0,97 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$. Le darcy est couramment utilisé par les hydrogéologues et par les pétroliers. Le m^2 est plutôt utilisé par les physiciens des matériaux.

La perméabilité peut être considérée comme significative de la surface utilisable pour l'écoulement, elle dépend de la géométrie du réseau poreux. La loi de Darcy, et donc la perméabilité, est définie pour des conditions d'écoulement laminaire dans un milieu homogène, isotrope et continu ; le fluide n'interagissant pas avec le milieu.

I.1.1- Classes de la perméabilité :

Il existe de nombreux types de classes de perméabilité, les classifications les plus utilisées sont :

I.1.2- CLASSIFICATION DES SOLS- USDA-NRCS

La description du potentiel de ruissellement des sols dépend de plusieurs facteurs, dont la capacité d'infiltration, l'épaisseur et la séquence des différents horizons, la conductivité hydraulique des différents horizons, mais plus particulièrement de l'horizon le moins perméable.

En collaboration avec les pédologues, le National Resource Conservation Service du USDA (USDA- NRCS, 2009) a développé un système de classification des sols qui essaie de décrire leur potentiel de ruissellement. Selon ce système, les sols sont classifiés en quatre (4) groupes appelés groupes hydrologiques de sol (Hydrologic Soil groups). La classification est basée sur le postulat que les sols qui, dans une même région climatique, ont des caractéristiques semblables en termes de profondeur de l'horizon restrictif ou de la nappe, de taux de percolation, de texture, de structure et de gonflement lorsque saturé devraient produire des ruissellements semblables. Les groupes sont basés sur les facteurs suivants : • la capacité d'infiltration et de percolation sous les conditions les plus humides de l'année; • le sol n'est pas gelé; • le sol est nu; • le sol est sous les conditions de plus grand gonflement pour les argiles gonflantes. La pente du sol n'est pas considérée dans la classification des sols. Dans sa plus simple expression, le groupe est déterminé en fonction de l'horizon le moins perméable, la profondeur de l'horizon considéré comme imperméable et la profondeur de la nappe lorsque présente. Les quatre groupes de sol peuvent être décrits sommairement de la façon suivante :
Groupe A : Les sols de ce groupe possèdent un faible potentiel de ruissellement lorsqu'humides. L'eau percole facilement au travers du sol. Ces sols ont typiquement moins de 10 % d'argile et plus de 90 % de sable et de gravier et ils possèdent des textures sableuses et graveleuses. Certains sols ayant des textures de sable loameux, loam sableux ou de loam limoneux ou silteux peuvent être classifiés dans ce groupe s'ils sont bien structurés et ont une faible densité. La conductivité hydraulique de tous les horizons est supérieure à 14,4 cm/h. La profondeur du sol perméable est supérieure à 50 cm. La profondeur de la nappe est supérieure à 60 cm. Les sols ayant une profondeur de sol perméable supérieure à 100 cm ou une nappe plus profonde que 100 cm sont placés dans ce groupe si la conductivité hydraulique des horizons des premiers 100 cm est supérieure à 3,6 cm/h. Groupe B : Les sols de ce groupe possèdent un potentiel de ruissellement relativement faible lorsqu'humides. Ces sols ont typiquement entre 10 % et 20 % d'argile et entre 50 % à 90 % de sable et ils possèdent des textures de sable loameux et de loam

sableux. Certains sols ayant des textures de loam, loam silteux, limon ou loam sablo- argileux peuvent être classifiés dans ce groupe s'ils sont bien structurés et ont une faible densité. La conductivité hydraulique des 50 premiers cm de sol est comprise entre 3,6 et 14,4 cm/h. La profondeur du sol perméable est supérieure à 50 cm. La profondeur de la nappe est supérieure à 60 cm. Les sols ayant une profondeur de sol perméable supérieure à 100 cm ou une nappe plus profonde que 100 cm sont placés dans ce groupe si la conductivité hydraulique des horizons des premiers 100 cm est comprise entre 1,45 et 3,6 cm/h. Groupe C : Les sols de ce groupe possèdent un potentiel de ruissellement relativement élevé lorsqu'humides. Ces sols ont typiquement entre 20% et 40 % d'argile et moins de 50 % de sable et ils possèdent des textures de loam, loam silteux, limon ou loam sablo- argileux, loam argileux et loam limon- argileux. Certains sols ayant des textures d'argile, d'argile silteuse, d'argile sableuse peuvent être classifiés dans ce groupe s'ils sont bien structurés et ont une faible densité. La conductivité hydraulique des 50 premiers cm de sol est comprise entre 0,35 et 3,6 cm/h. La profondeur du sol perméable est supérieure à 50 cm. La profondeur de la nappe est supérieure à 60 cm. Les sols ayant une profondeur de sol perméable supérieure à 100 cm ou une nappe plus profonde que 100 cm sont placés dans ce groupe si la conductivité hydraulique des horizons des premiers 100 cm est comprise entre 0,15 et 1,45 cm/h. Groupe D : Les sols de ce groupe possèdent un potentiel de ruissellement élevé lorsqu'humides. Ces sols ont typiquement plus de 40 % d'argile et moins de 50 % de sable et ils possèdent des textures argileuses. Ils ont aussi dans certaines régions un potentiel de gonflement et de retrait. Les sols ayant une profondeur de sol perméable inférieure à 50 cm et/ou les sols ayant une nappe à moins de 60 cm de la surface du sol sont classifiés dans ce groupe. La conductivité hydraulique des horizons de 50 à 100 cm de profondeur est inférieure à 0,35 cm/h. Les sols ayant une profondeur de sol perméable supérieure à 100 cm ou une nappe plus profonde que 100 cm sont placés dans ce groupe si la conductivité hydraulique des horizons des premiers 100 cm est inférieure à 0,15 cm/h.

Bien que leur conductivité hydraulique de certains sols soit bonne, ils sont classés dans le groupe D, car la nappe est présente dans les 60 premiers cm de sol une grande portion de l'année. Si ces sols peuvent être drainés adéquatement, ils peuvent être classés dans le groupe hydrologique A, B, ou C en fonction de leur conductivité hydraulique et de la profondeur de la nappe lorsque drainés. C'est ce qui donne la double classification (A/D, B/D, C/D), la première lettre indiquant le groupe lorsque ces sols sont drainés et la seconde lorsqu'ils ne sont pas drainés.

Le tableau suivant présente la matrice de classification proposée par le National Resource Conservation Service.

Tableau: I.1. : Matrice d'assignation des groupes hydrologiques (USDA - NRCS, 200)

Profondeur de sol perméable 1	Profondeur de la nappe 2	K _{sat} de l'horizon le moins perméable	Zone de K _{sat}	Groupe Hydrologique 3
< 50 cm	-	-	-	D
50 à 100 cm	< 60 cm	> 14,4 cm/h	0 - 50 cm	A / D
		3,6 - 14,4 cm/h	0 - 50 cm	B / D
		0,35 - 3,6 cm/h	0 - 50 cm	C / D
		< 0,35 cm/h	0 - 50 cm	D
	> 60 cm	> 14,4 cm/h	0 - 50 cm	A
		3,6 - 14,4 cm/h	0 - 50 cm	B
		0,35 - 3,6 cm/h	0 - 50 cm	C
		< 0,35 cm/h	0 - 50 cm	D
> 100 cm	< 60 cm	> 3,6 cm/h	0 - 100 cm	A / D
		1,45 - 3,6 cm/h	0 - 100 cm	B / D
		0,15 - 1,45 cm/h	0 - 100 cm	C / D
		< 0,15 cm/h	0 - 100 cm	D
	> 60 cm	> 14,4 cm/h	0 - 50 cm	A
		3,6 - 14,4 cm/h	0 - 50 cm	B
		0,35 - 3,6 cm/h	0 - 50 cm	C
		< 0,35 cm/h	0 - 50 cm	D
> 100 cm	> 3,6 cm/h	0 - 100 cm	A	
	1,45 - 3,6 cm/h	0 - 100 cm	B	
	0,15 - 1,45 cm/h	0 - 100 cm	C	
	< 0,15 cm/h	0 - 100 cm	D	

1 - Un horizon est considéré imperméable lorsque K_{sat} < 0,0035 cm/h ou que cet horizon est une couche indurée, un horizon cimenté ou du roc. 2 - Une nappe présente pendant n'importe laquelle période de l'année. 3 - La classification double est utilisée seulement pour les sols avec une nappe dans les 60 premiers cm de sol. Lorsque ces sols sont adéquatement drainés, un groupe basé sur K_{sat} est aussi assigné.

I.1.2.2- CLASSIFICATION DES SOLS- MTQ

Le Ministère des Transports du Québec (MTQ, 2004) effectue la classification hydrologique des sols à l'aide des cartes pédologiques, des cartes des dépôts meubles et des cartes des dépôts de surface. La classification à l'aide des cartes pédologiques est privilégiée et elle est présentée ici. Les sols sont classifiés en cinq classes hydrologiques (AB, B, BC, C, CD) selon la texture des 15 premiers centimètres de sol. La classification se fait à l'aide de la figure 48 et du tableau

19. Plus de 800 séries de sols du Québec sont classifiées selon ce système et présentées à l'annexe A- 3 à A- 12 du document du MTQ (2004).

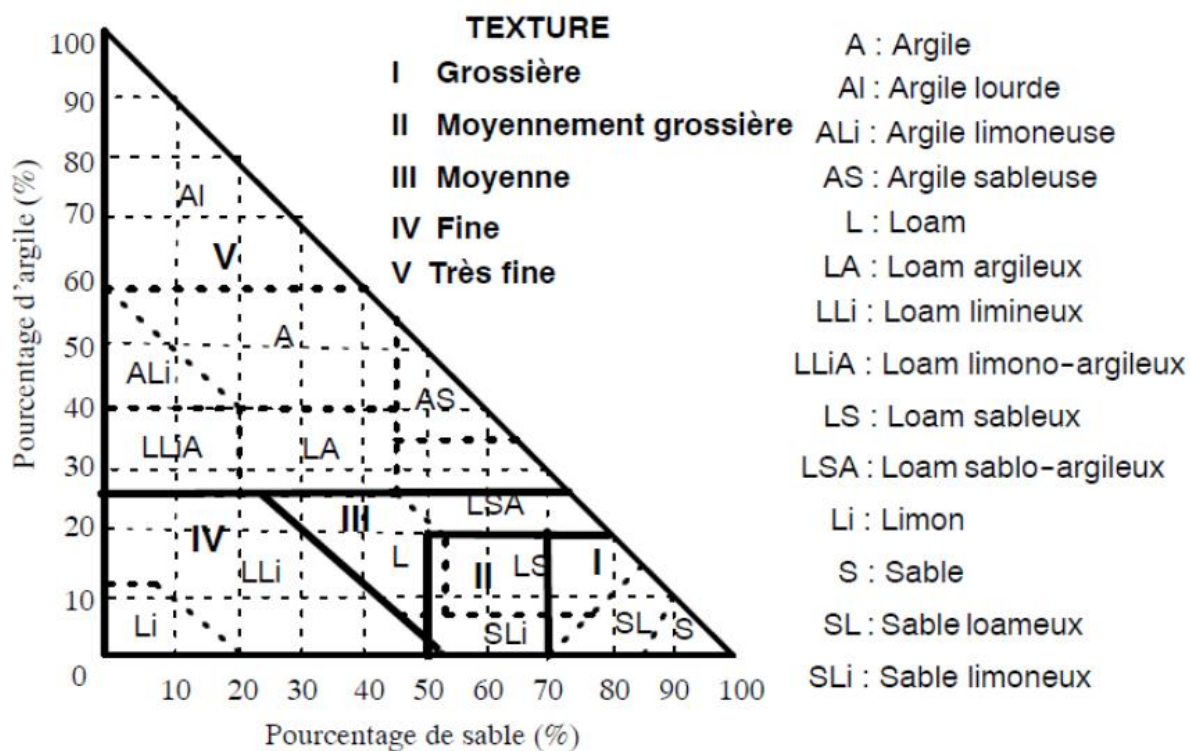


Figure I.1: Triangle de classification texturale des sols et classes de texture du MTQ (2004)

Tableau I.2: Classification hydrologique du MTQ des sols selon la texture du sol en surface (MTQ, 2004)

Classe	Texture	Groupe
1.0	Texture de sol à prédominance grossière	AB
1.1	Gravier, sable et certains loams ¹ grossiers avec un bon drainage	B
1.2	Mince ² couche de gravier, sable et certains loams sableux sur argile ou sur roc	
2.0	Texture de sol à prédominance moyennement grossière	
2.1	Loam moyennement grossier, épais ³ qualifié de graveleux, schisteux et cherteux	AB
2.2	Loam moyennement grossier, épais ou mince couche sur roche ou sur argile	B
3.0	Texture de sol à prédominance moyenne	
3.1	Mince couche de loam moyen sur roc	B
3.2	Loam moyen épais qualifié de graveleux, schisteux ou cherteux	B
3.3	Loam moyen épais avec drainage ⁴ de bon à imparfait	B
3.4	Loam moyen épais avec mauvais drainage	BC
3.5	Loam moyen mince sur argile	BC
4.0	Texture de sol à prédominance fine	
4.1	Loam limoneux et loam fin avec drainage de bon à imparfait	BC
4.2	Loam limoneux et loam fin avec drainage mauvais	C
5.0	Texture de sol à prédominance très fine	C
5.1	Argile, loam argileux, loam argileux- limoneux, argile limoneuse	CD
5.2	Argile lourde	

1 - Parfois le terme «loam» est remplacé par «terre franche» et «limon»; il existe une certaine équivalence texturale entre les termes, mais il serait avantageux de classifier précisément le sol à l'aide de ses pourcentages de sable et d'argile et du graphique de la classification texturale des sols. 2 - «Mince» : sol organique ou minéral de moins de 500 mm d'épaisseur reposant sur le roc. 3 - «Épais» : sol organique ou minéral de plus de 500 mm d'épaisseur reposant sur le roc. 4 - «drainage» est pris ici dans le sens pédologique du terme, c'est-à-dire : bon drainage : bonne infiltration dans le sol

I.2- Classes de structure du sol :

I.2.1. Définition de la structure du sol :

Est un état du sol vivant à court terme. C'est le mode d'agencement des différents agrégats du sol. C'est derniers résultants de l'assemblage des particules entre-elle. En fonction de la présence ou non présence des agrégats, il y a deux (2) types de structures. Une structure avec agrégats dite fragmentaire et qui peut être arrondie, anguleuse ou feuilletés. Une structure sans

agrégats dite continue. La formation de la structure du sol résulte principalement de perturbations physiques d'origine anthropique ou climatique. Les pores créés par ces perturbations sont généralement allongés ; ce sont les fissures. L'activité biologique des organismes du sol participe aussi à la formation de la structure mais joue surtout un rôle majeur dans sa stabilisation. La dégradation de la structure résulte quant à elle de l'action de l'homme ou du climat. Dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques. D'une manière générale, dans les milieux à structure continue, les racines sont peu nombreuses, droites et présentent un aspect filiforme. Au contraire, dans les sols à structure construite, elles sont sinueuses, ramifiées et garnies de nombreux poils absorbants.

I.2.2. Classification de la structure du sol

Il existe plusieurs classifications du sol; elles sont basées principalement sur sa structure.

I.2.2.1. La première classification: utilisé dans l'agriculture est basée sur la structure du sol; sur le climat et sur l'occupation du sol:

_ La structure du sol est liée à sa texture, au climat, à son activité biologique, aux pratiques culturales, dont le travail du sol, la rotation des cultures et les manières d'utiliser la machinerie. On peut classer les sols selon qu'ils sont sans structure, ou qu'ils présentent une structure sphérique, angulaire, ou lamellaire.

La structure d'un sol fait référence à la façon dont les particules de sable, de limon et d'argile sont disposées les unes par rapport aux autres. (<https://espacepouurlavie.ca/structure-du-sol>)

Dans un sol bien structuré, les particules de sable et de limon sont liées en agrégats (petites mottes) par l'argile, l'humus et le calcium. Les grands espaces vides entre les agrégats (macropores) permettent à l'eau et à l'air de circuler et aux racines de s'enfoncer dans le sol. Les petits espaces vides (micropores) retiennent quant à eux l'eau dont les plantes ont besoin. Cette structure « idéale » est appelée structure grumeleuse.

La structure grumeleuse comporte de nombreux avantages :

- Une bonne rétention de l'eau et des éléments nutritifs;
- Un bon drainage;
- Une bonne aération;

- Un bon développement du système racinaire des végétaux;
- Un travail facile du sol;
- Un réchauffement rapide du sol au printemps;
- Une bonne activité biologique du sol;
- Une bonne résistance à l'érosion et à la compaction.

Les sols argileux, sableux et limoneux présentent rarement une structure idéale. On peut toutefois les améliorer en incorporant des amendements.

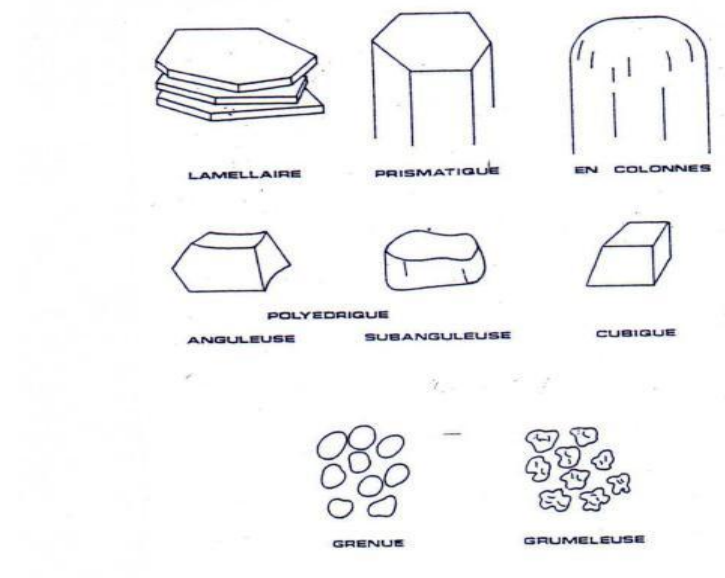


Figure I.2: Différentes textures des sols

Sols sableux

On améliore la structure des sols sableux en les amendant régulièrement avec de la matière organique sous forme de compost ou de fumier composté. Il est préférable d'incorporer ces amendements au début du printemps, car le travail des sols sableux à l'automne favorise leur érosion. Également, dans ces sols, l'ajout de basalte est un élément qui contribue à améliorer la rétention d'eau et de minéraux.

Sols argileux

On améliore la structure des sols argileux par des apports en matières organiques sous forme de compost ou de fumier composté. Ces amendements sont préférablement incorporés à la fin de l'automne. Les sols argileux mal drainés peuvent aussi être amendés avec une terre sableuse.

Certains sols argileux sont très riches en sodium, ce qui nuit à l'agrégation des particules minérales. Il est possible d'améliorer la structure de ces argiles sodiques en y incorporant du gypse (si leur pH est neutre ou alcalin) ou de la chaux (si leur pH est acide).

Sols limoneux

On améliore le drainage et l'aération des sols limoneux par des apports importants de matières organiques, sous forme de compost ou de fumier composté. Il est préférable d'incorporer ces amendements à la fin de l'automne.

Utilisation dans le domaine d'hydrologie (résistance du sol à l'érosion)

L'Inventaire des terres du Canada (ITC) classe les terres selon leur potentiel agricole au moyen d'un système interprétatif qui évalue l'influence limitative exercée par diverses caractéristiques de sol et de climat sur l'aptitude des terres à la production des grandes cultures communes. En Ontario, les grandes cultures communes sont le maïs, le soja, les céréales à paille et les espèces fourragères vivaces. Ce système de classification des terres ne tient pas compte de l'aptitude à la culture d'espèces horticoles ou d'autres cultures de spécialité.

Le système évalue trois qualités générales des sols minéraux :

1. Leur productivité, comparativement à celle de tous les sols minéraux de l'Ontario et du Canada.
2. Leur potentiel de diversification, c'est-à-dire la gamme des grandes cultures communes qu'on peut y cultiver.
3. Leurs besoins en pratiques de gestion, à savoir les améliorations foncières et les pratiques de conservation qui sont nécessaires pour améliorer l'aptitude à porter des grandes cultures.

Le système ITC range les sols minéraux dans sept catégories, appelées classes de possibilités, en fonction de leurs potentialités et de leurs limitations. Les sols rangés dans les trois premières classes sont ceux où la production soutenue de grandes cultures est considérée possible, ce qui leur vaut le rang de ressources foncières agricoles de premier choix. Les sols rangés dans la classe 4 sont considérés comme des sols d'intérêt marginal pour les grandes cultures. Les sols de classe 5 conviennent à la production de foin et au pâturage permanent. Les sols de classe 6 sont uniquement aptes au pâturage non amélioré et ceux de classe 7 n'ont aucun potentiel agricole.

Le système tient compte des potentialités des sols. En conséquence, pour chaque sol d'une zone donnée, ces potentialités peuvent ne pas correspondre aux modes d'utilisation et de gestion actuels de ce sol. Par exemple, le système ITC peut ranger une région boisée dans une classe élevée de possibilités agricoles alors que cette région n'a encore été ni défrichée ni cultivée.

1.2.2.2. La deuxième classification (ITC) : "*Land Inventory, Soil Capability Classification for Agriculture*" utilisée par les services agricoles de Canada est basée sur leur potentiel agricole au moyen d'un système interprétatif qui évalue l'influence limitative exercée par diverses caractéristiques de sol et de climat sur l'aptitude des terres à la production des grandes cultures communes. En Ontario, les grandes cultures communes sont le maïs, le soja, les céréales à paille et les espèces fourragères vivaces. Ce système de classification des terres ne tient pas compte de l'aptitude à la culture d'espèces horticoles ou d'autres cultures de spécialité.

Le système évalue trois qualités générales des sols minéraux :

1. Leur productivité, comparativement à celle de tous les sols minéraux de l'Ontario et du Canada.
2. Leur potentiel de diversification, c'est-à-dire la gamme des grandes cultures communes qu'on peut y cultiver.
3. Leurs besoins en pratiques de gestion, à savoir les améliorations foncières et les pratiques de conservation qui sont nécessaires pour améliorer l'aptitude à porter des grandes cultures.

La classification des sols de l'ITC repose sur un certain nombre de principes et d'hypothèses, à savoir :

1. On tient compte des associations de caractéristiques pédoclimatiques qui ont un effet limitatif sur la gamme des grandes cultures communes cultivables et sur la capacité productive des sols. Dans le cas des terres qui sont susceptibles d'être améliorées par des travaux de débroussaillage, d'arrachage d'arbres et de dessouchage, ce besoin d'amélioration n'est pas considéré comme un facteur limitant le potentiel agricole, sauf si ces travaux ne sont pas économiquement envisageables.
2. On suppose que la gestion des terres et la production des grandes cultures font l'objet des meilleures pratiques contemporaines.

3. On considère que les différentes terres rangées dans une même classe de possibilités sont affectées du même degré de limitation, en dépit de la diversité des limitations dont elles font individuellement l'objet.
4. Les classes de possibilités traduisent les capacités potentielles des terres après amélioration foncière. Les terres nécessitant des travaux d'amélioration (comme l'épierrage ou le drainage souterrain) qui sont réalisables d'un point de vue économique et pratique par l'exploitant ou le propriétaire sont classées en fonction du degré de limitation qui demeurerait après réalisation des travaux. Il est admis qu'à certains endroits ou dans certaines conditions locales, certaines améliorations peuvent ne pas être réalisables même si elles le sont généralement sur des terres comparables situées à d'autres endroits.
5. Les sols d'une zone donnée peuvent voir leur classement modifié après réalisation de travaux d'amélioration majeurs ayant réduit ou éliminé de façon permanente les limitations présentes.
6. La distance par rapport aux marchés, l'état des routes, le lieu, la taille des exploitations agricoles, les régimes de propriété et de mise en valeur des terres, les techniques culturales et la compétence ou les ressources des différents exploitants ne sont pas des critères utilisés dans la classification des sols de l'ITC.
7. Les classes de possibilités peuvent être modifiées à mesure qu'évoluent les connaissances sur le comportement et les réactions des sols.

Les classes

Classe 1 – Sols ne présentant aucune limitation importante à la production agricole.

Les sols de classe 1 sont plats ou presque plats, profonds, bien drainés à imparfaitement drainés, et possèdent un bon niveau de fertilité naturelle ainsi qu'une bonne capacité de rétention des éléments nutritifs et de l'eau. Ils peuvent être travaillés et cultivés sans difficulté. Quand ils sont bien gérés, ils conviennent à la production de la gamme complète des grandes cultures communes avec une productivité assez élevée à élevée.

Classe 2 – Sols présentant des limitations modérées qui restreignent la gamme des cultures ou qui exigent l'application de pratiques de conservation ordinaires.

Ce sont des sols profonds qui peuvent ne pas posséder une aussi bonne capacité de rétention en eau et des éléments nutritifs que les sols de classe 1. Ils souffrent de limitations modérées et

peuvent être gérés et cultivés sans difficulté notable. Moyennant une bonne gestion, ils ont une productivité allant d'assez élevée à élevée pour ce qui concerne la plupart des grandes cultures communes.

Classe 3 – Sols présentant des limitations assez sérieuses qui restreignent la gamme des cultures ou qui exigent des pratiques de conservation spéciales.

Leurs limitations sont plus graves que celles des sols de classe 2. Elles créent des contraintes sur un ou plusieurs des aspects suivants : choix du moment et facilité du travail du sol; semis et récolte; gamme de cultures possibles; méthodes de conservation. Moyennant une bonne gestion, ces sols peuvent porter la plupart des grandes cultures communes et afficher une productivité assez bonne à assez élevée.

Classe 4 - Sols présentant de graves limitations qui restreignent la gamme des cultures ou qui exigent des pratiques de conservation spéciales ou une gestion très minutieuse, ou les deux.

Ils souffrent de limitations graves qui créent des contraintes sérieuses sur une ou plusieurs des pratiques suivantes : choix du moment et facilité du travail du sol; semis et récolte; gamme de cultures possibles; méthodes de conservation. La gamme des grandes cultures communes qui peuvent y être cultivées va de restreinte à large, avec une productivité allant de faible à moyenne, mais la productivité peut être meilleure avec une culture spécialement adaptée.

Classe 5 – Sols présentant de très sérieuses limitations qui les restreignent à la culture de plantes fourragères vivaces, mais pouvant faire l'objet de pratiques améliorantes.

L'importance de ces limitations est telle qu'elle rend impossible la production soutenue des grandes cultures annuelles. Ces sols peuvent cependant convenir à la production d'espèces indigènes ou adaptées de plantes fourragères vivaces et ils peuvent être bonifiés par des travaux aratoires. Les travaux d'amélioration réalisables d'un point de vue économique peuvent être le débroussaillage, le travail du sol, le semis, la fertilisation ou l'assainissement (lutte contre l'excès d'eau).

Classe 6 – Sols impropres à la culture, mais pouvant être exploités comme pâture permanente non améliorée.

Ces sols peuvent supporter le pâturage soutenu d'animaux d'élevage, mais leurs limitations sont si graves qu'elles rendent impossibles l'amélioration par travaux aratoires. Leur relief prononcé peut empêcher l'utilisation des machines agricoles, les sols peuvent ne pas répondre à l'amélioration, ou la saison de pâturage peut être très courte.

Classe 7 – Sols impropres à la culture et au pâturage permanent.

Cette classe regroupe les marais, les terrains rocheux et les sols en pente raide.

I.2.2.3.La troisième classification: utilisée dans le l'hydrologie et plus précisément en hydro-sédimentologie dans le calcul du facteur d'érodibilité du sol est basée sur la structure du sol; sur le climat et sur l'occupation du sol:

Le facteur d'érodibilité (K) d'un sol exprime sa sensibilité à l'érosion hydrique et dépend de ses propriétés intrinsèques à savoir sa texture, sa structure et sa perméabilité. Il se détermine pour un sol donné par la relation de WISHMEIER W.H. et SMITH D.D. (1978) :

$$100K = 2.1M^{1.14} * 10^{-4}(12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3) \quad \text{(VIII-8)}$$

Où M est calculé par la formule

$$M = (\% \text{ sable fin} + \% \text{ limon}) \times (100 - \% \text{ argile}) ;$$

a : est le pourcentage de matière organique ;

b : est le code de la perméabilité ;

c : est le code de la structure.

Tableau I.3 : Codification de la structure des sols (c_s) (Wischmeier et Smith, 1978)

Nature de la structure	Code de la structure C_s
Très structuré ou particulaire	1 2
Assez structuré	3
Peu structuré	4
Non structuré	

Tableau I-4 : Codification de la perméabilité du sol (b_p) (Wischmeier et Smith, 1978)

Degré de perméabilité	Code de perméabilité b_p
Rapide	1
Modérée à rapide	2
Modérée	3
Modérée à lente	4
Lente	5
Très lente	6

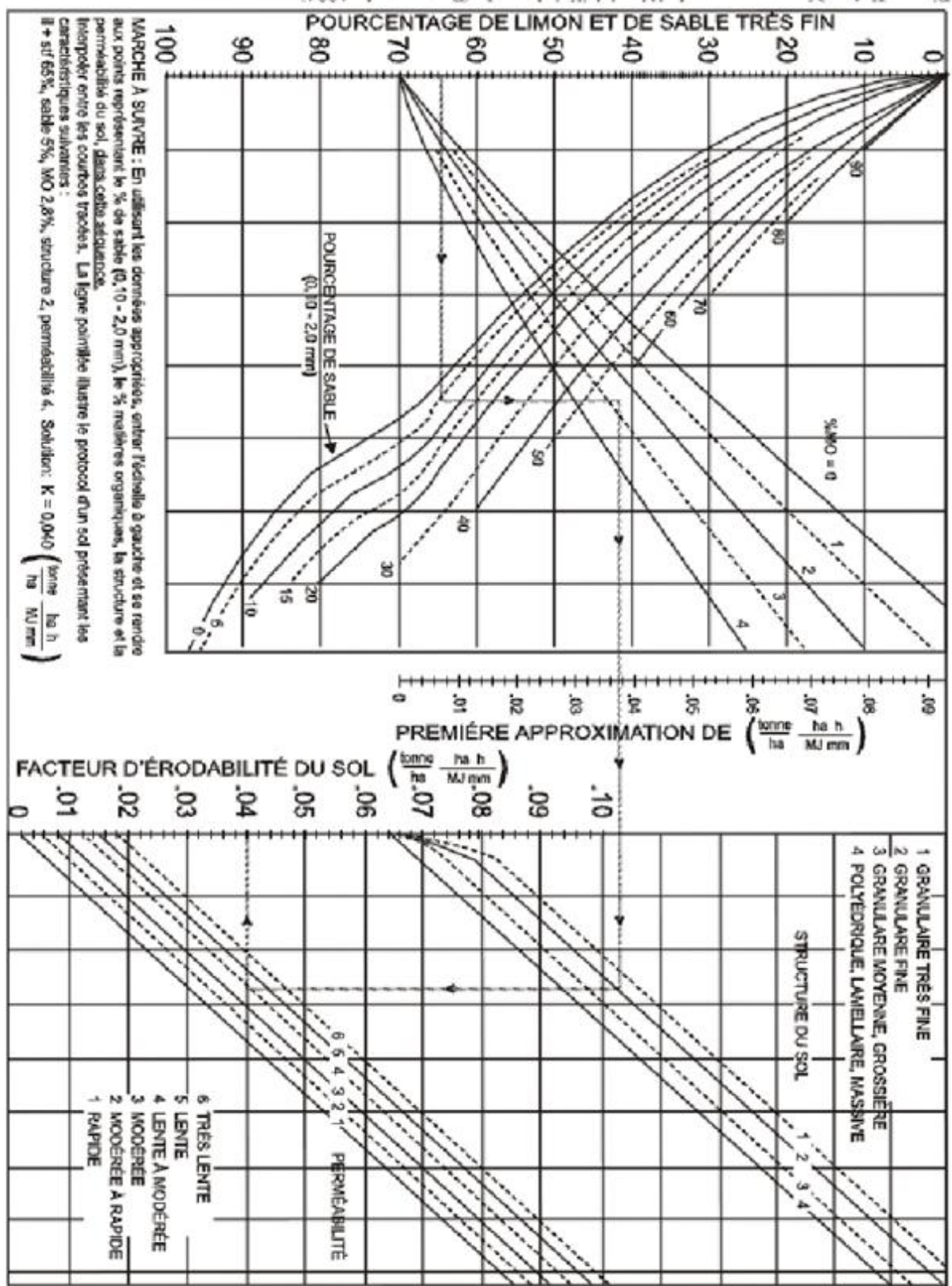


Figure I-3 : Nomogramme de l'érodibilité des sols (Foster., 1981, Foster, 1982).

Le facteur K doit être multipliée par 0,1317, pour qu'il soit dans le système des unités international SI. Les dimensions de K dans le SI sont : $T \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$

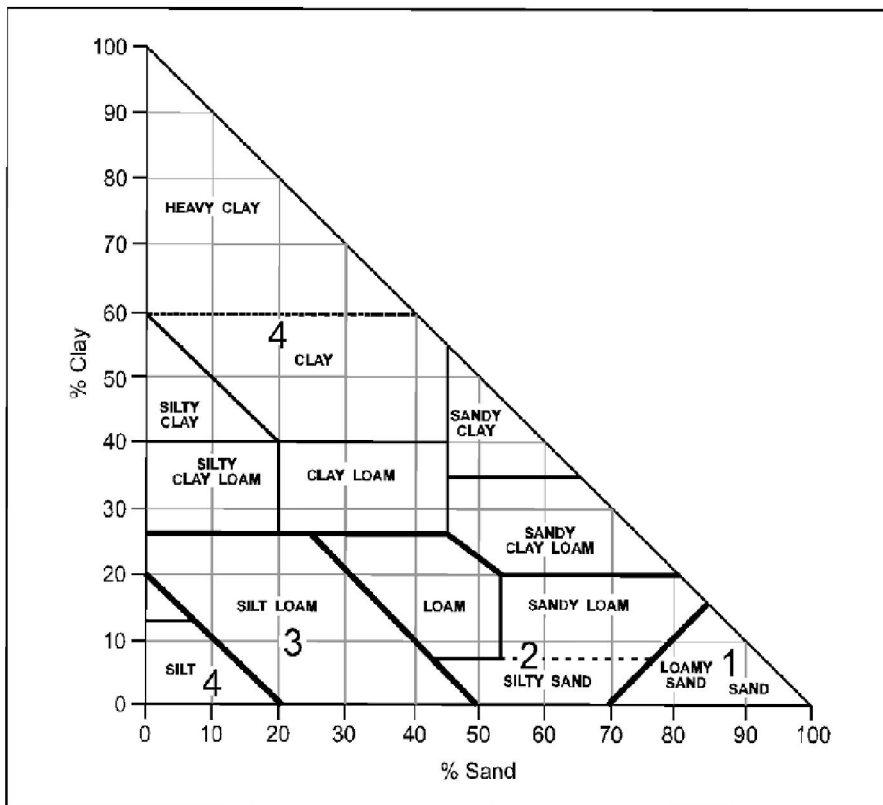


Figure I-4 : Code Structure basée sur la texture (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993)

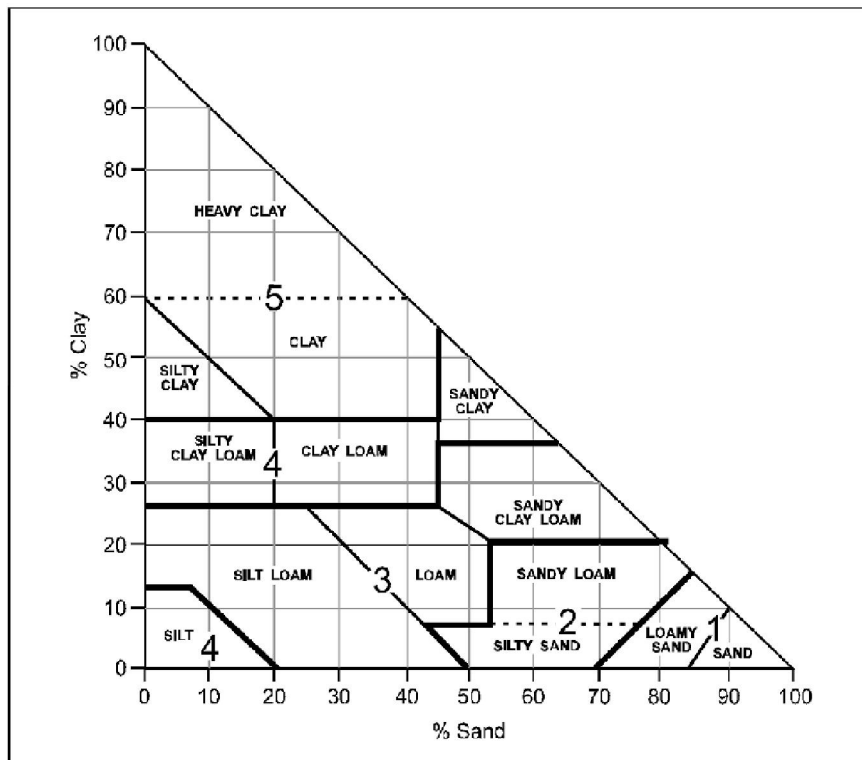


Figure I-5 : codes de perméabilité basés sur la classification des textures (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993)

Les valeurs de K correspondant à des types de sols ont été identifiées à partir de l'abaque d'érodibilité des sols (figure I-5) en tenant compte de la classe de perméabilité.

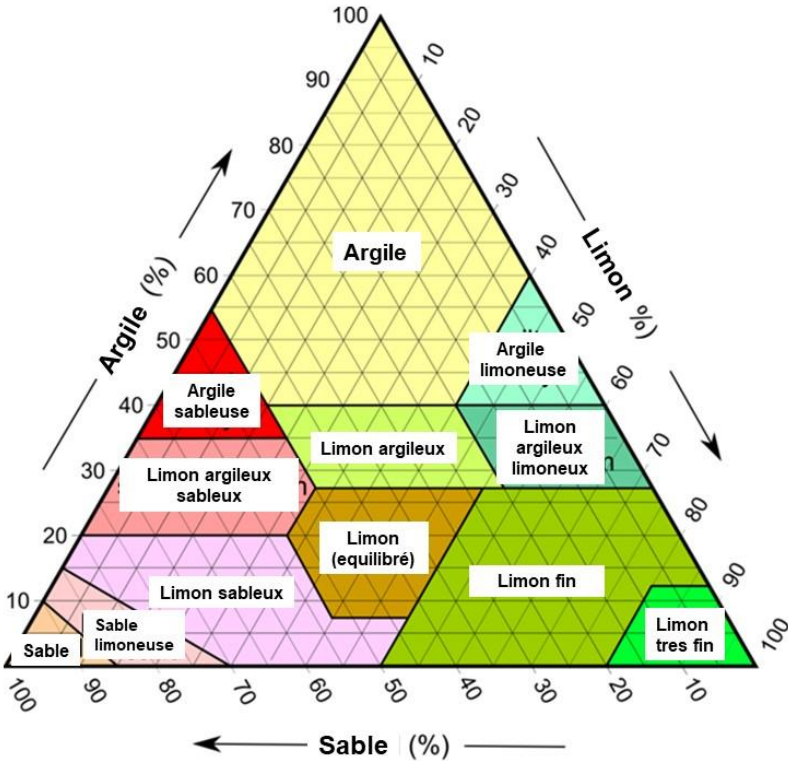


Figure I-6 : Différents types de sols

Chapitre 2 : Présentation du milieu de l'étude

II .INTRODUCTION:

L'étude du bassin versant de oued El-Hai est située entre les deux wilaya BATNA et BISKRA caractérisée par un climat semi-aride au Nord à aride au Sud.

II .1.SITUATION GEOGRAPHIQUE (NAIMI NOUREDDINE et BOUHAMDA TOUFIK 2014):

Le bassin versant de Oued EL-Hai, appartient au grand bassin du Chott Melrhir. Ce bassin s'étale sur une superficie de 1660 km². Il est limite au Nord par la daïra de Batna, celle de Merouana , au Sud par la Wilaya de Biskra, a l'Ouest par la daïra de N'Gaous et les de Merouana, au Sud par la Wilaya de Biskra, a l'Ouest par la daïra de N'Gaous et les Tamarins et Barika, a l'Est par Tazoult, Arris et Mena. Il prend naissance dans les monts de Batna; Chaaba et Ain Touta et a pour affluents principaux: Oued Tilatou , Oued Fadhala qui convergent pour former Oued El Hai. (Fig N°II-1)

En fin se jette dans la plaine de loutaya à travers un réseau hydrographique forme essentiellement par Oued El-Hai et alimentant le barrage des fontaines des Gazelles.

La limite de la zone d'étude par rapport aux coordonnées géographiques est donnée suivant la carte topographique de Batna et Barika à l'échelle, 1/200.000 :

Latitude : 35° 5 53 et 35° 35' 21 NORD

Longitude : 5° 30' et 6° 17' 36 EST

Sur le plan administratif; il s'étale sur deux wilayas ; celle de Batna avec une superficie de 1314 km² et celle de Biskra de l'ordre 346 km², où la superficie totale est environ de 1660 km².

CARTE TOPOGRAPHIQUE DE BASSIN VERSANT D'OUED EL-HAI

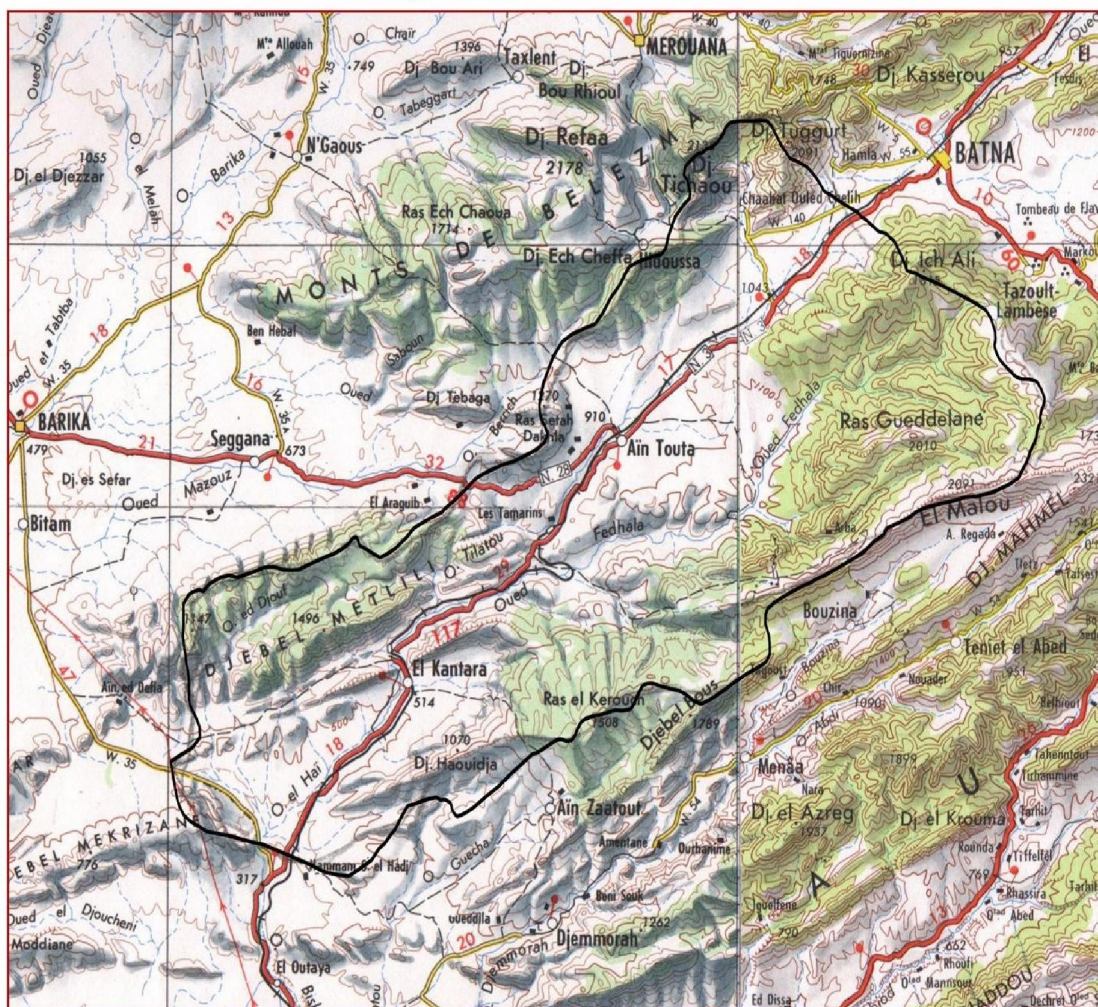


Fig N° II-1 : Situation géographique du bassin versant de Oued El-Hai. (NAIMI NOUREDDINE et BOUHAMDA TOUFIK 2014)

Source : les carte topographique qui couvre la région (1/200 000)

II.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT

A. Caractéristiques de forme:

Le bassin versant d'Oued El-Hai couvre une superficie de 1660 km² et possède un Périmètre de 193 km.

Ce bassin versant est constitué par un relief varié, Le bassin versant de Oued El-Hai se situe dans le piémont Sud des Aurès; il fait partie du grand bassin hydrographique de Chott Melghir ; il est limité au Nord par le bassin versant des hauts plateaux constantinois; à l'Est par le bassin versant de Oued Abdi ; a l'Ouest par le bassin versant de Chott El-Hodna (Fig N° II-2).

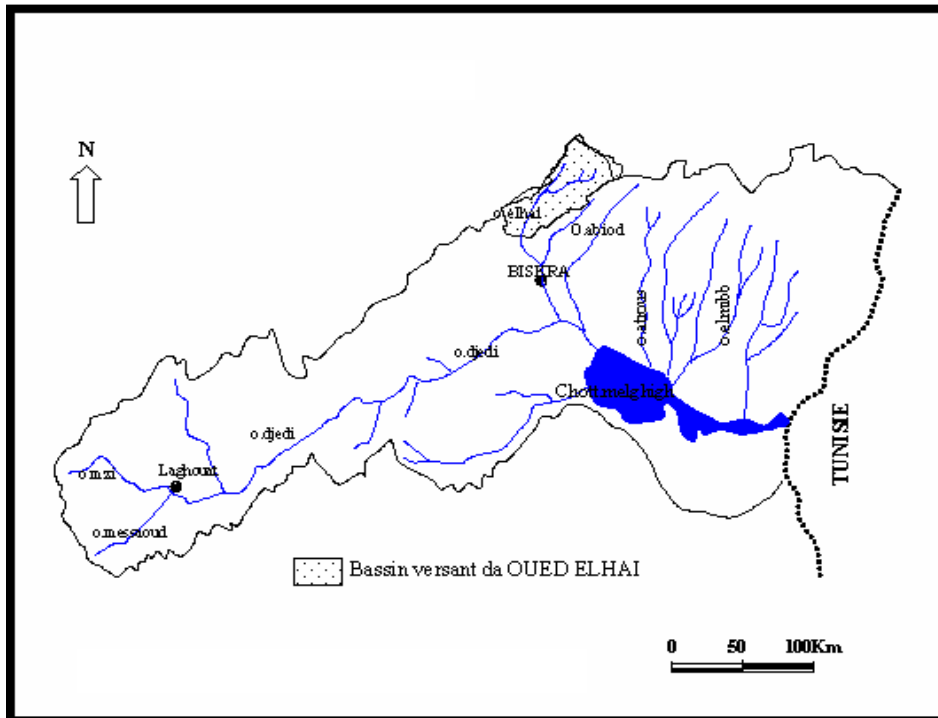


Fig N° II-2: Carte de localisation du bassin versant d'Oued El-Hai (ANRH; 1992)

B. Indice de capacité de Gravelius Kc:

C'est la comparaison entre le périmètre du Bassin versant à celui d'un cercle de même surface. $Kc = 0,28P / \sqrt{A}$ Avec :

P: Périmètre en Km (P=193 Km) A

Surface en km² (A = 1660Km²)

Où: Kc proche de 1,12 => la forme du bassin versant arrondi

Kc loin de 1,12 => la forme allongé.

La valeur de Kc = 1,32 loin de 1,12 indique que le bassin versant est de forme allongé, ce qui augmente théoriquement le temps de concentration.

C . Rectangle équivalent :

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement. Soit L et I la longueur et la largeur du rectangle, et P et A le périmètre et l'aire du bassin versant.

On a:

- La longueur L:

$$L = \frac{K \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right]$$

A.N : Kc=1.32

A=1660 Km²

P=193 Km ==> L=62.112 Km

- La largeur l : $L \cdot l = A \implies$

A.N: $l = 26.725 \text{ Km}$

II .2.2.HYPSOMETRIE:

Le relief joue un rôle primordial dans la détermination de la compétence de l'agent de transport des matériaux.

II .2.2.1.LA COURBE HYPSOMETRIQUE:

À l'aide des données de levé altimétrique, les tableaux à l'annexe permette de dessiner la courbe hypsométrique de bassin versant de Oued El-Hai. (Fig N°II-3)

*Les paramètres altimétriques sont:

$$H5\% = 1700 \text{ m.}$$

$$H50\% = 990 \text{ m.}$$

$$H95\% = 600\text{m.}$$

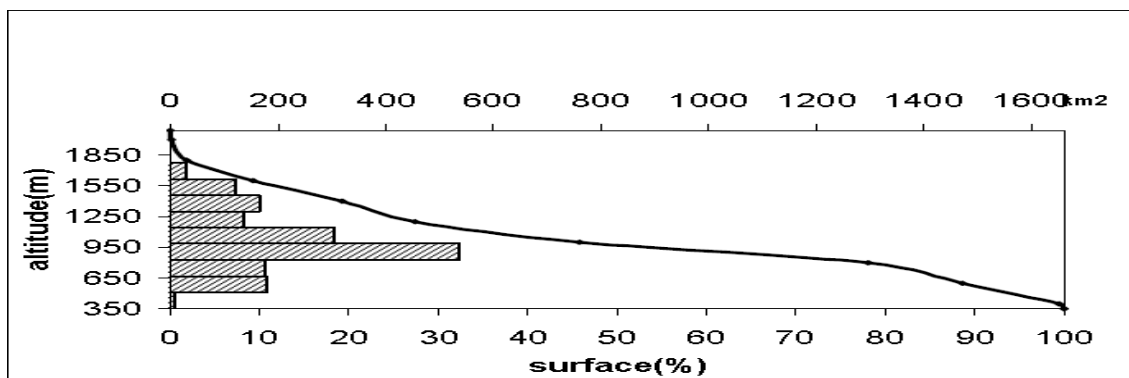


Fig N°II-3 : La courbe hypsométrique de bassin versant de Oued El-Hai

*La dénivelée spécifique:

$$D = H5\% - H95\% = 1100 \text{ mètre.}$$

* Altitude moyenne :

$$H_{moy} = VR/S = \sum (H_i \cdot S_i) / S = 1039,83 \text{ m.}$$

II .2.3.LES INDICES DE PENTE:

A. Indice de ROCHE:

$$IPR = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i * d_i} = 0,14$$

D'ou :

L : Longueur de rectangle équivalent en m.

a_i : Dénivelée entre deux courbes de niveau en m.

d_i : Surface par tranche entre deux courbes de niveau en %.

A.N: $IPR = 0.14 \text{ m/km}^2$

* Indice de pente moyenne I_m :

Il est calculé selon la formule suivante :

$$I_m = H_{\max} - H_{\min} / A$$

H_{\max} : Altitude maximale du b.v $H_{\max} = 1690 \text{ m}$ H_{\min} : Altitude minimale du b.v $H_{\min} = 520 \text{ m}$

A : superficie du b.v $A = 1660 \text{ km}^2$

A.N : $I_m = 28.71 \text{ m / km}$

B. Indice de pente globale I_g :

$$I_g = D/L = 14,98 \text{ m/km}^2$$

Au temps que la superficie du bassin versant est supérieure à 25 km^2 ; l'indice de pente I_g n'est pas significatif et il faut le corriger.

C. Dénivelé spécifique DS :

$$DS = I_g \sqrt{A} = 610,33 \text{ m}$$

Selon la classification de l'ORSTOM, le relief de la zone d'étude est de la classe R7 ; c'est -a- dire un relief très fort ; ce qui encourage le déclenchement de tous les processus d'abrasion.

D. Coefficient orographique Co :

$$Co = \overline{H} * tg \alpha = 286,66$$

$$\overline{H} = H_{moy} - h_{min}$$

Où :

Hmoy : Altitude moyenne en mètre min : Altitude minimale en mètre. S: Surface du bassin versant en km².

Donc : CO > 6 => Le relief du bassin versant est accentué.

II.3.LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE : (NAIMI NOUREDDINE et BOUHAMDA TOUFIK 2014)

Il est fondamental que la densité de réseau hydrographique exprime bien le degré de dégradation du milieu naturel.

Le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El-Hai caractérisé par un écoulement temporaire et très dense.

Le talweg principal est alimenté par plusieurs affluents en particulier Oued Tilatou; qui alimentent par les versants Dj.Ich Ali et Dj.Tuggurt par Oued Châaba et Oued Elbiar; ensuite Oued Laksour; qui traversent la plaine et la ville de Ain Touta.

La partie Nord-Est; Amont de Oued Fedhala caractérisé par des affluents alimentés par des sources naturels; comme Oued Bouaioun et Oued Tafrenet. par contre la partie Aval ; où les affluents sont a écoulement périodique surtout pendant les averses, parmi les principaux affluents ; Oued Hassi ben tamtam; Oued Elmelah; Oued Agroum et Oued Boubiada; qui traverse la ville d'Elkantara.

En général le réseau hydrographique de Oued El-Hai, dans sa plus grande partie est caractérisé par un écoulement périodique durant les saisons pluvieux.

II.4.MORPHMETRIE: (NAIMI NOUREDDINE et BOUHAMDA TOUFIK 2014)

II.4.1. LA DENSITE DE DRAINAGE DD:

On peut la définir comme étant la longueur de réseau hydrographie par unite de surface.

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} \quad (R. Gloor, 1982)$$

A: La surface en km²

Dd: Densité de drainage en Km/km²

La carte de densité de drainage (Fig N°II-4), été réalisée à partir des cartes topographiques à l'échelle 1/50 000, qui couvre la totalité du bassin étudié.

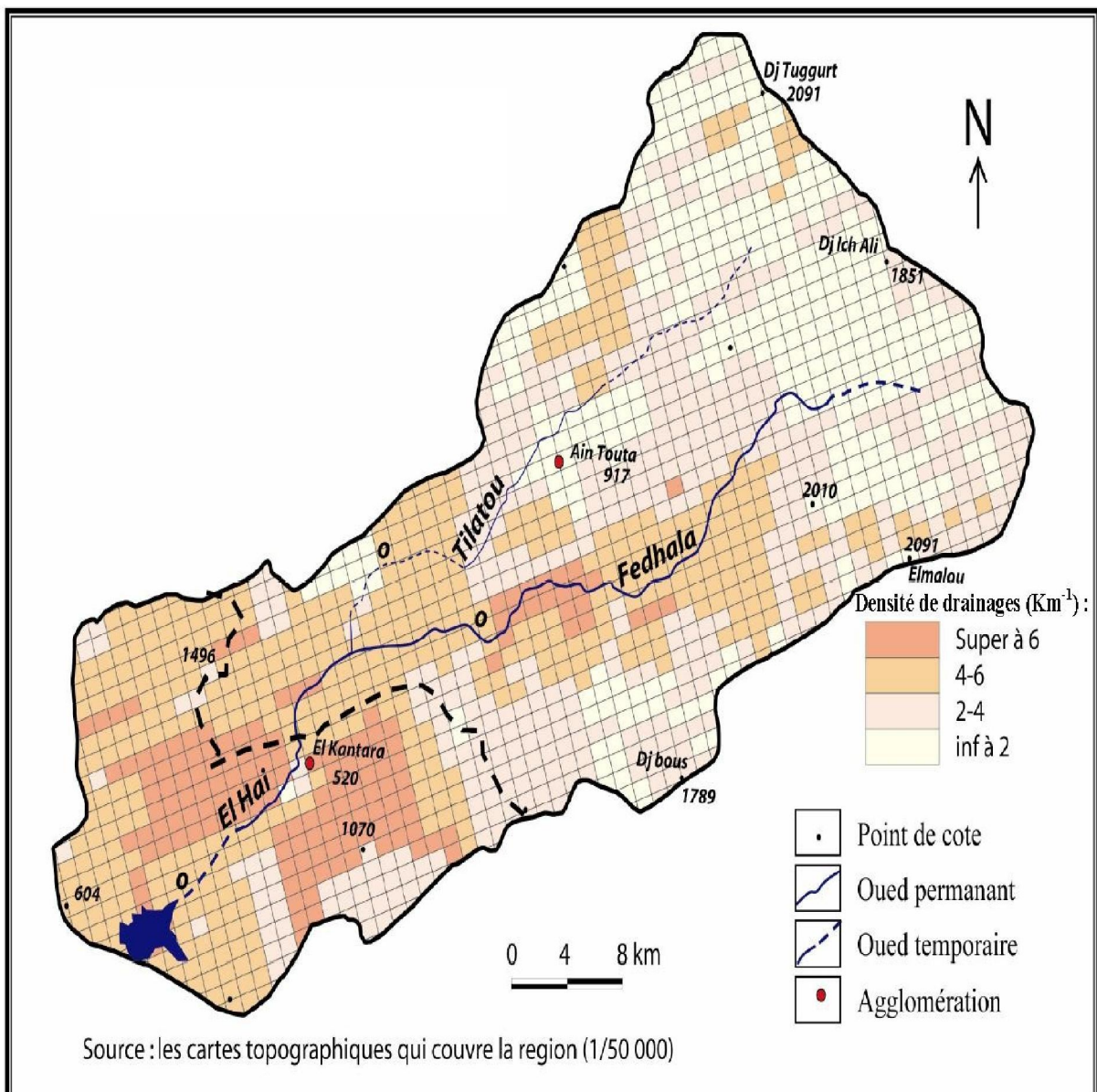


Fig N° II-4: Carte de densité de drainage

Nous avons calculé la longueur de réseau hydrographique dans chaque maille de 1km². A fin de regrouper les résultats dans des classes arbitraires et leurs répartitions spatiales.

Tableau II-1 : Les valeurs de la densité de drainage

Classe	Densité de drainage	Surface km ²	S (%)
I	<2	352	21,20
II	2 – 4	482	29,04
III	4 – 6	663	39,94
VI	> 6	163	9,82
TOT	4,22	1660	100%

L'objectif a rapproché de cette carte est de savoir le degré d'adaptation de réseau aux autres caractéristiques physiques (pente, nature des formations, ...). L'interprétation du tableau et de la carte montre que la classe III (4 - 6km⁻¹), est la plus dominante avec une superficie de 39,94 %, suite par la classe (II), là on peut dire que 68 ,98 % de la superficie totale du bassin versant de Oued EL-Hai dans est représentée par une densité de drainage qui varié entre (2 – 6 Km⁻¹) les piedmonts et les bas de versants.

II .5. LE TALWEG PRINCIPALE:

La topographie de la cour d'eau principale joue un rôle très important dans le transport des matériaux vers l'aval (barrage).

Le profil topographique (Fig N° II-5); montre une pente moyenne environ de 2,28 % dans la plus grande partie de talweg (65Km) Amont d'El-Kantara ; où la vitesse d'écoulement augment et même le volume du transport solide de différent types; ainsi que le sapement des berges. Par contre dans la partie aval d'El-Kantara jusque au site du barrage où la pente moyenne devient faible environ de 0,83% sur une longueur de 20,5 Km.

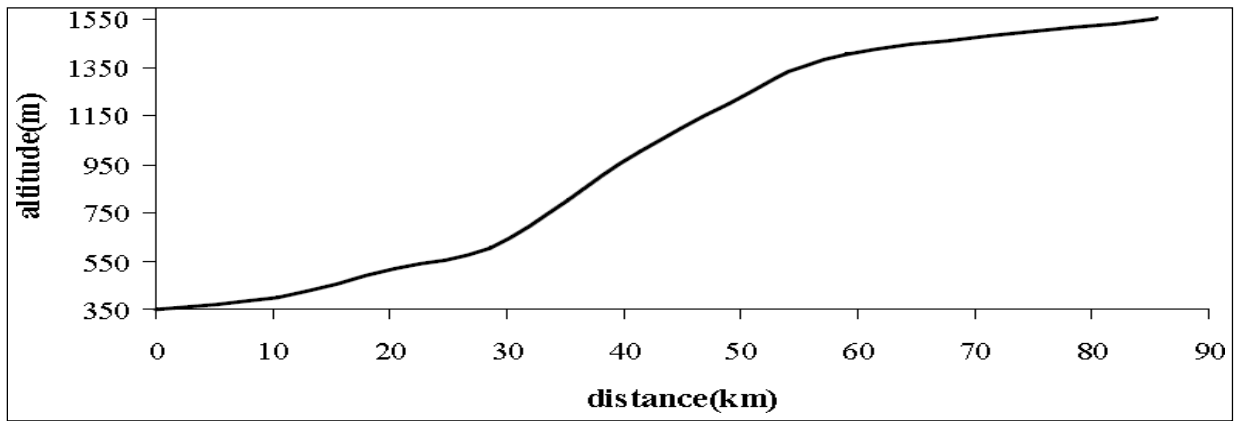


Fig N° II-5 : Profil topographique du talweg principal

II.6. LE TEMPS DE CONCENTRATION (Tc) :

Le calcul du temps de concentration se fait par la formule de GIANDOTTI :

$$TC = \frac{4\sqrt{S} + 1,5Lp}{0,8\sqrt{H_{moy} - h_{min}}} = 13,67 \approx 14 \text{heurs}$$

Où :

S : Superficie du bassin versant en Km²

Lp : Longueur de talweg principale en Km.

Hmoy : Altitude moyenne en mètre.

Hmin : Altitude minimale en mètre.

Alors que la vitesse de transfert des écoulements se calcule de la façon suivante :

$$V = Lp / TC = 6,11 \text{ Km /heure} = 1,7 \text{ m /s}$$

C'est une vitesse importante, qui peut exprimer la pente forte du talweg principale. Les résultats de la morphométrie du bassin versant sont consignés dans le tableau N°II-2.

Tableau N°II-2 : Récapitulation des caractéristiques morphométriques du bassin versant

Caractéristiques	Unite	B. V
S	Km ²	1660
P	Km	193
KC	/	132
L	Km	73.43
la	Km	22.6
H50%	M	980
H5%	M	1690
H95%	M	520
Hmoy	M	1039.83
Hmax	M	2091
Hmin	M	350
Pente moyenne	m/km	28.71
Ig	m/km	15.93
Ds	M	649.04
IPR	/	0.14
d	Km/km ²	4
TC	Heure	13.8
V	m/s	1.72
Lp	Km	85.5
CO	/	286.66
CM	/	0.41
F1	/	5.76
CT	/	21.7

II.7 .GEOLOGIE DES BASSINS VERSANTS: (NAIMI NOUREDDINE et BOUHAMDA TOUFIK 2014)

Les Aurès ont fait l'objet d'étude par plusieurs géologues et en particulier R. LAFFITTE qui a réalisé l'esquisse géologique des Aurès en 1939 couvrant la région d'étude.

II.7.1. DOMAINE MORPHO-STRUCTURALE:

II.7.1.1. LES SYNCLINAUX:

Le bassin versant de Oued El-Hai rejoint deux synclinaux :

II.7.1.2. SYNCLINALE BATNA– AIN TOUTA:

Avec une direction NE-SW, est constituée essentiellement par des alluvions de quaternaire; avec des affleurements des marnes; qui sont surmontées par des assises détritiques continentales (conglomérat et grés).

II.7.1.3. SYNCLINALE D'EL-KANTARA:

Cité par R. Guiraud, 1973. Les calcaires massifs de demi cluse d'El-Kantara reviennent au Maestrichtien avec une épaisseur de 340 mètre vers le Sud, surmonte par des formations de l'Oligocène, Miocène et Quaternaire ; formées essentiellement par des marnes, galets, alluvions, argile et sables (Fig N° III-1).

A la base du flanc Sud de Dj. Mimoun, on observe un affleurement de paléocène représentant des faciès de marnes rouges (25m), grés et poudingues d'après J.L.Ballai.

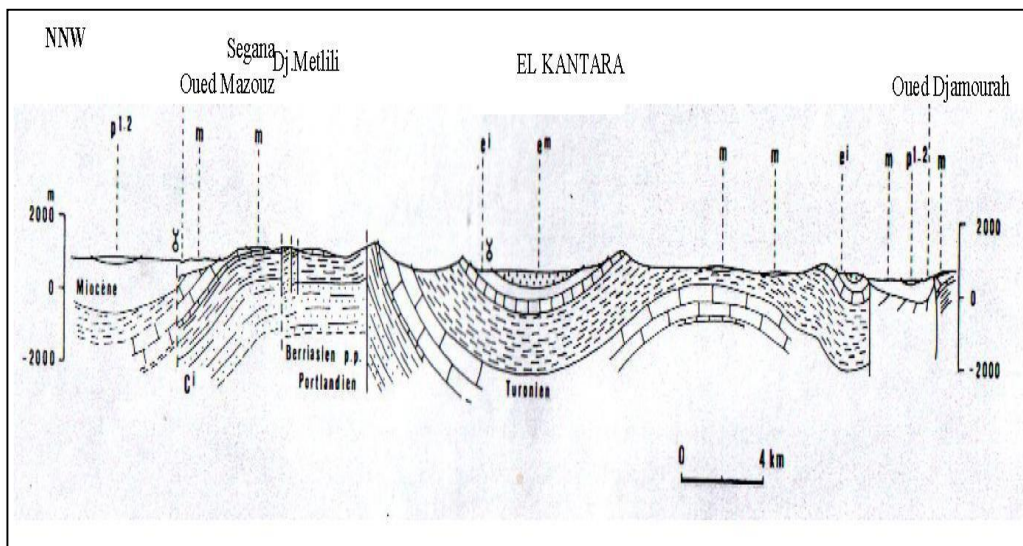


Fig N° II-6 : Coupe du val d'El-Kantara (d'après R. Guiraud, 1973)

II.8. CONCLUSION :

Le bassin versant d'Oued El-Hai est caractérisé par des composantes stables du milieu physique qui favorise le déclenchement de toute les formes d'érosion.

Les altitudes décroissent de l'amont vers l'aval avec un dénivelé de 1714 m, les pentes sont moyennes à fortes de 71,63%, avec des formations moyennes à faibles résistance à l'érosion de 63,08%, semi-perméable 54,71%, les caractéristiques morphométriques montrent l'existence d'une dynamique active, justifie par une densité de drainage moyenne à forte (68,98%), les sols sont squelettiques peu évoluée à minéraux brute de 49,94%et mal protégé par une végétation dégradé à très dégradé particulièrement des maquis 58,05%.

Tous ces facteurs montrent que la zone d'étude souffre du phénomène d'érosion.

CHAPITRE III- Cartographie des codes de perméabilité et de structure :

III. Introduction :

Le facteur d'érodibilité (K) d'un sol définit la résistance du sol au détachement et au transport. Il s'agit d'un indice important pour mesurer la sensibilité des sols à l'érosion hydrique et un paramètre essentiel nécessaire à la prévision de l'érosion des sols. Il dépend des caractéristiques du profil du sol telles que la texture du sol, la stabilité des agrégats, la résistance au cisaillement, la capacité d'infiltration, le contenu organique et chimique sur la perte de sol.

Il se détermine pour un sol donné par la relation de WISHMEIER W.H. et SMITH D.D. (1978) :

$$K = 10^{-4} [2.1 \times M^{1.14} \times 10^{-4}(12-a) + 3.25 (b-2) + 2.5(c-3)] \times 13.17$$

Où

K : Erodabilité annuelle moyenne du sol en (ton ha h/MJ ha mm)

M est calculé par la formule : $M = (\% \text{ sable fin} + \% \text{ limon}) \times (100 - \% \text{ argile})$;

a : est le pourcentage de matière organique dans le sol = CO x 1,724 ;

b : est le code de la structure;

c : est le code de la perméabilité.

Cette équation comprend 6 paramètres de sol et de profil de sol: pourcentage de l'argile (0,000-0,002 mm), pourcentage de limon (0,002-0,050 mm), pourcentage de sable très fin (0,05- 0,1 mm), pourcentage de matière organique (a), code de la classe de structure (b) du sol et code de perméabilité du sol (c).

Pour calculer M, nous avons extraie les cartes des pourcentages du sable, du limon et de l'argile à partir du site <ftp:soilgrids.org>.

En utilisant la formule de Bernard C[Bernard, C. 1990].

$$\% \text{ de sable très fin } [0,05 \text{ à } 0,10] = (\% \text{ de sable } [0,05 \text{ à } 2,00])^{0,576} \times (\% \text{ argile } [0,000 \text{ à } 0,002])^{0,06} ;$$

La carte du pourcentage de contenu organique dans le sol est extraie également à partir du même site.

Pour la détermination des codes de structure du sol, le triangle de texture tel qu'illustré à la figure III-2 : Code Structure basée sur la texture (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993) qui

est identique à la pyramide de texture du sol produit par l'USGS est utilisé en suivant l'algorithme Figure III-1 : codes de perméabilité basés sur la classification des textures (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993)Egalement lors de la détermination des codes de perméabilité des sols, nous avons utilisé le triangle de perméabilité selon l'algorithme Tableau III-1: Codification de la perméabilité du sol (bp) (Wischmeier et Smith, 1978). Un diagramme schématique montrant la procédure globale pour déterminer la valeur du facteur K est donné à la Figure III-1: Diagramme montrant la procédure générale pour déterminer la valeur d'un facteur. Les valeurs du facteur K qui ont été déterminées pour toutes les séries de sols dans le bassin versant sont indiquées dans Figure III-9 : Carte du facteur K.

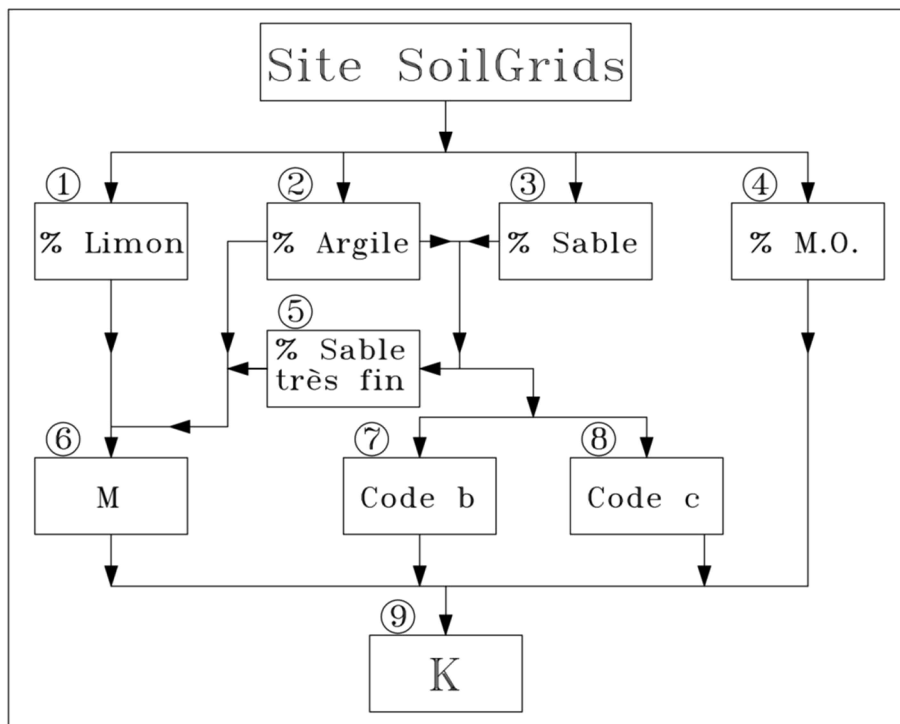


Figure III-1: Diagramme montrant la procédure générale pour déterminer la valeur d'un facteur (BERGHOUT Ali 2020)

III .1- Pourcentage de limon Li (0,002-0,050 mm)

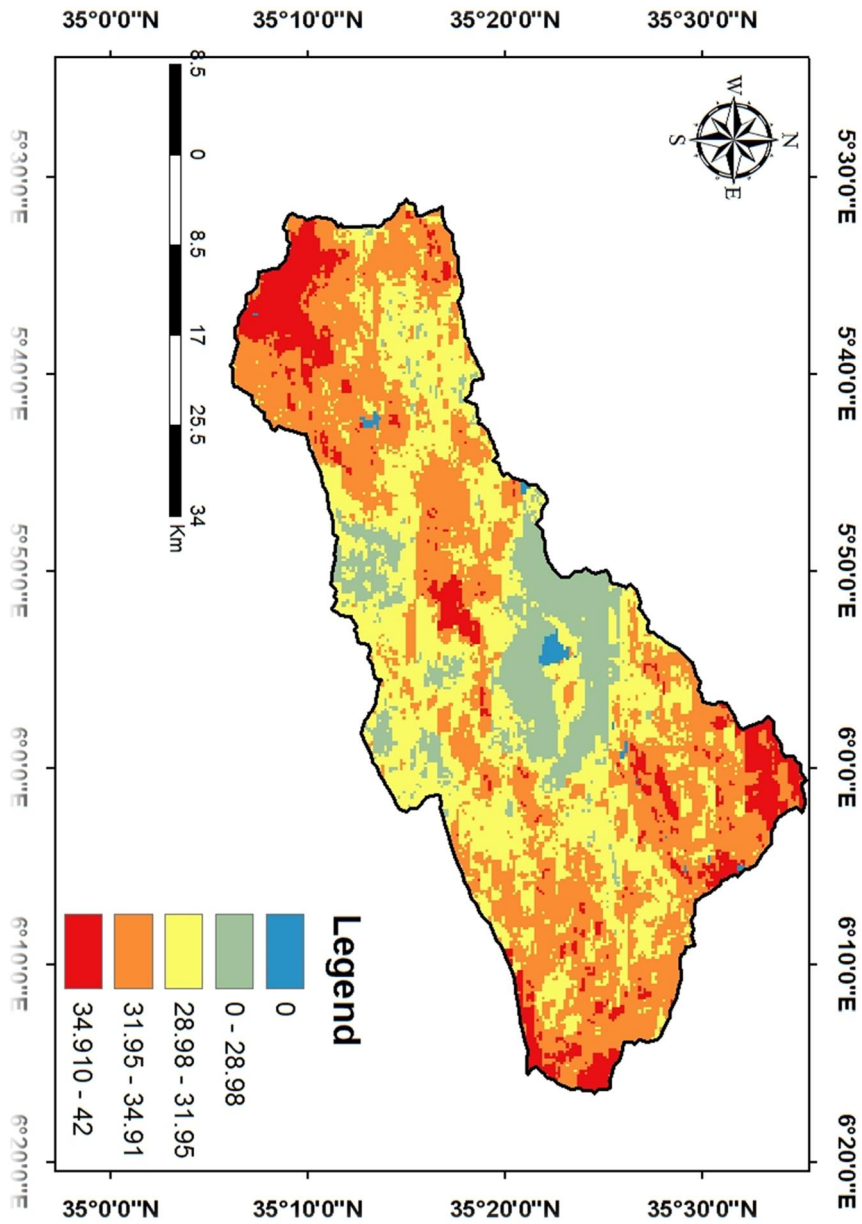


Figure III-2 : Carte du limon

III .2- Pourcentage d'argile Ar (0,000 - 0,002 mm)

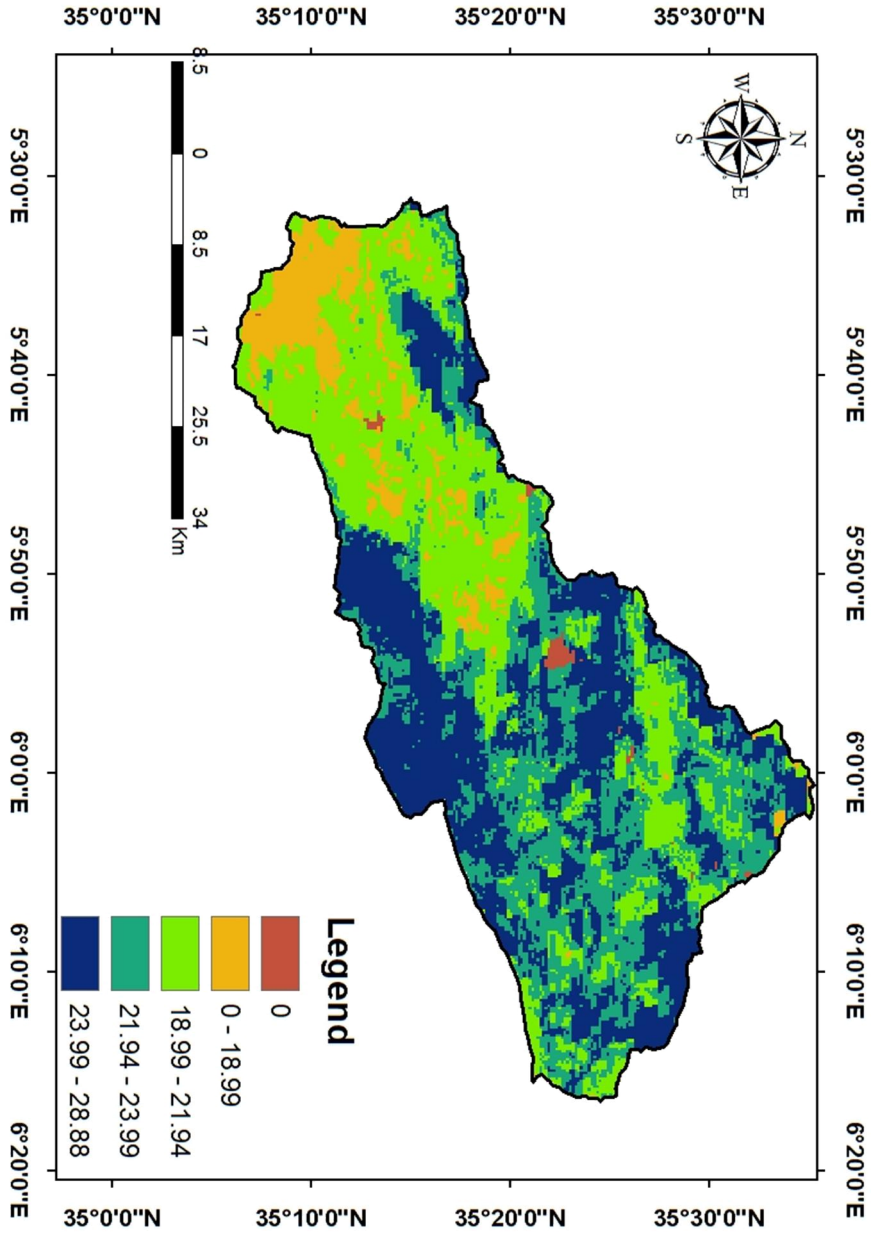


Figure III-3 : Carte de l'argile

III .3- Pourcentage de sable Sa (0,05 - 2,00 mm)

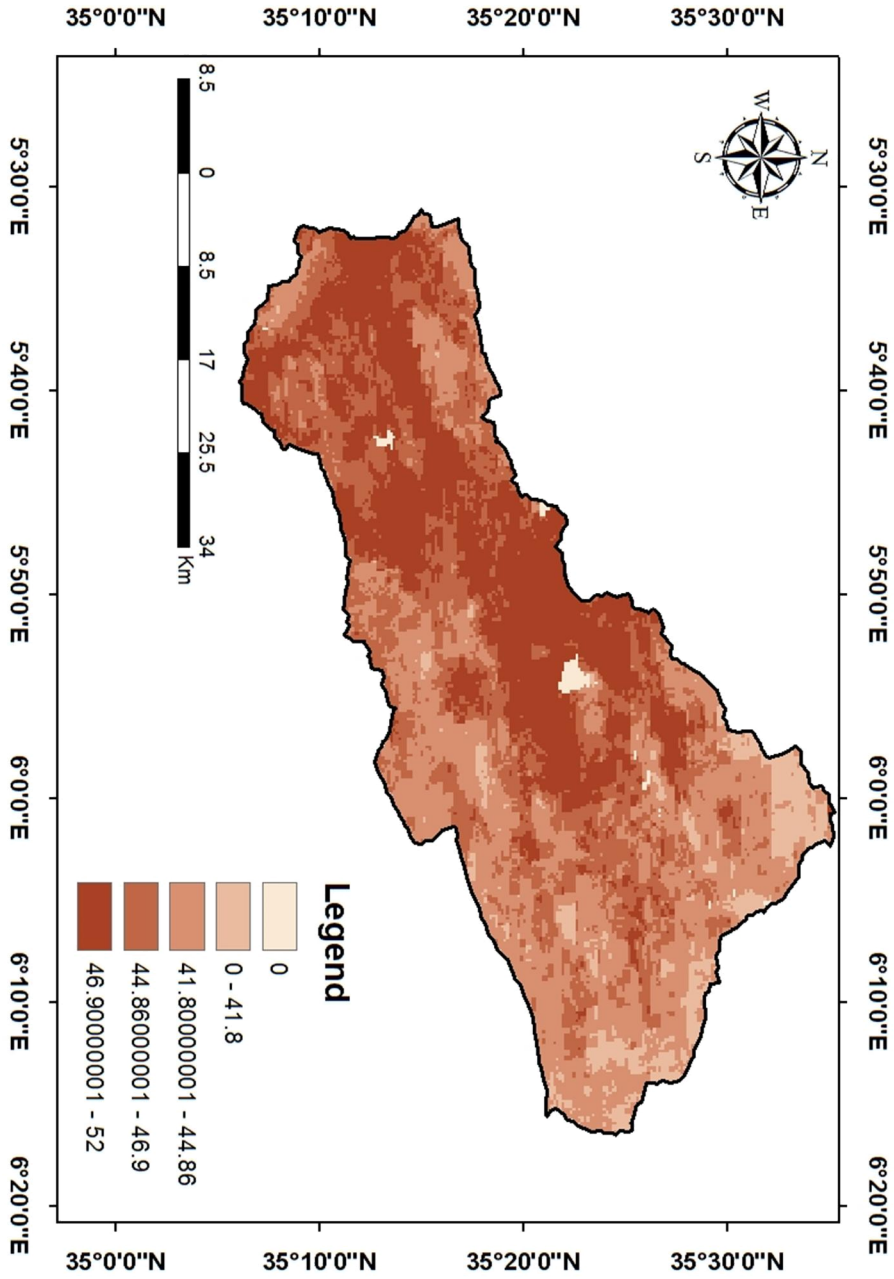


Figure III-4 : Carte du sable

III .4- Pourcentage de matière organique (a)

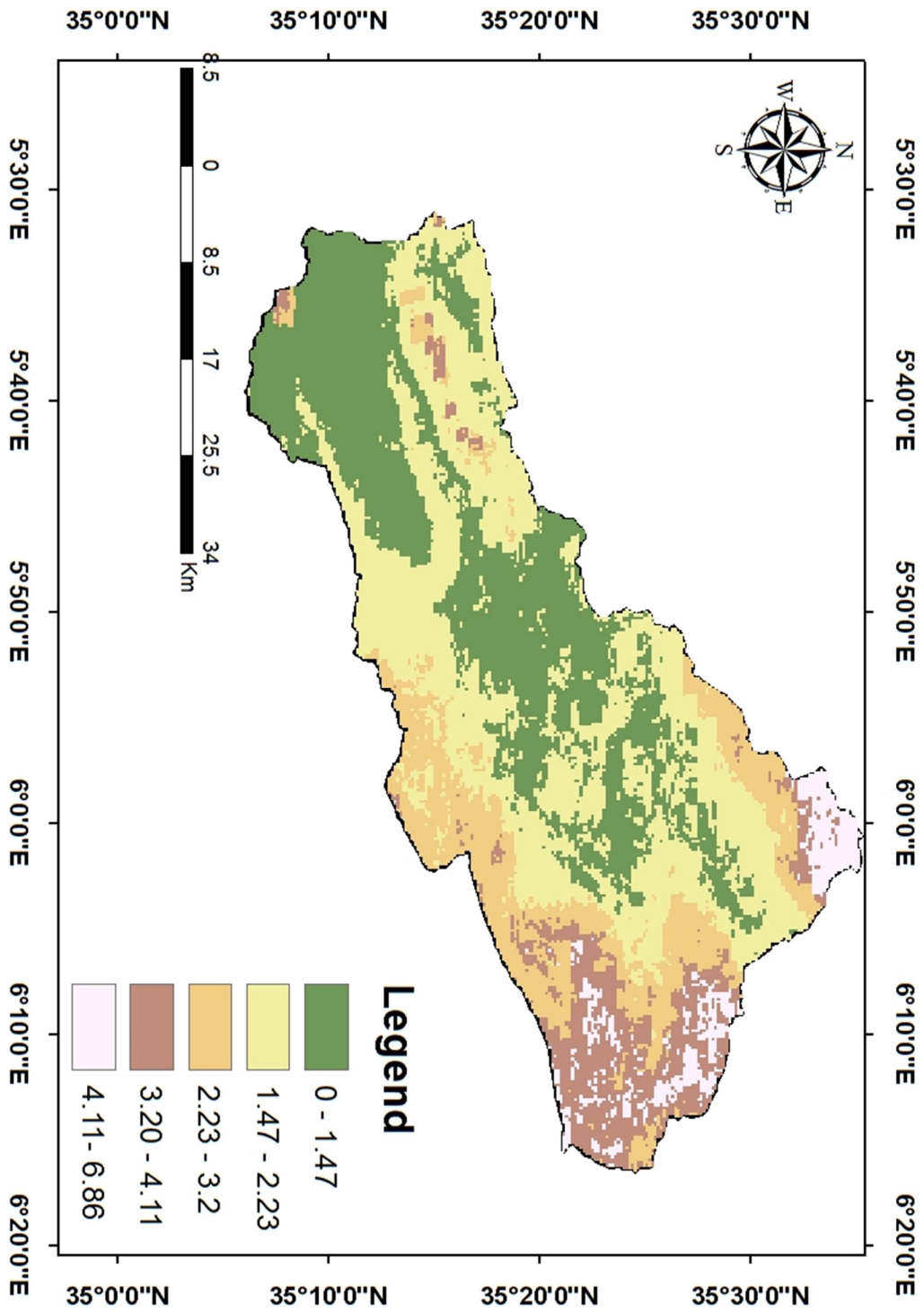


Figure III-5: Carte de la matière organique

III .5- Pourcentage de sable fin S_{fin} (0,05 - 0,10 mm)

Lorsque le pourcentage de sable très fin (STF') d'une série de sol n'est pas disponible directement à partir des rapports pédologiques, il peut être estimé à l'aide d'une relation similaire à la suivante [Bernard1990b]

$$S_{fin} = Sa^{0,576} \times Ar^{0,06}$$

où

Sa = % de sable du sol(s) [0,05 à 2,000mm]

Ar = % de l'argile du sol(s) [0,000 à 0,002 mm]

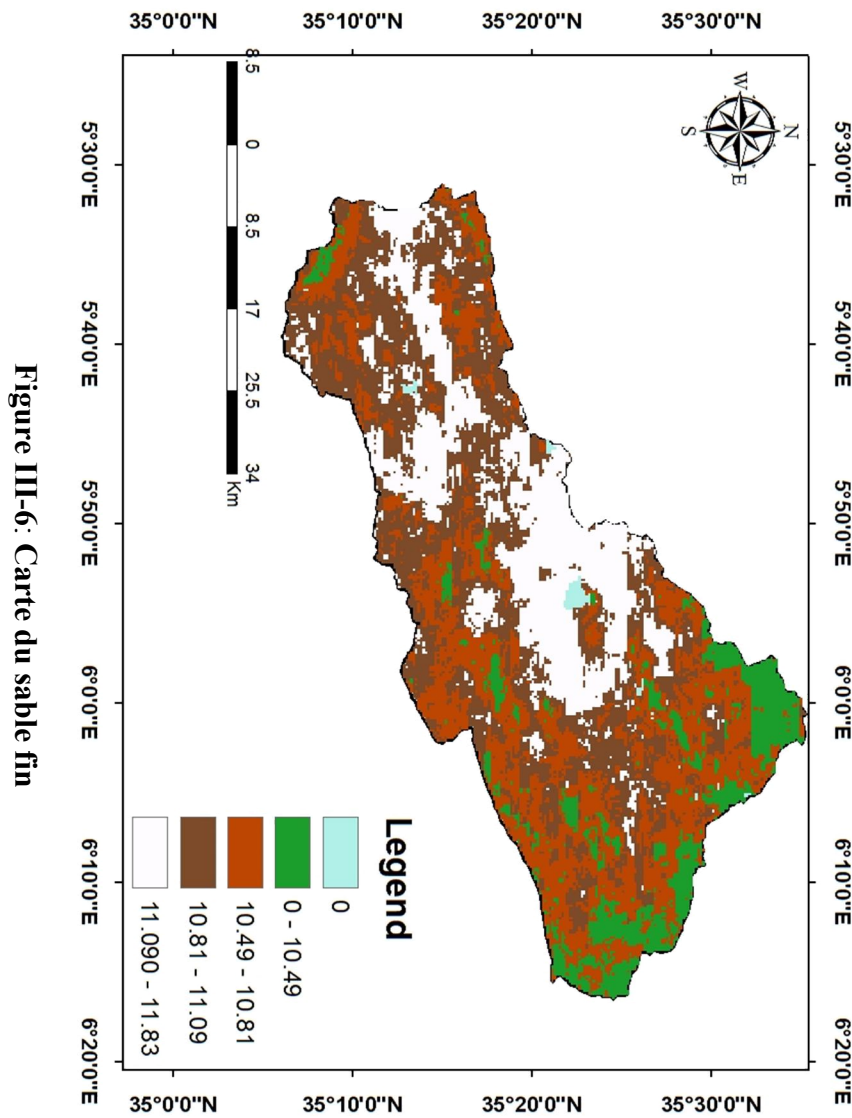


Figure III-6: Carte du sable fin

III .6- La carte du paramètre M

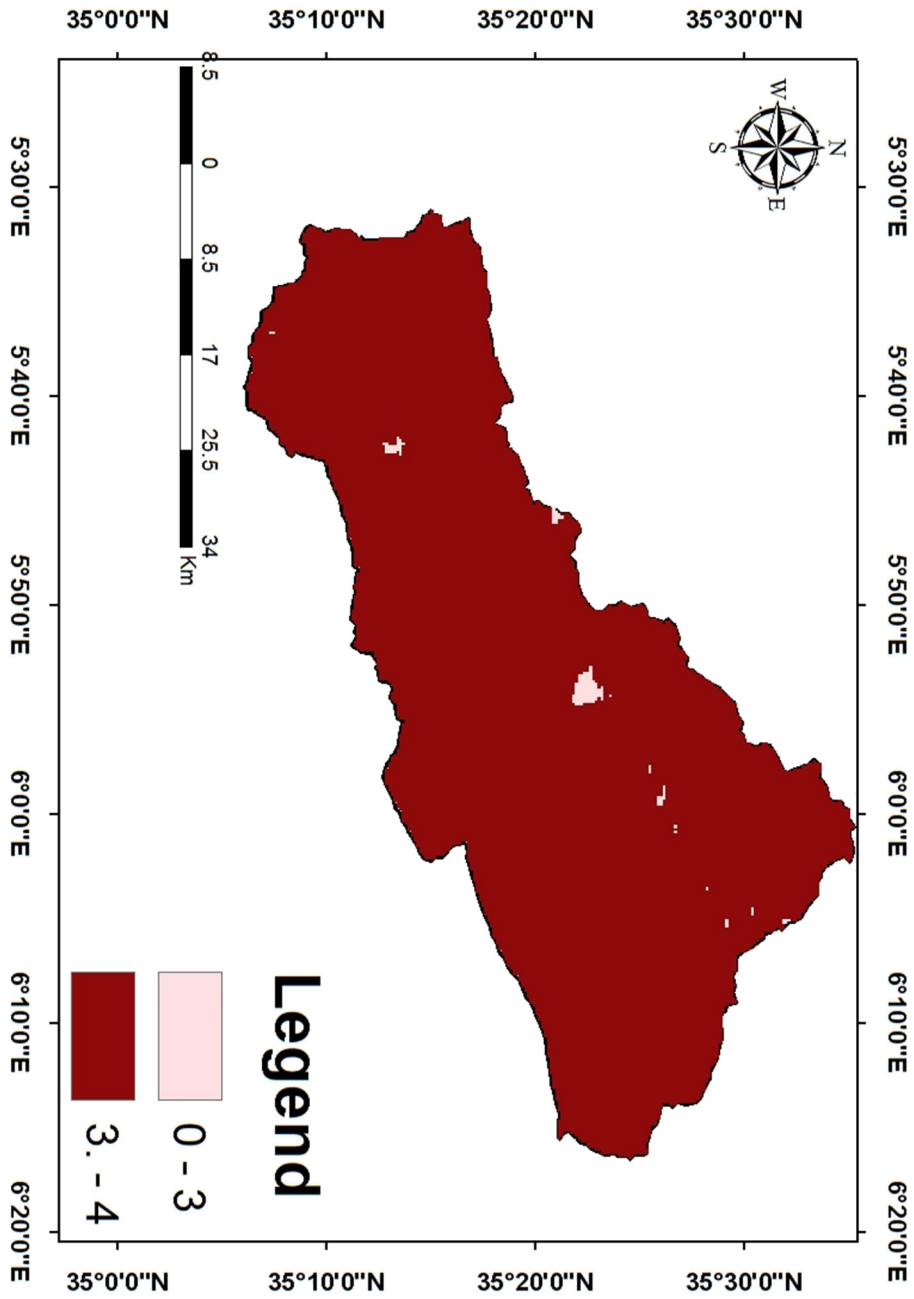


Figure III-7: Carte du paramètre M

III .7- Code de la classe de perméabilité (b) du sol

Table 3.2: Soil permeability code based on soil texture class

Soil Texture	Permeability Code ¹	Hydrologic Soil Group ²
Heavy clay, Clay	6	D
Silty clay loam, Sandy clay	5	C-D
Sandy clay loam, Clay loam	4	C
Loam, Silt loam	3	B
Loamy sand, Sandy loam	2	A
Sand	1	A+

Note: 1 – National Soil Handbook (SCS, 1983)

2 – National Engineering Handbook (SCS, 1972)

Argile lourde, Argile

Limon argileux limoneux, Argile sableuse

Limon argileux sableux, loam argileux

Loam, limon limoneux

Sable limoneux, loam sableux

Le sable

Table 3.3: Soil Layer for Soil Series in Malaysia

Texture Layer	Soil Layer Depth (m)
A (Surface soil)	0.00 – 0.50
B (Subsoil)	0.51 – 1.00
C (Substratum)	1.01 – 1.50

Le tableau 3.3 donne les informations sur les différentes couches de sol à prendre en compte dans la détermination du facteur K pour un site particulier. En règle générale, les valeurs de K pour la couche a sont utilisées lorsque le sol est à l'état naturel et n'est pas perturbé, tandis que les valeurs respectives des couches de sol b et c sont utilisées pour déterminer la perte de sol sur les chantiers de construction car ces couches sont normalement laissées exposées. Après action mécanique.

Cas	Classe	% Sable	% Argile	condition	Code Perméabilité
1	1_1	$X < 7$	$Y < 13$		4
2	1_2	$X < 7$	$13 < Y < 27$		3
3	1_3	$X < 7$	$27 < Y < 40$		4
4	1_4	$X < 7$	$40 < Y < 60$		5
5	1_5	$X < 7$	$Y > 60$		6
6	2_1_1	$7 < X < 20$	$Y < 13$	$X+Y < 20$	4
7	2_1_2	$7 < X < 20$	$Y < 13$	$X+Y > 20$	3
8	2_2	$7 < X < 20$	$13 < Y < 27$		3
9	2_3	$7 < X < 20$	$27 < Y < 40$		4
10	2_4	$7 < X < 20$	$40 < Y < 60$		5
11	2_5	$7 < X < 20$	$Y > 60$		6
12	3_1	$20 < X < 25$	$Y < 27$		3
13	3_2	$20 < X < 25$	$27 < Y < 40$		4
14	3_3	$20 < X < 25$	$40 < Y < 60$		5
15	3_4	$20 < X < 25$	$Y > 60$		6
16	4_1	$25 < X < 43$	$Y < 27$		3
17	4_2	$25 < X < 43$	$27 < Y < 40$		4
18	4_3	$25 < X < 43$	$40 < Y < 60$		5
19	4_4	$25 < X < 43$	$Y > 60$		6
20	5_1_1	$43 < X < 45$	$Y < 7$	$X+Y < 50$	3
21	5_1_2	$43 < X < 45$	$Y < 7$	$X+Y > 50$	2
22	5_2	$43 < X < 45$	$7 < Y < 27$		3
23	5_3	$43 < X < 45$	$27 < Y < 40$		4
24	5_4	$43 < X < 45$	$Y > 40$		5
25	6_1_1	$45 < X < 50$	$Y < 7$	$X+Y < 50$	3
26	6_1_2	$45 < X < 50$	$Y < 7$	$X+Y > 50$	2
27	6_2	$45 < X < 50$	$7 < Y < 37$		3
28	6_3	$45 < X < 50$	$Y > 37$		4
29	7_1	$50 < X < 53$	$Y < 7$		2
30	7_2	$50 < X < 53$	$7 < Y < 37$		3
31	7_5	$50 < X < 53$	$Y > 37$		4
32	8_1	$53 < X < 70$	$Y < 20$		2

33	8_2	$53 < X < 70$	$20 < Y < 37$		3
34	8_3	$53 < X < 70$	$Y > 37$		4
35	9_1_1	$70 < X < 85$	$Y < 15$		1
36	9_1_2	$70 < X < 85$	$Y < 15$		2
37	9_2	$70 < X < 85$	$15 < Y < 20$		2
38	9_3	$70 < X < 85$	$Y > 20$		3
39	10	$X > 85$			1

Figure III-9 : Algorithme pour la détermination du code de la perméabilité b (BERGHOUT Ali 2020)

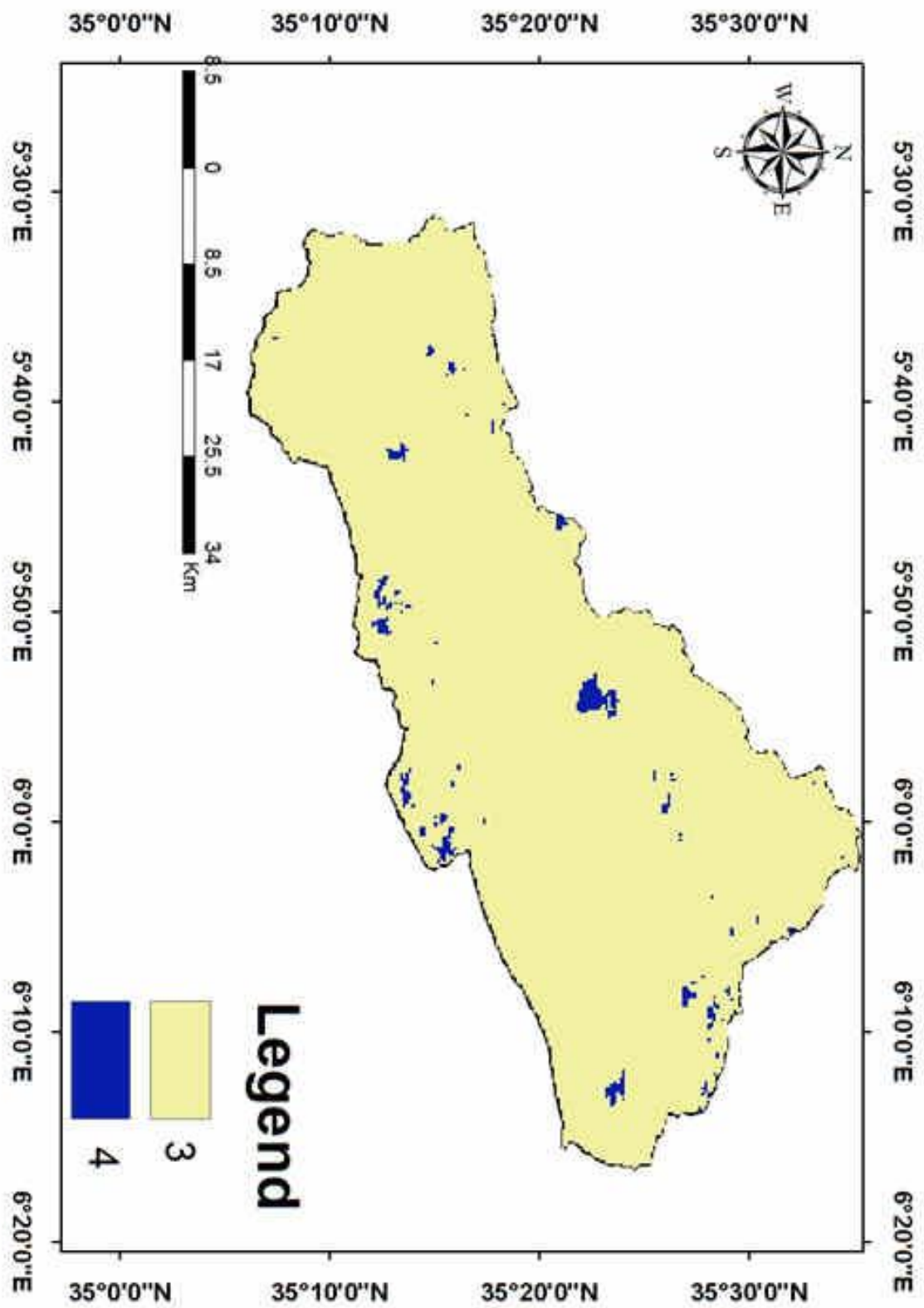


Figure III-10: Carte code de perméabilité

III.8- Code de la classe de structure (c) du sol

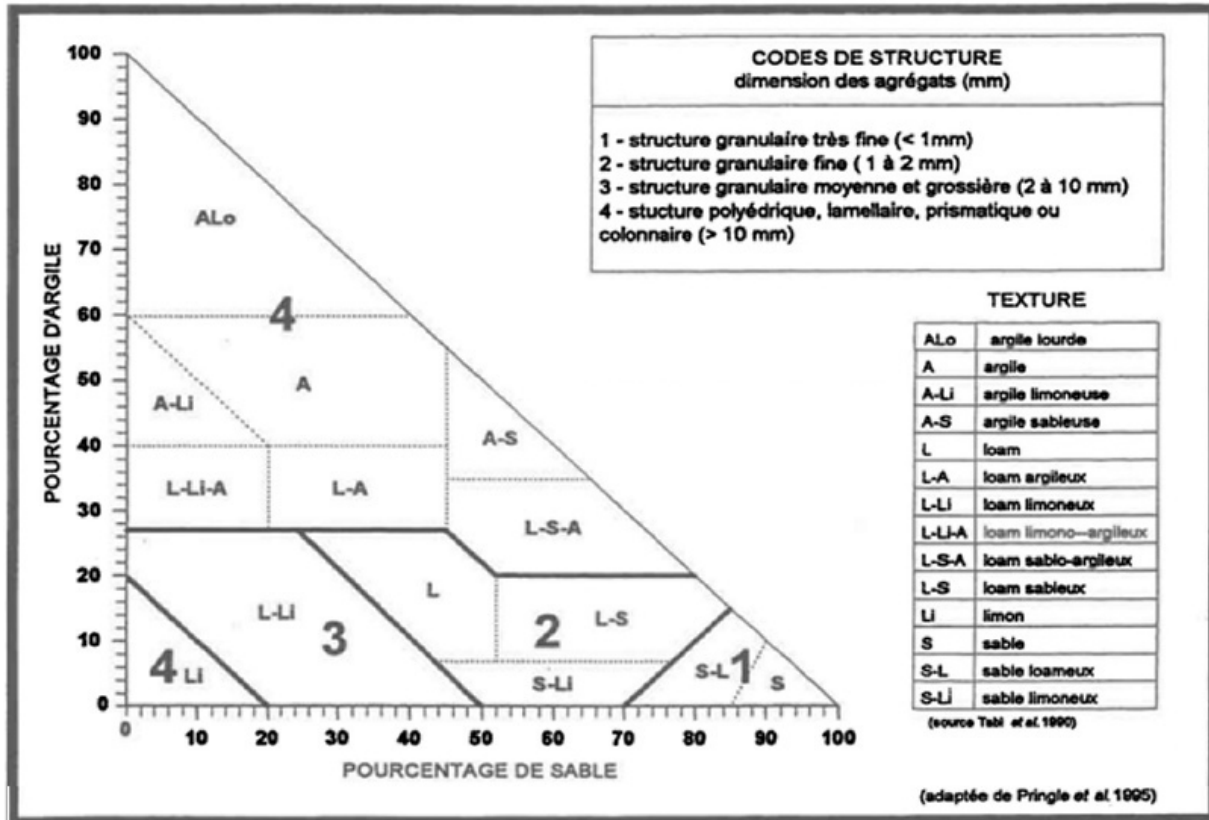


Figure III-11 : Code Structure basée sur la texture (Ontario Centre for Soil Resource Evaluation, 1993)

Tableau III-4: Codification de la structure des sols (c_s)(Wischmeier et Smith,1978)

Nature de la structure	Code de la structure C_s
Très structuré ou particulaire	1
Assez structuré	2
Peu structuré	3
Non structuré	4

Cas	Classe	% Sable	% Argile	condition	Code Structure
1	1_1_1	$X < 20$	$Y < 20$	$X+Y < 20$	4
2	1_1_2	$X < 20$	$Y < 20$	$X+Y > 20$	3
3	1_2	$X < 20$	$20 < Y < 27$		3
4	1_3	$X < 20$	$Y > 27$		4
5	2_1	$20 < X < 24$	$Y < 27$		3
6	2_2	$20 < X < 24$	$Y > 27$		4
7	3_1_1	$24 < X < 45$	$Y < 27$	$X+Y < 50$	3
8	3_1_2	$24 < X < 45$	$Y < 27$	$X+Y > 50$	2
9	3_2	$24 < X < 45$	$Y > 27$		4
10	4_1_1	$45 < X < 50$	$Y < 20$	$X+Y < 50$	3
11	4_1_2	$45 < X < 50$	$Y < 20$	$X+Y > 50$	2
12	4_2_1	$45 < X < 50$	$20 < Y < 27$	$0,75 X + Y < 59,75$	2
13	4_2_2	$45 < X < 50$	$20 < Y < 27$	$0,75 X + Y > 59,75$	4
14	4_3	$45 < X < 50$	$Y > 27$		4
15	5_1	$50 < X < 53$	$Y < 20$		2
16	5_2_1	$50 < X < 53$	$20 < Y < 27$	$0,75 X + Y < 59,75$	2
17	5_2_2	$50 < X < 53$	$20 < Y < 27$	$0,75 X + Y > 59,75$	4
18	5_3	$50 < X < 53$	$Y > 27$		4
19	6_1	$53 < X < 70$	$Y < 20$		2
20	6_2	$53 < X < 70$	$Y > 20$		4
21	7_1_1	$70 < X < 85$	$Y < 15$	$-X + Y < 70$	1
22	7_1_2	$70 < X < 85$	$Y < 15$	$-X + Y > 70$	2
23	7_2	$70 < X < 85$	$15 < Y < 20$		2
24	7_2	$70 < X < 85$	$Y > 20$		4
25	8_1	$X > 85$			1

Figure III-12 : Algorithme pour la détermination du code de la structure c (BERGHOUT Ali 2020)

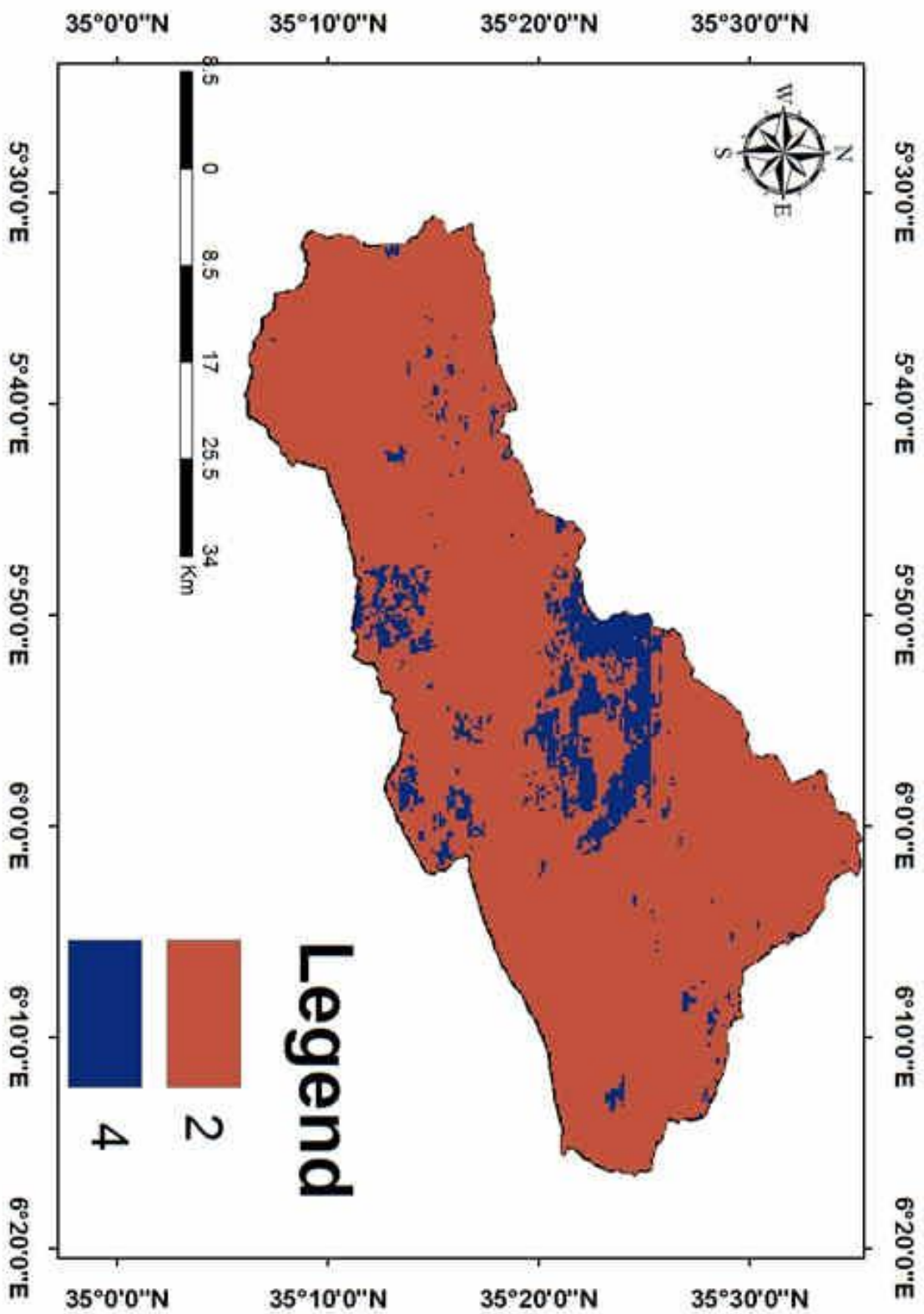


Figure III-13 : Carte code de structure

III .9- Carte du facteur K

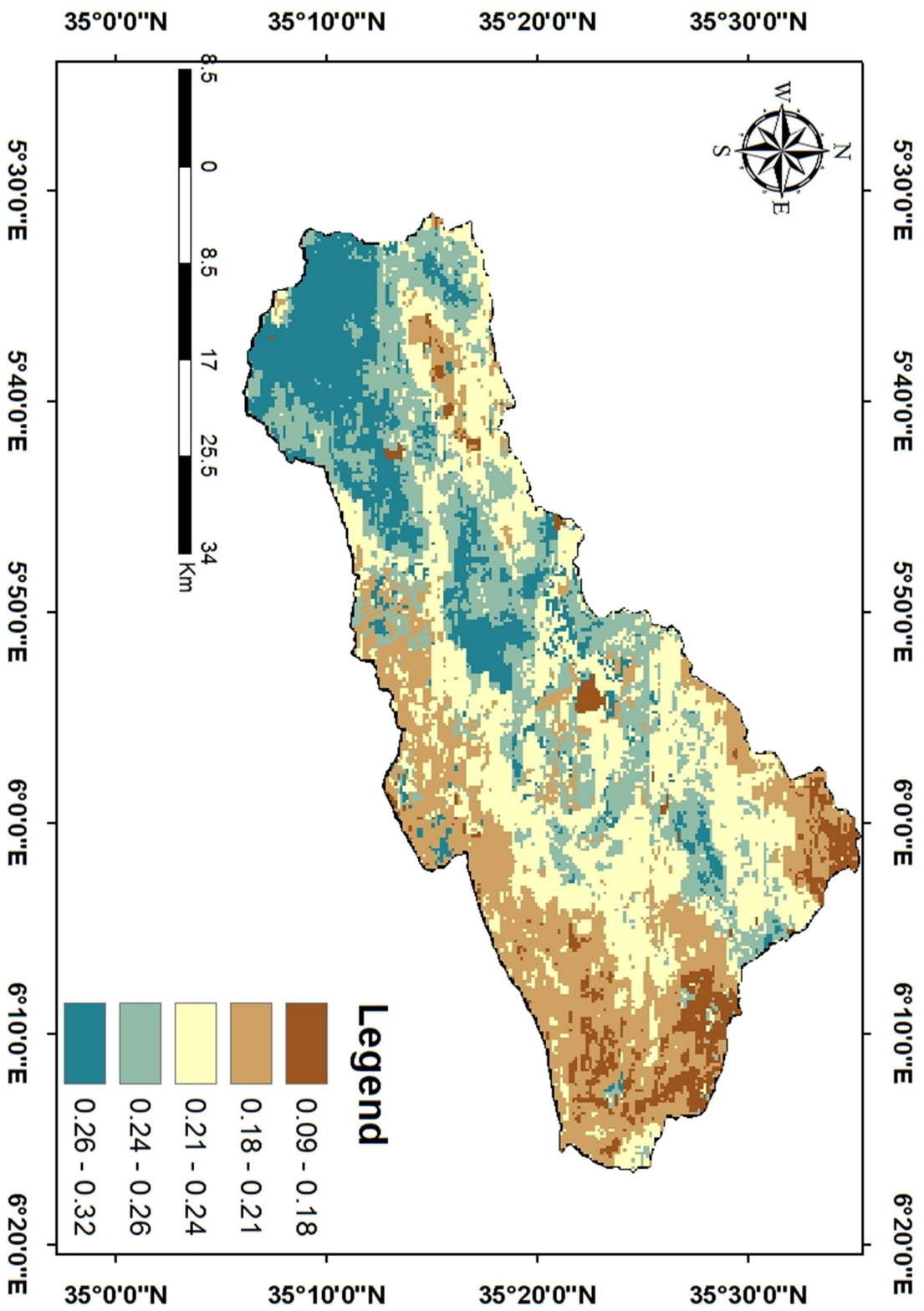


Figure III-14 : Carte du facteur K

Conclusion générale

Dans ce mémoire de fin d'études intitulé "cartographie des classes de perméabilité et de la structure des sols ; Cas du bassin versant Oued El-Hai wilaya de Biskra", nous avons structuré notre travail de la façon suivante :

En premier lieu, nous avons donné des généralités sur les classes de la perméabilité et de la structure ainsi que leurs utilisations.

Dans le second chapitre, nous avons défini la zone de notre étude : Bassin versant de oued El - Hai, ses caractéristiques géométriques, géomorphologiques et hydrographiques.

Le troisième chapitre le fond de notre travail, dans ce dernier nous avons cartographié les codes des deux classes de la perméabilité et de la structure.

En résumé le travail est une méthodologie pour la cartographie des deux paramètres code de perméabilité et code de la structure du sol, en utilisant les données du sol disponibles au site : Soilgrids.org et en appliquant le nomogramme de l'érodibilité des sols de Foster. Cette méthodologie proposée a été appliquée pour le bassin versant Oued El-Hai.

Références Bibliographiques

- Berghout, A, 2020.** Méthodologie pour l'élaboration des cartes de facteur d'érodabilité K. Note de cours Université de M'sila 2020.
- Borst H.L., Woodburd R. 1940.** Rain simulator studies of slop on erosion and runoff. USDA, soil conservation. p : 30.
- DeCoursey, D. & W.M. Snyder. 1969.** Computer-oriented method of optimizing hydrologic model parameters. J. Hydrology 9:34-56.
- Foster, G. R. 1991.** Advances in wind and water erosion prediction. J. Soil Water Conserv. 46: 27-29.
- Foster, G. R., and Lane, L. J. 1987.** User requirements: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). NSERL Report No. 1, National Soil Erosion Research Laboratory, USDA-ARS, W. Lafayette, IN.
- Gourfi Abdelali 2014.** Application des modèles USLE et heusch pour l'estimation de la perte en sol et l'envasement du barrage du bassin versant de l'Assif El Mal (TENSIFTALHAOUZ). - Mémoire de projet de fin d'étude. Université Kadi Ayyad Marrakech Maroc.
- Kirkby, M. J. & Morgan, R. P. C. (eds) (1980)** Soil Erosion. John Wiley, New York, USA.
- Laffite R. 1939** – Etude de géologie de l'Aurès. Doctorat ès Sciences Paris, Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, 1^{re} série, n° 15, 484 p., 26 fig., 35 cartes, 1 carte au 1/200000e.
- NAIMI NOUREDDINE et BOUHAMDIA TOUFIK 2014.** Dimensionnement D'un Évacuateur De Crues (Cas Du Barrage De Fontaine Des Gazelles -W- Biskra). MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER UNIVERSITE DE BISKRA.
- USDA, 1972.** Soil Conservation Service National Engineering Handbook, section 4, Hydrology. USDA, Washington, USA.
- Walling, D.E. 1983,** The sediment delivery problem. Journal of Hydrology 65, 209-237, 1983.
- Williams, J.R. 1975.** Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. p. 244-252. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. U.S. Dep. Agr. ARS-S40.
- Williams, J.R., and H.D. Berndt. 1977.** Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 20:1100-1104.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978).** Predicting rainfall erosion losses—a guide for conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, Washington.

Site : espacepourlavie.ca/structure-du-sol

Site: soilgrids.org.