



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE
DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

BAALLA Abdessalam & BEN YAHIA Salem

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUES

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : SCIENCES ET TECHNIQUES TOPOGRAPHIQUES

Thème

**SIG et AHP pour la cartographie du aléa glissement du
terrain étude de cas Bassin versant d'ISSER**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
KADRI Chadli	Maître -AssistantA	Président
BEN FARHAT Bachir	Maître- Assistant A	Examineur
DJABALLAH Ahmed	Maître -Assistant A	Rapporteur

Promotion : juin - 2018

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A la plus chère personne pour moi dans la vie ;

Celle qui a beaucoup peiné pour mon confort,

Celle qui a ouvert pour moi la voie et le chemin de

la réussite :

Ma chère mère que le bon dieu me la garde,

A mon cher père, qui m'a soutenu financièrement

et moralement ;

Et à tous mes amis.

BEN YAHIA SALEM

DEDICACE

Je dédie ce travail :

A ma Mère

A mon Père

A mes Frères et mes Sœurs

*A toute ma famille pour leur soutien au long de
mon parcours universitaire,*

A tous mes amis,

*Je leur exprimer ma profonde sympathie et leur
souhaite beaucoup de chance pour leur travaux.*

ABDESSALAM BAALLA

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, on remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la patience, le Courage et la volonté afin de rédiger ce modeste travail et je tiens expressément à remercier mes parents pour leur soutien, confiance et leurs encouragements tout au long de ces études.

Je tiens particulièrement à remercier monsieur DJABALLAH Ahmed maitre-assistant A au niveau d'Université d'Amar Telidji pour son attention portée à notre travail, il encadré ce mémoire avec une grande rigueur scientifique.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur maitre assistant - A KADRI Chadli pour avoir accepté être le président de jury de ce modeste travail ainsi que maître assistant-A BEN FARHAT Bachir pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Enfin nous adressons nos meilleurs et chaleureux remerciements à toute personne qui nous a aidés de près travail ou de loin dans la réalisation de Ce travail.

ملخص

تعتبر انزلاقات التربة من أهم الكوارث الطبيعية وتحدث عادة على المنحدرات متى توفرت العوامل المسببة لذلك. ارتكزنا في دراستنا هذه على طريقة التحليل الهرمي للتوصل إلى اتخاذ قرارات أكثر دقة في تحديد الخطر عن طريق تجميع العوامل المتدخلة في هذه الظاهرة، واستندنا في عملنا هذا على برامج معالجة المعلومات، والتي توفرها نظم المعلومات الجغرافية وصور الأقمار الصناعية وموقع الأرصاد الجوية... الخ

الكلمات الدلالية : انزلاق التربة، طريقة التحليل الهرمي، نظم المعلومات الجغرافية خريطة التساقط خريطة الميل، خريطة خصائص التربة، خريطة التموضع، خريطة شبكة المجاري المائية، خريطة شغل الأراضي

Résumé

Les glissements des terrain sont des catastrophes naturelles qui se produisent généralement sur les terrains pentus lorsque ses facteurs sont présents (pente , type de sol pluie..). Dans cette étude, nous avons appuyés sur la méthode de l'analyse hiérarchique (AHP) pour arriver à un processus décisionnel plus précis dans l'identification du risque en agrégeant les facteurs impliqués dans ce phénomène, en utilisant pour cela le logiciel de traitement, qui provient de système d'information géographique et d'images satellitaires et le cite free météo...etc.

Mots clé : glissement de terrain, AHP ,SIG, carte précipitation, carte des pentes, carte lithologique, carte aspect, carte densité drainage, carte d'occupation du sol.

Abstract

Soil losses are one of the most important natural disasters and usually occur on the slopes when the causal factors are available. In our study, we focused on the method of hierarchical analysis to arrive at more accurate decisions in determining the risk by combining the factors involved in this phenomenon. Information processing, provided by GIS, satellite imagery, meteorological site, etc.

Tags: Sliding soil, Hierarchical analysis method, GIS Map of précipitation map slope, map of soil characteristics, positioning map, water course map, land occupancy map.

Dédicaces.....	i
Remerciement	iii
Résumé.....	iv
Sommaire.....	v
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	x
Liste des Acronymes.....	xi
Introduction général.....	1

Chapitre I : notion sur les glissements du terrain

I.1. Introduction.....	2
I.2. mouvement de terrain.....	2
I.2.1. Définition du mouvement de terrain.....	2
I.2.2. La classification des mouvements de terrain.....	3
I.2.2.1. Les mouvements lents et continus.....	3
I .a L'affaissement.....	3
I .b Le tassement.....	4
I .c Le glissement de terrain.....	4
I .d Le retrait-gonflement des argiles.....	5
I .e Le fluage.....	6
I .f Solifluxion.....	6
I.2.2.2. Les mouvements rapides et discontinus.....	7
I .a Les effondrements de cavités souterraines.....	7

I .b L'éboulement, chutes de blocs et de pierres.....	8
I .c Les coulées de boues et laves torrentielles.....	9
I .d Erosion littorale.....	9
I.3. Les glissements de terrain.....	10
I.3.1. Qu'est-ce qu'un glissement de terrain ?.....	10
I.3.2. principaux types de glissements de terrain dans les dépôts meubles.....	11
I.3.2.1. Glissement faiblement ou non rétrogressifs.....	11
I .a Glissement superficiel.....	12
I .b Glissement rotationnel.....	13
I.3.2.2. Glissement fortement rétrogressifs.....	13
I.3.3. La vitesse et la profondeur de glissement de terrain.....	14
I.3.3.1 Vitesse moyenne de glissement de terrain.....	14
I.3.3.2 Profondeur de glissement.....	15
I.3.4. Quels sont les facteurs provoquant un glissement de terrain.....	15
I.3.4.1. dans un terrain en pente.....	15
I.3.4.2. La nature du sol et du sous-sol.....	15
I.3.4.3. L'eau	16
I.3.4.4. La sécheresse.....	16
I.3.4.5. L'érosion.....	16
I.3.4.6. Les activités humaines.....	16
I.3.4.7. L'activité sismique.....	16
I.4. Risque naturel.....	16
I.5. Précaution et Recommandations.....	17

I.6. conclusion.....	18
----------------------	----

Chapitre II : Outils et Méthodes La méthode AHP

II.1. Introduction.....	18
II.2. Les différentes méthode d'analyse multicritères.....	18
II.2.1. Agrégation complète.....	19
II.2.2. Agrégation partielle.....	19
II.2.3. Agrégation locale	19
II.3. Le processus d'analyse hiérarchique (AHP) de Saaty.....	19
II.4. Avantage de la méthode AHP.....	20
II.5. Caractéristiques de l'AHP.....	20
II.5.1. AHP – Théorie.....	21
II.5.1.1. L’AHP est analytique.....	22
II.5.1.2. L’AHP structure le problème comme une hiérarchie.....	22
II.5.2.3. L'AHP définit un processus de prise de décision.....	23
II.6. Trois principes de la méthode AHP.....	23
II.6.1. Comment fonctionne l'AHP.....	23
II.6.2. L'AHP - Etape par étape.....	24
II.7. Intérêt de SIG.....	26
II.8. la télédétection.....	26
II.9. conclusion.....	27
II.10. L 'organigramme générale.....	28

Chapitre III: cartographie de l'aléa glissement du terrain

III.1. Description de la zone d'étude.....	29
III.1.1 Description de la zone d'étude	29
III.2. préparation des données.....	30
III.2.1. Carte des précipitations.....	30
III.2.2. La carte des pentes.....	31
III.2.3. La Carte d'Occupation du sol.....	32
III.2.4. Carte des aspects.....	33
III.2.5. Carte de densité de drainage.....	34
III.2.6. Carte lithologique.....	35
III.3. évaluation selon la méthode AHP.....	37
III.3.1. L'évaluation entre critères.....	37
III.3.2. 'évaluation entre les classes de la précipitation	37
III.3.3. L'évaluation entre les types de sols.....	39
III.3.4 l'évaluation entre les classes de l'occupation des sols.....	40
III.3.5 l'évaluation entre les classes des pentes.....	42
III.3.6 l'évaluation entre les classes de densité de drainage.....	44
III.3.7 l'évaluation entre les classes d'Aspects.....	46
III.4. la carte de l'aléa glissement du terrain sur ISSER.....	49
III.5. conclusion.....	50
Conclusion général.....	51
Référence-Bibliographique.....	52

Listes des Figures et les tableaux

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Affaissement dû à une exploitation minière [Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques,2008].....	4
Figure I.2: Phénomène de tassement latéral [USGS,2011].....	4
Figure I.3: Illustration d'un glissement de terrain, selon Eden (1973) [ALEXANDRE COLLIN,1973].....	5
Figure I.4: Le retrait-gonflement [SETSOL,2011].....	5
Figure I.5: Phénomène de fluage [BC Geological Survey,2006].....	6
Figure I.6: Phénomène de la Solifluxion [BRGM,2013].....	7
Figure I.7: Effondrements des cavités souterraines [www.developpement-durable.gouv.fr,.2008].....	8
Figure 1.8: les éboulements, chutes de blocs et de pierres[BRGM,2013].....	8
Figure I.9: Schéma illustre une coulée de boue [LEFRIKI SOUAD,2015].....	9
Figure 1.10: L'érosion littorale [LEFRIKI SOUAD.2015].....	10
Figure I.11: Types de glissements de terrain dans les dépôts meubles [Gouvernement du Québec,2017].....	11
Figure I.12: Glissement superficiel [Gouvernement du Québec,2017].....	12
Figure I.13: Exemple de glissement superficiel [Gouvernement du Québec,2017].....	12
Figure I.14: Glissement rotationnel [Gouvernement du Québec,2017].....	13
Figure I.15: Glissement fortement rétrogressifs [Gouvernement du Québec,2017].....	14
Figure II.1: Structure hiérarchique générique. Source (SAATY, 1990) [BEKHTARI MOHAMMED CHERIF, 2015].....	21

Figure II.2: Organigramme générale.....	27
Figure III.1: présentation de la zone d'étude ISSER.....	30
Figure III.2: Carte des précipitations dans le bassin versant ISSER.....	31
Figure III.3; Carte des pentes dans le bassin versant ISSER.....	32
Figure III.4: Carte des Occupation du sol dans bassin versant ISSE.....	33
Figure III.5: Carte des aspects du bassin versant ISSER.....	34
Figure III.6: Carte de densité de drainage dans bassin versant ISSER.....	35
Figure III.7: triangle de texture.....	36
Figure III.8: Carte lithologique	36
Figure III.9: Carte des précipitation du bassin versant ISSER (AHP).....	38
Figure III.10: Carte des lithologique du bassin versant ISSER (AHP).....	40
Figure III.11: Carte des Occupation du sol du bassin versant ISSER (AHP).....	42
Figure III.12: Carte des pentes du bassin versant ISSER (AHP).....	43
Figure III.13: Carte de densité de drainage dans bassin versant ISSER (AHP).....	45
Figure III.14: Carte des aspect dans bassin versant ISSER (AHP).....	48
Figure III.15: Carte final d'aléa de glissement du bassin versant ISSER (AHP)	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement a long terme [MOHAMED HAMZA,2011].....	15
Tableau I.2 : Classification selon la profondeur de la surface de glissement [MOHAMED HAMZA,2011].....	15
Tableau II.1 : Indice SAATY [BELLAJ,L'ADAPTATION,2009].....	21
Tableau II.2: Échelle de gradation pour la comparaison quantitative des alternatives. Source (SAATY, 1990) [BELLAJ,L'ADAPTATION,2009].....	26
Tableau III.1: Tableau de comparaison entre critères.....	37
Tableau III.2: Tableau de normalisation	37
Tableau III.3: Tableau de comparaison entre les classes de la précipitation.....	37
Tableau III.4: Tableau de normalisation	38
Tableau III.5: Tableau de comparaison entre type des sols.....	39
Tableau III.6: Tableau de normalisation	39
Tableau III.7: Tableau de comparaison entre les classes d'occupation des sols.....	41
Tableau III.8: Tableau de normalisation.....	41
Tableau III.9: Tableau de comparaissant.....	42
Tableau III.10: Tableau de normalisation	43
Tableau III.11: Tableau de comparaison.....	44
Tableau III.12: Tableau de normalisation	44
Tableau III.13: Tableau de comparaison entre les différente expositions des terres.....	46
Tableau III.14: Tableau de normalisation.....	47

Liste des Acronymes

Liste des Acronymes

AHP	A nalystic H ierarchy P rocess
BRGM	B ureau de R echerches G éologiques et M inières
DEM	D igital É lévation M odel
DSMW	the D igital S oil M ap of the W orld
FAO	The state of F ood and A griculture
HWSD	H armonized W orld S oil D ata base.
IC	I ndice de C ohérence.
MAUT	M ulti A tttribute U tility T heory
MNT	M odelé N umérique de T errain
RC	R apport C ohérence
SIG	S ystème D ' I nformation G éographique
SRTM	S huttle R adar T opography M ission
USGS	U nited S tates G eological S urvey.
UTM	U niversal T ransverse M ercator.
WGS 84	W orld G eodetic S ystem 1984
WPM	W eight P roduct M ethod
WSM	W eight S um M ethod

Introduction générale

Introduction générale

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels d'origine très diverses résultant de la déformation, de la rupture et du déplacement du sol. Ils provoquent mondialement la mort de 800 à 1000 personnes/an et causent des préjudices économiques et des dommages considérables. De nombreux paramètres, naturels ou anthropiques, conditionnent l'apparition et le développement des mouvements de terrain (géologie, hydrogéologie, urbanisation...etc.). En 1979, la commission sur les mouvements de terrain de l'association internationale de géologie de l'ingénieur, estimait que 14% des pertes de vie humaines lors des catastrophes naturelles pouvaient être attribuées aux mouvements de terrain.

Avec le développement technologique, le suivi d'un phénomène naturel devient de plus en plus accessible surtout avec la disponibilité des données (des images multi-dates, données sur les précipitations, et les cartes topographiques ou les modèles numériques du terrain MNT), cette disponibilité rend l'utilisation des moyens qui intègrent ces données une priorité parmi eux on cite les SIG et les méthodes d'aide à la décision (AHP).

L'objectif de ce travail est de cartographier l'aléa glissement de terrain sur le Bassin Versant d'ISSER, on utilise les SIG et la méthode d'agrégation AHP, cette méthode qui nous permet d'agréger plusieurs paramètres et de les évaluer afin d'avoir les résumés pour aider les décideurs.

Pour arriver à l'objectif visé, on a organisé notre document comme suit

- un premier chapitre présente des généralités sur les mouvements de terrain surtout le glissement de terrain, ses types et causes provoquant, et finalisé par des précautions et des recommandations pour la prévention.
- Le deuxième chapitre présente les concepts de la méthode AHP et les sources des données comme SIG (système d'information géographique) et TLD (télédétection) terminé par un organigramme qui résume les différentes tâches et étapes suivies lors de la réalisation de ce travail.
- Dans le dernier chapitre, nous présentons l'application de la méthode AHP on utilise les programmes et logiciels (ARC GIS, ENVI, EXCEL), afin de cartographier l'aléa glissement les résultats du terrain.
- Finalement, une conclusion générale est présentée.

Chapitre I :

le notion sur glissement du terrain

I.1 Introduction

les mouvements de terrain se manifestant surtout par: les mouvements rapides et discontinus par exemple des chutes de bloc, ensuite elles lent et continus comme des glissement de terrain ,et les coulées boueuses.

Les grands mouvements de terrain étant souvent peu rapides, les victimes sont, fort heureusement, peu nombreuses. En revanche, ces phénomènes sont souvent très destructeurs, car les aménagements humains y sont très sensibles et les dommages aux biens sont considérables et souvent irréversibles.

Les bâtiments, s'ils peuvent résister à de petits déplacements, subissent une fissuration intense en cas de déplacement de quelques centimètres seulement. Les désordres peuvent rapidement être tels que la sécurité des occupants ne peut plus être garantie et que la démolition reste la seule solution.

Les mouvements de terrain rapides et discontinus(effondrement de cavités souterraines, écoulement et chutes de blocs, coulées boueuses), par leur caractère soudain, augmentent la vulnérabilité des personnes. Ces mouvements de terrain ont des conséquences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication ...),allant de la dégradation à la ruine totale. Ils peuvent entraîner des pollutions induites lorsqu'ils concernent une usine chimique, une station d'épuration...

Les éboulements et chutes de blocs peuvent entraîner un remodelage des paysages, par exemple l'obstruction d'une vallée par les matériaux déplacés engendrant la création d'une retenue d'eau pouvant rompre brusquement et entraîner une vague déferlante dans la vallée [1].

I.2 Mouvements de terrain

I.2.1 Définition du mouvement de terrain

Le mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol et du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Les volumes en jeu sont compris entre quelques mètres cubes et plusieurs millions de mètres cubes. Les déplacements de matière peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou rapides (quelques centaines de mètres par jour) [2].

I.2.2 La classification des mouvements de terrain

Les formes et l'ampleur des mouvements de terrain sont très diverses en raison de la multiplicité des mécanismes d'initiation et d'évolution (érosion, déformation et rupture sous charge statique ou dynamique,...), liés à :

- la topographie (pente du versant, dénivelée, etc.).
- à la lithologie (caractéristiques physiques et mécaniques et la sensibilité des matériaux solide, plastique, visqueux et liquide),
- à la structure géologique (pendage, fracturation, superposition des couches...)
- aux nappes aquifères,
- à la teneur en eau, etc. [3].

Le mouvement de terrain est difficilement prévisible et constitue un danger pour la vie humaine en raison de son intensité, de la soudaineté et du caractère dynamique de son déclenchement. Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles peuvent être distingués :

Les mouvements lents et les mouvements rapides. Seuls les mouvements rapides sont directement dangereux pour l'homme. Leurs conséquences sont d'autant plus graves que les masses déplacées sont importantes. Les conséquences des mouvements lents sont essentiellement socioéconomiques ou d'intérêt public [3].

I.2.2.1 Les mouvements lents et continus

Entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent les affaissements, les tassements, les glissements, la solifluxion, le fluage, le retrait gonflement des argile [4].

a) L'affaissement

évolution des cavités souterraines dont d'effondrement est amortie par le comportement souple des terrains superficiels, ces cavités peuvent être :

- Des vides naturels par dissolution de roche soluble, calcaire, gypse.
- Des ouvrages souterrains exécutés sans précaution [5].

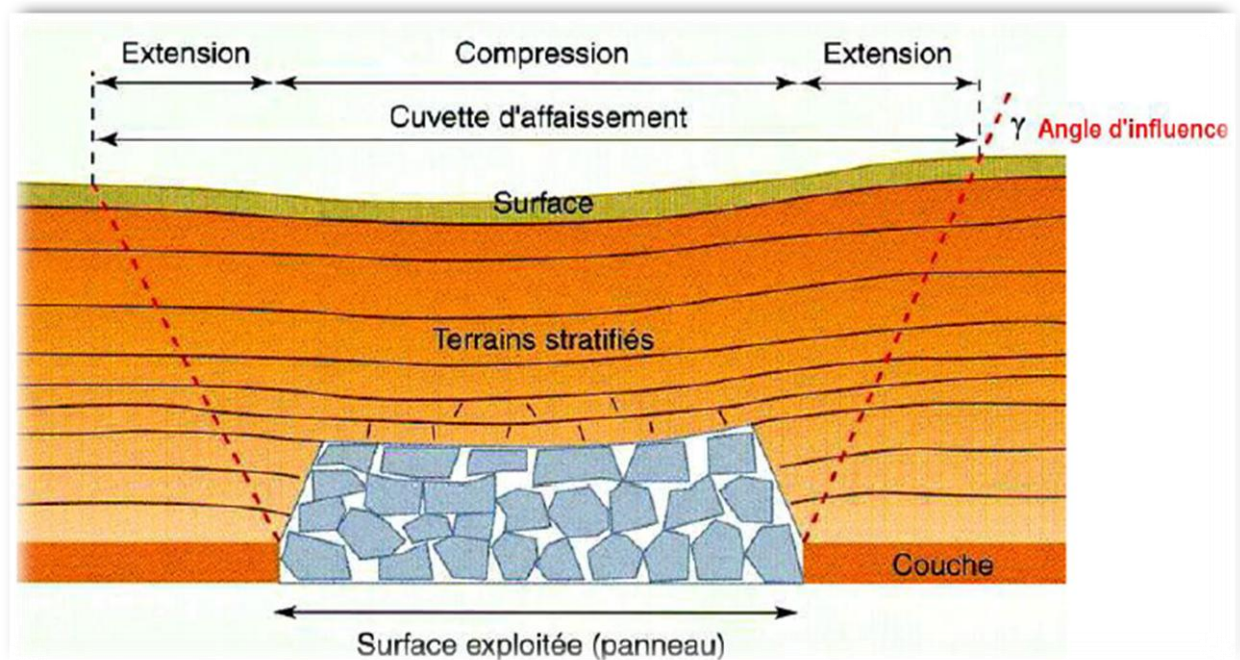


Figure I.1: Affaissement dû à une exploitation minière [6].

b) Le tassement

Diminution de volume de certains sols (vases, tourbes, argiles...etc.), sous l'effet des charges appliquées et de l'assèchement [7].

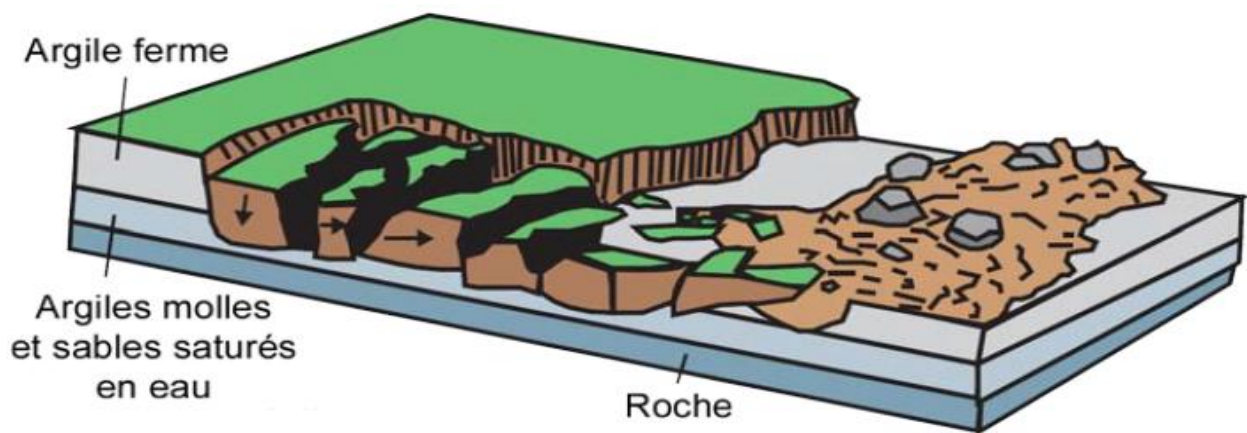


Figure 1.2 : Phénomène de tassement latéral [8].

c) Le glissement de terrain

Il s'agit du déplacement lent d'une masse de terrain cohérente le long d'une surface de rupture. Cette surface a une profondeur qui varie de l'ordre du mètre à quelques dizaines de mètres dans des cas exceptionnels. Les volumes de terrain mis en jeu sont considérables, les

vitesses d'avancement du terrain peuvent varier jusqu'à atteindre quelques décimètres par an. Se produisent généralement en situation de forte saturation des sols en eau [3].

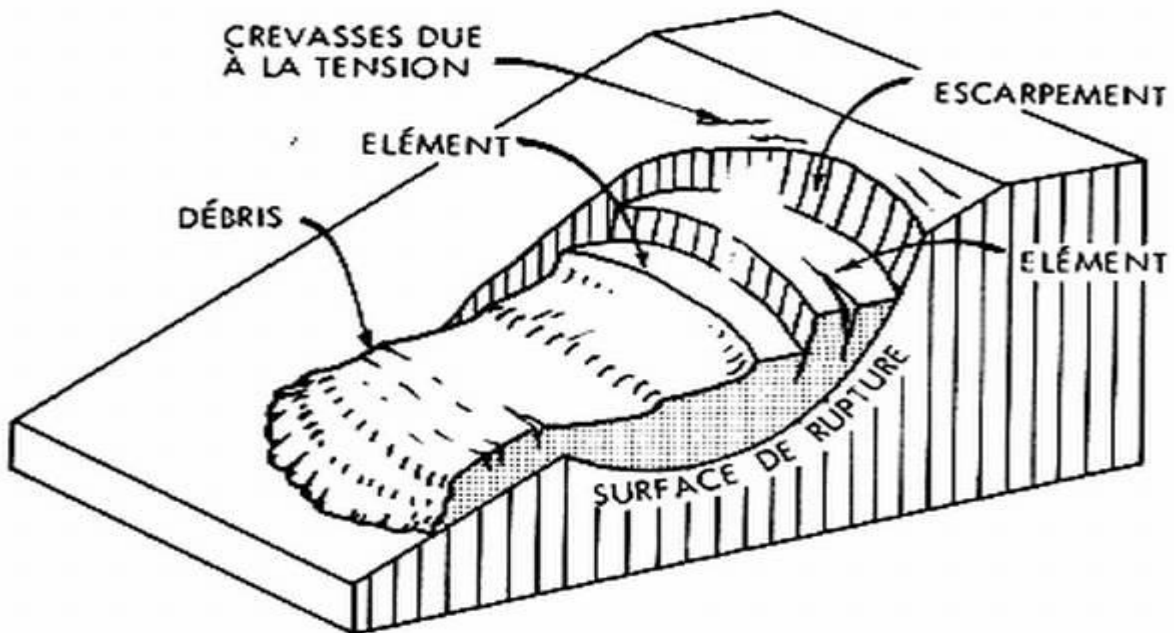


Figure I.3: Illustration d'un glissement de terrain, selon Eden (1973) [9].

d) Le retrait-gonflement des argiles

les variations de la quantité d'eau dans certains terrains argileux produisent des gonflements (période humide) et tassements (périodes sèches) [10].

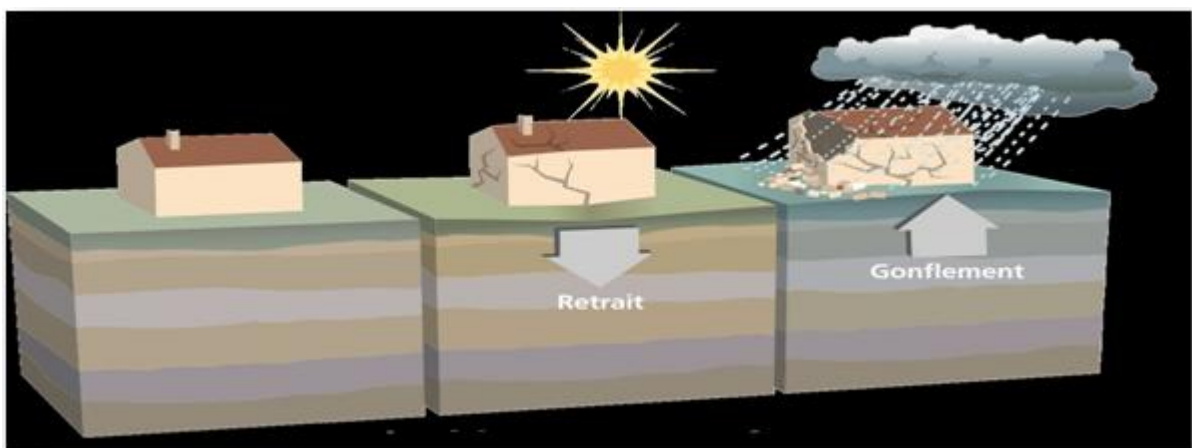


Figure I.4: Le retrait-gonflement [10].

e) Le fluage

Le fluage est caractérisé par des mouvements lents et continus, mais à des vitesses faibles. Dans le cas du fluage, il est difficile de mettre en évidence une surface de rupture. Le mouvement se produit généralement sans modification des efforts appliqués (contrairement aux glissements) : le matériau est sollicité à un état proche de la rupture. Ce type de mouvement peut : soit se stabiliser, soit évoluer vers une rupture. La figure ci-après [3].

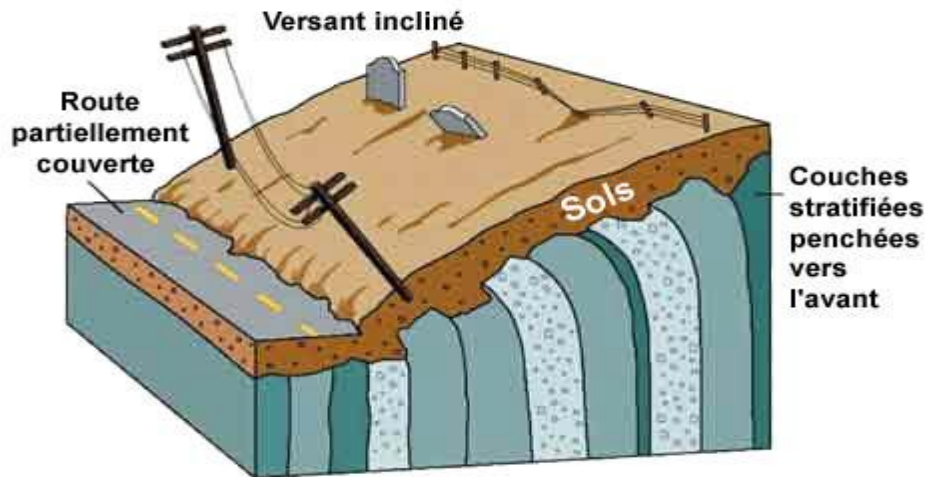


Figure I.5 : Phénomène de fluage [11].

f) Solifluxion

Ce phénomène s'accroît sous l'effet du gel-dégel, particulièrement au moment du dégel quand le matériau de surface est saturé, et qu'un sol gelé subsiste en profondeur. En général, les solifluxions touchent superficiellement (profondeur inférieure à 2m) les sols meubles et spécialement les versants marneux. Elles sont caractérisées par une zone de départ inexistante et une faible extension des masses en mouvement[12].

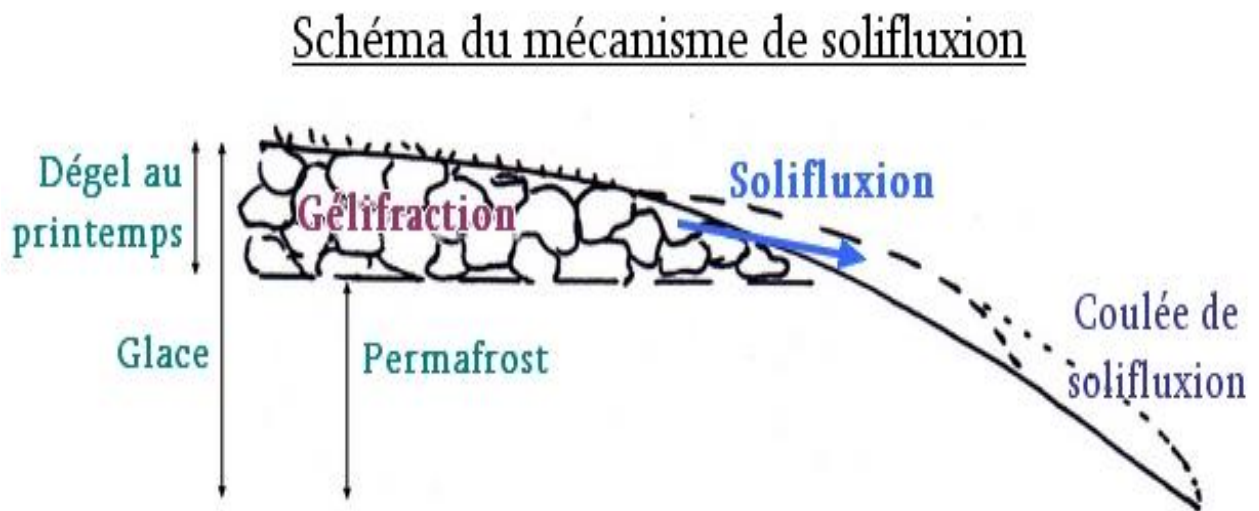


Figure I.6 : Phénomène de la Solifluxion [13].

I.2.2.2 Les mouvements rapides et discontinus

Se propagent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent les effondrements, les chutes de pierres et de blocs, les éboulements et les coulées boueuses.

Les mouvements de terrain, qu'ils soient lents ou rapides, peuvent entraîner un remodelage des paysages. Celui-ci peut se traduire par la destruction de zones boisées, la déstabilisation de versants ou la réorganisation de cours d'eau[4].

a) Les effondrements de cavités souterraines

Déplacements verticaux instantanés de la surface du sol par rupture brutale de cavités souterraines préexistantes, naturelles ou artificielles (mines ou carrières), avec ouverture d'excavation[14].

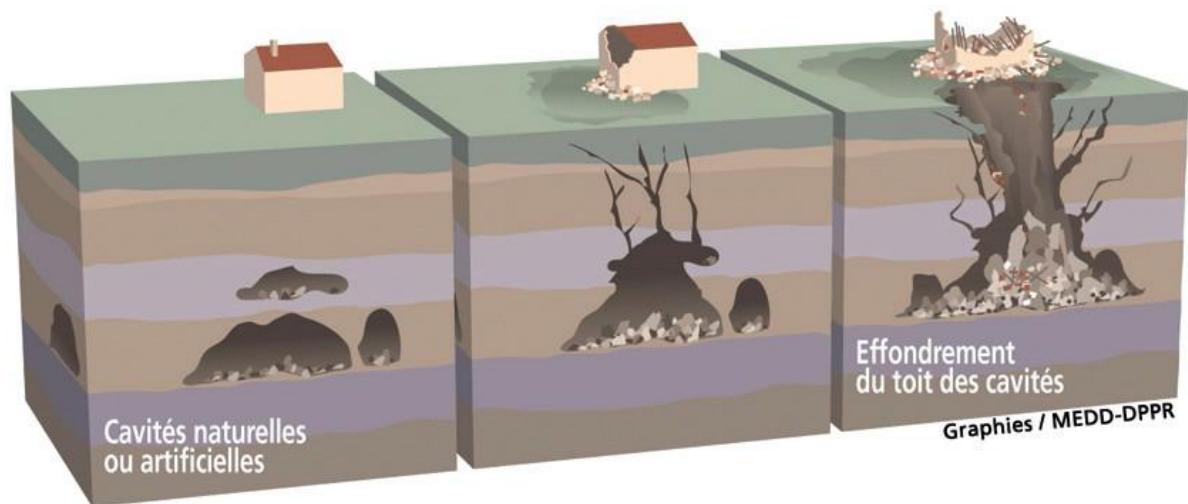


Figure I.7 : Effondrements des cavités souterraines [4].

b) L'éboulement, chutes de blocs et de pierres

L'évolution naturelle des falaises et des versants rocheux engendre des chutes de pierres et de blocs ou des éboulements en masse [4].

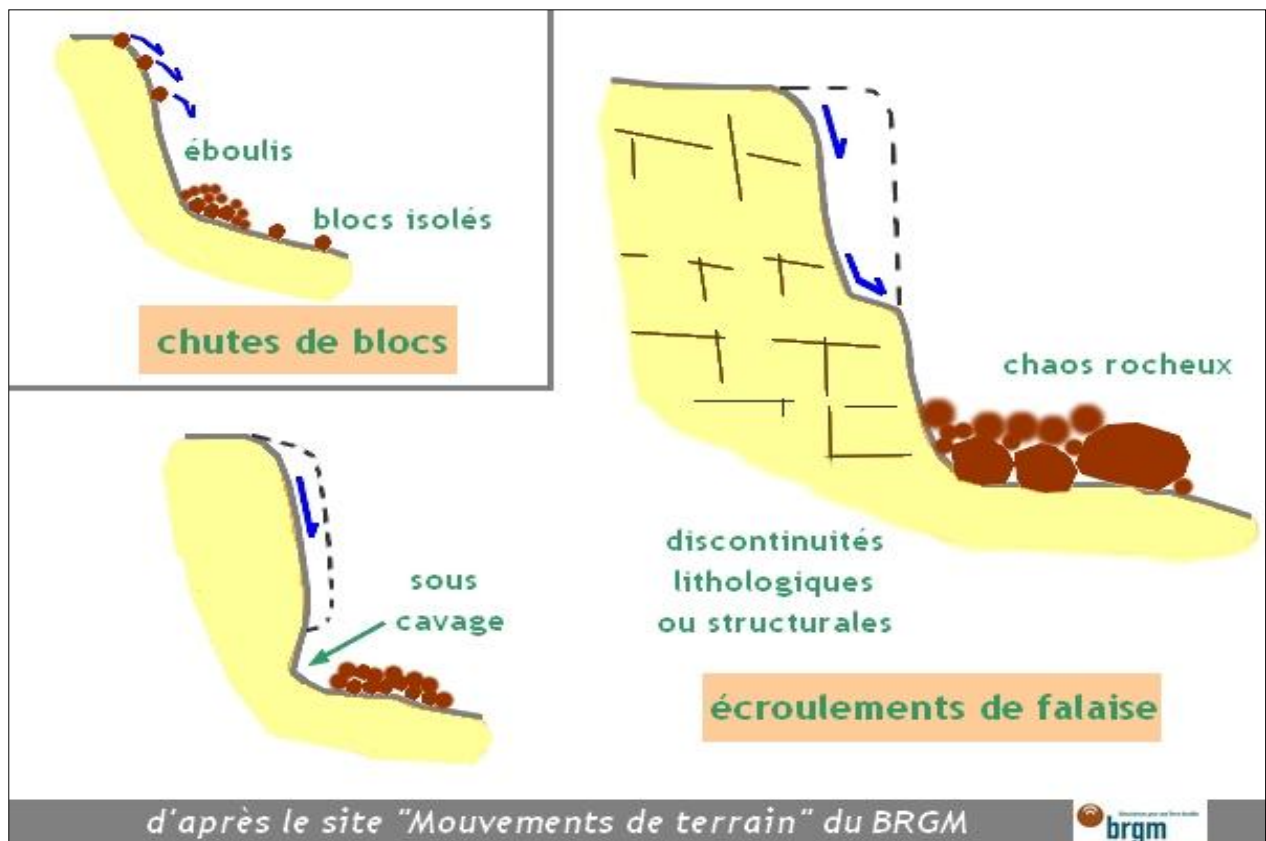


Figure 1.8 : les éboulements, chutes de blocs et de pierres [13].

c) Les coulées de boues et laves torrentielles

Il s'agit d'un mouvement rapide d'une masse de matériaux remaniés à forte teneur en eau, et de consistance plus ou moins visqueuse. Ces coulées de boues prennent fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain[3].

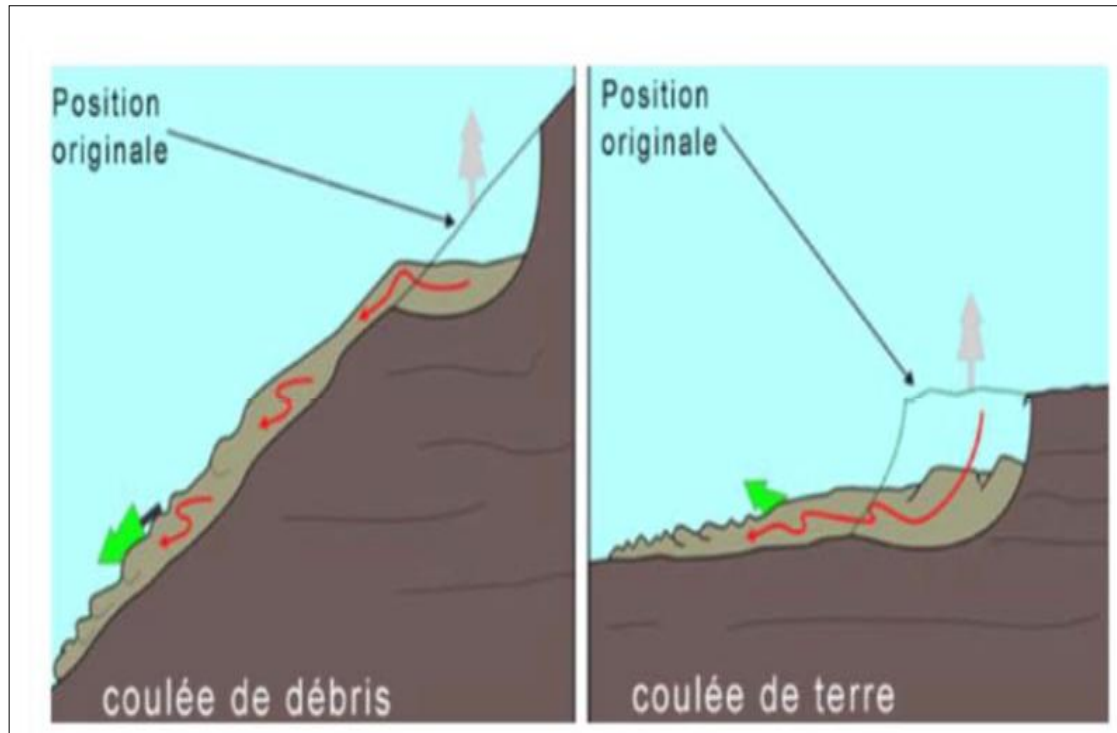


Figure I.9 : Schéma illustre une coulée de boue [3].

d) Erosion littorale

ce phénomène naturel affecte aussi bien les cotes rocheuses par glissement et effondrement de falaise que les cotes sableuses soumises à l'érosion par les vagues et les courants marins [10].

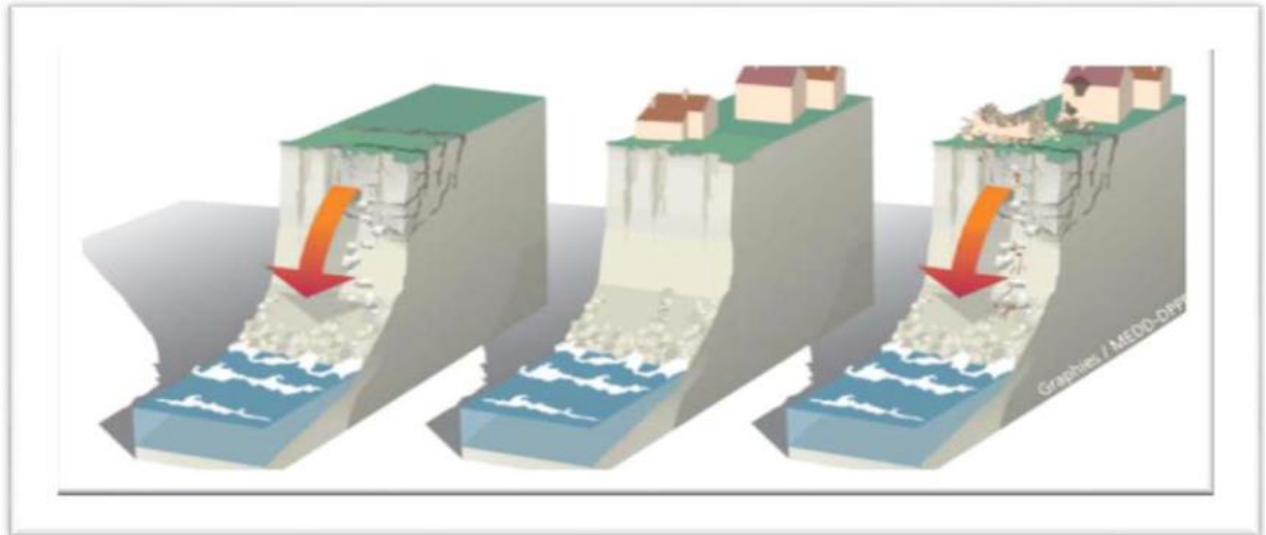


Figure 1.10 : L'érosion littorale [3].

dans ce projet de fin d'étude on va se concentrer sur un seul type de mouvement du terrain qui le glissement du terrain qui sera détaillé ci-dessous.

I.3 Les glissements de terrain

Les glissements de terrain sont des phénomènes géologiques dangereux pour les constructions et pour les personnes. Quelques mètres cube suffisent à complètement déstabiliser une habitation. Et plusieurs milliers de mètre cube peuvent engloutir un village... Comment appréhender les risques que représente un glissement de terrain ?

I.3.1 Qu'est-ce qu'un glissement de terrain ?

On appelle glissement de terrain le déplacement plus ou moins rapide vers le bas et l'extérieur de masse de terre, éventuellement de roches, le long d'une pente.

La masse de terre qui a glissée garde sa consistance. Elle se différencie de la coulée de boue qui n'a plus de forme. Le glissement de terrain peut-être superficiel ou profond et concerne tout un pan de montagne par exemple.

Un glissement de terrain est dangereux et destructeur non seulement par le glissement du terrain lui-même mais aussi par l'accumulation en bas de la pente de terre . [14].

I. 3.2 principaux types de glissements de terrain dans les dépôts meubles

Pour les besoins de la cartographie des zones potentiellement exposées aux glissements de terrain dans les dépôts meubles, les types de glissements ont été regroupés en deux familles selon les dimensions que peut atteindre leur recul en sommet de talus (figure11).

Les deux grandes familles sont celle des glissements faiblement ou non rétrogressifs et celle des glissements fortement rétrogressifs. Les glissements fortement rétrogressifs se produisent seulement dans les sols argileux

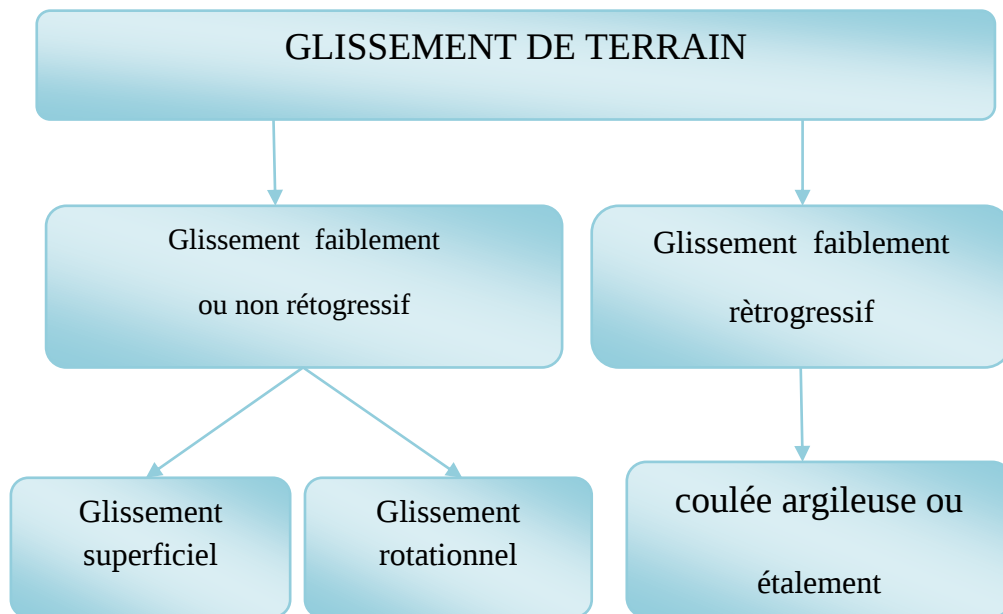


Figure I.11 : Types de glissements de terrain dans les dépôts meubles [15].

I .3.2 .1 Glissement faiblement ou non rétrogressifs

Les glissements faiblement ou non rétrogressifs affectent le talus et peuvent emporter une bande de terrain située au sommet de celui-ci. La bande de terrain pouvant être emportée au sommet est généralement inférieure à une distance équivalant à une fois la hauteur du talus. Les débris peuvent s'étaler à la base du talus sur des distances variables, pouvant atteindre une distance de deux fois la hauteur du talus, mais ne dépassant pas généralement 60 m. Leur largeur peut atteindre quelques dizaines de mètres [15].

a) Glissement superficiel

Ce type de glissement est caractérisé par une surface de rupture peu profonde, généralement d'une profondeur inférieure à 1,5 mètre sous le terrain naturel. Dans les sols argileux, il n'affecte que la couche de sol superficielle altérée appelée « croûte argileuse ». De façon naturelle, il est causé par la saturation des sols lors de fortes pluies ou de la fonte de la neige. Règle générale, ce glissement se produit exclusivement dans le talus sans en toucher le sommet. Par contre, ses débris peuvent s'étaler à la base du talus sur des distances parfois importantes (figures 12 et 13). Bien que ce type de glissement puisse sembler anodin, il peut causer d'importants dommages aux bâtiments, voire même menacer la sécurité des occupants [15].

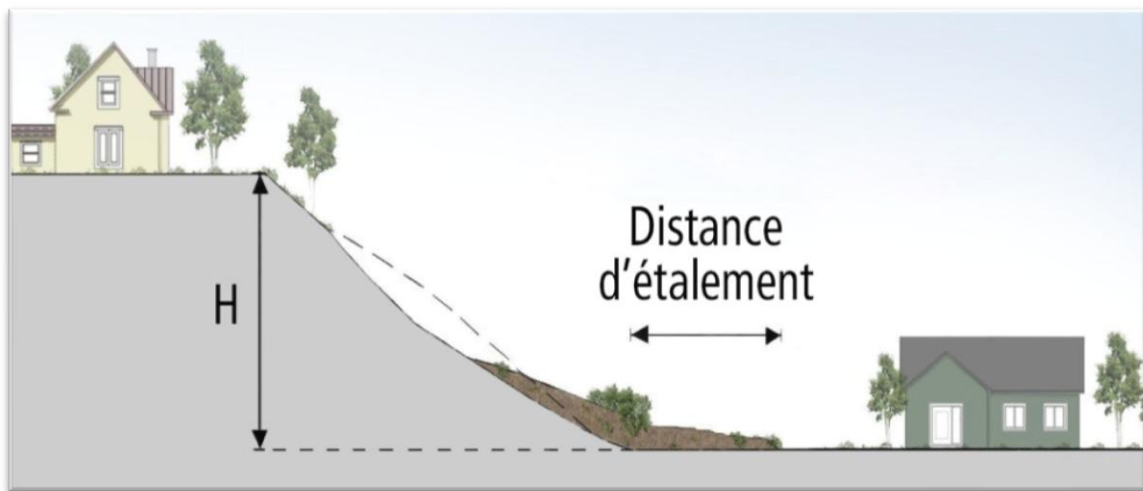


Figure I.12 : Glissement superficiel [15].



Figure I.13 : Exemple de glissement superficiel [15].

b) Glissement rotationnel

Le glissement rotationnel est caractérisé par une surface de rupture de forme circulaire qui peut se propager à quelques mètres de profondeur. Il est très souvent causé par l'érosion naturelle d'un cours d'eau à la base d'un talus. L'action de l'eau à la base des talus a ainsi pour effet d'entraîner de façon graduelle du matériel qui agit comme contrepoids naturel. Petit à petit, cette érosion modifie les conditions d'équilibre de la pente.

Ce type de glissement peut affecter une bande de terrain située au sommet du talus, dont le recul est généralement inférieur à une distance équivalant à une fois la hauteur du talus. Lors d'un glissement rotationnel, les éléments situés dans la bande de terrain en sommet de talus (routes, bâtiments, infrastructures, etc.) peuvent subir des dommages dont l'importance peut varier selon situation (figure14) [15].



Figure I.14 : Glissement rotationnel [15].

I.3.2 .2 Glissement fortement ré-trogressifs

Les glissements fortement ré-trogressifs se produisent uniquement dans les sols argileux. Ils affectent non seulement le talus, mais aussi des bandes de terrain de dimensions importantes à l'arrière du sommet du talus (figure16). Leurs dimensions peuvent atteindre plusieurs dizaines, et parfois plusieurs centaines de mètres, et ce, en quelques minutes seulement. Les débris constituent une masse importante et peuvent s'étaler, dans certains cas, sur des distances considérables. Les constructions situées sur le terrain affecté par le glissement peuvent être

complètement détruites. De même, les bâtiments et les infrastructures situés sur le passage des débris peuvent être endommagés [15].



Figure I.15: Glissement fortement rétrogressifs [15].

I.3.3 La vitesse et la profondeur de glissement de terrain

Les glissements de terrain se différencient aussi par leur vitesse et par leur profondeur estimée de la surface de glissement

I.3.3.1 Vitesse moyenne de glissement de terrain

Le tableau suivant présente les classifications selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme [16].

Tableau I.1 : Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement a long terme [16].

Glissement	Vitesse de glissement
Sub-stabilisé, très lent	0 – 2 cm/an
Peu actif, lent	2 – 10 cm/an
Actif (ou lent avec phases rapides)	2 – 10 cm/an

I.3.3.2 Profondeur de glissement :

Le tableau suivant présente les différentes valeurs de classification selon la profondeur de la surface de glissement

Tableau I.2 : Classification selon la profondeur de la surface de glissement [16].

Glissement	Vitesse de glissement
Superficiel	0 – 2 m
Semi-profond	2 – 10 m
Profond	> 10m

I.3.4 Quels sont les facteurs provoquant un glissement de terrain

Comment expliquer qu'un terrain qui a tenu pendant des siècles se mette un jour à glisser ?

I.3.4.1 dans un terrain en pente : les forces de frottement et de cohésion limitent les effets de la gravité. Lorsque l'équilibre des forces change, le terrain devient instable...Les facteurs déclenchant un glissement de terrain :

I.3.4.2 La nature du sol et du sous-sol : Un sol meuble et donc présentant peu de cohésion sera par nature instable. De même un sol présentant des couches discontinues de nature différent aura tendance à glisser.

Un sol argileux ou marneux saturé d'eau sera susceptible de glisser vers le bas de la pente (diminution de la résistance du sol).

I.3.4.3 L'eau : Lors de fortes pluies ou à la fonte des neiges, l'eau en pénétrant dans le sol exerce une poussée verticale qui peut déstabiliser le terrain. La situation est d'autant plus dangereuse si la quantité d'eau qui pénètre dans la terre est supérieure à celle qui s'en écoule.

I.3.4.4 La sécheresse: Une terre trop sèche peut perdre sa cohésion, s'effriter et glisser.

I.3.4.5 L'érosion : Un sol érodé ou mise à nu sans végétation (déboisement, incendie, tempête) sera plus vulnérable aux infiltrations et donc sera plus susceptible de glisser.

I.3.4.6 Les activités humaines : La construction d'infrastructures ou de bâtiments en haut de la pente augmente la charge qui pèse sur celle-ci , et peut entraîner un glissement. De même des constructions en bas de la pente peuvent déstabiliser le pied du versant.

La déforestation, l'irrigation qui modifie la teneur en eau du sol, l'urbanisation qui entraîne une imperméabilisation du sol, et donc un changement dans l'écoulement des eaux ou dans le profil de la pente sont autant de facteurs pouvant entraîner un glissement de terrain .

I.3.4.7 L'activité sismique : En zone sismique, une secousse même minime peut faire bouger une pente déjà sensibilisée par d'autres facteurs de fragilisation [14].

I.4 Risque naturel :

Un risque naturel est la confrontation entre un aléa d'origine naturelle et des enjeux humaines, économiques ou environnementaux.

$$\text{Risque naturel} = \text{Aléa} * \text{Vulnérabilité}$$

- **L'aléa :** est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensités données.
- **La vulnérabilité :** est l'ensemble des personnes, des biens et des activités susceptibles d'être affecté par un glissement de terrain [16].

I.5 Précaution et Recommandations :

- ❖ Sensibiliser la communauté à l'environnement par le biais des médias afin de sensibiliser les gens Les dangers de la dégradation des terres et de la construction indiscriminée pour éviter les dommages, et les pertes matérielles et humaines. Ce qui fait qu'il est difficile pour l'État de faire face à de telles catastrophes en raison du manque de moyens appropriés.
- ❖ Lors de la mise en œuvre de tout projet de construction, il convient de faire référence à l'autorité compétente pour le travail des missions Tectonique et géologie, ainsi que la mécanique des sols et des roches des sites Utiliser.
- ❖ Concevoir et mettre en œuvre des canaux de drainage pour l'eau de pluie pour les empêcher de pénétrer et d'atteindre les blocs chute rocheuse.
- ❖ Travaux de béton et barrières de béton pour empêcher la chute des blocs de roche et remplir les joints et les fissures Dans les matériaux de ciment afin d'empêcher l'arrivée de l'eau de pluie et de l'imprégner.

- ❖ Ne pas construire de logements ou créer des bâtiments ou des rôles supplémentaires sur les routes lorsqu'ils forment Charge supplémentaire sur la pente.
- ❖ Pendant les pluies, vous ne devriez pas vous approcher des endroits où les pierres tombent à cause de l'eau , La pluie venant des montagnes passe à travers les zones d'effondrement où l'eau travaille pour éroder et fondre le matériau de support de ces roches.
- ❖ Pendant la saison des pluies, les fissures et les joints doivent être fermés et la largeur de l'espace doit être examinée [17].

I.6 conclusion

le mouvement de terrain rapide qui se présente par les glissement du terrain , sont classés parmi les types de mouvement de terrain le plus dangereuses ,ce type est issues ou provoqué par plusieurs facteurs dont la plus part des cas sont contradictoires , a cet effet la recherche d'une ou des méthodes qui nous permettre de agréger l'ensembles des ces facteur est une étape incontournable afin de cartographie les zones susceptibles au risque glissement.

Chapitre II:
Outils et Méthodes:
La méthode AHP

II.1 Introduction

L'analyse multicritère est un outil d'aide à la décision développé pour résoudre des problèmes multicritères complexes qui incluent plusieurs aspects qualitatifs et quantitatifs dans le processus décisionnel. Le domaine de l'optimisation multicritère connaît une évolution importante. Cette évolution s'est traduite par le développement d'un grand nombre de méthodes multicritères [19].

III.2 Les différentes méthode d'analyse multicritères

Les différentes méthodes d'analyse multicritère sont divisées en plusieurs catégories selon le mode d'agrégation des critères. Il existe plusieurs classes de méthodes d'agrégation : agrégation complète basée sur les règles de décision, agrégation complète basée sur une échelle quantitative commune, agrégation locale et itérative et agrégation partielle.

Lorsqu'il s'agit d'établir une évaluation qualitative, la méthode d'agrégation complète basée sur les règles de décision est la plus appropriée [20].

Les méthodes d'agrégation complète basée sur une échelle quantitative commune ont pour objectif de réduire n critères de décision (quantitatifs) en un critère unique quantitatif grâce à une fonction d'agrégation (addition, multiplication, moyenne pondérée...). Cependant, la compensation automatique d'une mauvaise performance d'un critère par la bonne performance d'un autre critère est un désavantage car cela peut engendrer une perte d'information. Cette méthode est également fortement sensible aux changements d'échelle.

Lorsque le nombre d'actions est très grand voire infini, il est préférable d'utiliser des méthodes d'agrégation locale et itérative. Le principe est de trouver une solution approximative (considérée comme assez efficiente) au problème puis de l'affiner à l'aide d'outils mathématiques pour établir la solution optimale. Ces outils sont toutefois basés sur des théories assez complexes [20].

Les méthodes d'agrégation partielle conviennent aux critères qualitatifs et quantitatifs exprimés sur des échelles de mesures différentes et permettent ainsi d'éviter la compensation automatique. Le principe est de proposer un classement « partiel » des actions en ne mettant en évidence que les solutions les plus sûres parmi toutes les solutions possibles [20].

Ces méthodes nécessitent de déterminer un poids à attribuer à chaque critère, cette étape peut s'avérer complexe à mettre en place [20].

II.2.1 Agrégation complète (top-down approach)

On cherche à agréger les n critères afin de les réduire en un critère unique. On suppose que les jugements sont transitifs ex: $a > b$, $b > c$ alors $a > c$; des exemples de cette mode : (WSM, WPM, AHP, MAUT)

II.2.2 Agrégation partielle (bottom-up approach)

On cherche à comparer des actions potentielles ou des classements les uns aux autres et à établir entre ces éléments des relations de sur classement. On doit alors respecter l'incomparabilité, des exemples de cette mode :

- Electre I, II, III, IV (B. Roy, 1968 et +)
- Prométhée I et II (J.-P. Brans, 1980)
- Melchior (J. P. Leclerc, 1984)
- Qualifex (J. Paelinck, 1976)
- Oreste (M. Reubens, 1979)
- Regim (P. Nijkamp et P. Rietveld, 1983)
- Naiade (G. Munda, 1995)

II.2.3 Agrégation locale

On cherche en premier lieu une solution de départ. Par la suite, on procède à une recherche itérative pour trouver une meilleure solution, des exemples de cette mode :

- STEM (Benayoun et Tergny, 1969)
- Méthode Ziont-Wallenius (S. Zionts, 1974) [21].

II.3 Le processus d'analyse hiérarchique (AHP) de SAATY

Le processus d'analyse hiérarchique (développée en 1971 par (Thomas L. Saaty), est un outil efficace pour faire face à la prise de décision complexe, et peut aider le décideur à établir des priorités et prendre la meilleure décision. En réduisant les décisions complexes à une série de comparaisons deux-a-deux, puis synthétiser les résultats, l'AHP aide à capturer les deux aspects subjectifs et objectifs d'une décision. En outre, l'AHP intègre une technique utile pour vérifier la consistance des évaluations du décideur, réduisant ainsi la partialité dans le processus de prise de décision) [22].

La méthode AHP consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les divers éléments du problème, à procéder

ensuite à des comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie, et à déterminer les priorités des actions [23].

cette méthode a été utilisée dans des domaines aussi varies : la planification du transport ,gestion de l'urbanisme, fixation des prix, l'achat d'un véhicule, le choix de systèmes de production dans des industries et plusieurs autres [24].

II.4 Avantages de la méthode AHP

- ✓ sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et multi période de façon hiérarchique,
- ✓ la comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),
- ✓ et la facilité de son support informatique, le logiciel : Expert Choies [25].

II.5 Caractéristiques de l'AHP

Le AHP est un outil très flexible et puissant parce que les scores, et donc le classement final, sont obtenus sur la base des évaluations relatives de la comparaison deux a deux des critères et des alternatives fournies par le décideur. Les calculs effectués par l'AHP sont toujours guidés par l'expérience du décideur, et l'AHP peut donc être considéré comme un outil qui est capable de traduire les évaluations (qualitatives et quantitatives) faites par le décideur dans un classement multicritère. En outre, l'AHP est simple car il n'y a pas besoin de construire un système expert complexe avec la connaissance du décideur intégré.

D'autre part, l'AHP peut nécessiter un grand nombre d'évaluations par le décideur, en particulier pour les problèmes avec des critères et des alternatives nombreux. Bien que chaque évaluation unique est très simple, car le décideur exprimer comment deux alternatives ou critères comparent les uns aux autres, la charge de la tâche d'évaluation peut devenir déraisonnable.

En fait, le nombre de comparaisons deux-a-deux augment quadratiquement avec le nombre de critères et d'alternatives. Par exemple, lorsque l'on compare 10 alternatives sur 4 critères, $4 \times 3 / 2 = 6$

comparaisons sont exigé pour construire le vecteur de poids, et $4 \times (10 \times 9) = 360$ comparaisons deux-a-deux sont nécessaires pour construire la matrice de score.

Toutefois, afin de réduire la charge de travail du décideur, AHP peut être complètement ou partiellement automatisée en spécifiant des seuils appropriés pour décider automatiquement certaines comparaisons deux à deux [22] .

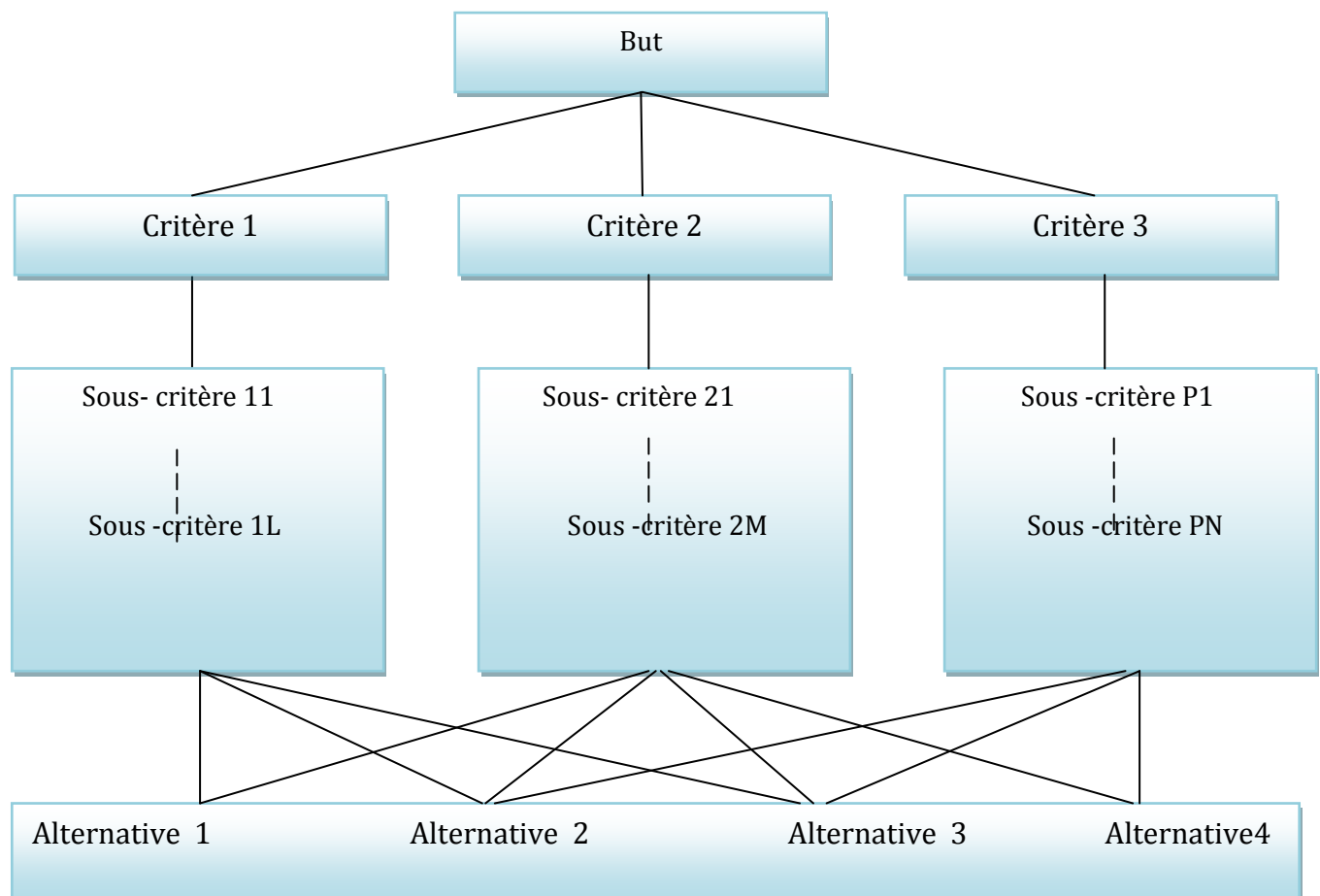


Figure II.1 : Structure hiérarchique générique. Source (SAATY, 1990) [22].

II.5.1 Déterminer la valeur d'Indice Aléatoire (IA)

SAATY a élaboré une échelle où les indices aléatoires IA furent établis en effectuant des jugements aléatoires pour un nombre élevé de réplication. Ce nombre IA représente la moyenne des indices calculés à chaque réplication pour différente grandeur de matrice carrée (N). La lecture de la valeur d'IA est indiquée par un tableau 5 d'indice aléatoire :

N = nombre de critères

On a N = 4, la valeur correspondante est égale à 0,90, IA = 0,90 [22].

Tableau II.1 : Indice SAATY [22].

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IA	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

II.5.2 AHP – Théorie

SAATY et al. (2012), décrit les sept piliers de l'AHP comme suit :

- Échelles de ratio, proportionnalité et des échelles d
- Comparaisons deux à deux réciproque.
- La sensibilité du vecteur propre droit principale.
- « Clustering » et utilisation des pivots pour étendre l'échelle.
- Synthèse pour créer une échelle de ratio à une dimension pour représenter le résultat global.
- La préservation de rang et l'inversion.
- Intégrer les jugements de groupe.

L'utilisation des échelles de ratio pour les comparaisons aide à unifier le caractère multidimensionnel du problème dans une dimension unifiée du point de vue du résultat final. La comparaison des oranges et des pommes peut être atteinte que si leurs propriétés sont réduites à des quantités sans dimension tels que les rapports des propriétés dans une certaine dimension ou mesure spécifique. Les ratios sont invariants après multiplication par une quantité positive.

Théoriquement, l'AHP est basé sur quatre axiomes donnés par Saaty (1994); ceux-ci sont :

Axiome 1 : Le décideur peut fournir des comparaisons deux à deux **a_{ij}** de deux alternatives **i** et **j** correspondant à un critère/sous-critère sur une échelle de rapport qui est réciproque, à savoir. **$a_{ij} = 1/a_{ji}$**

Axiome 2 : Le décideur ne juge jamais une alternative à être infiniment meilleur qu'une autre correspondant à un critère, à savoir **$a_{ij} \neq \infty$** .

Axiome 3 : Le problème de décision peut être formulé comme une hiérarchie.

Axiome 4 : Tous les critères/sous-critères qui ont un certain impact sur le problème donné, et toutes les alternatives pertinentes, sont représentés dans la hiérarchie en une seule fois.

II.5.2.1 L'AHP est analytique

le raisonnement mathématique et logique pour arriver à la décision est la force de l'AHP. Il aide à analyser le problème de décision sur un pied logique et aide à convertir l'intuition et l'intestin des décideurs en nombres qui peuvent être ouvertement remis en question par d'autres et peuvent également être expliquées aux autres [22].

II.5.2.2 L'AHP structure le problème comme une hiérarchie

la décomposition hiérarchique vient naturellement aux êtres humains. Réduire un problème complexe en sous-problèmes à aborder un à la fois est le moyen fondamental que les décideurs ont utilisé. Les données des études psychologiques suggèrent que les êtres humains peuvent comparer 7 ± 2 choses à la fois. Par conséquent, pour faire face à un problème vaste et complexe de prise de décision, il est essentiel de le décomposer comme une hiérarchie. L'AHP le permet [22].

II.5.2.3 L'AHP définit un processus de prise de décision

les processus formels de prise de décision sont une nécessité. Les décisions, celles collectives en particulier, ont besoin de s'évoluer. Un processus est nécessaire qui intégrera les intrants, les révisions et les apprentissages de décideur et les communiquer aux autres de manière à parvenir à une décision collective. L'AHP a été créé pour formaliser le processus et le placer sur une base scientifique. L'AHP contribue à aider le processus de prise de décision naturelle [22].

II.6 Trois principes de la méthode AHP

- ✓ la structuration hiérarchique
- ✓ la structuration des priorités, comparaison binaire
- ✓ la cohérence logique [26].

II.6.1 Comment fonctionne l'AHP

L'AHP considère un ensemble de critères d'évaluation, et un ensemble d'alternatives dont la meilleure décision doit être faite. Il est important de noter que, puisque certains des critères pourraient être contrastés, il n'est pas vrai, en général, que la meilleure alternative est celle qui optimise chaque critère unique, mais plutôt celle qui réalise le compromis le plus approprié parmi les différents critères.

L'AHP génère un poids pour chaque critère d'évaluation selon les comparaisons deux-à-deux du décideur des critères. Plus est grand le poids, le plus important est le critère correspondant. Ensuite, pour un critère fixe, l'AHP attribue un score à chaque alternative en fonction de comparaisons deux-à-deux du décideur des alternatives fondées sur ce critère. Plus le score est élevé, meilleure est la performance de l'alternative par rapport au critère considéré. Enfin, l'AHP combine les poids de critères et les scores des alternatives, déterminant ainsi un score global pour chaque option, et un classement qui en résulte. Le score global pour une option donnée est une somme pondérée des scores qu'il a obtenus à l'égard de tous les critères[22].

II.6.2 L'AHP - Etape par étape

Étape 1 : Le problème est décomposé en une hiérarchie de buts, critères, sous-critères et alternatives. Ceci est la partie la plus importante et créative de la prise de décision. Structurer le problème de décision comme une hiérarchie est fondamentale pour le processus de l'AHP. La hiérarchie indique une relation entre les éléments d'un niveau avec ceux du niveau immédiatement inférieur. Cette relation percole vers le bas pour les niveaux les plus bas de la hiérarchie et de cette manière chaque élément est reliée à tous les autres, du moins d'une manière indirecte. Une hiérarchie est une forme plus ordonnée d'un réseau. Une structure d'arbre inversé est semblable à une hiérarchie. Saaty (1980) suggère qu'un moyen utile pour structurer la hiérarchie est de travailler vers le bas de l'objectif dans la mesure où l'on peut et ensuite travailler à partir des alternatives jusqu'à ce que les niveaux des deux processus sont liés de manière à rendre possible les comparaisons. (la figure II.1) présente une structure hiérarchique générique. A la racine de la hiérarchie il y a le but ou l'objectif d'étudié et analysé de

problème. Les nœuds représentent les alternatives à comparer. Entre ces deux niveaux sont différents critères et sous-critères. Il est important de noter que lorsque le décideur compare des éléments de chaque niveau, il compare seulement la contribution des éléments de niveau inférieur à ceux de niveau supérieur. Cette concentration locale du décideur sur seulement une partie de l'ensemble du problème est une fonctionnalité puissante de l'AHP.

Étape 2 : Les données sont recueillies par des experts ou des décideurs correspondant à la structure hiérarchique, dans la comparaison deux à deux des alternatives sur une échelle qualitative comme décrit ci-dessous. Les experts peuvent évaluer la comparaison comme égale, légèrement fort, fort, très fort, et extrêmement fort. L'avis peut être collecté dans un format spécialement conçu, comme le montre (la tableau II.1) .

«X» dans la colonne marquée «très forte» indique que **B** est très forte par rapport à **A** en termes de critère sur lequel la comparaison est faite. Les comparaisons sont faites pour chaque critère et convertis en numéros quantitatives selon(le tableau II.2).

Étape 3 : Les comparaisons deux à deux de différents critères générés à l'étape 2 sont organisées en une matrice carrée. Les éléments de la diagonale de la matrice sont 1. Le critère dans la rangée i est mieux que critère dans la colonne j si la valeur de l'élément

(i, j) est supérieure à 1 ; sinon le critère de la colonne j est meilleur que celle dans la ligne i. L'élément (j, i) de la matrice est l'inverse de l'élément (i, j).

Étape 4 : La principale valeur propre et le vecteur propre droit normalisé correspondant de la matrice de comparaison donnent l'importance relative des différents critères étant comparée. Les éléments du vecteur propre normalisé sont appelés poids par rapport aux critères ou sous-critères, et notes par rapport aux alternatives.

Étape 5 : La consistance de la matrice d'ordre n est évaluée. Les comparaisons faites par cette méthode sont subjectives et l'AHP tolère incohérence par la quantité de redondance dans l'approche. Si cet indice de consistance ne parvient pas à atteindre un niveau requis, les réponses aux comparaisons peuvent être réexaminées. L'indice de consistance, CI, est calculé comme

$$CI = (\lambda_{Max} - n) / (n - 1)$$

Où λ_{Max} est la valeur propre maximale de la matrice de jugement. Ce **CI** peut être comparé à celui d'une matrice aléatoire **RI**. Le ratio dérivé **CI / RI** est appelée le rapport de cohérence **CR**. SAATY (1980) indique la valeur de **CR** doit être inférieure à 0,1

Étape 6 : Le classement de chaque alternative est multiplié par les poids des sous-critères et agrégées pour obtenir des classements locaux par rapport à chaque critère. Les évaluations locales sont ensuite multipliées par les poids des critères et agrégées pour obtenir les classements globaux.

L'AHP produit des valeurs de poids pour chaque alternative basée sur l'importance jugée d'une alternative sur une autre par rapport à un critère commun.

Tableau II.2 : Échelle de gradation pour la comparaison quantitative des alternatives. Source (Saaty, 1990) [22].

Option	Valeur(s) numérique(s)
Egale	1
Marginalement fort	3
Fort	5
Extrêmement fort	7
Les valeurs intermédiaires reflètent entrées floues	9
Reflètent la dominance de la deuxième alternative	2, 4, 6, 8
Par rapport à la première	Réciproques

II.7 SIG

Le système d'information Géographique SIG est un outil informatisé capable de créer, transformer, afficher, analyser et stocker de l'information géographique. Il permet d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, en vue notamment de produire des plans et cartes.

Les SIG ont apportés une contribution particulière dans l'évolution des recherches sur les risques naturels y compris les glissements de terrains. Cependant, elle illustre l'importance du SIG dans des applications qui utilisent les paramètres du terrain pour la modélisation des différents risques naturels à l'échelle nationale et mondiale [18].

II.8 la télédétection

La télédétection est l'acquisition d'informations sur des objets ou des phénomènes sans contact physique avec eux.

L'imagerie de télédétection utilise des capteurs de rayonnement électromagnétiques embarqués sur des plateformes aériennes ou spatiales.

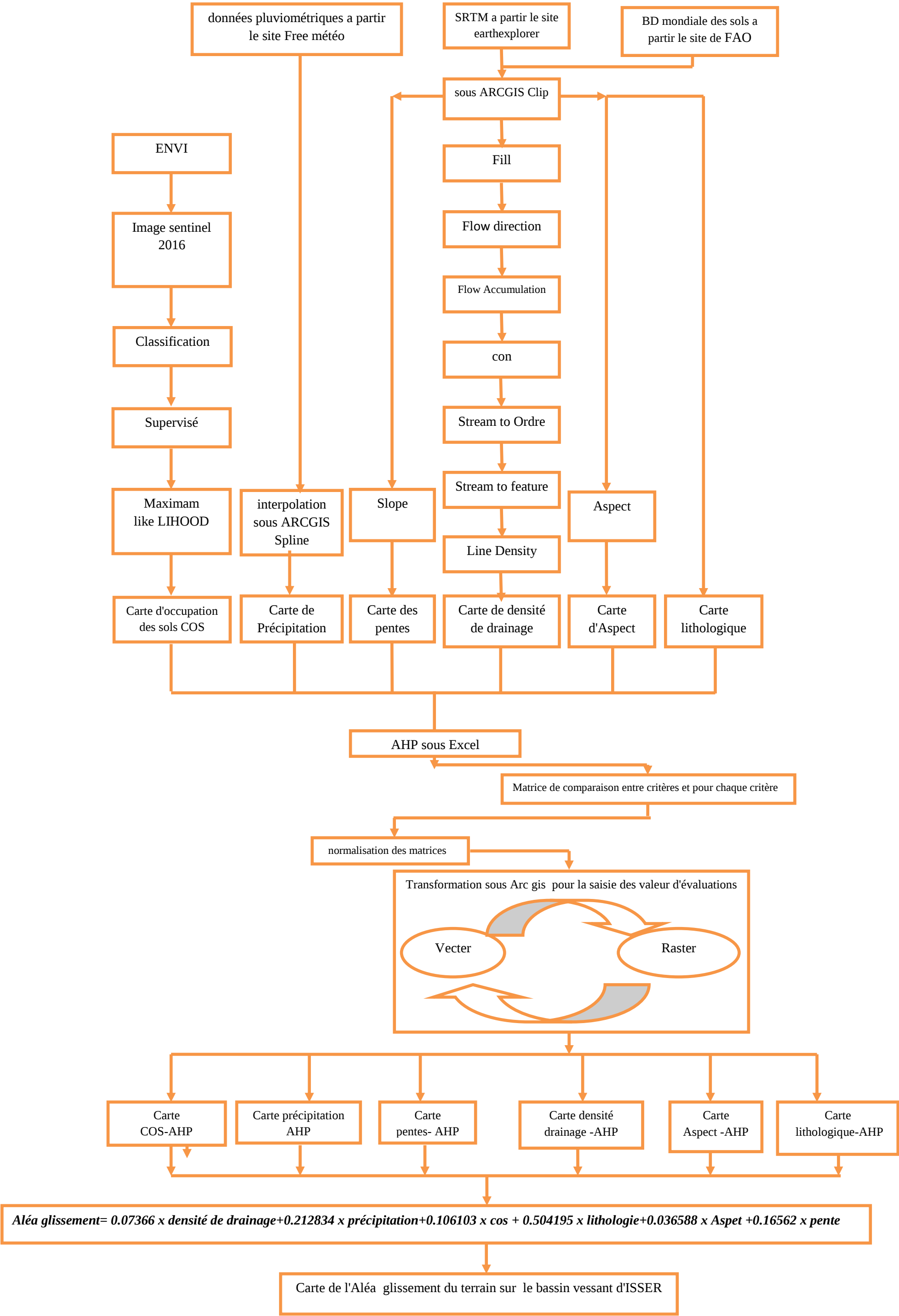
ses avantages

- Observation de sites difficiles d'accès ou dangereux
- Observation systématique dans le temps et dans l'espace [27].

II.9 Conclusion

afin d'étudier et cartographier l'aléa glissement du terrain , on a présenter les concepts de la méthode AHP, l'outil le plus répondant à notre problématique , qui est l'outil d'agrégation des différentes facteurs contribuant à cet aléa , et pour la concrétisation de ces facteurs l'outil SIG semble un outil satisfaisant avec ses fonctionnalités et ses outils pour la préparation et l'agrégation des données(des données multi-sources : la télédétection (DEM, images satellitaire ...) , et d'autre sources tel que la carte des types des sols , et les données météorologiques...etc.), à la fin de ce chapitre l'organigramme de la démarche suivi pendant la réalisation de ce travail est présenté ci-dessous.

organigramme générale de l'approche suivi le long d'établissement de la carte d'Aléa glissement



Chapitre III:
cartographie de l'aléa
glissement du terrain

III.1 Description de la zone d'étude**III. 1.1. Le bassin versant d'ISSER**

Le bassin de l'ISSER est situé au Centre - Nord de l'Algérie, avec une superficie totale de 4 149 Km², ce qui vaut à 8.72% de la superficie totale du bassin Algérois - Hodna - Soummam avec une population totale estimée en 2030 à 812 291 habitants.

Il est limité comme suit:

- A l'Est par le bassin de la Soummam.
- Au Sud par le bassin du Hodna.
- A l'Ouest et au Nord par le bassin du Côtier-Algérois.

Le bassin versant de l'oued Isser au droit du barrage de Beni Amrane draine une superficie de 4126 km², il est situé environ à 70 Km au Sud Est d'Alger. Il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud –Ouest /Nord-est.

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué de l'atlas tellien algérois au Nord qui culmine à 1130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dira. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Aribes d'altitude 550 m.

Le bassin versant de l'Oued Isser dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810 m à une altitude moyenne de 710 m Le cours d'eau principal parcourt une distance de 98,2 km. En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen Isser d'une part, et le Bas Isser d'autre part.

il est situé à 60 Km à l'Est d'Alger et limité comme suit:

- Au Nord par la mer Méditerranée;
- Au Sud par le contrefort de la dorsale Kabyle et Djebel Ahmed;
- Au Nord-Est par le Massif de Cap Djinet;
- A l'Est par les Massifs Raïcha et Chender;
- A l'Ouest par les Massifs de Thénia.

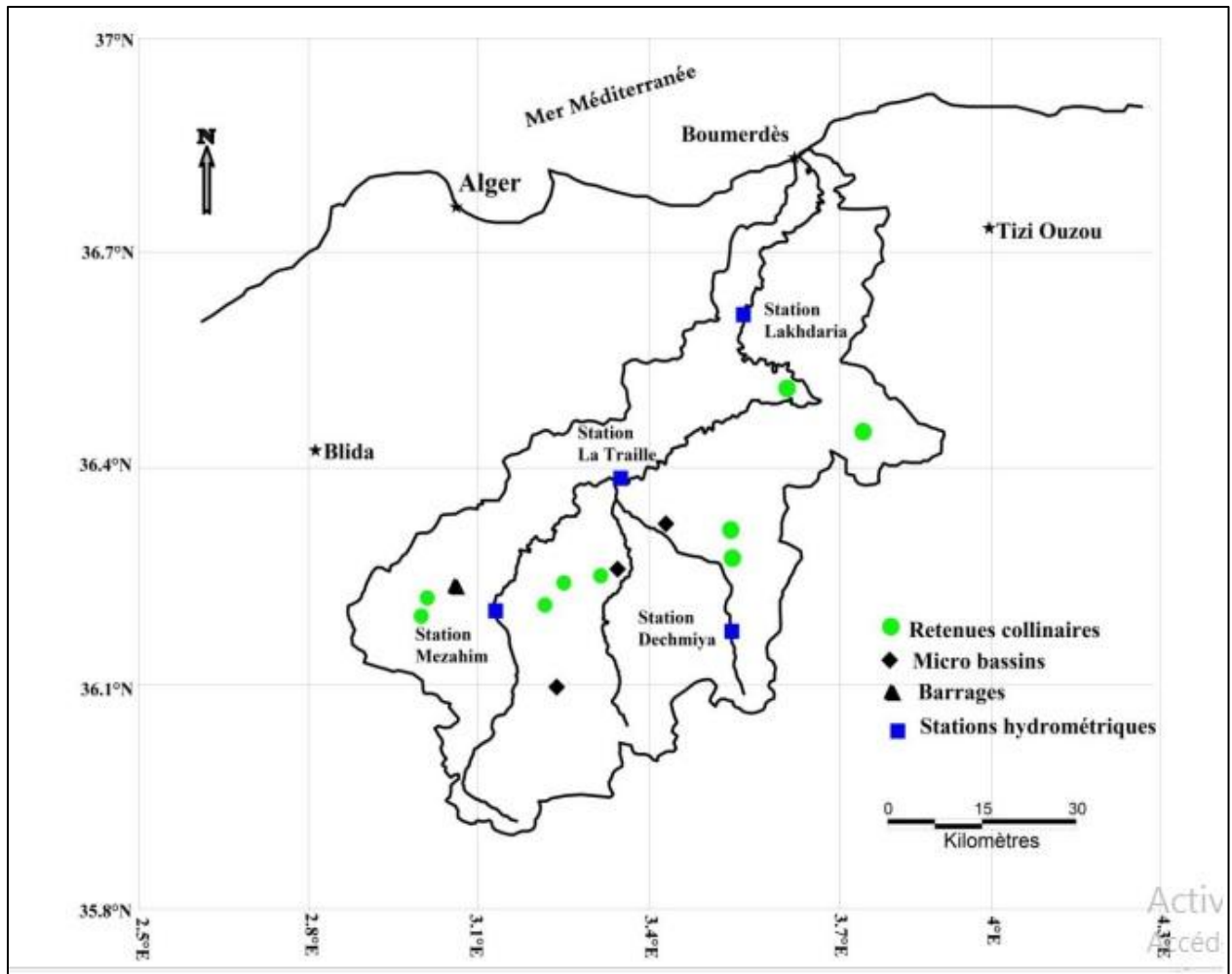


Figure III.1: présentation de la zone d'étude ISSER .

III.2 préparation des données

III.2.1 Carte des précipitations

les données pluviométrique ont été téléchargés depuis le site *freemeteo* , en suite un nettoyage et traitement sous Excel est effectué pour déterminer la répartition de la précipitation sur la zone d'étude , sur 25 stations.

sous ARCGIS , et avec une interpolation SPLINE, on arrivé à établir la carte des précipitations (Figure III.2).

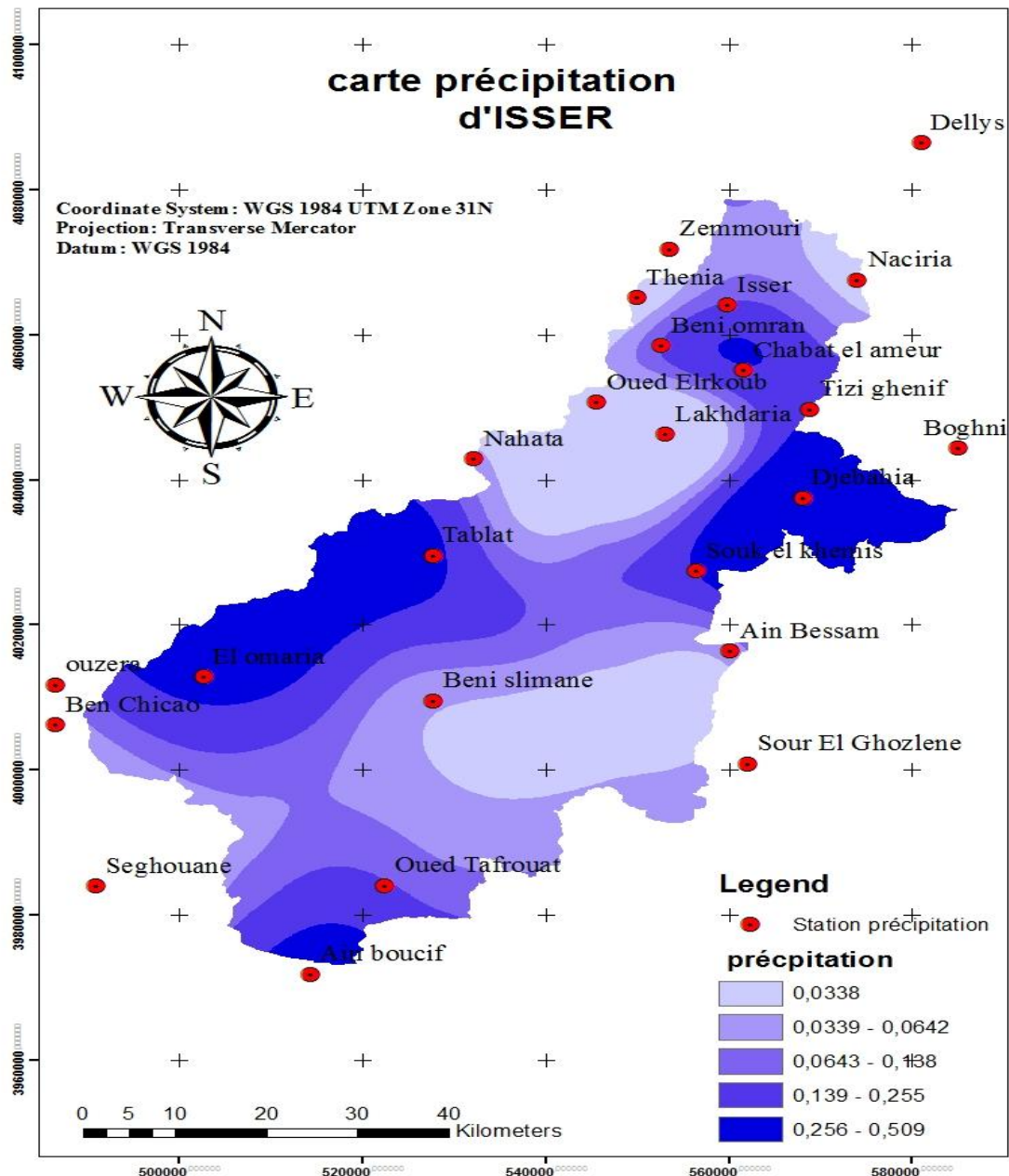


Figure III.2: Carte des précipitations dans le bassin versant ISSER.

III.2.2 La carte des pentes

la carte des pentes est une couche essentielle dans notre étude, du fait qu'elle représente la topographie de terrain sous forme des classes.

l'établissement de cette carte est effectué sous ARCGIS on utilisant le DEM (SRTM téléchargé depuis EARTH-EXPLORER de USGS), après un mosaïque et clip sous ARCGIS la fonction *SPLOPE* de *toolbox* surface est utilisée pour établir la carte des pentes (Figure III.3).

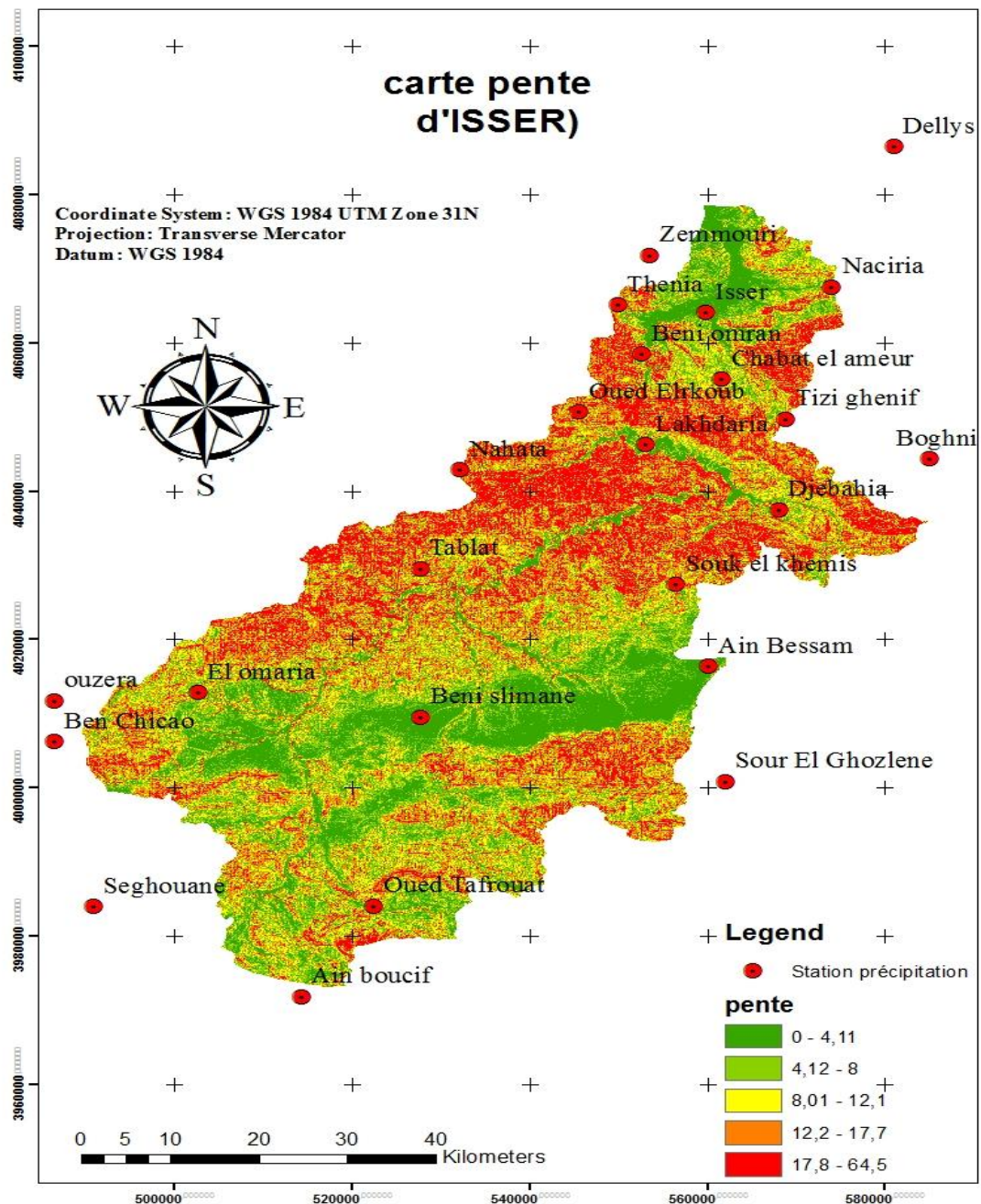


Figure III.3: Carte des pentes du bassin versant ISSER.

III.2.3 La Carte d'Occupation du sol

cette carte représente les classes de couverture naturelles au artificielles et leurs influence dans sur le risque glissement de terrain.

pour déterminer cette carte on a utilisé l'image satellitaire du satellite SENTINEL 2 pour la période d'Avril au Mai (pour avoir une activité chlorophyllien max) , en suite une classification supervisée avec la *méthode maximum vraisemblance* sous logiciel ENVI pour déterminer les classes du sol (**Figure III.4**).

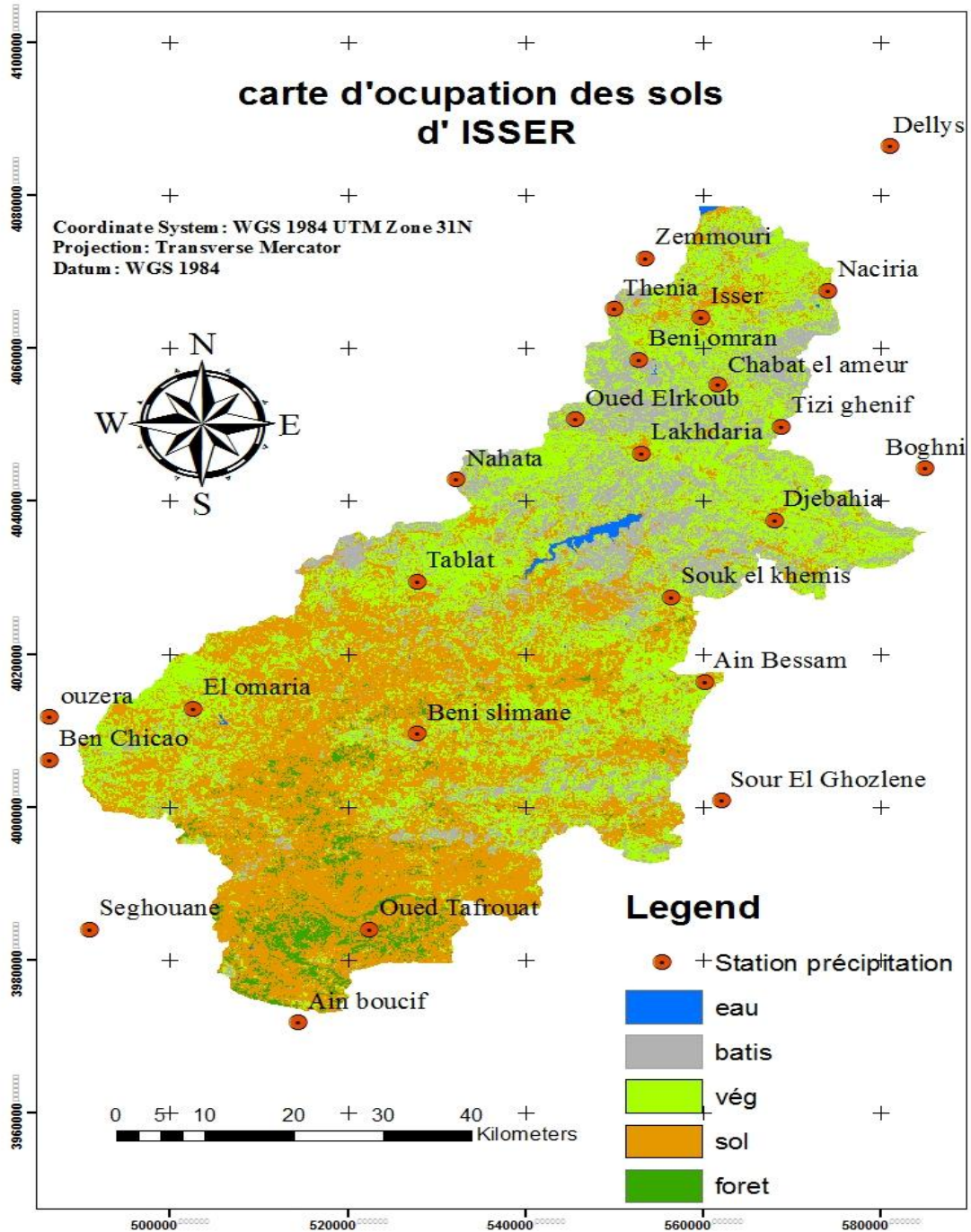


Figure III.4: Carte des Occupation du sol du bassin versant ISSER.

III.2.4 Carte des aspects

la carte d'aspect indique l'orientation géographique de la ligne de plus grande pente, dans notre étude la direction Nord-Ouest est la plus défavorable c.-à-d. la plus touché par ce risque.

la carte d'aspects est extrait depuis SRTM sous ARCGIS (Figure III.5).

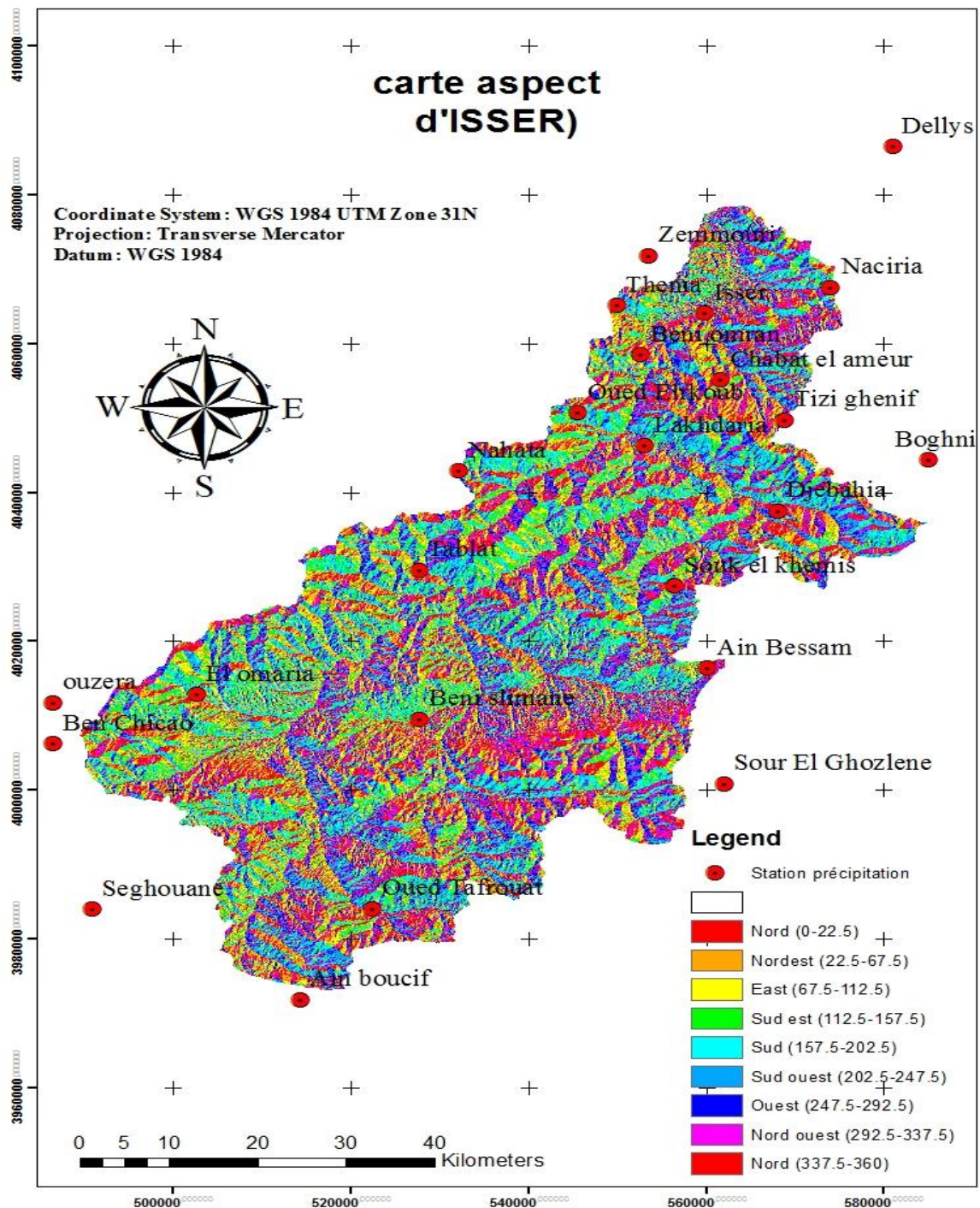


Figure III.5: Carte des aspects du bassin versant ISSER.

III.2.5 Carte de densité de drainage

la carte de densité drainage donne la distance de chaque pixel par rapport aux réseaux hydrographique.

a partir le MNT (SRTM) et sous ARCGIS , suite à une série de traitement (indiqué au chapitre II dans l'organigramme) la densité de drainage est représenté ci dessous (**Figure III.6**)

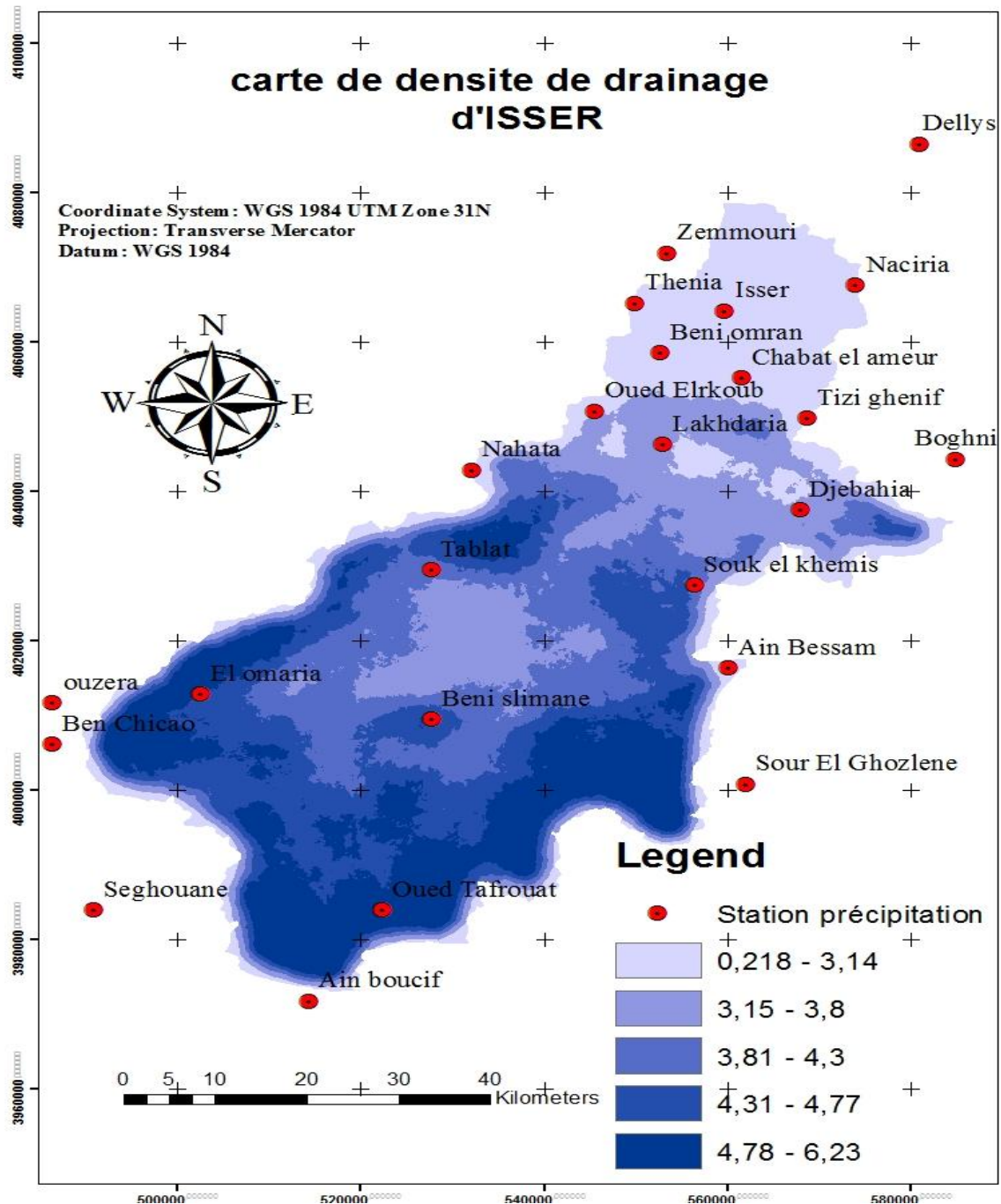


Figure III.6: Carte de densité de drainage du bassin versant ISSER.

III.2.6 Carte lithologique

pour l'établissement de la carte lithologique on utilisé la base de données mondiales des sols , téléchargée depuis le site de l'organisation mondiale d'agriculture et d'alimentation (FAO) (HWSD), en suite après l'identification des sols , la détermination du type de chaque sol est effectué on utilisant le triangle de texture (Figure III.7)et.(Figure III.8), les types des sols sont : limon , argile , argile limoneux, sable limoneux, sable argileux

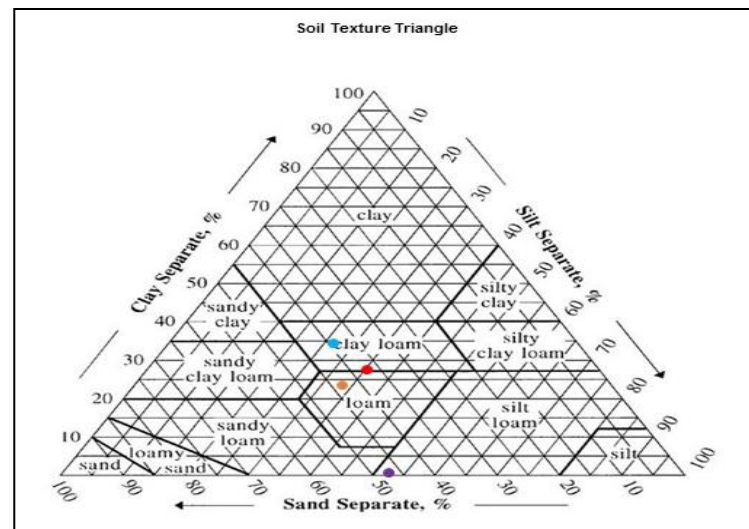


Figure III.7 : triangle de texture .

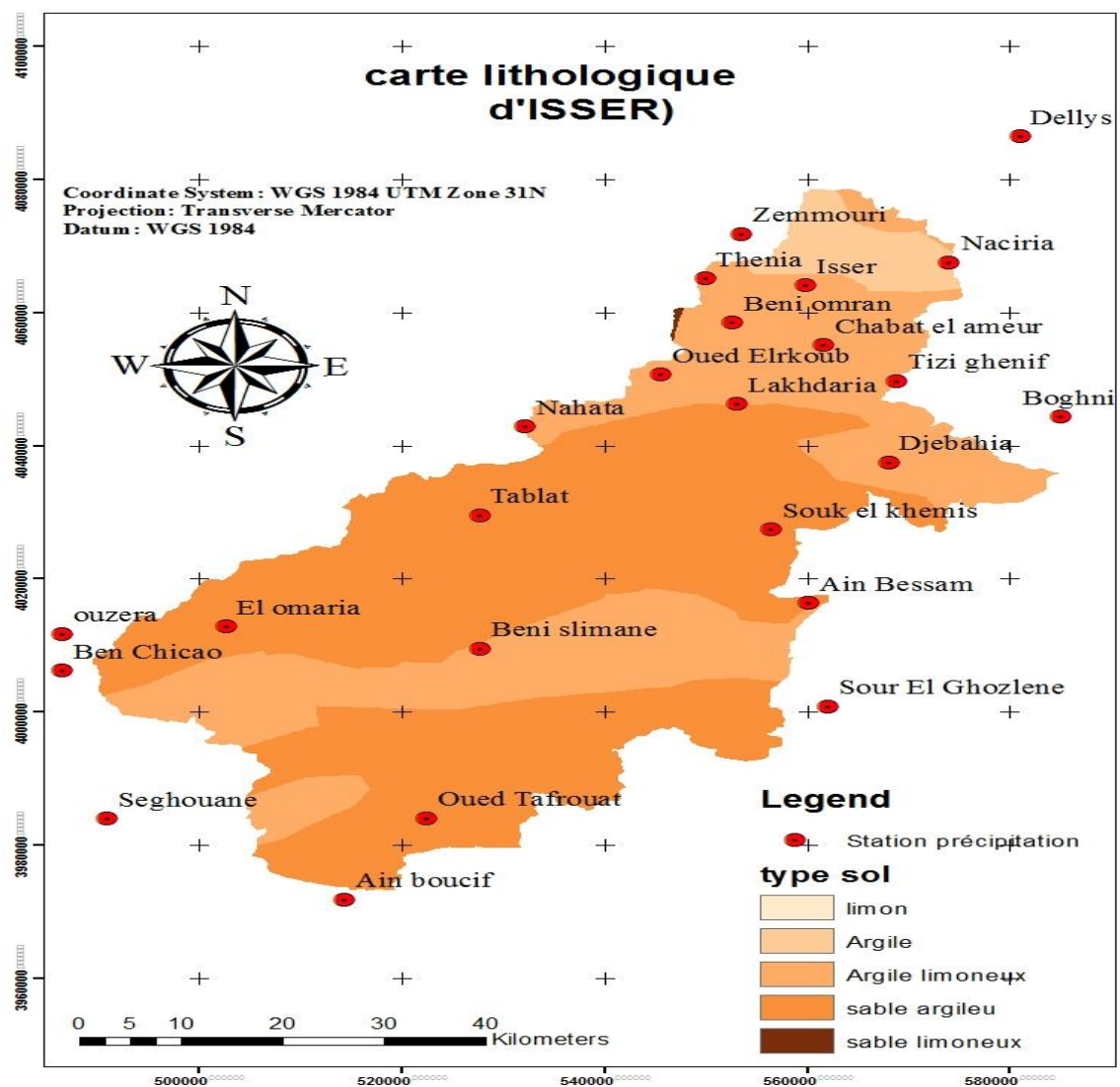


Figure III.8: Carte lithologique du bassin versant ISSER .

II.3 évaluation selon la méthode AHP

III.3.1 l'évaluation entre critères

l'évaluation entre les critères est effectué en respectant l'échelle de SAATY , donnant l'importance maximal au type de sol et la densité de drainage est le minimum important

Tableau III.1: Tableau de comparaison entre critères

critères	Densité D.	précipitation	occupations	Litho	Aspect	pente
La Densité D	1,000000	2,000000	7,000000	9,000000	6,000000	3,000000
La précipitation	0,500000	1,000000	5,000000	6,000000	5,000000	2,000000
Occupation du sol	0,142857	0,200000	1,000000	4,000000	3,000000	0,166667
lithologie	0,111111	0,166667	0,250000	1,000000	0,250000	0,142857
L'Aspect	0,166667	0,200000	0,333333	4,000000	1,000000	0,200000
La pente	0,333333	0,500000	6,000000	7,000000	5,000000	1,000000
Somme	2,253968	4,066667	19,583333	31,000000	20,250000	6,509524

après l'évaluation la normalisation de la matrice d'évaluation est présenté dans le tableau suivant

Tableau III.2: Tableau de normalisation

La densité D	précipitation	COS	Lithologique	Aspect	PENTE	moyenne	λ max
0,443662	0,491803	0,357447	0,290323	0,296296	0,460863	0,390066	6,742246
0,221831	0,245902	0,255319	0,193548	0,246914	0,307242	0,245126	6,897209
0,063380	0,049180	0,051064	0,129032	0,148148	0,025604	0,077735	6,478718
0,049296	0,040984	0,012766	0,032258	0,012346	0,021946	0,028266	6,194910
0,073944	0,049180	0,017021	0,129032	0,049383	0,030724	0,058214	6,035376
0,147887	0,122951	0,306383	0,225806	0,246914	0,153621	0,200594	7,021746

le ratio de cohérence **RC** est inférieur à 10%, donc l'évaluation entre les critères est acceptable.

λ max	6,561701
CI	0,112340
RC	0,090597

III.3.2 L'évaluation entre les classes de la précipitation

Tableau III.3: Tableau de comparaison entre les classes de la précipitation

précipitation	(820-850)	(851-859)	(860-867)	(868-880)	(881-933)
(820-850)	1,000000	0,333333	0,200000	0,142857	0,111111
(851-859)	3,000000	1,000000	0,250000	0,200000	0,142857
(860-867)	5,000000	4,000000	1,000000	0,250000	0,200000
(868-880)	7,000000	5,000000	4,000000	1,000000	0,250000
(881-933)	9,000000	7,000000	5,000000	4,000000	1,000000

Tableau III.4: Tableau de normalisation

(820-850)	(851-859)	(860-867)	(868-880)	(881-933)	moyenne	λ max
0,040000	0,019231	0,019139	0,025543	0,065207	0,033824	5,197505
0,120000	0,057692	0,023923	0,035760	0,083838	0,064243	5,041940
0,200000	0,230769	0,095694	0,044700	0,117373	0,137707	5,296821
0,280000	0,288462	0,382775	0,178799	0,146716	0,255350	5,840518
0,360000	0,403846	0,478469	0,715198	0,586865	0,508876	5,842150

le ratio de cohérence **RC** est inférieur à 10%, donc l'évaluation entre les classes est acceptable.

λ max	5,443787
CI	0,110947
RC	0,099060

donc la carte de précipitation avec les valeurs d'évaluation selon AHP est présentée ci-dessous (Figure III.9).

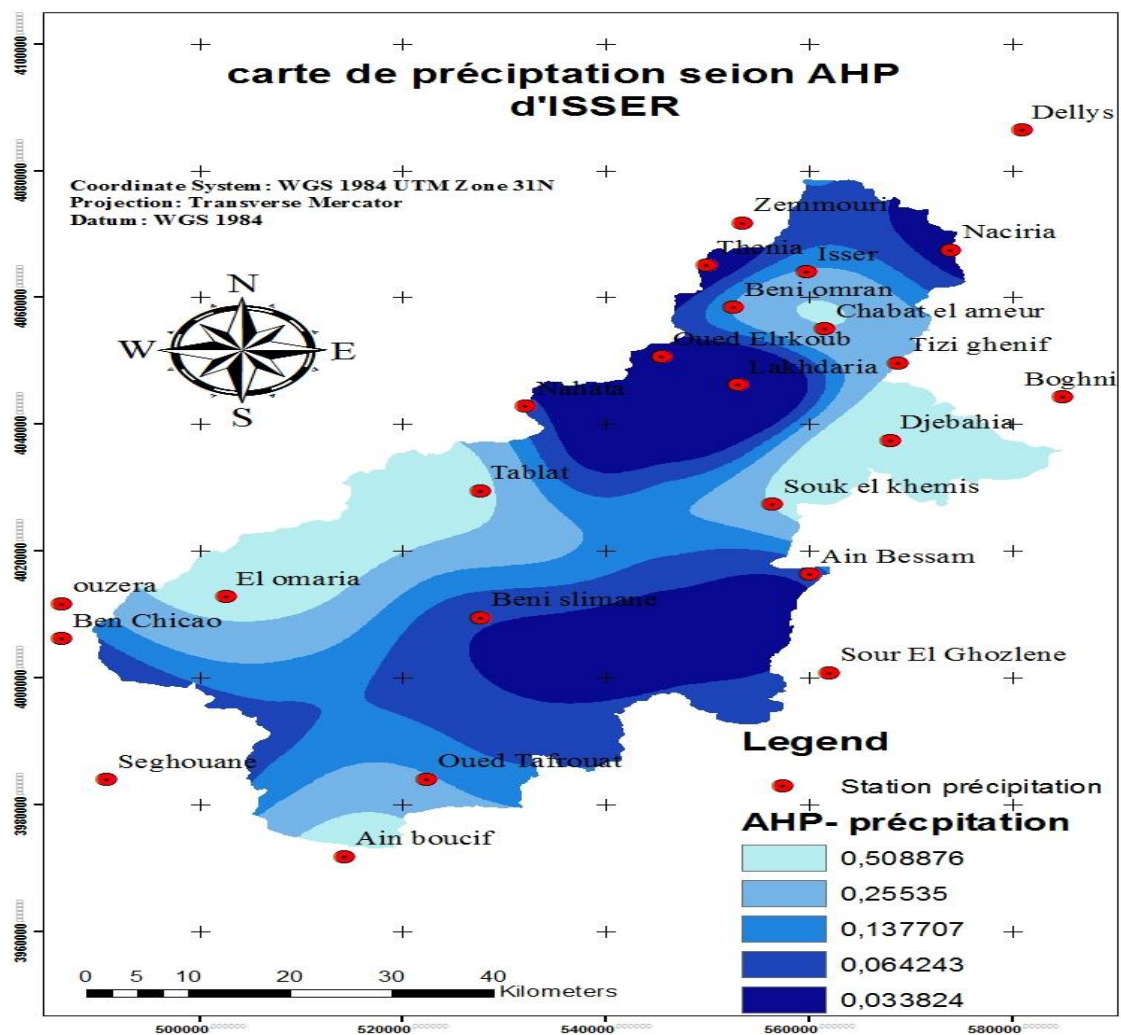


Figure III.9: Carte des précipitation du bassin versant ISSER (AHP).

III.3.3 L'évaluation entre les types de sols

pour pouvoir intégrer les types de sols dans le processus d'évaluation du bassin versant par rapport à l'Aléa glissement du terrain, on procède à l'évaluation de la contribution de chaque type de sols dans le phénomène, et qui est une transformation de type de sol en grandeur selon l'échelle de SAATY, (Tableau III.5).

Tableau III.5: Tableau de comparaison entre type des sols

lithologique	limon	sable Lim	argile Limoneux	sable Argile	Argile
limon	1,000000	3,000000	2,000000	9,000000	4,000000
sable lima	0,333333	1,000000	0,500000	5,000000	5,000000
argile Lim	0,500000	2,000000	1,000000	7,000000	5,000000
Sable argile	0,111111	0,200000	0,142857	1,000000	0,200000
argile	0,250000	0,200000	0,200000	5,000000	1,000000
Somme	2,194444	6,400000	3,842857	27,000000	15,200000

Tableau III.6: Tableau de normalisation

lithologie	limon	sable Lim	argile Lim	sable argile	Argile	moyenne	Λ max
limon	0,455696	0,468750	0,520446	0,333333	0,263158	0,408277	5,384664
sable lima	0,151899	0,156250	0,130112	0,185185	0,328947	0,190479	5,685125
argile Lim	0,227848	0,312500	0,260223	0,259259	0,328947	0,277756	5,573238
Sable argile	0,050633	0,031250	0,037175	0,037037	0,013158	0,033851	5,167349
argile	0,113924	0,031250	0,052045	0,185185	0,065789	0,089639	5,071553

Λ max	5,376386
CI	0,094096
RC	0,084015

le ratio de cohérence **RC** est inférieur à 10%, donc l'évaluation entre les classes est acceptable la contribution de chaque type de sol est traduit par les valeurs représentées dans la figure (**Figure III.10**).

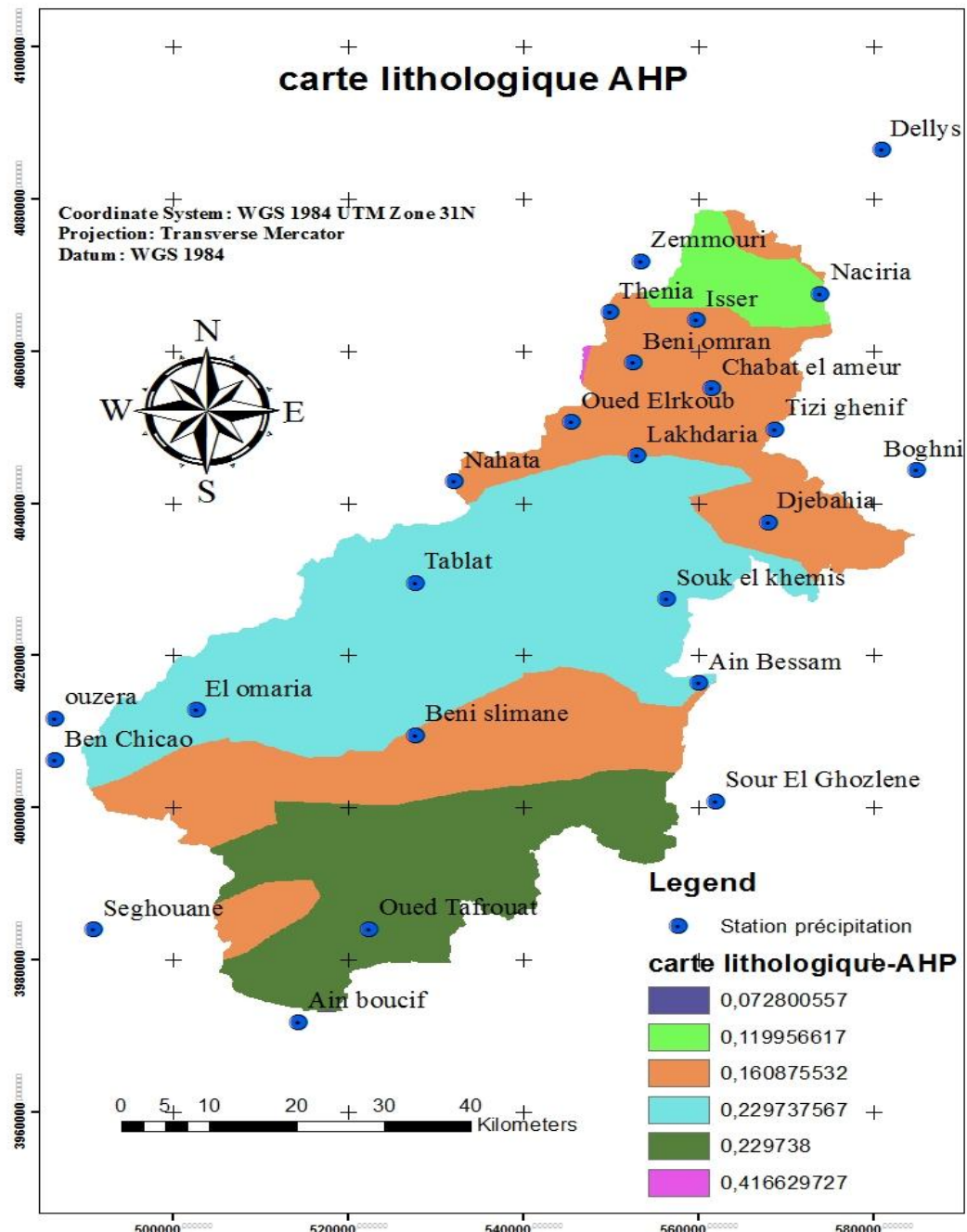


Figure III.10: Carte des lithologique du sol du bassin versant ISSER (AHP).

III.3.4 l'évaluation entre les classes de l'occupation des sols

les différentes objets occupants le sols sont exprimé sous forme des classes , dont leur contribution au processus d'évaluation est difficile or la méthodes AHP nous donne la possibilité de transformer ces classes en grandeur numérique , donc l'évaluation entre les différente classes d'occupation du sol est présenté dans le tableau suivant (tableau III.7) , on respectant l'influence de chaque type sur l'aléa .

Tableau III.7: Tableau de comparaison entre les classes d'occupation des sols

COS	Eau	forêt	bâti	végétation	sol nue
Eau	1,000000	8,000000	4,000000	5,000000	2,000000
forêt	0,125000	1,000000	0,250000	0,250000	0,142857
Bâti	0,250000	4,000000	1,000000	0,333333	0,200000
végétation	0,200000	4,000000	3,000000	1,000000	0,333333
sol nue	0,500000	7,000000	5,000000	3,000000	1,000000
somme	2,075000	24,000000	13,250000	9,583333	3,676190

Tableau III.8: Tableau de normalisation

Eau	forêt	bâti	végétation	sol nue	moyenne	Λ max
0,481928	0,333333	0,301887	0,521739	0,544041	0,436586	5,321506
0,060241	0,041667	0,018868	0,026087	0,038860	0,037145	5,044144
0,120482	0,166667	0,075472	0,034783	0,054404	0,090361	4,958756
0,096386	0,166667	0,226415	0,104348	0,090674	0,136898	5,365173
0,240964	0,291667	0,377358	0,313043	0,136010	0,271809	5,932901

le ratio de cohérence **RC** est inférieur à 10%, donc l'évaluation entre les classes est acceptable.

Λ max	5,324496
IC	0,081124
RC	0,072432

l'évaluation est effectuée en attribuant les valeurs en ordre décroissant à la classe eau, sol nue, végétation, bâtis, puis forêt.

la contribution de chaque classe d'occupation des sols est traduite par les valeurs représentées dans la figure (**Figure III.9**).

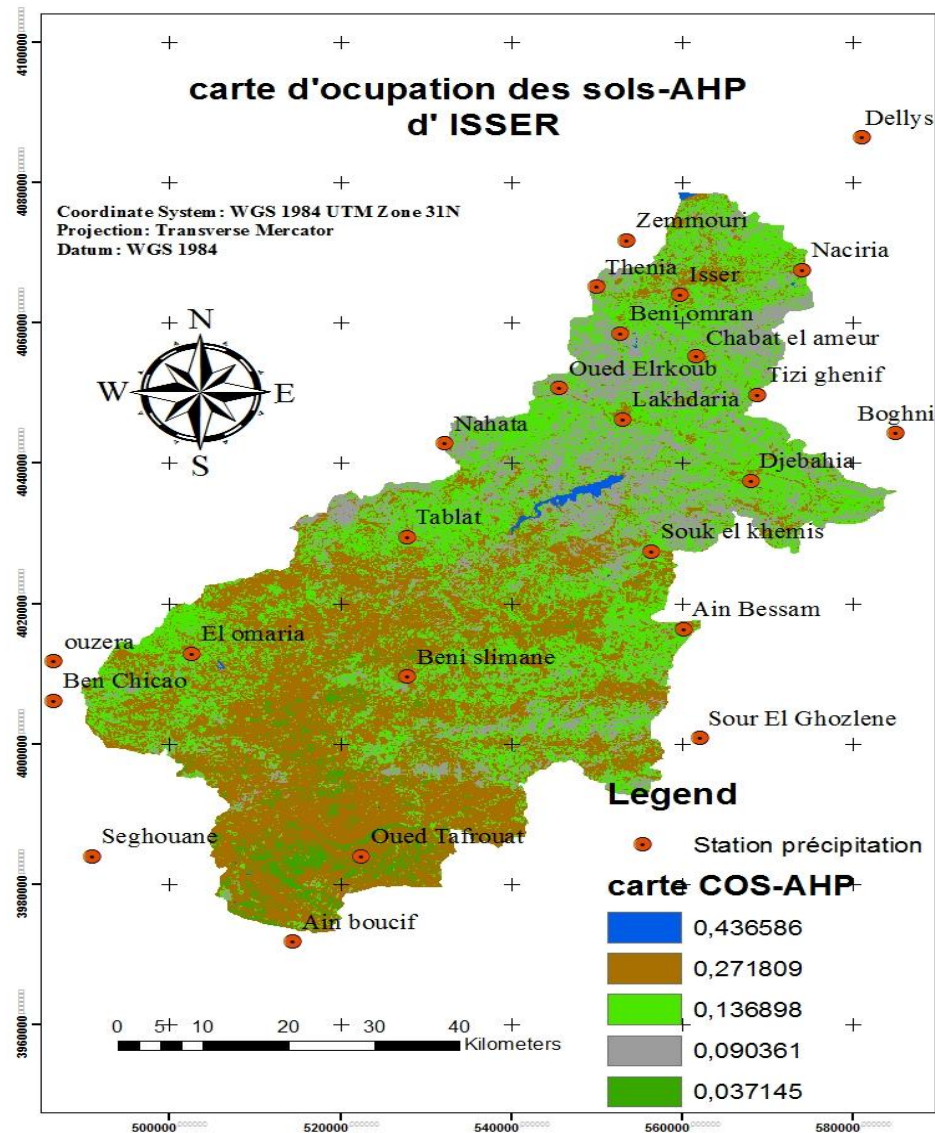


Figure III.11: Carte des Occupation des sols du le bassin versant ISSER (AHP).

III.3.5 l'évaluation entre les classes des pentes

l'influence des pentes sur le glissement du terrain est important. la pente varier entre 0 et 64.5% qui ont les valeurs max d'évaluation de l'échelle de SAATY(9).

Tableau III.9: Tableau de comparaissant

PENTE	0-4,05	4,06-8,1	8,11-12,4	12,5-18	18,1-64,5
0-4,05	1,000000	0,500000	0,333333	0,200000	0,125000
4,06-8,1	2,000000	1,000000	0,333333	0,250000	0,142857
8,11-12,4	4,000000	3,000000	1,000000	0,500000	0,166667
12,5-18	5,000000	4,000000	2,000000	1,000000	4,000000
18,1-64,5	8,000000	7,000000	0,166667	0,250000	1,000000
somme	20,000000	15,500000	3,833333	2,200000	5,434524

Tableau III.10: Tableau de normalisation

PENTE	0-4,05	4,06-8,1	8,11-12,4	12,5-18	18,1-64,5	MOY	Λ max
0-4,05	0,050000	0,032258	0,086957	0,090909	0,023001	0,056625	4,860441
4,06-8,1	0,100000	0,064516	0,086957	0,113636	0,026287	0,078279	5,077344
8,11-12,4	0,200000	0,193548	0,260870	0,227273	0,030668	0,182472	4,962990
12,5-18	0,250000	0,258065	0,521739	0,454545	0,736035	0,444077	5,313159
18,1-64,5	0,400000	0,451613	0,043478	0,113636	0,184009	0,238547	5,788926

le ratio de cohérence **RC** est inférieur à 10%, donc l'évaluation entre les

classes est acceptable. l'évaluation est effectuée en attribuant les valeurs en

ordre croissant pour les pentes fortes. la contribution de chaque classe de pentes est traduite par les valeurs représentées dans la figure (**Figure III.12**).

Λ max	5,200572
IC	0,050143
RC	0,044771

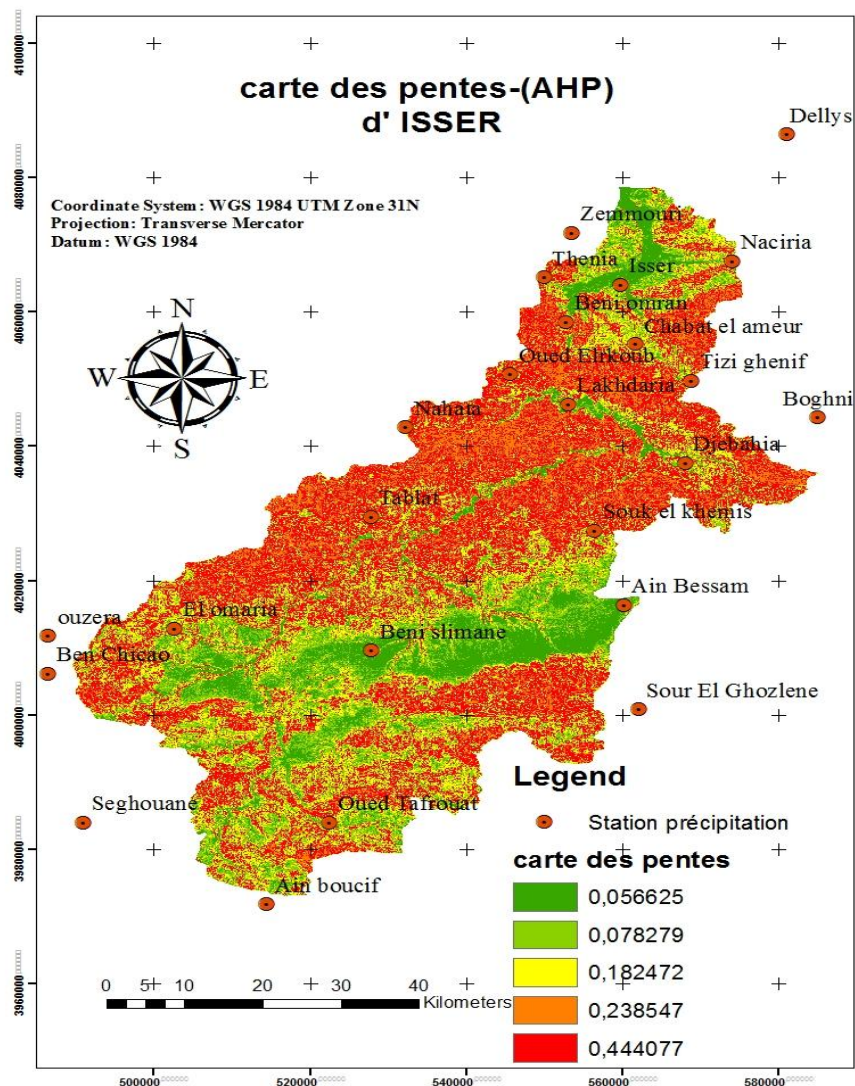


Figure III.12: Carte des pentes du bassin versant ISSER (AHP).

III.3.6 l'évaluation entre les classes de densité de drainage

la présence de réseau hydrographique est accompagné par la présence de talus ou les glissement de terrain seront de forte occurrence. l'évaluation selon AHP est présenté dans les tableau suivant.

Tableau III.11: Tableau de comparaison

Densité. D	0,218-3,14	3,15-3,8	3,81-4,3	4,31-4,77	4,78-6,23
0,218-3,14	1,000000	0,500000	0,333333	0,200000	0,142857
3,15-3,8	2,000000	1,000000	0,500000	0,333333	0,166667
3,81-4,3	3,000000	2,000000	1,000000	0,333333	0,200000
4,31-4,77	5,000000	3,000000	3,000000	1,000000	0,166667
4,78-6,23	7,000000	6,000000	5,000000	6,000000	1,000000
somme	18,000000	12,500000	9,833333	7,866667	1,676190

Tableau III.12: Tableau de normalisation

0,218-3,14	3,15-3,8	3,81-4,3	4,31-4,77	4,78-6,23	Moyenne	Λ max
0,055556	0,040000	0,033898	0,025424	0,085227	0,048021	5,120703
0,111111	0,080000	0,050847	0,042373	0,099432	0,076753	5,120122
0,166667	0,160000	0,101695	0,042373	0,119318	0,118011	5,041976
0,277778	0,240000	0,305085	0,127119	0,099432	0,209883	5,362518
0,388889	0,480000	0,508475	0,762712	0,596591	0,547333	5,834369

Λ max	5,295938
IC	0,073984
RC	0,066057

le ratio de cohérence **RC** est inférieur à 10%, donc l'évaluation entre les

critère est acceptable. l'évaluation est effectué on attribuant les valeurs en ordre croissant pour les densité de drainage forte équivalent au valeurs fortes . la contribution de chaque classe de densité de drainage est traduit par les valeurs représentées dans la figure (**Figure III.13**).

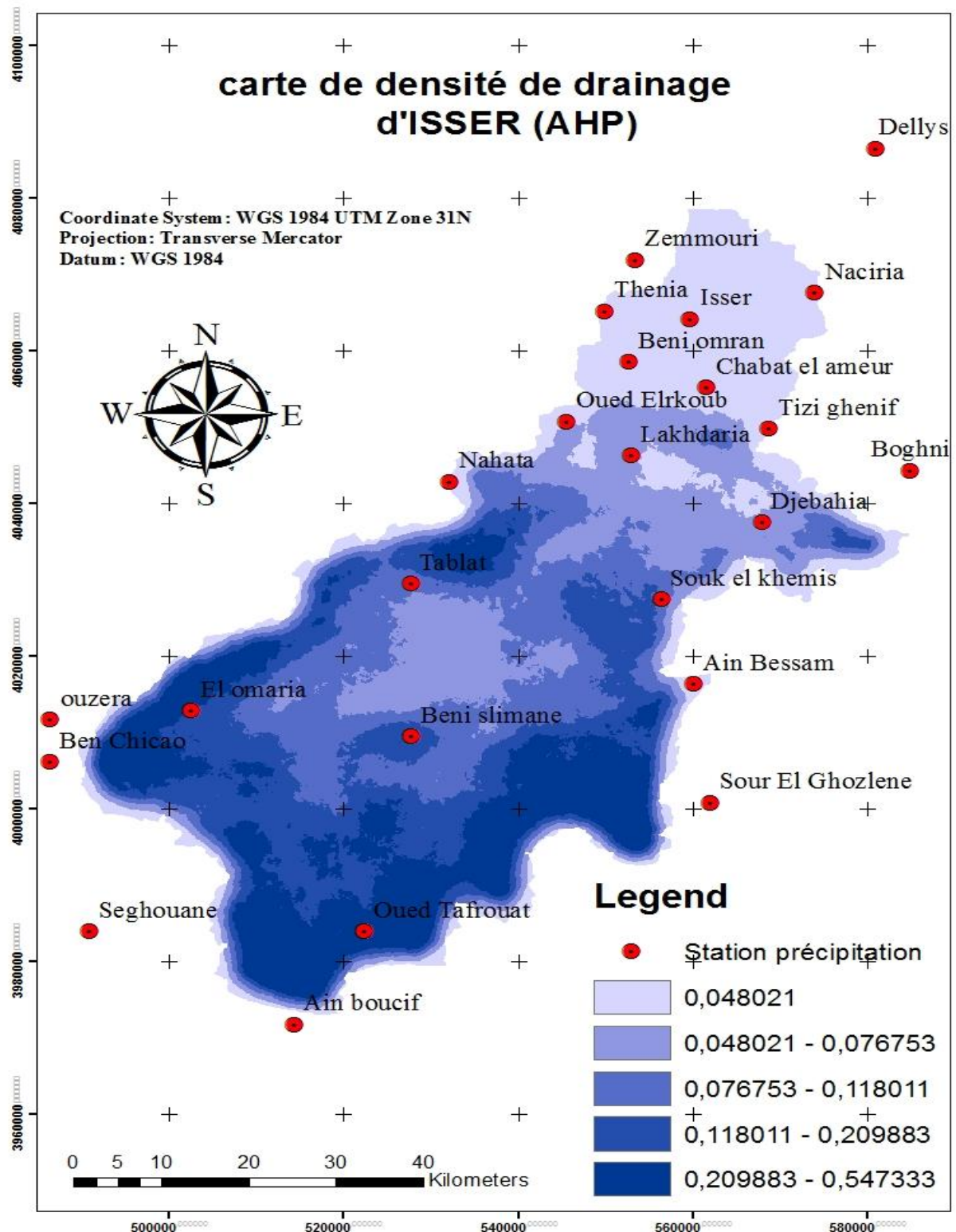


Figure III.13: Carte de densité de drainage du le bassin versant ISSER (AHP).

III.3.7 l'évaluation entre les classes d'Aspects

l'exposition de la plus grande pente rendre l'occurrence de survenance d'un glissement de terrain fort pour les endroit à une orientation Nord Ouest est faible à orientation SUD East.

Tableau III.13: Tableau de comparaison entre les différente expositions des terres

ASPECT	NORTH H	N-East	East	SOUTH- Est	South	South- West	West	North west	North2
NORTH	1,0000 00	2,00000 0	3,00000 0	4,000000	3,00000 0	2,000000	1,0000 00	1,000000	1,0000 00
N-East	0,5000 00	1,00000 0	2,00000 0	5,000000	2,00000 0	3,000000	0,5000 00	0,333333	1,0000 00
East	0,3333 33	0,50000 0	1,00000 0	2,000000	3,00000 0	2,000000	1,0000 00	0,333333	0,3333 33
SOUTH- Est	0,2500 00	0,20000 0	0,50000 0	1,000000	0,50000 0	0,500000	0,3333 33	0,200000	0,2500 00
South	0,3333 33	0,50000 0	0,33333 3	2,000000	1,00000 0	0,500000	0,3333 33	0,333333	2,0000 00
South-Ou	0,5000 00	0,33333 3	0,50000 0	2,000000	2,00000 0	1,000000	0,5000 00	0,500000	0,5000 00
Ouest	1,0000 00	0,50000 0	2,00000 0	3,000000	3,00000 0	2,000000	1,0000 00	0,500000	1,0000 00
North-Ou	2,0000 00	3,00000 0	3,00000 0	5,000000	3,00000 0	2,000000	2,0000 00	1,000000	2,0000 00
North	1,0000 00	2,00000 0	3,00000 0	4,000000	3,00000 0	2,000000	1,0000 00	1,000000	1,0000 00
Somme	6,9166 67	10,0333 33	15,3333 33	28,000000	20,5000 00	15,000000	7,6666 67	5,200000	9,0833 33

Tableau III.14: Tableau de normalisation

NORTH	N-East	East	SOUTH-Est	South	South-west	West	Worth west	North2	Moyenne	λ max
0,144578	0,199336	0,195652	0,142857	0,146341	0,133333	0,130435	0,192308	0,110092	0,154992	10,162645
0,072289	0,099668	0,130435	0,178571	0,097561	0,200000	0,065217	0,064103	0,110092	0,113104	10,015177
0,048193	0,049834	0,065217	0,071429	0,146341	0,133333	0,130435	0,064103	0,036697	0,082842	9,976237
0,036145	0,019934	0,032609	0,035714	0,024390	0,033333	0,043478	0,038462	0,027523	0,032399	9,923600
0,048193	0,049834	0,021739	0,071429	0,048780	0,033333	0,043478	0,064103	0,220183	0,066786	10,780068
0,072289	0,033223	0,032609	0,071429	0,097561	0,066667	0,065217	0,096154	0,055046	0,065577	10,105886
0,144578	0,049834	0,130435	0,107143	0,146341	0,133333	0,130435	0,096154	0,110092	0,116483	10,163084
0,289157	0,299003	0,195652	0,178571	0,146341	0,133333	0,260870	0,192308	0,220183	0,212824	10,088619
0,144578	0,199336	0,195652	0,142857	0,146341	0,133333	0,130435	0,192308	0,110092	0,154992	10,162645

λ max	10,1531067
IC	0,14413834
RC	0,09940575

le ratio de cohérence **RC** est inférieur à 10%, donc l'évaluation entre les classes acceptable. la contribution de chaque classe d'exposition est traduit par les valeurs représentées dans la figure (**Figure III.14**).

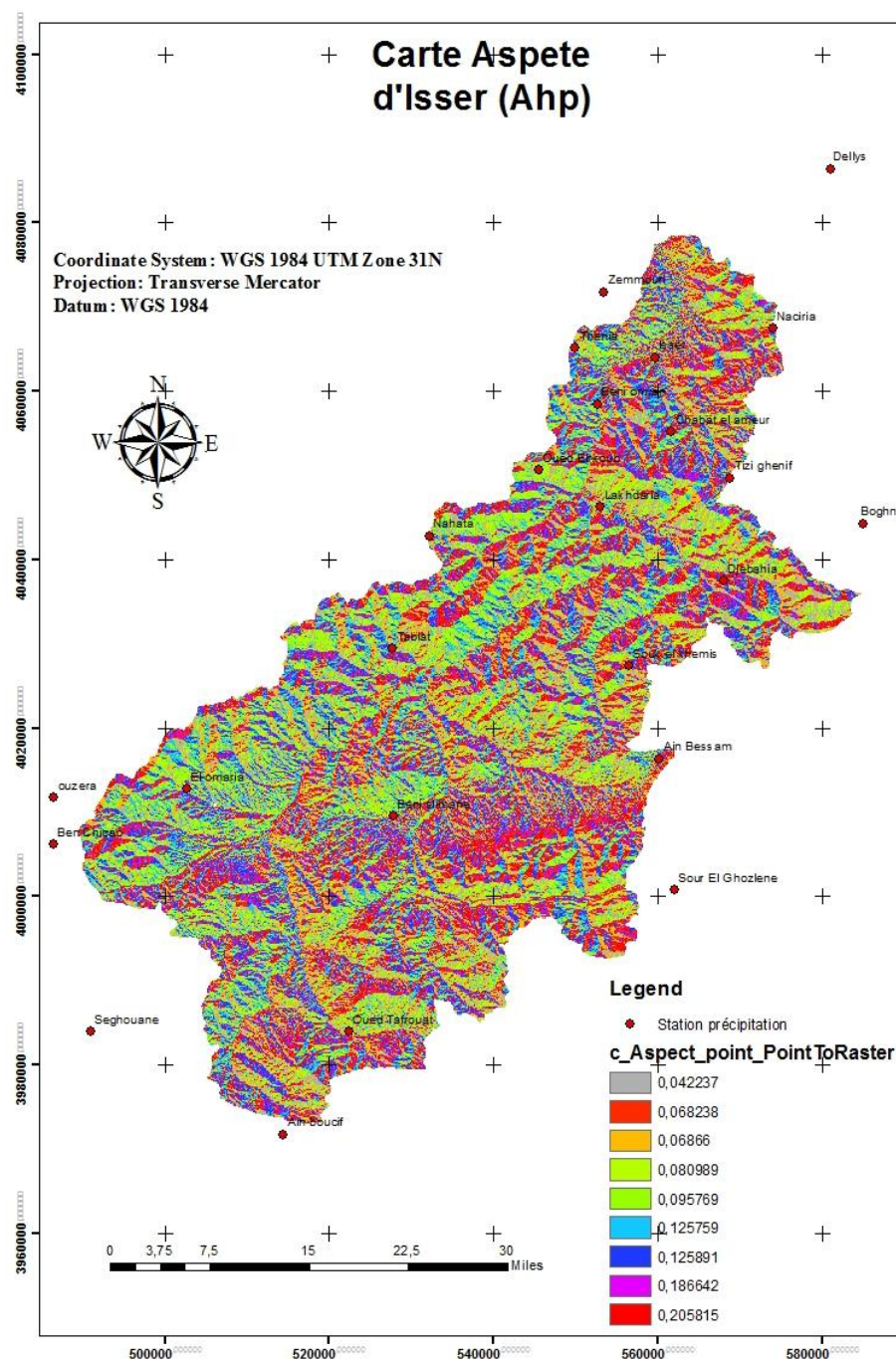


Figure III.14: Carte des aspect dans bassin le versant ISSER (AHP) .

III.4 la carte de l'aléa glissement du terrain sur ISSER

la carte de l'aléa glissement du terrain est obtenues on applique la formule d'AHP

Aléa=[type de carte-AHP*MOY évaluation]+[type de carte-AHP*MOY évaluation]+.....etc.

$$\text{Aléa} = \text{Densité de drainage-AHP} \times 0,390066 + \text{la précipitation-AHP} \times 0,245126 + \text{cos-AHP} \times 0,077735 + \text{lithologie-AHP} \times 0,028266 + \text{L'Aspect-AHP} \times 0,058214 + \text{La pente-AHP} \times 0,200594$$

les résultats sont représentés dans la (Figure III.15).

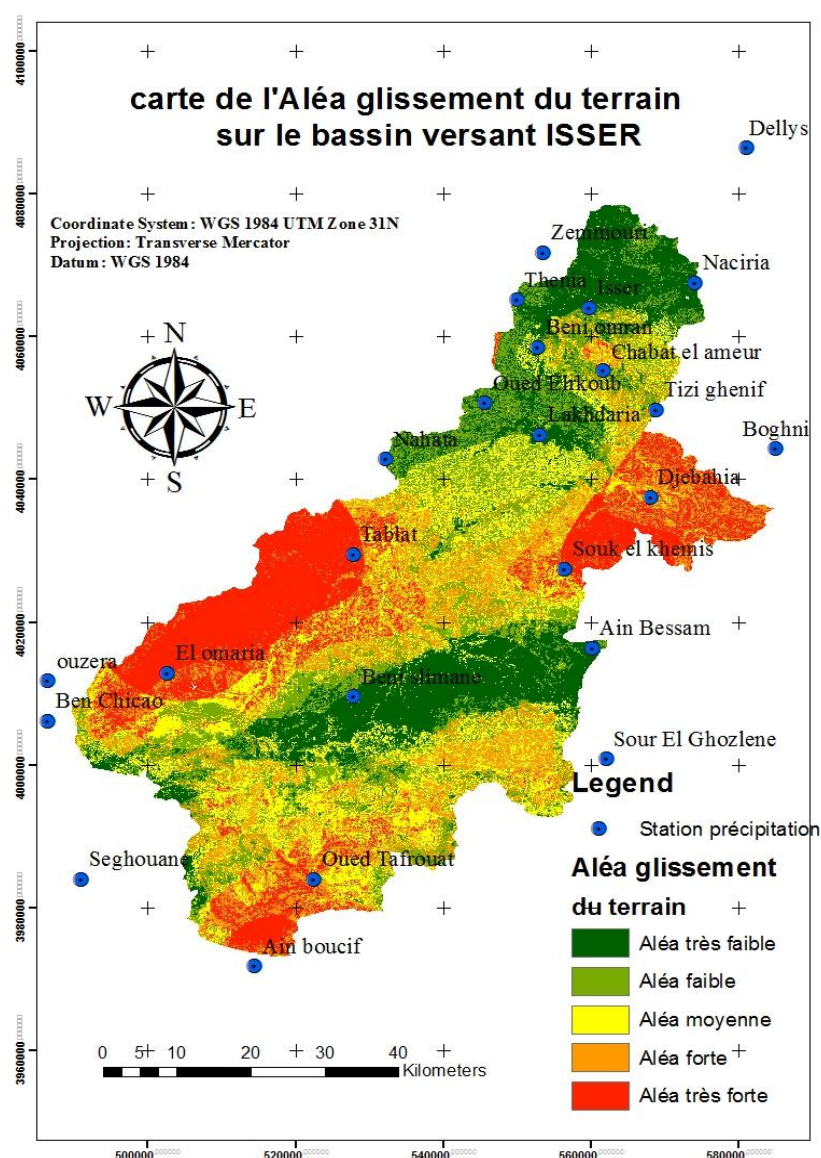


Figure III.15: Carte final d'aléa de glissement du bassin versant ISSER (AHP) .

III.5 conclusion

l'aléa glissement du terrain est déterminé dans la figure est très fort dans les pentes fortes et pour les classes de sols limon et à haute altitude ce phénomène est étendu sur une zone importante depuis ben CHICAO OUZERA à jusqu'à TABLAT est sur la zone de AIN BOUCIF, oued TAFROUET au sud et DJEBAHIA et souk ELKHEMIS à l'Est. par contre les zones non touchées par cet aléa sont des zones à faible pente dont le type de sol est l'argile limoneuse.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce modeste travail nous a donné l'opportunité de mettre en pratique nos connaissances acquises durant notre parcours à l'enseignement supérieur et nous avons appris tellement de choses qui nous ont permis de visualiser les étapes essentielles à suivre lors de l'étude d'un glissement de terrain.

L'étude présentée dans ce mémoire avait pour finalité d'étudier et cartographier l'aléa glissement du terrain sur bassin versant ISSER situé à l'Est d'Alger, par le biais d'un couplage entre la méthode de l'analyse hiérarchique (AHP) et le SIG, dont 13 cartes ont été élaborées afin de cartographier l'aléa .

cet enchaînement de traitement nous a permis de nous familiariser avec l'outil AHP par des évaluations des différents critères et classes , et de vérifier la cohérence entre ces évaluations .

dans l'autre côté l'élaboration de ces cartes nous ouvre l'opportunité d'avoir plusieurs types de traitement (préparation , nettoyage, intégration mosaïque des images, clip sur la zone d'étude et des interpolationsetc.), qui rendent les concepts théoriques acquis lors de notre parcours de formation concrétisés, par contre la maîtrise et l'hétérogénéité des données rendent l'achèvement de ce projet un peu difficile (des lacunes lors de l'exécution sous ARCGIS...).

l'aléa glissement du terrain est déterminé est très fort dans les pentes fortes et pour les classes de sols limon et à haute altitude, ce phénomène s'étend sur une zone importante depuis ben CHICAO OUZERA à jusqu'à TABLAT est sur la zone de AIN BOUCIF, oued TAFROUET au sud et DJEBAHIA et souk ELKHEMIS à l'Est .par contre les zones non touchées par cet aléa sont des zones à faible pente dont le type de sol est l'argile limoneuse (au nord).

les résultats obtenus sur le bassin versant donnent une situation alarmante aux décideurs pour contribuer à la réduction de cet Aléa, par la réduction de l'un ou de ses paramètres provoquant (renforcement par des murs de soutènement , ou conservation des zones où l'Aléa est maximum (zones montagneuses , zone où le type de sol et favorisant le glissement du terrain) par :

- ❖ des l'installation des nouvelles forêts,
- ❖ Concevoir et mettre en œuvre des canaux de drainage pour l'eau de pluie pour les empêcher de pénétrer et d'atteindre les blocs de chute rocheuse.
- ❖ Travaux de béton et barrières de béton pour empêcher la chute des blocs de roche et remplir les joints et les fissures Dans les matériaux de ciment afin d'empêcher l'arrivée de l'eau de pluie et de l'imprégner.

Référence Bibliographique

- [1] Institut des Risques Majeurs en Rhône-Alpes
<http://www.irma-grenoble.com>,(2011).
- [2] [www.georisques. gouv.fr/dossiers/ mouvements-de-terrai](http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrai)(2014).
- [3] LEFRIKI SOUAD,<< EFFET DE LA VARIATION DE LA COHETION SUR LE COMPORTEMENT DES PENTES>>, Biskra: Université Mohamed Khider,2015.
- [4] (C.2 - LE RISQUE MOUVEMENT DE TERRAIN), - le site du ministère de l'écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables (MEDAD)

: www.developpement-durable.gouv.fr, (2008).
- [5] ZOGHLAMI TAREK : ''La résistance au glissement d'un tronçon de la route nationale n°16 d'EL-MACHROUHA menant à Annaba '' ; mémoire d'ingénieur ;Université chikh Larbi Tbessi, Tébessa ; 2007; Algérie.
- [6] Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques ; '' glissement des terrains' mission 1identification des risques ; page 20-21 ; Version 1.0 Septembre- 2008 ; France.
- [7] LANDEGHEM CHIKOUCHE FADHILA ; ''prévention du risque mouvement de terrain par l'utilisation des paramètres géotechniques '' ; mémoire magister ; 2009 ; université de M'silapage 34 ; Algérie.
- [8]. (Source : USGS,2011).

- [9] (Glissements spontanés des terrains argileux), par ALEXANDRE COLLIN(1973).
- [10] SETSOL Ingénierie Géotechnique,(2011) - RCS Salon B 505 268 607.
- [11] Source : BC Geological Survey,(2006).
- [12] Boubker GHENNANI
- [13] Le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM),(2013)
www.brgm.fr
- [14] M-Habitat (<http://www.m-habitat.fr/>),(2015).
- [15] © Gouvernement du Québec, ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, 2017, [www.mamot.gouv.qc.ca].
- [16] AISSA MOHAMED HAMZA ; MADDOUCHE KHADIDJA ; '' analyse et modélisation d'un Glissement de terrain'' ; mémoire master ; Promotion 2010/2011 Université De Khemis Miliana ; page (16), (22) ; Algérie.
- [16] ABDELLAH EL MOURABIT, Étudiant(e) (Université Hassan II Aïn Chock de Casablanca), (Gestion de glissement de terrain par l'utilisation de système d'information géographique (SIG).
- [17] Glissements de terrain Al - Khafaji) Naeem Sarhan Dr. Professeur adjoint
Section géographique
- [18] LAHRACHE TAHER/ KHEDACHE FARES,journal:(L'intégration Economique 2015) Université of Adrar.

- [19] Caroline BASSONO,(Développement d'une méthode d'analyse multicritère pour le choix variétal en betterave sucrière), Année universitaire : 2015 – 2016.
- [20] ANALYSE MULTICRITÈRE, PAR Nadia Le houx Pascale Vallée
- [21] BEKHTARI MOHAMMED CHERIF, Les méthodes multicritères pour analyser les aptitudes des terres agricoles : le cas du blé tendre en Languedoc-Ro.... ,université Paul-Valéry-Montpellier, Septembre 2015.
- [22] M.S. BELLAJ,L'ADAPTATION AUX RISQUES LIES AUX STRATEGIES D'EXTERNALISATION : CAS DES ENREPRISES INDISTRIELLES TUNISIENNES, paris France: École doctorale cognition, langage, interaction -Université de paris 8- Vincennes-saint -dénis, 18 Décembre 2009.
- [23] j. N.&P. DUSINX,ANALYSE MULTICRITRE, les Régions WALLONE-LORRAIE- LUXEMBOURG(WLL): Research Centre in Sustainable Auto motivé Technologies of Université of liège Academic, 2015/2016.
- [24] G. Guesdon, Méthodes et outils Aide multicritère à la décision- Comparaison de saaty Québec, Canada : Faculté des sciences et de génie - Université Laval, 15 Mars 2011.
- [25] Faculté des sciences et de génie Université Laval
- [26] Jordi Inglada Décembre 2012, (Petite introduction à la télédétection).