



Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du territoire
Département des Sciences Géologiques

PRESENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT
TROISIÈME CYCLE (LMD)

FILIERE : GEOLOGIE

OPTION : Géo-ressources et environnement

THEME :

Approche par les méthodes statistiques à l'étude de l'influence de
la géologie et de la minéralogie sur la distribution spatiale de la
susceptibilité aux glissements de terrain dans la région de Souk
Ahras, NE de l'Algérie.

Présentée par :

MAHDADI Fatna

Devant le jury :

Président : Pr. Bourefis Ahcène Université Frères Mentouri - Constantine 1
Rapporteur : Pr. Boumezbeur Abedrahmane..... Université de Tébessa
Examineur : Pr. MARMY Ramdane Université Frères Mentouri - Constantine 1
Examineur : Dr. HADJI Rihab Université de Sétif 1
Examineur : Dr. BOUGHRARA Ahmed Université Frères Mentouri - Constantine 1

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je n'oublie pas d'adresser mes sincères remerciements à notre Dieu le grand créateur qui a guidé mes pas pour arriver à ce niveau.

Il m'est très agréé de pouvoir exprimer ma reconnaissance et ma gratitude envers ceux qui ont su contribuer de près ou de loin à la réalisation et à l'aboutissement de ce modeste travail.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur Pr. Boumezbeur Abedrahmane, professeur à l'Université Cheikh Larbi Tebessi (Tébessa), pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant la direction de ma thèse de doctorat, son dévouement, sa disponibilité et ses conseils.

Je tiens à remercier plus particulièrement le Dr. Kireche Omar, docteur à l'université de Nice, pour sa disponibilité, ses conseils, ses encouragements et pour la documentation qu'il m'a fournie et qui ont été d'un grand apport dans la finalisation de ma thèse.

Je remercie le Pr. Bourefis Ahcène, Professeur à l'université de Constantine 1, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury.

Mes sincères remerciements à monsieur le Pr. Marmi Ramdane, Professeur à l'université de Constantine 1, le Dr. Hadji Rihab, Maitre de conférences à l'université de Sétif 1 et le Dr. Boughrara Ahmed Maitre de conférences à l'université de Constantine 1, qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont également à tous mes enseignants du département des sciences de la terre de l'université de Sétif 1, et plus particulièrement l'équipe de recherche en géologie de l'ingénieur et

géotechnique, de m'avoir fait profiter de leur expérience scientifique et pour les précieux enseignements et conseils qu'ils m'ont prodigués tout au long de mon parcours d'étude.

J'exprime ma gratitude à Mr Debi Prasanna Kanungo, Professeur à l'institut central de recherche en construction-groupe de géotechnique, en Inde, pour la grande aide qu'il m'apporte, ses orientations et ses remarques fructueuses.

Je remercie également tout le personnel de laboratoire des travaux publics Est (ELTP Est - antenne de Souk Ahras et de Sétif), pour leur accueil chaleureux, et de m'avoir facilité le travail par tous les moyens mis à ma disposition tout au long de mon séjour.

Je n'oublie pas dans mes remerciements tout le personnel du laboratoire de génie civil de l'université de Cheikh Larbi Tebessi (Tébessa) de m'avoir facilité la réalisation de mes analyses au sein de leur laboratoire.

Je ne pourrai terminer ces remerciements sans y associer ma famille, mes parents, mes frères et ma sœur, et tant d'autres sans le soutien desquels je n'aurais pu entreprendre ces études.

Je souhaite remercier ici tous ceux qui, par leur aide et leurs encouragements, m'ont permis de réaliser ce travail.

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail :

A l'âme de mon père ;

A ma mère ;

A ma très chère sœur et son petit ;

A mes chers frères ;

A tous mes amies et collègues ;

A tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Fatna ✍

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE	15
--	----

CHAPITRE I : INTRODUCTION SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

I. Introduction	20
II. Définition d'un glissement de terrain	21
III. La cartographie de risque glissements de terrain	22
IV. La cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain	22
V. L'apport des SIG dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain	23
VI. Difficultés liées à la cartographie des glissements de terrain	24
VII. Difficultés liées à l'évaluation de la probabilité spatiale	25
VIII. Les causes des glissements de terrain	26
VIII.1 Facteurs de prédisposition	27
VIII.1.1 Action de la pesanteur	27
VIII.1.2 La nature et les caractéristiques mécaniques des terrains	28
VIII.1.3 La structure des terrains	28
VIII.1.4 Les caractéristiques géomorphologique	29
VIII.1.5 Conditions hydrogéologiques	29
VIII.1.6 La proximité du réseau de drainage	30
VIII.2 Les facteurs de préparation	30
VIII.3 Les facteurs déclenchant	30
VIII.3.1 Les facteurs climatiques	31
VIII.3.1.1 Les précipitations	31
VIII.3.1.2 La température	31
VIII.3.1.2 Le vent	32
VIII.3.2 Les sollicitations sismiques	32
VIII.3.3 Actions anthropiques	33
IX. La typologie des glissements de terrain	34
IX.1 Classification des glissements de terrain selon la forme de la surface de rupture	35
IX.1.1 Les glissements de terrain plans ou translationnels	35
IX.1.2 Les glissements de terrain circulaires ou rotationnels	36
IX.1.3 Les glissements de terrain composite ou complexes	37
IX.2 Classification des glissements de terrain selon la profondeur de la surface de rupture	38
IX.2.1 Les glissements de terrain superficiels	38
IX.2.2 Les glissements de terrain profonds	39
X. Description et repérage des glissements de terrain	39
XI. Méthodes d'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain	40

XI.1 Une approche qualitative	41
XI.1.1 Approches essentiellement géomorphologiques	41
XI.1.2 Approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique	42
XI.2 Une approche analytique quantitative	42
XI.2.1 Approches basées sur des inventaires de glissements de terrain	43
XI.2.2 Approches statistiques	43
XI.2.2.1 Analyses statistiques bivariées	44
XI.2.2.2 Analyses statistiques multivariées	44
XI.2.3 Approches basées sur des modèles physiques et/ou géotechniques	45
XI.2.3.1 Analyses déterministes	45
XI.2.3.2 Analyses probabilistes	46
XII. La prévention et la protection des glissements de terrain	46
XIII. Conclusion	47

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA REGION DE SOUK AHRAS

I. Introduction	49
II. Localisation géographique	49
III. Aperçu économique et infrastructurel	50
IV. Climat et végétation	53
IV.1 Climat	53
IV.2 Analyse hydro climatique	54
IV.2.1 Précipitations	54
IV.2.2 La température	58
IV.2.3 Relation Température-Précipitation (Diagramme Ombro-Thermique)	60
IV.2.4 L'humidité de l'air	61
IV.2.5 Insolation et le rayonnement solaire	63
IV.2.6 L'évaporation.....	64
IV.2.7 L'indice d'aridité	66
IV.2.8 Calcule de bilan hydrique selon la méthode de CW. Thornthwaite	66
IV.2.9 L'interprétation du Bilan hydrologique	68
IV.3 Couvert végétal	69
V. Contexte géologique de la région de Souk Ahras	71
V.1 Introduction	71
V.2 Historique des travaux antérieurs	71
V.3 Les grands ensembles structuraux de la région de Souk Ahras	72
V.4 Aperçu géologique de la région de Souk Ahras.....	72
V.4.1 Les unités allochtones	76
V.4.1.1 La nappe numidienne	76
V.4.1.2 Les nappes telliennes	76
V.4.1.3 Les séries écaillées des Sellaoua	77

V.4.2 Les unités parautochtones et autochtones Atlasiques	77
V.4.3 Les formations triasiques	79
V.4.4 Les terrains post-nappes	80
V.5 Aperçu structural et tectonique	83
VI. Le cadre géomorphologique	84
VII. L'hydrologie et l'hydrogéologie de la région de Souk Ahras	85
VII.1 Hydrologie	85
VII.1.1 Le bassin versant de la Medjerda (BV N°12)	85
VII.1.2 Le bassin versant de la Seybouse (BV N°14)	86
VII.2 Hydrogéologie.....	89
VIII. Le contexte sismique.....	92
IX. Conclusion	93

**CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET
MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS
DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS**

I. Introduction.....	96
II. Elaboration d'un inventaire des glissements de terrains	97
III. Présentation géologique des versants affectés par des glissements de terrain.....	101
III.1 Formation superficielles du Quaternaire	106
III.2 Les formations du Néogène	106
III.3 Les formations de Paléogène	107
III.4 Les formations de Crétacé supérieur	108
III.5 Les formations Triasiques	109
IV. Caractérisation géotechniques et minéralogique des matériaux impliqués dans les glissements de terrain...111	
IV.1 Caractérisation géotechniques	114
IV.1.1 Teneur en carbonate de calcium (NF P 94-048)	114
IV.1.2 Essai au bleu de méthylène (norme NF P 94-068)	114
IV.1.3 Les limite d'Atterberg.....	115
IV.1.3.1 Limite d'Atterberg déterminée à la coupelle de Casagrand (selon la norme NF P 94-051)	116
IV.1.3.2 Limite d'Atterberg déterminée par le cône de pénétration (Selon la norme NF P 94-52-1)	117
IV.2 Caractérisation minéralogique par la diffraction aux rayons X	123
IV.3 Résultats et interprétation	124
IV.3.1 Teneur en carbonate de calcium	124
IV.3.2 Essai au bleu de méthylène.....	125
IV.3.3 Les limite d'Atterberg.....	127

IV.3.4 Analyse et commentaire des résultats minéralogique par DRX.....	130
V. Conclusion	132
CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE	
I. Introduction	135
II. La méthodologie de l'étude	137
II.1 Hypothèses de base pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain.....	138
II.2 Les étapes de la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain.....	139
III La base de données des glissements de terrain	140
III.1 Carte de l'inventaire des glissements de terrain	140
III.2 Lithologie	141
III.3 Distance aux par rapport aux discontinuités tectoniques	143
III.4 Distance par rapport aux routes	145
III.5 La pluviométrie	146
III.6 La pente	148
III.7 L'élévation	149
III.8 Aspect de la pente	150
III.9 La courbure	152
III.10 Proximité aux drains du réseau hydrographique	154
IV. Modèles statistique de la cartographie des glissements de terrain	156
IV.1 Modèle statistique le rapport de fréquence « Fr »	156
IV.2 Modèle statistique la théorie de l'évidence « WoE ».....	159
IV. 3 Modèle statistique la régression logistique	162
V. Validation des cartes de la susceptibilité aux glissements de terrain	167
VI. Discussion et Conclusions	170
CONCLUSION GENERALE	173
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	176
ANNEXE I : Résultats des essais de bleu de méthylène (norme NF P 94-068) pour les 14 échantillons étudiés	189
ANNEXE II : Résultats de la limite d'Atterberg déterminée à la coupelle de Casagrande (selon la norme NF P 94-051) pour les 14 échantillons étudiés.....	204
ANNEXE III : Méthodes empiriques pour la caractérisation du potentiel de gonflement des matériaux impliqués dans les glissements de terrain	219
RESUMES	220

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : INTRODUCTION SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Figure I.1 : Modèle type d'un glissement de terrain.....	21
Figure I.2 : Illustration de la genèse d'un glissement de terrain par un graphique montrant les vitesses de déplacement du versant en fonction du temps (Pollet, 2004).....	27
Figure I.3 : Croquis représentant un remblai pouvant être néfaste à la stabilité d'un talus.....	33
Figure I.4 : Déblai pouvant nuire à la stabilité d'un talus.....	34
Figure I.5 : Excavation réalisée pour l'entretien des fossés pouvant être néfaste à la stabilité d'un talus...	34
Figure I.6 : Un glissement de terrain plan (Philipponnat, 1998).....	36
Figure I.7 : Les principaux détails et unités d'un glissement de terrain rotationnel (a) et translationnel (b) (Varnes, 1978). 1: zone de déplacement; 2: zone d'accumulation; 3: fissures; 4: escarpement principal; 5: gradins; 6, 7: escarpement secondaire; 8: fissures transversales; 9, 10 : corps du glissement; 11: fissures radiales; 12: bourrelet frontal; S.R: surface de rupture; S.S: surface de cisaillement.....	37
Figure I.8 : Un glissement de terrain superficiel	39

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA REGION DE SOUK AHRAS

Figure II.1 : Situation géographique de la wilaya de Souk Ahras et de la zone d'étude.....	50
Figure II.2 : Carte du réseau routier de la wilaya de Souk Ahras (DTP. Souk Ahras ; version février 2013).....	52
Figure II.3 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'E Algérien (établie d'après Côte M., 1998a in Mébarki, 2005).....	53
Figure II.4 : Carte des précipitations annuelles moyennes de la région de Souk Ahras. Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000. ANRH, 1993. (Données moyennes de 60 ans, 1921 à 1960 et 1968 à 1989).....	55
Figure II.5 : Variation des précipitations pour une série récente (1990-2017) de la station de Souk Ahras ; a : les précipitations interannuelles en mm ; b : les précipitations moyennes mensuelles en mm ; c : les précipitations saisonnières en mm ; d : les précipitations saisonnières en %.....	57
Figure II.6 : Variation des températures pour une série récente (1990-2017) de la station de Souk Ahras ; a : températures interannuelles en °C ; b : températures moyennes mensuelles en °C ; c : températures moyennes saisonnières en °C.....	59
Figure II.7 : Diagramme ombro-thermique de la région de Souk Ahras.....	61
Figure II.8 : Variation de l'humidité relative (en %) pour une série récente (1990-2017) de la station de Souk Ahras ; a : variation interannuelle de l'humidité relative ; b : variation des moyennes mensuelles de l'humidité relative c : variation des moyennes saisonnières ; d : les pourcentages des variations des moyennes saisonnières de l'humidité relative.....	62
Figure II.9 : Variation de l'insolation (en heure) pour une série récente (2008 - 2017) de la station de Souk Ahras ; a : variation des moyennes mensuelles de l'insolation b : variation des moyennes	

saisonniers en heure ; c : les pourcentages des variations des moyennes saisonnières de l'insolation.....	64
Figure I.10 : Variation de l'évaporation (en mm) pour une série récente (2008-2017) de la station de Souk Ahras ; a : variation des moyennes mensuelles de l'évaporation b : variation des moyennes saisonnières en mm ; c : es pourcentages de variation des moyennes saisonnières de l'évaporation.....	65
Figure II.11 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite (station de Souk Ahras ; 1990-2017).	68
Figure II.12 : Représentation graphique du bilan hydrologique (station de Souk Ahras ; 1990-2017).....	69
Figure II.13 : Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000, couvrant la zone d'étude.....	73
Figure II.14 : Carte géologique simplifiée de la zone d'étude (digitalisé à partir les cartes géologique à 1 :50 000 de : Souk Ahras « feuille N°77 »; M'daourouch « feuille N°100 »; Sedrata « feuille N°99 » et la carte de Abdi «feuille N°76 ».....	75
Figure II.15 : Colonnes litho-stratigraphiques des unités telliennes d'Ouled Driss (in Chabbi et al. 2016).	76
Figure II.16 : Délimitations des trois domaines triasiques dans les confins Algéro-Tunisiens (Vila et al, 1993).	80
Figure II.17 : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude.....	84
Figure II.18 : Situation géographique des bassins versant de l'E Algérien.....	87
Figure II.19 : Le réseau hydrographique de la zone d'étude.....	88
Figure II.20 : Les aquifères de la wilaya de Souk Ahras.....	91
Figure II.21 : La carte d'aléa sismique de l'Algérie (Selon R.P.A., 2003).....	92

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

Figure III.1 : Carte d'inventaire des glissements de terrains dans la zone d'étude montre la répartition spatiale de 301 points de glissements.....	99
Figure III.2 : l'inventaire des glissements de terrain par une interprétation systématique des images satellites, de Google Earth.....	100
Figure III.3 : Carte lithologique de la zone d'étude.....	101
Figure III.4 : Carte des faciès géologiques à comportement similaire.....	104
Figure III.5 : La répartition des glissements de terrain (en %) en fonction des classes de faciès géologiques à comportement similaire (en %)......	104
Figure III.6 : Le nombre et le pourcentage des glissements de terrain en fonction des âges stratigraphique.....	105
Figure III.7 : Image satellitaire de positionnement des échantillons dans la région d'étude, (image satellitaire par Google Earth).....	112
Figure III.8 : Variation des valeurs de l'indice de plasticité (IP) en fonction de la limite de liquidité (W_L) déterminée à la coupelle de Casagrande, obtenus pour les 14 échantillons analysés.....	117
Figure III.9 : Variation des valeurs de l'indice de liquidité en fonction de la résistance au cisaillement non drainée, pour $d = 5$ mm.....	118
Figure III.10 : Variation des valeurs de l'indice de liquidité en fonction de la résistance au cisaillement	

non drainée, pour d = 10 mm.....	1119
Figure III.11 : La relation entre les valeurs des limites de liquidité obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration « LL _{Casagrande} et LL _{cône} ».....	121
Figure III.12 : Corrélation entre les valeurs des limites de liquidité et les limites de plasticité obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration.....	121
Figure III.13 : Corrélation entre les valeurs des limites de liquidité et l'indice de plasticités obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration.	122
Figure III.14 : Projection des mesures de (Wl et Ip) des sols étudiés sur l'abaque de Casagrande (classification LPC des sols fins).....	128
Figure III.15 : Position des minéraux argileux les plus communs sur l'abaque de plasticité de Casagrande (Inspiré de Casagrande, 1948, et de Mitchell, 1976).....	129
Figure III.16 : Diagrammes de diffraction des rayons X des échantillons non orienté (échantillon 09, 11 et 12 respectivement).	131

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

Figure IV.1 : Situation géographique de la zone d'étude, présentée sur le modèle numérique de terrain ...	137
Figure IV.2 : Carte de l'inventaire des glissements de terrain dans la limite de la zone d'étude	141
Figure IV.3 : Carte des faciès géologiques à comportement similaire.....	142
Figure IV.4 : La distribution des glissements de terrain pour chaque classe lithologique.....	143
Figure IV.5 : La carte de la distance par rapport aux discontinuités tectoniques de la zone d'étude.....	144
Figure IV.6 : La distribution des glissements de terrain pour chaque intervalle de distance par rapport aux discontinuités tectoniques.....	144
Figure IV.7 : La distribution des glissements de terrain pour chaque intervalle de distance par rapport aux routes.	145
Figure IV.8 : La carte de la distance par rapport aux routes de la zone d'étude.....	146
Figure IV.9 : Carte pluviométrique de la zone d'étude.....	147
Figure IV.10 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et la précipitation.....	147
Figure IV.11 : Carte des pentes de la zone d'étude.....	148
Figure IV.12 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et les classes des pentes.	149
Figure IV.13 : La répartition spatiale des glissements de terrain dans chaque classe d'altitude.....	149
Figure IV.14 : Carte d'altitude de la zone d'étude.....	150
Figure IV.15 : Carte d'aspect de la pente de la zone d'étude.....	151
Figure IV.16 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et l'aspect de la pente.....	151
Figure IV.17 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et les classes de la courbure longitudinale.....	152
Figure IV.18 : La carte de la courbure planiforme de la zone d'étude.	153

Figure IV.19 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et les classes de la courbure planiforme.....	153
Figure IV.20 : La carte de la courbure longitudinale de la zone d'étude.....	154
Figure IV. 21 : La carte de la proximité aux drains du réseau hydrographique de la zone d'étude.....	155
Figure IV.22 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et la proximité aux drains du réseau hydrographique.....	155
Figure IV.23 : Cartes de susceptibilité aux glissements de terrain a : à l'aide du modèle des rapports de fréquence « Fr » ; b : en utilisant le modèle de la théorie de l'évidence « WoE » ; c : à l'aide du modèle de la régression logistique « RL ».....	164
Figure IV.24 : Histogramme des zones des glissements de terrain par rapport aux classes de susceptibilité généré par les trois modèles « LR, FR et WoE ».....	167
Figure IV.25 : Les courbes AUC représentant la qualité des modèles : a . Taux de réussite ; b . Taux de prédiction.....	169

LISTE DES PHOTOS

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

Photos III.1 : Instabilité affectant les alluvions fluviales (galets, graviers, limons sableux et sables) du bord de l'oued Djedra ; point de prélèvement de l'échantillon N°14 (7° 59' 22,151"E et 36° 17' 32,798"N).	106
Photo III.2 : Glissement de terrain affectant les marnes argileuses du miocène moyen-supérieur ; 36°13'15,5906"E, 7°51'36,5156"N /RN 81, PK 88 ».....	107
Photos III.3 : Glissement de terrain affectant les argiles du Numidien, en face de l'université de Souk Ahras. C'est le point de prélèvement de l'échantillon 13; 7°55'45,66"E et 36°17'45,225"N.	108
Photos III.4 : Affleurement du gypse dans les argiles de Trias sur un versant instable ; 36°8'48,3022"N et 7°48'44,4866"E/ RN 81 ; PK : 81+100.	109
Photos III.5 : Formation d'argile versicolore du Trias ; 36°13'46,5335"N et 7°51'51,5282"E/ RN 81 ; PK : 89+300.	110
Photos III.6 : Glissement de terrain affectant les formations de l'Eocène inférieur-moyen : marnes argileuses noires à rognons calcaires jaunes. C'est le point de prélèvement de l'échantillon 02 ; 7°52'24,2945"E et 36°9'15,3848" / RN 81B ; PK 2+900.	111

LA LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : INTRODUCTION SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Tableau I.1 : Classification des glissements de terrain d'après la profondeur de la surface de glissement (en m sous la surface du sol).....	38
---	----

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA REGION DE SOUK AHRAS

Tableau. N° II.1 : Coordonnée de la station de Souk Ahras.....	56
Tableau N° II.2 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières pour la station de Sous Ahras (période : 1990-2017).....	56
Tableau N° II.3 : Températures moyennes mensuelle et saisonnières pour la station de Sous Ahras (période : 1990-2017).....	58
Tableau N° II.4 : L'humidité moyennes mensuelles et interannuelle pour la station de Sous Ahras (période : 1990-2017).....	61
Tableau N° II.5 : Durée moyenne mensuelle de l'insolation enregistrée à la station de Souk Ahras (période : 2008-2017).....	63
Tableau N° II.6 : Evaporation en mm et en % mesurée à la station de Souk Ahras (période : 2008-2017).....	65
Tableau N° II.7 : Type de climat selon l'indice d'aridité de Martonne (1923).....	66
Tableau N° II.8 : Bilan hydrique de la région de Souk Ahras selon Thorntwait (station de Souk Ahras : 1990-2017).....	67

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

Tableau N° III.1 : Classification des unités lithologiques de la zone d'étude	102
Tableau N° III.2 : L'emplacement des échantillons prélevés.....	113
Tableau N° III.3 : Valeurs de référence au bleu et activité des minéraux Argileux.....	115
Tableau N° III.4 : Classification des sols sur base de l'indice de plasticité (Casagrande, 1958 ; Centre de recherches routières, 1981).....	116
Tableau N° III.5 : Résultats des essais de limites d'Atterberg déterminées par la coupelle de Casagrande et par le cône de pénétration.....	120
Table N° III.6 : Les équations de corrélation des valeurs LP, IP avec LL.....	123
Tableau N° III.7 : Résultats de la teneur en carbonate de calcium.....	125
Tableau N° III.8 : Résultats de l'essai au bleu de méthylène.....	126
Tableau N° III.9 : La moyenne des valeurs des limites d'Atterberg.....	127

**CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A
L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX
GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE
L'ALGERIE**

Tableau N° IV.1 : Les valeurs de poids de chaque classe de facteur causatif calculé par le modèle de rapport fréquence et du modèle de la régression logistique..... 157

Tableau N°IV.2 : Les valeurs de poids de chaque classe de facteur causatif calculé par le modèle de la théorie de l'évidence..... 160

Tableau N° IV.3 : Les cinq classes de la susceptibilité aux glissements de terrain..... 149

INTRODUCTION GENERALE

I. Introduction et problématique

Les glissements de terrain sont définis comme des déplacements de masses de sols ou roches le long d'un talus sous l'action de la gravité. Les glissements de terrain font partie des mouvements de masses qui englobent les écroulements, les éboulements et les coulées boueuses (Cruden et Varnes 1996). A l'échelle de la planète, ces mouvements de masses ont causé des dommages qui sont restés profondément ancrés dans la mémoire de l'humanité. Leur effet s'intensifie davantage dans les régions sous-développées du Tiers Monde où les populations sont plus vulnérables. Ils sont un véritable obstacle au développement, car des sommes colossales d'argent sont déversées pour remédier aux dommages résultant de ces phénomènes.

Dans la région de Souk Ahras, comme dans beaucoup de régions de l'Atlas tellien, les glissements de terrain sont très répandus et affectent pratiquement tous les versants naturels et particulièrement les zones peu ou pas boisées. Chaque année pluvieuse on enregistre plusieurs coupures de routes par les glissements de terrain. Ces derniers, malgré les travaux de stabilisation, réapparaissent quand les conditions climatiques, qui les ont déclenchés la première fois, reviennent.

Cette situation serait due à la nature des matériaux des talus d'une part, et des facteurs déclenchant les mouvements, d'autre part. Les premiers s'appellent les facteurs de prédisposition, ou facteurs quasi statiques, et englobent la lithologie, la minéralogie, la morphologie, les accidents tectoniques et le couvert végétal. Le second groupe de facteurs, facteurs déclencheurs, regroupe les précipitations, les secousses sismiques et les activités anthropiques.

Ainsi, dans un glissement de terrain, une masse de sol perd son équilibre et glisse le long d'un talus quand les forces qui la retiennent deviennent inférieures aux forces déstabilisatrices. Cette situation survient quand les facteurs de prédisposition et de déclenchement sont favorables.

La susceptibilité aux glissements de terrain est donc la probabilité qu'un glissement se produise sur un territoire pour différentes conditions environnementales locales (Thiery et al 2005).

Dans le contexte d'une meilleure protection des biens et des populations contre les perturbations induites par les mouvements de masses, il est impératif d'étudier et d'établir une

carte de la susceptibilité aux glissements de terrain à travers la région de Souk Ahras. Cette dernière sera un document d'aide à la décision et à l'orientation des futurs projets d'aménagement et d'investissement infrastructurel dans la région.

Malgré l'abondante littérature sur ce phénomène, de nombreux problèmes subsistent et sont quotidiennement rencontrés par les géotechniciens et les géologues ingénieurs. Une partie de ces problèmes est parfois liée à un manque de connaissances sur les causes exactes à l'origine du déclenchement de ce phénomène et qui diffèrent d'un lieu à un autre. Tous, cependant, dépendent de ses caractéristiques intrinsèques.

Une bonne connaissance des facteurs intrinsèques et déclencheurs permet de prendre une meilleure décision quant au choix adéquat de la méthode de confortement des versants instables, ou l'exclusion des terrains concernés de l'assiette constructible à travers tout le territoire de la wilaya.

Il est bien connu que les glissements de terrain sont dus à la conjonction temporelle de plusieurs facteurs. Le présent travail s'articule autour trois questions fondamentales qui sont :

1°/ Les argiles, les pélites, les marnes, les évaporites (gypse, sel, etc.) et les limons, sont les formations où se produisent les glissements de terrain ; quelles sont les caractéristiques lithologiques, minéralogiques et géochimiques à l'origine de leur comportement instable dans certaines conditions ?

2°/ Quel est le lien, et, sous quelle forme, entre les caractéristiques géologiques (lithologie, minéralogie, structure) et les facteurs déclencheurs des mouvements des terrains ?

3°/ Quelle valeur aurait une cartographie basée sur la distribution spatiale des différents degrés de susceptibilité aux glissements de terrain dans la région de Souk Ahras ?

Pour répondre à ces questions, notre travail va s'articuler autour de deux axes :

1°/ L'analyse du contexte géologique (lithologie, structure, sismo-tectonique, morphologie) de ces formations meubles et l'étude de leurs propriétés mécaniques, minéralogiques et géochimiques, grâce à quelques échantillons prélevés dans les formations affectées par les glissements de terrain;

2°/ L'analyse du contexte hydrologique, hydrogéologique et topographique, ainsi que l'environnement climatique (pluviométrie, température), et l'action anthropique éventuelle, afin de déterminer le niveau de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la région d'étude.

La synthèse sera ensuite présentée sous forme d'une carte de susceptibilité aux glissements de terrain, matérialisant le degré de sensibilité de cette région à ce genre de phénomène.

II. La méthodologie adoptée

L'évaluation et la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain pour chaque pixel de la zone d'étude nécessitent de mettre en œuvre un ensemble de méthodes pertinentes, comme elles nécessitent de croiser les données provenant des différentes sources pour répondre de manière adéquate à l'objectif ciblé. Ainsi, différentes méthodes sont utilisées :

- La méthode experte ou (directe) qui dépend du jugement de l'expert ;
- La méthode mécanique, qui est plus exacte mais plus laborieuse ;
- L'approche indirecte où statistique qui donne de très bons résultats pour l'étude des territoires de grande étendue, si les facteurs de prédisposition et déclencheurs sont bien identifiés dans l'inventaire.

La méthodologie qui va être adoptée dans l'analyse spatiale de la susceptibilité aux glissements de terrain va être étudiée via une approche multiple où plusieurs méthodes vont être utilisées :

- Une approche déterministe ou mécanique : la préparation des échantillons jusqu'au traitement et l'analyse des résultats en passant par l'acquisition des données ;
- Une approche indirecte ou statistique basée sur trois modèles à savoir : Frequency Ratio, Weighted of Evidence et la Régression Logistique.

Les résultats issus de ces modèles vont être comparés entre eux puis comparés à la carte d'inventaire. Les calculs statistiques, l'évaluation de la susceptibilité et la cartographie vont être élaborés dans un environnement SIG tel que le logiciel d'ARC GIS et ses modules.

Cette méthode multiple contribue à une grande réduction de la subjectivité quant à l'estimation de la susceptibilité et l'évaluation de sa répartition.

Enfin, afin d'assurer une plus grande précision, il est indispensable d'établir un programme rigoureux, qui combine la mise en œuvre des différentes techniques selon le plan de travail énoncé ci-dessous.

CHAPITRE I : INTRODUCTION SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

- Définition d'un glissement de terrain ;
- La cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain ;
- L'apport des SIG dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain ;
- Les causes des glissements de terrain ;
- La typologie des glissements de terrain ;
- Description et repérage des glissements de terrain ;

- Méthodes d'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain ;
- La prévention et la protection des glissements de terrain.

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA REGION DE SOUK AHRAS

- Localisation géographique ;
- Aperçu économique et infrastructurel ;
- Climat et végétation ;
- Contexte géologique de la région de Souk Ahras ;
- Le cadre géomorphologique ;
- Aperçu hydrologique et hydrogéologique;
- Le contexte sismique ;

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

- Elaboration d'un inventaire des glissements de terrains.
- Présentation géologique des versants affectés par des glissements de terrain ;
- Caractérisation géotechniques et minéralogique des matériaux impliqués dans les glissements de terrain.

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

- La méthodologie de l'étude ;
- La base de données des glissements de terrain ;
- Modèles statistique de la cartographie des glissements de terrain :
 - ✓ Modèle de Frequency Ratio ;
 - ✓ Modèle de Weighted of Evidence ;
 - ✓ Modèle de Regression Logistique.
- Validation des cartes de la susceptibilité aux glissements de terrain

CONCLUSION GENERALE

CHAPITRE I

INTRODUCTION SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

CHAPITRE I : INTRODUCTION SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

I. INTRODUCTION

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels ponctuels. Ils font partie de l'ensemble des processus de la géodynamique externe connu par les mouvements de masse. Ils impliquent une rupture de pente qui entraîne un déplacement de matériaux déstabilisés par l'interaction de plusieurs facteurs d'origine naturels et/ou anthropiques. Ils sont néanmoins responsables de dommages et de préjudices importants et coûteux et causent parfois des victimes. Ces phénomènes se produisent dans des circonstances très variées et ils surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs. Ce problème constitue actuellement l'une des préoccupations majeure des ingénieurs chargés de la conception des ouvrages.

Ces phénomènes sont fortement spatialisés. Leur prévisibilité temporelle est quasi impossible à réaliser, en revanche leur prévisibilité spatiale, peut être plus abordable à établir. On trouve de nombreux ouvrages et articles qui traitent de l'analyse des mouvements de terrain, et en particulier les glissements de terrain, avec des outils et des méthodes de recherche de plus en plus évolués. Ces méthodes ont été développées pour la compréhension de ce phénomène, l'analyse de la stabilité des pentes et la cartographie de leur susceptibilité.

L'étude des glissements de terrain n'est pas purement théorique; il s'agit d'améliorer, dans la mesure du possible, des décisions impliquant des vies humaines et marquant l'espace par des aménagements, donc aussi d'orienter le développement économique et social des secteurs concernés. En conséquence, il s'agit aussi d'expertise scientifique; qui exige une approche pluridisciplinaire.

L'objectif de ce travail de recherche présenté dans ce chapitre était de contribuer à la compréhension des notions de base concernant les méthodes de l'étude et de la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain. Ainsi que, les causes d'origine naturelle et les principales interventions humaines inappropriées pouvant agir comme facteur aggravant ou déclencheur. Les principaux types de glissements de terrain pouvant se produire, sont également présentés.

II. Définition d'un glissement de terrain

Les glissements de terrain sont des processus géologiques et géomorphologiques naturels qui contribuent de manière significative à façonner les paysages de la terre (Dewitte 2006), et peuvent provoquer des dommages importants aux ouvrages et aux constructions, avec un impact économique sensible, et parfois causer des victimes.

Il s'agit du déplacement d'une masse de terrain (Fig. I.1) le long d'une surface de rupture identifiable. Cette surface a une profondeur varie de l'ordre du mètre à quelques dizaines voire quelques centaines de mètres dans des cas exceptionnels. Ils évoluent à des vitesses de quelques centimètres à quelques mètres par ans, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure. Ils sont délimités dans leur partie amont par une zone déterminée par un ou plusieurs arrachements apparents et dans leur partie aval par des bourrelets où s'accumulent les matériaux glissés.

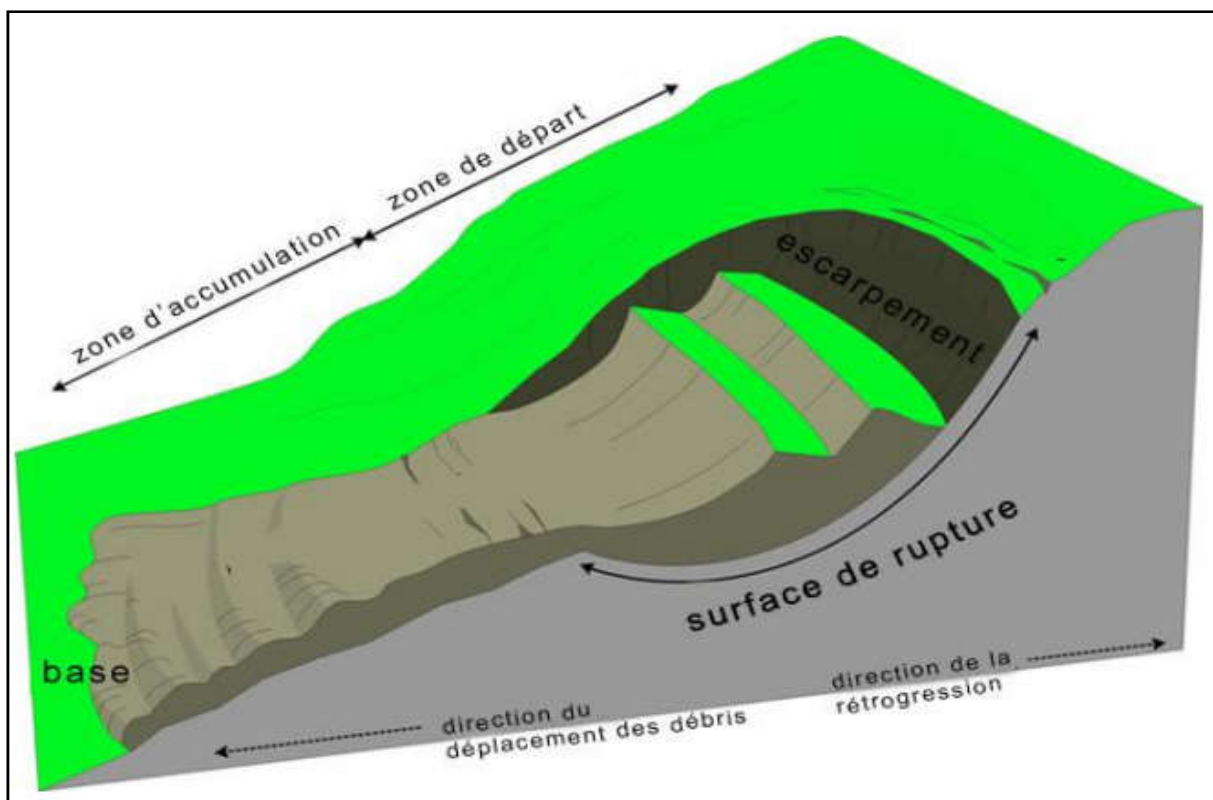


Figure I.1 : Modèle type d'un glissement de terrain.

III. La cartographie de risque glissements de terrain

Dans le domaine de la cartographie des risques, on considère 4 niveaux de cartes, à complexité et intégration croissante et avec des précisions de prévision très variables. Les premières sont les cartes d'inventaire de mouvements de terrain (landslide inventory maps) qui, selon l'échelle, représenteront la position des mouvements et ses différents composants (Spieker & Gori, 2003). Les cartes de susceptibilité (landslide susceptibility maps), spatialisent les facteurs déterminants dans le déclenchement des mouvements de terrain afin de déterminer les zones sensibles mais (Poiraud, 2007) sans probabilité temporelle (intemporalité de l'aléa). Ces cartes donnent une indication quant à la probabilité d'occurrence spatiale des phénomènes et sont considérées comme l'expression de l'aléa relatif (Hartlen & Viberg, 1988). Une troisième catégorie de cartes regroupe les cartes d'aléa (landslide hazard maps) à proprement parler qui, selon Varnes (1984), représentent « la probabilité d'occurrence dans une période de temps donnée et dans un espace donné d'un phénomène potentiellement destructeur ». Elles expriment l'information en termes de probabilité annuelle d'occurrence, par zone. Enfin, les cartes de risque (landslide risk maps) combinent les éléments d'aléa avec les éléments quantifiant la vulnérabilité. Elles peuvent par exemple représenter le risque en termes de coût annuel potentiel ou de pertes potentielles en vies humaines (Spieker & Gori, 2000). Ce type de cartes est très complexe car il nécessite une estimation et une quantification de la vulnérabilité (Poiraud, 2007).

IV. La cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain

L'étude de la susceptibilité aux glissements de terrain est l'évaluation de la distribution spatiale des glissements de terrain existants ou susceptibles de se produire dans une région donnée (Corominas, et Mavrouli, 2011). Elle peut être indiquée qualitativement (élevée, modérément faible et non susceptible) ou quantitativement (la densité en nombre par kilomètre carré, la superficie affectée au kilomètre carré, facteur de sécurité ou probabilité de défaillance etc.) (Corominas, et Mavrouli, 2011). Elle peut être considérée comme la première étape vers une évaluation des dangers et des risques de glissements de terrain. Mais il peut aussi s'agir d'un produit final en soi, pouvant être utilisé dans le zonage de l'occupation des sols et l'évaluation de l'impact sur l'environnement. C'est particulièrement le cas dans les analyses à petite échelle ou dans les situations où il n'y a pas suffisamment d'informations disponibles sur les occurrences antérieures de glissements de terrain afin d'évaluer la

probabilité de glissements de terrain dans l'espace, le temps et la taille (magnitude) (Corominas, et Mavrouli, 2011).

Toutes les méthodes disponibles, qui sont utilisées couramment dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain et l'évaluation des dangers sont basées sur des principes ou hypothèses largement acceptés (Varnes 1984 ; Carrara et al., 1991; Guzzetti 2004), à savoir, le passé et le présent sont des clés pour l'avenir. Ce principe implique que les glissements de terrain à l'avenir sont plus susceptibles de se produire dans des conditions géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques et climatiques similaires qui ont été, et sont responsables de la survenue de glissements de terrain passés et présents. Ainsi, il est possible d'estimer le style, la fréquence d'occurrence, l'étendue et les conséquences des défaillances pouvant survenir à l'avenir. Il ne s'ensuit pas nécessairement que l'absence des instabilités passés ou présents signifie que ils ne se produiront plus dans l'avenir (Varnes 1984).

V. L'apport des SIG dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain

Un système d'information géographique (SIG) peut être défini comme étant un environnement de gestion et d'exploitation d'une information à caractère spatial. Cet environnement permet l'exploitation des dimensions thématiques, spatiales et temporelles de l'information à des fins de description, d'analyse et de prévision de la réalité considérée. Le cœur d'un tel système est une base de données qui concentre toute l'information sur la zone d'étude concernée, sous forme de différentes couches d'information ou plans d'information géo-référés. Le système informatique permet la saisie, le stockage et le traitement de données, ainsi que la présentation des documents finaux résultant des traitements (Caloz, 1993). La simplicité et l'unicité des formats de fichiers permettent une continuité dans les traitements susceptibles d'être automatisés.

En 1970 s'est tenu la 1ère conférence mondiale du SIG à Ottawa avec seulement 40 participants (Chacon et al., 2006). L'utilisation de l'outil s'est démocratisée durant les années 80, en relation avec le développement des capacités de calcul informatique et de la puissance des processeurs (Chacon et al., 2006). Depuis le début des années 90, la littérature scientifique s'enrichit de nombreux articles sur l'application du SIG dans la cartographie de l'aléa et des risques et l'outil a permis de pousser très loin la connaissance des facteurs d'instabilité (Van Westen et al., 2003).

La majorité de la partie pratique de ce mémoire a été réalisée à l'aide de ce type de logiciels, se qui nous a permis de générer l'information, de l'organiser, de la représenter et de l'interpréter. Les SIG incluent généralement une fonctionnalité de base de données relationnelle incorporant des attributs de données spatiales, avec des capacités d'effectuer des analyses spatiales puissantes. Ce qui permet de traiter les caractéristiques naturelles comme faisant partie d'un système spatial, plutôt que comme un objet isolé. Les données utilisées dans ce processus peuvent provenir de diverses sources, souvent du projet lui-même (cartographie géologique, cartographie des glissements de terrain, levés GPS, sondages, etc.) et d'autres sources extérieures, y compris des organisations gouvernementales et autorités, entreprises privées et autres organisations spatiales (modèles numériques d'élévation, cadastre, courbes de niveau, photographie aérienne, utilisation des sols, végétation, etc.). Une fois toutes les variables créées, organisées et géo-référencées, elles peuvent être représentées et exploitées après la superposition de toutes ces informations basant sur l'une des méthodes de la cartographie des glissements de terrain afin d'avoir une carte de susceptibilité à ce phénomène.

VI. Difficultés liées à la cartographie des glissements de terrain

Les glissements de terrain sont généralement des processus isolés dont la taille ne peut pas être très importante mais qui peuvent survenir à une fréquence élevée dans une région. Contrairement aux événements dangereux qui affectent de vastes zones, telles que les tremblements de terre ou les inondations, la génération des cartes et de bases de données d'inventaire des glissements de terrain est une procédure fastidieuse. Les glissements de terrain doivent être cartographiés et décrits un par un, et chacun peut avoir des caractéristiques différentes. Dans la plupart des pays, il n'existe pas un seul organisme responsable de la gestion d'une base de données sur les glissements de terrain. Au mieux, plusieurs organisations, telles que le département des travaux publics ou le département des routes, ne traiteront que les glissements de terrain qui ont affecté leur zone d'intérêt (par exemple, le réseau routier), ce qui aboutit à des bases de données incomplètes et biaisées. Les journaux et autres archives historiques ne mentionnent que les événements qui ont causé des dommages importants. Les universités et les instituts de recherche travaillent sur des cartes d'inventaire de glissements de terrain, mais principalement dans le cadre d'un projet de recherche d'une durée limitée, donc la base de données sur les glissements de terrain n'est plus tenue à jour. Il est très difficile d'obtenir des cartes complètes de l'inventaire des glissements de terrain, tant

pour la zone couverte que pour la période étudiée (Ibsen et Brunsden, 1996). Même lorsqu'une telle carte existe, elle fournit rarement des informations adéquates sur le type et les caractéristiques de la rupture de la pente.

Un moyen de résoudre ce problème consiste à compléter les informations historiques par des interprétations de glissements de terrain à partir de photographies aériennes ou d'images satellitaires. Cela permettrait des cartes d'inventaire des glissements de terrain pour des périodes fixes, liées aux images disponibles. Cependant, pour la plupart des glissements de terrain cartographiés, la date exacte de l'événement reste inconnue, ce qui rend difficile toute corrélation entre le glissement de terrain et un événement déclencheur, d'autant plus que différents types de glissements de terrain ont des déclencheurs météorologiques différents. Ce manque de cartes d'inventaire des glissements de terrain pose également des problèmes pour l'établissement de relations de vulnérabilité et pour la validation des cartes de risques de glissements de terrain.

VII. Difficultés liées à l'évaluation de la probabilité spatiale

Pour obtenir des cartes quantitatives des risques, la première exigence essentielle consiste à effectuer une évaluation quantitative des dangers. La plupart des cartes de risques sont encore de nature qualitative et se concentrent essentiellement sur la détermination de la susceptibilité, ce qui peut être considéré comme une indication relative de la probabilité spatiale. La probabilité spatiale ou la susceptibilité aux glissements de terrain peuvent être obtenues en utilisant différentes approches analytiques. L'évaluation statistique des risques de glissements de terrain est devenue très populaire, en particulier avec l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG) et la possibilité d'appliquer des techniques d'intégration de données développées dans d'autres disciplines.

Cela nécessite une carte d'inventaire des glissements de terrain qui est utilisée en combinaison avec une série de facteurs environnementaux et est basée sur l'hypothèse que les glissements de terrain se produiront probablement dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles ils se sont produits récemment. Cependant, les conditions du terrain changent après l'apparition d'un glissement de terrain et, par conséquent, de nombreux facteurs environnementaux, tels que la valeur de la pente, sont différents après l'apparition du glissement de terrain.

La combinaison spécifique de facteurs environnementaux est très différente pour différents types de glissements de terrain, ainsi que leurs profondeurs et volumes. Très peu

d'études développent des modèles statistiques distincts pour différents types de glissements de terrain et la plupart fusionnent tous les glissements de terrain actifs en un seul groupe, utilisé pour générer des relations statistiques. L'évaluation statistique de la sensibilité aux glissements de terrain ne prend pratiquement jamais en compte les facteurs déclenchant; dans ce cas, il s'agit principalement de la variation spatiale du facteur (par exemple, la quantité de précipitations, l'accélération sismique) et non l'aspect temporel.

En outre, la distribution spatiale des facteurs environnementaux est extrêmement difficile à mesurer. Par exemple, si l'épaisseur du sol est inconnue, le rapport entre la hauteur de la surface de la nappe phréatique et l'épaisseur du sol est également inconnu. Ce rapport est un paramètre sensible pour la stabilité des pentes. Bien que les modèles géomorphologiques donnent une certaine prévision de la profondeur du sol, sa variabilité spatiale est grande. Les processus d'altération dans les roches sous-jacentes sont un facteur souvent négligé. Les propriétés des matériaux (c et ϕ) sont difficiles à mesurer pour de nombreux points sur de grandes surfaces et montrent une grande variabilité spatiale.

VIII. Les causes des glissements de terrain

L'analyse des causes des glissements de terrain met en évidence un certain nombre de paramètres qui interviennent à différentes échelles de temps et qui peuvent être regroupés en trois catégories (Fig. I.2) : les facteurs de prédisposition, les facteurs aggravants et les facteurs déclenchant. Ces trois aspects sont brièvement présentés ci-dessous.

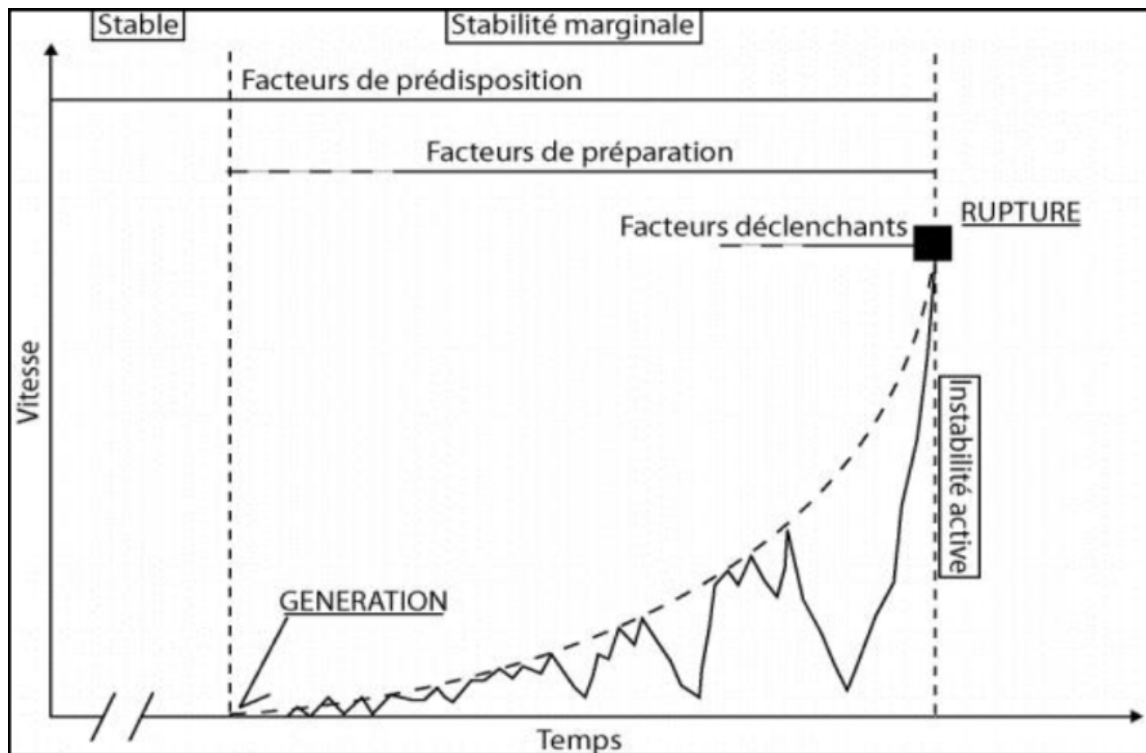


Figure I.2 : illustration de la genèse d'un glissement de terrain par un graphique montrant les vitesses de déplacement du versant en fonction du temps, (Pollet, 2004).

VIII.1 Facteurs de prédisposition

Les facteurs de prédisposition correspondent aux conditions intrinsèques d'un versant et ne sont pas susceptibles de changer au cours du temps (échelles comprises entre 10⁴ et 10⁶ années). Il s'agit des conditions environnementales de lente évolution à l'échelle du phénomène glissement de terrain, qui décrivent le contexte étudié en fonction notamment de la nature géologique du sol et sous-sol des conditions géotechniques des terrains, de la morphologie et de la topographie et les conditions hydro climatique de surface. Certaines des ces conditions, prises isolément ou par combinaison avec d'autres, peuvent être propices à générer un déséquilibre du versant.

VIII.1.1 Action de la pesanteur

L'action de la pesanteur est le moteur principal du mouvement. La stabilité d'un bloc est donnée par le rapport entre les forces stabilisantes et les forces déstabilisantes. On parle du facteur de sécurité (F). Si celui-ci est inférieur à 1, il y a rupture de l'équilibre, et s'il est supérieur à 1, il y a conservation de l'équilibre. Si l'on augmente le poids d'un bloc ou d'une portion de terrain, cela engendrera une augmentation des forces déstabilisantes et le rapport F

diminuera jusqu'à atteindre le seuil d'équilibre limite avant rupture. L'action de la pesanteur, en tant que facteur de mouvement, est intimement liée à l'action anthropique, car le plus souvent l'homme change les conditions du milieu vers, et parfois au-delà, de la limite de rupture, soit par surcharge, soit par suppression de la butée en pied (Besson, 1996).

VIII.1.2 La nature et les caractéristiques mécaniques des terrains

Représente un facteur conditionnant majeur dans la stabilité des versants aussi bien par, la nature des matériaux que par leur comportement géotechnique.

Les problèmes les plus critiques de stabilité des pentes se présentent sur les sols à grains fins et particulièrement sur les argiles (Bendjeddou, 2015). Les formations superficielles récentes, généralement non consolidées, tapissant les versants à forte pente, sont vulnérables et instables. Les formations anisotropes (formations stratifiées) présentent souvent des alternances de niveaux durs et tendres (marno-calcaires, comme exemple) qui ont un comportement mécanique et hydraulique particulier, souvent défavorable à la stabilité. Les terrains affectés par de grands glissements anciens, dits fossiles, sont cependant fragilisés et donc sensibles à une perturbation d'origine naturelle ou humaine. La variation importante lithologique, dans une même formation géologique peut être à l'origine d'une répartition des mouvements de terrain.

Les caractéristiques mécaniques des terrains représentent les données de base imposées par la nature et l'histoire du terrain. Le processus qui mène à une telle instabilité commence en fait dès la formation de la roche, c'est à dire lorsque les propriétés chimiques et physiques de celle-ci sont bien établies. Ces propriétés déterminent notamment son comportement face à l'altération et à l'érosion.

VIII.1.3 La structure des terrains

L'activité tectonique récente à actuelle peut conditionner ou déclencher un mouvement de masse au niveau de la zone de broyage des failles (cisaillements et/ou décrochements) formée de matériaux fragilisés.

Les discontinuités qui affectent les roches cohérentes jouent un rôle déterminant dans la stabilité des massifs rocheux. Elles constituent des surfaces de faiblesse sur lesquelles se désigne la rupture et qui peuvent être à l'origine d'une étude de prédiction du mécanisme et du type de glissement en se basant sur leurs orientations. Les joints sédimentaires, plans de

schistosité ou de foliation sont eux aussi des surfaces de faiblesse qu'il faut prendre en compte. Ils jouent le même rôle que les discontinuités (favorisant l'instabilité des massifs).

Les discontinuités qui favorisent le glissement le long d'un versant sont celles qui sont sensiblement parallèles aux versants, et constituant des surfaces de glissements potentielles. Superficielles, quand il s'agit par exemple de la limite qui sépare un sol de la roche qui le supporte ; et parfois plus profondes, et plus nettes, quand il s'agit de discontinuités structurales dans des roches sédimentaires (Bendjeddou, 2015).

VIII.1.4 Les caractéristiques géomorphologique

La géomorphologie comprend la morphologie de la pente d'une région donnée, c'est-à-dire l'angle et l'aspect de la pente, ainsi que leurs caractéristiques physiques telles que les escarpements, la concavité / convexité, les orteils bombés, etc. L'angle de la pente influe directement sur l'instabilité. Une augmentation de la pente entraîne une modification de la contrainte interne de la roche ou de la masse du sol, ce qui entraîne une augmentation de la contrainte de cisaillement, ce qui perturbe les conditions d'équilibre de la roche ou de la masse du sol (Záruba et Mencl, 1982). De même, la modification de la hauteur de la pente entraîne une augmentation de la contrainte de cisaillement et la formation de fissures le long des zones faibles, ce qui provoque la rupture de la pente. Ce type de changement de pente peut être causé par des processus naturels tels que l'élévation des montagnes sous l'effet de forces tectoniques, la sous-coupe fluviale du pied d'une pente, le récurage des berges par des coulées de débris ou des activités anthropiques telles que l'excavation, la culture, le dynamitage de matériel de pente etc.

VIII.1.5 Conditions hydrogéologiques

Le déchargement de la nappe d'eau favorise la diminution de la pression interstitielle. Les formations qui étaient sous pression sont alors décontractées et les talus admettent momentanément des pentes raides. Alors que le chargement de la nappe rétablit la pression interstitielle qui fait diminuer, par son augmentation, la résistance au cisaillement du sol jusqu'à atteindre la rupture qui se manifeste alors sur le talus (fissure de traction, escarpement des berges etc..).

Les eaux souterraines en mouvement exercent une pression sur les particules de sol, ce qui peut provoquer une instabilité sur les pentes. L'eau souterraine lave également les matériaux de cimentation des sols, ce qui réduit la résistance mécanique du sol. Les eaux

souterraines perchées exercent une poussée ascendante sur les lits superposés, ce qui contribue à déclencher les glissements de terrain (Anderson et Burt, 1978).

VIII.1.6 La proximité du réseau de drainage

Généralement liée au phénomène d'érosion hydrique parmi lesquels on retrouve les sapements de berges. Ce phénomène se développe généralement dans les portions des cours d'eau où la vitesse d'écoulement est suffisamment puissante pour éroder la partie basale d'un versant.

VIII.2 Les facteurs de préparation

Les facteurs de préparation (aggravants) sont liés d'une part aux processus climatologiques à moyen et long terme (échelles comprises entre 10 et 104 années) et d'autre part à l'utilisation du sol. Les processus climatiques provoquent des impacts notamment sur l'altération des formations géologiques, sur les variations des conditions hydrogéologique et hydrologique, l'utilisation du sol peu également constitue un facteur aggravant pour les phénomènes de glissement de terrain, par exemple la déforestation, ou développement de l'urbanisation, par contre l'utilisation du sol peut parfois jouer un rôle stabilisant par une diminution des infiltrations par exemple.

VIII.3 Les facteurs déclenchant

Les facteurs de déclenchement des glissements de terrain sont ceux qui provoquent une accélération marquée du mouvement conduisant à la rupture, c'est-à-dire qui font passer la pente d'un état marginalement stable à un état marginalement instable. Ces phénomènes sont soit de courtes durées soit durée prolongée (échelle comprise entre quelques jours et quelques mois, voire quelque année).

Les facteurs de déclenchement sont liés à des phénomènes météorologiques et hydrologiques extrêmes, à des phénomènes sismiques et/ou à des activités anthropiques ponctuelles. Ils provoquent presque immédiatement des glissements de terrain en augmentant rapidement les contraintes ou en diminuant la résistance des matériaux de la pente (Wieczorek, 1996).

VIII.3.1 Les facteurs climatiques

VIII.3.1.1 Les précipitations

Les précipitations tiennent un rôle direct dans le déclenchement des mouvements de masse. En effet, la pluviométrie agit directement sur la réduction de la résistance au cisaillement et en rendant les terrains gorgés d'eau plus plastiques; ce qui a pour conséquence directe le déplacement de la masse sous son propre poids. Les glissements de terrain apparaissent souvent lors de périodes pluvieuses prolongées, lors de fonte de neige ou après une longue période humide, selon des mécanismes tels que :

- L'augmentation de la pression interstitielle dans les sols saturés, due à un épisode pluvieux exceptionnel ou à une fonte de neiges, qui entraîne une diminution de la résistance au cisaillement du sol. La saturation des sols par descente d'un front d'infiltration influe aussi et fait augmenter le poids moteur.
- Une réduction de la consistance d'une argile causée par l'augmentation de la teneur en eau, lorsque celle-ci se rapproche de la limite de liquidité w_l , le milieu passe de l'état plastique à l'état liquide et la résistance au cisaillement diminue.
- En outre, une augmentation de l'infiltration remplacerait les vides d'air dans les sols avec de l'eau, et la force significative obtenue à partir de la succion du sol serait perdue.
- L'augmentation des précipitations entraînera également un excédent d'eau dans les bassins versants causant l'augmentation des flux dans les cours d'eau et des inondations extrêmes. Cela pourrait provoquer l'érosion du pied des pentes naturelles dans les plaines inondables ou en bordure de cours d'eau. Ce processus peut déclencher un glissement de terrain dû à la réduction de la résistance en pied de falaise.

VIII.3.1.2 La température

D'un point de vue mécanique, le changement de température provoque des contraintes dites « thermique » dont l'intensité dépend de plusieurs facteurs. Ces contraintes produisent des dilatations (avec la hausse de la température) ou des contractions (avec la baisse de la température) des matériaux, qui peuvent conduire, à la fragmentation des masses de calcaire ou à des flexions déformantes sur des roches de faible épaisseur. Ces phénomènes ne dépendent pas seulement de la couleur du matériau, mais également de son hétérogénéité qui peut conduire à des déformations différentielles au cœur de matériau.

De plus, la température agit sur l'altération physico-mécanique (Gunzburger et al., 2004) par le biais de la gélivation en influençant la vitesse de refroidissement, la durée de gel et la température minimale atteinte. L'ensoleillement va avoir deux effets contradictoires : d'une part, favoriser les variations de température importantes entre le jour et la nuit et donc augmenter le nombre de cycles de gel-dégel et d'autre part, il va diminuer le degré de saturation du massif par évaporation et donc diminuer les effets de la gélivation.

La température affecte également les eaux souterraines. Comme la conductivité hydraulique du sol est fonction de la viscosité d'un fluide, la vitesse d'infiltration pourrait augmenter en raison d'une élévation de température. En outre, la masse d'eau souterraine subirait une dilatation thermique. Cette expansion thermique pourrait conduire à une élévation du niveau des eaux souterraines. Par conséquent, une augmentation significative de la température réduira la stabilité de la pente naturelle (Rathnaweera et al., 2013).

VIII.3.1.2 Le vent

Les effets du vent sur la stabilité des pentes se produisent de deux façons. Indirectement, ils affectent la végétation et donc la stabilité des pentes, comme indiqué ci-dessus. Cela peut conduire la végétation à disparaître par l'humidité réduite, et aussi à augmenter les risques d'incendie. La charge latérale sur les arbres en raison de forts vents de tempêtes est un autre effet sur la stabilité de la pente lorsque la direction du vent est en pente descendante. Concernant le versant rocheux, le vent influence la température de la roche et le degré de saturation. Le vent peut diminuer la température de la roche ou favoriser l'évaporation impliquant une diminution du degré de saturation. Cela influencera les effets de la gélivation.

VIII.3.2 Les sollicitations sismiques

La mise en vibration des éléments du sol et la modification des conditions de pesanteur provoquées par les séismes sont à l'origine du déclenchement des glissements de terrain, soit par action mécanique directe, soit par la modification des pressions interstitielles. D'après Guzzetti et al., 1999, la sismicité ne peut déclencher un mouvement de masse qu'à partir d'une magnitude critique d'activation de l'ordre de $M = 4^{\circ}$. Les ruptures associées aux tremblements de terre seront préférentiellement disposées là où les ondes sismiques sont amplifiées par la topographie, c'est-à-dire au sommet des pentes (Densmore et Hovius, 2000). Les tremblements de terre déclenchent aussi des glissements de terrain plus bas sur les pentes

et même dans des régions de relief très faible suite aux liquéfactions de matériaux meubles (Ewitte, 2006).

VIII.3.3 Actions anthropiques

L'aménagement de terrain provoque des déséquilibres qui causent l'accélération ou le déclenchement des instabilités, notamment :

- Les modifications de l'équilibre naturel des pentes ; talutage en pied de versant, remblaiement en tête de versant (Fig. I.3 et I.4) ;
- Les modifications des conditions hydrologiques du milieu naturel; rejets d'eau dans une pente (fluide de canalisation, par exemple), pompage excessif d'eau qui favorisent la dissolution des roches solubles, etc ;
- Les ébranlements provoqués par les tirs à l'explosif, qui sont susceptibles de déclenchement des chutes de pierres et de blocs ou vibrations dues au trafic routier ou ferroviaire qui peuvent déstabiliser à la longue des versants ;
- La construction d'ouvrages sur des versants (Fig. I.5) provoque de fréquents glissements avec surcharge et génération de fortes pressions interstitielles ou bien une diminution de la perméabilité des sols sous-jacents avec une perturbation de l'écoulement de la nappe et augmentation des pressions interstitielles (Besson, 1996) ;
- Le déboisement d'un versant entraîne fréquemment, et dans un délai généralement assez court, l'apparition de glissement de terrain, le risque associé au déboisement est grand lorsque celui-ci est accompagné d'un dessouchage qui désorganise le terrain en profondeur et favorise ensuite la pénétration des eaux dans la masse.

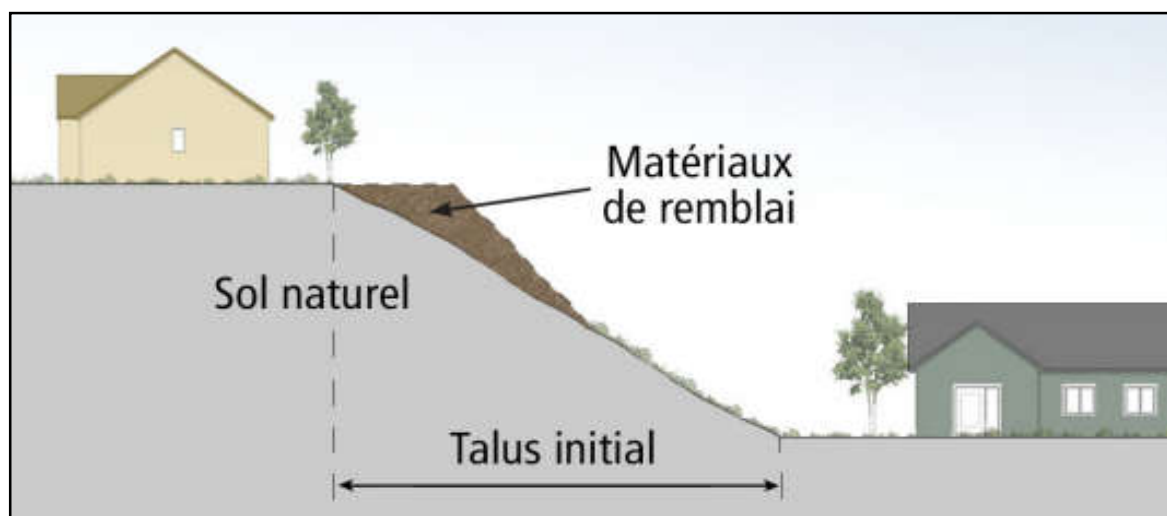


Figure I.3 : Croquis représentant un remblai pouvant être néfaste à la stabilité d'un talus.

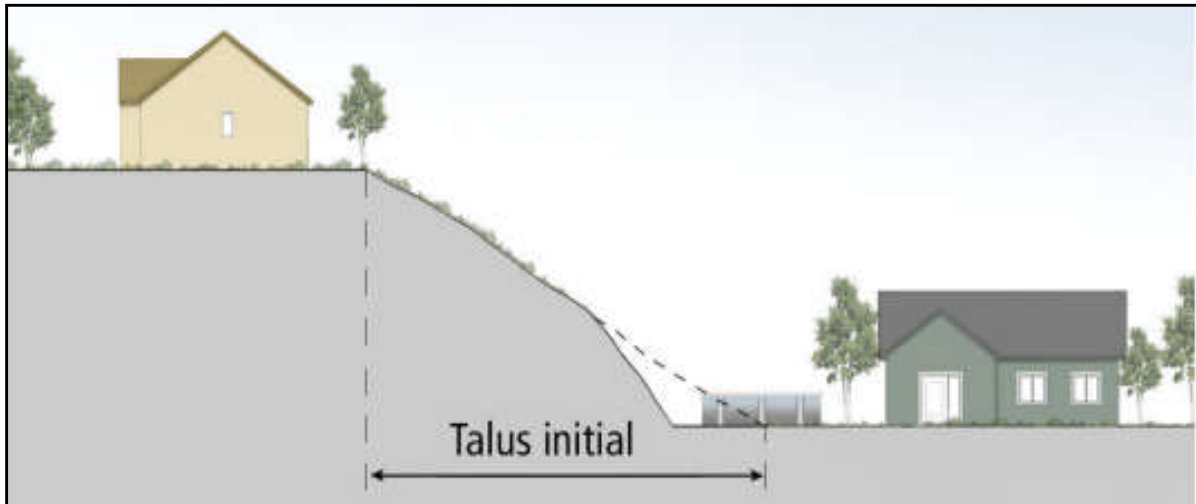


Figure I.4 : Déblai pouvant nuire à la stabilité d'un talus.

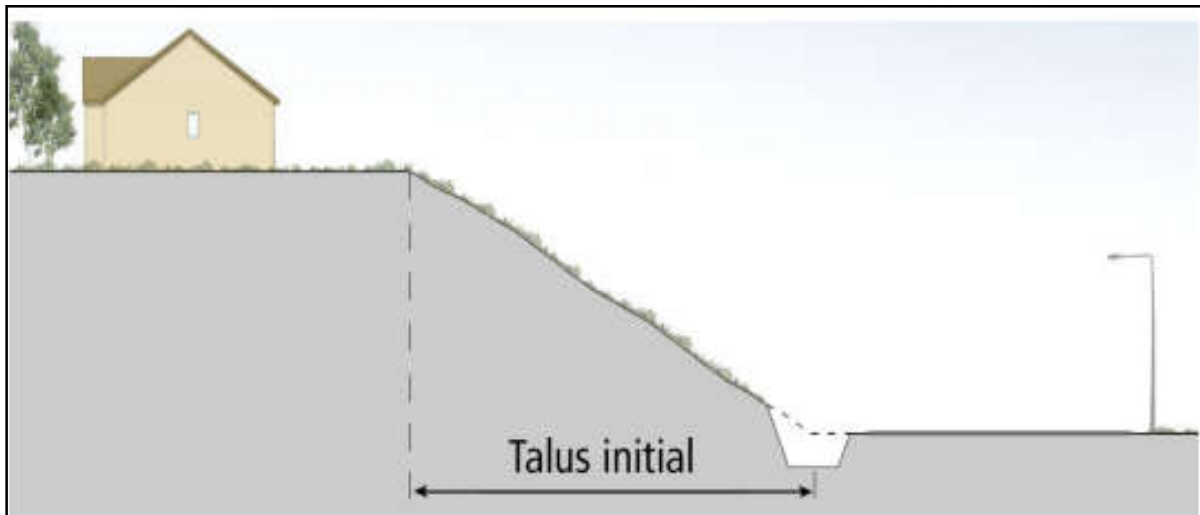


Figure I.5 : Excavation réalisée pour l'entretien des fossés pouvant être néfaste à la stabilité d'un talus.

IX. La typologie des glissements de terrain

Le glissement de terrain est un phénomène qui affecte, en général, des roches incompetentes et qui provoque le déplacement d'une masse de terrain avec rupture. Cette rupture peut se localiser soit au sein du même matériau, soit le long d'une interface entre les matériaux de couverture et le substratum. Selon [Dikau et al., \(1996\)](#), repris par [Maquaire \(2002\)](#), le glissement de terrain peut être défini comme un mouvement de pente vers l'aval. Il peut affecter à la fois une masse rocheuse et/ou de terrain plus meuble, le long d'une ou

plusieurs surfaces de rupture, ou suivant des zones relativement minces de déformation intense par cisaillement (Lopez Saez, 2011).

Les causes d'un glissement de terrains sont très diverses et variable, comme on a vu précédemment, cela est à l'origine de l'existence de nombreux classifications. L'analyse de la littérature existante montre que les auteurs ne sont pas d'accord sur une classification univoque des glissements de terrain. De nombreuses approches sont utilisées pour la classification des glissements de terrain par différents auteurs tels que Campbell (1951), Varnes (1958, 1978), Nemčok et al. (1972), Groupe de travail de l'UNESCO sur l'inventaire mondial des glissements de terrain (1990, 1993), Cruden et Varnes (1996) et Hungr et al. (2001).

La classification des glissements de terrain la plus largement acceptée est celle de Varnes (1978), avec les modifications proposées par Cruden et Varnes (1996).

IX.1 Classification des glissements de terrain selon la forme de la surface de rupture

La définition de la surface de rupture constitue dans la reconnaissance des mouvements de terrain, un point important. Varnes (1978) et par la suite Flageollet (1989) ont proposé, pour la classification des talus et versants instables, un classement en fonction de la forme de la surface de rupture. Cette classification n'est qu'un exemple dans la multitude des classifications proposées depuis Collin en 1846, qui font intervenir l'ensemble des critères géologiques, géomorphologiques, dynamiques, cinématiques (Lebourg, 2000). Ils ont subdivisé les glissements en trois catégories : les glissements plans ou translationnels, le long des surfaces planes ; les glissements circulaires ou rotationnels, le long des surfaces convexes et les glissements quelconques ou composites lorsque la surface de rupture est un mélange des deux types.

IX.1.1 Les glissements de terrain plans ou translationnels

Il correspond à un mouvement de masse évoluant long d'une surface de rupture sensiblement plane (Fig. I.6) de faible résistance mécanique (LE RISQUE, D. T. 2008), pouvant être un joint stratigraphique, un plan de faille, une surface de schistosité ou de foliation, une interface entre formation de pente. La ligne de rupture suit une couche mince de mauvaises caractéristiques sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée « couche savon ». Ces mouvements se différencient des glissements rotationnels par

la forme de la niche d'arrachement et la zone sans végétation présente à l'aval de l'escarpement principal. Généralement, ils sont caractérisés par un seul escarpement et une plus grande superficie visible de leur surface de rupture à l'aval de ce dernier (Mateso, et Dewitte, 2014).

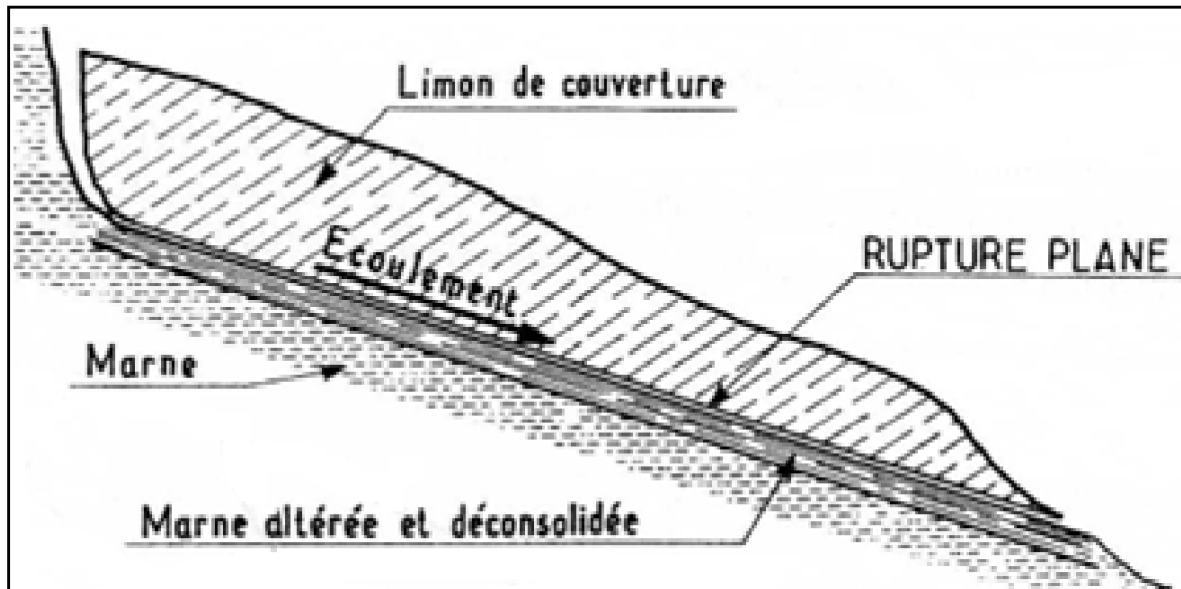


Figure I.6 : Un glissement de terrain plan (Philipponnat, 1998).

IX.1.2 Les glissements de terrain circulaires ou rotationnels

Il correspond à un mouvement de masse évoluant long d'une surface de rupture concave orientée vers le haut. Il peut être assimilé à un cylindre dans la plupart des cas (Fig. I.7). Les surfaces de rupture peuvent être emboîtées, provoquant des phénomènes de glissements en chaîne (Maquaire, 2002). Il se produit en particulier en terrains meubles, dans les roches homogènes à faible cohésion, à dominante argileuse ou marneuse.

La zone de départ est caractérisée par une importante rupture de pente qui correspond à l'escarpement principal du glissement. Le corps du glissement, est généralement caractérisé par une topographie bosselée. Il présente le plus souvent des fissures et dans certains cas, des gradins. La partie aval du glissement de terrain, présente quant à elle, une morphologie en forme de bourrelet, résultant de la pression exercée à l'amont et de la forme concave de la surface de rupture. Cette pression déstructure la masse de terrain favorisant une faible limite de liquidité. Le plus souvent, cette partie du glissement évolue en coulée de boue (Lopez Saez, 2011).

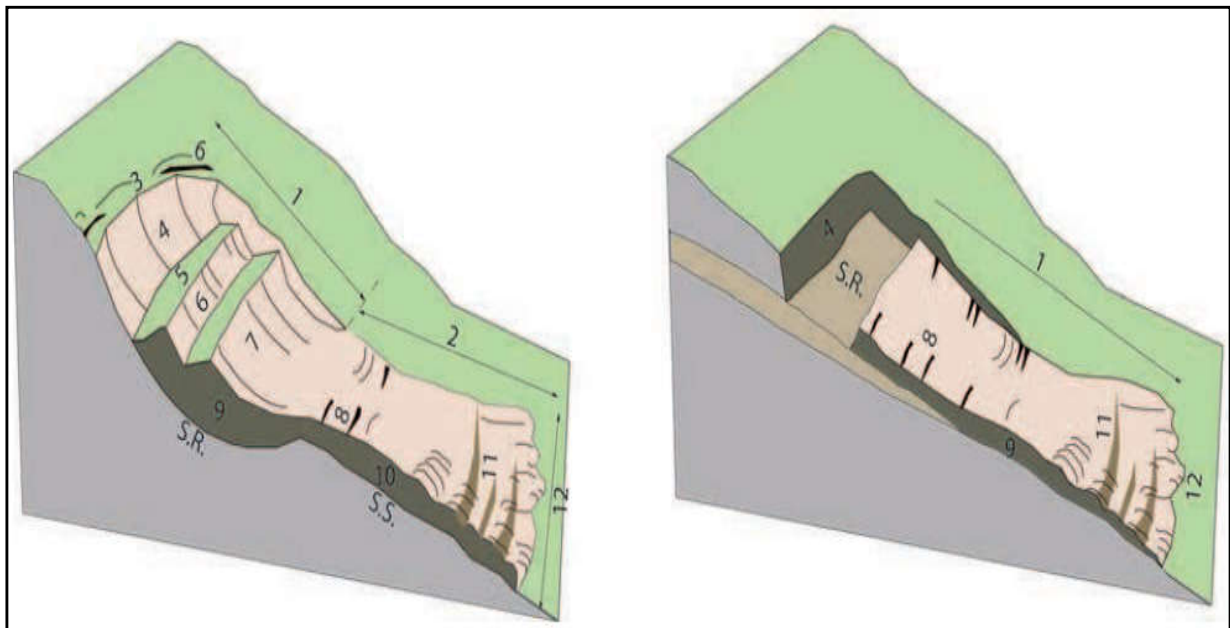


Figure I.7 : Les principaux détails et unités d'un glissement de terrain rotationnel (a) et translationnel (b) (Varnes, 1978). **1 :** zone de déplacement; **2 :** zone d'accumulation; **3 :** fissures; **4 :** escarpement principal; **5 :** gradins; **6, 7 :** escarpement secondaire; **8 :** fissures transversales; **9, 10 :** corps du glissement; **11 :** fissures radiales; **12 :** bourrelet frontal; **S.R :** surface de rupture; **S.S :** surface de cisaillement.

IX.1.3 Les glissements de terrain composite ou complexes

La dernière catégorie décrite par plusieurs auteurs (Varnes, 1978 ; Brunsten, 1984) présente une morphologie complexe réunissant plusieurs critères morphologiques correspondant à l'ensemble des mouvements de masses décrits jusqu'à présent. Le mouvement est très semblable au précédent dans son allure externe, mais la (ou les) surface (s) de rupture est (sont) de forme générale convexe et passe (nt) au travers de différents niveaux de faiblesse du massif. La géologie du terrain représente le facteur conditionnant le plus déterminant dans la genèse d'un tel type de mouvement. En effet c'est principalement l'hétérogénéité des matériaux qui combinée aux facteurs déclenchant comme l'eau permet d'engendrer des mouvements complexes ou composés. Il s'agit souvent d'une combinaison des deux cas précédents. Il s'agit de glissements multiples emboîtés les uns dans les autres, dus souvent à la suppression de la butée provoquée par le glissement précédent, ce qui entraîne des glissements de terrain successifs remontant vers l'amont.

IX.2 Classification des glissements de terrain selon la profondeur de la surface de rupture

Un deuxième élément de typologie locale pour les glissements de terrain réside dans la distinction entre les glissements profonds et superficiels. Cette distinction permet surtout de discriminer les glissements affectant uniquement les formations superficielles, des glissements impliquant également le substratum (Fressard, 2013). Suivant la profondeur de la surface de rupture, les glissements peuvent être subdivisés en deux catégories (Varnes 1978; Flageollet 1996) voir le tableau I.1.

Tableau I.1 : Classification des glissements de terrain d'après la profondeur de la surface de glissement (en m sous la surface du sol).

Glissement	Surface de glissement
Superficiel	0 - 2 m
Semi-profond	2 - 10 m
Profond	10 - 30 m
Très profond	> 30 m

IX.2.1 Les glissements de terrain superficiels

Dans les pentes où la couche superficielle se trouve en état d'équilibre limite, une dégradation temporaire de la qualité du sol, par saturation lors de pluies notamment, entraîne des glissements de terrain avec des arrachements superficiels mettant à nu la surface. La profondeur limite théorique admise entre un glissement de terrain profond et superficiel est de 2 m (Fig. I.8). Les glissements de terrain superficiels sont les glissements les plus fréquemment observés dans la région de Souk Ahras. La majeure partie des glissements de ce type correspond à des glissements à composante translationnelle, n'impliquant que l'épaisseur de formation superficielle. Les glissements de terrain rotationnels superficiels peuvent également être référencés (Varnes, 1978) ; ces phénomènes affectent les parties supérieures et médianes des versants disposant d'une épaisseur suffisante de formations superficielles. D'autres cas de glissements de terrain superficiels de berge sont couramment observés le long des cours d'eau caractérisés par une dynamique d'incision. Il s'agit majoritairement de glissements actifs du fait de la fraîcheur des formes observables sur le terrain : glissements de terrain qui se déclenchent pour la première fois ou bien qui se réactivent (Fressard, 2013).

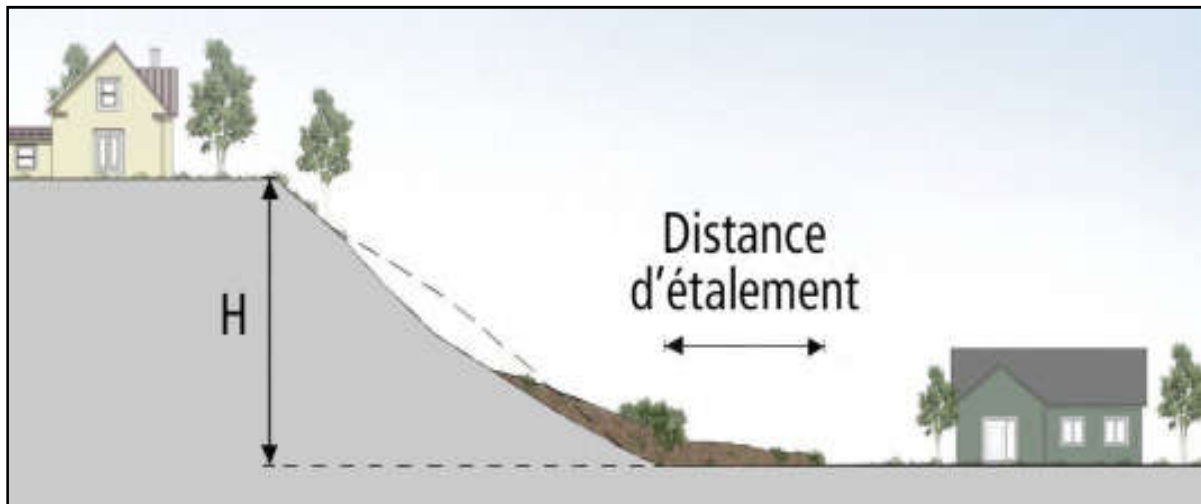


Figure 1.8 : Un glissement de terrain superficiel.

IX.2.2 Les glissements de terrain profonds

Le glissement profond est caractérisé par la présence de niches d'arrachement, généralement multiples, bien marquées, avec un déplacement d'une masse de matériaux meubles ou rocheux le long d'une ou de plusieurs surfaces de glissement situées en profondeur et de moindre résistance. En particulier, on parlera de glissement profond lorsque l'épaisseur de la couche glissée est entre 10 à 30 mètre.

X. Description et repérage des glissements de terrain

Selon leur type, les glissements de terrain peuvent présenter des caractéristiques très différentes et atteindre des dimensions fortes variables (Bilodeau, 2006). Un glissement de terrain se caractérise dans sa partie amont, par des niches d'arrachement ou crevasses, principales et latérales, avec brusque rupture de pente (pente concave) ; dans sa partie aval, par un bourrelet de pied (ou frontal) à pente convexe. La poussée exercée par le bourrelet de pied se marque fréquemment par un tracé anormal des cours d'eau en aval ; par une surface topographique bosselée (ondulations, dissémination de blocs de forte taille, ...).

Les indices géomorphologiques annonciateurs de la présence d'une instabilité, sont constitués par les formes de terrains engendrées par les divers processus de façonnement des versants. La dysharmonie des courbes de niveaux, la présence de bourrelets et versants mamelonnés, fissuration des bâtiments, déformation du réseau routier traversant le glissement sont l'unes des critères d'identification de mouvements actifs les plus remarquables sur le

terrain; ils sont d'un usage courant pour le repérage des zones actuellement instable (Varnes, 1978 et 1984).

Sur le terrain, et particulièrement en secteur montagneux, il est très fréquent de voir des arbres dont la base du tronc à une direction de croissance perpendiculaire à la pente, avec un changement de direction vers la verticale. Cette forme prise par l'arbre est le fruit de nombreuses années d'évolutions où l'on retrouve des phénomènes de reptation superficielle du sol.

La végétation peut, elle aussi, apporter des témoignages d'instabilité actuelle ou passée. Elle est également un bon critère d'activité des mouvements. La distinction entre éboulis vifs et éboulis fixés par végétation est des plus classiques. On peut tenir le même raisonnement pour les abrupts de tête des replats de glissement ; qui se couvrent progressivement de même temps que leur profil évolue.

Le déplacement ou l'inclinaison des poteaux électriques a haute tension ou constitue des bons indices d'un mouvement actif.

La commission internationale sur les glissements de terrain a défini l'ensemble des éléments morpho-métriques et morphologiques composant un glissement de terrain type comme suit :

On peut distinguer trois grands types élémentaires: Fissures de traction, fissures de cisaillement et fissures de compression. Les démentions de glissement sont définies par la longueur (totale et de la rupture), la largeur, et la profondeur.

XI. Méthodes d'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain

Les méthodes d'évaluation du risque supposent une estimation de l'aléa et une évaluation des conséquences sur les éléments exposés. Dans la mesure où il est souvent difficile de quantifier un niveau d'aléa "glissements de terrain", très fréquemment seule la susceptibilité est utilisée. Elle est définie comme la probabilité spatiale qu'un glissement de terrain se produise sur un territoire pour différentes conditions environnementales locales (Maquaire et al., 2006). Autrement dit, c'est l'évaluation quantitative ou qualitative du type, du volume et de la répartition spatiale, des événements, qui existent ou qui peuvent survenir en une région donnée (Fell et al, 2008).

L'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain dans une zone donnée est élaborée par plusieurs méthodes d'approches. Le choix de la méthode est plus ou moins complexe, dépend avant tout de l'échelle d'intérêt, des objectifs de l'étude et de la qualité et

quantité des données nécessaires (Etienne, 2007). Elles peuvent être qualitatives ou quantitatives. Les méthodes qualitatives sont subjectives et portent le zonage d'aléa sur des termes descriptifs. Les méthodes quantitatives produisent des estimations numériques (probabilités) pour l'occurrence des phénomènes de glissements dans toutes zones d'aléa. Les méthodes directes consistent en une cartographie géomorphologique de l'aléa de mouvements de pente. Concernant les méthodes indirectes, l'évaluation de l'aléa est faite essentiellement par étapes judicieuses. Pour plus de détails sur l'évolution historique de la gestion des risques de glissements de terrain, voir Fell, 1994 ; IUGS, 1997 et Fell et Hartford, 1997. Des aperçus sur les méthodes d'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain sont disponibles dans Carrara et al., 1999 ; Guzzetti et al., 1999 ; Aleotti et al., 1999 ; Chacon et al., 2006 ; Fell et al., 2008.

Les plus importantes méthodes proposées dans la littérature peuvent se regrouper en quelques catégories principales et qui sont :

XI.1 Une approche qualitative

L'approche qualitative (experte ou heuristique) est, selon Aleotti et al., 1999, soit directe ou semi-directe. Ces méthodes peuvent reposer sur l'expérience régionale d'experts qui déterminent sur le terrain la prédisposition aux glissements de terrain d'une région donnée. C'est le cas des approches essentiellement géomorphologiques. Elles peuvent aussi être réalisées en combinant, par des approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique, des cartes de facteurs contrôlant la stabilité des talus au niveau régional (1/25 000 - 1/100 000).

Les méthodes qualitatives s'avèrent souvent très subjectives (Westen Van et al, 1997) puisqu'elles font appel à plusieurs reprises au jugement d'experts. Ce type d'analyse peut donner des résultats très différents selon l'expert (Van Westen, 2000).

Les approches qualitatives peuvent être divisées en deux types (Aleotti et al., 1999) : l'analyse géomorphologique sur le terrain et la combinaison ou la superposition de cartes d'index avec ou sans pondération.

XI.1.1 Approches essentiellement géomorphologiques

Les approches essentiellement géomorphologiques sont des méthodes directes et qualitative qui reposent sur les connaissances d'experts à estimer l'actuel et le potentiel mouvement de pente. Elles évaluent l'aléa sur le terrain en suivant des règles de décision qu'ils ont préalablement établies selon leur expérience régionale. Les travaux de terrain sont

généralement supportés par une interprétation de photographies aériennes et par diverses cartes de facteurs qui influencent la stabilité des talus. Dans les approches géomorphologiques, les SIG sont utilisés seulement comme outil de dessin et de visualisation de l'information. À partir des données recueillies, des zones d'aléa plus ou moins élevé sont identifiées et cartographiées à l'aide des SIG (Levasseur, 2003).

XI.1.2 Approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique

Selon Aronoff (1989), l'algèbre cartographique consiste à réaliser des opérations logiques telles que l'addition, la soustraction, la multiplication et la division, pour chaque donnée d'une carte en utilisant les données correspondantes d'une ou de plusieurs autres cartes. Pour évaluer l'aléa « glissements de terrain », ce type d'approche nécessite, en premier lieu, la sélection des cartes des facteurs qui influencent la stabilité des talus de la région considérée. Ensuite, selon l'expérience régionale d'experts, chaque facteur, ainsi que chacune de leurs classes, se voient attribuer un poids en fonction de leur contribution à l'instabilité. Les cartes des poids ainsi créées sont ensuite superposées et des opérations logiques sont effectuées entre les cartes de façon à obtenir la carte résultante de l'aléa. Les approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique bénéficient des SIG pour automatiser les procédures de superposition de cartes et pour réaliser les opérations logiques entre celles-ci (Levasseur, 2003). Ces approches, que l'on peut appeler semi-quantitatives, n'en restent pas moins fortement subjectives car elles reposent encore beaucoup sur le jugement d'experts (Levasseur, 2003).

XI.2 Une approche analytique quantitative

Afin de minimiser la subjectivité dans le processus d'attribution de poids, des approches quantitatives, des moyens objectifs de quantifier l'importance relative de divers facteurs de causalité, peuvent être déployées pour produire une carte de la susceptibilité aux glissements de terrain (Kanungo, et al., 2012).

Les méthodes quantitatives sont à priori plus objectives que les méthodes qualitatives puisqu'elles font moins appel au jugement d'experts. Ces méthodes sont indirectes et requièrent une approche théorique rigoureuse, et parfois très complexe. Elles peuvent être basées sur des inventaires de glissements de terrain, des analyses statistiques, ainsi que sur des

modèles déterministes ou probabilistes de l'aléa. Elles ont une échelle encore plus précise (1/5 000 - 1/10 000) (Levasseur, 2003).

XI.2.1 Approches basées sur des inventaires de glissements de terrain

Les approches basées sur des inventaires de glissements de terrain visent à prédire des d'instabilités futures à partir de la distribution passée et présente des glissements de terrain à l'intérieur de la région considérée. Selon Fell et al (2006) la carte d'inventaire des glissements de terrain représente une forme préliminaire de la carte de susceptibilité car elle met en relief les dimensions et la position des masses instables. En effet, la plupart des cartes de susceptibilité développées à l'échelle régionale sont basées sur la théorie affirmant que les futurs mouvements de terrains ont plus de chances d'avoir lieu sous des conditions similaires à celles qui les ont provoqués par le passé (Hansen, 1984).

Cette approche est basée sur la préparation de cartes d'inventaire des glissements de terrain, montrant la distribution spatiale de ces événements dans une région (Guzzetti et al., 1999). Traditionnellement, il est fait grâce à l'interprétation de photos aériennes, puis confirmé par un travail de terrain (Soeters et Van Westen, 1996). Plus récemment, l'interprétation d'ortho-photos digitales géo-référencées combinées avec une topographie précise est devenue l'outil analytique d'identification des glissements de terrain à l'échelle régionale.

XI.2.2 Approches statistiques

Pour évaluer la susceptibilité aux glissements de terrain, les approches statistiques cherchent à établir une relation entre les facteurs qui contrôlent la stabilité des talus et la manifestation du danger. Pour établir cette relation, des poids sont attribués aux facteurs et à leurs classes à l'aide de relations statistiques établies entre la distribution spatiale des glissements de terrain et celles des facteurs. La susceptibilité est ensuite évaluée en réalisant des opérations d'algèbre cartographique entre les cartes des poids obtenues pour chaque facteur.

Cette approche permet de déterminer statistiquement les combinaisons des variables qui ont induit les instabilités préexistantes. Elles permettent également de quantifier la corrélation existant entre les facteurs de prédisposition et les glissements de terrain, mais ce grâce à un algorithme mathématique, contrairement aux approches basées seulement sur des opérations simples d'algèbre cartographique. Le principe consiste à définir des relations

mathématiques entre les facteurs de prédisposition (variable prédictive, V_p) et l'occurrence spatiale de glissements de terrain (variable dépendante, V_d) afin d'évaluer quantitativement la probabilité de rupture pour des régions non affectées par des glissements de terrain. Pour y parvenir, ces approches ont grandement bénéficié de la disponibilité des SIG qui sont utilisés principalement pour réaliser les analyses statistiques ainsi que les opérations d'algèbre cartographique (Levasseur, 2003). Les méthodes d'analyses peuvent être bivariées ou multivariées (Carrara et al., 1995).

XI.2.2.1 Analyses statistiques bivariées

Les analyses statistiques bivariées s'apparentent aux approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique. Cependant, ces deux types d'approches se distinguent par les calculs des poids qui s'appliquent aux différentes classes de facteurs contrôlant la stabilité. Dans les analyses statistiques bivariées l'attribution des poids aux classes est réalisée en fonction de la densité de glissements de terrain à l'intérieur de celles-ci. L'avantage des procédures bivariées réside alors dans la détermination d'une combinaison optimale de variables indépendantes, où chaque classe de facteurs de prédisposition est combinée avec une carte d'inventaire des glissements de terrain, puis pondérée par la densité de glissements de terrain dans la région considérée. Les probabilités pour chaque classe de facteurs sont additionnées une à une. Des poids constants ou arbitraires sont attribués aux facteurs causatifs. Ces notations et pondérations pour les facteurs et leurs catégories sont intégrées pour produire la carte de la susceptibilité aux glissements de terrain (Kanungo, et al., 2012).

Même si les analyses statistiques bivariées sont considérées comme des approches plus objectives que les méthodes qualitatives, un certain degré de subjectivité est encore associé à ce type d'approche, particulièrement dans les procédures l'attribution des poids des paramètres sont réalisée selon le jugement d'experts (Kanungo, et al., 2012).

XI.2.2.2 Analyses statistiques multivariées

Afin de diminuer la part de subjectivité des analyses statistiques bivariées, les analyses multivariées évaluent les poids des classes mais aussi des facteurs à l'aide d'analyses statistiques.

L'analyse statistique multivariée reste également un outil important et largement utilisé (Carrara et al. 1999). De nouveaux outils d'évaluation statistique des risques de glissements de terrain apparaissent régulièrement. La régression logistique (RL) et les classificateurs de

réseaux neuronaux artificiels (ANN) figurent parmi les nouvelles méthodes statistiques d'éventualité des glissements de terrain les plus populaires.

Les approches multivariées considèrent la contribution relative de chaque couche de données thématiques à la susceptibilité totale dans une zone définie. La procédure implique plusieurs étapes importantes (Aleotti et Chowdhury, 1999) : (i) Identification du pourcentage de zones touchées par les glissements de terrain dans chaque pixel et leur classification en zones stables et instables, (ii) Préparation d'une matrice absence / présence d'une catégorie donnée (iii) une analyse statistique multivariée (discriminante et régression), et (iv) une reclassification de la zone sur la base des résultats et leur classification en classes de susceptibilité. Ces approches impliquent l'analyse de gros volumes de données et prennent beaucoup de temps (Kanungo, et al., 2012) . Elles sont révélées utiles pour prédire la susceptibilité réelle et potentielle aux glissements de terrain (Kanungo, et al., 2012) .

XI.2.3 Approches basées sur des modèles physiques et/ou géotechniques

Elle est basée sur les lois physiques ou géotechniques qui contrôlent l'instabilité des pentes. C'est une méthode indirecte et quantitative. On peut aussi différencier ces méthodes en deux groupes : méthodes déterministes (arithmétique) et méthodes probabilistes.

XI.2.3.1 Analyses déterministes

Les analyses déterministes (Soeters and Van Westen 1996) sont basées sur les lois physiques de la conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement (Van Westen, 1993). Dans ce type d'analyse, les principales propriétés physiques sont quantifiées et introduites dans des modèles mathématiques qui calculent le facteur de sécurité. La plupart du temps, les modèles déterministes sont utilisés pour effectuer des études ponctuelles de stabilité.

Les méthodes déterministes se basent sur les analyses de stabilité des pentes selon leurs paramètres physiques et géotechniques pour la création de susceptibilité. Elles sont précises et objectives mais leurs applications se limitent à de petites zones. Malgré sa robustesse, cette méthode reste loin d'être réalisable sur des terrains à grande étendue. Le problème majeur dans ce cas est l'acquisition des données à prix économique.

Les conditions de stabilité sont généralement évaluées au moyen d'un modèle de stabilité de pente incliné, dans lequel l'équilibre local le long d'une surface de glissement potentielle est pris en compte. L'avantage des modèles déterministes est qu'ils permettent de calculer des facteurs quantitatifs de sécurité en tenant dûment compte de la variabilité des

propriétés du sol, le principal problème étant le degré élevé de simplification généralement nécessaire à l'utilisation de tels modèles. Un autre problème qui limite l'applicabilité des modèles déterministes est que les données requises pour les modèles déterministes peuvent être prohibitives et qu'il est souvent impossible d'acquérir les données d'entrée nécessaires pour utiliser efficacement les modèles (Dai, et al., 2002).

XI.2.3.2 Analyses probabilistes

Dans la majorité des cas, l'analyse probabiliste vise à évaluer la probabilité de rupture comme étant la probabilité que le facteur de sécurité soit inférieur à une valeur prédéterminée qui est généralement prise égale à 1 (pente à l'équilibre limite). La probabilité de rupture est évaluée en appliquant un cadre probabiliste à l'approche déterministe de l'aléa, de façon à tenir compte des incertitudes sur les différents facteurs utilisés dans l'équation du paramètre de sécurité. Pour cela, les incertitudes sont déterminées par des fonctions de densité obtenues à partir de données disponibles sur les facteurs ou selon l'expérience régionale d'experts.

XII. La prévention et la protection des glissements de terrain

La prévention regroupe l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire l'impact d'un phénomène naturel prévisible sur les personnes et les biens. Traiter l'aléa ne supprime donc pas définitivement le risque. En conséquence, le meilleur moyen de prévention contre les risques de mouvements de terrain est d'agir sur la réduction de la vulnérabilité des enjeux, c'est-à-dire sur la limitation des éventuels dommages. L'analyse du phénomène de mouvement de masse est le premier pas dans la diminution du risque (LE RISQUE, D. T. 2008).

La prévention nécessite la connaissance des zones à risques d'où l'obligation de disposer d'une cartographie de celles-ci. La prévention comprend toutes les activités dont le but est d'éviter ou de réduire au minimum la possibilité de l'apparition des pertes à la suite des glissements de terrains sur la base des connaissances acquises dans la phase de prévision (LE RISQUE, D. T. 2008).

Le choix d'une solution dépend à la fois du glissement lui-même (vitesse et ampleur des déplacements), des personnes et des biens exposés, de l'objectif de sécurité visé et des contraintes de site (accessibilité par exemple). La réalisation d'un système de drainage (tranchée drainante, éperon drainant, masque drainant ou drains ponctuels subhorizontaux) est une technique couramment utilisée pour limiter les infiltrations d'eau. Les murs de soutènement en pied de glissement limitent également leur développement. Dans le cas des

coulées boueuses, la végétalisation des versants permet de réduire la quantité de matériaux mobilisables, et donc l'intensité du phénomène. L'utilisation de végétaux dans le cas des autres types de glissements est à préconiser avec prudence, ceux-ci pouvant également avoir un rôle néfaste.

Le renforcement des zones instables, le contrôle de l'occupation de sols, le contrôle de l'activité au niveau des zones à risque permet d'une part d'exposer le moins possibles les populations à un glissement de terrain en déclarant ces zones comme non constructibles, mais aussi d'autre part d'éviter d'accentuer le risque par une modification du sol qui pourrait découler de certaines activités (industrielles ou minières par exemple).

XIII. Conclusion

L'émergence et l'essor du SIG dans le domaine de la cartographie de la susceptibilité, de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque glissements de terrain ont donné lieu au développement de multiples techniques d'analyse, de quantification et de représentation. Toutes sont basées sur des données concernant l'historique et l'inventaire des mouvements de terrain anciens et présents (photo interprétation et relevés de terrain), et les conditions environnementale de la région. Une modification de ces paramètres conditionnant entraîne un déplacement de l'équilibre de forces et donc de l'état de stabilité du versant. Des précipitations, par exemple, peuvent engendrer une infiltration importante et l'apparition d'une pression de pore positive dans le sol, permettant l'occurrence des glissements, tout comme la fonte des neiges. Les événements climatiques intenses de courte durée, peuvent provoquer des phénomènes extrêmes. Un événement sismique peut également être un élément déclencheur, par l'ajout d'un terme d'accélération qui modifie la composante poids en particulier. Un changement de la végétation, par le biais d'un changement climatique ou de l'activité anthropique, peut également augmenter la susceptibilité d'une pente au glissement, bien que cet effet puisse s'étaler sur plusieurs années (Gallo, 2014). Ainsi, la surcharge d'une pente par des bâtiments et des remblais, les excavations sans dispositifs de protection dans un versant lors de travaux de construction, la surélévation du niveau de l'eau souterraine, le dynamitage, l'exploitation inappropriée de matières premières ou l'affectation inadéquate du sol peuvent accroître le danger de mouvements de terrain.

Les mesures de protection mises en place visent à réduire au maximum l'aléa dans les zones menacées. La prévention permet de réduire la vulnérabilité au sein de ces secteurs, par l'information des populations, l'adoption de mesures d'urbanisme ou de mesures constructives, l'étude et la surveillance de mouvements actifs.

CHAPITRE II

PRESENTATION DE LA REGION DE SOUK AHRAS

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA REGION DE SOUK AHRAS

I. INTRODUCTION

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels qui affectent les talus et les versants. Leur manifestation résulte généralement de l'action conjuguée de différents facteurs naturelle et/ou anthropique. Lorsque ce phénomène se produit dans les territoires aménagés par l'homme, il entraîne des catastrophes d'ampleur proportionnelle à son intensité, allant du simple recouvrement des voies de circulation et de la fissuration des murs des bâtiments jusqu'à leur destruction total.

La Wilaya de Souk Ahras est située dans une région montagneuse du NE Algérien. Sa morphologie la rend exposée à un fort potentiel d'aléa glissements de terrain ; ils affectent pratiquement une grande partie des versants naturels.

Pour mieux comprendre le processus d'occurrence de ce phénomène géologique, il paraît indispensable de situer la région dans leur contexte (géologique, géomorphologiques, structural, hydro-climatique.....), sachant que les données citées dans le présent chapitre, sont le résultat d'une synthèse bibliographique tirée des travaux antérieurs.

II. Localisation géographique

La wilaya de Souk Ahras, nommée aussi «Taghaste» est l'un des portails montagneux de l'E Algérien (Fig. II.1). Elle est limitée : au NE par la wilaya d'el Taraf, au NW par la wilaya de Guelma, au S par la wilaya de Tébessa, au SW par la wilaya d'Oum El Bouaghi et à l'E par la Tunisie.

La wilaya de Souk Ahras s'étendant sur une superficie de 4 359,65 km². Elle est issue du découpage administratif de février 1984 de numéro de code (41) et compte 10 daïras et 26 communes, ne représente que 0,18 % de l'ensemble du territoire national et habitée par plus de 454 000 habitants donnant une densité plus de 104 habitants/km². Elle est située à 77 km de la wilaya de Guelma, à 100 km d'Annaba, à 134 km de Tébessa et à 50 Km de la frontière Tunisienne.

Le territoire concerné par l'étude de la susceptibilité aux glissements de terrain, situé au N de la wilaya de Souk Ahras, entre $7^{\circ} 57' 6,31''$ à $7^{\circ} 37' 22,68''$ E, et $36^{\circ} 17' 59,76''$ to $36^{\circ} 7' 12,53''$ N, répartie sur une surface totale de $344,78 \text{ km}^2$.

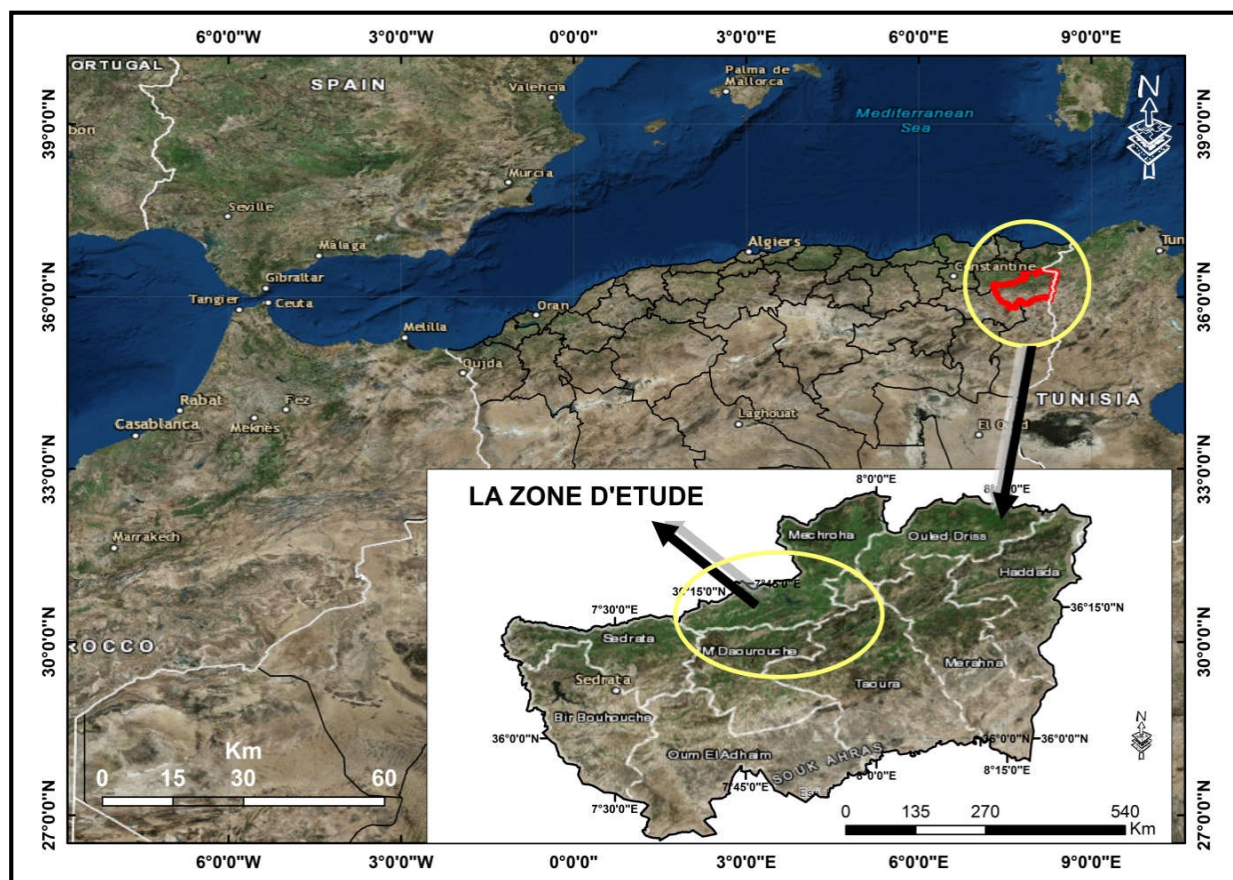


Figure II.1 : Situation géographique de la wilaya de Souk Ahras et de la zone d'étude.

III. Aperçu économique et infrastructurel

La wilaya de Souk Ahras est caractérisée principalement par sa vocation agropastorale, mais elle a aussi d'énormes potentialités dans le secteur de l'industrie de transformation, dues à l'abondance de quelques matières premières comme : les matériaux et substances utiles (agrégats pierres de construction, sable de construction, argile, gypse, liants pour ciment...) ; et les produits agricoles et forestiers (bois, liège, fruits, légumes, essences et arômes naturels...) ; dominée sur le plan économique par la céréaliculture qui occupe une place prépondérante, malgré les quelques unités industrielles qui y sont implantées. Elle a réalisé plusieurs projets d'investissements publics durant les différents programmes de développement, les infrastructures de base sont remarquablement améliorées, on note :

- ❖ Un réseau routier dense et bien entretenu de plus de 2 351,097 km dont 453 km de routes nationales « N° 16, 81, 82,80 et 20 » et 202 km de chemins de wilaya, 1 696 km de

chemins communaux et de pistes, et des projets en cours pour réaliser des dédoublements sur quelques axes importants (Fig. II.2) ;

- ❖ Une ligne ferroviaire de 138 km dont 93 km électrifiés et 13 km en double voie et la wilaya compte réaliser une nouvelle ligne vers Tébessa ;
- ❖ Deux grands barrages d'une capacité globale de 240 millions de m³, et deux autres en cours de réalisation ;
- ❖ Des ressources minières non encore exploitées (Plomb du Djebel El Oued, Plomb et zinc de Khedara, fer du Djebel el Ballout et Djebel Ledjbel, Baryte de Draa Zarga) ;
- ❖ Des sites archéologiques de réputation mondiale datant de l'ère Romaine. Ces sites sont quasi vierges de tout investissement de mise en valeur ;
- ❖ Une superficie forestière estimée à plus de 97 280 hectares composés de chênes liège et zeen, des pins d'Alep, des cyprès et des eucalyptus. Ces ressources sylvicoles souffrent d'une exploitation irrationnelle et de manque de débouchés en aval ;
- ❖ Une tradition ancestrale d'élevage extensif avec plus de 80 000 bovins et 300 000 ovins et caprins (BNEDER, 2007in Samai, 2017).

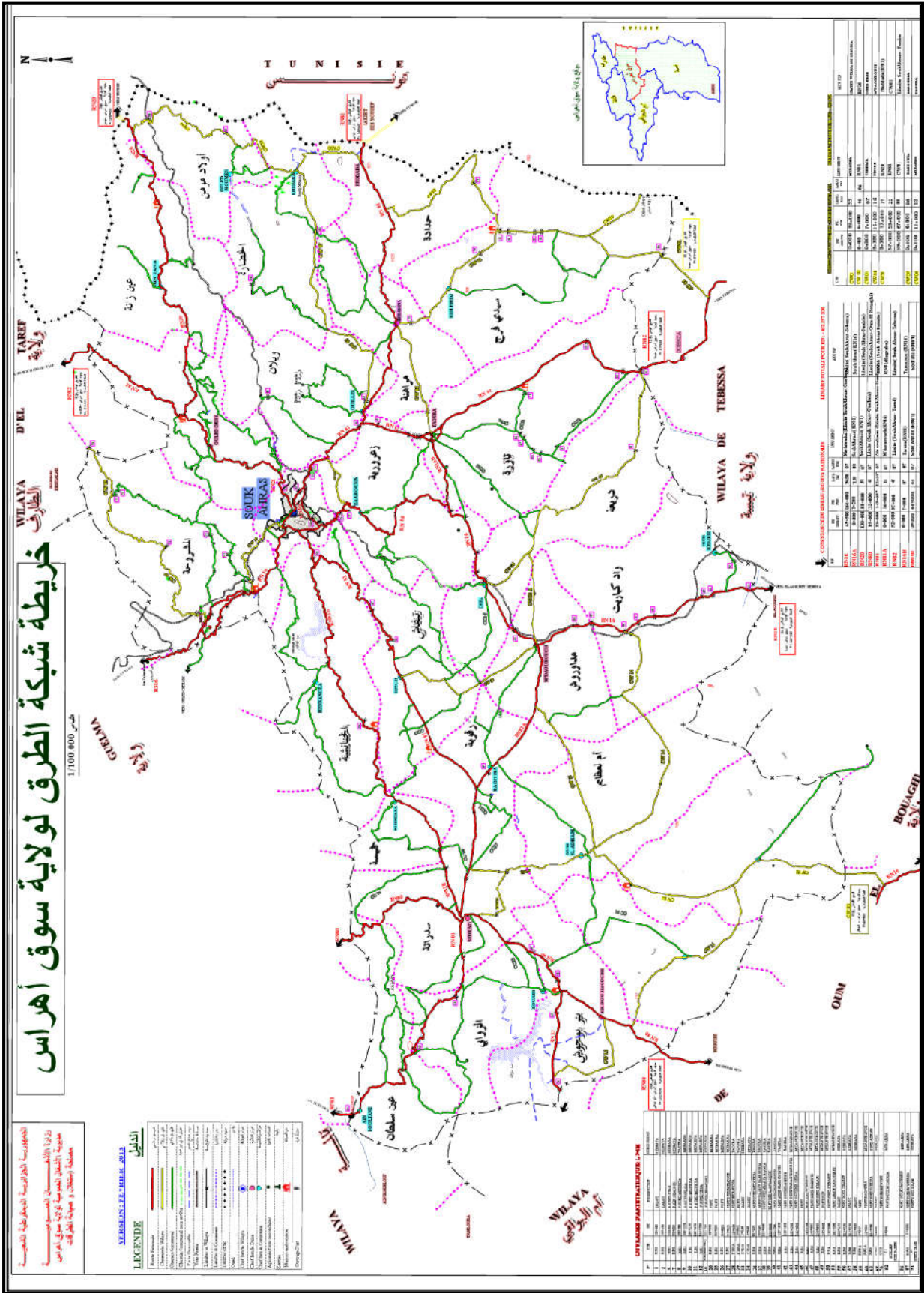


Figure II.2 : Carte du réseau routier de la wilaya de Souk Ahras (DTP. Souk Ahras ; version février 2013).

IV. Climat et végétation

IV.1 Climat

La région de Souk Ahras est située dans la partie NE de l'Algérie. Géographiquement, elle est assise dans une cuvette, entourée de montagnes à relief complexe (500 à 1 400 m), faisant partie de l'Atlas tellien au N et des hautes Plaines au S, où convergent les masses d'air polaire et les masses d'air saharien.

Elle se caractérise par un climat continental « semi-humide » à influence méditerranéenne au N d'une part, et désertiques « semi-aride » au S d'autre part, avec une pluviométrie variante entre 300 et 1 100 mm/an (Fig. II.3 et II.4). Le maximum des jours de fortes pluies hivernales et du vent violent rencontré en Décembre, Janvier, sont provoqués par le passage successif des dépressions d'W, de quelques dépressions méditerranéennes et par le passage de fronts froids. Les mois de Juillet et d'Août ont des faibles moyennes de précipitations qui sont de 6,04 et 16,83 mm, respectivement. La majorité des pluies de ces mois secs est occasionnée essentiellement par des orages violents et parfois par le passage de fronts froids associés à des vents du N (in W. Khoualdia, 2017).

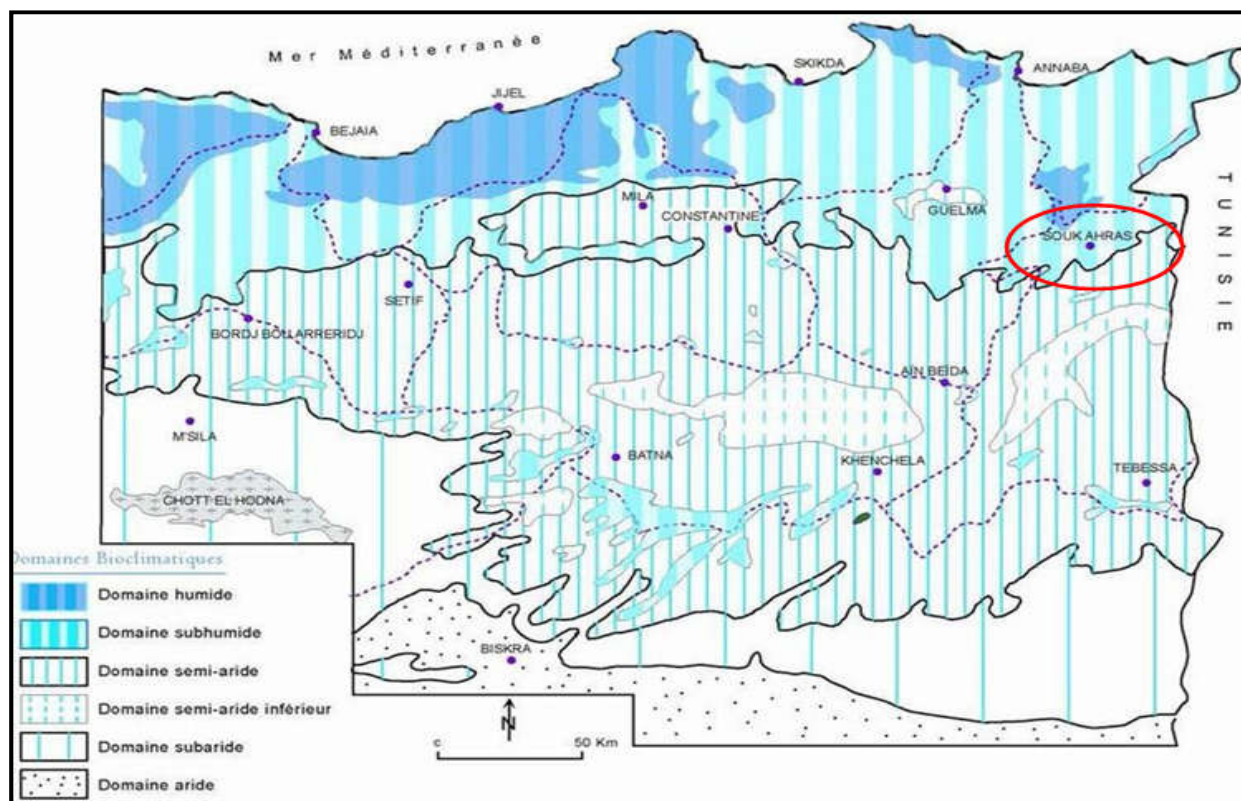


Figure II.3: Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'E Algérie (établie d'après Côte M., 1998a in Mébarki, 2005).

IV.2 Analyse hydro climatique

Les particularités du climat occupent une place très importante dans toute étude géologique ou géotechnique car elle nous permet d'évaluer les effets des facteurs climatologiques sur le comportement mécanique du sol. La région de Souk Ahras possède des précipitations relativement importantes dans la partie septentrionale mais variable et irrégulière d'une année à une autre ; et des températures marquent globalement deux saisons, une saison froide en hiver et une saison chaude à fort pouvoir évaporant durant l'été (in [Y. Bouroubi, 2017](#)).

Dans ce travail, l'étude est basée sur le traitement et l'analyse des caractéristiques climatiques des six éléments qui sont : la pluviométrie, la température, l'humidité de l'air, l'insolation et le rayonnement solaire, l'aridité et l'évaporation pour une période d'observation bien déterminée et récente, ainsi que l'établissement du bilan hydrologique.

IV.2.1 Précipitations

La précipitation est la quantité d'eau météorique, total, liquide ou solide qui tombe sur une surface horizontale déterminée, appelée la section pluviométrique. La carte des précipitations de l'Algérie du Nord réalisée par l'ANRH en 1993 (Fig. II.4) montre que la pluviométrie de la wilaya de Souk Ahras est caractérisée par des valeurs de précipitation variante de 300 mm au S de la wilaya à M'Daourouch et de 1 200 mm au N dans la commune d'El Mechrouha qui représente la zone la plus arrosée de la wilaya de Souk Ahras.

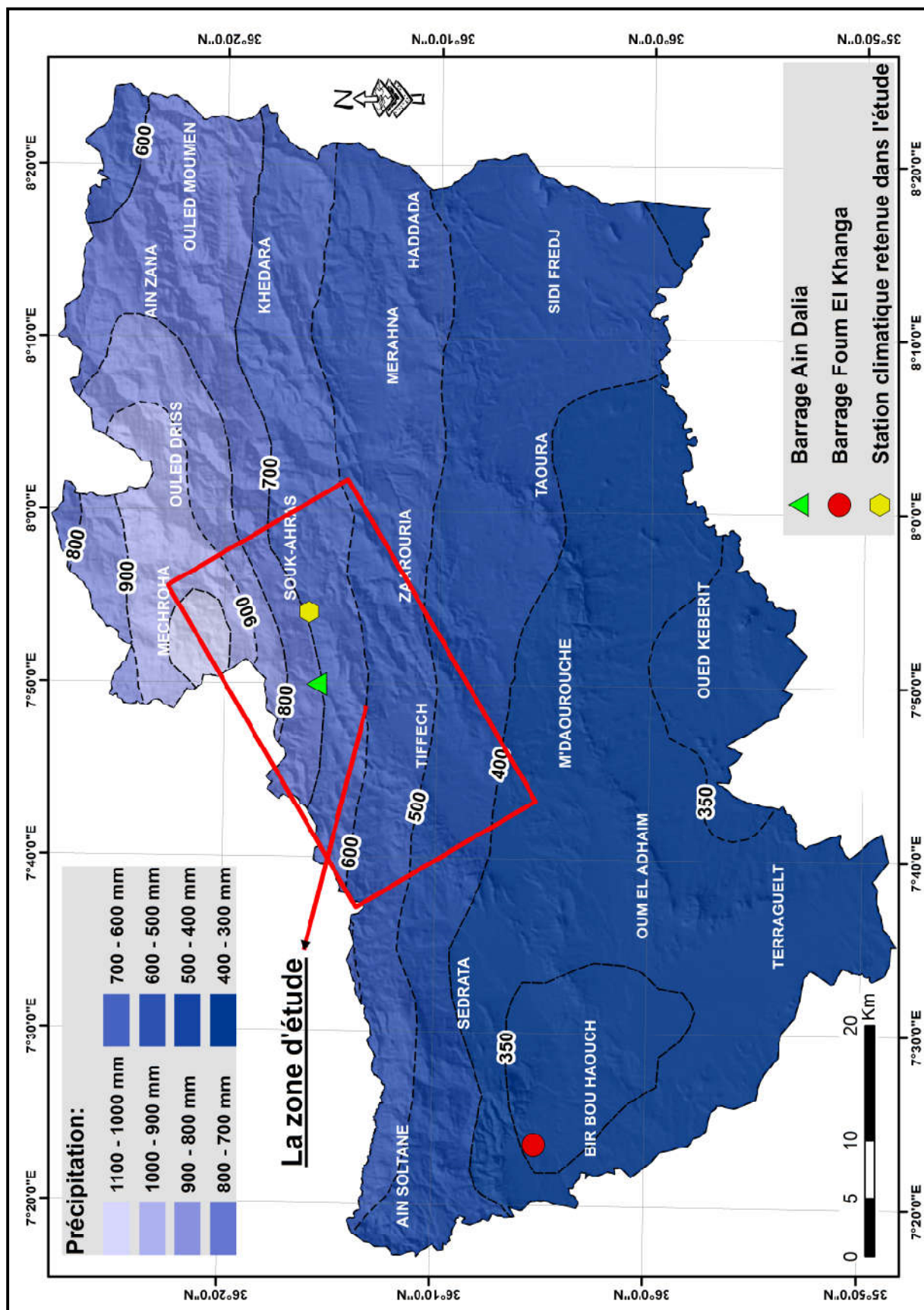


Figure II.4 : Carte des précipitations annuelles moyennes de la région de Souk Ahras. Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000. ANRH, 1993 (Données moyennes de 60 ans, 1921 à 1960 et 1968 à 1989).

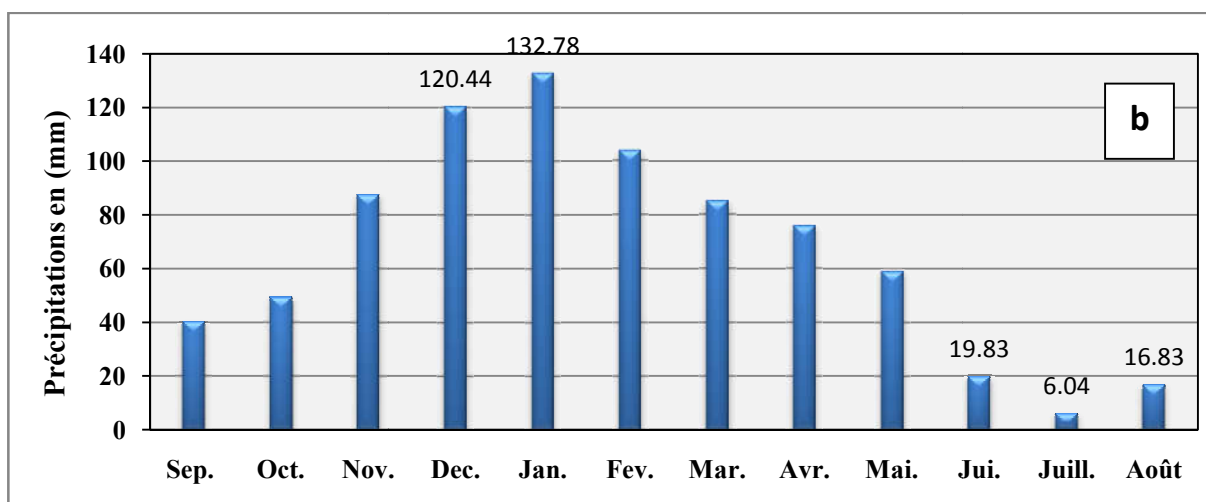
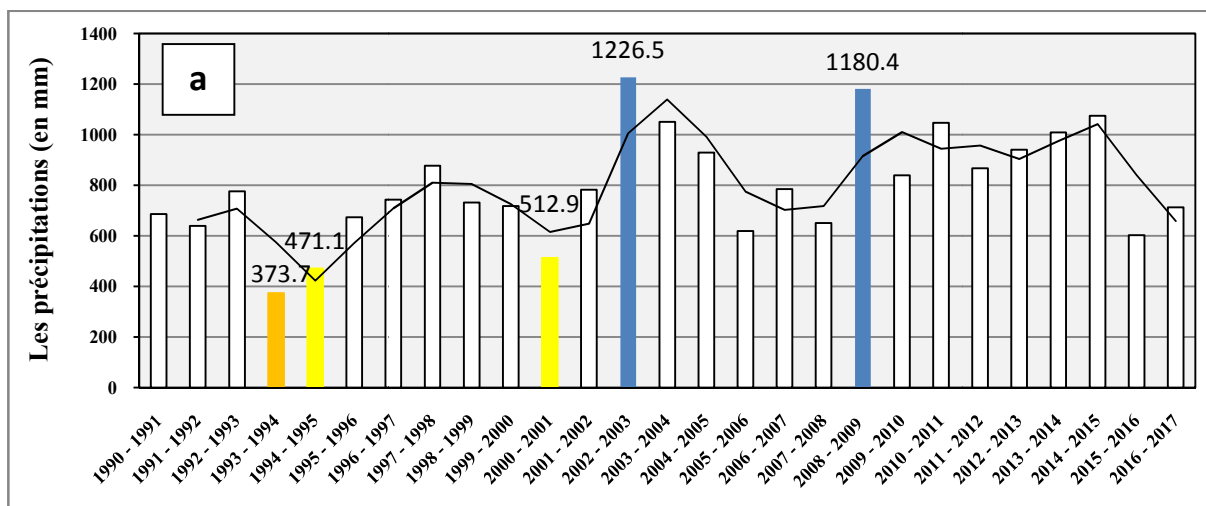
L'analyse des précipitations est effectuée à travers les données de la station de Souk Ahras (tableau N° II.1), recueillies dans la période de 1990-2017. Le tableau N° II.2 récapitule les valeurs moyennes des précipitations mensuelles et saisonnières.

Tableau. N° II.1 : Coordonnée de la station de Souk Ahras.

STATION	Etat	Code	X (m)	Y (m)	Z (m)
Souk Ahras	Fonctionnelle	12.01.01	967,25	342,25	590

Tableau N° II.2 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières pour la station de Sous Ahras (Période : 1990-2017).

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Moyenne interannuelle = 797 mm
Moyennes	40,26	49,48	87,51	120,44	132,78	103,79	85,1	75,87	59,05	19,83	6,04	16,83	
Moyennes saisonnière	Automne 177,24 mm / 22,2 %			Hiver 357,02 mm / 44,8 %			Printemps 220,02 mm / 27,6 %			Eté 42,7 mm / 5,4%			



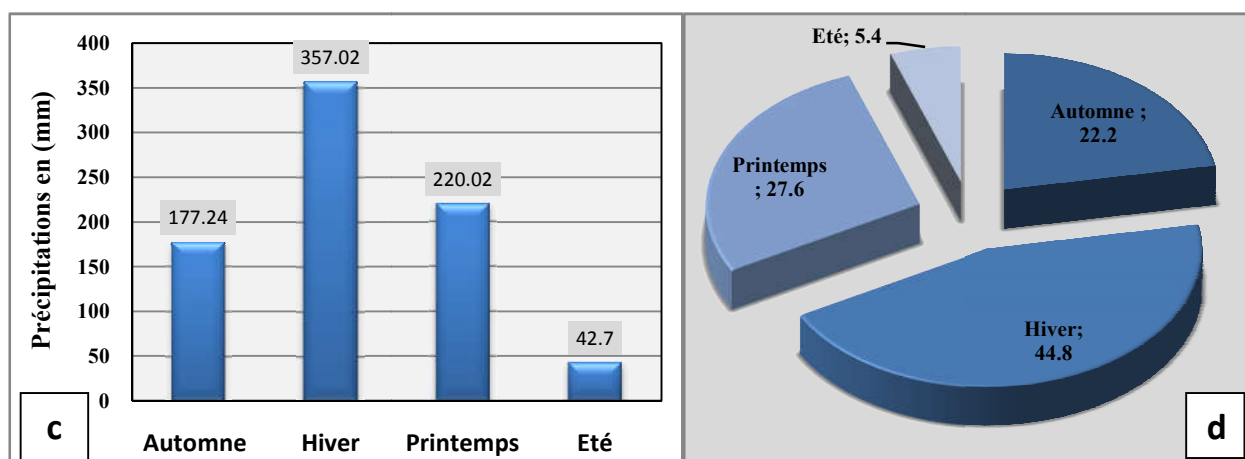


Figure II.5 : Variation des précipitations pour une série récente (1990-2017) de la station de Souk Ahras ; **a** : les précipitations interannuelles en mm ; **b** : les précipitations moyennes mensuelles en mm ; **c** : les précipitations saisonnières en mm ; **d** : les précipitations saisonnières en %.

L'examen des histogrammes des précipitations de la figure II.5, permet de tirer les résultats suivants :

- ❖ La variation des précipitations interannuelles sur une période de 27 ans (1990-2017), montre que les années les plus arrosées sont 2002-2003 et 2008-2009 avec les valeurs de 1 226,5 mm/an et 1 180,4 mm/an respectivement ; par contre l'année 1993 est la plus sèche avec 373,7 mm/an. Notons que les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 790 mm/an.
- ❖ La variation des précipitations moyennes mensuelles montre un maximum de l'ordre de 132,78 mm observé au mois de Janvier et un minimum de l'ordre de 6,04 mm caractérise le mois de Juillet. Pour la variation mensuelle de la précipitation, les mois de Décembre et de Janvier étaient les mois les plus pluvieux avec une moyenne mensuelle de 120,44 mm et de 132,78 mm respectivement. Tandis que les mois de Juin, Juillet et Août étant les mois les moins pluvieux avec une moyenne mensuelle de 19,83 mm, 6,04 mm et 16,83 mm respectivement, ce qui rend l'été la saison la moins pluvieuse dans la série de mesures.
- ❖ La répartition saisonnière des précipitations montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse, au total 357,02 mm soit 44,8 % des pluies annuelles. En printemps, le total des précipitations est de l'ordre de 220 mm soit 27,6 % du total annuel, et en automne, le total des précipitations est de l'ordre de 177 mm soit 22,2 % du total annuel. La saison estivale est la plus sèche, la pluviométrie enregistrée est la plus faible de l'ordre 42 mm soit 5,4 % de la totalité des pluies.

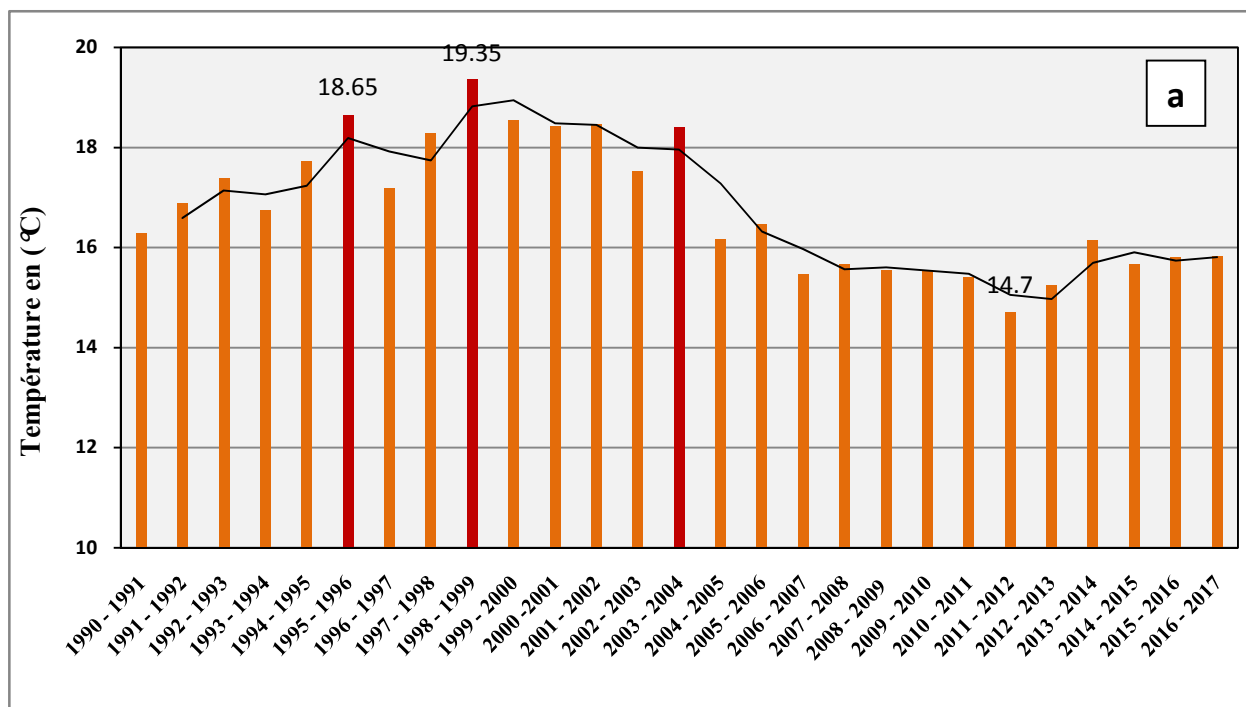
IV.2.2 La température

La température de l'air a une grande influence sur l'évapotranspiration laquelle favorise le déficit d'écoulement, ainsi elle influe sur le bilan hydrologique. On note aussi que les contrastes importants de température (écart considérable de température) entre le jour et la nuit, ont un effet négatif sur le comportement mécanique des versants. Elle intensifie le phénomène d'altération des formations superficielles par l'évaporation de l'eau, qui peut être à l'origine de son exfoliation ou une dilatation des molécules d'eau dans les pores du sol qui peut produire localement des pressions assez fortes.

Les mesures thermométriques moyennes mensuelles des données de la station de Souk Ahras pour une période de 27 ans 1990-2017 sont reportées sur le tableau N° II.3.

Tableau N° II.3 : Températures moyennes mensuelle et saisonnières pour la station de Sous Ahras (Période : 1990-2017)

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Moyenne interannuelle = 16,795 °C
Moyennes	22,27	18,72	12,87	10	8,66	8,86	12,08	14,3	17,71	23,28	26,23	26,56	
Moyennes saisonnière	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
	17,95 °C			9,17 °C			14,7 °C			25,36 °C			



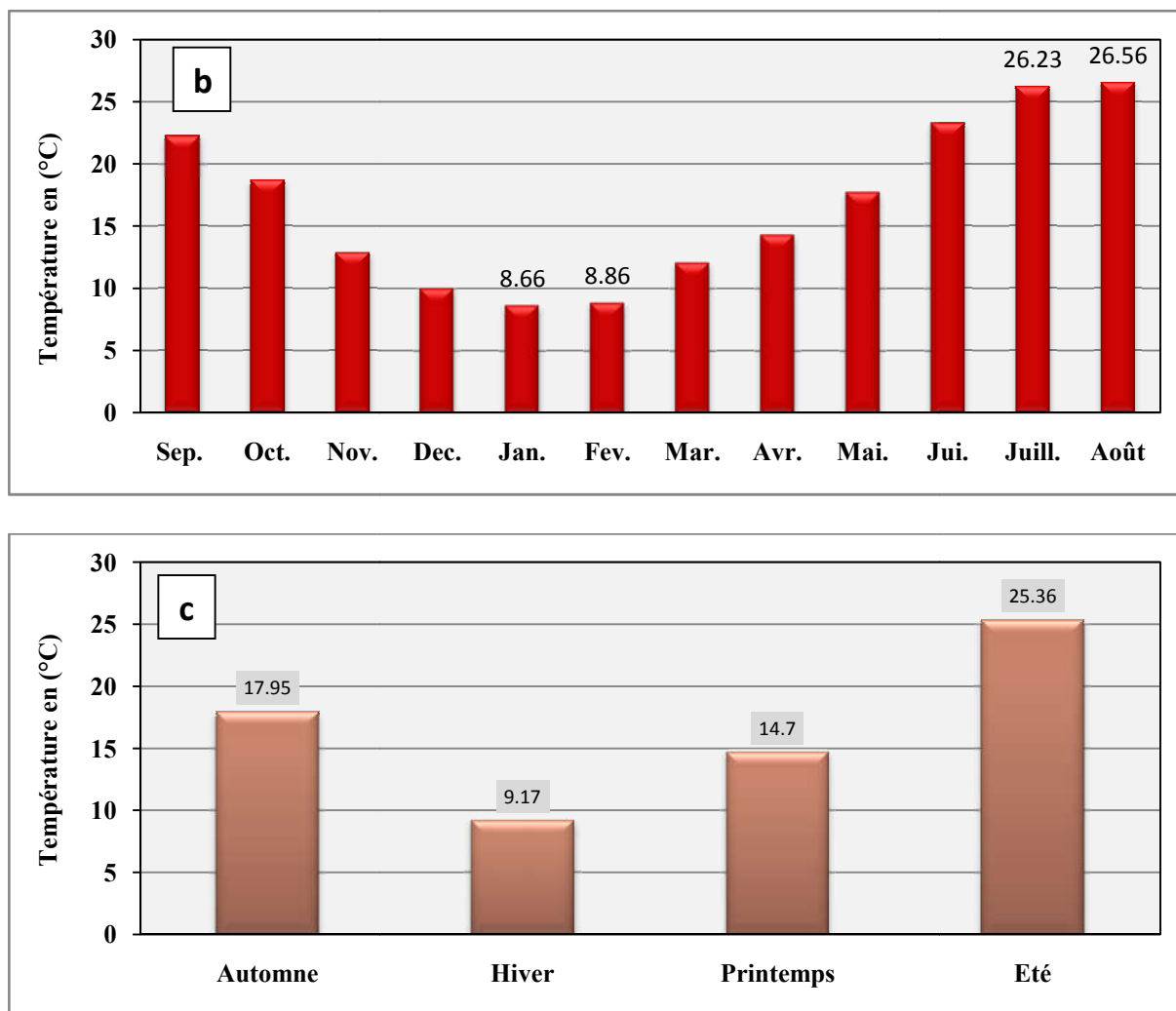


Figure II.6 : Variation des températures pour une série récente (1990-2017) de la station de Souk Ahras ; **a :** températures interannuelles en °C ; **b :** températures moyennes mensuelles en °C ; **c :** températures moyennes saisonnières en °C.

L'examen des mesures thermométriques moyennes mensuelles des données de la station de Souk Ahras pour une période de 27 ans 1990-2017, permet de tirer les résultats suivants :

- ❖ La variation des températures interannuelles sur une période de 27 ans (1990-2017), montre que la moyenne des températures est de l'ordre de 16,8 °C, balançant entre 19,35 °C en 1998-1999 et de 14,7 °C en 2011-2012 ;
- ❖ La variation des températures moyennes mensuelles montre un maximum de l'ordre de 26,56 °C observée au mois d'Août et un minimum de 8,66 °C caractérise le mois de Janvier. Les mois de Juillet et Août étaient les mois les plus chauds avec une moyenne mensuelle de 26,23 °C et de 26,56 °C respectivement. Tandis que les mois de Janvier et

Février étaient les plus froids avec une moyenne mensuelle de 8,66 °C et 8,86 °C respectivement.

- ❖ La variation moyenne saisonnière des températures d'une saison à l'autre, montre que l'Été est la saison la plus chaude avec une moyenne de 25,36 °C ; tandis que la saison la plus froide est l'Hiver avec une moyenne de 9,17 °C (on calcule dans ce cas un écarté de 16,19 °C). L'association de cet écart avec les facteurs provocateurs (exemple la morphologie, l'hydrologie, les sollicitations sismiques...) pourront provoquer des mobilités des blocs rocheux vulnérables. Dans notre secteur d'études on compte ce phénomène sur les crêtes calcaireuses culminantes à des hauteurs élevées.

IV.2.3 Relation Température-Précipitation (Diagramme Ombro-Thermique)

Les valeurs des précipitations et des températures enregistrées au niveau de la station de Souk Ahras sur une période de 27 ans (1990-2017), permettent l'établissement d'un diagramme ombro-thermique (Fig. II.7). C'est une représentation graphique des températures et quantités de précipitations moyennes mensuelles en un lieu donné où : $P = 2T$. Il montre la succession de deux saisons l'une sèche et l'autre humide. On dit qu'un mois est sec, lorsque le total des précipitations mensuelles en mm est égal ou inférieur au double des températures enregistrées en degrés Celsius.

La confrontation entre les valeurs des précipitations et celles des températures suivant le diagramme ombro-thermique de notre région, montre huit mois humides durant l'année s'étalent du mois d'octobre jusqu'au mois de mai ; cependant les mois qui restent représentent alors la période sèche qui débute normalement à la fin de mois de mai et s'achève au mois de septembre.

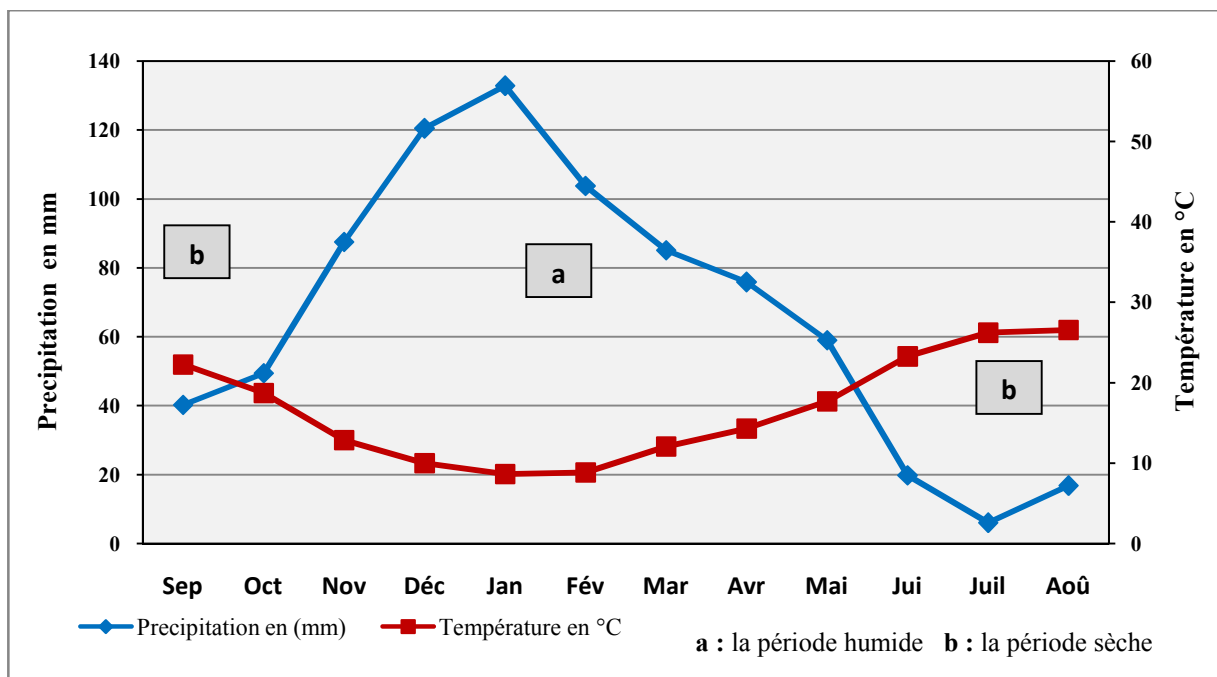


Figure II.7 : Diagramme ombro-thermique de la région de souk Ahras.

IV.2.4 L'humidité de l'air

C'est un état de climat correspondant à la quantité de vapeur d'eau dans l'air. Elle peut jouer le rôle de facteur catalyseur pour les réactions d'altération chimique des roches à la surface, comme par exemple le phénomène d'oxydation. L'humidité de l'air moyenne mensuelle et annuelle est donnée d'après les résultats des observations sur la station de Souk Ahras, de la période 1990-2017.

Tableau N° II.4 : L'humidité moyennes mensuelles et interannuelle pour la station de Sous Ahras (Période : 1990-2017).

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Moyenne interannuelle = 66,01 %			
Moyennes	61,64	67,74	71,5	74,3	75,41	72,98	72,36	69,81	65,07	59,6	50,56	51,19				
Moyennes saisonnière	Automne		Hiver		Printemps		Eté									
	66,96%		25,36%		74,23%		28,12%		69,09%		26,16%		53,78%		20,37%	

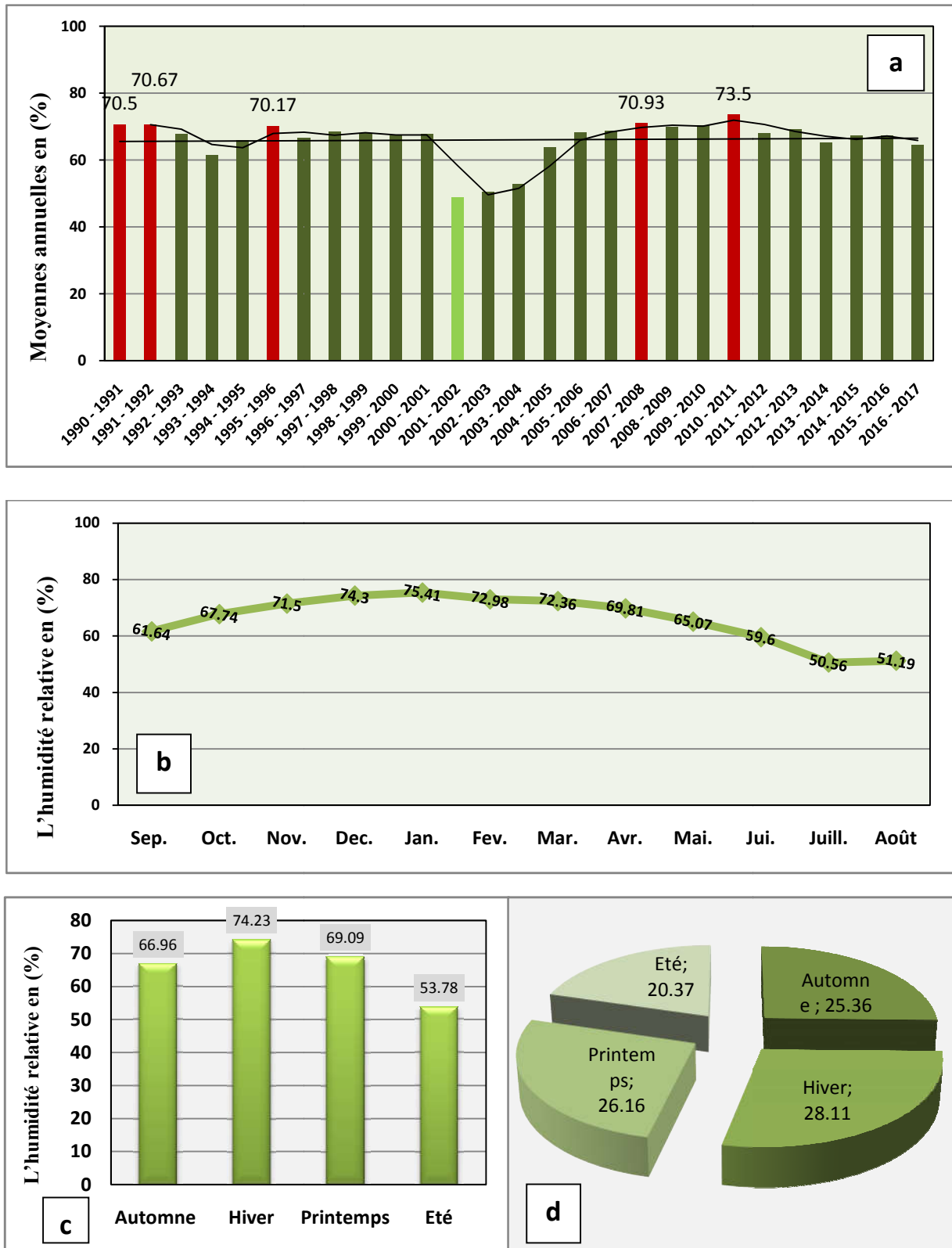


Figure II.8 : Variation de l'humidité relative (en %) pour une série récente (1990-2017) de la station de Souk Ahras ; **a** : variation interannuelle de l'humidité relative ; **b** : variation des moyennes mensuelles de l'humidité relative **c** : variation des moyennes saisonnières ; **d** : les pourcentages des variations des moyennes saisonnières de l'humidité relative.

L'analyse des données du tableau N° II.4 et de la figure II.8, montre que l'humidité relative dans la région de Souk Ahras varie entre un minimum de 50,56 % au mois de juillet et un maximum de 75,41 % au mois de janvier, avec une moyenne interannuelle de 66,01 %. La saison la plus sec de l'année est l'été avec une humidité relative moyenne de 53,78 %. Tandis que la saison la plus humide est l'hiver dont l'humidité relative atteinte le 74,23 %.

IV.2.5 Insolation et le rayonnement solaire

Nous conviendrons de définir l'insolation en un lieu comme le rayonnement direct reçu du soleil en ce lieu (J. Riblet, 1952). C'est un paramètre climatique principal, puisque la température dépend de la durée d'insolation journalière, et par conséquent, l'humidité et l'évapotranspiration potentielle.

La durée moyenne interannuelle et mensuelle de l'insolation est calculée d'après les données de la station de Souk Ahras, pour une période de 10 ans allant de 2008 jusqu'au 2017, est mentionnée dans le tableau N° II.5. Le nombre annuel moyen d'heures d'insolation est 2 401,7 heures/ans. L'ensoleillement reste important durant toute l'année et oscille entre 5,87 heures par jour en décembre et 14,75 heures par jour en juillet ; et à l'échelle saisonnière, l'été est la saison la plus ensoleillée avec une moyenne de 14,14 heures ; tandis que la saison la moins ensoleillée est l'hiver avec une moyenne de 6,41 heures.

Tableau N° II.5 : Durée moyenne mensuelle de l'insolation enregistrée à la station de Souk Ahras (Période : 2008-2017).

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	
Moyennes	9,99	9,63	7,53	5,87	6,48	6,88	8,94	10,51	12,12	13,87	14,75	13,8	Moyenne interannuelle = 10,03 h
Moyennes saisonnière	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
	9,05 h		22,56%	6,41 h		15,97%	10,52 h		26,22%	14,14 h		35,24%	

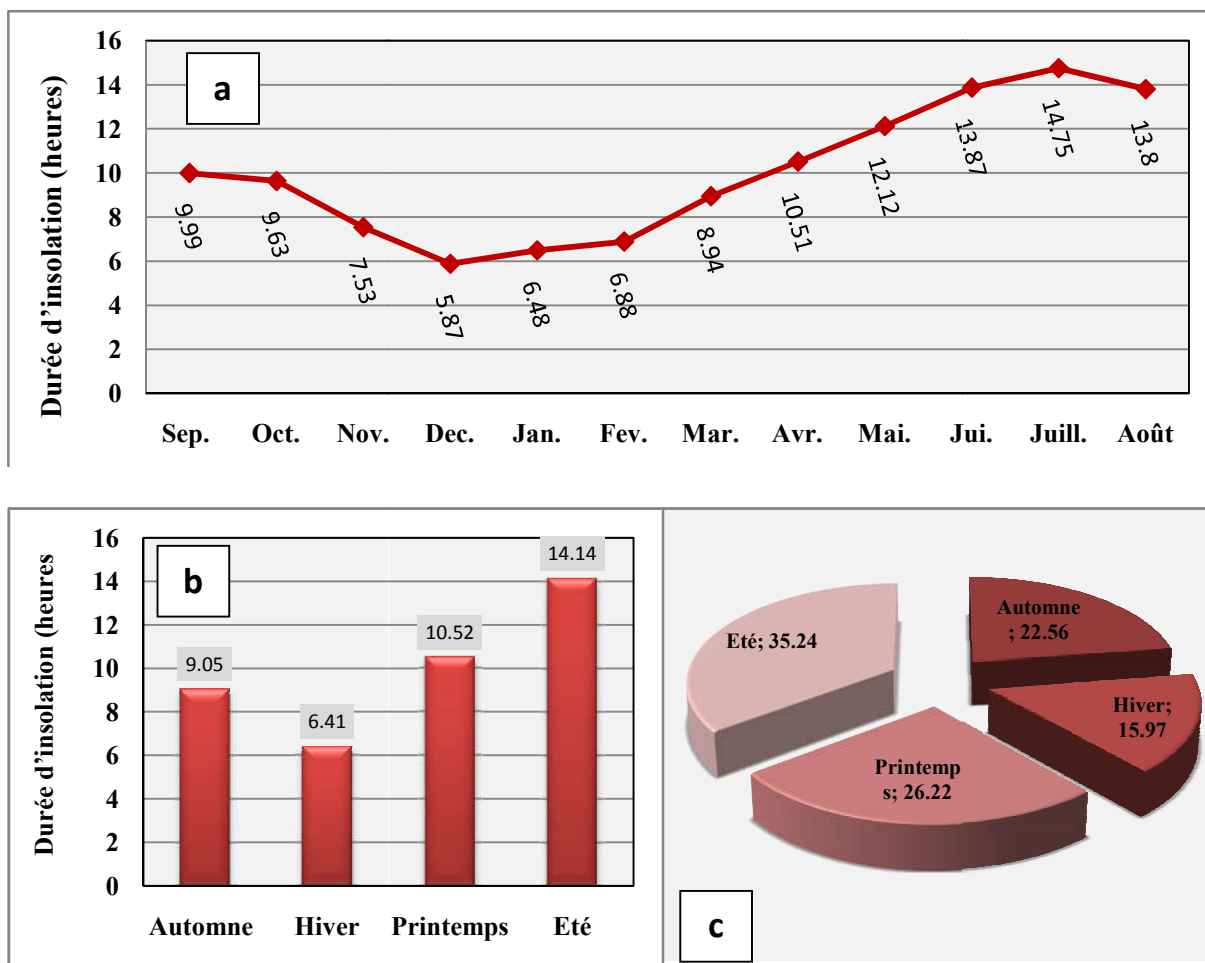


Figure II.9 : Variation de l’insolation (en heure) pour une série récente (2008 - 2017) de la station de Souk Ahras ; **a** : variation des moyennes mensuelles de l’insolation ; **b** : variation des moyennes saisonnières en heure ; **c** : les pourcentages des variations des moyennes saisonnières de l’insolation.

IV.2.6 L'évaporation

C'est la quantité d'eau évaporée ou transpirée par le sol et les végétaux. Dans cette étude, on a utilisé des valeurs moyennes interannuelles et mensuelles de l'évaporation d'une série récente de 10 ans allant de 2008 jusqu'au le 2017, mesurée au niveau de la station de Souk Ahras, à l'aide d'un bassin d'évaporation du type « Colorado ». L'analyse des données du tableau N° II.6 et de la figure II.10, montre que l'évaporation moyenne mensuelle dans la région de Souk Ahras varie entre un minimum de 43,9 mm au mois de janvier; et un maximum de 182,98 mm au mois de juillet ; avec une moyenne interannuelle de 91,6 mm.

Tableau N° II.6 : Evaporation en mm et en % mesurée à la station de Souk Ahras (Période : 2008-2017).

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août
Moyennes	111,68	90,66	60,54	44,35	43,9	44,41	56,54	68,58	89,61	130,67	182,98	175,62
Moyennes saisonnière	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	87,63 mm		23,91%	44,22 mm		12,06%	71,58 mm		19,53%	163,09 mm		44,53%
Moyenne interannuelle = 191,6 mm												

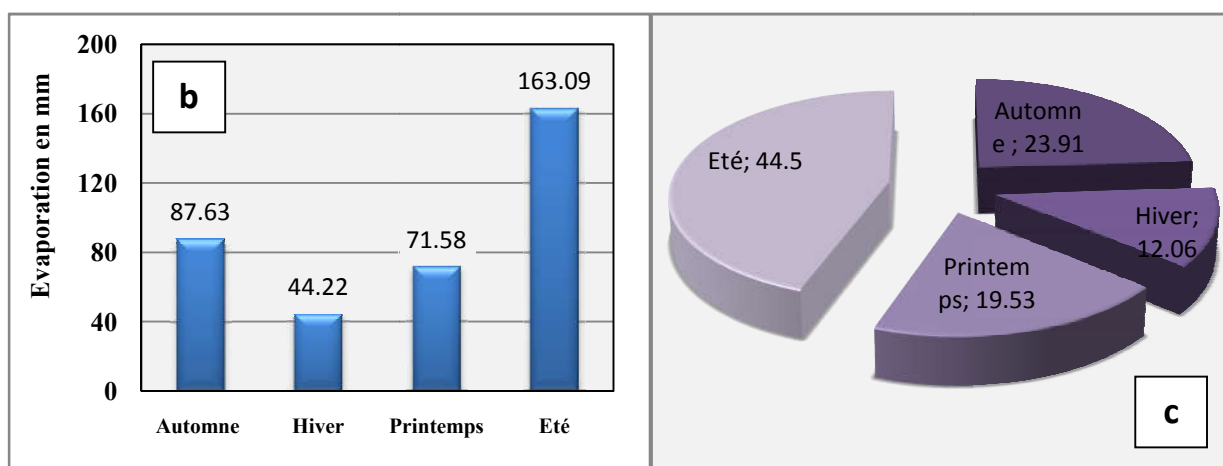
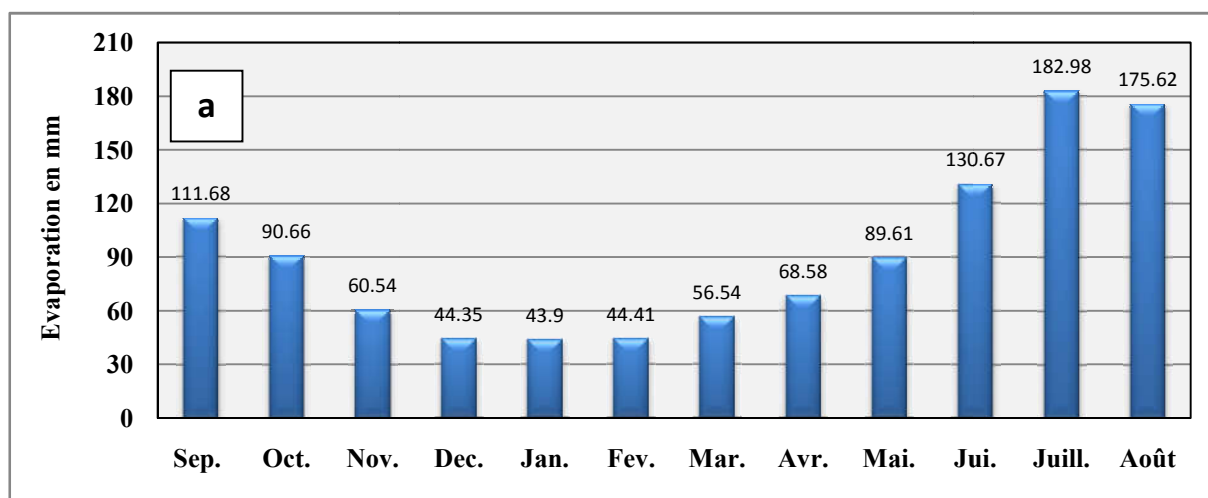


Figure II.10 : Variation de l'évaporation (en mm) pour une série récente (2008-2017) de la station de Souk Ahras ; **a** : variation des moyennes mensuelles de l'évaporation **b** : variation des moyennes saisonnières en mm ; **c** : les pourcentages de variation des moyennes saisonnières de l'évaporation.

IV.2.7 L'indice d'aridité

L'aridité est une situation du climat qui marquait par le manque d'eau dans tous ses cycles, différemment de l'humidité. L'indice d'aridité permet de caractériser le type de climat d'une région et le classer dans un étage bioclimatique (tableau N° II.7) ; basant sur les valeurs des précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes annuelles. Il est calculé par la formule de Martonne (1923) : $I = P/T^{\circ} + 10$; dont **P** : pluviométrie annuelle moyenne en mm, **T°** : température moyenne annuelle en C°.

Pour la station de Souk Ahras : $P = 797,0$ mm, $T = 16,795$ °C, alors que $I = 29,74$. D'où $20 < I < 30$ on trouve que notre secteur d'études est caractérisé par un climat tempéré.

Tableau N° II.7 : Type de climat selon l'indice d'aridité de Martonne (1923).

Indice d'aridité de MORTONNE	Type de Climat
$I < 5$	Climat hyper aride
$5 < I < 7.5$	Climat désertique
$7.5 < I < 10$	Climat steppique
$10 < I < 20$	Climat semi-aride
$20 < I < 30$	Climat tempéré

IV.2.8 Calcule de bilan hydrique selon la méthode de CW. Thornthwaite

C'est l'étude qui permet d'évaluer le processus que suit une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation ou neige avant de se retourner à l'atmosphère. Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (G. Castany, 1982) : $P = ETR + R + I$

Dont **ETR** : l'évapotranspiration annuelle (mm). **I** : infiltration. **P** : précipitation. **R** : ruissellement.

IV.2.8.1 Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (processus biologique); l'évapotranspiration est fonction de plusieurs facteurs (l'humidité, la température, l'insolation et la couverture végétale). L'évapotranspiration s'exprime en mm d'eau pour une période donnée et peut intervenir à tout moment du cycle de l'eau à condition qu'il y ait assez d'eau à évapotranspiré et une énergie suffisante (in M. Bourouga, 2015). Le terme de l'évapotranspiration englobe deux types:

- ❖ L'évapotranspiration potentielle (ETP) : C'est l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques données.
- ❖ L'évapotranspiration réelle (ETR) : C'est la quantité d'eau évaporée effectivement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libre, pour une surface donnée et une période définie.

Les pertes d'eau d'un sol atteignent l'ETP si elles sont supérieures ou égales au stock d'eau de la RFU (la réserve facilement utilisable).

En cas d'insuffisance elles sont limitées à une quantité plus petite ou ETR (G. Castany, 1982). On a établi un bilan hydrique basant sur les formules proposées par Thorntwait. Les résultats sont montrés dans le tableau N° II.8.

Tableau N° II.8 : Bilan hydrique de la région de Souk Ahras selon Thorntwait (station de Souk Ahras : 1990-2017).

Mois	T (°C)	IT	K	ETP _{nc} (mm)	ETP _C (mm)	P (mm)	P - ETP	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Défi. (mm)	Exc. (mm)
S	22,27	9,6	1,03	89,73	92,42	40,26	-52,16	-49,47	-0,54	0	0	40,26	52,16	0
O	18,72	7,38	0,97	67,12	65,11	49,48	-15,63	-15,63	-0,24	0	0	49,48	15,63	0
N	12,87	4,18	0,86	35,9	30,88	87,51	56,63	56,63	1,83	56,63	56,63	30,88	0	0
D	10,01	2,86	0,84	23,59	19,82	120,44	100,62	100,62	5,08	13,37	70	19,82	0	87,25
J	8,66	2,3	0,87	18,53	16,12	132,78	116,65	116,65	7,24	0	70	16,12	0	116,65
F	8,86	2,38	0,85	19,24	16,36	103,8	87,44	87,44	5,35	0	70	16,36	0	87,44
M	12,08	3,8	1,03	32,31	33,28	85,1	51,82	51,82	1,56	0	70	33,28	0	51,82
A	14,3	4,91	1,1	42,84	47,12	75,87	28,75	28,75	0,61	0	70	47,12	0	28,75
M	17,71	6,78	1,21	61,17	74,02	59,05	-14,97	-14,97	-0,2	-14,97	55,03	74,02	0	0
J	23,28	10,27	1,22	96,63	117,89	19,83	-98,06	-98,06	-0,83	-55,03	0	74,86	43,03	0
J	26,23	12,3	1,24	117,93	146,24	6,04	-140,2	-140,2	-0,96	0	0	6,04	140,2	0
A	26,56	12,53	1,26	120,37	151,66	16,83	-134,84	-134,84	-0,89	0	0	16,83	134,84	0
Annuel	16,8	79,29		725,39	810,93	796,98		-11,25				425,07	385,85	371,91

T : température mensuelle en (°C); P : précipitation mensuelle en (mm); IT : indice thermique ; K : coefficient de correction; ETP_{nc}: évapotranspiration potentielle non corrigée en (mm); ETP_C: évapotranspiration potentielle corrigée en (mm); BH: Bilan Hydrique; RFU : réserves facilement utilisable en (mm) ; ETR : évapotranspiration réelle en (mm); Défi. : Déficit agricole en (mm); Exc. : excédent en (mm).

IV.2.9 L'interprétation du Bilan hydrologique

L'interprétation des résultats du bilan hydrologique (tableau N° II.8, figures II.10 et II.11) permis de tirer les conclusions suivantes :

- ❖ La période déficitaire commence au mois de Juin et s'achève au mois d'Octobre de l'année qui suit avec un maximum de 140,20 mm enregistré au mois de Juillet et un maximum de 15,63 mm au mois d'Octobre. Dans cette période la désagrégation physique est considérable, le terrain se fatigue par le déficit du volume de l'eau, se manifestant par le retrait des argiles et l'apparition des fissures engendrées par la traction.
- ❖ L'excédent d'eau s'étale du mois de Décembre avec 87,25 mm jusqu'au mois d'Avril avec 28,75 mm, c'est au cours de cette période que la stabilité est menacée et que le risque de mouvement de terrain s'élève par augmentation du volume d'eau dans le sol et dans le sous-sol ;
- ❖ La précipitation atteint leurs maximums au mois de Janvier (132,78 mm)
- ❖ L'évapotranspiration atteint son maximum au mois de d'Août (151,66 mm) où les précipitations atteignent (16,83 mm). Pendant le mois de Décembre le stock se reconstitue où la RFU atteint son maximum (70 mm) jusqu'au mois d'Avril, puis demeure jusqu'au mois de Mai avec une valeur de 55,03 mm, ensuite diminue jusqu'à l'épuisement total au mois de Juin.

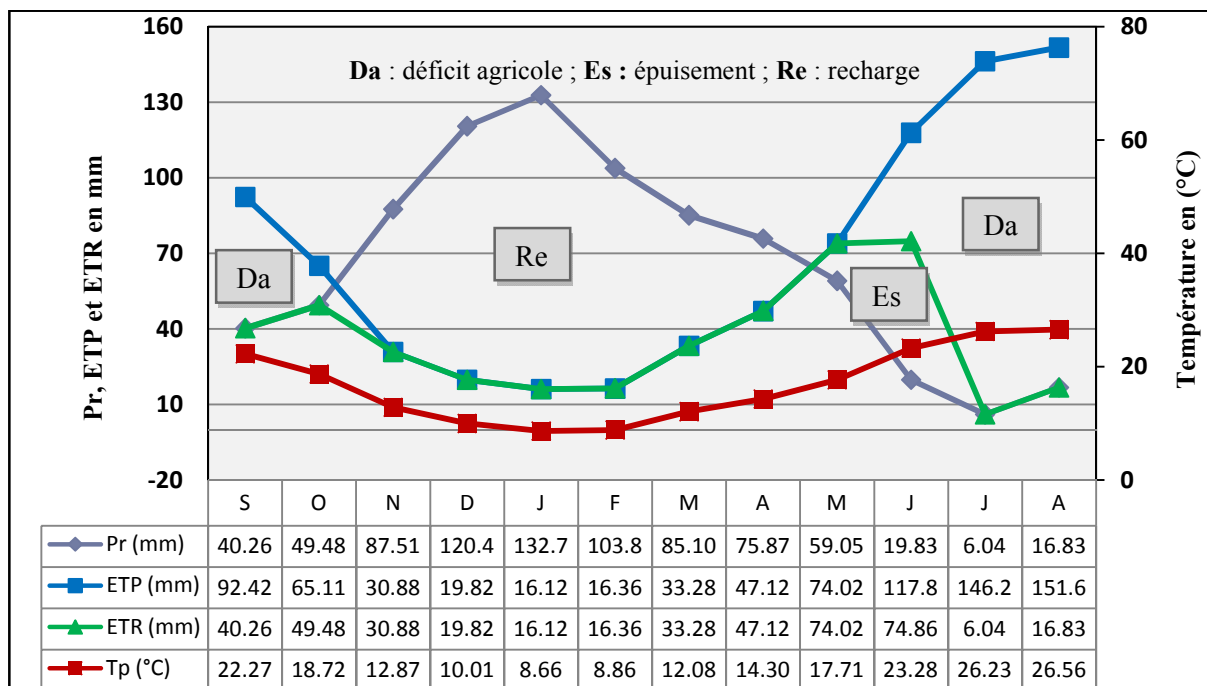


Figure II.11 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite (station de Souk Ahras ; 1990-2017).

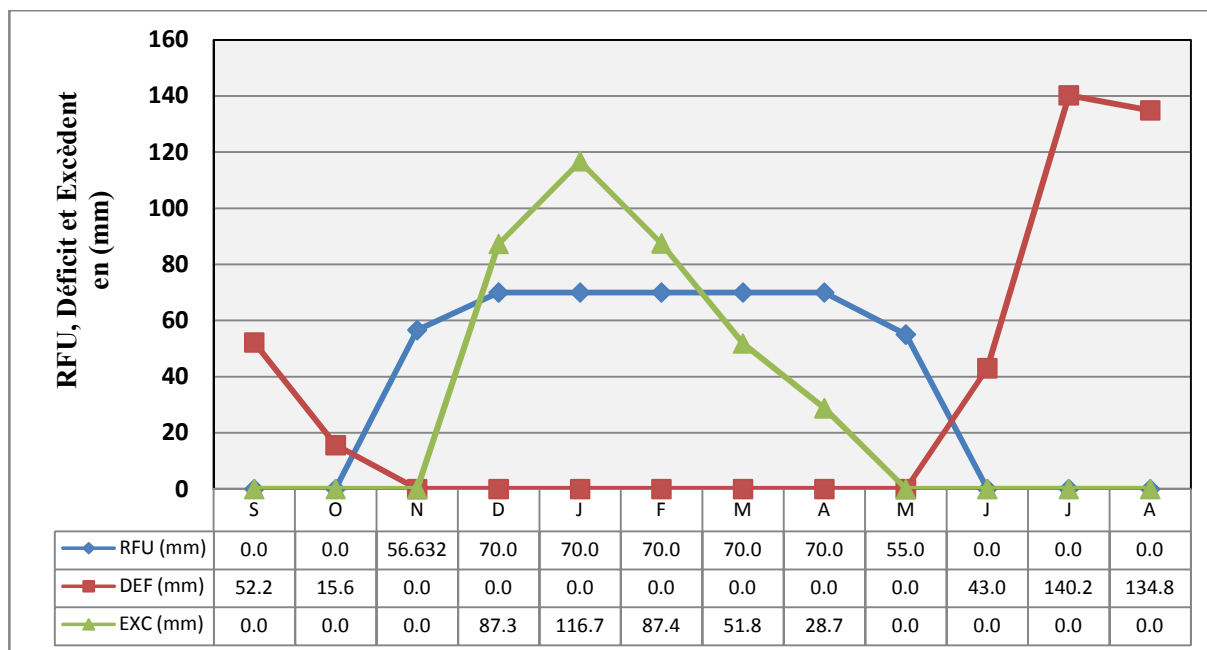


Figure II.12 : Représentation graphique du bilan hydrologique (station de Souk Ahras ; 1990-2017).

IV.3 Couvert végétal

La végétation joue le rôle d'écran qui conditionne la rapidité du ruissellement superficiel et amortit son agressivité. Elle est étroitement liée à la nature du sol et au climat. Ainsi, les formes et l'importance de l'érosion hydrique sont directement liées, en plus d'autres facteurs, à la répartition de la couverture végétale sur terrain.

La wilaya de Souk Ahras possède un patrimoine forestier très important. La superficie forestière est estimée à 82 000 hectares soit 17,28 % de la superficie totale de la wilaya (B.N.E.D.E.R., 2007, in I. Samai, 2017); concentrée essentiellement au niveau des communes de Mechroha (75,48 %), Ouled Moumen (50,01 %), Ain Zana (52,98 %) et Zaarouria (49,53 %) (in H. Djaba, 2010).

La configuration géographique de la zone d'étude laisse apparaître 3 grands ensembles nettement distincts (in H. Djaba, 2010):

- Au NE : Zone montagneuse faisant partie de la chaîne Tellienne et qui constitue le patrimoine forestier de la région ;
- Au SE : Zone constituée de plaines agricoles et de pâturages ;
- Au S : Zone des hauts plateaux.

Les principales espèces sont le pin d'Alep, l'eucalyptus, le chêne-liège, le chêne zeen et d'autres espèces. Les superficies recouvertes par ces espèces se répartissent comme suit : Pin d'Alep avec 33 569 ha soit 34,50 % de la superficie totale de la wilaya ; Eucalyptus avec

29 779 ha soit 30,61 % ; Chêne liège avec 12 535 ha soit 12,88 % ; Chêne zeen avec 4 387 ha soit 4,97 %. Autres essences avec 16 560 ha soient 17,04 % (in Zouaidia, 2006).

En matière d'agriculture, la configuration géomorphologique de la wilaya fait apparaître deux ensembles non homogènes : une zone N à forte dominante d'élevage bovin et arboriculture fruitière et une zone S à forte dominance d'élevage ovin et production céréalière. La surface agricole totale de la wilaya est estimée à 311 492 hectares et sa superficie agricole utile est estimée à 253 606 hectares. Plus de 70 % des cultures sont pratiquées sur des terrains à pente supérieure à 12,5 %, dont 47 % sont considérés comme étant instables (in I. Samai, 2017).

La région de Souk Ahras est caractérisée par des formations sédimentaires allant du Trias jusqu'au Quaternaire. La répartition de la couverture végétale dans les différentes lithologies couvrant la zone d'étude représentée comme suit :

- ❖ Les terrains triasiques sont assez impropres au développement de la culture ;
- ❖ Les calcaires du Sénonien supérieur sont tout à fait dépourvus de cultures. C'est le terrain préféré du « diss » ;
- ❖ Les marnes cendrées, lorsqu'elles occupent des régions peu accidentées (haute vallée de la Medjerda) sont cultivées en céréales. Ailleurs elles sont recouvertes de buissons ou de pâturages ;
- ❖ Les argiles et les marnes de l'Éocène et principalement l'assise de la base, dont l'élément fertilisant est le phosphate, donnent lieu à d'excellentes terres à céréales qui ont déterminé la création du village de Gounod ;
- ❖ Les grès numidiens forment le terrain de prédilection du chêne-liège et du chêne zeen. Ce sont eux qui supportent les grandes forêts de la région ;
- ❖ Les argiles sous-jacentes donnent lieu à quelques cultures lorsqu'elles ne sont pas trop recouvertes d'éboulis gréseux. Ailleurs elles supportent des pâturages ;
- ❖ Les grès Burdigalien sont d'ordinaire peu propres à la culture, par contre les marnes qui les surmontent sont entièrement cultivées en céréales ;
- ❖ Enfin, les argiles sableuses et conglomérats rouges du Pontien donnent d'assez bonnes terres de cultures (B. Kriviakine, et al., 1989a).

V. Contexte géologique de la région de Souk Ahras

V.1 Introduction

Le N de l'Algérie est composé de diverses unités géologiques et structurales, faisant partie de la chaîne alpine des Maghrébides qui s'étend de l'W à l'E sur 2 000 km depuis Gibraltar jusqu'à la Calabre (Durand-Delga, 1969). Cette chaîne est divisée classiquement en deux parties.

- Les zones internes représentées aujourd'hui par les massifs cristallins, métamorphiques, de grande et de petite Kabylie, d'Alger et du Chenoua, recouverts par une dorsale kabyle à matériel paléozoïque et mézo-cénozoïque et par des nappes de flyschs et une couverture discordante d'âge Oligo-Miocène.
- Les zones externes, situées en bordure S des zones internes, constituées d'un autochtone, de para-autochtone et d'un empilement de nappes telliennes et de nappes de flyschs.

La région d'étude s'étale sur le territoire de la wilaya de Souk Ahras qui s'insère entre la bordure septentrionale atlasique et le domaine tellien charrié de la chaîne des Maghrébides. Elle constitue une zone charnière entre deux domaines structuraux distincts : l'Atlas Tellien au N, formé d'un empilement de nappes de charriages de différents domaines paléogéographique et l'Atlas Saharien au S, caractérisé par d'épaisses formations mésozoïques (environ 2 500 m) plissées et fracturées. D'importantes masses triasiques affleurement disposées parallèlement à la chaîne atlasique.

La région étudiée présente des formations du domaine externe de la chaîne des Maghrébides (nappes telliennes) et des unités de flysch numidien reposant par un contact anormal, jalonné de complexe triasique sur des unités parautochtones de l'avant pays atlasique et des diapirs atlasiques (Vila, J. M. 1980).

V.2 Historique des travaux antérieurs

- Les premières recherches géologiques à l'échelle des monts de la Medjerda furent entamées par Pomel (1888), avant qu'apparaissent les premières monographies régionales sur l'E Constantinois (Dareste de la Chavanne, 1907, 1908; Jacob, 1909 ; Blayac, 1912);
- Flandrin (1934) réalise la première carte géologique au 1/50 000 de Souk Ahras ;
- G. Dubourdieu (1952) étudie les Monts du Mellégue dans un travail détaillé qui a permis de tracer les lignes stratigraphiques, tectoniques, métallogéniques et morphologiques de la région ;

- **David (1956)**, entreprend une étude géologique détaillée dans les monts de la Medjerda, en établissant des coupes géologiques et une esquisse géologique à 1/200 000 ;
- L'étude menée par **J.M. Vila (1980)** sur la chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens, a abouti à l'élaboration de la carte structurale à 1/500 000 du N-E Algérien ;
- De 1985 à 1986, les levés géologiques de **Kriviakine, Kovalenko et Vnouchkov** ont abouti en 1989 à l'édition des cartes géologiques au 1/50 000, de la feuille de Taoura, d'Oued Mougras et de M'daourouch et la deuxième édition de la feuille de Souk Ahras, par le Service Géologique de l'Algérie.

V.3 Les grands ensembles structuraux de la région de Souk Ahras

La zone d'étude contient deux ensembles structuraux majeurs : un ensemble autochtone N Aurasien caractérisé par une tectonique cassante et de larges plis, et un ensemble allochtone caractérisé par une tectonique tangentielle alpine.

Le domaine des nappes telliennes, numidiennes et les Sellaoua se situe au N de l'axe Sedrata, Tiffech, Souk Ahras. C'est la tectonique compressive qui fut responsable de la mise en place des nappes telliennes et l'écaillage de Sellaoua.

Le domaine N Aurasien au S, étalé à travers toute la région de Bir Bouhouche et celle d'Oum El Adaim, le S de Sédrata et le synclinal Dréa-Taoura-Merahna, ainsi que le complexe salifère.

V.4 Aperçu géologique de la région de Souk Ahras

La région de Souk Ahras est caractérisée par des formations sédimentaires. Une carte géologique (Fig. II.14) au 1/50 000 a été dressée sur la base de quatre cartes (Souk Ahras, M'Daourouch, Sedrata et la Mahouna à l'échelle de 1/50 000) (Fig. II.13).

Les ensembles litho-stratigraphiques sont décrits dans les nappes numidiennes, telliennes, les séries écaillées des Sellaoua, ainsi que dans les unités parautochtones et autochtones atlasiques. Il en est de même pour les formations triasiques (diapirs et complexes de base de nappes) et des terrains post-nappes.

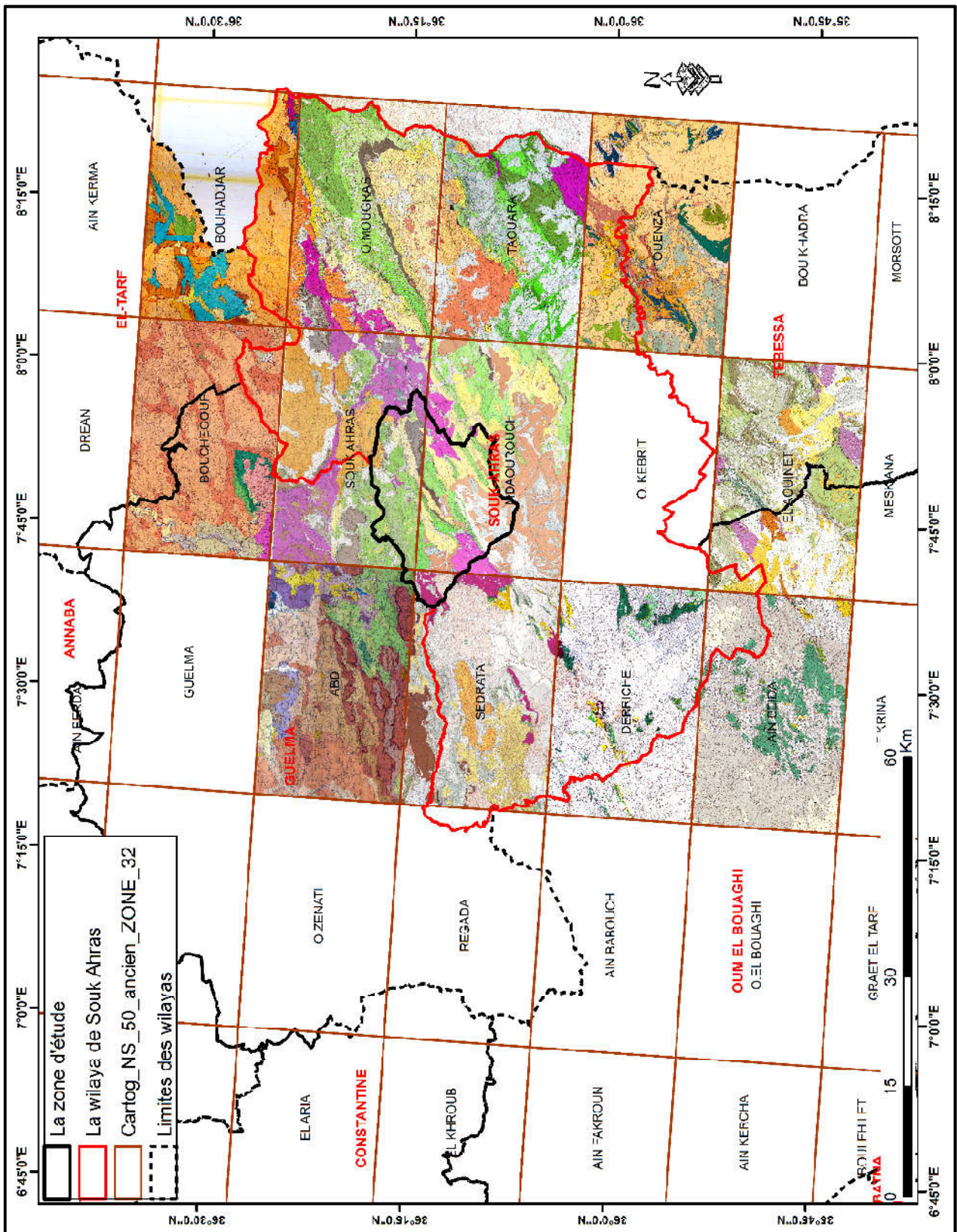
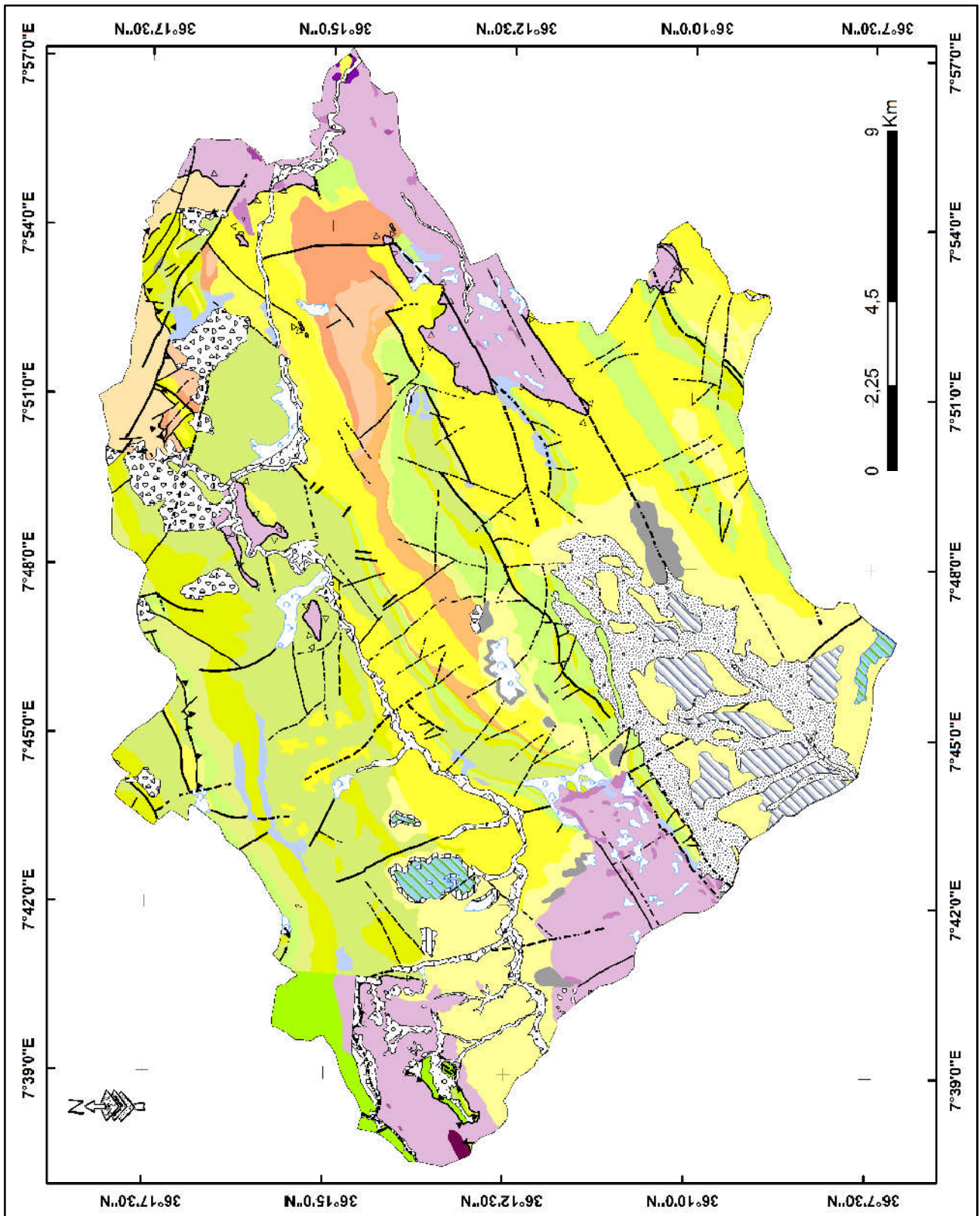


Figure II.13 : Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000, couvrant la zone d'étude.



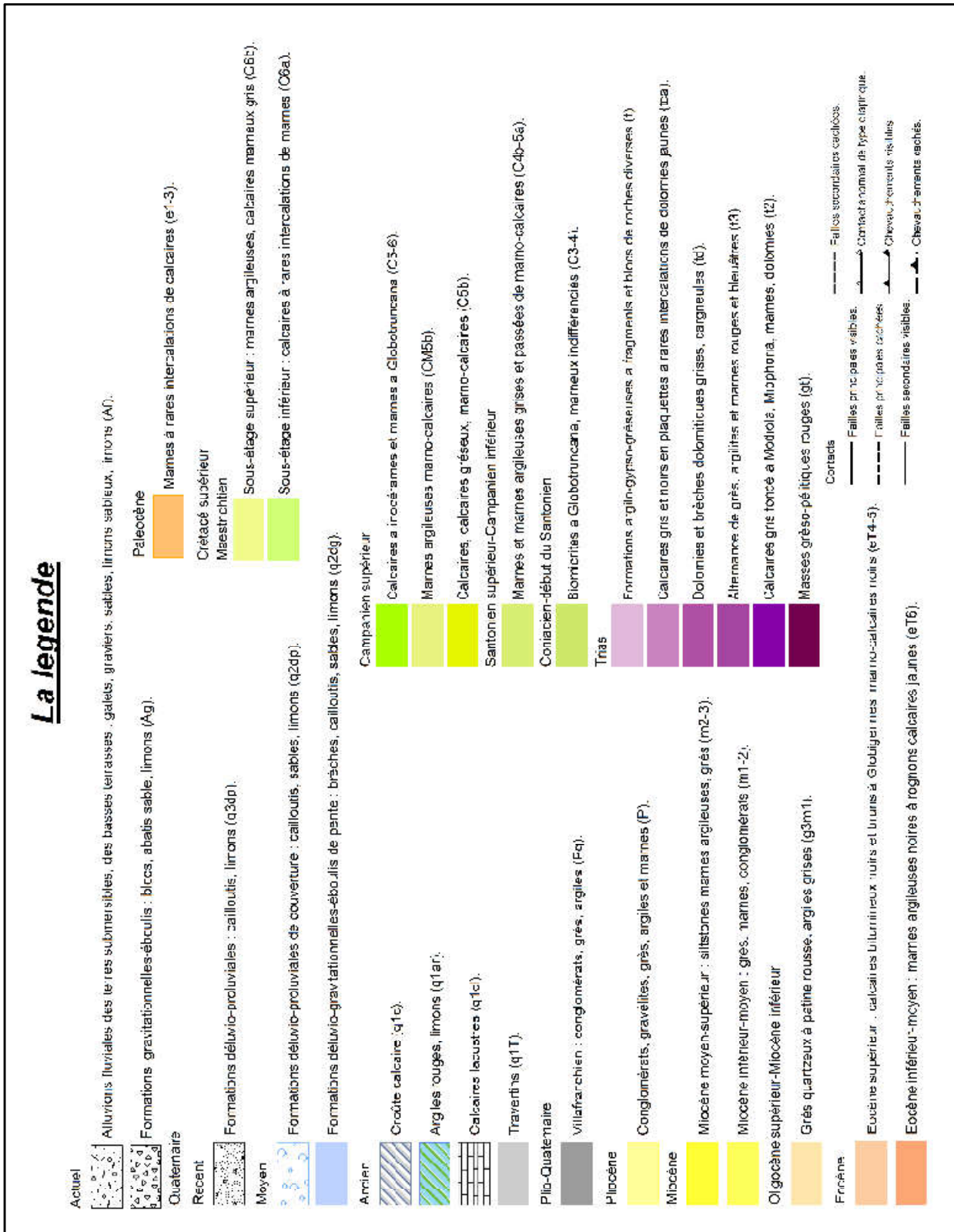


Figure II.14 : Carte géologique simplifiée de la zone d'étude (digitalisé à partir des cartes géologiques à 1 : 50 000 de : Souk Ahras « feuille N°77 »; M'daourouch « feuille N°100 »; Sedrata « feuille N°99 » et la carte de Abdi «feuille N°76 »).

V.4.1 Les unités allochtones

V.4.1.1 La nappe numidienne

La nappe numidienne occupe la partie septentrionale du secteur d'étude. Elle est représentée par une épaisse série détritique (plus de 1 000 m d'épaisseur) essentiellement gréseuse. La base de la formation, d'âge Oligocène inférieur, est plus riche en argilites qu'en grès. Elle est surmontée par une série très riche en grès et silex d'âge Oligocène supérieur-Aquitainien, qui repose sur les unités précédentes par un contact tectonique subhorizontal, visible au Djebel Boubakouch (Vila, 1980 ; Chabbi et al. 2016).

V.4.1.2 Les nappes telliennes

Les nappes telliennes sont peu représentées sur le périmètre étudié. Elles se trouvent à l'E de Souk Ahras et au S de l'Oued Medjerda (Vila, 1980). Constituant le Djebel Boukebch. Elles comprennent (Flandrin, 1934, Vila, 1980, Kriviakine et al.1986a) :

- Le Paléocène à marnes argileuses noires et à marno-calcaires noirs à patine gris-clair;
- L'Eocène inférieur et moyen à marnes argileuses noires, à rognons calcaires jaunes ;
- L'Eocène supérieur est composé de calcaires bitumineux noirs et bruns à Globigerines, et des marno-calcaires noirs.

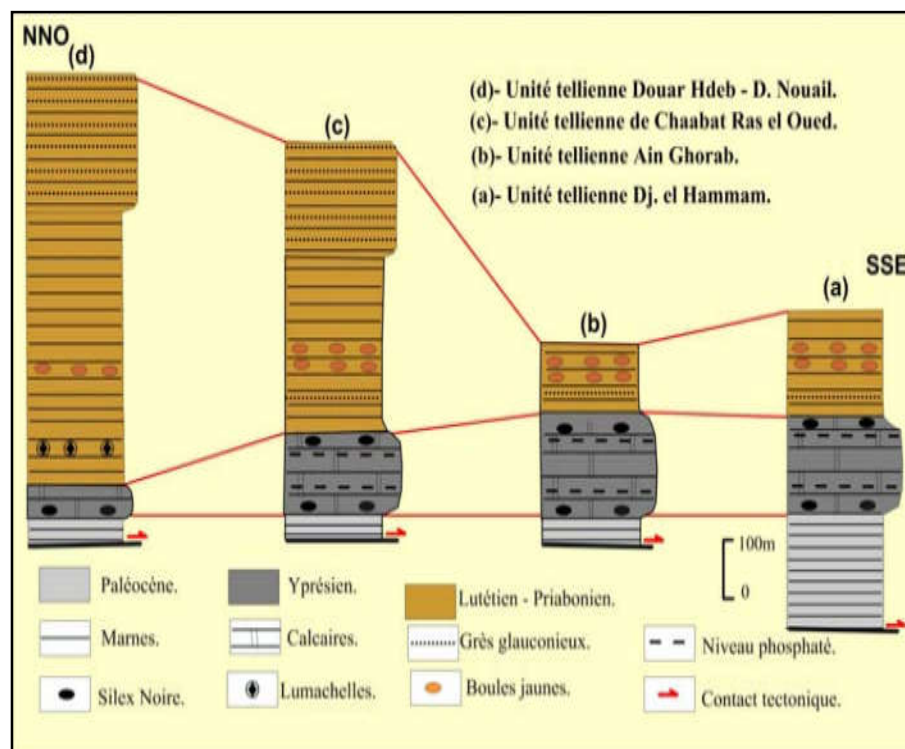


Figure II.15: Colonnes litho-stratigraphiques des unités telliennes d'Ouled Driss (in Chabbi et al. 2016).

V.4.1.3 Les séries écaillées des Sellaoua

Les séries écaillées des Sellaoua font partie des organisations de l'avant pays allochtone. Elles sont représentées par une épaisse série crétacée de marnes et de calcaires plus benthiques que celle de l'autochtone atlasique. Elles constituent les écailles de Djebel Boualek et de Djebel Boubakouch au NW de Souk Ahras (Vila, 1980 ; Kriviakine et al., 1986b ; Chabbi et al. 2016).

V.4.2 Les unités paraautochtones et autochtones Atlasiques

Les unités paraautochtones et autochtones atlasiques constituent la bordure terminale du domaine atlasique Saharien aux confins Algéro-Tunisien. Elles forment des structures plissées et écaillées, orientées SW-NE. Ces formations occupent la majeure partie de la région d'étude (Fig. II.14).

- Le Jurassique n'affleure pas dans la région de Souk Ahras;
- Le Crétacé inférieur est composé de marnes, calcaires et grès. L'Aptien affleure aux Djebel Sidi Aneur et Ras El Guemma. L'Albo-Cénomaniens, épais de 900 m, est constitué de marnes, de siltstones et de calcaires marneux. Il affleure au niveau de Koudiet el Hemimib (Hadji, 2013);
- Le Crétacé supérieur affleure dans la majeure partie de la zone d'étude. Le Sénonien y est représenté ;
 - Le Coniacien et le Santonien basal, forment une épaisse série marneuse gris sombre. Elles sont très riches en beef.
 - Le Santonien supérieur-Campanien inférieur est constitué de marnes à rares bancs de calcaire, argileuses de teinte grise ou gris foncé, à nuances bleuâtres ou verdâtres, de compacité variable allant de tendre à très compacte, souvent à litage confus et à débit esquilleux (Kriviakine, et al., 1989b).
 - Le Campanien supérieur offre deux termes. i) Un terme inférieur constitué par une série calcaire à quelques inter-lits de marnes. ii) Un terme supérieur formé de marnes calcaires grisâtres en lits semi-métriques et de bancs décimétriques de calcaires argileux, surmonté de marnes à bancs calcaires (Kriviakine, et al., 1989b).
 - Le Campanien-Maestrichtien composé de calcaires à Inocérames et marnes à Globotruncana.

- Le Maestrichtien occupe les sommets des falaises et recouvre les versants en pente douce. Par leur lithologie, les terrains du Maestrichtien se subdivisent nettement en deux séries formant les sous-étages inférieur et supérieur. I) Le Maestrichtien inférieur, composé de calcaires à rares passées de marnes (Kriviakine, et al., 1989a). II) Le Maestrichtien supérieur, correspond à une série marneuse ou marno-argileuse de teinte gris-foncé, mal litée (Kriviakine, et al., 1989a).
- Le Paléocène, d'une puissance de 80 à 200 m, est marno-calcaire. Il affleure au SE de M'Daourouch, aux Djebel Sessou, Ain Hallouf, Meharès et Ogla (Vila, 1980 ; Kriviakine et al.1986a).
- L'Eocène présente des faciès différents selon les zones N ou S de notre région d'étude. Ses faciès indiquent durant le Lutétien un approfondissement du bassin sédimentaire en N, par opposition à une zone haute au S.
Il comprend des marnes calcaires et des lumachelles du Priabonien, surmontant les calcaires nummulitiques et les marnes d'âge Yprésien-Lutécien (Kriviakine et al. 1989a).
 - L'Yprésien, à calcaires bitumineux, sont des calcaires en petits bancs, blancs en surface, bruns et noirs à la cassure, légèrement phosphatés et bitumeux. Ces calcaires épais d'environ 40 m. A la base de ces calcaires se trouvent un niveau phosphaté de 2 à 3 m d'épaisseur ayant donné lieu, autrefois, à de petites exploitations.
 - Le Lutétien inférieur (faciès N), à marnes noirâtres à rognons de calcaire jaunes : marnes puissantes d'environ 200 m (Flandrin, 1934).
 - Le Lutétien inférieur (faciès S), composé de calcaires à grandes nummulites : calcaires en bancs épais ou massifs, blancs, sub cristallins, pétris de nummulites. Ces calcaires, puissants de 50 m environ, forment les sommets du Djebel Dekma, du Djebel Bou Kebch (Flandrin, 1934).
 - Le Lutétien supérieur (faciès S) à marnes (150 m d'épaisseur) à lumachelles d'Ostracées, intercalées de nombreux bancs de calcaires à lumachelles. Ce niveau est très bien représenté au Djebel Dekma (Flandrin, 1934).
- Le Miocène constitue une puissante série atteignant 700 à 1 200 m et occupe des surfaces assez importantes.
 - Le Miocène inférieur-moyen composé de conglomérats, grès, argiles, marnes, affleurant largement dans la partie SW de la zone d'étude. Ces dépôts sont transgressifs sur les séries sénoniennes, sur lesquelles ils reposent avec une discordance angulaire soulignée par des conglomérats bien cimentés. Ces derniers

sont parfois rubéfiés, à galets bien roulés, formant des lentilles locales ou des bancs, rarement de grande étendue et passant latéralement à des grès grossiers ou à des calcaires coquilliers.

- Le Miocène moyen-supérieur constitué d'argiles, marnes, silts et grès. Les sédiments de cet âge occupent les parties voisines des cœurs des structures synclinales, étirées vers le NE. Ils surmontent en discordance les terrains du Crétacé supérieur et du Miocène. La série est représentée par une séquence dans laquelle alternent les couches pluri-métriques d'argiles, de marnes et de silts. Des bancs de grès quartzeux ou glauconieux de teinte gris-jaunâtre ou brun-verdâtre sont visibles à la base de la série (Krivakine, et al., 1989a).
- ❖ Le Pliocène est constitué d'argiles rouges, grès, poudingues, marnes et calcaires lacustres. La série est représentée par des terrains continentaux discordants sur les formations sous-jacentes du Trias, du Crétacé et du Miocène. Sa partie inférieure, épaisse de 150-200 m, est constituée de conglomérats, micro-poudingues, grès à niveaux argileux et de marnes argileuses rouges (Krivakine, et al., 1989a).

V.4.3 Les formations triasiques

Le Trias affleure dans des structures diapiriques à l'E et au SW de notre zone d'étude. Il apparaît également à la base des formations telliennes. Le matériel triasique est intensément déformé, broyé et ne présente pratiquement nulle part des relations normales avec les séries sus-jacentes. De ce fait, il est difficile de distinguer les cortèges diapiriques des complexes à la base des unités allochtones.

La particularité des terrains triasiques est l'hétérogénéité de leur composition. Il s'agit souvent d'une brèche tectonique, dite « mélange », mal stratifiée, comprenant principalement des argiles bariolées de teintes vives (violet, rouge, lie de vin, jaune, verdâtre, etc.), des cargneules généralement jaunes, des marnes et des bancs de calcaires jaunes, des lits et des amas de gypse et des encroûtements gypseux, enfin des bancs disloqués de calcaires dolomitiques sombres, très denses et de calcaires bleuâtres.

La mise en place des roches triasiques dans la région est l'objet de plusieurs hypothèses. D'après David (1956), les accidents méridiens ont d'abord joué le rôle de rides, entraînant la montée de grosses masses triasiques dans des diapirs. Cette hypothèse a été adoptée par Krivakine et al, (1990). Cependant Vila (1993) considère que les roches du Trias correspondent à trois types de domaines (Fig. II.16) qui sont : i) le domaine des véritables structures diapiriques ; ii) le domaine des glaciers de sel sous-marins ; iii) les complexes

triasiques allochtones à la base des nappes telliennes et numidiennes de la région de Souk Ahras et les unités allochtones des Sellaoua (Vila, 1980).

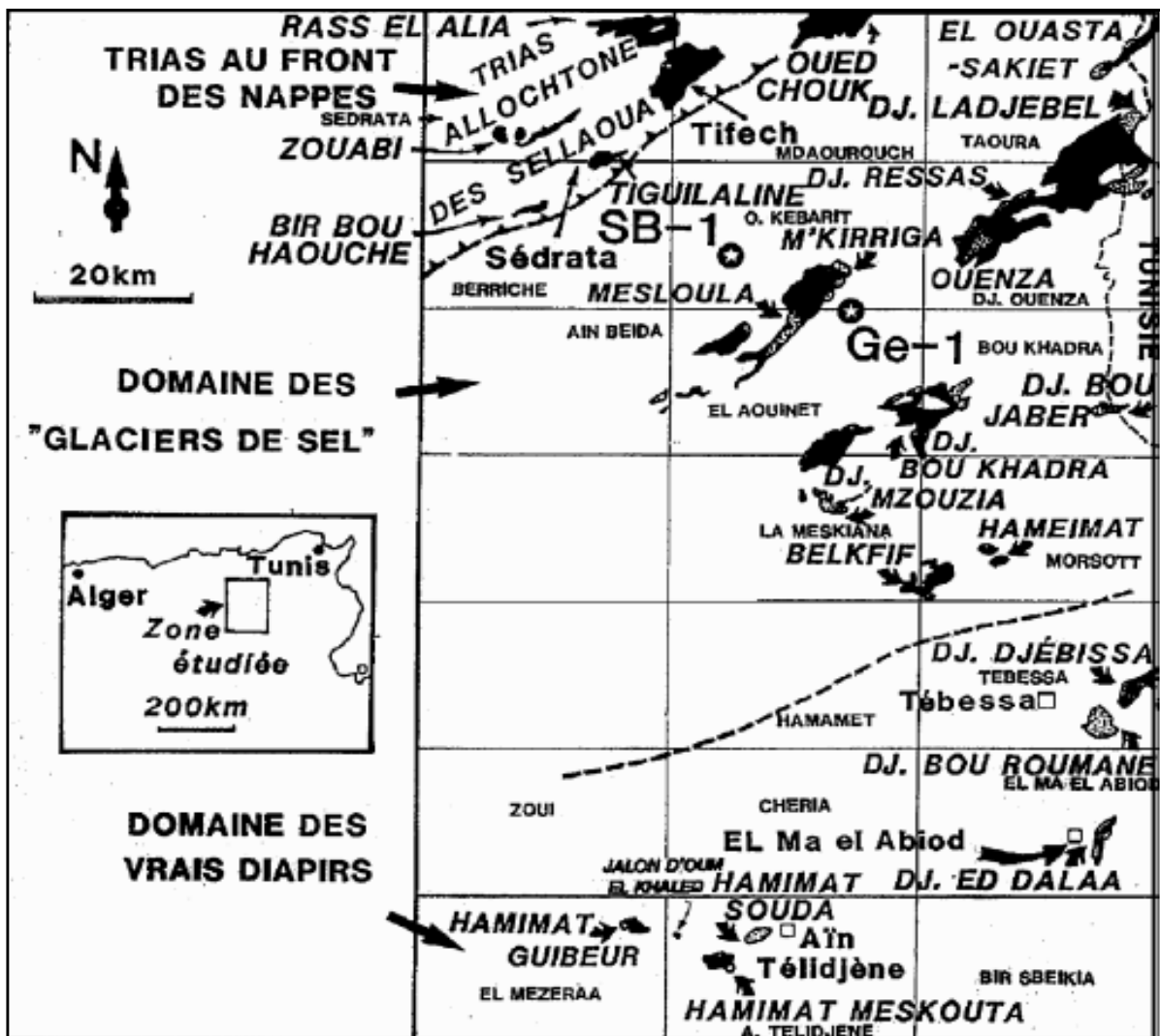


Figure II.16 : Délimitations des trois domaines triasiques dans les confins Algéro-Tunisiens (Vila et al, 1993).

V.4.4 Les terrains post-nappes

A l'exception des dépôts villafranchiens, les formations attribuées au Quaternaire ne sont pas confirmées par des datations précises. Les descriptions ci-dessous sont tirées des travaux de Kriviakine, et al., 1989b.

- Le Plio-quaternaire (Villafranchien) est constitué de conglomérats intercalés de grès et de roches argileuses. Il repose avec une légère discordance sur les dépôts pliocènes et avec une discordance plus accusée sur tous les terrains les plus anciens. Les conglomérats bigarrés sont constitués par les éléments de calcaires, dolomies, marnes, quelquefois grès

quartzeux ou glauconieux, emballés dans un ciment grésocarbonaté (Kriviakine, et al., 1989b).

- Le Quaternaire offre de grands affleurements dans la partie SW de la zone d'étude. Il est formé de dépôts exclusivement continentaux qui recouvrent indistinctement les formations géologiques antérieures.
 - Quaternaire inférieur « ancien » : travertins, calcaires lacustres, argiles et limons rouges et croûte calcaire.
 - ❖ Travertins : les affleurements de travertins sont de taille variable, leur longueur maximale atteint 500 m, leur largeur 150 m et leur épaisseur 5 à 7 m. Dans la vallée de l'Oued Medjerda, les travertins sont finement lités, et de teinte jaunâtre ou brun-rougeâtre due aux hydroxydes de fer qu'ils contiennent. Ailleurs, les travertins ne présentent pas de litage, ils sont fortement poreux, tuffacés, et renferment des lentilles de matériel détritique à vestiges végétaux (Kriviakine, et al., 1989b).
 - ❖ Calcaires lacustres : sous forme de couches horizontales et subhorizontales, tapissant la dépression mio-pliocène de M'Daourouch et de Khamissa (Kriviakine, et al., 1989b).
 - ❖ Argiles et limons de teinte rouge : dans les parties NE et SW, ils surmontent les calcaires lacustres. Ils sont localement recouverts par un épandage de gravier et de cailloutis.
 - ❖ Croûte calcaire à texture pulvérulente, souvent compacte de teinte blanche, jaunâtre ou rosâtre.
 - Quaternaire moyen : terrains de bas de pente, dépôts déluviaux, limons et fragments de croûte calcaire ; dépôts détritiques gravitationnels constitués de brèches de pente, cailloutis, sables et limons; terrains de pente et dépôts torrentiels.
 - ❖ Terrains de bas de pente, dépôts déluviaux, limons et fragments de croûte calcaire. Ces dépôts sont développés exclusivement dans les zones d'extension des croûtes calcaires. Attaquée par les processus d'érosion, la croûte calcaire s'est fragmentée en morceaux de quelques décimètres. Ces fragments sont emballés dans du limon avec lequel ils forment une masse de teinte grise ou gris clair (Kriviakine, et al., 1989b).
 - ❖ Dépôts détritiques gravitationnels constitués de brèches de pente, cailloutis, sables et limons. Ces éboulis sont particulièrement développés au pied des

reliefs. A l'issue de processus gravitationnels et du ruissellement des eaux superficielles, les produits du démantèlement des crêtes rocheuses ont été transportés vers le bas des pentes. La plupart du temps ce sont des fragments de roche angulaires, provenant des calcaires crétacés, entre lesquels se trouve la fraction détritique plus fine : gravelles, sables et limons, rocaille partiellement consolidée (Krivakine, et al., 1989b).

- ❖ Brèches de pentes : par place, notamment au pied des abrupts, les éboulis de pentes ont été consolidés en brèches par les eaux de circulation riches en carbonates (Flandrin, 1934).
- ❖ Terrains de pente et dépôts torrentiels : rocaille, sable, limon. Ces formations sont rencontrées dans les zones d'extension des argiles et marnes argileuses du Crétacé et du Mio-pliocène et se font plus rares sur les diapirs triasiques. Ces dépôts sont facilement altérables et se transforment assez rapidement en couches limoneuses épaisses.
- Quaternaire supérieur : dépôts déluvio-proluviaux ; alluvions des terrasses médianes.
 - ❖ Dépôts déluvio-proluviaux formés de cailloutis et limons. Ces terrains sont développés sous forme de bande discontinue, ils jalonnent le versant S du Djebel Tiffech sur une distance de près de 15 km. Les fragments, semi roulés ou angulaires, d'une taille variable de 5 à 15 cm, sont constitués de calcaires, grès et marnes. La couverture limoneuse est érodée en de nombreux points et à la surface apparaît un épandage caillouteux.
 - ❖ Alluvions des terrasses médianes : cailloutis, graviers, limons. L'extension maximale de ces terrasses est constatée dans la vallée de l'Oued Tiffech et en amont de l'Oued Hammam. Elles sont développées aussi de manière fragmentaire le long de l'Oued Medjerda, dans le cours moyen de l'Oued Hammam et dans les amonts de l'Oued Dekma. Elles sont constituées de galets, graviers et sables, enfouis sous une couverture limoneuse peu épaisse de teinte gris-jaunâtre. Par endroits les galets et les graviers sont pris et compactés dans un ciment argilo-gréseux.
- Formations actuelles : dépôts gravitationnels ; alluvions des lits vifs, des lits de crues et des basses terrasses ; terres arables, formations de pente et alluvions.
 - ❖ Dépôts gravitationnels : éboulis, glissements de terrains, épandages : blocs, galets, sable, limon. Les dépôts gravitationnels développés au bas des pentes

escarpées des Djebels Mehares, Oglâ, Baba Embarek, Bou Starine et Zarouria qui s'étirent en direction NE. Ils sont constitués par des fragments anguleux ou mal roulés et des galets de calcaires, grès, marnes, sables et argiles.

- ❖ Alluvions des lits vifs, des lits de crues et des basses terrasses : galets, graviers, sables, limons sableux ou argileux. Ces sédiments sont développés dans les vallées des Oueds Medjerda, Hammam, Tiffech et des autres cours d'eau de taille plus modeste. Des blocs de plus grosse taille ou des amoncellements de blocs sont rencontrés dans le lit et la plaine inondée des oueds. Dans certains talwegs, on observe des cailloutis actuels consolidés et compacts, cimentés par un matériel limoneux ou carbonaté.
- ❖ Terres arables, formations de pente, alluvions: les terres arables sont installées sur des alluvions anciennes et correspondent à des sols bruns, fertiles, peu ou pas calcaires, très propices à la mise en culture.

V.5 Aperçu structural et tectonique

Du fait de sa situation, la région de Souk Ahras est fortement tectonisée. Dans le Tell, et compte tenu des poussées tangentielles venues du N, les plis ont une orientation EW (Vila, 1980), Cette orientation est visible, surtout dans la zone NW. On remarque un passage progressif de la structure atlasique NE-SW à la structure Tellienne, ainsi que des fractures transversales responsables des bassins d'effondrement. On remarque également une orientation NE-SW des structures telliennes vers le N du côté de la frontière Tunisienne (Vila, 1980).

Au S l'Atlas Saharien montre une structure plissée avec une orientation atlasique SW-NE. Les synclinaux sont larges à fonds plats, les anticlinaux plus étroits. Leur couverture présente une épaisseur pouvant atteindre quelques milliers de mètres. Les diapirs triasiques et les bassins d'effondrement y sont remarquables.

Les sédiments triasiques ont fortement contribué, par leur mouvement propre, à la constitution actuelle de la région de Souk Ahras. Ce sont eux qui donnent à la région étudiée son caractère particulier. Les mouvements ascensionnels des matériels triasiques sont eus pour effet de démanteler et déformer la couverture. Les diapirs seraient associés au jeu de failles liées au plissement et à l'halocinèse.

VI. Le cadre géomorphologique

La région de Souk Ahras fait partie des Monts de la Haute Medjerda qui est la zone de contact entre les deux grandes unités de l'Algérie orientale : l'Atlas Tellien au N et l'Atlas Saharien au S. Il s'agit d'une zone montagneuse complexe ; à reliefs très élevés au N, et moins élevés au S de la willaya (Fig. II.17). D'une orientation générale NE-SW, elle s'étend loin à l'W de la frontière Algéro-Tunisienne. Au sein de la région courent le fleuve de la Medjerda et ces affluents. Selon la classification des pentes et du climat dominant, la conservation des forêts de la willaya de Souk Ahras divise la région en trois parties :

- a. Région NE : région montagneuse présentant des pentes très rudes variant de 15 % à plus de 20 %, faisant partie de la chaîne Tellienne, elle renferme le patrimoine forestier.
- b. Région SW : région médiane constituée de piedmonts. Cette région est le prolongement des hauts plateaux, elle est caractérisée par des plaines agricoles et des pâturages.
- c. Région S : correspond à de vastes étendues caractérisées par un relief plat. Le sol y est dégradé et de faible profondeur aggravée par une exposition aux divers aléas climatiques dont la faible pluviométrie, c'est l'espace des hauts plateaux.

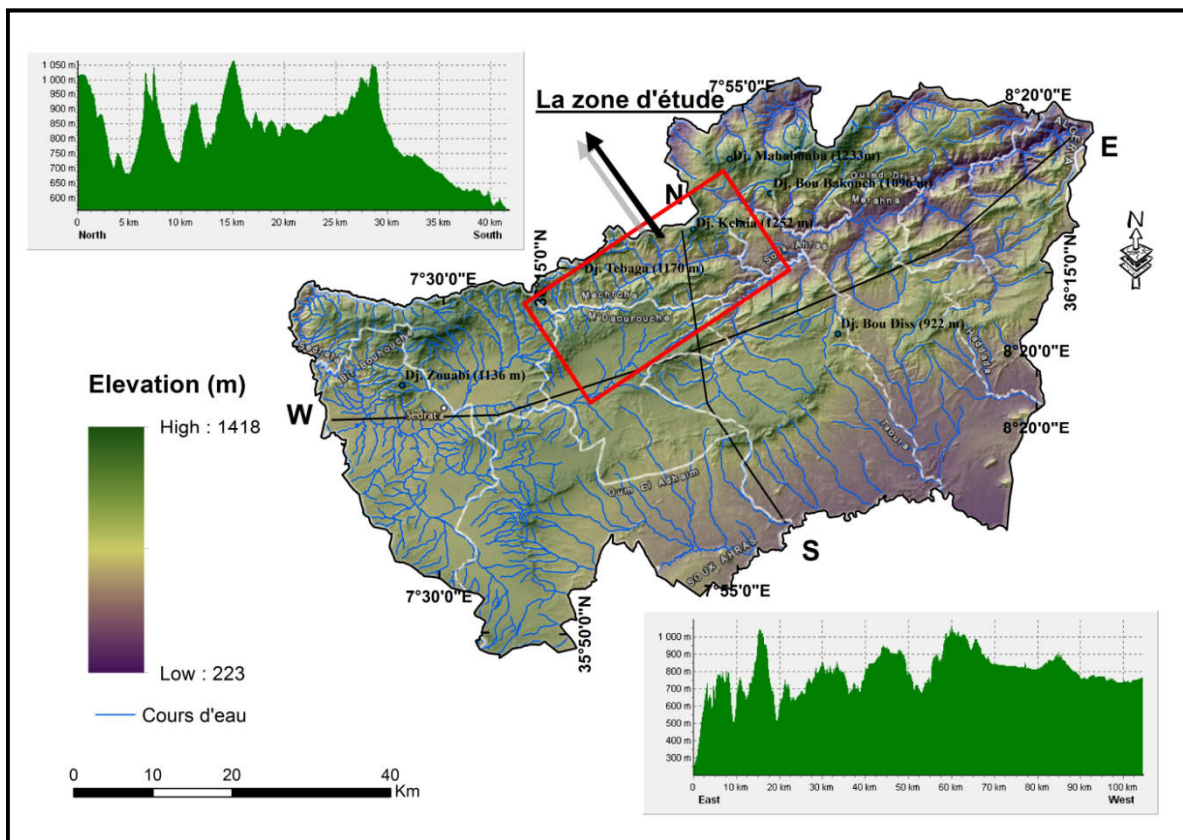


Figure II.17 : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude.

VII. L'hydrologie et l'hydrogéologie de la région de Souk Ahras

Les conditions hydrologiques et hydrogéologiques viennent superposer les conditions climatiques pour confirmer de nouveau l'importance des eaux, souterraines ou de surface, dans les caractérisations des zones altérées. Les eaux de surface agissent par leur action mécanique, physique et chimique sur les formations meubles ou rocheuses de surface : elles sont les responsables de l'érosion de surface. Ces mêmes eaux, lorsqu'elles s'infiltrent, font changer les conditions hydrogéologiques par humidification du sol et augmentation de la pression interstitielle; cette dernière, en réalité, est la cause du déclenchement des glissements consécutifs aux précipitations intenses et continues (surtout hivernales).

VII.1 Hydrologie

Le réseau hydrographique est la conséquence directe du caractère morphologique et les conditions climatiques de la région. En outre, l'hétérogénéité lithologique des terrains joue un rôle très important dans le régime hydrographique. La wilaya de Souk Ahras dispose d'un réseau hydrographique assez important pouvant être utilisée pour promouvoir toute spéculation agricole nécessitant le recours à l'irrigation. On note la présence de deux grands bassins versants dans les limites de la wilaya (Figs. II.18 et II.19) : le bassin versant de la Seybouse et celui de Medjerda. En fait, la haute chaîne des monts de Souk Ahras allongée NE-SW, représente une barrière constituant une ligne de partage des eaux et la limite entre ces deux grands bassins versants.

VII.1.1 Le bassin versant de la Medjerda (BV N°12)

Il couvre dans sa partie algérienne, une superficie totale de 7 870 km², comprend cinq sous-bassins. Il est représenté dans sa partie N par des massifs montagneux et des côtes allant de 700 m à 1 400 m. Par contre dans la partie S, les côtes ne dépassent pas les 600 m. Le réseau hydrographique est dense au N du bassin, il est drainé par l'Oued Medjerda de longueur 113,6 km en Algérie avec un apport moyen de 139 hm³/an (A.B.H., 2005), il prend naissance du côté de Khemissa " Ruine Romaine " puis s'écoule vers la Tunisie sur près de 300 km avant de se jeter dans la Méditerranée "golf de Tunis". La plupart de ses affluents sont permanents (Oued Hammam près de Taoura de longueurs 30 km, Oued El Chouk près de Zarouria avec 31,6 km, Oued El Berriche près de la commune de Quillen avec une longueur de 21 km, Oued Djedra près de Souk Ahras de longueurs 36,1 km, Oued Renem près de Khedara de longueurs 28,2 km Oued El Roul près de Ouled Moumen de longueurs 12,6

km ;ainsi que d'autres petits affluents; ils sont soutenus par des sources souterraines (in A. Baaouague, 2010 et Y. Bouroubi, 2017).

VII.1.2 Le bassin versant de la Seybouse (BV N°14)

Il couvre une superficie totale de 6 450 km² s'étend sur 160 km. Il s'étend des hauts plateaux constantinois aux massifs telliens, et à la plaine d'Annaba à l'aval, en bordure de la Méditerranée. Il est représenté par un relief montagneux au N (Dj. El Meida : 1423 m, Dj. El Mouida : 1271 m, Dj. Zouabi : 1164 m) quant à la partie S du bassin, c'est l'immense étendue du fossé de Terreguelt drainée par Oued Trouch avec les côtes allant de 600 m à 700 m. Le réseau hydrographique de ce bassin est drainé principalement par Oued Charef dont les principaux affluents sont : Oued Trouch long de 47 km, croisant les communes de Terreguelt et Sedrata, Oued Hamimine long de 42 km, croisant les communes de Tifech et Sedrata, Oued Settara long de 8,5 km, croisant la commune de Bir Bouhouche.

Les potentialités hydriques de la wilaya de Souk Ahras estimées à 265 millions de m³/an, sont appréciables par sa pluviométrie (variant de 300 mm/an dans le S à 1 100 mm/an dans le N). Elles sont constituées par des eaux de surface soit 243 millions de m³ et des eaux souterraines soit 22 millions de m³. Les eaux de surface sont constituées principalement de deux grands Barrages d'une capacité globale de 240 Millions de m³.

- ❖ Barrage d'Ain Dalia : d'une capacité de 82 millions de m³, destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Souk Ahras et d'autres villes limitrophes telles que: Taoura, Drea, Ouled Driss, Zaarouria, Hennancha, Kheddara à Bordj M'Raou et Ouillen à Boukebch (in Guesmi, 2004).
- ❖ Barrage de Fom El Khenga : sur l'Oued Charef, d'une capacité de 157 Millions de m³, destiné à l'irrigation dans la plaine de Ksar Sbahi.

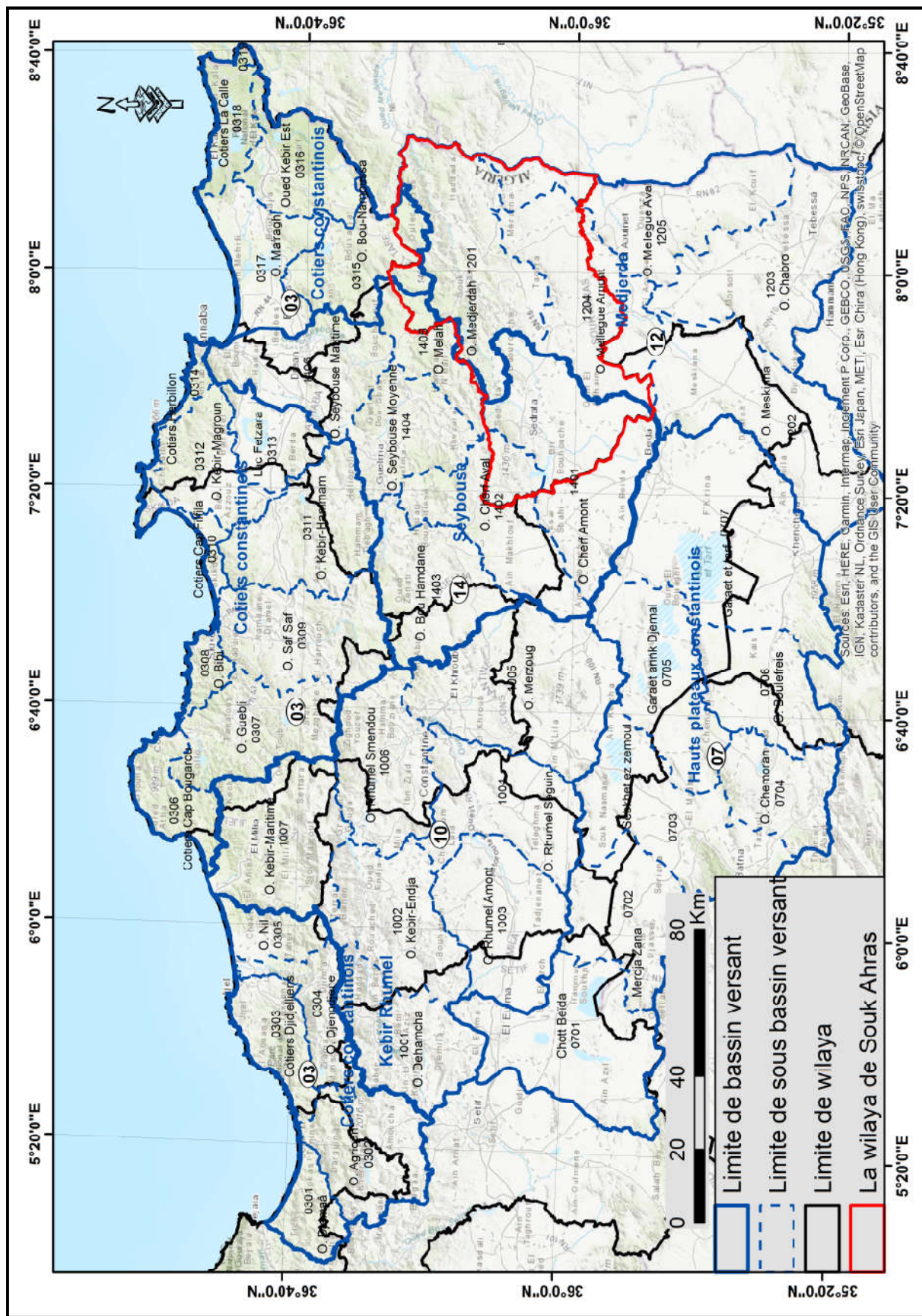


Figure II.18 : Situation géographique des bassins versant de l’E Algérien.

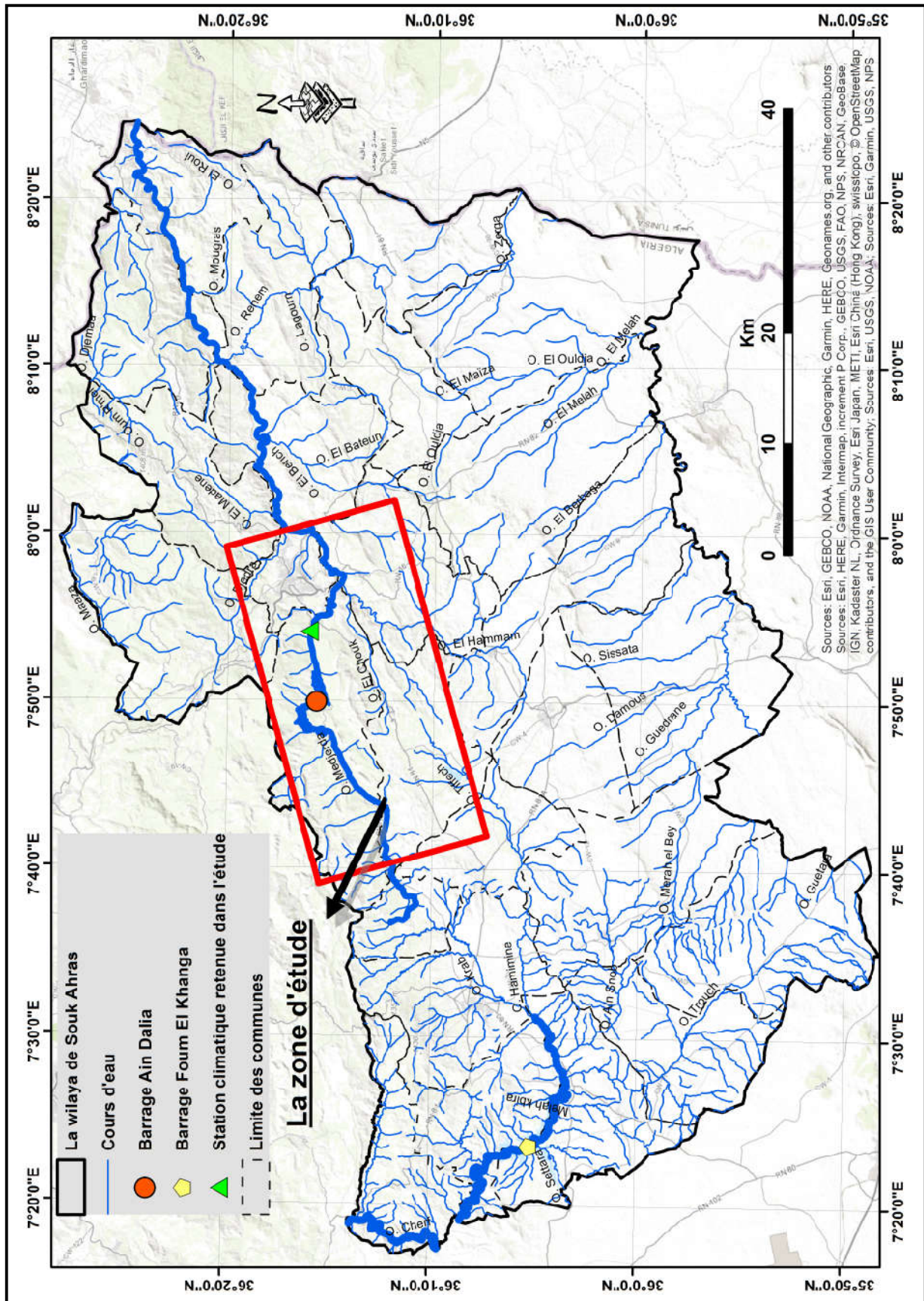


Figure II.19 : Le réseau hydrographique de la zone d'étude.

VII.2 Hydrogéologie

Les conditions hydrogéologiques de la région, sont a priori déterminée par le cadre géologique et tectonique, les traits du paysage et le climat du territoire (B. Kriviakine, et al., 1989b). La région d'étude est caractérisée par des formations allant du Trias jusqu'au Quaternaire, constitué généralement par des calcaires, des argiles, des marnes, des grès et des cailloutis. Les caractéristiques hydrogéologiques des différentes zones de la wilaya de Souk Ahras (Fig. II.20) sont représentées comme suit:

- a. Les éboulis et les brèches de pentes donnent parfois naissance à des sources de faible importance. La nappe alluvionnaire à proximité d'Oued Medjerda mobilisant 8 l/s destinés à l'A.E.P. des localités de Khedara gare et El Foudh, et la nappe alluvionnaire de Sedrata d'une profondeur moyenne de 30 m, exploité par 02 forages à 05 l/s destiné à l'A.E.P. de la commune de Khemissa et l'alimentation en eaux industrielle de l'ENAS Sedrata.
- b. Les grès et les conglomérats Miocènes et Pliocènes sont eux aussi des roches-magasins à propriétés filtrantes excellentes (B. Kriviakine, et al., 1989b). Ils sont déchargés grâce aux sources avec le débit de 0.2-1.5 l/s, suivant les surfaces de contact avec les masses argileuses et marneuses d'au-dessous.
- c. Les argiles rouges numidiennes, sur lesquelles reposent des grès peu perméables fragmentés en nombreux panneaux indépendants. Les sources sont nombreuses, mais leurs débits sont faibles. On trouve aussi des affleurements des marnes et calcaires marneux de l'Eocène, quasiment imperméables sauf quelques bancs calcaires qui donnent naissance à de petites sources. L'aquifère Eocène : à Ouled Driss, il est exploité par 02 forages mobilisant 16 l/s destinés à l'A.E.P. et l'irrigation de la commune d'Ouled Driss. A Khedara, il est exploité par 02 forages d'un débit de 14 l/s. A Boukebche, il est exploité par 01 forage d'un débit de 03 l/s. L'aquifère Numidien : Exploité par deux forages d'un débit de 09 l/s destinés à l'A.E.P. d'Ain Zana et Mechroha (in A. Baaouague, 2010).
- d. Les principaux niveaux aquifères sont liés aux calcaires du Campanien et du Maestrichtien. Ils ont la teneur en eau la plus élevée. Ces calcaires fissuré et poreux gisant sur la marne imperméable. Il contient de l'eau pure ayant un bon goût et qui est déchargée grâce aux sources avec le débit de 0.5 - 1.0 l/S (in H. Djaba, 2010). L'aquifère Maestrichtien de Taoura constitue l'aquifère le plus sollicité et le réservoir le plus important, son potentiel hydrique est de l'ordre de 250 l/s exploité par 11 forages destinés à l'A.E.P. des villes de Souk Ahras, Taoura, Merahna, Dréa, Zaarouria et M'Daourouch. La nappe Maestrichtienne de Terreguelt : Les formations calcaires de la plaine de

Terreguelt possèdent une capacité hydrique estimée à 75 l/s exploitée par 02 forages pour l'A.E.P. Les eaux de cette nappe sont sulfureuses et ferrugineuses dues à l'extension des formations gypsifères en profondeur (in A. Baaouague, 2010).

- e. Le diapir Triasique : ils correspondent à des affleurements de marnes, gypses et roches plus résistantes (notamment calcaires et cargneules en blocs). Elles sont très pauvres en eaux souterraines, seuls quelques "blocs" calcaires de grandes dimensions (1 à 2 km²) renferment de petites nappes qui donnent naissance à de petites sources dont le débit varie de 0.1 à 0.3 l/s. Ces dernières jalonnent souvent les grandes zones faillées, soulignant le contact Trias séries Sénoniennes « diapir de Tifech » (B. Kriviakine, et al., 1989b).

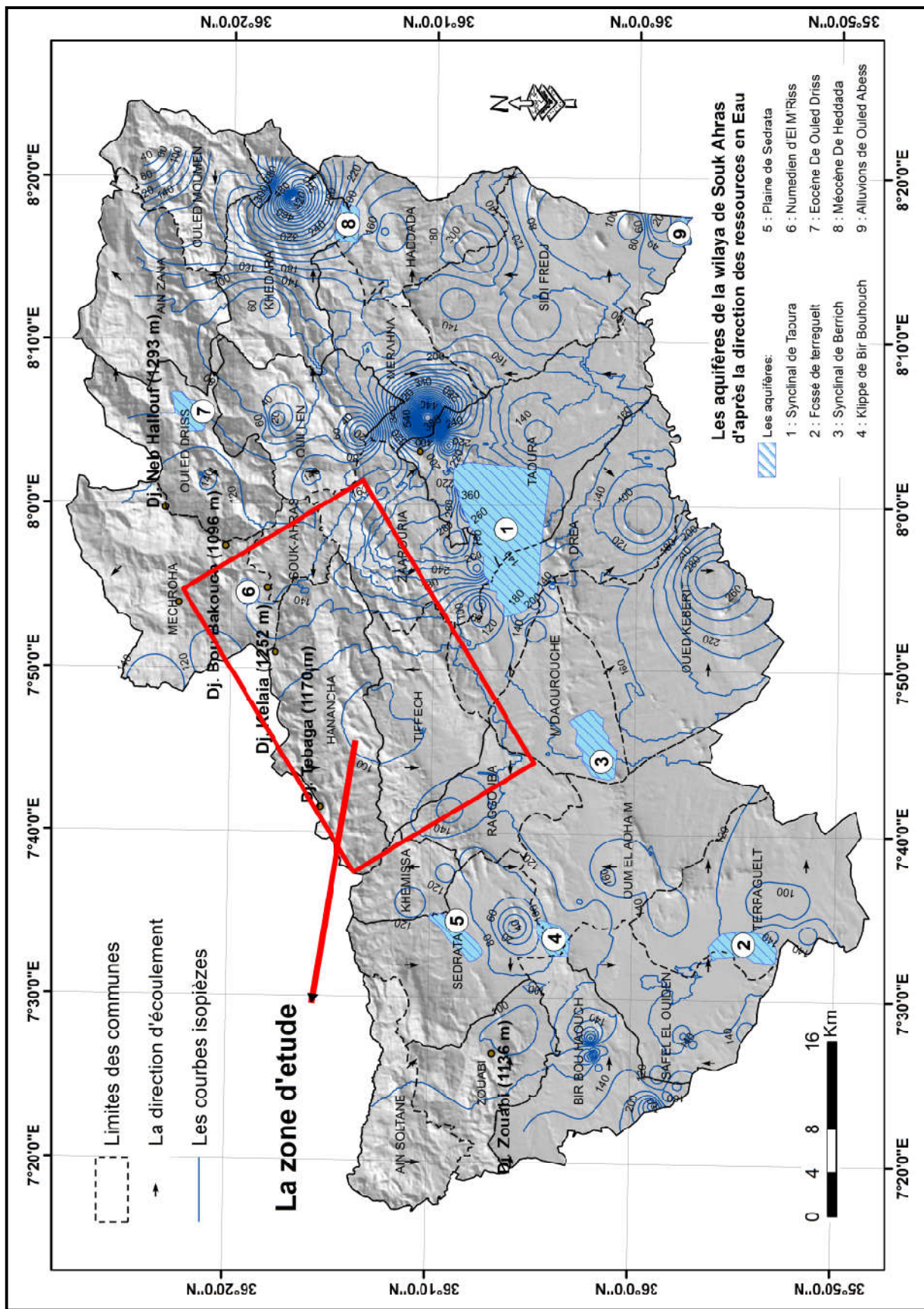


Figure II.20 : Les aquifères de la wilaya de Souk Ahras.

VIII. Le contexte sismique

La répartition des zones sismiques de l’Algérie selon le Règlement Parasismique Algérien (R.P.A., version 2003), divise le territoire national en cinq (05) zones de sismicité croissante (Fig. II.21), cette carte montre que les zones d’activités sismiques sont concentrées au N et au NE de l’Algérie, le long de la chaîne côtière qui s’étend entre Oran et Annaba, et dans la région du Hodna et des Aurès. La région de Souk Ahras s’inscrit dans la zone I d’après le R.P.A. avec des magnitudes allant de 3 à 5.

L’examen des rapports, des documents et des cartes sismo-tectoniques de la région de Souk Ahras montre que les épicentres des secousses enregistrées, sont situés à proximité des discontinuités tectoniques majeures, voisines des masses de Trias qui affleurent dans la région. La majorité des secousses enregistrées dans la région de Souk Ahras ne dépasse pas une magnitude de cinq (05) sur l’échelle de Richter (Meghraoui, 2016 ; R. Hadji, 2013).

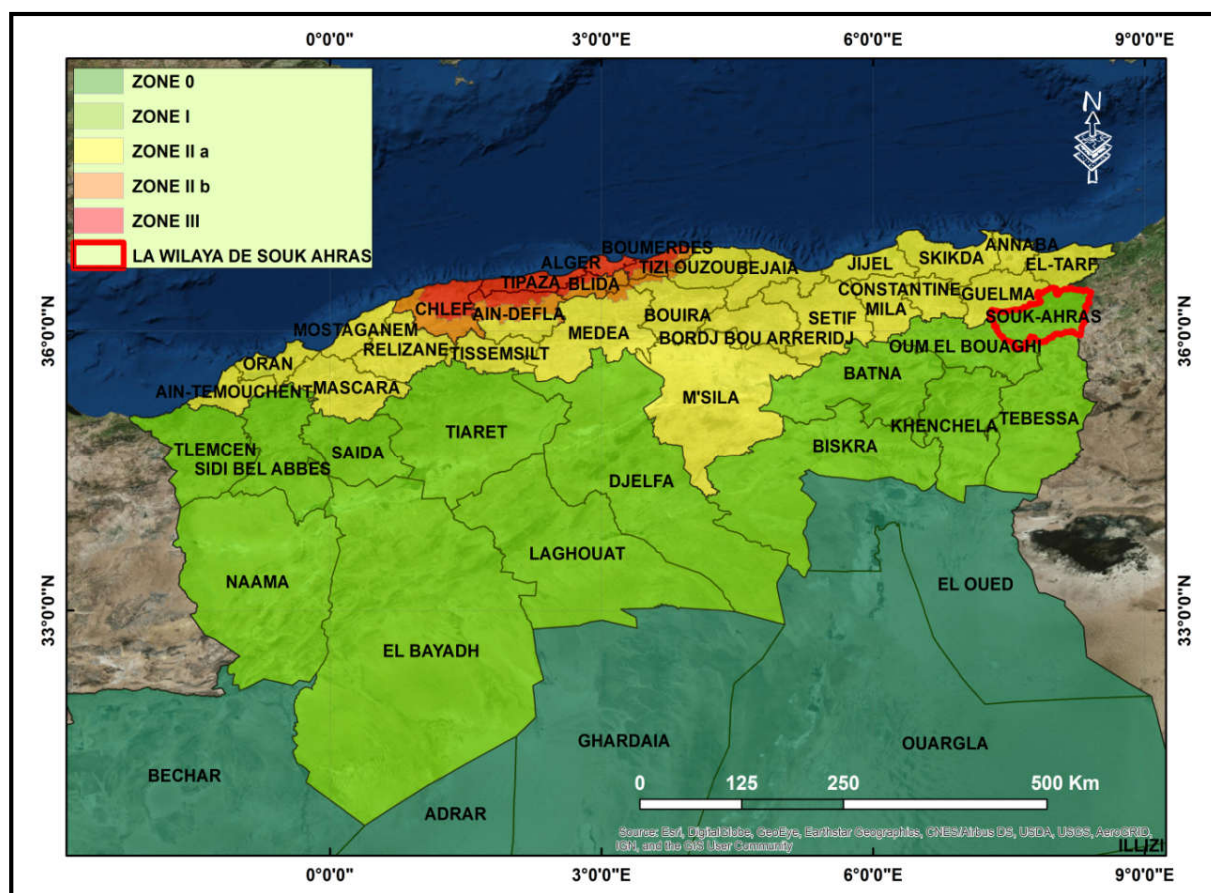


Figure II.21 : La carte d’aléa sismique de l’Algérie (Selon R.P.A., 2003).

IX. Conclusion

L'examen bibliographique ci-dessus, nous a permis de constituer une base de données importante pour entreprendre l'étude de l'influence de différents paramètres dans le déclenchement des glissements de terrain dans la région de Souk Ahras. Ainsi on, peut tirer les conclusions suivantes :

- ❖ L'étude des données climatiques de la station de Souk Ahras sur une période de 27 ans (1990-2017), a permis de déduire que la région est caractérisée par un climat tempéré où la variation des paramètres est très irrégulière distinguant deux périodes : la première froide et humide s'étend de l'Automne à l'Hiver ; alors que la deuxième sèche et chaude s'étend du Printemps à l'Eté.

La pluviométrie moyenne annuelle dépasse 797 mm et la température moyenne annuelle est de l'ordre de 16,795 °C.

- ❖ De point de vue du couvert végétal naturel, la configuration géographique de la zone d'étude laisse apparaître trois grands ensembles distincts. La zone montagneuse au NE, recouverte de forêts à pin d'Alep, eucalyptus, chêne-liège, chêne zeen. Les plaines agricoles et de pâturages, à couverture herbacée, au SE. Les hauts plateaux arides à diss et alfa au S.
- ❖ En matière d'agriculture, la configuration géomorphologique de la wilaya fait apparaitre deux ensembles non homogènes : une zone N à forte dominante d'élevage bovin et arboriculture fruitière et une zone S à forte dominance d'élevage ovin et production céréalière.
- ❖ Les terrains rencontrés sur le territoire de la wilaya appartiennent aux formations carbonatées et évaporitiques du Trias, du Crétacé, du Paléogène et du Néogène. Les faciès continentaux sont représentés par des formations meubles ou faiblement cimentées du Pliocène, Plio-Quaternaire et du Quaternaire. L'aperçu géologique marque l'importance abondante des formations argileuses et marneuses éparpillées dans tout le territoire de la wilaya de Souk Ahras embrassant des couches de différents âges géologiques où se manifestent divers phénomènes d'ordre mécaniques, physique et tectonique.
- ❖ La tectonique est caractérisée par la dominance des failles d'orientation NE-SW et NW-SE. La présence de ces deux réseaux de failles a facilité probablement le déplacement et la remontée du complexe salifère triasique de la région et la dislocation du bâti tellien et pré-atlasique. Ce dernier à composition hétérogène affleure dans l'E et le l'W de la zone

d'étude. Ce contexte géologique complexe, favorise le déclenchement des mouvements gravitaires de différents types.

- ❖ L'étude géomorphologique a montré que la région de Souk Ahras est subdivisée en trois parties du N vers le S. Au NE la région est montagneuse présentant de fortes pentes (plus de 20 %) et des reliefs élevés (plus de 1 400 m). La région SW, médiane, prolongement des hauts plateaux, est caractérisée par des plaines agricoles et des pâturages. Enfin, la région S, vaste étendue caractérisée par un relief plat et un sol dégradé, de faible profondeur, sujette à une faible pluviométrie (350 mm).
- ❖ La zone d'étude se caractérise par la présence d'un réseau hydrographique assez développé ; le N est drainé par l'Oued Medjerda et ses affluents ; tandis que le S est drainé par le Mellégue amont. Ces cours d'eau présentent un potentiel d'érosion assez important ; ils contribuent à la modification des berges et au déclenchement des mouvements gravitaires.
- ❖ Les conditions hydrogéologiques sont caractérisées par la présence d'un aquifère dans les dépôts alluvionnaires et de plusieurs aquifères profonds. Les horizons aquifères dans le calcaire du Campano-Maestrichtien, du Miocène et du Pliocène ont les réserves les plus importantes. Ils donnent naissance à des sources dans les zones des fractures.

CHAPITRE III

**ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE
ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX
IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS
DE TERRAIN DANS LA REGION DE
SOUK AHRAS**

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

I. INTRODUCTION

La Wilaya de Souk Ahras est située dans une région montagneuse du NE Algérien. Bien que d'ampleur variable, de très nombreux glissements de terrain affectent pratiquement une grande partie des versants naturels chaque année, surtout durant ou après une forte pluie. Les marqueurs des instabilités se dessinent actuellement sur les versants sous forme de nombreuses cicatrices d'arrachements marquant les zones de départ des matériaux, et le bourrelet aux pieds des versants affectés.

Les formations sédimentaires meubles (argiles, marnes, limons, cailloutis, alluvions et évaporites «gypse, anhydrite, sel») sont considérées comme étant les formations les plus actives dans la région de Souk Ahras. En effet, c'est à ce niveau que se localisent les glissements de terrain.

Dans le but d'une caractérisation des formations instables dans la région de Souk Ahras, le présent chapitre a été structuré en trois parties correspondant à trois étapes principales :

- a. La première étape consiste à réaliser une carte d'inventaire des glissements de terrain qui ont été identifiés à partir des images satellitaires et l'exploitation des données bibliographiques, complétés par des observations de terrain faites au cours de plusieurs missions durant la période allant de 2015 jusqu'à 2017 ;

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

- b. La deuxième étape consiste en la présentation géologique des versants affectés par des glissements de terrain, l'analyse géologique de leur distribution spatiale et du comportement géotechnique des faciès géologiques impliqués dans ces glissements ;
- c. La dernière étape consiste en la caractérisation minéralogique de certaines formations instables, dans le but de comprendre le mécanisme de leur comportement géotechnique.

II. Elaboration de l'inventaire des glissements de terrains

L'élaboration de l'inventaire des glissements de terrains constitue une étape essentielle et incontournable dans la démarche de confection des cartes de susceptibilité. Elle a pour objectif de dresser un recensement de la répartition spatiale de ces événements, permettant d'évaluer la sensibilité du territoire aux phénomènes de glissements de terrain, et d'identifier les conditions ayant favorisé l'apparition de ces derniers.

Les inventaires de mouvements de versant reposent sur quatre postulats principaux, largement développés et repris dans la littérature ([Varnes et al., 1984](#) ; [Carrara et al., 1991](#) ; [Guzzetti et al., 1999](#)). Une synthèse détaillée du cadre théorique et des principes de base des inventaires des mouvements de versant peut être, entre autres, trouvée dans [Guzzetti, 2006](#) ; [Guzzetti et al., 2012](#).

Les mouvements de versant laissent des signes discernables pouvant être reconnus, classés et cartographiés sur le terrain et/ou par interprétation d'images aériennes et satellitaires ([Varnes, 1978](#) ; [Hutchinson, 1989 in Maquaire, 2006](#)). Ces signes sont morphologiques, pour la plupart, caractérisés notamment par des changements dans la position, la forme ou l'apparence de la topographie.

- La signature morphologique des mouvements de versant est intimement liée à leur nature. Elle peut donc être interprétée pour délimiter l'étendue et le type de mouvement. À partir de la morphologie de surface, il est également possible de proposer une évaluation qualitative de l'âge, du degré d'activité et de la profondeur des mouvements de versant ([Varnes, 1978](#) ; [McCalpin, 1984](#) ; [Cruden & Varnes, 1996](#)).
- Les mouvements de versant ne surviennent pas au hasard. Ils sont le résultat de processus physiques plus ou moins complexes contrôlés par des lois mécaniques pouvant être

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

déterminées empiriquement, statistiquement ou de manière déterministe. Les phénomènes peuvent ainsi être généralisés (Aleotti et Chowdhury, 1999 ; Guzzetti et al., 1999).

- Le principe d'uniformitarisme est souvent adopté pour la caractérisation des mouvements de versant considérant que le passé est la clé pour comprendre le futur. Ainsi, ce principe implique de supposer que les mouvements de versant se déclencheront dans les mêmes conditions ayant mené, dans le passé, à l'instabilité (Varnes et al., 1984 ; Carrara et al., 1991 ; Aleotti et Chowdhury, 1999 ; Guzzetti et al., 1999).

L'inventaire sur les glissements de terrain a été mené dans une zone de 344,78 km² (Fig. III.1), se trouve au N de la wilaya de Souk Ahras ; représenté par les communes de Hanancha et de Tiffech. Dans ce travail, les glissements de terrain dans tout le territoire étudié, ont d'abord été reconnus par l'exploitation des données bibliographiques qui ont permis de répertorier un grand nombre de glissements de terrain ayant affecté la région. Notant, que l'inventaire de ces événements tiré d'archives historiques ou obtenu auprès des autorités, est généralement non exhaustif car il ne concerne que la distribution spatiale dans les zones d'habitat et le réseau routier, où les dommages engendrent de graves conséquences socio-économiques et des coûts financiers. Afin d'inclure tous les glissements une interprétation systématique des images satellites, de Google Earth, a été nécessaire (Fig. III.2). Des études sur le terrain (de 2015 à 2017), ont permis de confirmer les observations satellitaires. Cette répartition spatiale a permis de dresser, sous un environnement SIG, une carte d'inventaire des glissements de terrain survenus dans les limites de la zone choisie pour cette étude (Fig. III.1).

L'inventaire nous a permis de cartographier 301 glissements de terrain répartis inégalement dans la zone d'étude. On compte 60,5 % des glissements de terrain dans le Territoire de la commune de Hanancha et 39,5 % dans le Territoire de la commune de Tiffech. L'ensemble des glissements de terrain inventoriés représente plus de 03 % de la superficie de l'ensemble de la zone d'étude.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

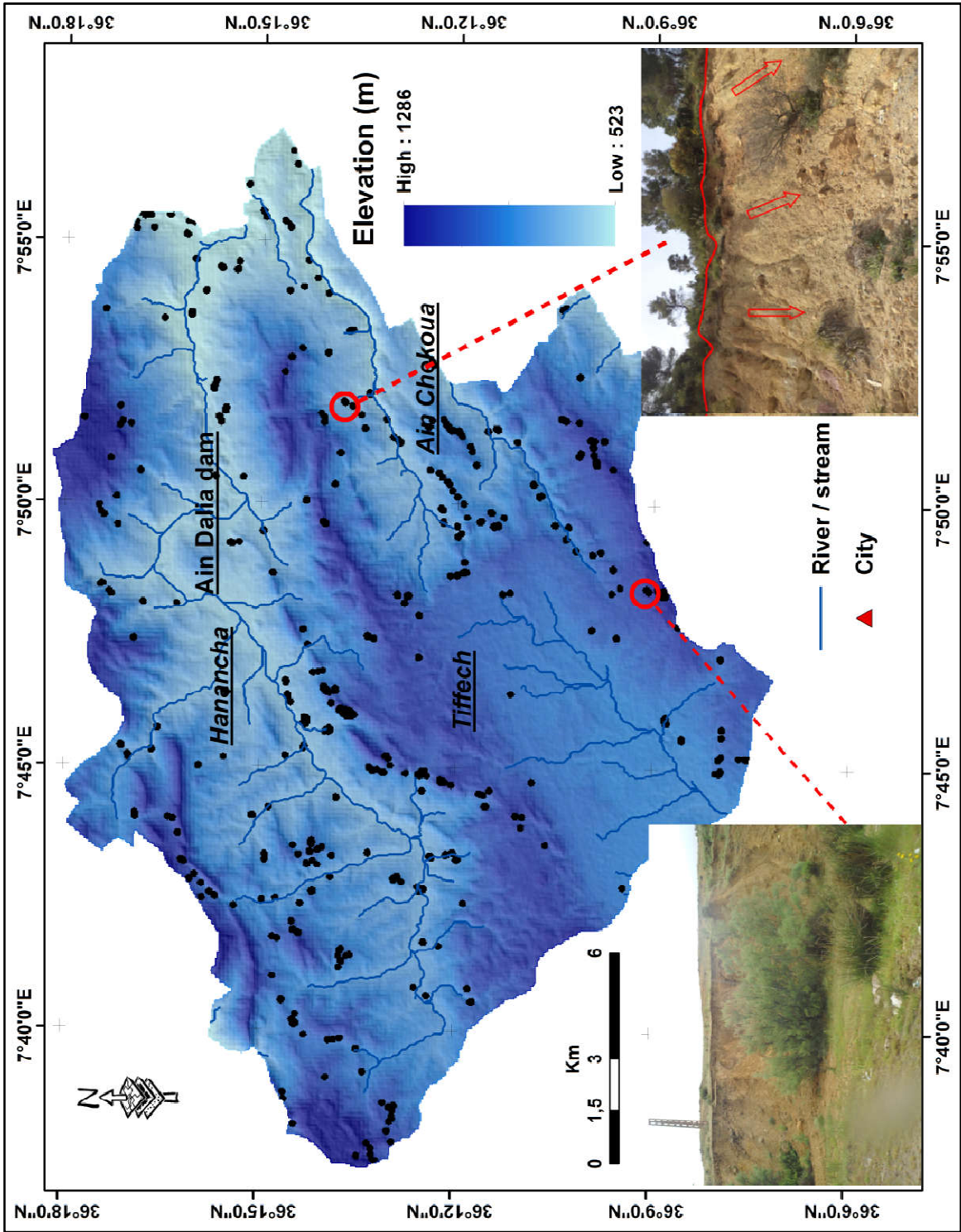


Figure III.1 : Carte d’inventaire des glissements de terrains dans la zone d’étude montre la répartition spatiale de 301 points de glissements.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

La figure III.1, montre la distribution spatiale des glissements de terrain par rapport à la topographie des versants et à la morphologie du réseau hydrographique dans la zone étudiée. On remarque d'une part, la concordance entre la répartition de ces mouvements et les lignes de crête, notamment en raison de son lien étroit avec les précipitations, la forte dénivellation (plus de 1200 m) et la forte pente (plus de 25°). D'une autre part, on remarque l'existence d'un nombre important des glissements dans les rives du réseau de drainage. Ceci peut être attribué au fait que les modifications du terrain provoquées par l'érosion ravinante peuvent influencer l'initiation des ruptures de pente. Il existe une relation entre la concentration de l'écoulement et son débit, et l'occurrence des glissements de terrain (Dietrich et al., 1993; Iverson, 2000). Plus la surface drainée à l'amont d'un escarpement est grande et plus la quantité d'eau qui arrive et s'infiltré dans le sol en tête du glissement sera importante, augmentant ainsi l'instabilité, à condition, bien sûr, qu'il y ait suffisamment de matériaux meubles disponibles, ce qui est le cas dans notre zone d'étude.

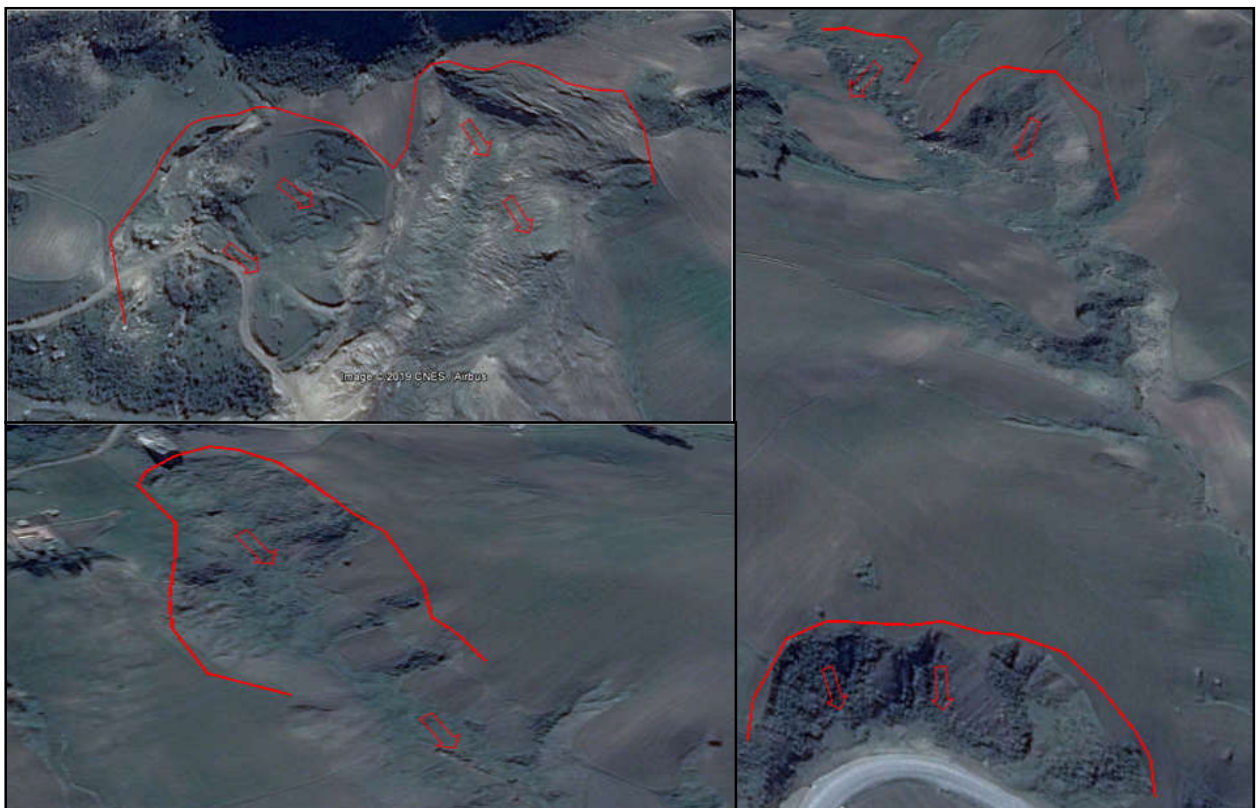


Figure III.2 : l'inventaire des glissements de terrain par une interprétation systématique des images satellites, de Google Earth 2017.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

III. Présentation lithologique des versants affectés par des glissements de terrain

Les caractéristiques intrinsèques des terrains représentent les données de base imposées par la nature et l'histoire du terrain. Notre travail consiste d'abord à établir une cartographie synthétique des formations géologiques de la zone d'étude à partir des cartes géologiques à 1/50 000 et de leurs notices explicatives (Fig. III.3).

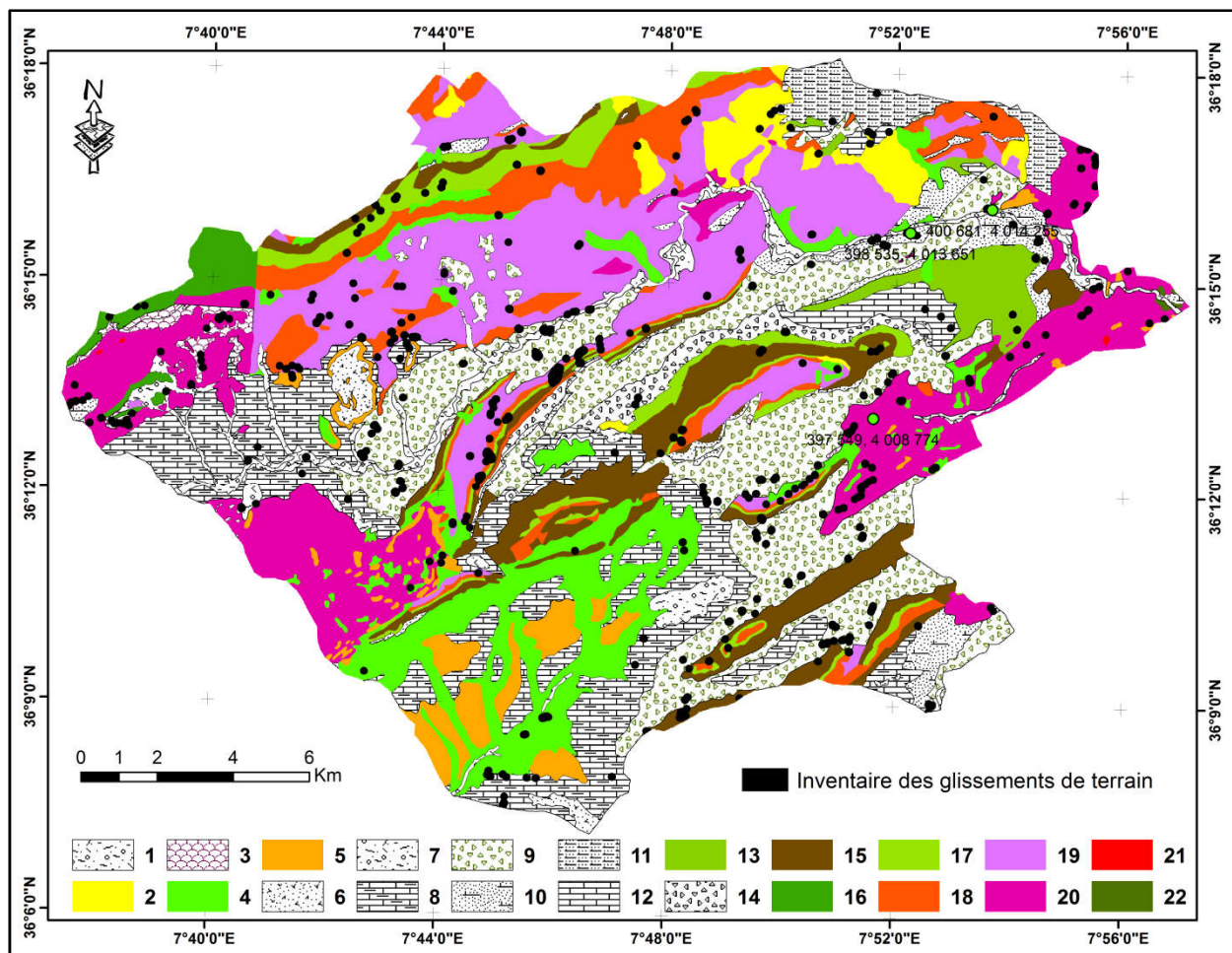


Figure III.3 : Carte lithologique de la zone d'étude.

1 : Alluvions fluviales des terres submersibles, des basses terrasses : galets, graviers, sables, limons sableux, limons ; **2** : Formations gravitationnelles-éboulis : blocs, abatis sable, limons ; **3** : Formations déluvio-proluviales : cailloutis, limons ; **4** : Formations déluvio-proluviales de couverture : cailloutis, sables, limons ; **5** : Croûte calcaire ; **6** : Argiles rouges, limons ; **7** : Conglomérats, grès, argiles ; **8** : Conglomérats, gravélites, grès, argiles et marnes ; **9** : Siltstones marnes argileuses, grès ; **10** : Grès, marnes, conglomérats ; **11** : Grès quartzueux à patine rousse, argiles grises ; **12** : Calcaires bitumineux noirs et bruns à Globigerines, mammo-calcaires noirs ; **13** : Marnes argileuses noires à rognons calcaires jaunes ; **14** : Marnes à rares intercalations de calcaires ; **15** : Calcaires à rares intercalations de marnes ; **16** : Calcaires à inocérames et marnes à Globotruncana ; **17** : Marnes argileuses mammo-calcaires ; **18** : Calcaires, calcaires gréseux, mammo-calcaires ; **19** : Marnes et marnes argileuses grises et passées de mammo-calcaires ; **20** : Formations argilo- gypso- gréseuses à fragments et blocs de roches diverses ; **21** : Dolomies et brèches dolomitiques grises, cargneules ; **22** : Calcaires gris foncé à Modiola, Miophoria, marnes, dolomies.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

La figure III.3 traduit la nature géologique et lithologique hétérogène de la région, caractérisée par des formations sédimentaires constituées généralement par des calcaires, des grès, des marnes, des argiles, des limons, des évaporites, des cailloutis et des alluvions. Elle servira de base à l'établissement de la carte des faciès géologique à comportement similaire, représentée dans le tableau N° III.01 et la figure III.4, qui constitue le document de base utilisé pour élaborer la carte de susceptibilité aux glissements de terrain.

Tableau N° III.1 : Classification des unités lithologiques de la zone d'étude

N°	Lithologie	Code	Age	Classes Lithologique
1	Alluvions fluviales des terres submersibles, des basses terrasses : galets, graviers, sables, limons sableux, limons	Af	Actuel	CL 2
2	Formations gravitationnelles-éboulis : blocs, abatis sable, limons	Ag	Actuel	CL 2
3	Formations déluvio- proluviales : cailloutis, limons	q ³ dp	Quaternaire Récent	CL 2
4	Formations déluvio- proluviales de couverture : cailloutis, sables, limons	q ² dp, q ² dg	Quaternaire moyen	CL 2
5	Croûte calcaire, calcaire lacustre et travertin	q ¹ c, q ¹ cl, q ¹ r	Quaternaire Ancien	CL 8
6	Argiles rouges, limons	q ¹ ar	Quaternaire Ancien	CL 1
7	Conglomérats, grès, argiles	Pq	Plio-Quaternaire	CL5
8	Conglomérats, gravélites, grès, argiles et marnes	P, t ₃	Pliocène / Trias supérieur	CL5
9	Siltstones marnes argileuses, grès	m ²⁻³	Miocène moyen-supérieur	CL 5
10	Grès, marnes, conglomérats	m ¹⁻²	Miocène inférieur-moyen	CL 5

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

11	Grès quartzeux à patine rousse, argiles grises	$g^3 m^1$	Oligocène supérieur- Miocène inférieur	CL 5
12	Calcaires bitumineux noirs et bruns à Globigerines, marno- calcaires noirs	e_t^{4-5}	Eocène supérieur	CL 6
13	Marnes argileuses noires à rognons calcaires jaunes	e_t^6	Eocène inférieur- moyen	CL 3
14	Marnes à rares intercalations de calcaires	e^{1-3}	Paléocène	CL 3
15	Calcaires à rares intercalations de marnes	C^{6a}	Maestrichtien inférieur	CL 8
16	Calcaires a inocérames et marnes à Globotruncana	C^{5-6}	Maestrichtien inférieur-Campanien supérieur	CL 6
17	Marnes argileuses marno-calcaires	C_m^{5b}	Campanien supérieur	CL4
18	Calcaires, calcaires gréseux, marno-calcaires	C^{5b}	Campanien supérieur	CL 6
19	Marnes et marnes argileuses grises et passées de marno- calcaires	C^{4b-5a}, C^{6b}	Campanien inférieur- Santonien supérieur / Maestrichtien supérieur	CL 4
20	Formations argilo- gypso- gréseuses a fragments et blocs de roches diverses	t	Trias supérieur	CL 1
21	Dolomies et brèches dolomitiques grises, cargneules	t_d	Trias supérieur	CL 7
22	Calcaires gris foncé a Modiola, Miophoria, marnes, dolomies	t_2, t_{ca}	Trias supérieur- moyen	CL 7

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

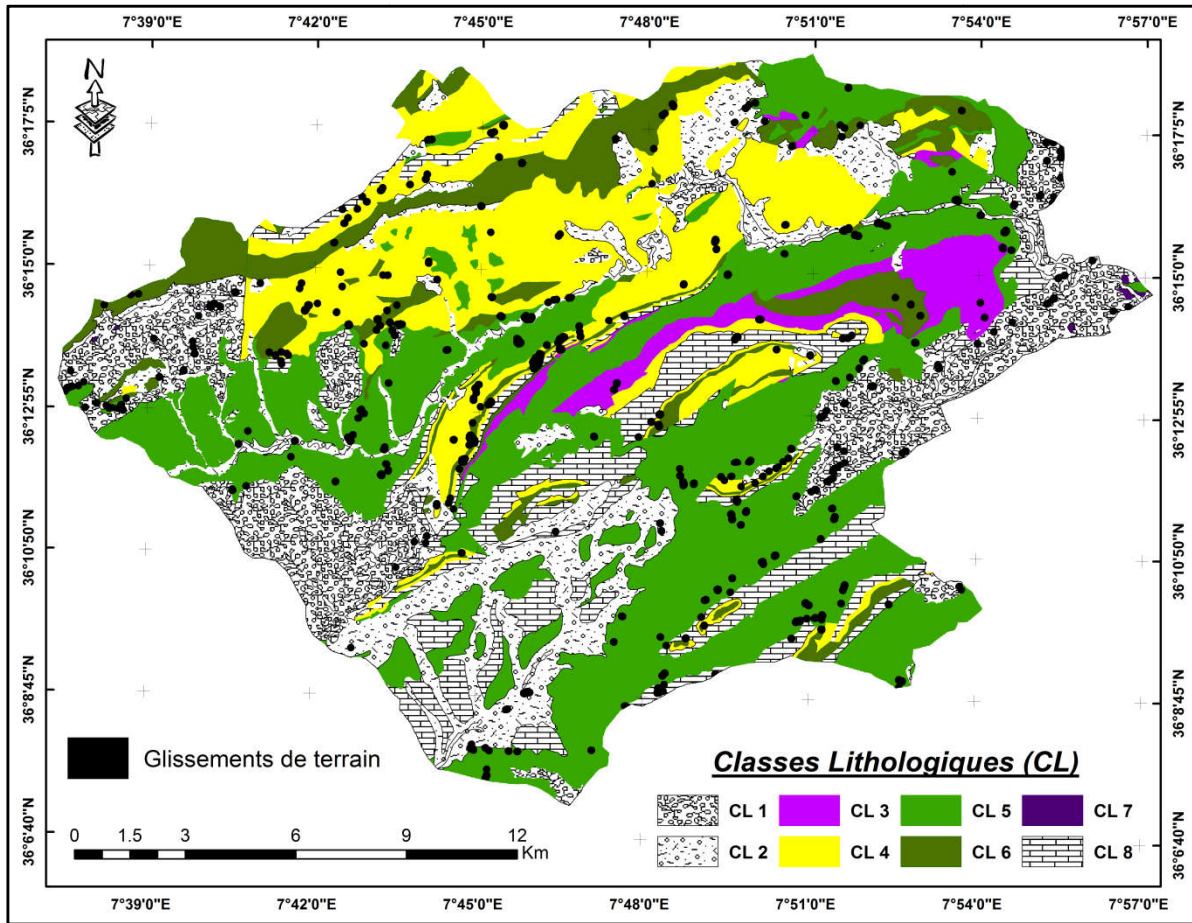


Figure III.4 : Carte des faciès géologique à comportement similaire.

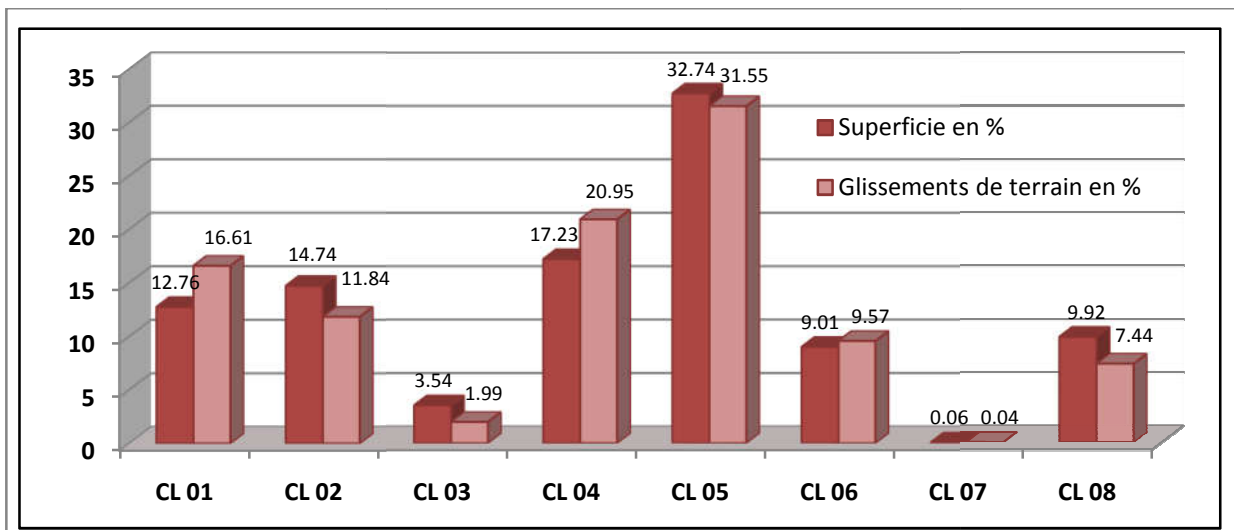


Figure III.5 : La répartition des glissements de terrain (en %) en fonction des classes de faciès géologiques à comportement similaire (en %).

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

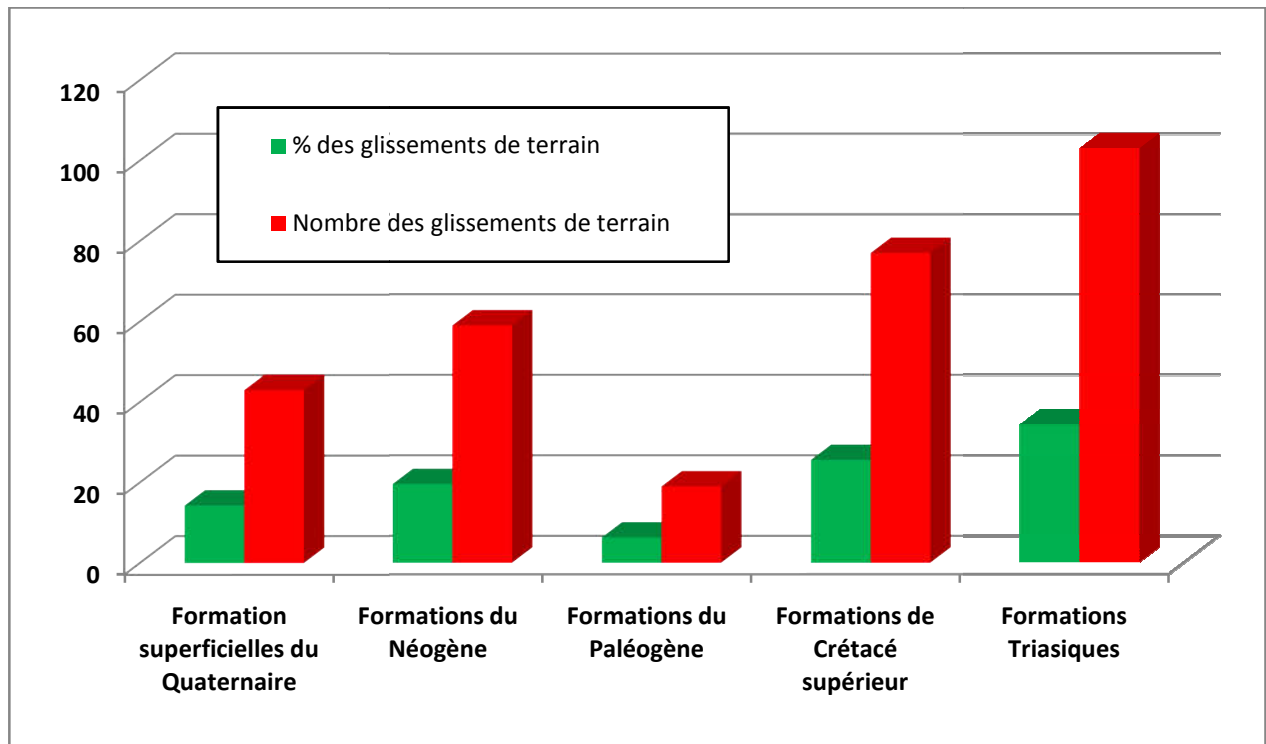


Figure III.6 : Le nombre et le pourcentage des glissements de terrain en fonction des âges stratigraphique.

L'examen de ces résultats montre que quatre classes sur huit ont été identifiées et cartographiées comme les plus touchées par le problème d'instabilité, où se localisent plus de 80 % des glissements de terrain dans la zone d'étude (CL 05, CL 04, CL 01 et CL 02). Ils sont répertoriés et localisés dans les marnes, les argiles, les formations argilo-gypso-gréseuses et les formations superficielles quaternaires issues de l'altération des terrains en place « colluvions, éboulis, limons, galets, graviers, cailloutis et sables ». Ces formations, généralement non consolidées, tapissent les versants à forte pente et s'altèrent facilement en surface.

Notons aussi, que les variations lithologiques importantes dans une même formation géologique, et la disposition en strates de nature et d'épaisseur variables induisent un comportement mécanique et hydraulique particulier, à l'origine de l'apparition des mouvements de terrain probablement.

Une brève description est présentée pour décrire toutes les formations favorables aux déclenchements des glissements de terrain observés. Les formations sont décrites dans un ordre stratigraphique, depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

III.1 Formations superficielles du quaternaire

Quarante trois points de glissements ont été récentes dans les formations du quaternaire soit 14,29 % des glissements de terrain dans la zone d'étude. Elles couvrent les bordures de cours d'eau (les terrasses alluviales) et zones de dépressions et pentes topographiques. Elles sont largement représentées par des alluvions fluviales constituées de galets, graviers, sables, limons sableux, limons ainsi que des éboulis de pente (colluvions), dont l'épaisseur peut varier de quelques décimètres à plusieurs mètres couvrant ainsi les terres submersibles, et les basses terrasses. Ces alluvions correspondent aux lits des cours d'eau, issues du transport des matériaux charriés par l'Oued Medjerda et Oued Edjedra. Toutes les formations superficielles récentes, généralement non consolidées, sont vulnérables aux agents météorologiques, et instables, surtout lorsqu'elles tapissent des versants à fortes pentes.



Photo III.1: Instabilité affectant les alluvions fluviales (galets, graviers, limons sableux et sables) du bord de l'oued Djedra ; point de prélèvement de l'échantillon N°14 ($7^{\circ} 59' 22,15''E$ et $36^{\circ} 17' 32,79''N$).

III.2 Les formations du Néogène

Les formations du néogène sont le siège de 59 points de glissements, soit 19,62 % des glissements de terrain affectant les versants naturels; occupant la partie W et SW de la zone d'étude. Elles affleurent naturellement en cours d'eau, et sont représentées essentiellement par des conglomérats, argilites, grès, argiles, siltstones et marnes, dont les grains ont une taille

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

entre 3,9 et 62,5 micromètres et les couches ont une épaisseur variant de quelques dizaines à quelques centaines de mètres.

Les couches de grès sont généralement plus épaisses, dures, résistants, peu à modérément altéré. Les bandes des marnes sont observées entre les couches des argilites. Elles ont un caractère très fracturé et ondulé. Les niveaux des argilites et siltstones se caractérisent par des couches fines et parfois modérément épaisses, peu durs, peu résistantes, modérément à peu altéré. Ils ont des contraintes de stabilité par rapport à leurs stratifications et leurs fissures.



Photo III.2 : Glissement de terrain affectant les marnes argileuses du miocène moyen-supérieur ;
36°13'15,59"E, 7°51'36,52"N /RN 81, PK 88 ».

III.3 Les formations du Paléogène

Les formations du paléogène sont le siège de 19 points de glissements, soit 06,31 % des glissements de terrain affectant les versants naturels. Elles occupent essentiellement le N et le centre de la zone d'étude. Ces formations sont composées de calcaire bitumineux noir et brun à globigérines, et de marno-calcaire noir. Elles sont recouvertes par des nappes numidiennes de l'oligocène supérieur, constitués par des grès quartzeux à patine rousse sous forme de bancs décimétriques à métriques, souvent plissés et reposant sur des argiles plastiques, verdâtres plus ou moins indurées. Des mouvements de sol, souvent superficiels sont visibles au contact grès-argiles. La nappe Allochtone numidienne à base d'alternance de bancs gréseux à grès-calcaire, reposant sur des argiles, constitue une bonne nappe d'eau, du fait de la perméabilité conférée par les grès et l'étanchéité due aux argiles. Cette situation

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

hydrologique peut devenir contraignante vis-à-vis de la stabilité des talus argileux, dans le cas de mise à nu du contact argile grès par l'érosion ou le déblaiement. Ces dernières actions provoquent des venues d'eau au contact argile grès, lesquelles en se déversant sur les argiles les ramollissent et les plastifient, les rendant très sensibles aux pentes topographiques et deviennent instables.

Les formations du paléogène affleurent aussi dans l'extrême E de la zone d'étude sous forme d'un lambeau isolé à faciès à dominance marneuse (marnes argileuses, calcaires marneux gris).

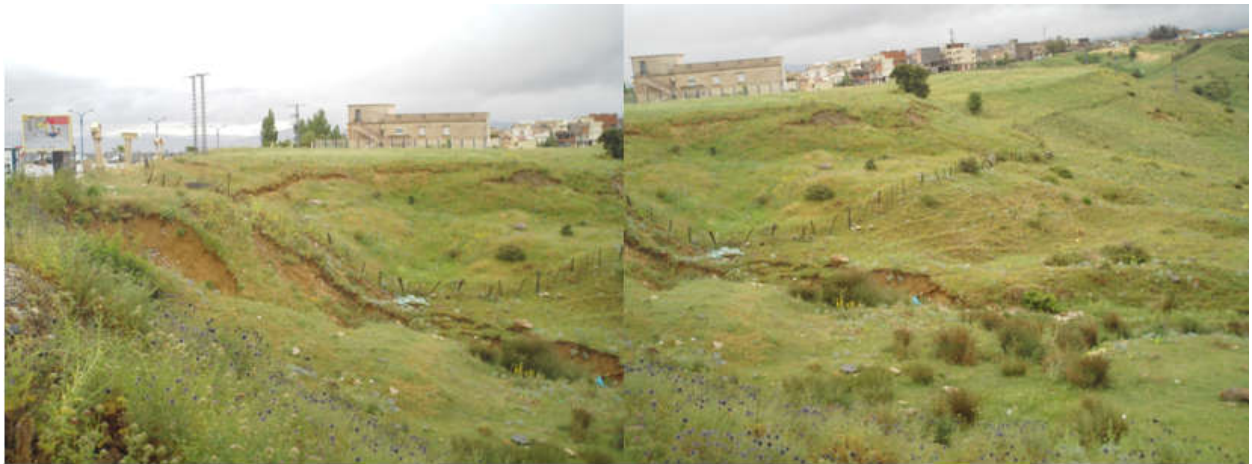


Photo III.3 : Glissement de terrain affectant les argiles du Numidien, en face de l'université de Souk Ahras. C'est le point de prélèvement de l'échantillon 13; $7^{\circ}55'45,66''E$ et $36^{\circ}17'45,23''N$.

III.4 Les formations de Crétacé supérieur

Les formations de crétacé supérieur sont le siège de 77 points, soit 25,58 % des glissements de terrain affectant les versants naturels. Elles occupent une grande partie du N et du centre de la zone d'étude, représentée essentiellement par des marnes franches ou argileuses de teinte grise ou gris foncé, à nuances bleuâtres ou verdâtres, de compacité variable allant de tendre à très compacte, souvent à litage confus, moins souvent bien litées, avec des lentilles de calcaires centimétriques, reposant sur un faisceau de marnes calcaires grisâtres en lits semi-métriques et de bancs décimétriques de calcaire argileux.

Ces formations ont des formes très fracturées. Ils sont observés le système des joints qui se composent au moins en trois directions. Avec ces joints, les micros et macros failles, où

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

il est observé les niveaux des glissements de terrain et des ruptures des pentes, se trouve dans les hauteurs élevées dans la zone d'étude.

III.5 Les formations triasiques

On distingue deux types d'affleurements triasiques : le trias diapiriques et le complexe de base de nappe (J. M. Vila, 1980, L. David 1956)

Les formations triasiques sont le siège de 103 points de glissements, soit 34,22 % des glissements de terrain affectant les versants naturels. Elles occupent l'E et l'W du périmètre étudié.

Dans notre zone d'étude le trias représente un ensemble de formations intensément déformées soulignant les contacts anormaux à la base des formations allochtones, et a une composition assez chaotique et hétérogène, composée d'argiles irisées bariolées de teintes vives (violet, rouge, lie-de-vin, jaune, verdâtre, etc.) ; des formations argilo-gypso-gréseuses à fragments et blocs de roche divers ; calcaires gris et noirs en plaquettes à rares intercalations de dolomies jaunes ; dolomies et brèches dolomitiques grises, cargneules ; des lits et des amas de gypse et des encroûtements gypseux.



Photo III.4 : Affleurement du gypse dans les argiles de Trias sur un versant instable ; 36°8'48,3"N et 7°48'44,49"E/ RN 81 ; PK : 81+100.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS



Photos III.5 : Formation d'argile versicolore du Trias ; $36^{\circ}13'46,53''\text{N}$ et $7^{\circ}51'51,53''\text{E}$ / RN 81 ; PK : 89+300.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

IV. Caractérisation géotechnique et minéralogique des matériaux impliqués dans les glissements de terrain

Les faciès lithologiques de la région de Souk Ahras sont très variés. Dans ce travail, on s'appuie sur les données de terrain et de laboratoire dans le but de rechercher une corrélation entre les différents paramètres caractéristiques des terrains identifiés et leur comportement mécanique. Quatorze échantillons (Tableau N° III.2) sont directement prélevés sur des glissements de terrain localisés dans des faciès lithologiques différents (Fig. III.7) ; une petite quantité de matériau (2000 à 3000 g) est prélevée après avoir enlevé les couches de surface altérées et les herbes. Dans le but d'obtenir les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques des différents échantillons, les analyses suivantes ont été réalisées :

- la teneur en carbonate de calcium ;
- la présence et les propriétés des minéraux argileux par le bleu de méthylène ;
- la limite de plasticité et de liquidité au moyen du dispositif de Casagrande ;
- le cône de pénétration ;
- l'essai de diffraction des rayons X (DRX).

Dans ce qui suit j'expose les résultats des différents essais faits sur les sols prélevés. Notons que chaque échantillon a subi des traitements préalables avant toute analyse (lavage et traitement chimique).



Photo III.6: Glissement de terrain affectant les formations de l'Eocène inférieur-moyen : marnes argileuses noires à rognons calcaires jaunes. C'est le point de prélèvement de l'échantillon 02 ;
7°52'24,29"E et 36°9'15,38" / RN 81B ; PK 2+900.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS



Figure III.7 : Image satellitaire de positionnement des échantillons dans la région d'étude.
(Image Google Earth 2018).

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

Tableau N°III.2 : L'emplacement des échantillons prélevés.

Les Echantillons	Cordonnées	Elévation (m)	Pente (°)	Les précipitations moyennes interannuelles (mm)	La Lithologie
ECH 01	X: 7° 54' 1,979" E Y: 36° 15' 53,628" N	618	19,29	600 - 700	Miocène inférieur-moyen : grès, marnes, (m ¹⁻²).
ECH 02	X: 7° 54' 25,953" E Y: 36° 15' 24,766" N	704	12,23	600 - 700	Eocène inférieur-moyen : marnes argileuses noires à rognons calcaires jaunes (e _r ⁶).
ECH 03	X: 7° 51' 51,499" E Y: 36° 13' 37,200" N	738	9,46	600 - 700	Miocène moyen-supérieur : siltstones marnes argileuses, grès (m ²⁻³).
ECH 04	X: 7° 51' 36,511" E Y: 36° 13' 6,253" N	714	8,53	500 - 600	Trias : Formations argilo-gypso-gréseuses a fragments et blocs de roches diverses (t).
ECH 05	X: 7° 51' 7,750" E Y: 36° 12' 52,712" N	719	9,46	500 - 600	Trias : Formations argilo-gypso-gréseuses a fragments et blocs de roches diverses (t).
ECH 06	X: 7° 49' 21,409" E Y: 36° 12' 1,337" N	835	14,04	500 - 600	Miocène moyen-supérieur : siltstones marnes argileuses, grès (m ²⁻³).
ECH 07	X: 7° 48' 39,710" E Y: 36° 11' 57,854" N	936	16,7	500 - 600	Pliocène : Conglomérats, gravélites, grès, argiles et marnes (P).
ECH 08	X: 7° 49' 15,538" E Y: 36° 15' 21,254" N	729	26,16	600 - 700	Marnes et marnes argileuses grises et passées de marno-calcaires (C ^{4b-5a}).
ECH 09	X: 7° 53' 35,367" E Y: 36° 16' 5,293" N	630	18,74	600 - 700	Miocène moyen-supérieur : siltstones marnes argileuses, grès (m ²⁻³).
ECH 10	X: 7° 52' 18,577" E Y: 36° 15' 43,008" N	714	21,74	600 - 700	Miocène inférieur-moyen : grès, marnes, conglomérats (m ¹⁻²).
ECH 11	X: 7° 50' 28,899" E Y: 36° 15' 17,632" N	722	12,23	600 - 700	Miocène moyen-supérieur : siltstones marnes argileuses, grès (m ²⁻³).
ECH 12	X: 7° 57' 12,719" E Y: 36° 14' 47,371" N	547	23,74	600 - 700	Trias : Formations argilo-gypso-gréseuses a fragments et blocs de roches diverses (t).
ECH 13	X: 7° 55' 45,664" E Y: 36° 17' 45,225" N	798	8,61	700 - 800	Oligocène supérieur-Miocène inférieur : grès quartzeux à patine rousse, argiles grises (g ^{3m1}).
ECH 14	X: 7° 59' 22,151" E Y: 36° 17' 32,798" N	495	19,72	600 - 700	Alluvions fluviales des terres submersibles, des basses terrasses : galets, graviers, sables, limons sableux, limons (A _r).

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

IV.1 Caractérisation géotechniques

IV.1.1 Teneur en carbonate de calcium (NF P 94-048)

La teneur en carbonate de calcium CaCO_3 d'un sol, est le rapport de la masse de carbone contenue dans le sol à sa masse sèche totale, déterminée par la mesure de la quantité de gaz carbonique dégagé par une masse d'échantillon de sol sec, sous l'action d'acide chlorhydrique en excès. Elle permet de calculer la masse de carbonate de calcium dissoute et donc la teneur en carbonates de calcium du sol, exprimée en pourcentage de la masse de la phase solide du sol. Du point de vue mécanique, la teneur en carbonate de calcium est un bon indice de résistance du sol et de la sensibilité à l'eau.

A partir des résultats de la teneur en CaCO_3 , on peut distinguer les sols fins suivants :

- ❖ 0-10 % de CaCO_3 : Argile ou limon ;
- ❖ 10-30 % de CaCO_3 : Argile marneuse ou limon marneux ;
- ❖ 30-70 % de CaCO_3 : Marne ;
- ❖ 70-90 % de CaCO_3 : Calcaire marneux ;
- ❖ 90-100 % de CaCO_3 : Calcaire.

La dénomination « Argile » ou « Limon » dépend aussi de l'analyse des valeurs de bleu de méthylène et de la plasticité.

IV.1.2 Essai au bleu de méthylène (norme NF P 94-068)

L'essai de bleu de méthylène est considéré comme la méthode la plus simple pour avoir l'information sur la présence et les propriétés des minéraux argileux dans le sol. Elle traduit la quantité et la qualité (activité) de la fraction argileuse du sol. Le principe de cet essai repose sur la base d'échanges ioniques ayant lieu entre les cations d'argile facilement échangeables et les cations de bleu de méthylène libérés lors de sa dissolution dans l'eau. Autrement dit, il consiste à déterminer la capacité d'adsorption ionique d'un sol en mesurant la quantité de colorant de bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir les surfaces internes et externes de toutes les particules argileuses présentes dans le sol par une monocouche de bleu de méthylène.

On appelle cette quantité, la valeur au bleu, notée (VB) et exprimée en grammes de bleu par 100 grammes de sol, selon la norme française NF P 94-068 par l'équation suivante :

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

VBS = Volume du bleu / masse de l'échantillon.

- ❖ si $VBS < 0,1$: sol insensible ou peu sensible à l'eau (si tamisa à $80\mu\text{m} \leq 12\%$) ;
- ❖ si $0,1 < VBS < 0,2$: apparition de la sensibilité à l'eau ;
- ❖ si $0,2 < VBS < 1,5$: sols sablo-argileux ;
- ❖ si $1,5 < VBS < 2,5$: sols sablo-limoneux (moyennement plastiques) ;
- ❖ si $2,5 < VBS < 6$: sols limoneux ;
- ❖ si $6 < VBS < 8$: sols argileux ;
- ❖ si $8 < VBS$: sols très argileux.

Tableau N° III.3 : Valeurs de référence au bleu et activité des minéraux Argileux.

Minéraux	Kaolinite	Illite	Montmorillonite
Valeur de bleu V_B (en g de bleu /100 g de sol)	1	3,6	31
	Inactif	Peu actif	Actif
CEC (meq/100g)	3 - 15	10 - 40	80 - 150
Surface spécifique (m^2/g)	10 - 20	80 - 100	400 - 800

IV.1.3 Les limite d'Atterberg

Les teneurs en eau qui délimitent les états de consistance d'un sol sont appelées limites de consistance ou limites d'Atterberg. Ces limites, qui s'expriment en pourcentage, sont la limite de plasticité et la limite de liquidité. Elles servent à identifier et à classer les sols fins dont les particules sont invisibles à l'œil nu.

L'abondance des argiles dans les matériaux du versant a des répercussions sur la stabilité en fonction de leurs caractéristiques géotechniques et minéralogiques. Plusieurs auteurs ([Le Roux 1972](#), [Costet et Sanglerat 1975](#), [Mouroux et al. 1988](#)) s'accordent sur le fait que dès que la teneur en eau des argiles dépasse la teneur de l'eau liée et que l'eau libre apparaît, la résistance des matériaux chute. Ils passent d'un état solide à un état plastique puis à un état liquide.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

Les limites d'Atterberg (la limite de liquidité et la limite de plasticité) sont liées à la quantité d'eau attirée à la surface des particules de sol. Ces limites sont utilisées dans les classifications des sols et permettent d'estimer les propriétés mécaniques. Leur connaissance permet de présumer le comportement d'un sol donné ; en fonction de la nature et de la quantité d'argile qu'il contient ; lorsqu'il est soumis à des sollicitations.

Des méthodes relativement simples ont été proposées pour déterminer les limites d'Atterberg ; les plus importantes sont la méthode de Casagrande (Casagrande, 1932, 1958), et la méthode du cône de pénétration (Terzaghi, 1927, Hansbo, 1957 ; Houlsby, 1982 ; Koumoto et Houlsby, 2001).

Avec l'indice de plasticité on peut classer un sol suivant son degré de plasticité. Cet indice donne une indication sur l'étendue du domaine plastique.

Tableau N° III.4 : Classification des sols à la base de l'indice de plasticité (Casagrande, 1958).

Ip	Dénomination	Exemples de sol
Inférieur à 5	Non plastique	Sable limoneux ou argileux, sable
De 5 à 15	Peu plastique	Limon sableux, limon.
De 15 à 25	Plastique	Limon, limon argileux
Plus de 25	Très plastique	Argile

IV.1.3.1 Limite d'Atterberg déterminée à la coupelle de Casagrande (selon la norme NF P 94-051)

La détermination des limites d'Atterberg à la coupelle de Casagrande, est largement utilisée dans les domaines de la géotechnique et de la géo-ingénierie, due à leur performance simple. Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau déterminée sur la fraction du matériau passant au tamis de 0,42 mm ; utilisés pour déterminer la nature plastique des sols utilisant l'abaque de Casagrande. Les résultats des essais effectués sur les sols étudiés sont récapitulés dans Tableau N° III.5.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

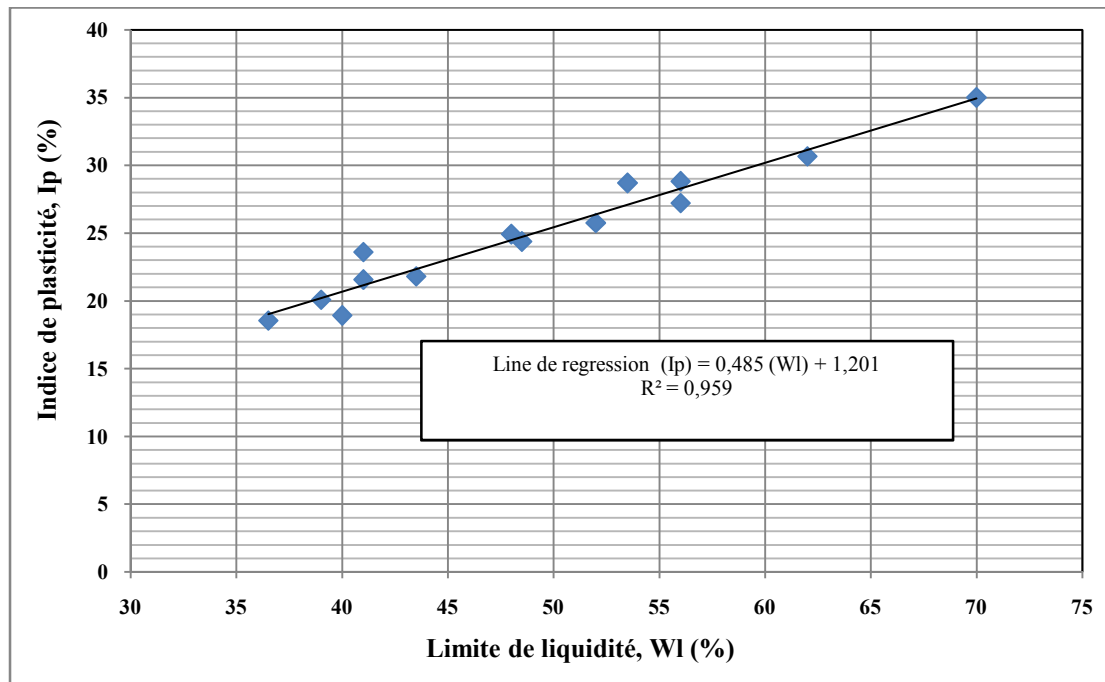


Figure III.8 : Variation des valeurs de l'indice de plasticité (IP) en fonction de la limite de liquidité (W_L) déterminée à la coupelle de Casagrande, obtenus pour les 14 échantillons analysés.

La figure III.8 montre la variation des valeurs de l'indice de plasticité (IP) en fonction de la limite de liquidité (W_L) déterminée à la coupelle de Casagrande, obtenus pour les 14 échantillons analysés. Cette figure montre que les sols étudiés ont un indice de plasticité $IP \geq 18,5$ % et une limite de liquidité comprise entre $36,5 \% \leq W_L \leq 70$ %, indiquant dans un premier temps une minéralogie non similaire. On peut dire que ces limites sont confirmées et vérifiées par l'abaque de classification de Casagrande (Fig. III.14) des sols argileux peu à très plastique.

IV.1.3.2 Limite d'Atterberg déterminée par le cône de pénétration (Selon la norme NF P 94-52-1)

Le cône de pénétration « Fall cône » est l'une des méthodes les plus fiables pour déterminer la limite de liquidité (W_L), la limite de plasticité (W_p) et la résistance au cisaillement non drainée (C_u), correspondant à une profondeur de pénétration spécifiée d'un cône de géométrie et de poids connus. Les limites de liquidité ont été prises en tant que niveau d'humidité du sol correspondant à une profondeur de pénétration de 20 mm et la profondeur

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

de pénétration à la limite plastique est 2 mm (L.C.P.C., 1987). Les résultats des essais effectués sur les sols étudiés sont récapitulés dans Tableau N° III.5.

La résistance au cisaillement non drainée est l'un des paramètres utiles pour prendre des décisions techniques. Le plus souvent, la capacité portante est estimée sur la base d'une résistance au cisaillement non drainée afin de permettre des estimations prudentes.

De nombreuses formules empiriques sont disponibles pour estimer la résistance au cisaillement non drainé pour des sols à grains fins telles que l'argile ou le limon. Les travaux expérimentaux de Hansbo (1957) ont montré une relation approximativement linéaire entre le logarithme de la profondeur de pénétration et le logarithme de la résistance au cisaillement non drainée.

Par conséquent, une corrélation entre la résistance au cisaillement non drainée et les limites d'Atterberg est utile pour limiter le nombre d'essais et les coûts.

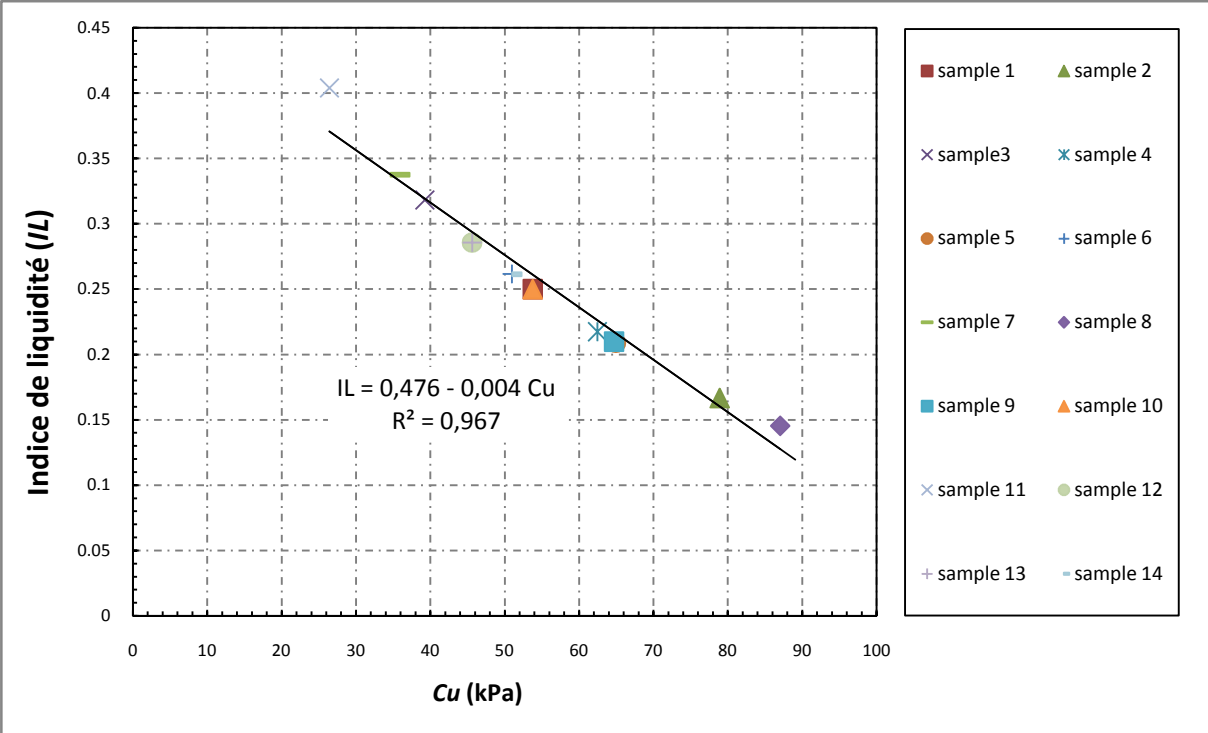


Figure III.9 : Variation des valeurs de l'indice de liquidité en fonction de la résistance au cisaillement non drainée, pour d = 5 mm.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

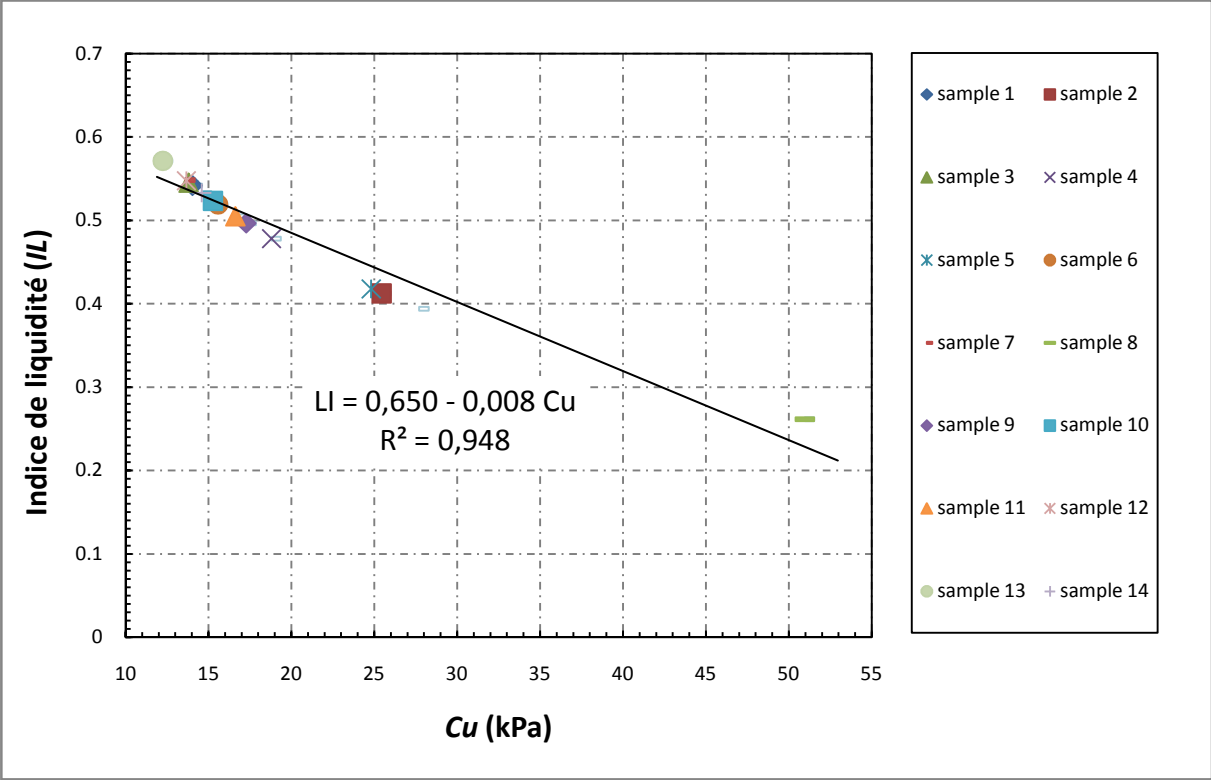


Figure III.10: Variation des valeurs de l'indice de liquidité en fonction de la résistance au cisaillement non drainée, pour d = 10 mm.

Les figures III.9 et III.10 montrent les résultats des tests (la variation des valeurs de l'indice de liquidité en fonction de la résistance au cisaillement non drainée). On notera que la résistance non drainée a une relation avec l'indice de liquidité en ce que la force diminue à mesure que la plasticité augmente (en fonction de la profondeur de l'enfoncement). Il s'avère que les limites de consistance ont une influence sur les caractéristiques de résistance.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

Tableau N° III.5 : Résultats des essais de limites d'Atterberg déterminées par la coupelle de Casagrande et par le cône de pénétration.

Echantillons	Limite de Plasticité			Limite de Liquidité			Indice de plasticité	
	Méthodes		Casagrand / cône de pénétration	Méthodes		Casagrand / cône de pénétration	Méthodes	
	Casagrand	Cône de pénétration		Casagrand	Cône de pénétration		Casagrand	Cône de pénétration
ECH 01	19,43	18	1,079	41	42	0,976	21,57	24
ECH 02	23,08	20	1,154	48	44	1,091	24,92	24
ECH 03	18,91	17	1,112	39	38,4	1,016	20,09	21,4
ECH 04	21,69	20	1,085	43,5	43	1,012	21,81	23
ECH 05	34,99	33	1,060	70	66,5	1,053	35,01	33,5
ECH 06	24,12	23	1,049	48,5	47,85	1,014	24,38	24,85
ECH 07	17,39	18	0,966	41	41,7	0,983	23,61	23,7
ECH 08	31,32	33	0,949	62	67,4	0,919	30,68	34,4
ECH 09	28,77	20	1,439	56	48,6	1,152	27,23	28,6
ECH 10	26,44	25,6	1,033	52	51,2	1,016	25,76	25,6
ECH 11	17,95	18	0,997	36,5	37,8	0,966	18,55	19,8
ECH 12	21,08	20	1,054	40	41	0,976	18,92	21
ECH 13	24,8	23	1,078	53,5	51	1,049	28,7	28
ECH 14	27,17	26	1,045	56	54,7	1,024	28,82	28,7

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

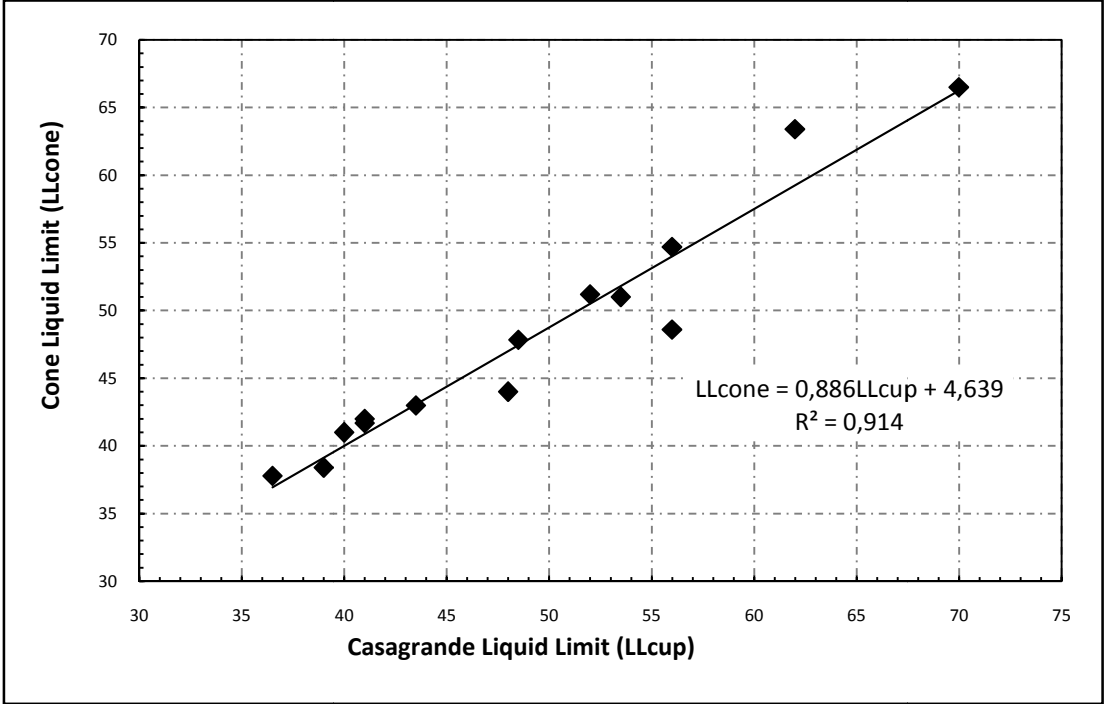


Figure III.11 : La relation entre les valeurs des limites de liquidité obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration « LL_{Casagrande} et LL_{cône} ».

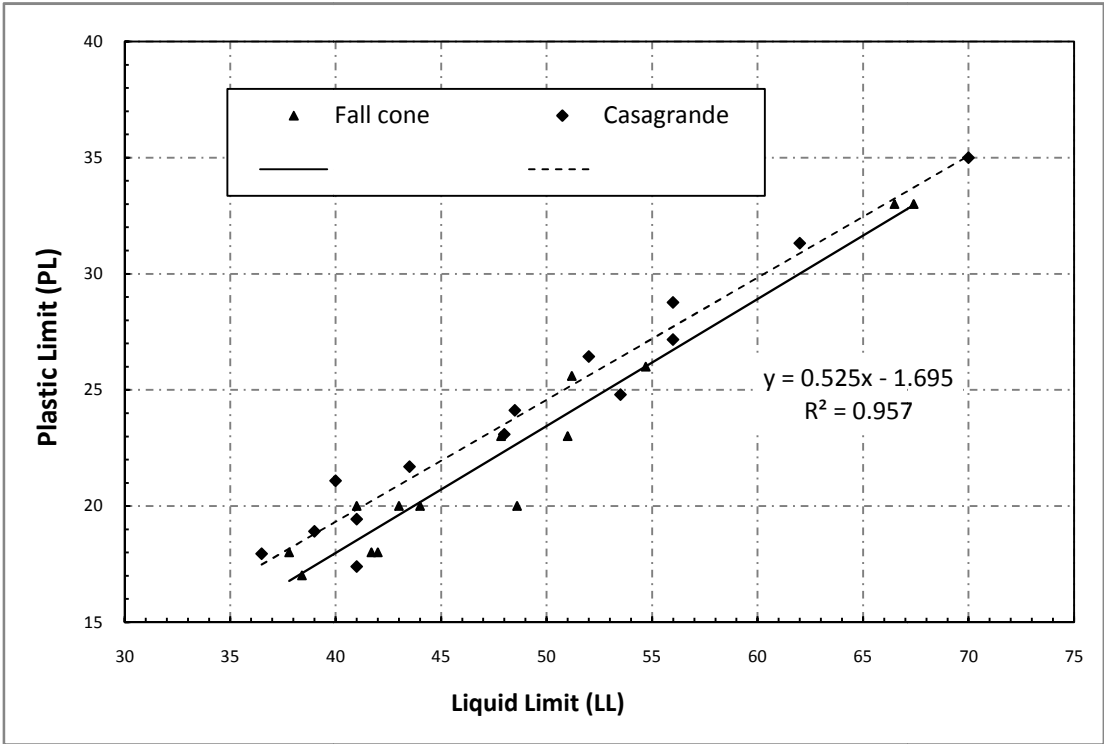


Figure III.12 : Corrélation entre les valeurs des limites de liquidité et les limites de plasticité obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

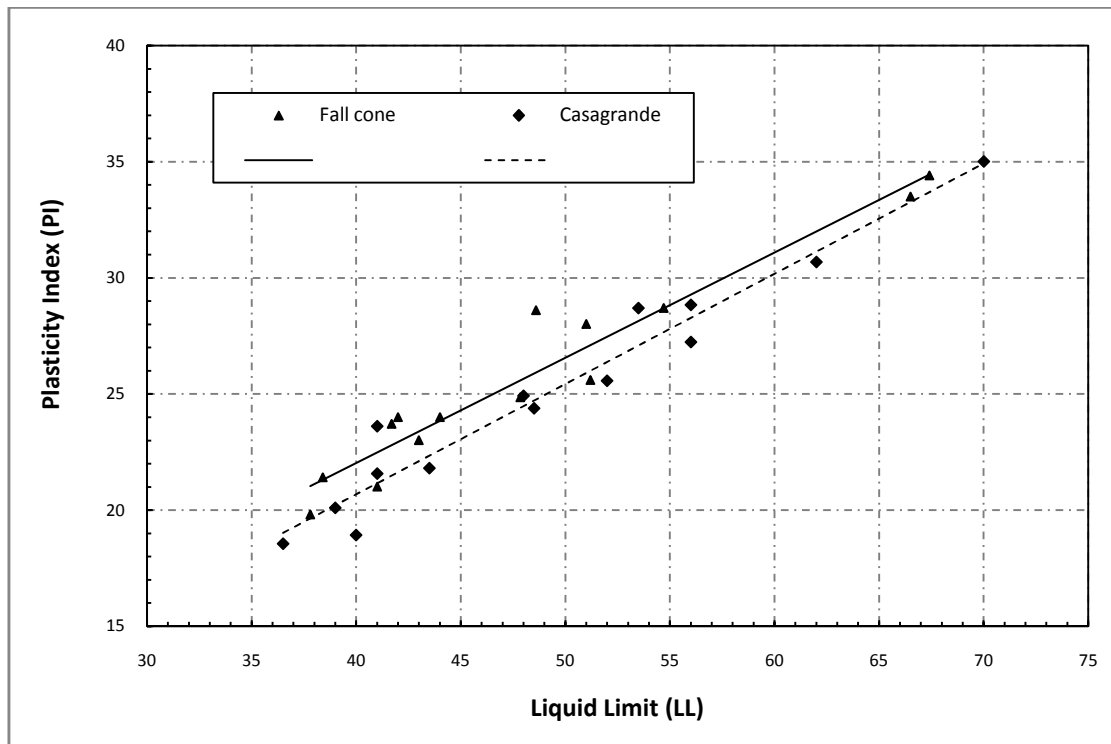


Figure III.13 : Corrélation entre les valeurs des limites de liquidité et l'indice de Plasticités obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration.

Le tableau N°III.5 présente les valeurs des limites de consistance des 14 échantillons, obtenues par les méthodes de Casagrande et du cône de pénétration. Les figures III.11, III.12 et III.13, représentent la relation entre les valeurs des limites de liquidité obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration « $LL_{\text{Casagrande}}$ et $LL_{\text{cône}}$ » ; la corrélation entre les valeurs des limites de liquidité et les limites de plasticité obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration ; et la corrélation entre les valeurs des limites de liquidité et l'indice de Plasticités obtenues par la méthode de Casagrande et celle de la méthode du cône de pénétration respectivement.

La relation et la différence entre $LL_{\text{Casagrande}}$ et $LL_{\text{cône}}$ pour les sols testés sont illustrées à la figure III.11, avec une limite de liquidité allant de 36,5 à 70 %. La relation statistique suivante est obtenue entre les deux limites de liquidités :

$$LL_{\text{cône}} = 0,886 LL_{\text{Casagrande}} + 4,639.$$

La corrélation des deux limites est très bonne, car elle est désignée par le facteur de corrélation de l'équation d'ajustement, $R^2 = 0,914$.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

Les valeurs des limites de liquidités (LL) ont été corrélées par une analyse de régression linéaire (Tableau N° III.6) avec la limite de plasticité (LP) et l'indice de plasticité (IP). Les résultats présentés aux figures III.12 et III.13, montrent de très bons coefficients de corrélation, R^2 , allant de 0,939 à 0,958.

Les limites de plasticité et de liquidité obtenues par la méthode de Casagrande sont supérieures aux valeurs obtenues par la méthode du cône de pénétration. Ceci pouvant expliquer probablement soit par l'hétérogénéité de l'échantillon, soit par le mode opérationnel.

La méthode du cône de pénétration est considérée comme la méthode la plus fiable pour déterminer la limite de consistance. Elle est normalisée dans de nombreux pays en tant que méthode de test préférée de la détermination de la limite de consistance.

Les équations décrivant la relation entre deux types de valeur limites de liquidités (LL_{Casagrande} et LL_{cône}) sont résumées dans le tableau N° III.6.

Table N°III.6 : Les équations de corrélation des valeurs LP, IP avec LL.

Indices Corrélés	Equation	Coefficient de corrélation R^2
Casagrande		
PL - LL	$PL = 0,510 \times LL - 1,105$	0,958
PI - LL	$PI = 0,489 \times LL + 1,105$	0,954
Cône de pénétration		
PL - LL	$PL = 0,537 \times LL - 3,575$	0,954
PI - LL	$PI = 0,462 \times LL + 3,575$	0,939

IV.2 Caractérisation minéralogique par la diffraction aux rayons X

La diffraction des rayons x (DRX) est une technique très utilisée pour identifier la nature des minéraux contenus dans le sol. Il peut servir pour mieux relier la minéralogie des sols aux leurs comportement mécanique, et plus particulièrement leur fraction argileuse qui est considérée comme la fraction la plus active de la matrice du sol.

L'analyse minéralogique des sols étudiés, est basée sur l'interprétation des résultats de (DRX) sur 14 échantillons de sol (non orienté). Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de physique des matériaux de l'université de Constantine 1. L'échantillon séché est placé

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

directement dans une porte-échantillon ; le diffractogramme de poudre obtenue fait apparaître les réflexions (hkl).

Une analyse sur la poudre totale fournit les éléments d'une semi-quantification de tous les minéraux présents et notamment la fraction totale regroupant les minéraux phyllosilicates.

Le principe de la méthode repose sur la diffraction des rayons X par les plans réticulaires (hkl) des cristaux contenus dans l'échantillon, selon la loi de Bragg (Equation III.1). Les résultats de mesures obtenus sont présentés sous forme de diffractogramme pour chaque échantillon, représentant l'intensité en fonction de l'angle de diffraction (θ) (Fig. III.15). En appliquant la loi de Bragg sur les résultats obtenus pour déterminer les différentes distances inter-réticulaires (dhkl) de chaque pic. L'indexation des différents pics de diffraction du diagramme de rayons X permet de déterminer les phases cristallines présentes. Les résultats ont été traités à l'aide d'un logiciel « X Powder. Version 2004.04.59 Pro », celui-ci permet le traitement et l'identification qualitative et quantitative des minéraux argileux et non argileux, ainsi que le traçage des diffractogrammes de chaque échantillon.

$$2\lambda = 2 d \sin \theta \dots \dots \dots \text{Equation (1)}$$

Où λ est la longueur d'onde utilisée en angström.

IV.3 Résultats et interprétation

L'interprétation de ces résultats sert de base pour une nomination et classification des échantillons prélevés dans les terrains étudiés avec une distinction particulière des échantillons argileux.

IV.3.1 Teneur en carbonate de calcium

L'essai de la teneur en carbonate de calcium a été effectué conformément à la norme française NF-P-94-048. Les résultats sont représentés dans le tableau N° III.7.

Les valeurs d'analyses de la teneur en carbonate de calcium CaCO_3 sont comprises entre 06 % et 56,73 %, avec une moyenne de plus de 27 % indiquent que les sols testés basculent entre la marne et l'argile. Sachant que les marnes proviennent des formations de : Santonien supérieur-Campanien inférieur (marnes et marnes argileuses grises et passées de marno-calcaires), marnes de miocène inférieur-moyen et de miocène moyen-supérieur

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

(siltstones marnes argileuses) ; et les argiles proviennent de terrains de : Trias (formations argilo-gypso-gréseuses) et du Numidien.

Suite aux analyses chimiques, ces matériaux sont propres (dépourvus de sulfates) sauf les échantillons provenant de miocène et de trias.

Tableau N° III.7 : Résultats de la teneur en carbonate de calcium.

Echantillon	% du Gypse	% des insolubles	% de CaCO ₃	Nature
ECH 01	Traces	96,48	2,3	Argile
ECH 02	Néant	47,34	43,26	Marne
ECH 03	16,26	55,16	26	Argile marneuse
ECH 04	Néant	83,84	06	Argile
ECH 05	Traces	82,19	16	Argile marneuse
ECH 06	Néant	59,8	35,46	Marne
ECH 07	Néant	56,28	41	Marne
ECH 08	Néant	61,97	33	Marne
ECH 09	17,75	62,42	18	Argile marneuse
ECH 10	Traces	46,5	44	Marne
ECH 11	Traces	42,62	48,46	Marne
ECH 12	Traces	39,13	56,73	Marne
ECH 13	Néant	94,2	3,07	Argile
ECH 14	Néant	83,28	10,76	Argile marneuse

IV.3.2 Essai au bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène a été effectué conformément à la norme française NF-P-94-068. Les résultats sont représentés dans le tableau N° III.8.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

Tableau N° III.8 : Résultats de l'essai au bleu de méthylène.

Echantillon	Valeur de bleu V_B	Surface spécifique (Ss)	Nature de sol	Nature des minéraux Argileux
ECH 01	2,5	61,25	Sols sablo-limoneux	Kaolinite
ECH 02	3,83	93,835	Sols limoneux	Illite
ECH 03	1,83	44,835	Sols sablo-limoneux	Kaolinite
ECH 04	1,16	28,42	Sols sablo-argileux	Kaolinite
ECH 05	7,33	179,585	Sols argileux	Illite-smectite
ECH 06	7,33	179,585	Sols argileux	Illite-smectite
ECH 07	4,16	101,92	Sols limoneux	Illite-smectite
ECH 08	4,5	110,25	Sols limoneux	Illite-smectite
ECH 09	6,4	156,8	Sols argileux	Illite-smectite
ECH 10	1,16	28,42	Sols sablo-argileux	Kaolinite
ECH 11	4,5	110,25	Sols limoneux	Illite-smectite
ECH 12	4,16	101,92	Sols limoneux	Illite-smectite
ECH 13	4,33	106,085	Sols limoneux	Illite-smectite
ECH 14	3,5	85,75	Sols limoneux	Illite

L'analyse des résultats montre que les sols testés composés essentiellement de l'illite, l'illite-smectite (interstratifiée) et de kaolinite. Les valeurs les plus importantes de V_B sont obtenues pour des échantillons provenant du trias (échantillon 05) et du miocène moyen-supérieur (échantillons 06 et 09), avec une moyenne de V_{BS} supérieure à 7, caractérisant les sols argileux. Les autres échantillons ont une valeur moyenne de plus de 4 matérialisant les sols sablo-limoneux à argileux.

En matière de surfaces spécifiques (SS) reliées par calcul aux valeurs de bleu de méthylène, ce sont les sols argileux des échantillons n° 5, 6 et 9 qui possèdent les surfaces spécifiques les plus élevées et supérieures à 130 m²/g. Ces horizons semblent être riches en minéraux gonflants du type smectite et interstratifié illite-smectite (Platel, 2004).

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

IV.3.3 Les limite d'Atterberg

La détermination des limites d'Atterberg a été effectuée par deux méthodes (la méthode de Casagrande et celle du cône de pénétration) conformément aux normes françaises NF P 94-051 et NF P 94-52-1, respectivement, et pour l'interprétation de ses résultats on a pris la valeur moyenne des deux essais pour chaque échantillon. Les valeurs sont représentées dans le tableau N° III.9.

Tableau N° III.9 : La moyenne des valeurs des limites d'Atterberg.

Echantillons	Limite de Plasticité moyenne	Limite de Liquidité moyenne	Indice de plasticité moyenne	Plasticité du sol
ECH 01	18,715	41,5	22,785	Plastique
ECH 02	21,54	46	24,46	Plastique
ECH 03	17,955	38,7	20,745	Plastique
ECH 04	20,845	43,25	22,405	Plastique
ECH 05	33,995	68,25	34,255	Plastique
ECH 06	23,56	48,175	24,615	Plastique
ECH 07	17,695	41,35	23,655	Plastique
ECH 08	32,16	64,7	32,54	Plastique
ECH 09	24,385	52,3	27,915	Plastique
ECH 10	26,02	51,6	25,58	Plastique
ECH 11	17,975	37,15	19,175	Moyennement plastique
ECH 12	20,54	40,5	19,96	Moyennement plastique
ECH 13	23,9	52,25	28,35	Plastique
ECH 14	26,585	55,35	28,765	Plastique

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

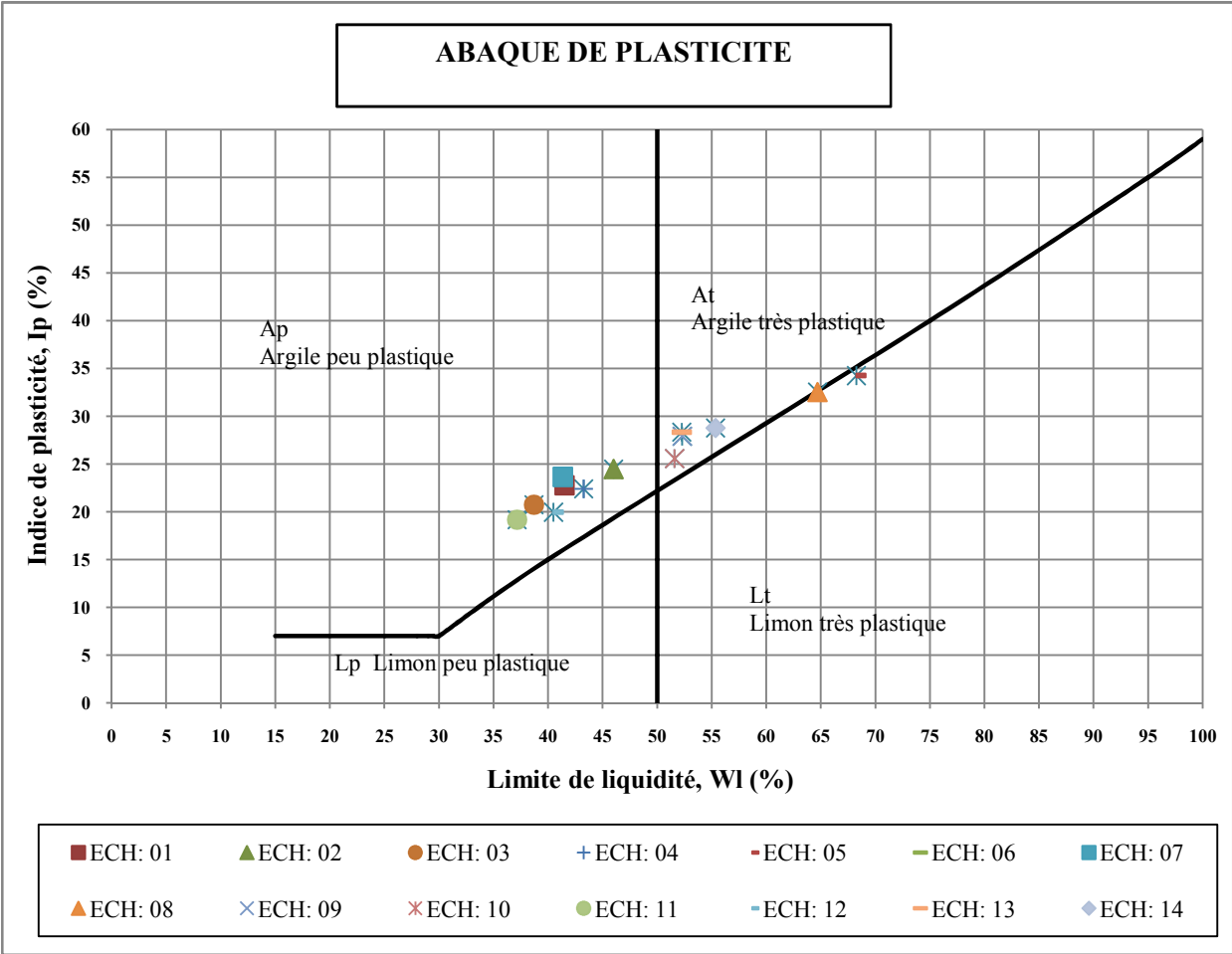


Figure III.14 : Projection des mesures de (Wl et Ip) des sols étudiés sur l’abaque de Casagrande (classification LPC des sols fins).

L’exploitation de ces résultats donne, suivant l’abaque de Casagrande, un nuage de points (Fig. III.14) correspondant aux valeurs de limite de liquidité Wl et l’indice de plasticité Ip, issues de la moyenne des valeurs du tableau N° III.9.

Les résultats des limites d’Atterberg montrent que les limites de liquidité obtenues sont comprises entre 37,15 % à 68,25 % et les limites de plasticité varient entre 17,69 % et 33,99 % alors que les indices de plasticité sont compris entre 19,17 % et 34,25%, dénotant une fraction fine argileuse moyennement plastique à plastique.

Atterberg, 1911, 1912, dans son enquête initiale sur la plasticité, a montré que seuls les minéraux ayant une structure lamellaire ou stratifiée présentent une plasticité. Le quartz et le feldspath, dont les cristaux sont constitués de tétraèdres liés, ne sont pas plastiques. En

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

revanche, la kaolinite, le talc, la montmorillonite, la biotite et d'autres dont les réseaux cristallins sont constitués de feuilles sont plastiques. En outre, le type de minéral argileux a une influence considérable sur l'adsorption de l'eau du sol.

Les formations argilo-gypso-gréseuses du trias possèdent les terrains les plus plastiques de la région de Souk Ahras, suivies par les marnes argileuses du crétacé supérieur, les argiles grises du Numidien et les alluvions des terres submersibles, des basses terrasses à galets, graviers, sables, limons sableux et limons.

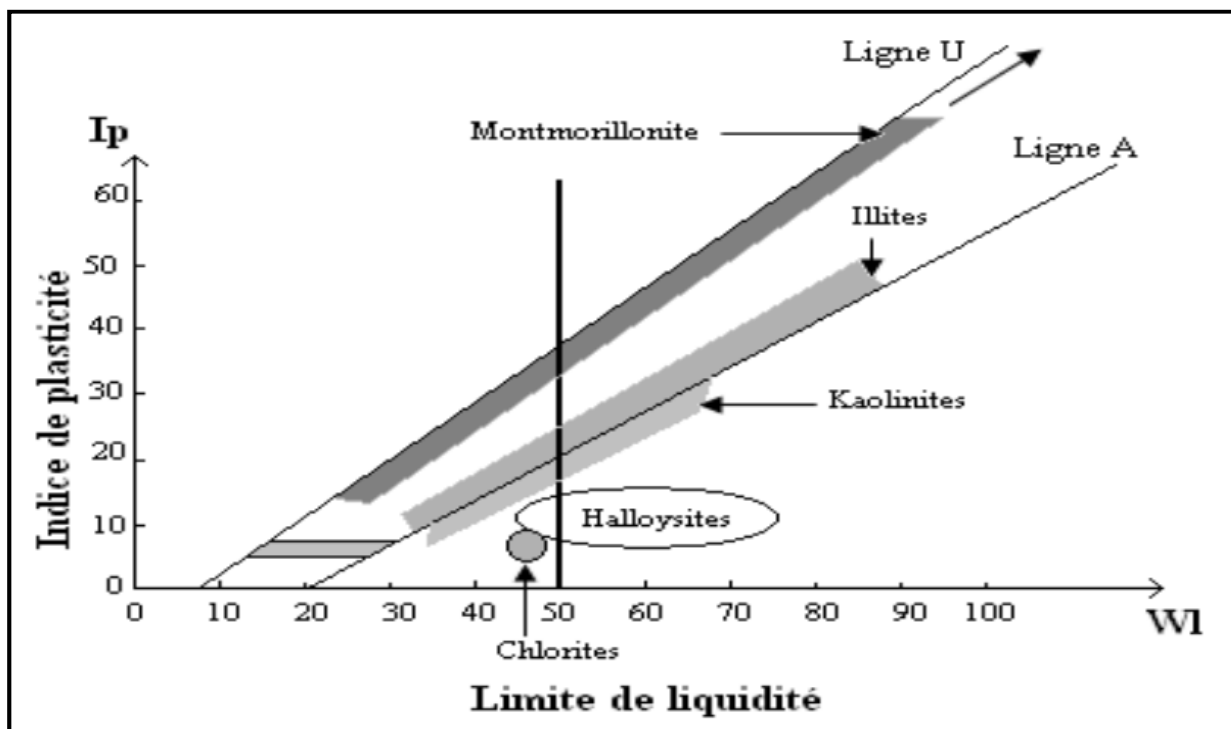


Figure III.15 : Position des minéraux argileux les plus communs sur l'abaque de plasticité de Casagrande (inspiré de [Casagrande, 1948](#), et de [Mitchell, 1976](#)).

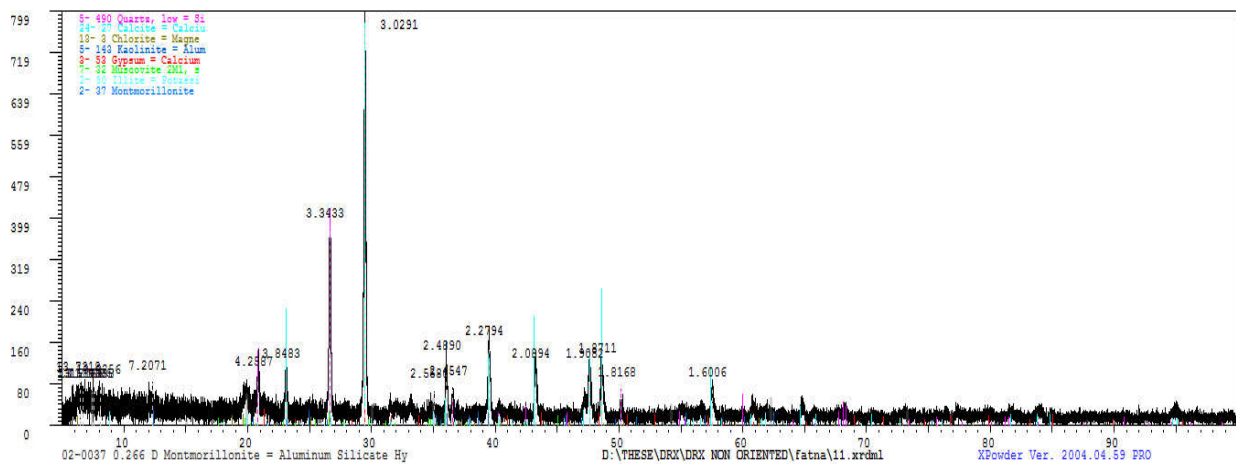
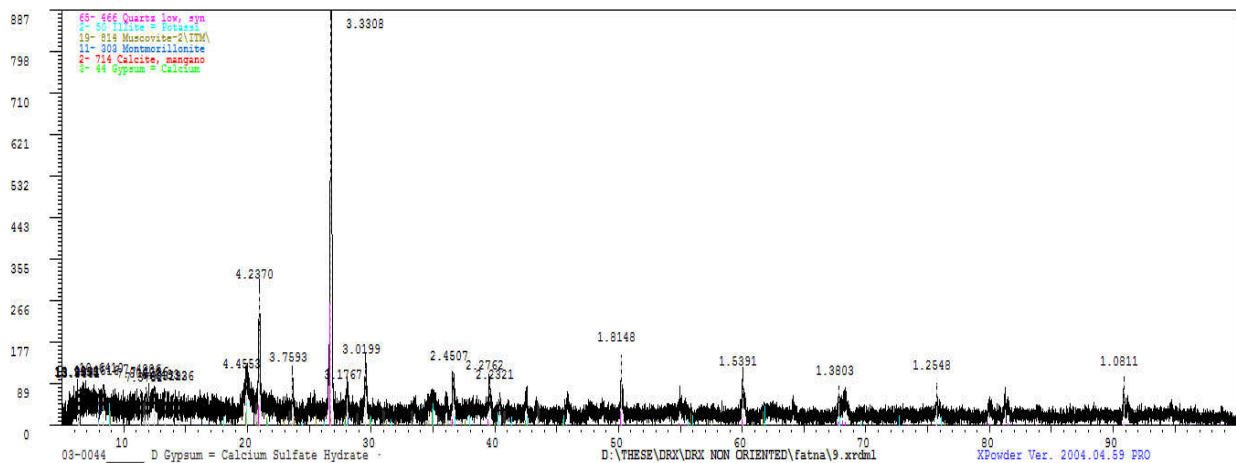
La projection sur le graphique de la figure III.15, les points correspondant aux 14 échantillons étudiés et de comparer sa position avec celles des minéraux connus confirmeront les interprétations citées ci-dessus. Elle montre que les points des échantillons sont situés bien au-dessus de la ligne A et près de la ligne U, il est très probable que ces échantillons contiennent une grande quantité de minéraux argileux actifs, comme la montmorillonite et l'illite.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

IV.3.5 Analyse et commentaire des résultats minéralogiques par DRX

La diffractométrie des rayons X a été utilisée pour déterminer les différentes proportions des différentes phases minérales constituant les quatorze (14) échantillons prélevés.

Les diffractogrammes des échantillons non orientés (roche totale), représentent les pics de diffraction des phases minérales selon l'angle et l'intensité (Fig. III.16). Ces résultats montrent que les matériaux analysés des différents sites instables, ont des caractéristiques minéralogiques plus ou moins semblables, à des proportions légèrement variables d'un échantillon à un autre, avec la dominance des minéraux argileux, notamment l'illite, la kaolinite et la montmorillonite, associés à du quartz, de gypse, de calcite, de dolomite, de muscovite et d'anhydrite.



CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

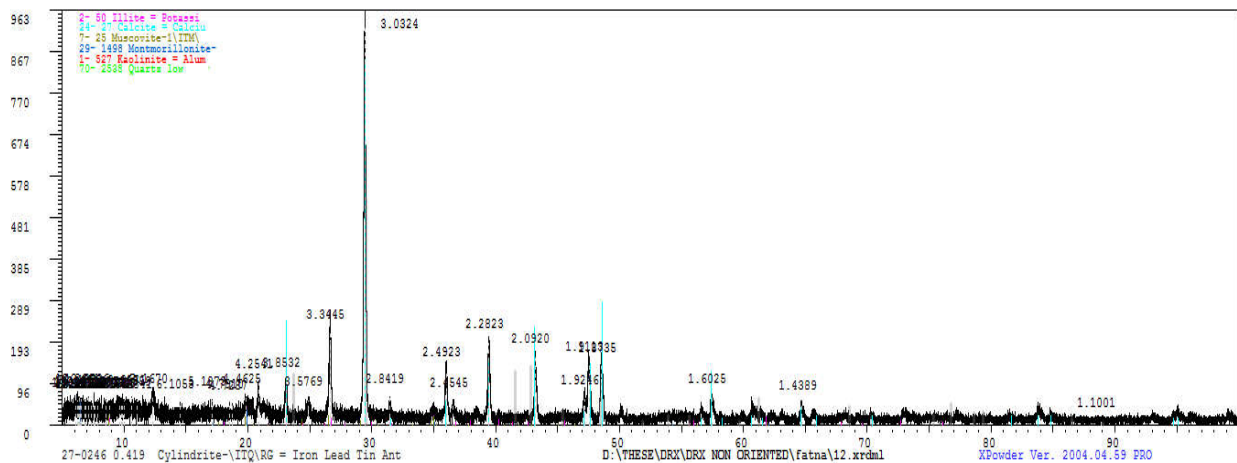


Figure III.16 : Diagrammes de diffraction des rayons X des échantillons non orienté (échantillon 09, 11 et 12 respectivement).

Les argiles sont, dans ce cas, l'un des paramètres les plus importants qui contrôlent les propriétés mécaniques des matériaux étudiés, particulièrement la montmorillonite et les illites. Les argiles sont connues par leurs caractéristiques mécaniques et notamment le retrait gonflement. Ce dernier quand il est fort, il favorise les instabilités des versants.

De nombreuses méthodes empiriques (Voir l'annexe III) ont été proposées dans la littérature pour évaluer le potentiel de retrait gonflement des matériaux argileux, basant sur les résultats des essais d'identification géotechnique. Nous avons reporté les résultats expérimentaux de V_{BS} et des limites d'Atterberg obtenus sur les matériaux des 14 formations étudiées en les comparant à ces quelques classifications.

Selon ces méthodes empiriques, on constate que le potentiel de gonflement des sols analysés varie de l'intensité moyenne, élevée à très élevée. Ce qui signale le rôle qui peut induire ce dernier sur l'instabilité des versants de la zone d'étude.

Une étude détaillée de la susceptibilité au phénomène de retrait gonflement dans la région de Souk Ahras a été réalisée par [Hadji, et al., 2013](#), basant sur des analyses chimiques et les résultats des limites d'Atterberg et des rayons X permettent de désigner ces sols fins tels, les argiles plastiques inorganiques, composées principalement de smectite, kaolinite, illite et de minéraux interstratifiés.

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

V. CONCLUSION

L'étude des caractéristiques physiques, chimiques et minéralogique des échantillons de sols prélevés des versants instables de la région de Souk Ahras, a montré sa grande utilité pour l'interprétation de leur comportement mécanique.

Les résultats de la teneur en carbonate de calcium des sols, du crétacé supérieur, ainsi qu'au complexe Triasique, ont montré qu'il s'agit de marnes et des marnes argileuses.

Du point de vue activité des argiles selon les valeurs du V_{BS} , les échantillons testés contiennent des argiles actives à peu actives avec des proportions légèrement différentes, ce qui traduit la dominance de l'illite, l'illite-smectite et parfois la présence de la kaolinite.

En ce qui concerne la plasticité, les résultats des limites d'Atterberg montrent que les indices de plasticité sont compris entre 19,17 % et 34,25%, dénotant une fraction fine argileuse moyennement plastique à plastique.

La diffractométrie aux rayons X précise, la nature des minéraux argileux. Ces dernières sont des silicates d'alumine hydratés (kaolinite, illite et montmorillonite) avec la présence de quartz, de gypse, de calcite, de dolomite et de l'anhydrite.

Ces résultats, mettent l'accent sur l'importance de la fraction argileuse dans tous les sols étudiés. Il s'agit des argiles et des argiles limoneuses, peu plastiques à très plastiques avec un potentiel de gonflement élevé à très élevé. Le danger que peuvent présenter des formations argileuses de telle composition ne réside pas seulement dans la composition minéralogique en elle-même mais dans l'abondance en quantité de ces minéraux qui, ajoutés à l'eau, auront une influence très néfaste sur le comportement des terrains (Maquaire, 2006). Les lits altérés sont souvent dissociés en petits blocs séparés par de profondes fissures de dessiccation formées par le rétrécissement de l'argile pendant les périodes sèches. En raison du séchage et du gonflement alterné, les blocs sont séparés du substrat. L'eau de pluie remplit les fissures et exerce des forces horizontales considérables qui entraînent dans un premier temps une ondulation caractéristique de la surface de la pente et finalement des mouvements de glissement de terrain (ZARUBA, 1982).

Pour les formations marneuses, la stabilité aux glissements de terrain est liée à la nature géologique de ces terrains. Ils sont généralement disposés en minces couches et recoupés par une fracturation intense, l'insertion de l'eau à travers les fissures et les interlits et

CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MINERALOGIQUE DES MATERIAUX IMPLIQUES DANS LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS

provoque une altération et une diminution des forces de cohésion. Ce déséquilibre des forces en faveur de la gravité entraîne le glissement.

À la fin de ce chapitre, il faut noter que ces résultats doivent être complétés par des essais de caractérisation approfondie des sols argileux ; avec des méthodes appropriées et à différentes échelles, pour bien comprendre leur comportement mécanique à l'échelle macroscopique; notamment le MEB : la structure des particules argileuses ; MET : la morphologie des particules ; ATD et ATG : le degré d'hydratation des assemblages argileux et la composition minéralogique des assemblages argileux par la diffraction des rayons X (DRX) des lames orientées.

CHAPITRE IV

**APPROCHE PAR LES METHODES
STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA
DISTRIBUTION SPATIALE DE LA
SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS
DE TERRAIN DANS LA REGION DE
SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE.**

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE.

I. INTRODUCTION

Les glissements de terrain sont des manifestations du déplacement gravitaire des masses de sols déstabilisé sous l'effet des sollicitations naturelles ou anthropiques. Ces mouvements peuvent causer un dommage important aux infrastructures et constructions chaque année avec un impact économique significatif, et parfois causer des victimes. Ils méritent un suivi et une surveillance afin de sécuriser les populations et les infrastructures socio-économiques de la région. Physiquement, la rupture se produit lorsque la somme des contraintes gravitaires s'exerçant sur un plan constitutif de la pente dépasse celle des contraintes résistantes.

Dans ce chapitre, nous avons étudié la susceptibilité aux glissements de terrain dans la région de Souk-Ahras. Elle est située dans une zone montagneuse au NE de l'Algérie, sa morphologie la rend exposée à un fort aléa de glissements de terrain, contrôlé par l'action combinée des divers facteurs qui engendrent une réduction de la résistance et/ou une augmentation des contraintes dans le sol.

Ces dernières années, nous avons remarqué beaucoup de développement dans le domaine de la cartographie et l'évaluation des risques. Différentes approches de modélisation ont été inventées pour l'étude et la prévision des glissements de terrain. L'analyse spatiale à l'aide des systèmes d'informations géographiques (SIG), est la technologie le plus en plus utilisée pour évaluer la susceptibilité aux glissements de terrain, par l'étude de leur distribution spatiale et la

cartographie de tous les facteurs liés à ces instabilités, afin de distinguer les zones sujettes aux glissements de terrain de celles qui ne sont pas sujettes à ce phénomène.

Au terme de ce travail, nous avons utilisé trois approches statistiques pour calculer les valeurs de pondération basant sur la relation des facteurs causatives et la distribution des glissements de terrain : la théorie de l'évidence « WoE » (Bonham-Carter, 1994), le rapport de fréquence « Fr » (Lee et Min 2001) et la régression logistique « RL » (Atkinson et Massari 1998). Ces méthodes ont été déjà appliquées dans l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain « landslide susceptibility assessment (LSA) », par plusieurs chercheurs tels que : Lee et Sambath 2006, Pradhan et Lee 2010, Pradhan et al., 2010, Wang et al. (2016), Aditian et al. (2018), and Jacobs et al. (2018), à l'aide des technologies spatial de SIG.

Le territoire concerné par l'étude de la susceptibilité aux glissements de terrain se trouve au N de la wilaya de Souk Ahras ; représenté par les communes de Hanancha et Tiffech, d'une superficie de 344,78 km² (Fig. IV.1), délimité par les coordonnées 36°17'59,75" à 36°7'12,53"N, et 7°57'6,31" à 7°37'22,67"E. Géologiquement la zone appartient aux monts de la Medjerda, qui fait l'objet des travaux antérieurs depuis l'année 1890, dont les plus importants sont : le travail du (David 1956) sur l'étude géologique de la Medjerda supérieur, le travail de l'équipe de Rudis 1975-1976, qui a abouti à la publication de la carte géologique de la région de Souk Ahras à échelle de 1 : 200 000, en 1985 et le travail de Kriviakine et al., en 1985-1986 qui a abouti à la publication des cartes géologiques de Souk Ahras et d'Oued Mougras au 1 : 50 000, en 1989.

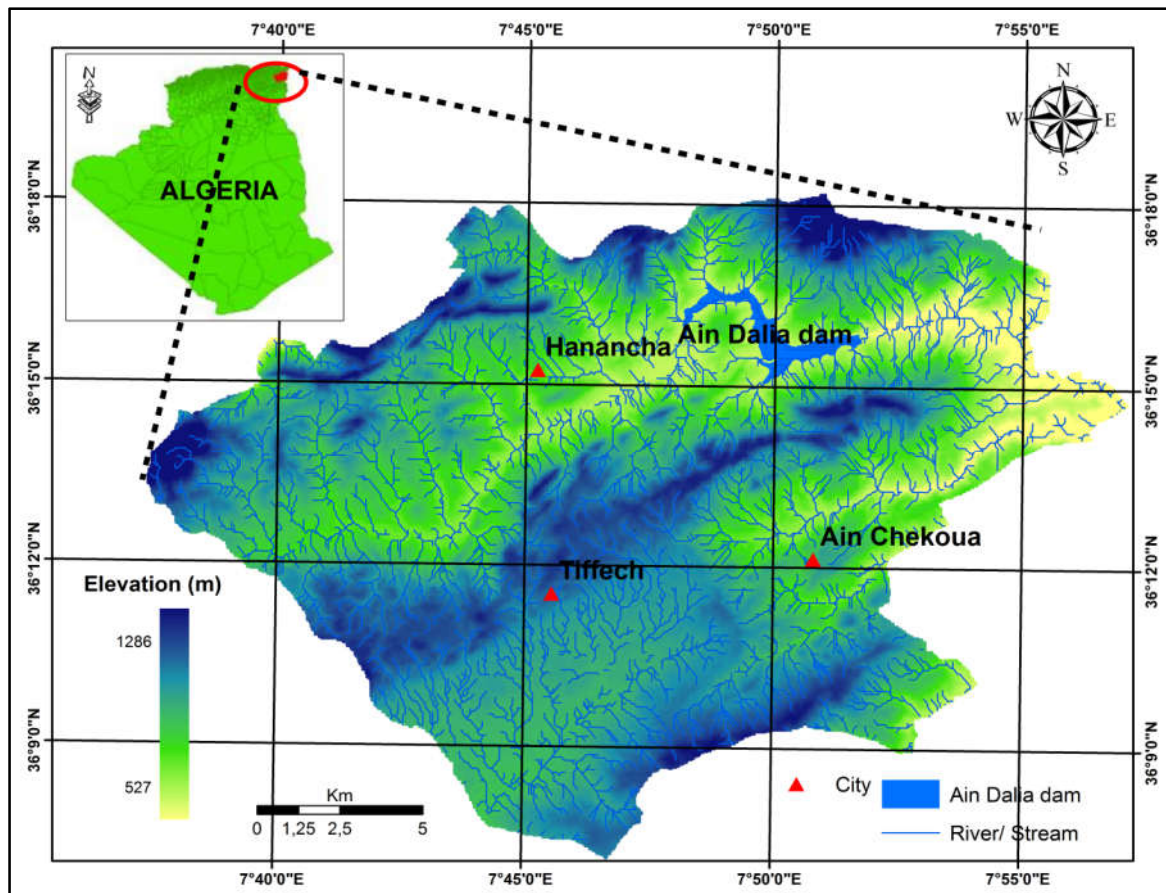


Figure IV.1 : Situation géographique de la zone d'étude, présentée sur le modèle numérique de terrain.

II. La méthodologie de l'étude

Le phénomène de l'instabilité des pentes est associé à une grande variété de facteurs géologiques, géomorphologiques, hydroclimatiques et/ou anthropiques. Par conséquent, une grande quantité de données spatiales doivent être analysées afin de prévoir leur stabilité. Les systèmes d'information géographique (SIG) ont un avantage distinct dans l'analyse de données spatiales. Ils offrent des bons outils pour la prédiction des glissements de terrain. Le concept de base de la susceptibilité aux glissements de terrain inclut la distribution spatiale de facteurs liés aux processus d'instabilité afin de déterminer les zones sujettes aux glissements de terrain sans aucune implication temporelle.

Cette approche est utile dans les zones où il est difficile d'obtenir suffisamment d'informations concernant l'historique des glissements de terrain, les enregistrements météorologiques de précipitations ne sont pas ou très rares et l'ampleur des tremblements de terre qui ont provoqué des glissements de terrain est inconnue. Une carte de sensibilité aux

glissements de terrain classe la stabilité des pentes d'une zone dans des catégories allant de stable à instable. Les cartes de susceptibilité prédire où les futurs glissements de terrain peuvent se produire. De nombreuses cartes de susceptibilité utilisent une palette de couleurs associant des couleurs plus vives (rouge, orange et jaune) à des zones instables et légèrement instables et des couleurs froides (bleu et vert) à des zones plus stables.

Dans cette étude, nous avons utilisés des méthodes statistiques reposent sur la relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et les données environnementales, afin d'identifier les zones susceptibles de subir des futurs glissements de terrain.

Dans l'approche SIG basée sur le pixel « Gis-based pixel method » pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain, la zone d'étude est divisée en grilles régulières de taille prédéfinie en fonction de la disponibilité des données. Ces cellules de grille ou pixels servent d'unités de référence cartographiques. Dans cette approche, chaque pixel de la zone d'étude se voit attribuer une valeur d'importance ou de poids correspondant à chaque facteur causatif et les poids sont intégrés dans l'environnement SIG pour générer la carte de la susceptibilité aux glissements de terrain.

II.1 Hypothèses de base pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain

Toutes les approches disponibles pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain, sont basées sur des hypothèses largement acceptées proposés par [Varnes \(1984\)](#), qui peuvent être énoncées comme suit:

- i)** Le passé et le présent sont des clés de compréhension et d'anticipation du futur. Cela implique que les glissements de terrain à l'avenir sont plus susceptibles de se produire dans des conditions géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques et climatiques similaires, qui ont été et sont responsables de la survenue de glissements de terrain passés et présents ;
- ii)** Les conditions principales qui sont à l'origine des mouvements de terrain peuvent être identifiées et sont reproductibles ;
- iii)** Le degré d'aléa peut être estimé ;
- iv)** Aujourd'hui, une quatrième déclaration peut être ajoutée: le risque lié aux glissements de terrain peut également être évalué et quantifié.

Néanmoins, un certain nombre d'obstacles peuvent être rencontrés lors de la production des cartes de la susceptibilité aux glissements de terrain, ([Aleotti et Chowdhury, 1999](#)) : (i) La

nature discontinue des glissements de terrain dans l'espace ; (ii) La difficulté d'identifier les facteurs causatifs, qui sont souvent subjectifs ; (iii) Manque de données historiques complètes sur les occurrences de glissements de terrain.

II.2 Les étapes de la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain

La cartographie de la susceptibilité ou de la probabilité spatiale est estimée à l'aide d'une analyse de corrélation à deux variables : entre un inventaire de glissements de terrain cartographié dans une zone donnée « paramètre dépendant », et une sélection de facteurs déterminant l'instabilité « paramètres indépendants ». Ainsi, la méthodologie de préparation des cartes de la susceptibilité aux glissements de terrain, comprend les opérations suivantes:

- i) La réalisation d'une carte d'inventaire des glissements de terrain dans la zone d'étude, générée par une interprétation visuelle des images satellitaires, l'étude bibliographiques des rapports et des recherches antérieures concernant les glissements de terrain dans la zone d'étude ;
- ii) La cartographie thématique des dix facteurs contribuant directement ou indirectement, à l'occurrence des glissements de terrain, en utilisant une corrélation croisée entre les mouvements de pente, les facteurs dérivés du MNT (altitude, pente, aspect, courbure, etc.) et d'autres couches thématiques (la lithologie, les discontinuités tectoniques, le réseau hydrographique, etc.). La sélection de ces facteurs a été faite en fonction de travaux antérieurs dans la région et son environnement.
- iii) L'estimation de la susceptibilité aux glissements de terrain dans le périmètre de la région étudiée, par l'application de trois modèles statistiques : le Fr, WoE et RL, afin de calculer la contribution de chaque facteur dans le déclenchement de ce phénomène. L'analyse factorielle a été réalisée par corrélation croisée entre les facteurs et l'inventaire des glissements de terrain via le SIG, dans lequel les coefficients de corrélation ont été calculés.
- iv) Les cartes ont été classées en 5 niveaux de sensibilité: très faible, faible, modéré, élevé et très élevé. Une fois la carte de susceptibilité établie, il convient de procéder à une évaluation de validation qui offre plusieurs possibilités : une validation temporaire utilisant un inventaire des glissements de terrain, déclenchée après la préparation de la carte de susceptibilité, ou utiliser différents échantillons de l'inventaire des glissements de terrain pour établir à la fois le modèle et leur validation; qui a été la technique utilisée dans

ce travail. L'analyse est exécutée dans un environnement SIG dont la méthodologie a été entièrement développée et testée.

III. La base de données des glissements de terrain

Pour évaluer la susceptibilité aux glissements de terrain, nous devons d'abord analyser tous les facteurs causant ces mouvements dans notre zone d'étude. Différentes couches de données thématiques correspondant aux facteurs de causalité, à savoir la lithologie, la pente, l'aspect de la pente, la distance par rapport aux discontinuités tectoniques, la proximité aux drains du réseau hydrographique, la distance par rapport aux routes, l'élévation, la précipitation, la courbure planiforme et la courbure longitudinale ont été préparées. Les facteurs déclencheurs tels que les précipitations déclenchent le mouvement en déplaçant la pente d'un état marginalement stable à un état instable. Une couche thématique correspondant à la carte de répartition des glissements de terrain a également été préparée pour établir une corrélation spatiale entre les glissements de terrain existants et les facteurs de causalité, ce qui sera utile pour la préparation et l'évaluation des cartes de susceptibilité aux glissements de terrain dans la zone d'étude en utilisant différentes procédures de pondération.

III.1 Carte de l'inventaire des glissements de terrain

La cartographie des glissements de terrain existants est essentielle pour étudier la relation entre la distribution des glissements de terrain et les facteurs de causalité. La carte de l'inventaire des glissements de terrain fournit la distribution spatiale des instabilités existantes. Comme il n'est pas possible de cartographier chaque glissement de terrain au moyen d'enquêtes de terrain, une cartographie complète des glissements de terrain a été entreprise sur la base des données multi-sources : i) des images à haute résolution de Google-Earth-Pro qui ont été détectées dans la période de 2015 à 2017, en même temps avec une interprétation visuelle de l'image satellite LANDSAT8, qui est considérée par (Wen Chen et al., 2017), comme un outil rapide pour suivre les changements de l'utilisation des sols à grande échelle ; ii) l'utilisation des rapports et des articles antérieurs traitant le problème des glissements de terrain dans la région ; iii) des visites de terrain ont été recueillies entre 2015 et 2017 afin de prouvé les instabilités qui ont été détectées.

Un total de 301 glissements de terrain occupant une superficie de 13 451 pixels a été identifiée. Les glissements de terrain ainsi identifiés ont été numérisés sous forme de polygones

dans des couches vectorielles distinctes, qui sont ensuite fusionnées en une seule couche de glissements de terrain. Cette couche a été convertie en une carte de répartition des glissements de terrain rastérisée (Fig. IV.2), distribuée sur 13 451 pixels, dont la taille de chaque pixel est fixée de 30 x 30 m. La carte de l'inventaire des glissements de terrain a été aléatoirement divisée en deux ensembles de données : de 10760 pixels (80 %) pour la construction des modèles de glissements de terrain, et de 2 691 pixels (20 %) ont été utilisés pour la validation de ces modèles. La fig. IV.2 montre la répartition des emplacements des glissements de terrain dans la zone d'étude.

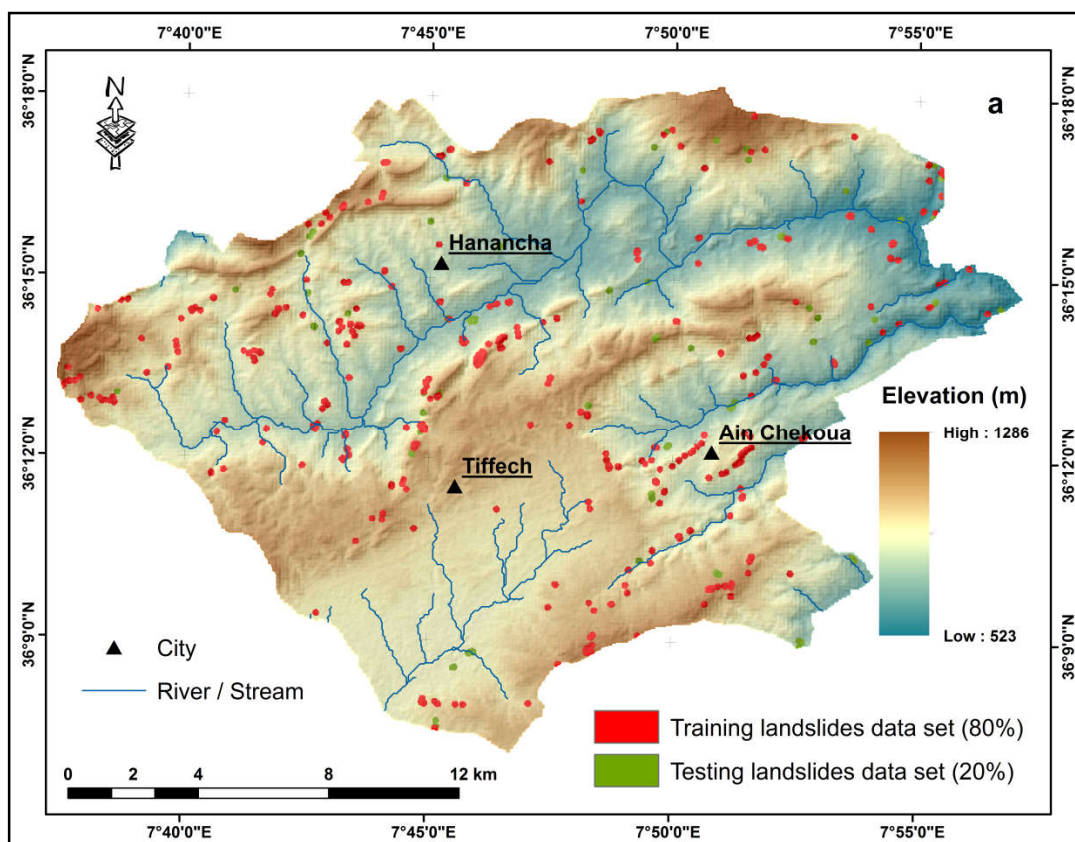


Figure IV.2 : Carte de l'inventaire des glissements de terrain dans la limite de la zone d'étude.

III.2 Lithologie

La géologie joue un rôle important dans le potentiel des glissements de terrain (Lee et Evangelista 2006). Les différentes unités géologiques ont différentes susceptibilités aux processus géomorphologiques actifs (Garcia Rodriguez et al. 2010). Elle implique essentiellement les comportements physico-chimiques et mécaniques tels que la perméabilité, la solubilité et la résistance au cisaillement. Ces caractéristiques affectent à leur tour la stabilité de

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

la pente. Les matériaux à grains fins, en particulier les argiles, présentent des caractéristiques physiques et mécaniques favorables au processus de glissement de terrain car ils sont peu résistants, compressibles et sensibles au gonflement. Il ressort clairement de ce qui précède que les sols à grains fins nécessitent une attention particulière en termes de stabilité des pentes (Hadji et al. 2014).

La carte thématique de la lithologie a été préparée dans une couche vectorielle, en numérisant les polygones à partir des cartes géologiques co-enregistrées couvrant la zone d'étude. Cette couche de données lithologiques est ensuite rasterisée à une résolution spatiale de 30 x 30 m. Huit classes lithologiques occupant la zone d'étude, ont été identifiées (Fig. IV.3), avec une distribution spatiale différente. Le graphique de la fig. IV.4 montre la distribution des glissements de terrain pour chaque classe lithologique.

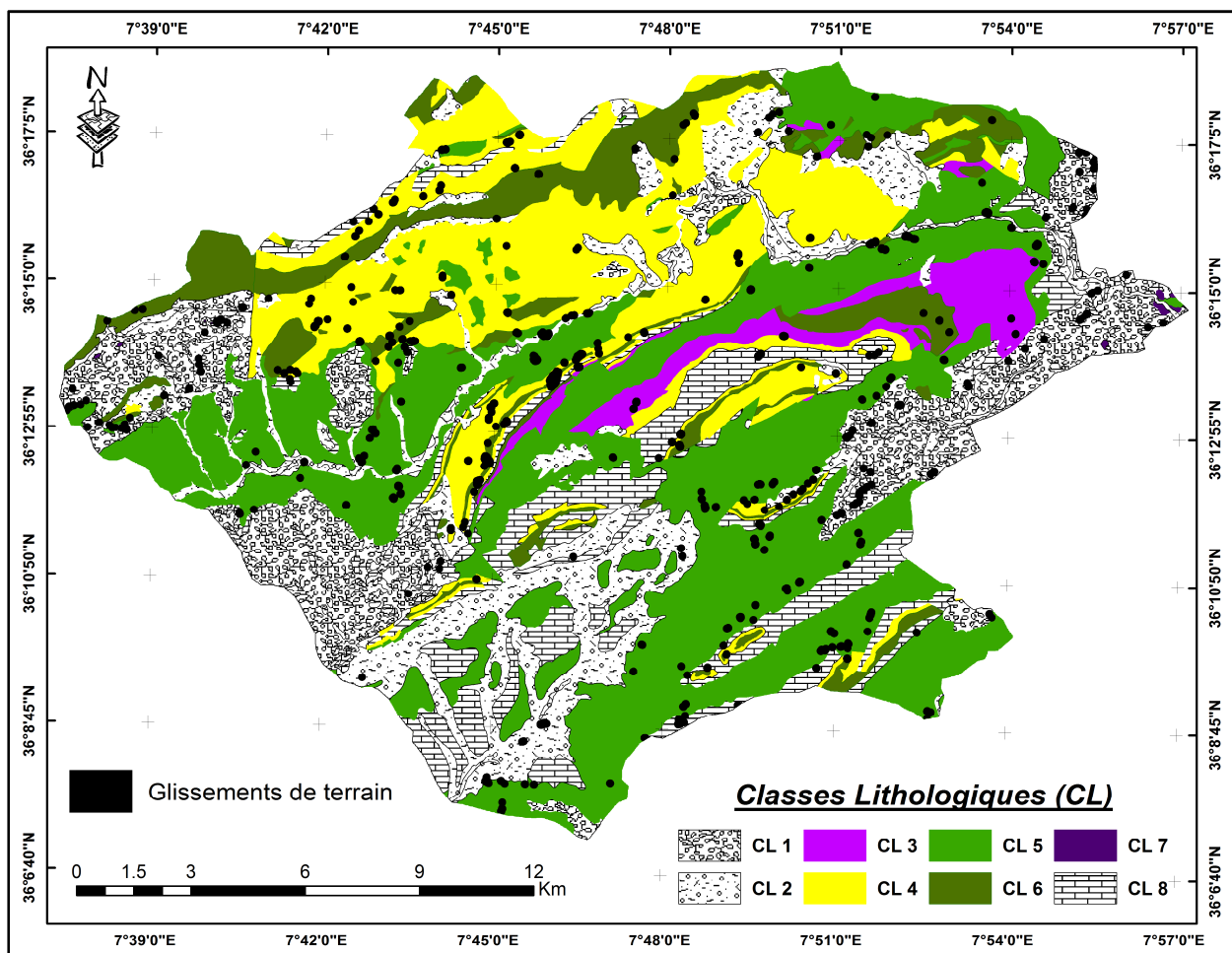


Figure IV.3 : Carte des faciès géologiques à comportement similaire.

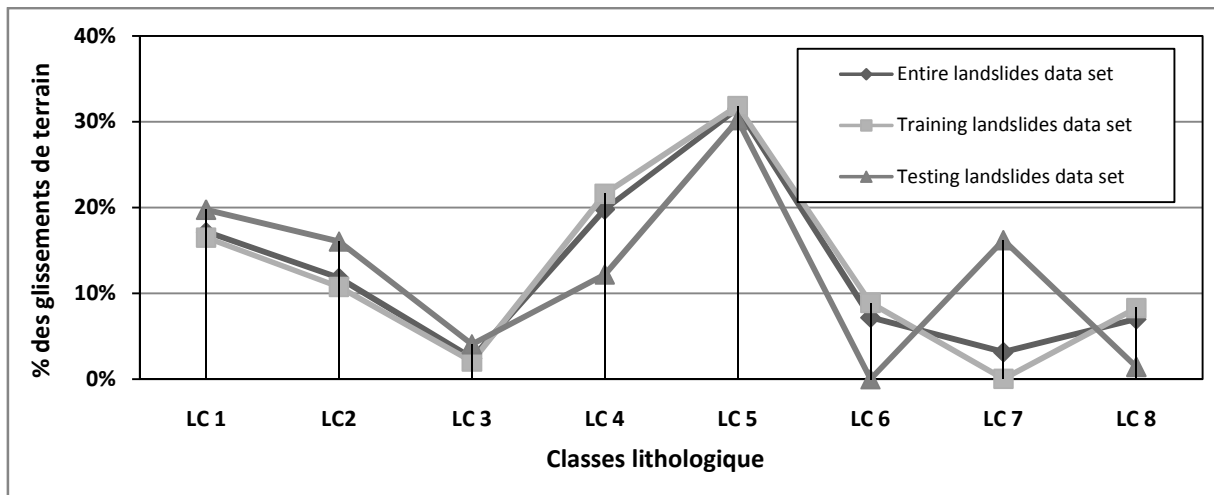


Figure IV.4 : La distribution des glissements de terrain pour chaque classe lithologique.

III.3 Distance par rapport aux discontinuités tectoniques

En ce qui concerne les glissements de terrain, les caractéristiques structurelles comprennent principalement les discontinuités géologiques telles que la stratification, les joints, les failles, les plis et les zones de cisaillement dans les pentes. En outre, la proximité d'une pente par rapport à une zone tectoniquement active, telle que des failles majeures, influence dans une large mesure l'activité d'un glissement de terrain. Les roches adjacentes aux zones de failles ont été fortement fracturées, ce qui produit des conditions géologiques favorables aux déclenchements des glissements de terrain. Ce dernier devient plus important lorsque la tectonique est combinée avec d'autres paramètres tels que l'eau ; en effet, l'eau s'infiltre à travers les différentes fissures provoquant l'augmentation de la pression interstitielle, ce qui réduit la résistance au cisaillement des sols. Une fois qu'il a atteint la saturation, le mouvement de masse est déclenché par la formation d'un plan de cisaillement profond.

Les 74,6 % de tous les événements de glissement de terrain dans la zone d'étude ont eu dans la distance de moins de 500 m de ces discontinuités, et pour cette raison, cinq zones tampon ont été créées (Fig. IV.5) : < 50 m, 50 - 200 m, 200 - 500 m, 500 - 1000 m, et > 1 000 m. Elles ont été générées sur les deux côtés des discontinuités tectoniques pour noter la présence des glissements de terrain aux proximités de celle-ci (Lee et Evangelista, 2006). Le graphique sur la figure IV.6 montre la distribution des glissements de terrain pour chaque intervalle de distance.

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

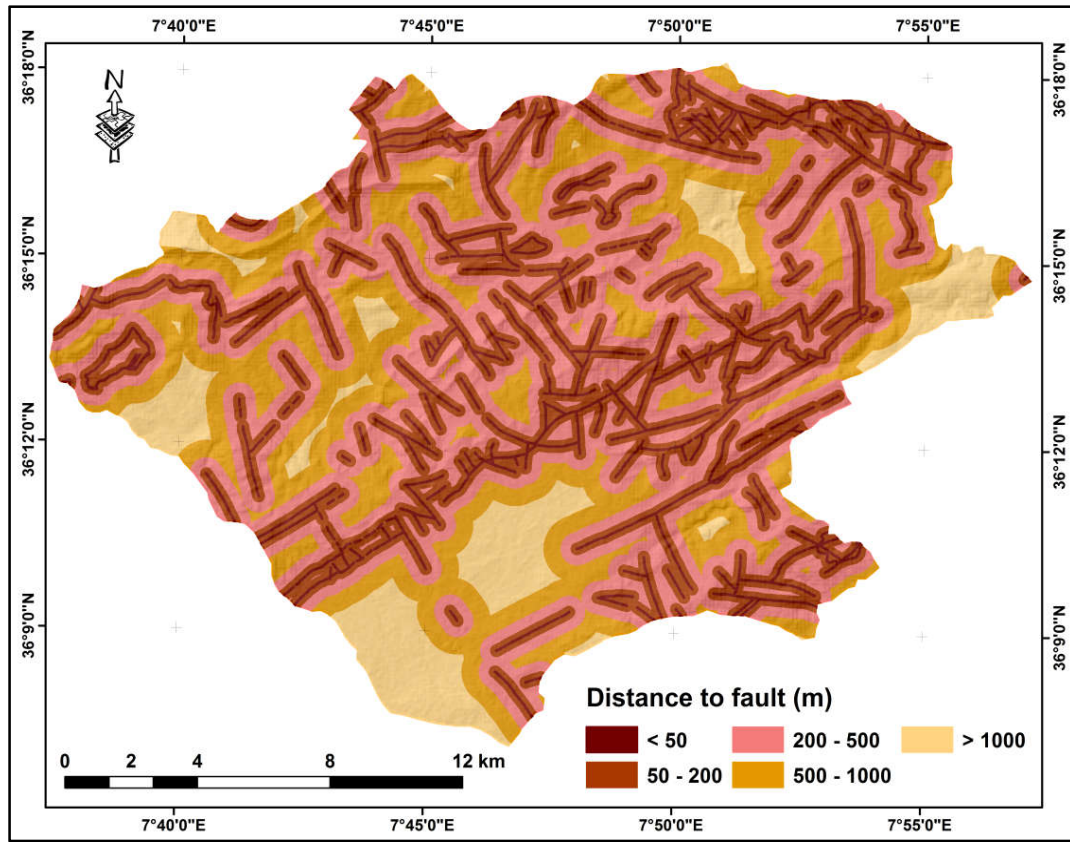


Figure IV.5 : La carte de la distance par rapport aux discontinuités tectoniques de la zone d'étude.

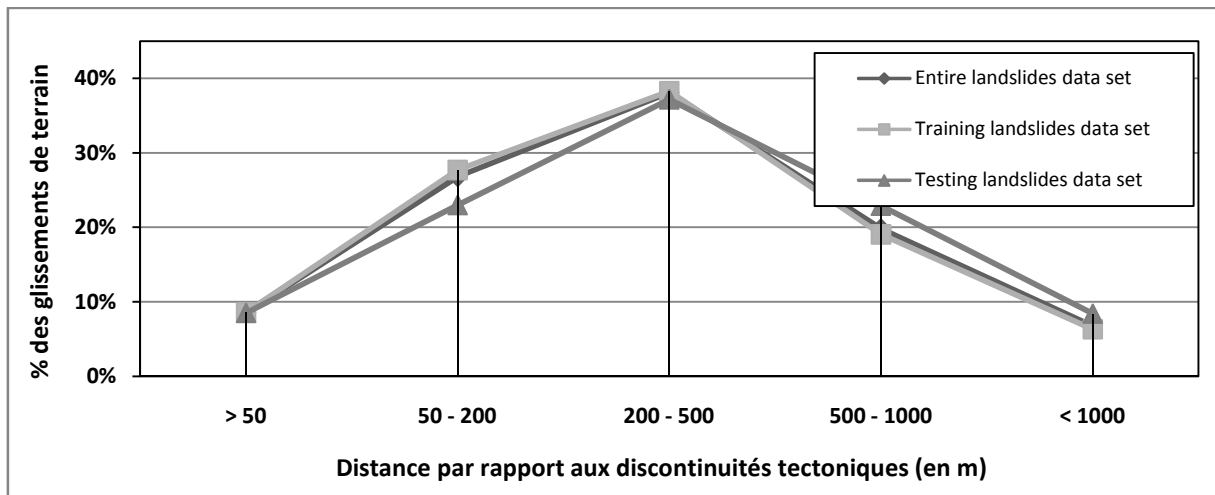


Figure IV.6 : La distribution des glissements de terrain pour chaque intervalle de distance par rapport aux discontinuités tectoniques.

III.4 Distance par rapport aux routes

La modification des pentes naturelles lors de la construction des routes est l'une des plus importantes raisons anthropiques de déclenchement des mouvements de terrain. Comme pour l'effet de la distance aux cours d'eau, des glissements de terrain peuvent se produire sur la route et du côté des pentes touchées (Ayalew et Yamagishi, 2005; Yalcin, 2007). Une route construite le long des pentes provoque une diminution de la charge sur la topographie et au pied de la pente. Modification de la hauteur de la pente à la suite d'érosion verticale ou de travaux d'excavation. L'approfondissement d'une vallée atténue les contraintes latérales, ce qui entraîne le relâchement des roches dans la pente et la formation de fissures parallèles à la surface de la pente. La pénétration de l'eau de pluie est ainsi facilitée (Zaruba, 1982). Cela produit une augmentation de la contrainte de cisaillement et une augmentation de la pression de l'eau interstitielle dans les sols argileux, ce qui entraîne une diminution de la résistance au cisaillement. Plus le chargement est rapide, plus il est dangereux (Zaruba, 1982). En fait, lors des travaux sur le terrain, certains glissements de terrain ont été enregistrés, dont l'origine peut être attribuée à la construction de routes. Pour cette raison, cinq zones tampon différentes sont créées sur les deux côtés de la route pour déterminer son effet sur la stabilité de la pente (Fig. IV.8) : < 50 m, 50 - 150 m, 150 - 250 m, 250 - 500 m, 500 - 1 000 m et > 1 000 m. La distribution des glissements de terrain pour chaque classe de distance a été montrée dans (Fig. IV.7).

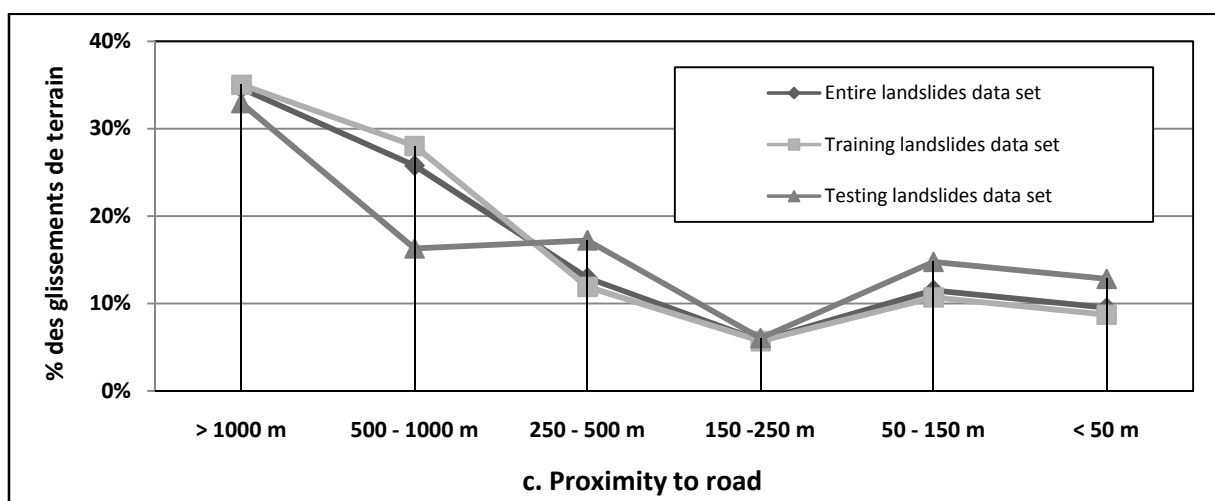


Figure IV.7 : La distribution des glissements de terrain pour chaque intervalle de distance par rapport aux routes.

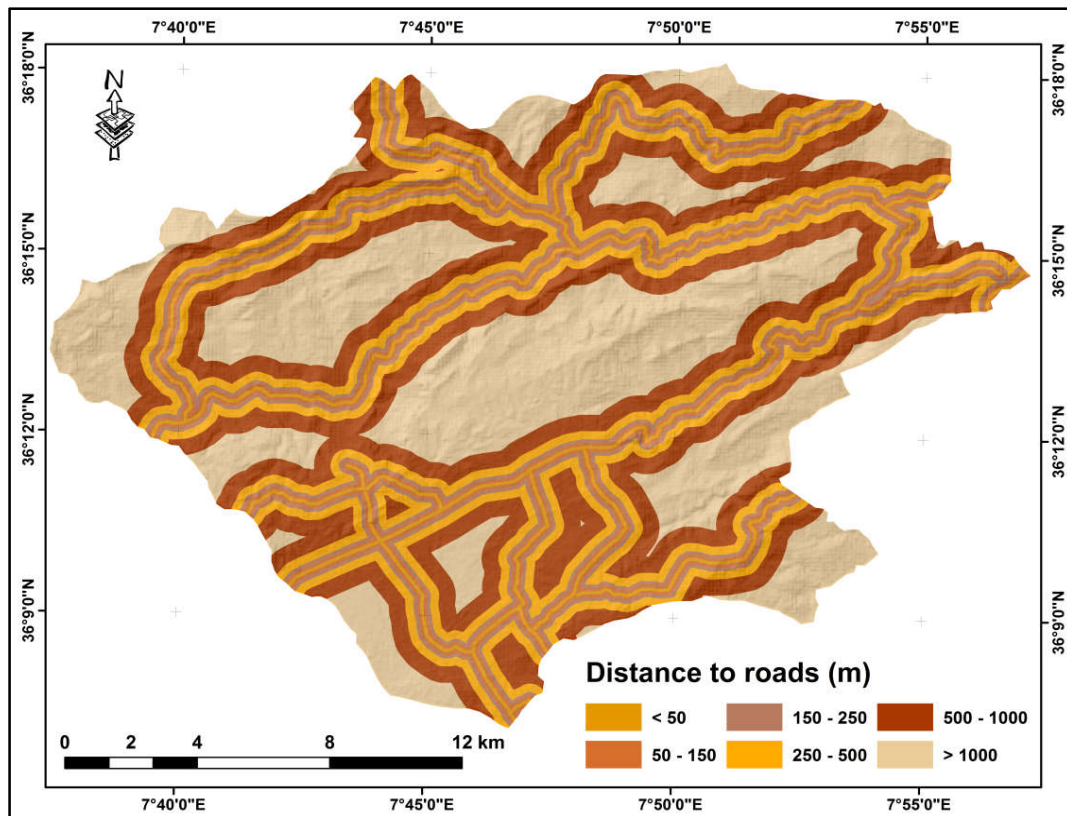


Figure IV.8 : La carte de la distance par rapport aux routes de la zone d'étude.

III.5 La pluviométrie

Les précipitations sont l'un des principaux facteurs déclenchant des glissements de terrain, en particulier, dans les zones montagneuses (Garcia - Rodriguez et Malpica 2010).

Les mesures des précipitations ont confirmé que des mouvements de pentes récurrentes se produisaient pendant les périodes de précipitations exceptionnellement fortes (Zaruba, 1982). Les intempéries, tant mécaniques que chimiques, perturbent progressivement la cohésion des roches. Lors de nombreux glissements de terrain, des altérations chimiques telles que l'hydratation et l'échange d'ions dans les argiles auraient contribué au déclenchement des glissements de terrain (Zaruba, 1982). En général, la présence d'eaux dans les pores et les fissures entraîne une augmentation des pressions hydrostatiques et, par conséquent, une réduction de la résistance au cisaillement. La stabilité des pentes peut alors être considérablement réduite par les effets de l'eau.

La distribution spatiale des précipitations dans la zone d'étude a été créée par l'interpolation des précipitations annuelles moyennes, d'une série de mesures de précipitations réparties sur 29 ans allant de 1986 - 2015. La corrélation des résultats est parfaitement similaire

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

à la carte numérisée et coupé de la carte de pluviométrie du Nord de l'Algérie, à l'échelle 1:500 000 ; ANRH, 1993 (Données moyennes de 60 ans, 1921 à 1960 et 1968 à 1989).

La carte produite d'isohyètes (Fig. IV.9) a été convertie en format raster avec une résolution de pixel de 30 m. Elle interprète les moyennes interannuelles et leur répartition géographique sur la zone d'étude.

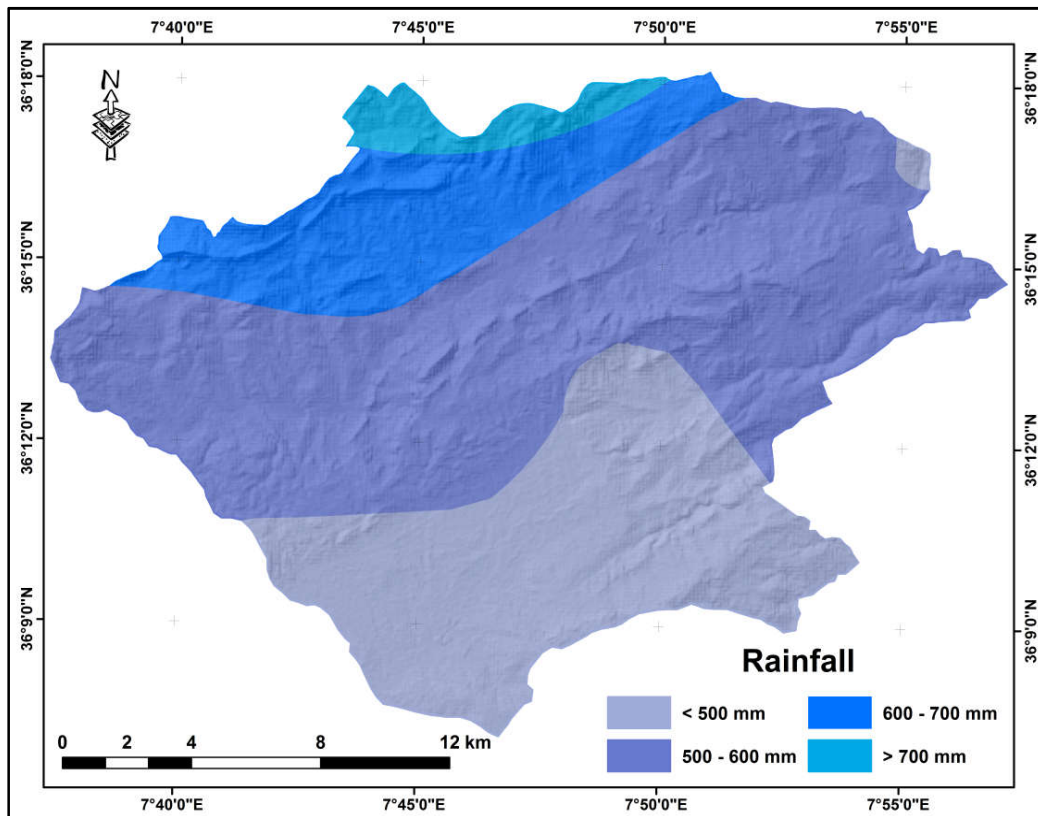


Figure IV.9 : Carte pluviométrique de la zone d'étude.

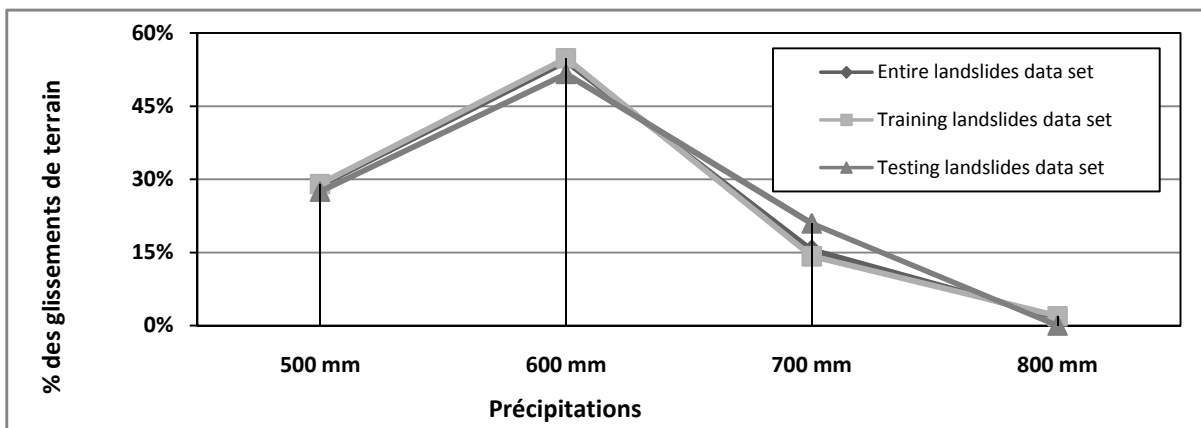


Figure IV.10 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et la précipitation.

III.6 La pente

La pente topographique est le principal facteur causatif de glissements de terrain qui a été fréquemment utilisé par nombreuses chercheurs dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain (Nourani et al. 2014). En tant que concept généralisé, avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison, les composantes de la force de déstabilisation de la masse de sol augmentent tandis que la composante normale se diminuait. En conséquence, la force de résistance diminue, ce qui entraîne directement une instabilité lorsque l'angle critique est atteint.

Le modèle numérique d'élévation (DEM) est une excellente source pour dériver les attributs topographiques responsables de l'activité des glissements de terrain dans une région. Par conséquent, un DEM à une résolution spatiale correspondant à une taille de pixel de 30 m, a été utilisé pour dériver la carte des pentes. Elle a été classée en six classes avec un intervalle de 5° comme suit (Fig. IV.11).

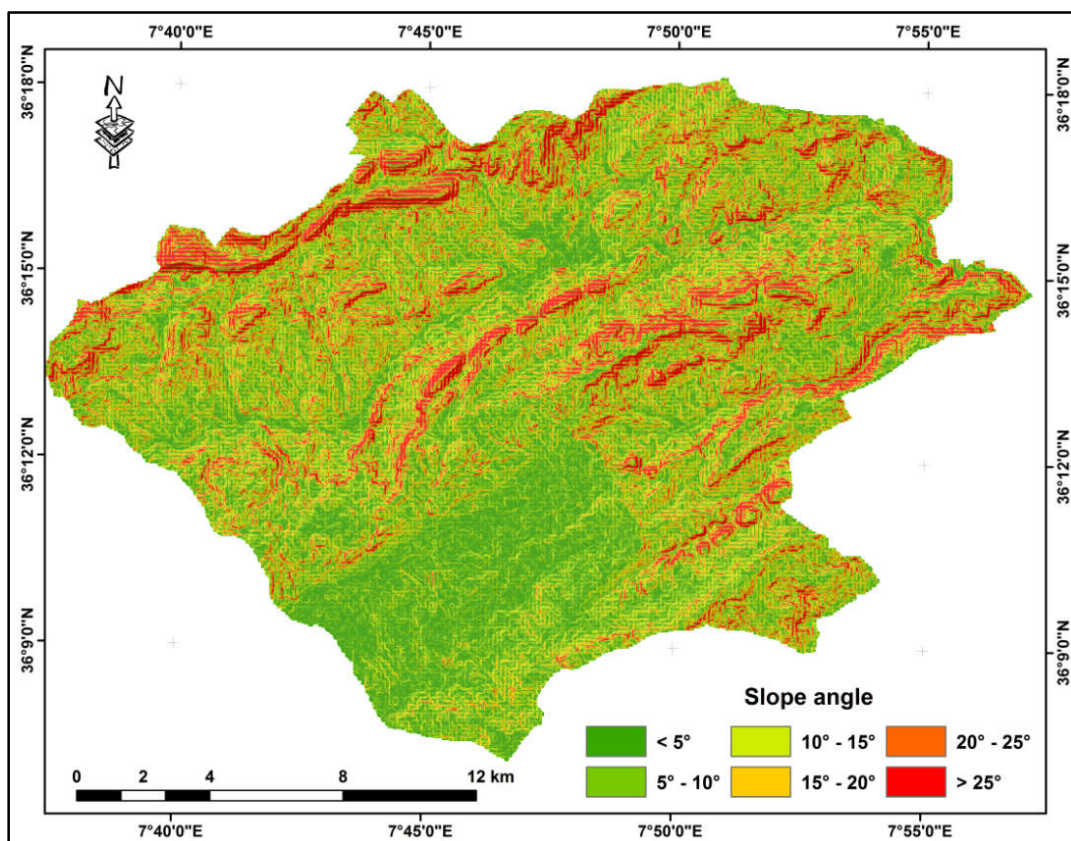


Figure IV.11 : Carte des pentes de la zone d'étude.

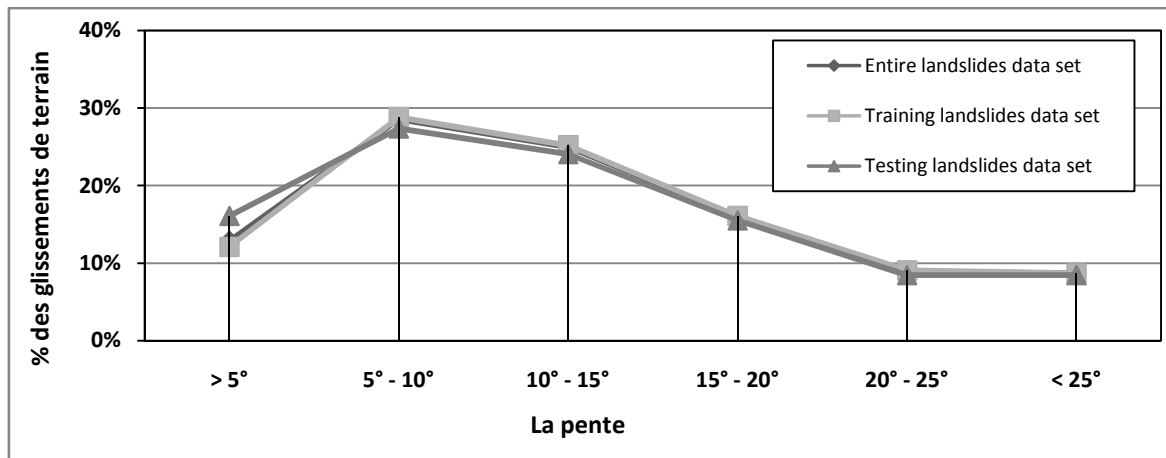


Figure IV.12 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et les classes des pentes.

III.7 L'élévation

L'élévation ou l'altitude est également un des facteurs qui influencent la stabilité. Nous estimons que la probabilité d'un glissement de terrain augmente avec l'élévation relative d'un lieu. La carte d'élévation a été dérivée d'un modèle numérique d'élévation de la zone d'étude avec une résolution de pixel de 30 m. Il varie de 512 m à 1 287 m, et il diminue du NE au SW. Les valeurs d'altitude ont été divisées en huit catégories (Fig. IV.14) : 521 - 600 m, 600 à 700 m, 700 - 800 m, 1 000 - 1 100 m, 1 100 - 1 200 m et 1 200 - 1 287 m.

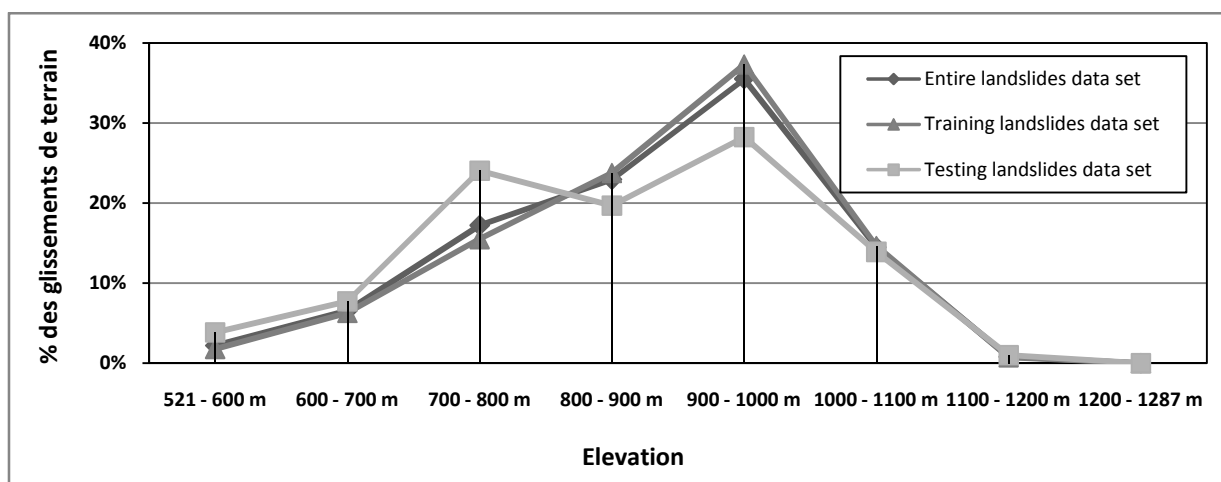


Figure IV.13 : La répartition spatiale des glissements de terrain dans chaque classe d'altitude.

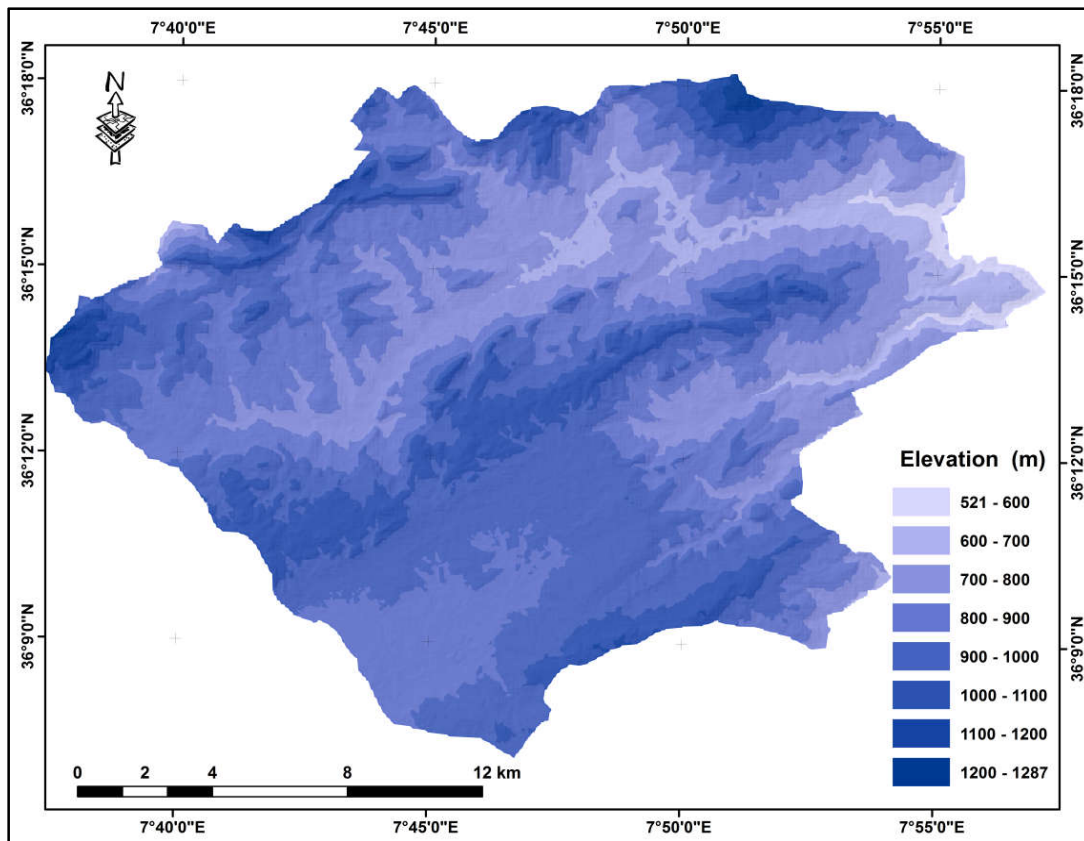


Figure IV.14 : Carte d'altitude de la zone d'étude.

III.8 Aspect de la pente

L'aspect est défini comme la direction de la pente maximale de la surface du terrain. L'aspect de la pente peut avoir un effet local sur la stabilité du versant. Il nous donne des informations sur l'exposition de la pente par rapport au Nord. Les pentes moins ensoleillées et donc moins exposées à l'évaporation et donc plus humide, ce qui contribue à réduire la résistance au cisaillement du sol. En conséquence, les matériaux de revêtement de la pente deviennent plus susceptibles de glisser vers le bas (Garcia Rodriguez et Malpica, 2010), d'une part. D'une autre part, les pentes faisant face au Sud ont une densité de végétation inférieure à celle des pentes faisant face au Nord et l'activité érosionnelle est donc relativement plus importante dans le premier cas.

La carte d'aspect provenait également de DEM avec une résolution de 30 m par pixel. Dans ce travail, nous avons divisé le plan de l'aspect en neuf classes (fig. IV.15) : plat, N, NE, E, SE, S, SW, W et le NW.

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

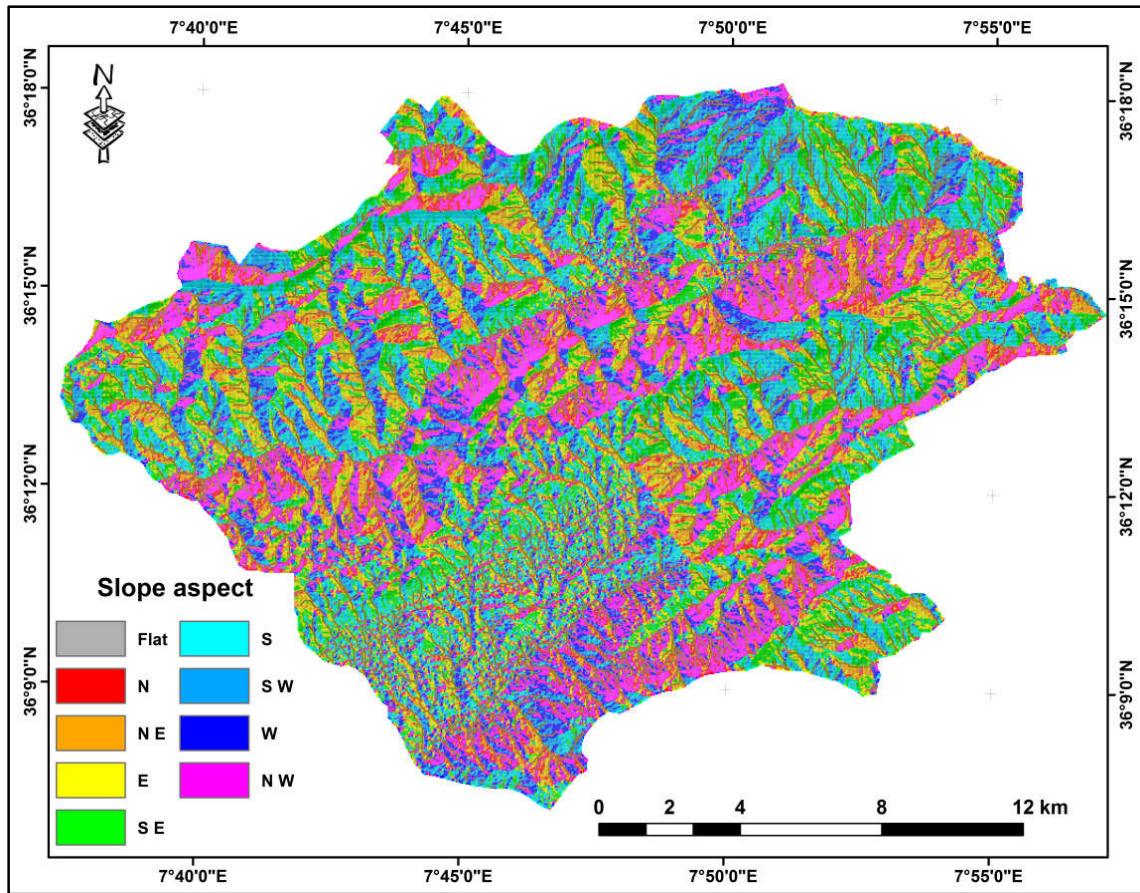


Figure IV.15 : Carte d'aspect de la pente de la zone d'étude.

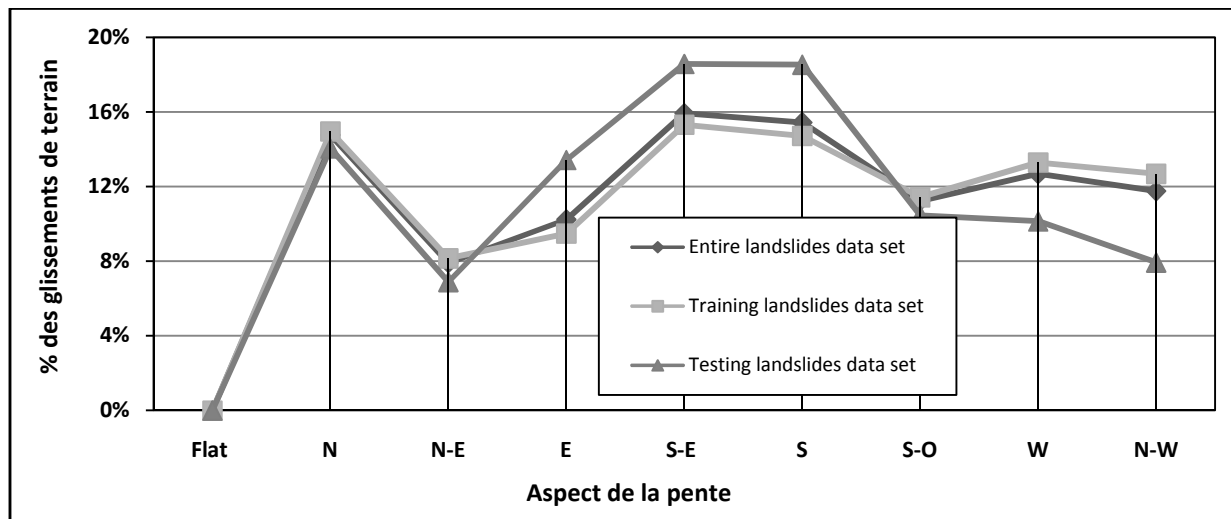


Figure IV.16 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et l'aspect de la pente.

III.9 La courbure

La courbure du terrain est généralement définie comme la courbure d'une ligne formée par l'intersection d'un plan aléatoire avec la surface de terrain (Tunusluoglu et al. 2007). La courbure positive indique que la surface est convexe vers le haut, et un négatif indique que la surface est concave vers le haut. Une valeur égale à zéro représente une surface plane (Lee et Evangelista, 2006). Ce facteur géomorphologique a été également dérivé de DEM de la zone d'étude avec une résolution de 30 x 30 m.

- La courbure planiforme est décrite comme la courbure d'une ligne de contour, formée par l'intersection d'un plan horizontal avec la surface (Wilson et Gallant, 2000), ainsi en est-il de la courbure de la surface perpendiculaire à la direction de la pente. L'influence de la courbure du plan sur les processus d'érosion de la pente est la convergence ou la divergence de l'eau lors d'un écoulement en descente. Pour cette raison, ce paramètre constitue l'un des facteurs de conditionnement contrôlant la survenue d'un glissement de terrain (Nefeslioglu et al. 2008). Dans cette étude, la courbure du plan a été divisée en trois classes, à savoir : le plat, la convergence et la divergence (Fig. IV.18) ;
- La courbure longitudinale est la courbure dans le plan vertical parallèle à la direction de la pente (Wilson et Gallant, 2000), donc c'est la courbure de la surface dans le sens de la pente. La courbure du profil ont été reclassés aussi en trois classes : concave (-), plat (0), convexe (+) (Fig. IV.20).

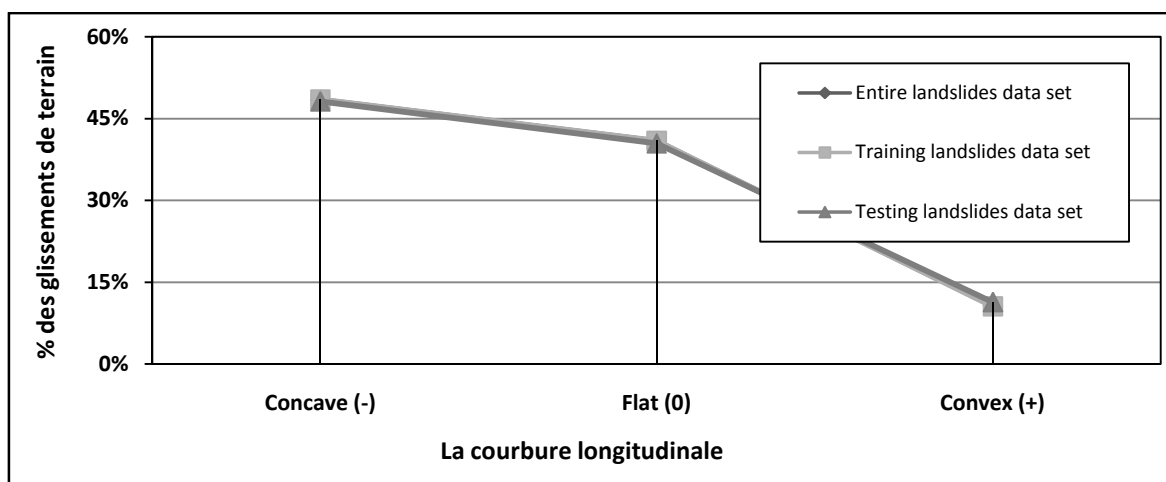


Figure IV.17 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et les classes de la courbure longitudinale.

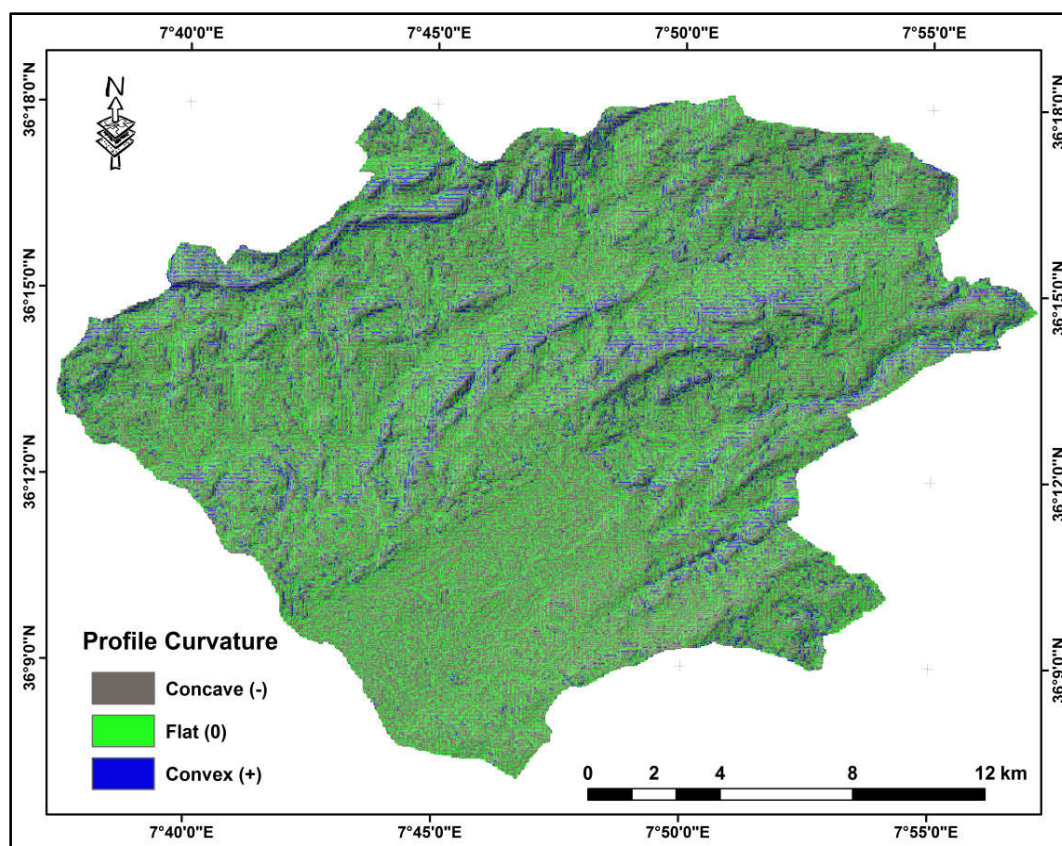


Figure IV.18 : La carte de la courbure longitudinale de la zone d'étude.

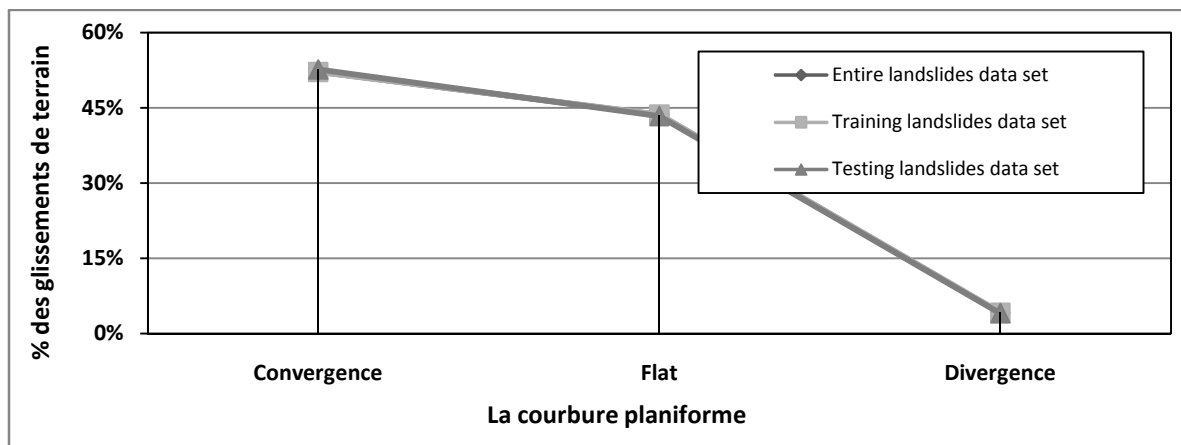


Figure IV.19 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et les classes de la courbure planiforme.

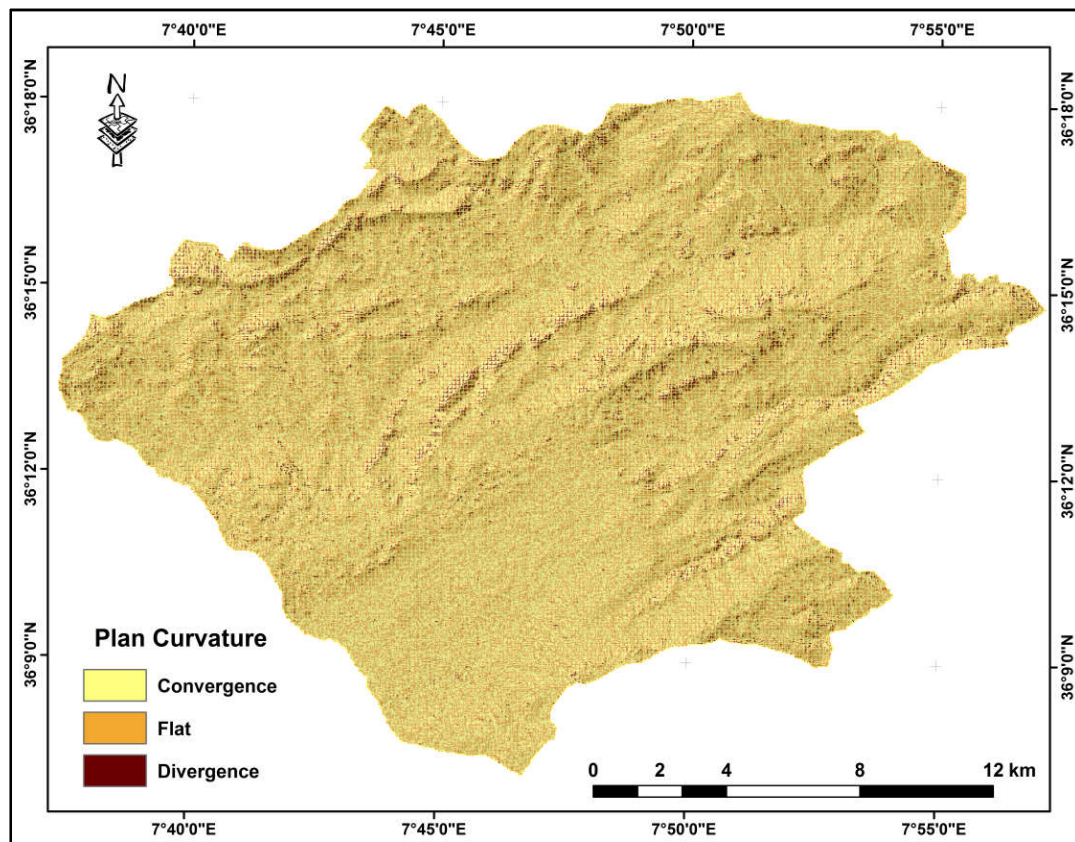


Figure IV.20 : La carte de la courbure planiforme de la zone d'étude.

III.10 Proximité aux drains du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique influence la répartition des zones instables en modifiant le comportement des sols avec érosion des ravins pouvant provoquer la rupture des pentes et par conséquent causer des mouvements de sol. La proximité de la pente par rapport aux structures de drainage est un autre facteur important en matière de stabilité. Les cours d'eau peuvent nuire à la stabilité en érodant les pentes ou en saturant la partie inférieure des matériaux jusqu'à ce que le niveau de l'eau augmente (Gokceoglu et Aksoy, 1996). Il est nécessaire de désigner les zones tampons en mesurant la distance, en séparant le drain de la zone vulnérable. Le plan de drainage de la région étudiée a été dérivé d'un modèle numérique d'élévation avec une résolution de pixel de 30 m. Initialement, des zones tampons de 50 m d'intervalle de part et d'autre du réseau hydrographique ont été créées afin d'étudier l'influence de la proximité des rivières. Analyse de du tampon multiple a été utilisée pour classer ce facteur dans les six classes (Fig. IV. 21) : 50 m, 50 - 100 m, 100 - 150 m, 150 - 200 m, 200 - 250 m et > 250 m. distribution des glissements de terrain pour chaque classe de distance ont été montrée dans la figure IV.22.

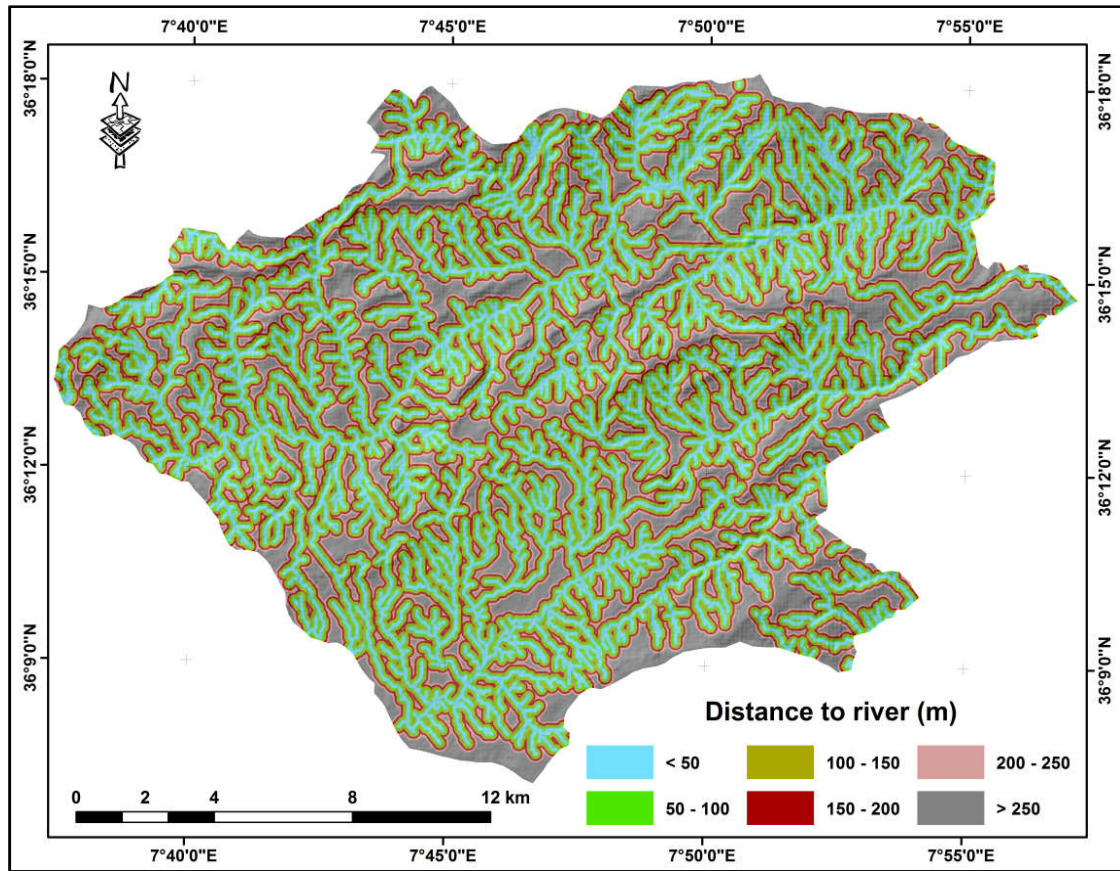


Figure IV.21 : La carte de la proximité aux drains du réseau hydrographique de la zone d'étude.

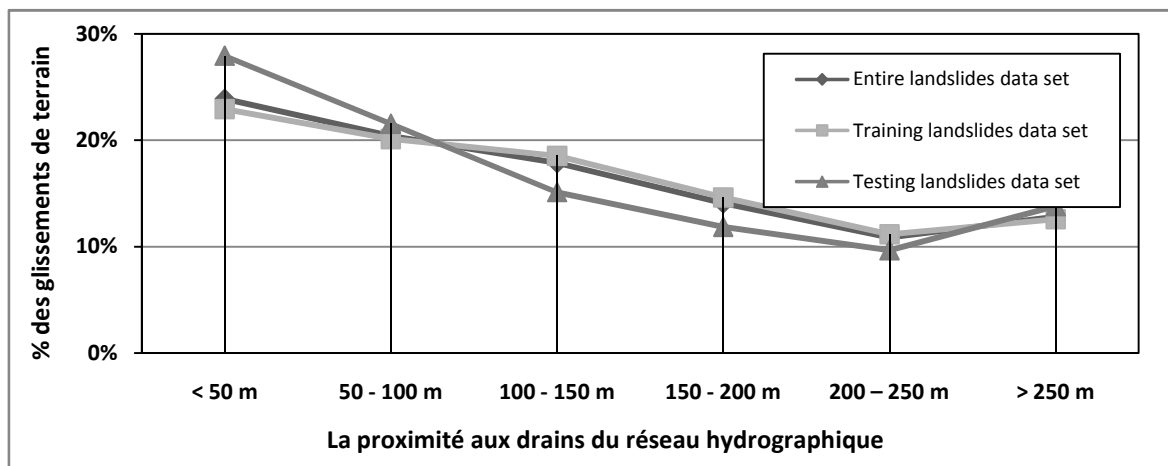


Figure IV.22 : La relation entre la répartition spatiale des glissements de terrain et la proximité aux drains du réseau hydrographique.

IV. Modèles statistique de la cartographie des glissements de terrain

La prédiction des glissements de terrain est très complexe. Cependant, avec le développement de la technologie informatique, le SIG a le potentiel pour jouer un rôle important dans la prédiction de ce phénomène.

Dans la littérature, nous trouvons des diverses méthodes statistiques qui ont été utilisés dans le domaine de la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain, et nous pouvons les classer en deux catégories : les approches bivariées et multivariées « pour plus de détails voire la section XI du premier chapitre ».

Dans cette étude, une méthode statistique multivariée « la régression logistique (LR) », et deux méthodes statistiques bivariées « la théorie de l'évidence « WoE » et le rapport de fréquence « Fr », ont été utilisées on se base sur des techniques SIG et fondée sur les relations observées entre chacun des facteurs causatifs et la distribution spatiale des glissements de terrain (Lee et Sambath 2006), afin d'obtenir les valeurs des poids pour chaque classe de paramètre et de préparer les cartes de la susceptibilité aux glissements de terrain.

Pour cette analyse, les cartes thématiques de la base de données SIG résultante, ont été convertis au format raster à l'aide des modules d'ARC/MAP de logiciel Arc Gis 10.4, avec une résolution de 30 x 30 m pour chaque pixel. La zone d'étude occupe 679 lignes et 988 colonnes : totalisant 383 081 pixels et la superficie totale touchée par les glissements de terrain occupants 13 451 pixels. Au cours de la phase d'entraînement, nous prenant au hasard, 80 % (10 761 pixels) de tous les glissements de terrain dans la zone d'étude pour construire le modèle, et environ 20 % (2 690 pixels), ont été choisis pour la validation.

Une superposition a été faite de chaque facteur avec la carte de l'inventaire des glissements de terrain ; et les modèles statistiques sont calculés basant sur ces combinaisons.

IV.1 Modèle statistique le rapport de fréquence « Fr »

La méthode du rapport de fréquence (Lee et Min 2001) est l'un des modèles statistiques les plus simples, basés sur les relations spatiales entre la distribution des glissements de terrain et les facteurs causatifs (Wei Chen et al 2016). Pour obtenir les valeurs de poids pour chaque classe de paramètre, en divisant le rapport de ratio de l'aire de chaque classe par le ratio de l'aire des glissements de terrain présent dans cette classe. Les rapports de fréquences sont indiqués dans le tableau N° IV.1.

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

Une valeur de poids inférieure à 1 indique une faible probabilité d'occurrence d'un glissement de terrain, tandis qu'une valeur de poids supérieure à 1 indique une plus grande sensibilité au phénomène.

Afin de combiner toutes les valeurs de poids des divers paramètres, un indice global de susceptibilité aux glissements de terrain (LSI) est calculé en additionnant tous les poids des paramètres : à l'aide de la formule suivante (Lee et Talib 2005):

$$LSI = FR_1 + FR_2 + \dots + FR_n \dots\dots\dots 1$$

Où, n représente le nombre de paramètres. Les indices ont été cartographiés pour représenter la carte de susceptibilité aux glissements de terrain (Fig. IV.23a). Enfin, la carte de susceptibilité a été testée à l'aide des données de l'inventaire des glissements de terrain « ensemble de données de conception et de validation » (Fig. IV.25). Le FR de toutes les couches thématiques utilisées dans la présente étude a été calculé en Arc GIS 10.4 et Microsoft Excel, le résultat est donné dans le tableau N° IV.1.

Tableau N° IV.1 : Les valeurs de poids de chaque classe de facteur causatif calculé par le modèle de rapport de fréquence et du modèle de la régression logistique.

Paramètres	Classes	Superficie de chaque classe (pixels)	% de la superficie de chaque classe (pixels) (a)	Les glissements de terrain (pixels)	% des glissements de terrain (pixels) (b)	Rapport de fréquence (b/a)	Coefficients de régression
Elevation (m)	521 - 600	4352	1,13	204	1,88	1,65	0,073089321975
	600 - 700	23042	6,01	689	6,34	1,054	
	700 - 800	74347	19,41	1681	15,48	0,79	
	800 - 900	111393	29,08	2568	23,64	0,81	
	900 - 1000	115074	30,04	4028	37,08	1,23	
	1000 - 1100	48542	12,67	1586	14,60	1,15	
	1100 - 1200	5342	1,40	106	0,98	0,7	
1200 - 1287	989	0,26	0	0,00	0		
La pente Topographique (°)	< 5	86636	22,62	1315	12,11	0,53	0,241084809732
	5 - 10	122096	31,87	3133	28,84	0,90	
	10 - 15	81623	21,31	2737	25,20	1,18	
	15 - 20	46020	12,01	1748	16,09	1,34	
	20 - 25	23505	6,13	985	9,07	1,48	
	> 25	23201	6,06	944	8,69	1,43	
Aspect de la pente Topographique	Flat (-1)	407	0,12	0	0,00	0	
	N	55142	14,39	1624	14,95	1,04	
	NE	38758	10,12	885	8,15	0,80	

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

	E	49252	12,86	1030	9,48	0,74	0,051630073777
	SE	56099	14,64	1663	15,31	1,04	
	S	62436	16,30	1598	14,71	0,9	
	SW	40179	10,49	1241	11,43	1,09	
	W	39639	10,34	1444	13,29	1,28	
	NW	41169	10,74	1377	12,68	1,18	
La courbure longitudinale	Concave (-)	189946	49,58	5267	48,49	0,98	0,112478991710
	Flat (0)	166245	43,40	4447	40,94	0,94	
	Convexe (+)	26890	7,02	1148	10,57	1,50	
La courbure planiforme	Convergence	206068	53,79	5662	52,13	0,97	0,011739997814
	Flat	165337	43,16	4743	43,67	1,01	
	Divergence	11676	3,05	457	4,21	1,38	
La proximité aux drains du réseau hydrographique (m)	< 50	93844	24,50	2492	22,94	0,94	- 0,00305615436
	50 - 100	81596	21,30	2187	20,13	0,94	
	100 - 150	68945	18,00	2014	18,54	1,03	
	150 - 200	52839	13,79	1589	14,63	1,063	
	200 - 250	36512	9,53	1213	11,17	1,17	
	> 250	49345	12,88	1367	12,59	0,98	
La lithologie	LC 1	48816	12,74	1793	16,51	1,29	- 0,03580589923
	LC 2	56417	14,73	1169	10,76	0,73	
	LC 3	13564	3,54	224	2,06	0,58	
	LC 4	66014	17,23	2346	21,60	1,25	
	LC 5	125485	32,76	3457	31,83	0,97	
	LC 6	34516	9,01	966	8,89	0,99	
	LC 7	263	0,07	5	0,05	0,67	
	LC 8	38006	9,92	902	8,30	0,84	
Distance par rapport aux routes (m)	< 50	16012	4,18	947	8,72	2,08	- 0,11167225408
	50 - 150	31123	8,12	1161	10,69	1,31	
	150 - 250	29797	7,78	617	5,68	0,73	
	250 - 500	67879	17,72	1291	11,88	0,67	
	500 - 1000	110014	28,71	3044	28,02	0,97	
	> 1000	128256	33,48	3802	35	1,04	
Distance par rapport aux discontinuités tectoniques (m)	< 50	33631	8,78	936	8,62	0,98	- 0,09979018356
	50 - 200	94233	24,6	3010	27,71	1,13	
	200 - 500	124738	32,56	4157	38,27	1,17	
	500 - 1000	89602	23,39	2071	19,07	0,81	
	> 1000	40877	10,67	688	6,33	0,59	
Précipitation (mm)	< 500	110465	28,84	3153	29,03	1,01	- 0,13323703649
	500 - 600	207027	54,04	5953	54,81	1,01	
	600 - 700	55774	14,56	1546	14,23	0,98	
	> 700	9815	2,56	210	1,93	0,75	

IV.2 Modèle statistique la théorie de l'évidence « WoE »

La théorie de l'évidence « WoE » est un modèle d'analyse statistique bivariée. C'est une méthode quantitative permettant de combiner des ensembles de données (Thiery et al., 2007). Cette méthode s'applique dans le cas où des données suffisantes sont disponibles pour estimer l'importance relative de l'évidence par des moyens statistiques (Bonham-Carter, 1994).

Cette méthode a été initialement développée pour une application non spatiale de diagnostic médical (Spiegelhater et Jones-Knill, 1984). Par la suite, elle a été appliquée pour évaluer la cartographie de potentielle minérale avec les SIG (Bonham-Carter et al., 1988, 1989, 1994) et puis, cette méthode a également mis en place afin d'évaluer la susceptibilité aux glissements de terrain (Van Westen et al 2003 ; Thiery et al., 2004, 2007 ; Lee et Talib 2005 ; Lee et Sambath 2006 ; Neuhauser et Tizi 2007; Regmi et al., 2010). Une description détaillée de la formulation mathématique de la méthode est disponible dans (Bonham-Carter et al., 1988, 1989, 1994, Pradhan et al., 2010).

Dans la présente étude, nous avons utilisé la méthode de WoE (Bonham-Carter, 1994) pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain; la méthode est assignée des poids positifs et négatifs (W^+ et W^-), pour chaque facteur causatif des glissements de terrain (U), basé sur la présence ou l'absence des glissements de terrain (A) dans la zone d'étude (équation 2 et 3) (Chong Xu 2012). Par conséquent, cette méthode utilise les données d'inventaire des glissements de terrain pour la pondération des facteurs.

$$W^+ = \ln \frac{P\{A/U\}}{P\{A/\bar{U}\}} \dots\dots\dots 2$$

$$W^- = \ln \frac{P\{\bar{A}/U\}}{P\{\bar{A}/\bar{U}\}} \dots\dots\dots 3$$

Où : W^+ et W^- sont les poids de la présence ou l'absence de glissements de terrain au sein de chaque classe des facteurs causatives et P est la probabilité. A est la présence de facteur causative potentiel, \bar{A} est l'absence d'un facteur causative potentiel, U est la présence d'un glissement de terrain, et \bar{U} est l'absence d'un glissement de terrain.

Les poids mesurent une corrélation entre les variables prédictives et l'événement glissement de terrain. Les poids du facteur prédictifs sont définis comme suit (Pradhan et al.,

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

2010) : un poids positif (W^+) indique que le facteur causatif est présent à l'endroit du glissement de terrain, et l'ampleur de ce poids est une indication de la corrélation positive entre la présence du facteur causatif et les glissements de terrain. Un poids négatif (W^-) indique l'absence du facteur causatif et indique le niveau de corrélation négative (Dahal et al., 2008 ; Chong Xu 2012).

La différence entre les deux poids est connue comme le contraste de poids ou le poids final (Dahal et al., 2008), qui est exprimé comme suit (Chong Xu 2012) : $C = W^+ - W^- \dots$ (4), reflète l'ampleur du contraste de la corrélation entre une classe de facteur causatif et l'occurrence des glissements de terrain. Pour une association spatiale, la valeur de C est positive, et quand une association spatiale fait défaut, la valeur est négative. La déviation standard de W est calculée comme étant :

$$S(C) = \sqrt{(S^2W^+ + S^2W^-)} \dots \dots \dots (5)$$

Alors que S^{2+} est la variance des poids positifs, S^{2-} est la variance des poids négatifs. Le contraste normalisé $C/S(C)$, donne une mesure de confiance (Neuhauser et Tizi, 2007). Il sert de guide à l'importance de l'association spatiale et agit comme une mesure de la certitude relative de la probabilité postérieure (Bonham-Carter, 1994). Le résultat est donné dans le tableau N° IV.2 et la figure 23.b.

Tableau N° IV.2 : Les valeurs de poids de chaque classe de facteur causative calculé par le modèle de la théorie de l'évidence.

Paramètres	Classes	Superficie des classes (pixels)	Glissements de terrain (pixels)	W^+	W^-	S^2W^+	S^2W^-	C	$S(C)$	$C/S(C)$
				Elevation (m)	521 - 600	4352	204	0,5219	0,992	0,005143
600 - 700	23042	689	0,0547		0,996	0,001496	0,00010	- 0,9417	0,04	- 23,56
700 - 800	74347	1681	- 0,2322		1,0502	0,000608	0,00011	- 1,2825	0,027	- 47,77
800 - 900	111393	2568	- 0,2124		1,0791	0,000398	0,00012	- 1,2915	0,023	- 56,47
900 - 1000	115074	4028	0,2175		0,8967	0,000257	0,00015	- 0,6791	0,020	- 33,65
1000 - 1100	48542	1586	0,14622		0,9773	0,000652	0,00011	- 0,8311	0,028	- 30,09
1100 - 1200	5342	106	- 0,3657		1,0044	0,009625	0,00009	- 1,37	0,099	- 13,89
1200 - 1287	989	0	NA		1,0027	NA	0,00009	NA	NA	NA
La pente Topographique (°)	< 5	86636	1315	- 0,6384	1,1403	0,000772	0,00010	- 1,7787	0,03	- 59,95
	5 - 10	122096	3133	- 0,1026	1,0458	0,000327	0,00013	- 1,1484	0,021	- 53,5
	10 - 15	81623	2737	0,17307	0,9492	0,000378	0,00012	- 0,7761	0,023	- 34,55
	15 - 20	46020	1748	0,3023	0,9523	0,000595	0,00011	- 0,65	0,026	- 24,44

**CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA
DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA
REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE**

	20 - 25	23505	985	0,4047	0,9679	0,001059	0,00010	- 0,5632	0,034	- 16,51
	> 25	23201	944	0,3739	0,9712	0,001104	0,00010	- 0,5972	0,035	- 17,18
Aspect de la pente Topographiqu e	Flat (-1)	407	0	NA	1,0011	NA	0,00009	NA	NA	NA
	N	55142	1624	0,0391	0,9933	0,000634	0,00011	- 0,9542	0,027	- 34,94
	NE	38758	885	- 0,2222	1,0226	0,001156	0,00010	- 1,2448	0,035	- 35,07
	East	49252	1030	- 0,312	1,0399	0,000992	0,00010	- 1,3519	0,033	- 40,83
	SE	56099	1663	0,0458	0,9919	0,000619	0,00011	- 0,9462	0,027	- 34,98
	S	62436	1598	- 0,1052	1,0195	0,000642	0,00011	- 1,1248	0,027	- 40,98
	SW	40179	1241	0,0882	0,9892	0,000831	0,00010	- 0,9011	0,031	- 29,41
	W	39639	1444	0,2589	0,9662	0,000719	0,00010	- 0,7073	0,029	- 24,58
	NW	41169	1377	0,1704	0,9777	0,000751	0,00010	- 0,8073	0,029	- 27,53
	La courbure longitudinale	Concave (-)	189946	5267	- 0,0229	1,0223	0,000195	0,00018	- 1,0453	0,019
Flat (0)		166245	4447	- 0,0599	1,0447	0,000231	0,00016	- 1,1046	0,019	- 55,81
Convexe (+)		26890	1148	0,4241	0,9607	0,000909	0,00010	- 0,5366	0,032	- 16,84
La courbure planiforme	Convergen ce	206068	5662	- 0,0323	1,0371	0,000181	0,00019	- 1,0695	0,019	- 54,88
	Flat	165337	4743	0,012	0,9908	0,000217	0,00016	- 0,9788	0,019	- 49,87
	Divergence	11676	457	0,3335	0,9877	0,002277	0,00009	- 0,6542	0,049	-13,42
La proximité aux drains du réseau hydrographiq ue (m)	< 50	93844	2492	- 0,0674	1,0212	0,000412	0,00012	- 1,0886	0,023	- 47,05
	50 - 100	81596	2187	- 0,0579	1,0152	0,000469	0,00011	- 1,0731	0,024	- 44,23
	100 - 150	68945	2014	0,0307	0,9932	0,000511	0,00011	- 0,9625	0,025	- 38,41
	150 - 200	52839	1589	0,0606	0,99	0,000649	0,00011	- 0,9294	0,027	- 33,72
	200 - 250	36512	1213	0,1634	0,9814	0,000853	0,00010	- 0,8179	0,031	- 26,41
	> 250	49345	1367	- 0,0239	1,0035	0,000752	0,00010	- 1,0274	0,029	- 35,02
La lithologie	LC 1	48816	1793	0,2675	0,9556	0,000579	0,00011	- 0,6882	0,026	- 26,15
	LC 2	56417	1169	- 0,3215	1,0479	0,000873	0,00010	- 1,3694	0,031	- 43,74
	LC 3	13564	224	- 0,5527	1,0158	0,004539	0,00009	- 1,5684	0,068	- 23,04
	LC 4	66014	2346	0,2332	0,9458	0,000442	0,00012	- 0,7125	0,024	- 30,0
	LC 5	125485	3457	- 0,0296	1,0142	0,000297	0,00013	- 1,0439	0,021	- 49,96
	LC 6	34516	966	-0,0134	1,0013	0,001065	0,00010	- 1,0147	0,034	- 29,68
	LC 7	263	5	- 0,4093	1,0002	0,203876	0,00009	- 1,4095	0,452	- 3,12
	LC 8	38006	902	- 0,1827	1,0185	0,001136	0,00010	- 1,2011	0,035	- 34,12
Distance par rapport aux routes (m)	< 50	16012	947	0,767381	0,9513	0,001122	0,00010	- 0,18394	0,035	-5,25
	50 - 150	31123	1161	0,283563	0,9713	0,000895	0,00010	-0,6877	0,032	-21,74
	150 - 250	29797	617	-0,32216	1,0234	0,001655	0,00010	-1,3456	0,042	-32,11
	250 - 500	67879	1291	-0,40889	1,0731	0,000789	0,00011	-1,482	0,029	-49,47
	500 - 1000	110014	3044	-0,02516	1,0100	0,000338	0,00013	-1,0352	0,0217	-47,77
	> 1000	320738	3802	0,045803	0,9764	0,000271	0,00015	-0,9306	0,02	-45,59
Distance par	< 50	33631	936	- 0,0191	1,0018	0,001099	0,00010	- 1,021	0,035	- 29,44

CHAPITRE IV : APPROCHE PAR LES METHODES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA REGION DE SOUK AHRAS, NE DE L'ALGERIE

rapport aux discontinuités tectoniques (m)	50 - 200	94233	3010	0,1228	0,9576	0,000343	0,00013	- 0,8347	0,022	- 38,34
	200 - 500	124738	4157	0,1667	0,9131	0,000249	0,00015	- 0,7464	0,020	- 37,29
	500 - 1000	89602	2071	- 0,2097	1,0582	0,000494	0,00012	- 1,2679	0,025	- 51,27
	> 1000	40877	688	- 0,5333	1,05	0,001478	0,00010	- 1,5834	0,039	- 39,84
Précipitation (mm)	< 500	110465	3153	0,0068	0,9972	0,000326	0,00013	- 0,9904	0,021	- 46,18
	500 - 600	207027	5953	0,0144	0,9829	0,000173	0,00021	- 0,9685	0,019	- 49,52
	600 - 700	55774	1546	- 0,0233	1,0039	0,000665	0,00011	- 1,0272	0,028	- 36,88
	> 700	9815	210	- 0,2887	1,0066	0,004866	0,00009	- 1,2954	0,07	- 18,39

IV.3 Modèle statistique la régression logistique

La régression logistique, une des méthodes d'analyse statistique multivariée la plus développée (McFadden 1973). Elle montre la relation entre une variable dépendante et plusieurs variables indépendantes (Lee, 2004 et 2005) par l'utilisation d'une relation non linéaire (Yesilnacar et Topal, 2005). Les descriptions de détail de la technique de régression logistique se trouvent dans la littérature (Hosmer et Lemeshow, 2000).

Dans l'approche de la régression logistique, la variable dépendante est dichotomique, et les variables indépendantes peuvent être continues ou discrètes (Lee, 2004 et 2005, Lee et Sambath, 2006).

Dans ce chapitre, nous avons utilisé la méthode RL dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain, afin de trouver le meilleur modèle (le plus raisonnable) pour décrire la relation entre la variable dépendante qui est une variable binaire représentant la présence ou l'absence de glissements de terrain (1 ou 0) et dix paramètres indépendants.

Le modèle de la régression logistique s'applique l'estimation maximale après transformation de la variable dépendante dans une variable de logit (Shi-Biao Bai 2010). Le modèle logistique peut être exprimé comme :

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} \dots\dots\dots (6)$$

Où **P** est la probabilité d'occurrence des glissements de terrain varie de 0 à 1 sur une courbe en forme de S, représente le **Z** « la combinaison linéaire varié de - ∞ à + ∞ ». Il se définit par l'équation suivante :

$$Z = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \dots\dots\dots (7)$$

Où B_0 est l'ordonnée à l'origine du modèle, $B_1, B_2... B_n$ représente les coefficients du modèle RL, et $X_1, X_2 ... X_n$ représente les variables indépendantes.

Dans un premier temps dans notre analyse, nous avons produit une carte montrant la zone touchée par les glissements de terrain, nous avons des 10 761 pixels de glissements de terrain et une égale proportion de pixels qui ont été aléatoirement choisies dans les terrains stables pour représenter la variable dépendante : présence de glissements de terrain (1), l'absence de glissements de terrain (0). La conversion de paramètres de la valeur nominale en numérique devait être faite par le biais de la création de variables nominales pour toutes les catégories ou classes de chaque variable indépendante. Les corrélations entre les événements de glissements de terrain et chaque facteur causatif ont été calculées puis converties en format dbf pour l'utilisation dans le logiciel de statistiques SPSS 20. Une équation prédisait l'apparition de glissement de terrain à l'aide de formules (7) et les coefficients figurant au tableau N° IV.2, a été obtenue comme suit :

$$Z = - 0,2694042891986 + (0,073089321975 \times \text{élévation}) + (0,051630073777 \times \text{aspect de la pente}) + (- 0,09979018356 \times \text{la distance aux discontinuités tectoniques}) + (- 0,00305615436 \times \text{la proximité aux drains du réseau hydrographique}) + (- 0,035805899229 \times \text{la lithologie}) + (0,011739997814 \times \text{courbures planiformes}) + (- 0,13323703649 \times \text{précipitations}) + (0,112478991710 \times \text{courbures longitudinales}) + (- 0,11167225408 \times \text{la proximité de la route}) + (0,241084809732 \times \text{la pente}) \dots\dots\dots (7)$$

Pour délimiter les zones où des glissements de terrain peuvent se produire, nous avons utilisé l'option « raster calculator » du module d'analyse du logiciel ARC GIS 10.4, en utilisant les cartes des poids pour chaque facteur séparément, puis en les additionnant pour obtenir une carte de poids total (Fig. 23.c). Les cartes de susceptibilité ainsi produite ont été divisées en cinq classes très faibles, faibles, modérés, élevés et très élevés. Les valeurs de la susceptibilité élevée, signifie une sensibilité plus élevée aux glissements de terrain, tandis qu'une valeur plus basse signifie une faible sensibilité aux glissements de terrain.

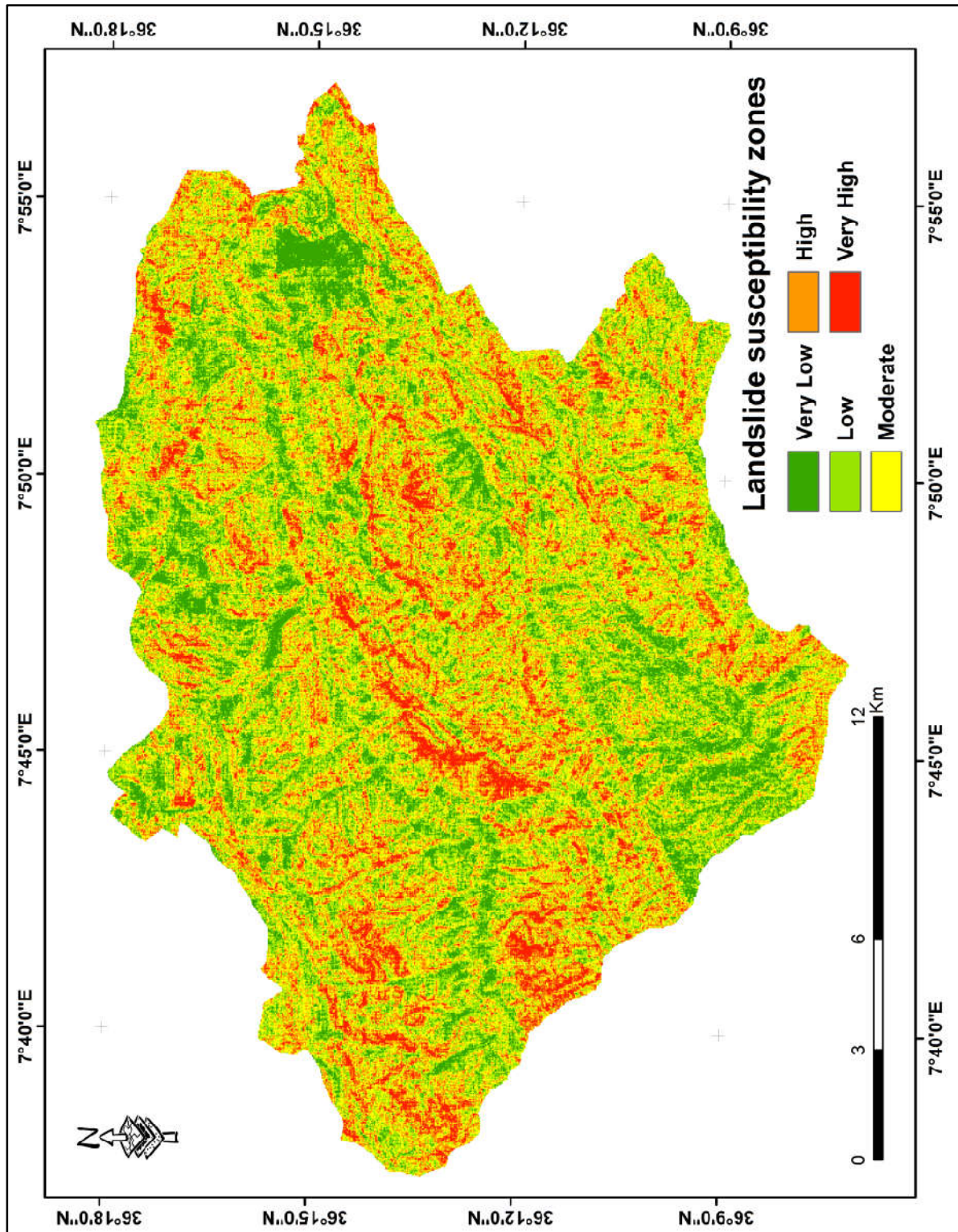


Figure IV. 23. a : Carte de la susceptibilité aux glissements de terrain, en utilisant le modèle des rapports de fréquences « Fr ».

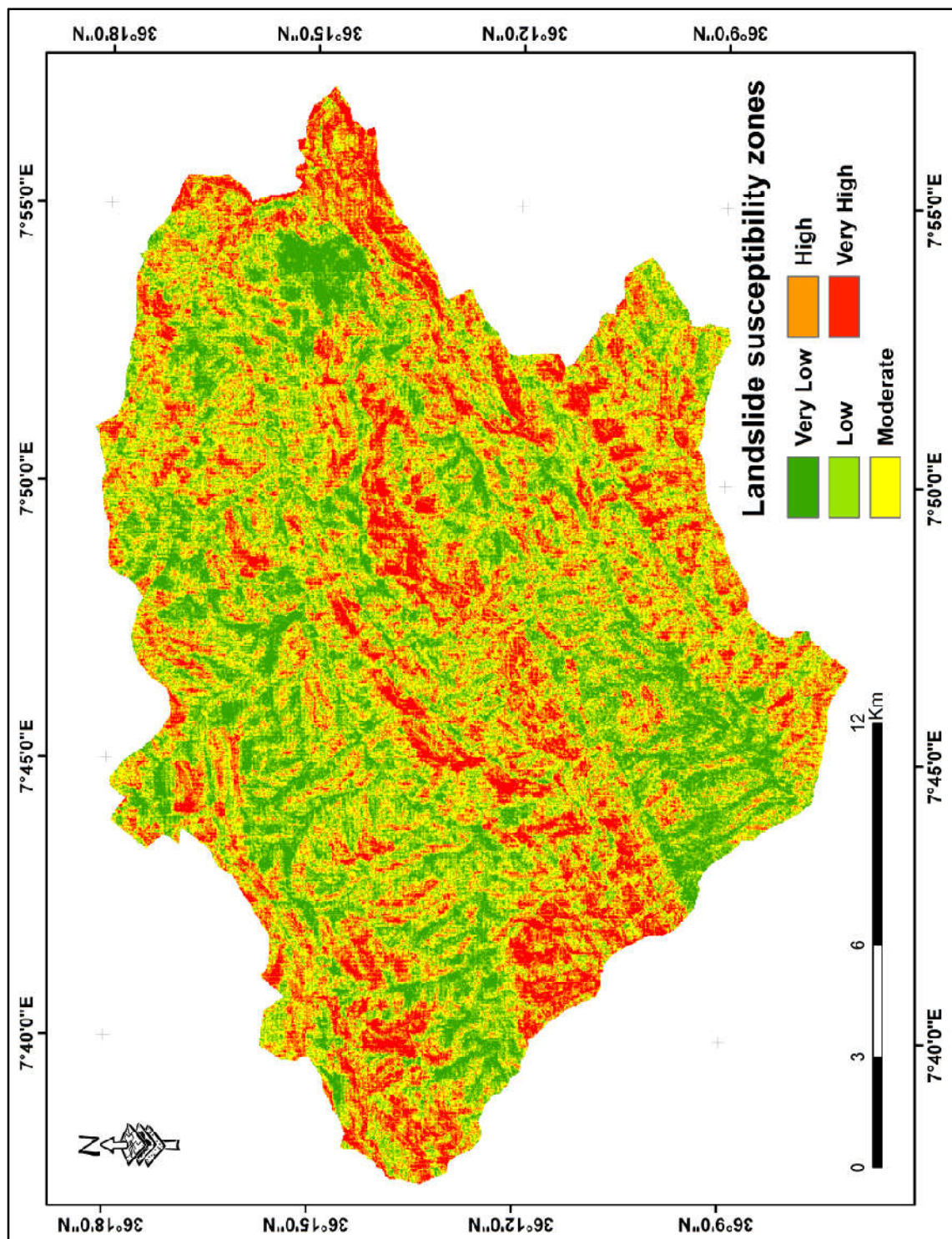


Figure IV. 23. b : Carte de la susceptibilité aux glissements de terrain, en utilisant le modèle de la théorie de l'évidence « WoE ».

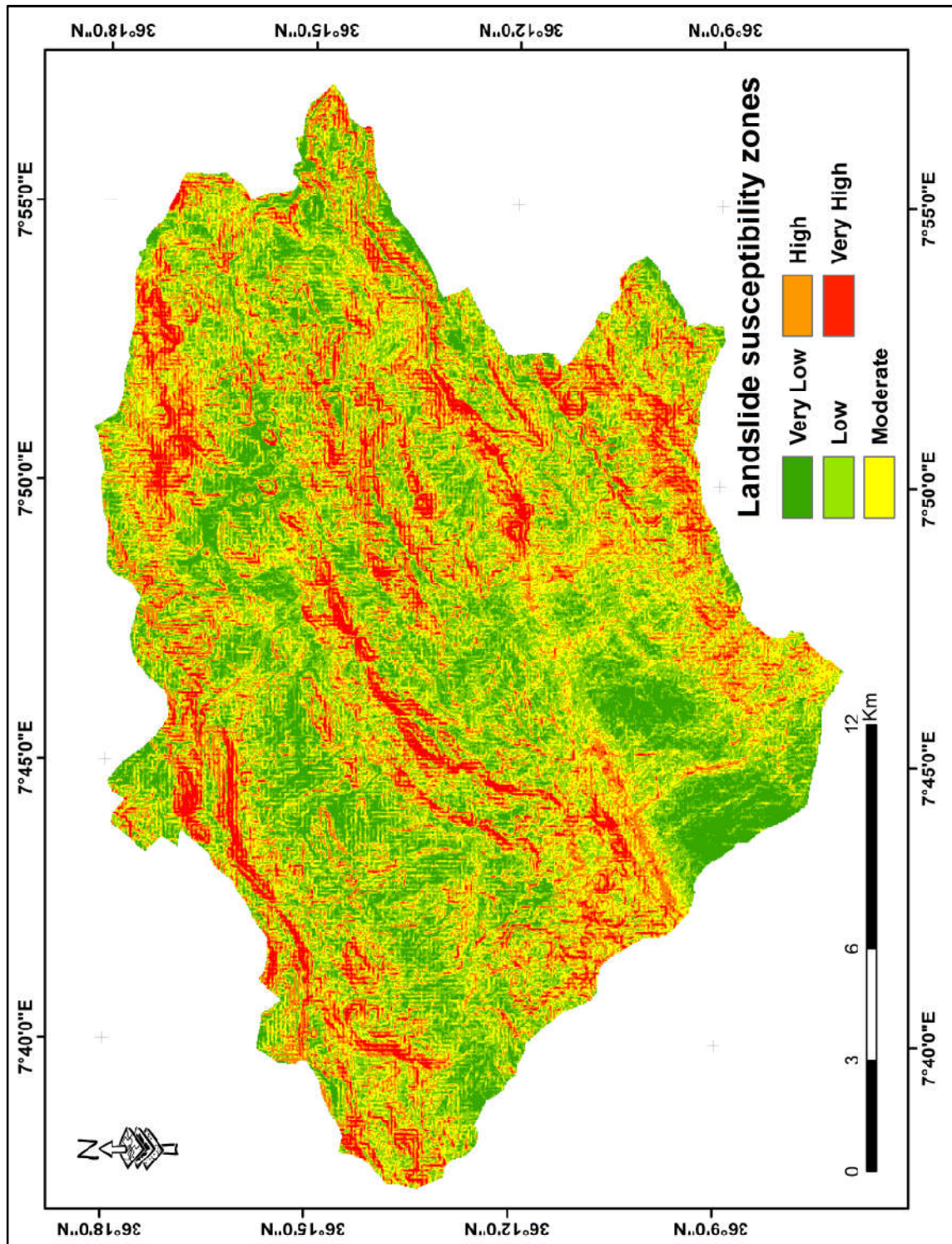


Figure IV. 23. c : Carte de la susceptibilité aux glissements de terrain, en utilisant le modèle de la régression logistique « RL ».

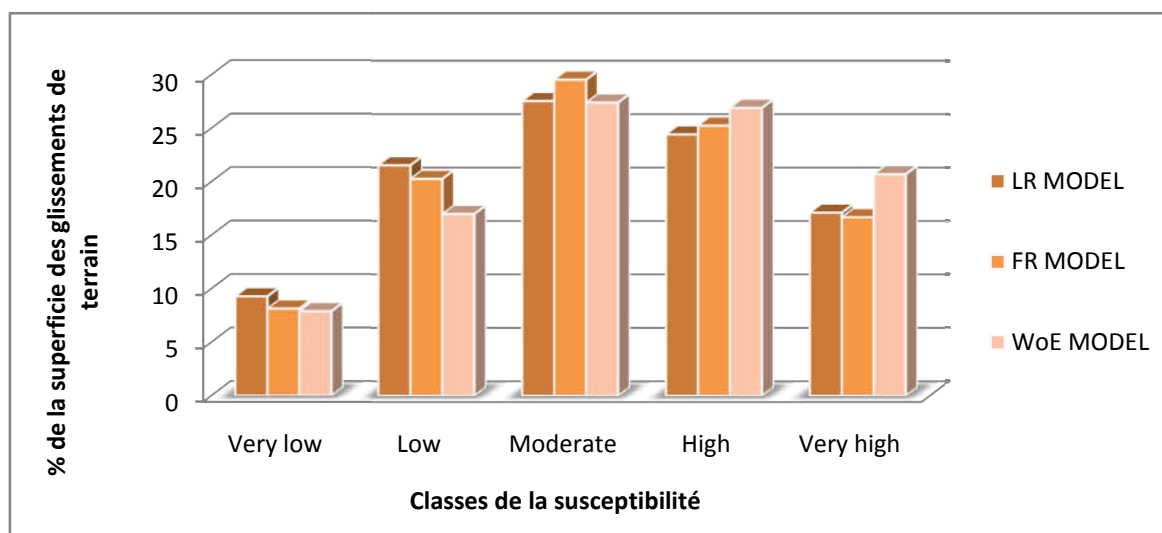


Figure IV.24 : Histogramme des zones des glissements de terrain par rapport aux classes de susceptibilité générées par les trois modèles « LR, FR et WoE ».

Tableau N° IV.3 : Les cinq classes de la susceptibilité aux glissements de terrain.

Classes du Susceptibilité	LR Model		FR model		WoE model	
	Superficie de classes (%)	Glissements de terrain (%)	Superficie de classes (%)	Glissements de terrain (%)	Superficie de classes (%)	Glissements de terrain (%)
Très faibles	16.13	9.27	14.06	8.13	13.85	7.88
Faibles	28.49	21.57	25.43	20.3	23.13	17.01
modérés	27.39	27.58	30.81	29.58	28.93	27.44
Elevé	19.2	24.45	20.73	25.28	22.3	26.94
Très élevé	8,79	17.13	8.97	16.71	11.79	20.73

V. Validation des cartes de la susceptibilité aux glissements de terrain

Les modèles construits par de nombreuses méthodes n'auront aucune signification scientifique sans validation. Dans ce travail, la validation des modèles de sensibilité aux glissements de terrain a été vérifiée par le calcul de la valeur de l'aire sous la courbe ROC (AUC). Les cartes de la susceptibilité aux glissements de terrain élaborées par les modèles de FR, le WoE et la RL ont été comparées avec les données de l'inventaire des glissements de terrain utilisées dans la conception des modèles et avec celle préservée à la validation. Les

valeurs de l'AUC ont donné lieu, représentent respectivement le taux de réussite et les taux de prédiction des modèles utilisés. Le taux de réussite décrit la façon dont le modèle correspond à des événements passés et taux de prédiction décrit la façon dont le modèle a prédit la survenue d'événements des glissements de terrain dans le futur.

Les courbes ROC, ont été tracées en utilisant le pourcentage cumulé décroissant d'indice de susceptibilité en tant que l'axe horizontal, et le pourcentage cumulé des glissements de terrain comme l'axe longitudinal (Fig. IV.25). La valeur de l'AUC entre 0,7 et 0,9 indiquent la capacité de discrimination raisonnable, des valeurs plus élevées que 0,9 montrer des modèles typiques très précis (Swets 1988) ; des valeurs inférieures à 0,5 indiquent que la performance des méthodes n'a pas le pouvoir de discriminer les valeurs AUC (Kavzoglu et al., 2015).

Dans cette étude, les courbes de taux de réussite des modèles, testés avec 80 % de données des glissements de terrain, ont montré que les valeurs de l'AUC étaient 0,8350 (83,50 %), 0.8211 (82.11 %) et 0.9057 (90.57 %) pour les modèles de FR, WoE et la RL (Fig. 25.a); les courbes de taux de prédiction testés avec 20 % des données de glissements de terrain ont montré que les valeurs de l'AUC ont été 0.8412 (84,12 %), 0.8314 (83,14 %) et 0.9091 (90.91 %), respectivement (Fig. 25.b). Les résultats de la modélisation des valeurs AUC de la courbe ROC obtiennent par les méthodes de Fr, WoE et LR montrent que les trois modèles utilisés dans le présent document, ont la capacité de prédiction assez élevée, mais lors de la comparaison les uns aux autres, basé sur les valeurs de l'AUC, la carte produite par la méthode de la RL présenté le meilleur résultat pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain.

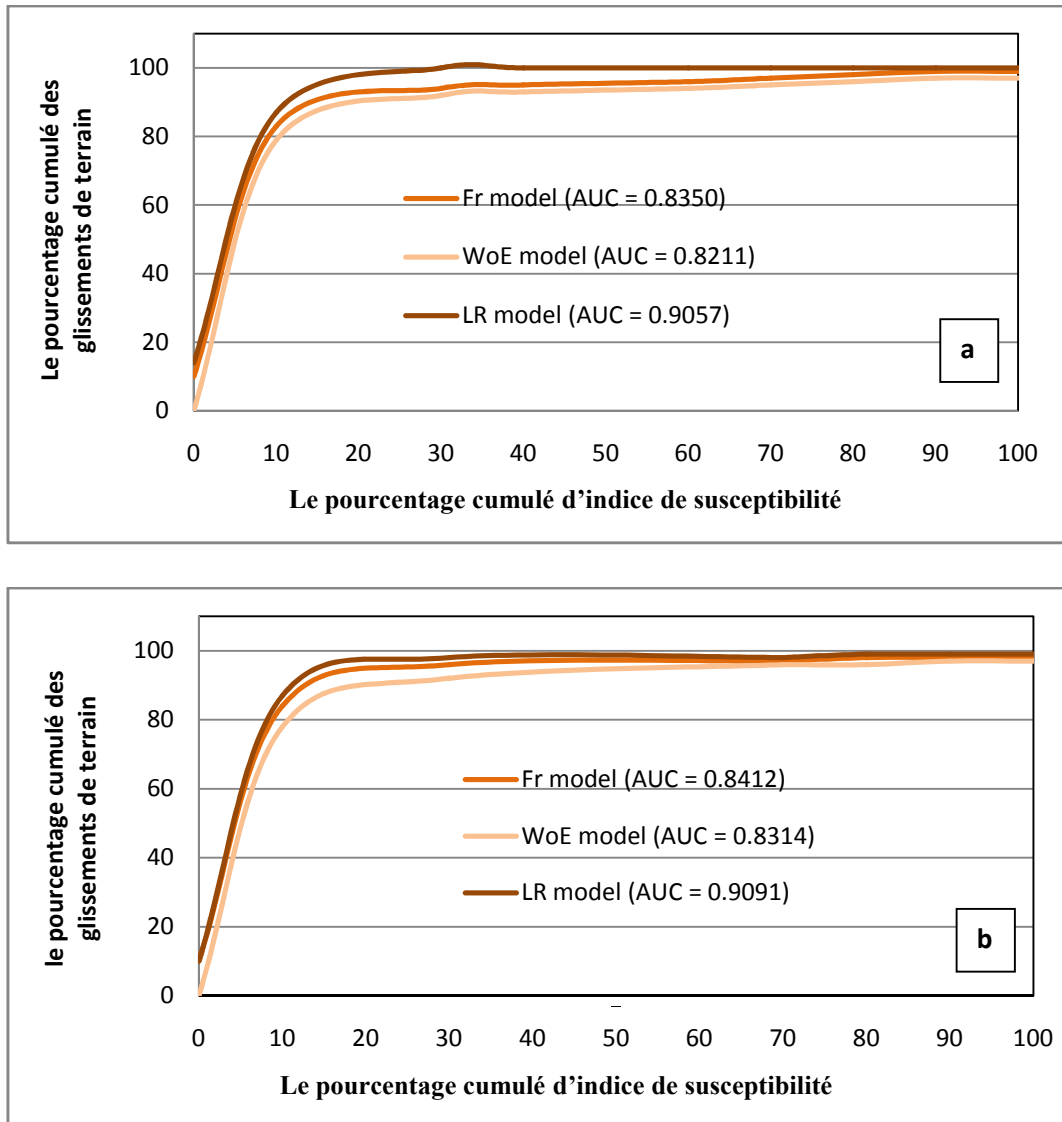


Figure IV.25 : Les courbes AUC représentant la qualité des modèles : a. Taux de réussite ; b. Taux de prédiction.

VI. Discussion et Conclusions

Chaque année plusieurs événements de glissements de terrain sont enregistrés dans la région de Souk Ahras, sous l'influence de plusieurs paramètres. Par conséquent, la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain est très efficace pour délimiter les zones exposées à ce phénomène.

Dans ce travail, trois méthodes statistiques « RL, WoE et Fr », ont été utilisées pour l'estimation de la susceptibilité aux glissements de terrain utilisant la technologie des SIG, dans deux communes dans le Nord de la wilaya de Souk Ahras « Hanancha et Tifech », couvrant une superficie totale de l'ordre de 344 km². Ces méthodes ont été appliquées en se servant d'une base de données, composée de dix facteurs prédictifs à savoir la lithologie, la pente, l'aspect de la pente, la distance par rapport aux discontinuités tectoniques, la proximité aux drains du réseau hydrographique, la distance par rapport aux routes, l'élévation, la précipitation, la courbure planiforme et la courbure longitudinale ont été préparées. Les cartes obtenues sont ensuite comparées avec la carte de l'inventaire des glissements de terrain dans la phase d'évaluation de la performance des modèles, en utilisant la méthode de l'AUC.

Les cartes de susceptibilité aux glissements de terrain ainsi produites, ont été divisées en cinq catégories selon leur degré de susceptibilité : très faibles, faibles, modérés, élevés et très élevés. L'analyse de ces cartes, montre que les sites de susceptibilité élevée à très élevée ont été principalement situés au NW, au milieu et au SE de la zone d'étude, localisé dans des argiles rouges de Quaternaire, des unités Triasique (argile, grès et de gypse), des formations marneux-argileuses de Campanien et des argiles-marneuses de Miocène moyen et supérieur ; sur les versants avec des pentes de plus de 10°; sur les versants orientés aux S, SE et NW ; sur des distances moins de 500 m par rapport aux discontinuités tectoniques et moins de 100 m par rapport au réseau hydrographique ; sur les zones où les précipitations comptent des valeurs plus de 500 mm et une élévation de 800 à 1 200 m.

La synthèse des données acquises et l'interprétation de ces résultats, ont permis de constituer quelques remarques sur l'influence des paramètres causatifs dans la distribution spatiale des zones instables dans la région étudiée.

Nous avons jugé que les marnes, les argiles et les affleurements du trias étaient les faciès les plus sensibles au développement de glissements de terrain.

En suivant l'historique des mouvements de terrain dans la région de Souk Ahras, on constate une coexistence entre les précipitations et le déclenchement des mouvements de terrain.

Une étude a été fait par [Hadjji et al., 2012](#), basant sur la comparaison entre la fréquence des glissements de terrain et les épisodes de précipitations sur une période de trente ans montrent une relation étroite entre les précipitations et les glissements de terrain. Avec l'augmentation de la précipitation, l'eau s'infiltré et elle ruisselle à la surface du sol. Les deux chemins ont des conséquences sur la mise en mouvement des terrains. L'infiltration provoque le gonflement des argiles et marnes et la dissolution des gypses et sels. La sécheresse qui suivra, surtout si elle est longue, provoque une rétractation des sols et donc des diminutions de volumes à l'origine d'instabilité des terrains. Le ruissellement de surface à une action mécanique d'érosion mais également des processus d'altération, de dissolution et de transport mécanique ou en solution. Le régime d'écoulement intermittent du réseau hydrologique et des ravins englobe des processus d'érosion et de saturation, ce qui augmente la pression des eaux interstitielles du sol qui provoque des phénomènes de glissements de terrain dans les zones adjacentes aux canaux de drainage. Cet effet est renforcé pendant les périodes de fortes précipitations. Les activités humaines liées au développement, telles que le découpage et le remplissage le long des routes, sont capables de modifier considérablement la forme des pentes et les conditions des eaux souterraines. Ces conditions peuvent augmenter considérablement le degré de risque de glissements de terrain présent.

Les résultats ont montré que la méthode de régression logistique est plus fiable. Elle a la meilleure performance parmi les trois méthodes statistiques utilisées dans le présent document.

Enfin, ce travail montre l'intérêt d'utiliser la technologie de SIG dans l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain dans notre zone d'étude. Les cartes de susceptibilité développées pourraient être un document de base pour tout projet d'aménagement, en tenant compte des domaines sensibles aux glissements de terrain afin de trouver des endroits appropriés pour la mise en œuvre de nouveaux développements par les autorités concernées, les planificateurs et les ingénieurs.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les glissements de terrain sont un phénomène naturel très répandu dans les terrains urbanisés de l'Algérie Nord orientale. Leur manifestation est devenue un véritable handicap pour les projets de développement dans ces régions. Pour pouvoir cerner l'évolution des processus des mouvements de masse, il est nécessaire d'adopter de nouvelles méthodes plus efficaces. Les modèles prédictifs d'évaluation des dangers et des risques de glissements de terrain constituent un domaine de recherche qui pourrait bien exploiter le potentiel des nouvelles avancées technologiques d'acquisition, de manipulation et d'analyse de données pilotées par les systèmes d'informations géographiques (SIG).

L'utilisation des SIG dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain et sa capacité de traitement a permis d'apprécier la contribution des différents paramètres dans le processus de déclenchement des glissements. Il constitue donc un outil de traitement et d'analyse qui permet d'avoir une idée globale, sur des données régionales et de simplifier une multitude d'information parfois très difficile à assimiler.

Le présent travail de recherche se propose de contribuer à l'évaluation et la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la wilaya de Souk Ahras. Ce territoire est historiquement connu par les menaces aux infrastructures de ces mouvements gravitaires. Ils touchent, à des degrés différents, tous les terrains meubles et se produisent sur presque tous les versants à forte pente, ce qui suggère l'interaction simultanée de plusieurs paramètres dans le processus d'apparition de ces glissements de terrain. Cette étude contribue à approfondir la connaissance sur les mécanismes d'occurrence de ce phénomène dans la région de Souk Ahras, à travers l'exemple d'étude de deux communes de Nord de la wilaya : Hanancha et Tiffech. Au terme de ce travail, plusieurs conclusions peuvent être extraites. Des descriptions détaillées de chaque conclusion ont été élaborées dans les chapitres respectifs.

L'étude des données climatiques de la région a permis de déduire qu'il est caractérisé par un climat tempéré avec une pluviométrie moyenne annuelle qui dépasse les 797 mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 16°C. La zone d'étude se caractérise par la présence d'un réseau hydrographique assez développé ; le Nord est drainé par l'Oued Medjerda et ses affluents ; tandis que le Sud est drainé par le Mellégué amont. Ces cours d'eau présentent un potentiel d'érosion assez important ; ils contribuent à la modification des berges et au déclenchement des mouvements gravitaires. Les conditions hydrogéologiques

sont caractérisées par la présence d'un aquifère dans les dépôts alluvionnaires et de plusieurs aquifères profonds. L'aperçu géologique marque l'importance des formations sédimentaire meubles « argiles, marnes, limons, cailloutis et alluvions » couvrant tout le territoire de la wilaya de Souk Ahras embrassant des couches de différents âges géologiques.

Dans cette étude les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogique des échantillons de sols prélevés des versants instables ont été déterminé et la fraction argileuse a été donnée une importance particulière. Il s'agit des argiles et des argiles limoneuses, plastiques à très plastiques avec un potentiel de gonflement élevé à très élevé.

La présence en proportions importante des minéraux argileux dans les alluvions, les argiles et les marnes qui forment la majorité des affleurements de la région, est l'un des facteurs prépondérants qui accélère la mise en mouvement de sols. En effet ces minéraux ont une surface spécifique très grande. Ils peuvent par conséquent absorber beaucoup d'eau. L'acquisition de cette eau entre les feuillets augmente leur volume et les rend particulièrement aptes à glisser.

Pour mieux cibler les zones susceptibles à ce phénomène, diverses méthodologies ont été proposées pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain. Le choix des modèles devrait également servir de guide pour le développement de bases de données appropriées, en tenant compte du fait que la disponibilité de données adéquates (en qualité et en quantité) est une question cruciale permettant d'accomplir la tâche. La distribution des glissements de terrain est largement régie par une combinaison de conditions géo-environnementales. Dix facteurs de conditionnement des glissements de terrain ont été pris en compte comme données d'entrée pour l'évaluation et la modélisation de la susceptibilité aux glissements de terrain, basées sur trois méthodes statistiques : la régression logistique, rapport des fréquences et le poids d'evidence (LR, Fr et WoE).

Une centaine de glissements plus ou moins actifs (anciens, récents, actifs ou potentiels) et de dimension variable (depuis l'échelle de l'affleurement (talus routier) jusqu'à l'échelle du versant entier) ont été répertoriés grâce à l'étude multiparamétrique de donné multi-dates comme les photographies aériennes et satellitaires valider par des photographies et des levés GPS prises sur le terrain.

Après traitement par différents logiciels, les cartes de susceptibilité qui ont été générées sont classées en cinq zones hiérarchiques de susceptibilité, de très susceptibles à très peu susceptibles. Il ressort qu'en fonction de ces résultats, les sites les plus exposés à l'occurrence du phénomène glissements de terrain sont répartis sur les zones avec des pentes abruptes et très abruptes, des roches molles ou fortement altérées « unités argileuses de trias,

les marnes et les argiles marneuses de crétacé supérieur, les marnes argilo silteuses et les grès du miocène supérieur et moyen », les zones de failles et les zones proches des cours d'eau.

La performance de la capacité prédictive de chacune des trois modèles statistiques utilisées (Fr, WoE et LR) est évaluée et validée au moyen de l'analyse ROC (Receiver Operating Characteristic). Il montre que les trois modèles de la susceptibilité aux glissements de terrain ont de bonnes performances, ainsi que des taux de prédiction assez élevés allant de 82,11 à 90,57 %, et de 83,14 à 90,91 respectivement. Le modèle LR peut donner de meilleurs résultats par rapport aux modèles WoE et FR qui sont proches les uns des autres. C'est l'un des meilleurs modèles statistiques utilisés dans l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain.

Les pertes humaines et économiques dues aux glissements de terrain, ne sont pas forcément l'effet d'une occurrence ou d'une intensité plus grande de ces mouvements, mais aussi l'effet de la croissance du facteur de vulnérabilité. Les cartes de susceptibilité produites peuvent fournir des informations précieuses aux autorités concernées, de sorte que l'attention puisse être portée sur les zones de forte et très forte susceptibilité aux glissements de terrain. Elles constituaient un préalable de base pour tout projet de développement proposé et seront très utiles pour trouver des emplacements appropriés pour la mise en œuvre de nouveaux développements. En outre, si des aménagements infrastructurels doivent être mis en place dans des zones très exposées, des mesures correctives doivent être envisagées. Cette étude peut éventuellement s'avérer très utile pour préparer des cartes de risque pour la zone d'étude.

Il est primordial de réaliser une base de données nationale pour le recensement de tous les aléas géologique, entre autres les glissements de terrain, à travers tout le territoire national. Pour passé de l'étude des susceptibilités vers des études plus approfondies des risques, allant de l'évaluation des l'aléa dans ses composantes spatiales et temporelles, à l'estimation qualitative et quantitative des enjeux vulnérable à ces aléas.

En raison de la nature dynamique des précipitations, des variations microclimatiques, de l'urbanisation rapide, de la déforestation et des activités anthropiques, les cartes de susceptibilité aux glissements de terrain présentées sont sujettes à modification. Il convient de reconnaître que des évaluations périodiques des glissements de terrain doivent être réalisées afin de disposer d'une carte de susceptibilité actualisée. Il est impérieux de continuer de recenser les glissements de terrain dans cette zone et d'alimenter cette base de données en informations; pour consolider la justesse et la validité de futures recherches dans le domaine de la cartographie des risques et de la susceptibilité aux aléas géologiques notamment les glissements de terrain, et allez vers des Plan National de Gestion des Risques et Désastres.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Aditian A, Kubota T, Shinohara Y (2018) Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology* 318:101–111 ISO 690.
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44.
- Anderson, M. G., & Burt, T. P. (1978). The role of topography in controlling throughflow generation. *Earth Surface Processes*, 3(4), 331-344.
- Aronoff, S. (1989). *Geographic information systems. A management perspective*, 1989.
- Atkinson, P. M., & Massari, R. (1998). Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy. *Computers & Geosciences*, 24(4), 373-385.
- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1), 15-31.

B

- Bai, S. B., Wang, J., Lü, G. N., Zhou, P. G., Hou, S. S., & Xu, S. N. (2010). GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China. *Geomorphology*, 115(1-2), 23-31.
- Bendjeddou, A., (2015). *Etude des glissements routiers au Nord Est de l'Algérie. Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider – Biskra, 159p.*
- Besson, L.: *Les risques naturels en montagne: traitement-prévention-surveillance. Editions Art ' es – Publiaip, Grenoble, 1996 (in French).*
- Bilodeau, C. (2006). *Cartographie des zones exposées aux glissements de terrain dans les dépôts meubles: Saguenay-Lac-Saint-Jean guide d'utilisation des cartes de zones de contraintes et d'application du cadre normatif.*

- Bonham-Carter, G. F. (1994). *Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS*. Computer methods in the geoscientists, Elsevier, Burlington, 13, 398p.
- Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., & Wright, D. F. (1988). Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. *Digital Geologic and Geographic Information Systems*, 15-23.
- Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., & Wright, D. F. (1989). Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. *Statistical applications in the earth sciences*, 89(9), 171-183.
- Bouroubi Ouadfel, Y., (2009). *Étude hydrogéologique du synclinal de la Taoura. Fonctionnement et évaluation des ressources en eau souterraine*. Magister, Université de Constantine. 184p.
- Bouroubi Ouadfel, Y., (2017), *Caractérisation et fonctionnement du système géothermique de la région Souk Ahras-Taoura par l'approche géochimique et isotopique (Algérie extrême Nord oriental)*. Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine 1, 185p.
- Baaouague, A., (2010). *Les argiles de la région de Souk-Ahras: Identification, caractérisation, cartographie et impact sur l'environnement*. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 136p.
- Bourouga. M., (2015), *Déminéralisation des eaux de forage de la région d'Ouled Abbès et son impact sur l'environnement (Souk Ahras, extrême Nord-Est Algérien)*. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 133p.
- Brunsdon, D., & Prior, D. B. (1984). *Slope instability*.

C

- Caloz, R., Blaser, T. J., & Willemin, G. (1993). Création d'une ortho-image à l'aide d'un modèle numérique d'altitude-Influences des modes de ré-échantillonnage radiométrique. *aupelf-uref*. Les Presses de l'université du Québec, 17-30.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P., (1991) *GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard*, *Earth Surface Process & Landforms*, 16, 427-445.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. In *Geographical information systems in assessing natural hazards* (pp. 135-175). Springer, Dordrecht.

- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural hazards*, 20(2-3), 117-135.
- Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg limits of soils. *Public roads*, 13(8), 121-136.
- Casagrande, A. (1958). Notes on the design of the liquid limit device. *Geotechnique*, 8(2), 84-91.
- Castany, G. (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie (No. BOOK). Bordas.
- Chassagneux, D., Stieljes, L., Mouroux, P., Ménilliet, F., & Ducreux, G. H. (1996). Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse-pluie) à l'échelle départementale. Approche méthodologique dans les Alpes de Haute-Provence. Rapport BRGM n R39218, 6.
- Chabbi A., Chouabbi A., Chermiti A., Ben Youssef M., Kouadria T. & Ghanmi M. (2016). La mise en évidence d'une nappe de charriage en structure imbriquée : cas de la nappe tellienne d'Ouled Driss, Souk Ahras, Algérie. *Courrier du Savoir - N°21*, 149-156.
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernandez, T., & El Hamdouni, R. (2006). Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(4), 341-411.
- Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Bui, D. T., ... & Ma, J. (2017). A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *Catena*, 151, 147-160.
- Collin, A. (1846). Recherches experimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux, accompagnées de considerations sur quelques principes de la mécanique terrestre par Alexandre Collin. Carilian-Goeury.
- Corominas, J., & Mavrouli, J. (2011). Living with landslide risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies. Documento técnico, SafeLand. 7th Framework Programme Cooperation Theme, 6.
- Costet, J., Sanglerat, G., Biarez, J., & Lebel, P. (1969). Cours pratique de mécanique des sols. Dunod.

Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. Transportation research board special report, (247).

D

Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T., & Nishino, K. (2008). GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 54(2), 311-324.

Dai, F. C., Lee, C. F., & Ngai, Y. Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering geology*, 64(1), 65-87.

David L., (1956). Etude géologique des monts de la haute Medjerda. Thèse Sci. Paris. Publ. Serv. Carte géol. Algérie. 304p.

Densmore, A. L., & Hovius, N. (2000). Topographic fingerprints of bedrock landslides. *Geology*, 28(4), 371-374.

Dewitte, O., Chung, C. J., & Demoulin, A. (2006). Reactivation hazard mapping for ancient landslides in West Belgium. *Natural Hazards and Earth System Science*, 6(4), 653-662.

Dietrich, W. E., Wilson, C. J., Montgomery, D. R., & McKean, J. (1993). Analysis of erosion thresholds, channel networks, and landscape morphology using a digital terrain model. *The Journal of Geology*, 101(2), 259-278.

Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., & Ibsen, M. L. (1996). Landslide recognition: identification, movement and causes, International Association of Geomorphologists, Publication No. 5, John Wiley and Sons, Chichester, 1996, 251 p.

Djaba. H., (2010). Ressources en eau et perspectives de gestion intégrée dans le bassin versant De Medjerda (Souk Ahras, Nord-Est d'Algerie). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 155p.

Durand-Delga M., (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berberie, Publ. Serv. Carte géol. Algérie, nouv. Série, n°39, 9,1969, pp.89-131.

E

ETIENNE, D. (2007). Evaluation quantitative et cartographie du risque" glissement de terrain" Application au Bassin de Barcelonnette.

Ewitte. O., (2006), Cinématique de glissements de terrain et prédiction de leur réactivation : approche probabiliste dans la région d'oudenaarde. Thèse de doctorat, Université de Liège, 221p.

F

Fell, R. (1994). Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal*, 31(2), 261-272.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 99-111.

Fell, R. O. B. I. N., & Hartford, D. (1997, February). Landslide risk assessment. In *Landslide risk assessment, Proceedings of the international workshop on landslide risk assessment*, edited by: Cruden, D. and Fell (pp. 51-110).

Flageollet, J. C. (1989). *Les mouvements de terrain et leur prévention* (Vol. 41). Masson.

Flageollet, J. C. (1996). The time dimension in the study of mass movements. *Geomorphology*, 15(3-4), 185-190.

Flandrin, J. (1934). Carte géologique N° 77 de Souk-Ahras, 1:50,000. / Service [de la carte] géologique de l'Algérie.

Fressard, M. (2013). *Les glissements de terrain du Pays d'Auge continental (Normandie, France) Caractérisation, cartographie, analyse spatiale et modélisation* (Doctoral dissertation, Université de Caen).

G

Gallo, F. (2014). *Glissements de terrain et érosion des chaînes de montagnes: étude de cas dans l'Himalaya central* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

García-Rodríguez, M. J. & Malpica, J. A. (2010). Assessment of earthquake-triggered landslide susceptibility in El Salvador based on an Artificial Neural Network model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(6), 1307.

Gökceoglu, C., & Aksoy, H. (1996). Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Engineering Geology*, 44(1-4), 147-161.

Guesmi. I., (2004), Dégradation de la qualité de l'eau dans l'oued de Medjerda (Souk Ahras). Mémoire de magister, Université de Batna 89p.

- Gunzburger, Y. (2004). Rôle de la thermique dans la prédisposition, la préparation et le déclenchement des mouvements de versants complexes: exemple des Rochers de Valabre (Alpes-Maritimes) (Doctoral dissertation, Vandoeuvres-les-Nancy, INPL).
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Cipolla, F., Sebastiani, C., Galli, M., & Salvati, P. (2004). Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. *Engineering Geology*, 73(3-4), 229-245.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), 42-66.

H

- Hadji R, Boumazbeur A, Limani Y, Baghem M, Chouabi A, (2013) Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: A case study of Souk Ahras region, NE Algeria. *Quaternary International*. 302: 224-237.
- Hadji R, Limani Y, Boumazbeur A, Demdoum A, Zighmi K, Zahri F, Chouabi A (2014). Climate change and their influence on shrinkage - swelling clays susceptibility in a semi - arid zone: a case study of Souk Ahras municipality, NE-Algeria. *Desalination and Water Treatment* 52 (10-12): 2057-2072.
- Hansbo, S. (1957). New approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test.
- Hansen, J., Lacis, A., Rind, D., Russell, G., Stone, P., Fung, I., ... & Lerner, J. (1984). Climate sensitivity: Analysis of feedback mechanisms. *Climate processes and climate sensitivity*, 130-163.
- Hartlen, J., & Viberg, L. (1988). Evaluation of Landslide Hazard-General Report. In *Proceedings of 5th International Symposium on Landslides Lausanne (Vol. 2, pp. 1037-1057)*.
- Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (2000). Interpretation of the fitted logistic regression model. *Applied Logistic Regression, Second Edition*, 47-90.

Houlsby, G. T. (1982). Theoretical analysis of the fall cone test. *Géotechnique*, 32(2), 111-118.

Hungr, O., Evans, S. G., & HUTCHINSON, I. (2001). A Review of the Classification of Landslides of the Flow Type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7(3), 221-238.

I

Ibsen, M. L., & Brunsten, D. (1996). The nature, use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight. *Geomorphology*, 15(3-4), 241-258.

Iverson, R. M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water resources research*, 36(7), 1897-1910.

IUGS, 1997. Quantitative risk assessment for slopes and landslides — the state of the art. In: Cruden, D., Fell, R. (Eds.), *Landslide Risk Assessment*. Balkema, Rotterdam, pp. 3–12.

J

Jacobs L, Dewitte O, Poesen J, Sekajugo J, Nobile A, Rossi M, Kervyn M (2018) Field-based landslide susceptibility assessment in a data scarce environment: the populated areas of the Rwenzori Mountains. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 18(1):105–124.

K

Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S., & Gupta, R. P. (2012). *Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping—A Review*.

Kavzoglu, T., Sahin, E. K., & Colkesen, I. (2015). An assessment of multivariate and bivariate approaches in landslide susceptibility mapping: a case study of Duzkoy district. *Natural Hazards*, 76(1), 471-496.

Khoualdia. W., Hammar. Y., (2017), Contribution a l'étude de la sécheresse et concepts des modèles probabilistes « cas de la région de Souk Ahras, Algérie », *courrier du savoir*, 149-158.

Koumoto, T., & Houlsby, G. T. (2001). Theory and practice of the fall cone test. *Géotechnique*, 51(8), 701-712.

- Kriviakine B., Kovalenko E. & Vnouchkov V., 1989 a. Cartes géologiques de Souk Ahras (N° 77) et Oued Mougras (78) au 1/50 000. Ed. Service de la carte géologique, d'Algérie.
- Kriviakine B. Kovalenko M. et Vnouchkov V. (1989 b). Explanatory note of the geological map 1:50 000, Map number 100 of M'Daourouch. National Mining Research Company, Boumerdes, Algeria.
- Kriviakine, B., Kovalenko, E., Vnouchkov, V., Dereski, B. (1990). Rapport final sur les résultats de l'étude complémentaire des feuilles N0 : 77 Souk-Ahras, N° : 78 Oued Mougras, N° : 100 M'Daourouche à l'échelle : 1/50 000.

L

- Lebourg, T. (2000). Analyse géologique et mécanique de glissements de terrain dans des moraines des Pyrénées centrales et occidentales (France) (Doctoral dissertation, Bordeaux 1).
- Lee, S. & Evangelista, D. G. (2006). Earthquake-induced landslide-susceptibility mapping using an artificial neural network. *Natural Hazards and Earth System Science*, 6(5), 687-695.
- Lee, S., & Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental geology*, 40(9), 1095-1113.
- Lee, S., & Sambath, T. (2006). Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50(6), 847-855.
- Lee, S., & Talib, J. A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 47(7), 982-990.
- LE RISQUE, D. T. (2008). Etude pour la réalisation d'une cartographie et d'un Système d'information Géographique sur les risques majeurs au Maroc.
- Le Roux, A. (1972). Caractéristiques mécaniques des roches argileuses en relation avec leur texture. *Bull. liaison Labo. ponts et chaussées*, 61, 155-175.
- Levasseur, M. (2003). Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa (glissement de terrain): exemple d'application au secteur de Ville de La Baie, Québec (Doctoral dissertation, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique).

Lopez Saez, J. (2011). Reconstruction de l'activité des glissements de terrain au moyen d'une approche dendrogéomorphologique (Moyenne vallée de l'Ubaye, Alpes de Haute Provence) (Doctoral dissertation, Grenoble).

M

Mahtali H. (2009). Identification of swelling potential of a Souk Ahras Area soil, Proceeding of International Symposium of No Saturated Soil and Environment, Tlemcen, 2009, p. 156.

Maquaire, O. (2002). Aléas géomorphologiques (mouvements de terrain):-processus, fonctionnement, cartographie (Doctoral dissertation).

Maquaire, O., Malet, J. P., & Sailhac, P. (2006). Glissements alpins à contrôle hydrologique et changements climatiques Projet ACI-FNS GACH2C 2005-2007. Rapport intermédiaire.

Mateso, J. C. M., & DEWITTE, O. (2014). Vers un inventaire des glissements de terrain et des éléments à risque sur les versants du Rift à l'ouest du lac Kivu (RDC). *Geo-Eco-Trop*, 38(1), 137-154.

McCalpin, J. (1984, April). Preliminary age classification of landslides for inventory mapping. In Proceedings 21st annual Engineering Geology and Soils Engineering Symposium (pp. 5-6).

McFadden, D. (1973). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. University of California . Berkeley, California.

Mebarki, A., (2005). Hydrologie des bassins de l'est algérien: ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantine. 360 p.

Meghraoui, M., Amponsah, P., Ayadi, A., Ayele, A., Ateba, B., Bensuleman, A., ... & Roos, M. (2016). The seismotectonic map of Africa. *Episodes*, 39(1), 9-18.

Mouroux, P., Margron, P., & Pinte, J. C. (Eds.). (1988). La construction économique sur sols gonflants (Vol. 14). Editions BRGM.

N

Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., & Sonmez, H. (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97(3-4), 171-191.

- Neuhäuser, B., & Terhorst, B. (2007). Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany). *Geomorphology*, 86(1), 12-24.
- Nemčok, A., Pašek, J., & Rybář, J. (1972). Classification of landslides and other mass movements. *Rock mechanics*, 4(2), 71-78.
- Nourani, V., Pradhan, B., Ghaffari, H., & Sharifi, S. S. (2014). Landslide susceptibility mapping at Zonouz Plain, Iran using genetic programming and comparison with frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Natural hazards*, 71(1), 523-547.

P

- Platel J.P., Estève A., Tomera L. (2004). Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles du département de la Gironde, BRGM/RP-53382, 223 pages.
- Poiraud, A. (2007). Instabilité des versants dans le bassin tertiaire du Puy-en-Velay (Massif central, France): facteurs de contrôle et cartographie des susceptibilités. Mémoire de master, université Blaise-Pascal (Clermont-Ferrand 2).
- Pradhan, B., & Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 747-759.
- Pradhan, B., Oh, H. J., & Buchroithner, M. (2010). Weights-of-evidence model applied to landslide susceptibility mapping in a tropical hilly area. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1(3), 199-223.

R

- Rathnaweera, T. D., Palihawadana, M. P., Rangana, H. L. L., & Nawagamuwa, U. P. (2013). Effects of climate change on landslide frequencies in landslide prone districts in Sri Lanka; Overview.
- Regmi, N. R., Giardino, J. R., & Vitek, J. D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1), 172-187.
- Riblet. J., (1952). Problèmes d'insolation perspectographe stéréographique applique à la détermination de la réduction par les obstacles des durées d'insolation, *Revue de géographie de Lyon*, vol. 27, n°4, 1952. pp. 391-412.

Rouet, I. (2009). Caractérisation et éléments de quantification d'aléas naturels liés à l'évolution des versants dans les massifs ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie (Doctoral dissertation, Nouvelle Calédonie).

Algériennes, R. P. (2003). RPA 99-version 2003. Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algiers, Algeria.

S

Samai, I., (2017) Etude des relations sol-végétation de la chênaie d'Ouled Bechih (Souk-Ahras) « dynamique de la matière organique ». Thèse de doctorat, université Badji Mokhtar-Annaba, 175p.

Seed, H. B., & Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of the soil mechanics and foundations division*, 88(3), 53-88.

Snethen, D. R., Johnson, L. D., & Patrick, D. M. (1977). An investigation of the natural microscale mechanisms that cause volume change in expansive clays.

Spiker EC, Gori PL (2000) National landslide hazards mitigation strategy: a framework for loss reduction. Open-file report 00-450, Department of Interior, U.S.G.S., USA, 49 pp.

Spiegelhalter, D. J., & Knill-Jones, R. P. (1984). Statistical and knowledge-based approaches to clinical decision-support systems, with an application in gastroenterology. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 35-77.

Spiker EC, Gori PL (2003) Partnerships for reducing landslide risk: assessment of the national landslide hazards mitigation strategy. The National Academy of Sciences Press, Washington, DC.

Soeters, R., & Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides: investigation and mitigation*, 247, 129-177.

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.

T

Terzaghi, K. (1927). Determination of consistency of soils by means of penetration tests. American Society of Civil Engineers.

Thiery, Y., Malet, J. P., Sterlacchini, S., Puissant, A., & Maquaire, O. (2007). Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: application to a complex mountainous environment. *Geomorphology*, 92(1), 38-59.

Tunusluoglu, M. C., Gokceoglu, C., Sonmez, H., & Nefeslioglu, H. A. (2007). An artificial neural network application to produce debris source areas of Barla, Besparmak, and Kapi Mountains (NW Taurids, Turkey). *Natural Hazards and Earth System Science*, 7(5), 557-570.

V

Van Westen, C. J. (1993). Remote sensing and geographic information systems for geologic hazard mitigation. *ITC journal*, (4), 63-71.

Van Westen, C. J. (2000). The modelling of landslide hazards using GIS. *Surveys in Geophysics*, 21(2-3), 241-255.

Van Westen, C. J., Rengers, N., & Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural hazards*, 30(3), 399-419.

Van Westen, C. J., Rengers, N., Terlien, M. T. J., & Soeters, R. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geologische Rundschau*, 86(2), 404-414.

Van Westen, C. J., Van Asch, T. W., & Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?. *Bulletin of Engineering geology and the Environment*, 65(2), 167-184.

Varnes, D. J. (1958). Landslide types and processes. *Landslides and engineering practice*, 24, 20-47.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special report*, 176, 11-33.

Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, France, ISBN 92-3-101895-7, 63p.

Vila J.M., (1980). *La chaîne alpine d'Algérie nordoriental et des confins Algéro-tunisiens*. Thèse de doctorat d'état en science. Université Pierre et Marie Curie, France. 665p.

Vila, J. M., (1993). *Mise au point et données nouvelles sur les terrains triasiques des confins algéro-tunisiens : Trias allocthone, « galciens de sel » sous-marins et vrais diapirs*. Trias'93 mémoires du service géologique de l'Algérie n° :6, 159p.

W

Wang LJ, Guo M, Sawada K, Lin J, Zhang J (2016) A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency

ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network.
Geosci J 20(1):117–136.

Wieczorek, G. F. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 4-
Landslide triggering mechanisms. Transportation Research Board Special
Report, (247).

Wilson JP, Gallant JC (eds) (2000) Terrain analysis: principles and applications. John
Wiley & Sons, Hoboken.

X

Xu, C., Dai, F., Xu, X., & Lee, Y. H. (2012). GIS-based support vector machine
modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang
River watershed, China. *Geomorphology*, 145, 70-80.

Y

Yalcin, A., & Bulut, F. (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS and
digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-
Turkey). *Natural Hazards*, 41(1), 201-226.

Yesilnacar, E., & Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: a comparison of
logistic regression and neural networks methods in a medium scale study,
Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3), 251-266.

Z

Zaruba, Q. MENCL, 1982;" Landslides and their Cont rol.

Zouaidia. H., (2006), Bilan des incendies des forêts dans l'est Algérien cas de Mila,
Constantine, Guelma et Souk-Ahras. Mémoire de Magister, Université des
Frères Mentouri Constantine, 153p.

ANNEXE I

**RESULTATS DES ESSAIS DE
BLEU DE METHYLENE
(NORME NF P 94-068) POUR
LES 14 ECHANTILLONS
ETUDIES**



Structure : <i>Contrôle</i>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° : <i>1</i>	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <i>1</i>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau : <i>S.P.U.K. AHKAS</i>	Date de prélèvement : <i>11/10/2016</i>		
Sondage N° : <i>01</i>	Puits : <i>01</i>	Profondeur : <i>1</i>	Date d'essai : <i>11/10/2016</i>
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué			% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec : <i>1</i>
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (m_{h1})	w	<i>/</i>	<i>/</i>
Masse humide de la deuxième prise d'essai (m_{h2})	w	<i>/</i>	<i>/</i>
Masse sec de la deuxième prise d'essai (m_{s2})	w	<i>/</i>	<i>/</i>
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	<i>/</i>	<i>/</i>
Teneur en eau ($W = \frac{m_{h2} - m_{s2}}{m_{s2}}$)	(%)	<i>W = 0.00</i>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{m_{h1}}{1+W}$)	w	<i>m20 = 30g</i>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm^3)	<i>V = 75 ml</i>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) $B = V \times 0.01$	(cm^3)	<i>/</i>	<i>/</i>
Si $D_{max} < 5$ mm; ($\gamma_{Bz} = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	<i>/</i>	<i>/</i>
Si $D_{max} > 5$ mm; ($\gamma_{Bz} = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<i>VB = 2.5</i>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon :</p> <p>le D max du matériau est sup à 50 mm</p> <p>Le D max du matériau est <i>30 mm</i></p> <p>Séparer par tamisage <i>P = 30 g</i></p> <p>Déterminer la per <i>le que (m) du matériau humide telle que (m) > 200 D max</i></p> <p>Si le D max <i>le que (m) > 200 D max</i></p> <p>Quart <i>de projet : cartographie</i></p> <p>Pr <i>des glissements de terrain</i></p> <p>F <i>dans la région de SOK-AHRAS</i></p> <p><i>ECH 01</i></p>	NFP 94-068	Diviseur N Ident : <i>103500409</i>
<i>V0 = 100cc</i>	1) cm^3 d'eau déminéralisée et	Chronomètre N Ident : <i>ELERT.13061</i>
<i>V1 = 20cc</i>		Etuve N Ident : <i>020594</i>
<i>V2 = 30cc</i>	10 cm^3 de solution (suivant	Agitateur à ailettes N Ident : <i>201149</i>
<i>V3 = 40cc</i>	à l'apparition de l'auréole bleu	Burette graduée N Ident : <i>2.5 ml</i>
<i>V4 = 50cc</i>	1 minute (sans ajout de solution)	Thermomètre N Ident : <i>/</i>
<i>V5 = 60cc</i>	des pas de 2 à 5 cm^3 selon l'argilosité	
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom <i>FEDDIK</i> Signature <i>[Signature]</i>	Responsable Nom et Prénom Signature



Structure : <i>Carrière</i>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° : <i>1</i>	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <i>0.21</i>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau : <i>SOUK AHRAS</i>	Date de prélèvement :		
Sondage N° : <i>0.21</i>	Puits : <i>0.21</i>	Profondeur :	Date d'essai : <i>17/10/2016</i>
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué			% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	ω	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	ω	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	ω	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<i>W = 0.00</i>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	ω	<i>m₂₀ = 30g</i>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<i>V = 115 ml</i>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<i>VB = 3.83</i>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon : Le D max du matériau est sup à 50 mm Le D max du matériau est <i>P = 30g</i> Séparer par tamisage Déterminer la proportion pondérale D max > 4 50 Si le D max</p> <p><i>Le matériau : Sol</i></p> <p>Quart <i>Le projet : Cartographie des</i> Pr <i>établissements de terrain dans la</i> I <i>région de Souk-Ahras</i></p> <p><i>ECH02</i></p> <p><i>V₀ = 10cc</i> <i>V₄ = 50cc</i> <i>V₁ = 20cc</i> <i>V₃ = 40cc</i> <i>V₂ = 30cc</i></p>	NFP 94-068	<p>Diviseur N Ident : <i>4025.00409</i></p> <p>Chronomètre N Ident : <i>115.0113061</i></p> <p>Eau N Ident : <i>D20.594</i></p> <p>Agitateur à ailettes N Ident : <i>D20.149</i></p> <p>Burette graduée N Ident : <i>25 ml</i></p> <p>Thermomètre N Ident :</p>
<p>0) cm³ d'eau déminéralisée et</p> <p>10 cm³ de solution (suivant</p> <p>qu'à l'apparition de l'aurole bleu</p> <p>en minute (sans ajout de solution)</p> <p>des pas de 2 à 5 cm³ selon l'argilosité</p>		
<p>Observation:</p> <p>Chargé d'essai Nom et Prénom Signature <i>J. EDOK</i></p>		<p>Responsable Nom et Prénom Signature</p>



Structure : <u>voies route</u>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° : <u>1</u>	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <u>03</u>			
Provenance du matériau : <u>SOUK AHRAS</u>	Date de prélèvement : <u>1</u>		
Sondage N° : <u>1</u>	Puits : <u>03</u>	Profondeur : <u>1</u>	Date d'essai : <u>19/07/2016</u>
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué		% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :	
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	ω	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	ω	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	ω	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_1 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<u>W = 0.00</u>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	ω	<u>m₀ = 30g</u>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<u>V = 55 ml</u>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_{Bt} = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_{Bt} = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<u>VB = 1.83</u>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon : le D max du matériau est sur <u>P = 30 mm</u> Le D max du matériau <u>le projet : cartographie</u> Séparer par tamis <u>le matériau : sol</u> Déterminer la D max > <u>des épaissements de benon</u> Si le D max > <u>la région de Souk AHRAS</u> Que dans <u>BEH03</u></p>	NFP 94-068	Diviseur N Ident : <u>103500409</u>
<p>10) cm³ d'eau déminéralisée et</p>		Chronomètre N Ident : <u>5160713061</u>
<p>à 10 cm³ de solution (suivant</p>		Etrve N Ident : <u>D20594</u>
<p>jusqu'à l'apparition de l'aurole bleu</p>		Agitateur à ailettes N Ident : <u>D20594</u>
<p>en minute (sans ajout de solution)</p>		Burette graduée N Ident : <u>25 ml</u>
<p>des pas de 2 à 5 cm³ selon l'argilosité</p>		Thermomètre N Ident :
<p>Observation:</p>	Chargé d'essai Nom et Prénom <u>LEDJIK</u> Signature	Responsable Nom et Prénom Signature



Structure : <i>ventrôlée</i>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° :	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <i>4</i>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau : <i>SOUK AHRAS</i>	Date de prélèvement :		
Sondage N° :	Puits : <i>Sol</i>	Profondeur :	Date d'essai : <i>7.8.10.71.2016</i>
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué			% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	(g)	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	(g)	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	(g)	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_1 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<i>W = 0.00</i>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	(g)	<i>m₀ = 30 g</i>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<i>V = 35 ml</i>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($V_{Bx} = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($V_{Bx} = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<i>VB = 1.76</i>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon :</p> <p>le D max du matériau est sup à 50 mm</p> <p>Le D max du matériau est <i>P = 30 g</i></p> <p>Séparer par tamisage <i>Le matériau : Sol</i></p> <p>Déterminer la proportion pondérale du matériau ou dans sa fraction 0/50 mm lorsque le D max > à 50 mm</p> <p>Si le D max > à 50 mm le que (m) > 200 D max</p> <p>Quart <i>Le projet : cartographie des équipements de terrain dans la région de SOUK AHRAS</i></p> <p>Préparation : <i>50 ml d'eau déminéralisée et</i></p> <p><i>t₃ = 3 min</i></p> <p><i>t₄ = 4 min</i></p> <p><i>t₂ = 2 min</i></p> <p><i>t₅ = 5 min</i></p> <p><i>t₁ = 1 min</i></p> <p><i>V₀ = 10 cc</i></p> <p><i>V₁ = 20 cc</i></p> <p><i>V₂ = 30 cc</i></p> <p><i>V₃ = 35 cc</i></p> <p><i>Tremper</i></p>	NFP 94-068	<p>Diviseur N Ident : <i>1035.00409</i></p> <p>Chronomètre N Ident : <i>13061</i></p> <p>Etuve N Ident : <i>020594</i></p> <p>Agitateur à billes N Ident : <i>101149</i></p> <p>Burette graduée N Ident : <i>205 ml</i></p> <p>Thermomètre N Ident : <i>1</i></p>
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom Signature <i>JEDDIK Jmg</i>	Responsable Nom et Prénom Signature



Structure : <i>Centrale</i>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NFP 94-068
Dossier N° : <i>1</i>	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <i>05</i>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau : <i>SOUK-AHRAS</i>	Date de prélèvement :		
Sondage N° : Puits <i>05</i>	Profondeur : <i>1</i>	Date d'essai : <i>17/04/2016</i>	
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué	% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :		
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	ω	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	ω	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	ω	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<i>W = 0.00</i>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	ω	<i>m₀ = 30g</i>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<i>V = 220ml</i>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<i>VB = 7.33</i>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon :</p> <p>Le D max du matériau est sup à 50</p> <p>Le D max du matériau est <i>P = 30g</i></p> <p>Séparer par tamisage</p> <p>Déterminer la proportion du matériau humide telle que (m) > 200 D max</p> <p>D max > 450</p> <p>Si le D max</p> <p>Le matériau : <i>Sol</i></p> <p>Le projet : <i>cartographie des infrastructures de chemin dans la région de Souk-Ahras</i></p> <p><i>EVH05</i></p>	NFP 94-068	Diviseur N Ident : <i>203510409</i>
<p>3^l d'eau déminéralisée et</p> <p><i>V0 = 10cc</i> <i>V6 = 70cc</i></p> <p><i>V8 = 90cc</i> <i>V7 = 80cc</i></p> <p><i>V5 = 60cc</i></p> <p><i>V2 = 20cc</i> <i>V9 = 100cc</i></p> <p><i>V3 = 40cc</i> <i>V4 = 50cc</i></p>	m ³ de solution (suivant	Chronomètre N Ident : <i>2152113061</i>
		Etuve N Ident : <i>2005904</i>
		Agitateur à ailettes N Ident : <i>2201149</i>
		Burette graduée N Ident : <i>215 ml</i>
		Thermomètre N Ident :
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom Signature <i>JEDDIK</i>	Responsable Nom et Prénom Signature



Structure : <i>échantillon</i>	Feuille d'essai de laboratoire	Document de référence NF P 94-068
Dossier N° : <i>1</i>	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS	Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <i>05</i>		
Provenance du matériau : <i>SOUK-AHRAS</i>	Date de prélèvement :	
Sondage N° : <i>1</i> Puits : <i>N° 7</i> Profondeur :	Date d'essai : <i>18.10.2015</i>	
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué	% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :	
Expression des résultats		
Désignation	Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	<i>/</i>	<i>/</i>
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	<i>/</i>	<i>/</i>
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	<i>/</i>	<i>/</i>
Déterminer la proportion pondérale (C)	<i>/</i>	<i>/</i>
Teneur en eau ($W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$)	<i>W = 0.00</i>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	<i>m₀ = 30g</i>	
Volume du bleu introduit (V)	<i>V = 200ml</i>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	<i>/</i>	<i>/</i>
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times 100$)	<i>/</i>	<i>/</i>
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	<i>VB = 7.33</i>	
Mode opératoire		

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
Préparation de l'échantillon : le D max du matériau est sup' <i>P = 30g</i> Le D max du matériau <i>le matériau humide telle que (m) > 200 D max</i> Séparer par tamisage <i>Séparer par tamisage</i> Déterminer la proportion pondérale <i>le matériau ou dans sa fraction 0/50 mm lorsque le</i> D max > 4 50 <i>que (m) > 200 D max</i> Si le D max <i>est supérieur à 200 D max</i>	NFP 94-068	Diviseur N Ident : <i>103500409</i>
Quart <i>Sur projet : Cartographie des</i> Pro <i>glissements de terrain dans les</i> D <i>regions de SOUK-AHRAS</i> 7 <i>ERM 7</i>	cm ³ d'eau déminéralisée et	Chronomètre N Ident : <i>010013061</i> Eauve N Ident : <i>120594</i>
Pré <i>V₀ = 100cc</i> clair <i>V₁ = 200cc</i> la goutte <i>V₂ = 300cc</i> L'essai est <i>V₃ = 400cc</i> Si l'aurole est <i>V₄ = 500cc</i> Reprendre l'essai <i>V₅ = 600cc</i> Prendre le volume <i>V₆ = 700cc</i> Laver le récipient et les <i>V₇ = 800cc</i> <i>V₈ = 900cc</i> <i>V₉ = 700cc</i>	0 cm ³ de solution (suivant	Agitateur à billes N Ident : <i>021149</i> Burette graduée N Ident : <i>215 ml</i>
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom <i>JEDDIK</i> Signature <i>[Signature]</i>	Responsable Nom et Prénom Signature



Structure : <u>Centrale</u>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° :	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <u>09</u>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau : <u>SOUK AHRAS</u>	Date de prélèvement :		
Sondage N° :	Puits : <u>09</u>	Profondeur :	Date d'essai : <u>19/10/2015</u>
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué		% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :	
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	(g)	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	(g)	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	(g)	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<u>W = 0.00</u>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	(g)	<u>m₀ = 30g</u>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<u>V = 125 ml</u>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<u>VB = 4.76</u>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon : le D max du matériau est sup à 5 mm Le D max du matériau est : <u>P = 30g</u> Séparer par tamisage Déterminer la proportion pondérale D max > 50 mm : <u>le matériau : Sol</u> Si le D max > 200 D max</p> <p>Quartier de projet : <u>cartographie des infrastructures de chemin dans la région de SOUK AHRAS</u></p> <p>Pré-D : <u>EH09</u></p> <p>V0 = 100cc V1 = 200cc V2 = 300cc V3 = 400cc V4 = 500cc V5 = 600cc V6 = 700cc V7 = 800cc V8 = 900cc</p>	NFP 94-068	<p>Diviseur N Ident : <u>203500009</u></p> <p>Chronomètre N Ident : <u>CAE01306/1</u></p> <p>Eau N Ident : <u>202594</u></p> <p>Agitateur à ailettes N Ident : <u>2021149</u></p> <p>Burette graduée N Ident : <u>205 ml</u></p> <p>Thermomètre N Ident :</p>
Observation:	<p>Chargé d'essai Nom et Prénom : <u>PEDDIK</u> Signature : <u>[Signature]</u></p>	<p>Responsable Nom et Prénom :</p>



Structure : <u>reconstitué</u>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° :	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <u>08</u>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau : <u>SOUK AHRAS</u>	Date de prélèvement :		
Sondage N° :	Puits : <u>10</u>	Profondeur :	Date d'essai : <u>11.10.2016</u>
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué			% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	(g)	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	(g)	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	(g)	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<u>W = 0.00</u>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	(g)	<u>m₀ = 30g</u>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<u>V = 135cc</u>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(g)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_{Bz} = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_{Bz} = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<u>VB = 4.50</u>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon : Le D max du matériau est sup à 5 mm Le D max du matériau est < 5 mm Séparer par tamisage Déterminer la proportion pondérale (C) Si le D max > 5 mm Si le D max < 5 mm</p> <p><u>P = 30g</u> <u>Le matériau est : Sol</u> <u>de projet : Carterographie</u> <u>desissements de terrain à</u> <u>Souk Ahras</u> <u>EH010</u></p> <p><u>v0 = 10cc</u> <u>v1 = 20cc</u> <u>v2 = 30cc</u> <u>v3 = 40cc</u> <u>v4 = 50cc</u> <u>v5 = 60cc</u> <u>v6 = 70cc</u> <u>v5 = 60cc</u></p>	NFP 94-068	<p>Diviseur N Ident : <u>1035.00409</u></p> <p>Chronomètre N Ident : <u>1035.00409</u></p> <p>Etuve N Ident : <u>D20594</u></p> <p>Agitateur à ailettes N Ident : <u>1035.00409</u></p> <p>Burette graduée N Ident : <u>25 ml</u></p> <p>Thermomètre N Ident :</p>
Observation:	<p>Chargé d'essai Nom et Prénom Signature <u>JEDDIK</u></p>	<p>Responsable Nom et Prénom Signature</p>



Structure : <u>vent n°10</u>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° : <u>1</u>	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <u>09</u>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau : <u>SOUK-AHRAS</u>	Date de prélèvement : <u>1910112016</u>		
Sondage N° : <u>11</u> Puits : <u>11</u>	Profondeur : <u>1</u>	Date d'essai : <u>1910112016</u>	
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué	% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :		
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	(g)	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	(g)	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	(g)	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<u>W = 0.00</u>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh}{1+W}$)	(g)	<u>m₀ = 30g</u>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<u>V = 192ml</u>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<u>VB = 6.40</u>	
Mode opératoire			

DESCRIPTION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon</p> <p>Le D max du matériau : <u>Le matériau est un sol</u></p> <p>Le D max du matériau humide telle que (m) > 200 D max</p> <p>Séparer par tamis</p> <p>Déterminer le D max du matériau humide ou dans sa fraction 0/50 mm lorsque le D max du matériau sec (m) > 200 D max</p> <p>Si le D max du matériau est supérieur à 200 D max</p>	NFP 94-068	Diviseur N Ident : <u>103500109</u>
<p>Préparer 10 échantillons de volumes différents (V₁ à V₁₀)</p> <p>Le projet : cartographie des teneurs en eau dans la région de SOUK-AHRAS</p> <p>SEM 11</p> <p>V₀ = 10cc, V₁ = 20cc, V₂ = 30cc, V₃ = 40cc, V₄ = 50cc, V₅ = 60cc, V₆ = 70cc, V₇ = 80cc, V₈ = 90cc, V₉ = 100cc</p>		Chronomètre N Ident : <u>110213061</u>
<p>Placer 10 cm³ d'eau déminéralisée et</p>		Etuve N Ident : <u>220594</u>
<p>à 10 cm³ de solution (suivant</p>		Agitateur à billes N Ident : <u>110213061</u>
<p>jusqu'à l'apparition de l'aurole bleu</p>		Burette graduée N Ident : <u>220594</u>
<p>attente en minute (sans ajout de solution)</p>		Thermomètre N Ident :
<p>avec des pas de 2 à 5 cm³ selon l'argilosité</p>		
<p>Prendre le volume total</p>		
<p>Laver le récipient et les accessoires</p>		
<p>Observation:</p>	<p>Chargé d'essai Nom et Prénom : <u>JEDDIR</u></p> <p>Signature : <u>[Signature]</u></p>	<p>Responsable Nom et Prénom :</p> <p>Signature :</p>



Structure : <u>Controle</u>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° :	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <u>1.0</u>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau : <u>SOUK AHRAS</u>	Date de prélèvement :		
Sondage N° :	Puits : <u>300</u>	Profondeur :	Date d'essai : <u>17.10.2016</u>
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué		% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :	
L'expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	ω	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	ω	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	ω	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_1 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<u>W = 0.00</u>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	ω	<u>m₀ = 30 g</u>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<u>V = 35 ml</u>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<u>VB = 1.76</u>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon : Le D max du matériau est sup à <u>P = 30g</u> Le D max du matériau est <u>le matériau : sol</u> Séparer par tamisage Déterminer la per <u>le projet : Contographie</u> D max > 4 50 <u>de glissements de terrain</u> Si l: D ma <u>dans la région de SOUK AHRAS</u></p>	<p>(m) du matériau humide telle que (m) > 200 D max échantillon ériau ou dans sa fraction 0/50 mm lorsque le e que (m) > 200 D max</p>	<p>NFP 94-068</p>
<p>Quart <u>vo = 100e</u> <u>EH12</u> <u>t2 = 2mm</u></p>	<p>cm³ d'eau déminéralisée et</p>	<p>Diviseur N Ident : <u>103500409</u></p>
<p>Pré <u>vo = 200e</u> <u>t4 = 4mm</u> <u>t3 = 3mm</u> <u>t5 = 5mm</u> <u>t6 = 7mm</u></p>	<p>10 cm³ de solution (suivant</p>	<p>Chronomètre N Ident : <u>015013061</u> Etuve N Ident : <u>220594</u></p>
<p>Pré <u>vo = 300e</u> <u>Teneur</u> <u>vs = 350e</u></p>	<p>à l'apparition de l'aurole bleu n minute (sans ajout de solution) des pas de 2 à 5 cm³ selon l'argilosité</p>	<p>Agitateur à ailettes N Ident : <u>0271148</u> Burette graduée N Ident : <u>015 ml</u></p>
<p>Observation:</p>	<p>Chargé d'essai Nom et Prénom <u>PEDDIK</u> Signature</p>	<p>Responsable Nom et Prénom Signature</p>



Structure : <i>contourle</i>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° : <i>16</i>	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <i>16</i>			
Provenance du matériau : <i>SOUK AHRAS</i>	Date de prélèvement : <i>17/07/2016</i>		
Sondage N° : <i>16</i>	Puits : <i>16</i>	Profondeur : <i>16</i>	Date d'essai : <i>17/07/2016</i>
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué		% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :	
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	(g)	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	(g)	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	(g)	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_1 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<i>W = 0.00</i>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	(g)	<i>m₀ = 30g</i>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<i>V = 1215 ml</i>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_B = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<i>VB = 4.16</i>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon : le D max du matériau est sup à 50 mm → 0/50 mm Le D max du matériau est est <i>le matériau : sol</i> Séparer par tamisage et si <i>P = 30g</i> Déterminer la propor <i>le que (m) > 200 D max</i> D max > 45 mm <i>le que (m) > 200 D max</i> Si le D max d'</p>	NFP 94-068	
<p>Quartier <i>Le projet : Cartographie des</i> Prépa <i>des points de terrain dans la</i> De <i>region de Souk-AHRAS.</i> De <i>EM16</i> V0 = 1000 V5 = 6000 V6 = 7000 V4 = 5000 V1 = 2000 V3 = 4000 V2 = 3000</p>	cm ³ d'eau déminéralisée et	Diviseur N Ident : <i>105500409</i> Chronomètre N Ident : <i>01120113061</i> Etuve N Ident : <i>120594</i>
<p>Préparation de la solution : Laisser <i>l'apparition de l'aurole bleu</i> L'essai es <i>minute (sans ajout de solution)</i> Si l'aurole <i>pas de 2 à 5 cm³ selon l'argilosité</i> Reprendre l'es Prendre le volume Lever le récipient et le</p>	cm ³ de solution (suivant	Agitateur à billes N Ident : <i>201149</i> Burette graduée N Ident : <i>2.5 ml</i> Thermomètre N Ident :
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom <i>FEDDIK</i> Signature	Responsable Nom et Prénom Signature



F5.doc 6

Structure : <u>Contrôle</u>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° : <u>1</u>	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <u>13</u>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache VBS		
Provenance du matériau :	Date de prélèvement:		
Sondage N° : <u>1</u> Puits : <u>Sol</u>	Profondeur: <u>1</u>	Date d'essai: <u>12/10/61/2016</u>	
Mode de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input checked="" type="checkbox"/> Ech reconstitué	% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :		
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	(g)	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	(g)	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	(g)	<u>m₂₀ = 30g</u>	
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_1 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<u>W = 0.00</u>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	(g)	<u>m₂₀ = 30g</u>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<u>V = 130 ml</u>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($V_{Bc} = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($V_{Bc} = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<u>VB = 4.33</u>	
Mode opératoire			

Préparation de l'échantillon	Norme de référence	EQUIPEMENT
Le D max du matériel	NFP 94-068	
Le D max du matériel		
Séparer par <u>Le matériel: Sol</u>	matériau humide telle que (m) > 200 D max	
Déterminer D max	ou dans sa fraction 0/50 mm lorsque le	
Si le <u>Le projet: Contrôles graphiques des</u>	ou (m) > 200 D max	Diviseur N Ident : <u>103500409</u>
<u>alignements de terrain et dans la</u>		
<u>projet de Souk-AHRAS</u>		
<u>Echelle: 1:1</u>		
<u>V₀ = 100cc</u>		Chronomètre N Ident : <u>210213061</u>
<u>V₆ = 700cc</u>		Etuve N Ident : <u>220594</u>
<u>V₅ = 600cc</u>		
<u>V₁ = 200cc</u>		Agitateur à ailettes N Ident : <u>2277149</u>
<u>V₇ = 800cc</u>		Burette graduée N Ident : <u>215 rml</u>
<u>V₄ = 800cc</u>		
<u>V₃ = 400cc</u>		
<u>V₂ = 300cc</u>		Thermomètre N Ident : <u>1</u>
Pré-clair	jusqu'à l'apparition de l'auréole bleu	
la goutte	minute en minute (sans ajout de solution)	
Laisser po	ou avec des pas de 2 à 5 cm ³ selon l'argilosité	
L'essai est pe		
Si l'auréole disp		
Reprendre l'essai à		
Prendre le volume total so		
Laver le récipient et les accessoir		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom Signature <u>FEDDIK</u>	Responsable Nom et Prénom Signature



Structure : <i>ventrille</i>	Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-068
Dossier N° :	Détermination de la Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol		Version : Octobre 1998
Echantillon N° : <i>124</i>	Ou d'un Matériau Rocheux par l'essai à la tache YBS		
Provenance du matériau : <i>SOUK AFRICA</i>	Date de prélèvement :		
Sondage N° :	Puits : <i>18</i>	Profondeur :	Date d'essai : <i>11.10.2016</i>
Mode de prélèvement : <input type="checkbox"/> Ech intact <input type="checkbox"/> Ech Remanié <input type="checkbox"/> Ech reconstitué		% de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec :	
Expression des résultats			
Désignation		Essai 01	Essai 02
Masse humide de la première prise d'essai (mh ₁)	ω	/	/
Masse humide de la deuxième prise d'essai (mh ₂)	ω	/	/
Masse sec de la deuxième prise d'essai (ms ₂)	ω	/	/
Déterminer la proportion pondérale (C)	(%)	/	/
Teneur en eau ($W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$)	(%)	<i>W = 0.00</i>	
Masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$)	ω	<i>m₀ = 30g</i>	
Volume du bleu introduit (V)	(cm ³)	<i>V = 105 ml</i>	
Masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) B = Vx0.01	(cm ³)	/	/
Si D _{max} < 5 mm; ($\gamma_{Bz} = \frac{B}{m_0} \times 100$)	g/100g	/	/
Si D _{max} > 5 mm; ($\gamma_{Bz} = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$)	g/100g	<i>VB = 3.50</i>	
Mode opératoire			

DESIGNATION	Norme de référence	EQUIPEMENT
<p>Préparation de l'échantillon : le D max du matériau est sup à 60 mm Le D max du matériau est : <i>P = 30 mm</i> Séparer par tamisage Déterminer la proportion pondérale : <i>Sol</i> Si le D max > 60 mm : <i>Le projet : cartographie</i> <i>des équipements de terrain dans la région de Souk</i></p>	NFP 94-068	
<p>Quatre (4) cm³ d'eau déminéralisée et de solution (suivant à l'apparition de l'aurole bleu 1 minute (sans ajout de solution) des pas de 2 à 5 cm³ selon l'argilosité</p>		<p>Diviseur N Ident : <i>103500409</i></p> <p>Chronomètre N Ident : <i>0100113061</i></p> <p>Etuve N Ident : <i>020594</i></p> <p>Agitateur à billes N Ident : <i>021149</i></p> <p>Burette graduée N Ident : <i>25 ml</i></p> <p>Thermomètre N Ident :</p>
<p>Observation:</p>	<p>Chargé d'essai Nom et Prénom : <i>PEDDIK</i> Signature</p>	<p>Responsable Nom et Prénom :</p>

ANNEXE II

**RESULTATS DE LA LIMITE
D'ATTERBERG DETERMINEE A
LA COUPELLE DE
CASAGRANDE (SELON LA
NORME NF P 94-051) POUR LES
14 ECHANTILLONS ETUDIES**

Limite de liquidité

Limite de plasticité

N° d'essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
Nombre de coup								
Numéro de la tare								
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m ₂ (g)					H10	G2	A8	H18
tare m ₁					3,74	3,66	3,79	3,74
Masse de l'échantillon humide m = m ₂ - m ₁ (g)					3,08	2,94	3,04	3,04
Masse de l'échantillon sec m ₄ = m ₂ - m ₁ (g)					3,63	3,55	3,66	3,64
Masse de l'eau m _w = m ₂ - m ₄ (g)					0,55	0,61	0,62	0,44
Teneur en eau (W = $\frac{m_w}{m_4} \times 100 = 100 \times \frac{m_2 - m_4}{m_2 - m_1}$) (%)					20,00	18,03	20,36	22,72
Moyenne								
Limites d'Atterberg	W _L = 41 %				W _P =			
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _P	I _p = 21,57							

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 200D		
Tamiser par voie humide au tamis de 400µ m pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	120719
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareille de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	L022.004.07E4
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	L039.001.00
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom	signature
	Responsable Nom et Prénom	signature

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la tare					G7	P1A	B20	A95
Masse de l'ensemble (échantillon humide+ tare) m ₂ (g)					3,60	3,60	3,07	2,80
tare m ₁					2,91	2,86	2,31	2,13
Masse de l'échantillon humide m = m ₂ - m ₁ (g)								
Masse de l'échantillon sec m ₄ = m ₂ - m ₁ (g)					3,47	3,46	2,93	2,69
Masse de l'eau m _w = m ₂ - m ₄ (g)					0,13	0,14	0,14	0,13
Teneur en eau $(W = \frac{m_w}{m_4} \times 100 = 100 \times \frac{m_2 - m_4}{m_2 - m_1})$ (%)					0,36	0,60	0,42	0,16
Moyenne					23,21	23,33	22,18	23,21
Limites d'Atterberg	WL= 48				Wp= 23,08			
Indice de plasticité : Ip= WL - Wp	Ip= 24,91							

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr >200D		
Tamiser par voie humide au tamis de 400µ m pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	L20719
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareille de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N <15 ou N >35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	L02200407E4
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	L239.001A.0
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		

Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom	signature	Responsable Nom et Prénom	signature
--------------	---------------------------------	-----------	------------------------------	-----------

Provenance du matériau ECH03	Date de prélèvement
Sondage N°....., Puits N°.....	Profondeur:.....
	Date d'essai:.....

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité				
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	
N° d'essai									
Nombre de coup									
Numéro de la tare					114	B25	A2	G14	
Masse de l'ensemble (échantillon humide+ tare) m ₁ (g)					4,30	4,47	4,10	4,40	
tare m ₂					2,96	3,13	2,91	3,04	
Masse de l'échantillon humide m = m ₁ - m ₂ (g)									
Masse de l'échantillon sec m _s = m ₁ - m ₂ (g)					4,09	4,25	3,90	4,60	
Masse de l'eau m _w = m ₁ - m _s (g)					1,13	1,12	0,89	1,16	
Teneur en eau (W = $\frac{m_w}{m_s} \times 100 = 100 \times \frac{m_1 - m_s}{m_s}$) (%)					0,21	0,22	0,10	0,16	
Moyenne					18,58	19,64	20,60	17,24	
Limites d'Atterberg	WL=	39%				Wp=	18,91		
Indice de plasticité : Ip= WL - Wp	Ip=	20,05							

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 200D		
Tamiser par voie humide au tamis de 400µ m pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	120719
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareille de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	L02200407E4
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	L03900100
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom	signature
	Responsable Nom et Prénom	signature

Provenance du matériau **ACH.04**
 Sondage N°: , Puits N°: Profondeur:
 Date de prélèvement
 Date d'essai:

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la tare								
Masse de l'ensemble (échantillon humide+ tare) m ₂ (g)					18	09	188	117
tare m ₁					3,48	3,51	3,49	3,48
Masse de l'échantillon humide m = m ₂ - m ₁ (g)					3,08	3,15	3,12	3,04
Masse de l'échantillon sec m _d = m ₁ - m ₁ (g)					/	/	/	/
Masse de l'eau m _w = m ₂ - m ₁ (g)					3,41	3,45	3,42	3,40
Teneur en eau (W = $\frac{m_w}{m_d} \times 100 = 100 \times \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_1}$) (%)					0,33	0,30	0,30	0,36
Moyenne					0,07	0,06	0,07	0,08
Limites d'Atterberg					21,21	20,00	20,30	20,22
Indice de plasticité : Ip = W _L - W _P					Ip = 43,5%		W _P = 21,6%	

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 200D		
Tamiser par voie humide au tamis de 400µ m pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	120719
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	LO2200407E4
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	LO3900100
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteint 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		

Observation: _____

Chargé d'essai Nom et Prénom _____ signature _____

Responsable Nom et Prénom _____ signature _____

ECHOZ

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la tare					H 18	G 50	C 15	A 2
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m ₁					4,50	3,79	3,41	3,15
Masse de la tare m ₂					2,99	3,03	3,13	2,91
Masse de l'échantillon humide m = m ₁ - m ₂					1,51	0,76	0,28	0,24
Masse de l'échantillon sec m _s = m - m _e					3,73	3,22	3,14	3,09
Masse de l'eau m _e = m ₁ - m _s					0,77	0,57	0,27	0,18
Teneur en eau (W = $\frac{m_e}{m_s} \times 100 = 100 \times \frac{m_1 - m_s}{m_s}$) (%)					0,27	0,07	0,07	0,06
Moyenne					36,48	36,84	33,33	33,33
Limites d'Atterberg		W _L = 30				W _p = 37,99		
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _p		I _p = 35,01						

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 2000		
Tamiser par voie humide au tamis de 400 μm pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entrainer de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de Casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	D20719
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainurée et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	D21001
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	D20921
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom	signature
	Responsable Nom et Prénom	signature

Provenance du matériau Date de prélèvement
 Sondage N°: , Puits N°: Profondeur: 5.00 Date d'essai:

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la tare								
Masse de l'ensemble (échantillon humide+ tare) m ₁ (g)					18	18	18	18
tare m ₁					4.10	4.26	4.32	4.18
Masse de l'échantillon humide m = m ₁ - m ₁ (g)					3.05	3.03	2.94	3.05
Masse de l'échantillon sec m ₂ = m ₁ - m ₁ (g)					1	1	1	1
Masse de l'eau m _w = m ₁ - m ₂ (g)					3.90	4.03	4.05	3.90
Teneur en eau (W = $\frac{m_w}{m_2} \times 100$) (%)					0.25	0.94	1.11	0.91
Moyenne					23.52	24.46	24.32	24.17
Limites d'Atterberg	W _L = <u>48.5</u>				W _P = <u>24.17</u>			
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _P	I _p = <u>24.37</u>							

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr >2000		
Tamiser par voie humide au tamis de 400µ m pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	2006 001 07
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareille de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N <15 ou N >35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	02300 107
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	1022.006 07
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteint 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		

Observation: _____ Chargé d'essai signature _____ Responsable signature _____
 Nom et Prénom _____ Nom et Prénom _____

Sondage N°:....., Puits N°:.....

Profondeur:.....

Date de prelevement

Date d'essai:.....

Expression des résultats

Limite de liquidité

Limite de plasticité

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la targe								
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m ₂ (g)					B16	A100	G50	A88
Tare m ₁					3,57	3,55	4,94	3,68
Masse de l'échantillon humide m = m ₂ - m ₁ (g)					2,51	2,37	3,00	2,48
Masse de l'échantillon sec m ₄ = m ₃ - m ₁ (g)								
Masse de l'eau m _w = m ₂ - m ₃ (g)					3,47	3,38	4,05	3,50
Teneur en eau (W _L = $\frac{m_w}{m_2} \times 100 = 100 \times \frac{m_2 - m_3}{m_2}$) (%)					0,90	1,01	1,04	1,02
Moyenne					0,16	0,97	0,19	0,12
Limites d'Atterberg	W _L = 41%				W _p = 17,33%			
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _p	I _p = 23,67							

Mode opératoire

Désignations

Equipment

Désignation N° Identif

Préparation du sol

- Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage
- Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 200µ
- Tamiser par voie humide au tamis de 400µ pour récupérer une masse > 200 g
- Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac
- Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h
- Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C

Détermination de la limite de liquidité

- Vérification de l'appareil de casagrande
- Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide
- Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches
- Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer
- Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande
- Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde
- Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm
- Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai
- Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau
- Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation
- Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois

BOITE DE CASAGRANDE

120719

NF P 94 - 050

BALANCE

L02200407E4

ETUVE

L0390010

Détermination de la limite de plasticité

- Former une boulette à partir de la pâte préparée
- Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux
- La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm
- Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau
- Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau
- Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette

NF P 94 - 050

Observation:

Chargé d'essai
Nom et Prénom

signature

Responsable
Nom et Prénom

signature

Sondage N°: , Puits N°: Profondeur: 3.40 Date d'essai:

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la tare					09	66	A41	H5
Masse de l'ensemble (échantillon humide+ tare) m ₁ (g)					4.35	4.60	4.80	4.60
Tare m ₂					3.14	3.22	3.02	2.91
Masse de l'échantillon humide m = m ₁ - m ₂ (g)					1	1	1	1
Masse de l'échantillon sec m ₄ = m ₁ - m ₃ (g)					4.05	4.15	4.38	4.29
Masse de l'eau m _w = m ₁ - m ₄ (g)					0.31	0.45	0.42	0.31
Teneur en eau (W = $\frac{m_w}{m_4} \times 100 = 100 \times \frac{m_1 - m_4}{m_1 - m_3}$) (%)					0.30	0.35	0.42	0.44
Moyenne					32.96	30.43	32.28	31.50
Limites d'Atterberg	W _L = <u>62%</u>				W _P = <u>31 + 32</u>			
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _P	I _p = <u>30.68</u>							

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbibber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 2000		
Tamiser par voie humide au tamis de 400µ m pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	<u>2006.001.02</u>
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareille de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NFP 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	<u>02300107</u>
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	<u>1022.001.07</u>
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NFP 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom	Responsable Nom et Prénom
	signature	signature

Indage N° : , Puits N° :

Profondeur :

ETA 109

LABORATOIRE

Date d'essai : *06/06/2016*

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
Nombre de coup								
Noméro de la tare								
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m _h					<i>20</i>	<i>117</i>	<i>115</i>	<i>118</i>
Masse m _u					<i>3,57</i>	<i>3,49</i>	<i>3,60</i>	<i>3,80</i>
Masse de l'échantillon humide m _h = m _h - m _u					<i>2,99</i>	<i>2,84</i>	<i>2,91</i>	<i>2,99</i>
Masse de l'échantillon sec m _s = m _u - m _u								
Masse de l'eau m _e = m _h - m _s					<i>3,44</i>	<i>3,35</i>	<i>3,44</i>	<i>3,62</i>
W _L = $\frac{m_e}{m_s} \times 100 = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$ (%)					<i>0,45</i>	<i>0,57</i>	<i>0,53</i>	<i>0,63</i>
W _p = $\frac{m_p}{m_s} \times 100 = \frac{m_p - m_{ps}}{m_s} \times 100$ (%)					<i>0,13</i>	<i>0,14</i>	<i>0,16</i>	<i>0,18</i>
Moyenne					<i>28,88</i>	<i>29,45</i>	<i>29,18</i>	<i>28,51</i>
Limites d'Atterberg								
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _p								

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Préparer le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 2000		
Laver par voie humide au tamis de 400 µm pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamiser dans un bac		
Filtrer sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de Casagrande		
Relaxer la totalité du tamis afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Partir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches		
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Appuyer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque côté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau		
Effectuer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation		
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois		
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui diminue progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformé à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau		
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom <i>A. TALIB + SO FAINE</i>	Responsable Nom et Prénom

BOITE DE CASAGRANDE *1006, 1007, 102*

NF P 94 - 050

BALANCE *L. 022, 001, 1.04*

ETUVE *L. 039, 001, 07.04*

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la tare					H9	H1A	F15	09
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m _h (g)					3,89	4,24	4,03	4,05
tare m _t (g)					2,81	3,05	2,90	3,15
Masse de l'échantillon humide m = m _h - m _t (g)					3,66	3,98	3,80	3,77
Masse de l'échantillon sec m _s = m - m _e (g)					0,85	0,95	0,90	0,77
Masse de l'eau m _e = m - m _s (g)					0,23	0,26	0,23	0,17
Teneur en eau (W = $\frac{m_e}{m_s} \times 100 = 100 \times \frac{m_e}{m_s}$) (%)					27,05	27,36	25,55	25,10
Moyenne							26,24	
Limites d'Atterberg	W _L = 52%					W _P		
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _P								

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
<i>Préparation du sol</i>		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 2000		
Tamiser par voie humide au tamis de 400 μm pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entrainer de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
<i>Détermination de la limite de liquidité</i>		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	D20719
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	D21001
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	D20975
<i>Détermination de la limite de plasticité</i>		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom	signature
		Responsable Nom et Prénom
		signature

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la tare					015	HA	PK	EP
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m ₂					3.50	3.74	3.50	4.30
Tare m ₁					3.14	3.03	3.13	3.00
Masse de l'échantillon humide m = m ₂ - m ₁								
Masse de l'échantillon sec m _s = m ₃ - m ₁					3.05	3.63	3.44	4.11
Masse de l'eau m _w = m ₂ - m ₃					0.31	0.60	0.32	1.02
Teneur en eau (W = $\frac{m_w}{m_s} \times 100 = 100 \times \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}$) (%)					0.05	0.11	0.06	0.19
Moyenne					16.17	18.33	17.5	17.82
Limites d'Atterberg	W _L = 36.5				W _P = 17.95			
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _P				18.55				

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 2000		
Tamiser par voie humide au tamis de 400µ m pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom	Responsable Nom et Prénom
	signature	signature

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
Nombre de coup								
Diamètre de la tare					3.15	3.08	3.95	4.17
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m ₁					3.45	3.91	4.21	3.78
m ₂					3.13	3.09	3.13	3.03
Masse de l'échantillon humide m = m ₁ - m ₂								
Masse de l'échantillon sec m _s = m ₁ - m _{s2}					3.64	3.76	4.02	3.66
Masse de l'eau m _e = m ₁ - m _s					0.51	0.67	0.19	0.67
Teneur en eau (W) = $\frac{m_e}{m_s} \times 100 = \frac{m_1 - m_s}{m_s} \times 100$					0.11	0.15	0.19	0.12
Moyenne					21.5%	22.3%	21.3%	19.0%
Limites d'Atterberg	W _L =	10%			W _p =	21.0%		
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _p	I _p =	18.92						

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif

Préparation du sol

Prélever le sol et homogénéiser le par brassage

Placer dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 2000

Passer par voie humide au tamis de 400 µm pour récupérer une masse > 200 g

Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac

Blanchir sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h

Raporter l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C

Détermination de la limite de liquidité

Préparation de l'appareil de Casagrande

Placer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide

Partir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches

Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer

Appuyer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande

Donner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde

Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm

Poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai

Élever environ 5 g de pâte de chaque côté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau

Peser le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour la dessiccation

Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois

Détermination de la limite de plasticité

Former une boulette à partir de la pâte préparée

Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui diminue progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux

La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm

Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau

Élever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau

Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette

Observation:	Chargé d'essai	signature	Responsable	signature
	Nom et Prénom		Nom et Prénom	

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
Vitesse de coup								
Noméro de la tare					B1	H10	H9	H8
Masse de l'ensemble (échantillon humide + tare) m _h					3,75	4,08	4,08	3,75
Masse de la tare m _t					2,84	3,00	3,00	2,80
Masse de l'échantillon humide m = m _h - m _t					0,91	1,08	1,08	0,95
Masse de l'échantillon sec m _s = m - m _e					3,55	3,87	3,87	3,52
Masse de l'eau m _e = m - m _s					0,27	0,21	0,21	0,23
Teneur en eau (T) = $\frac{m_e}{m_s} \times 100 = 100 \times \frac{m_e}{m_s}$ (%)					0,20	0,21	0,21	0,16
Moyenne					28,16	25,92	26,13	27,58
Limites d'Atterberg	W _L = 53,1%	L _P = 26,170			W _p = 21,30%			
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _p								

Mode opératoire

Designations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr > 2000		
Tamiser par voie humide au tamis de 400 μm pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de Casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	D20719
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N < 15 ou N > 35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	D21001
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	D20921
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteint 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		

Observation: Chargé d'essai signature Responsable Nom et Prénom signature

Sondage N°: , Puits N°: Profondeur: Date d'essai:

Expression des résultats

Essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
N° d'essai								
Nombre de coup								
Numéro de la tare					09	49	115	441
Masse de l'ensemble (échantillon humide+ tare) m ₂ (g)					3,48	3,10	3,28	3,31
tare m ₁					3,12	2,77	2,90	3,03
Masse de l'échantillon humide m = m ₂ - m ₁ (g)								
Masse de l'échantillon sec m ₄ = m ₂ - m ₁ (g)					3,40	3,19	3,20	3,27
Masse de l'eau m _w = m ₂ - m ₁ (g)					0,28	0,42	0,38	0,22
Teneur en eau (W _L = $\frac{m_w}{m_4} \times 100 = 100 \times \frac{m_2 - m_1}{m_4}$) (%)					0,08	0,11	0,08	0,06
Moyenne					28,57	26,19	26,66	27,17
Limites d'Atterberg	W _L = 56%				W _p = 27,17%			
Indice de plasticité : I _p = W _L - W _p	I _p = 28,82							

Mode opératoire

Désignations	Equipment	
	Désignation	N° Identif
Préparation du sol		
Echantillonner le sol et homogénéiser le par brassage		
Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 h, une masse de matériau gr >200D		
Tamiser par voie humide au tamis de 400µ m pour récupérer une masse > 200 g		
Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac		
Siphonner sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12h		
Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50 °C		
Détermination de la limite de liquidité		
Vérification de l'appareil de casagrande		
Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide		
Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche une masse d'environ 70 g de matériau et l'étaler en plusieurs couches	BOITE DE CASAGRANDE	20719
Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer		
Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareille de Casagrande		
Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2 coups/seconde		
Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm		
Ne poursuivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 : si N <15 ou N >35 refaire l'essai		
Prélever environ 5 g de pâte de chaque coté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau	NF P 94 - 050	
Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation	BALANCE	L02200407E4
Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois	ETUVE	L03900100
Détermination de la limite de plasticité		
Former une boulette à partir de la pâte préparée		
Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm et ne doit être creux		
La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne 3 mm ± 0,5mm		
Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau		
Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau	NF P 94 - 050	
Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette		
Observation:	Chargé d'essai Nom et Prénom	Responsable Nom et Prénom
	signature	signature

ANNEXE III

Méthodes empiriques pour la caractérisation du potentiel de gonflement des matériaux impliqués dans les glissements

Tableau N° 01 : Relation entre le gonflement libre et l'indice de plasticité ([Seed et al. 1962](#)).

Ip	Potentiel de gonflement
0 – 10	Faible
10 – 20	Moyen
20 – 35	Elevé
> 35	Très élevé

Tableau N° 0 2 : Classification proposée par [Dakshanamurthy et Raman \(1973\)](#).

Limite de liquidité (Wl %)	Classification
0 - 20	Non gonflant
20 - 35	Gonflement faible
35 - 50	Gonflement moyen
50 - 70	Gonflement élevé
70 - 90	Gonflement très élevé
> 90	Gonflement critique

Tableau N° 0 3 : Classification du potentiel de gonflement à partir de Wl et Ip ([Snethen et al., 1977](#)).

Wl (%)	Ip (%)	Classification
20-49	15-24	Faible à Moyen
50-70	24-46	Elevé
>70	>46	Très élevé

Tableau N° 04 : Sensibilité d'une argile au retrait-gonflement déterminée à partir de la valeur de bleu (d'après Chassagneux et al., 1996).

VBS	Sensibilité
< 2,5	Faible
2,5 à 6	Moyenne
6 à 8	Forte
> 8	Très forte

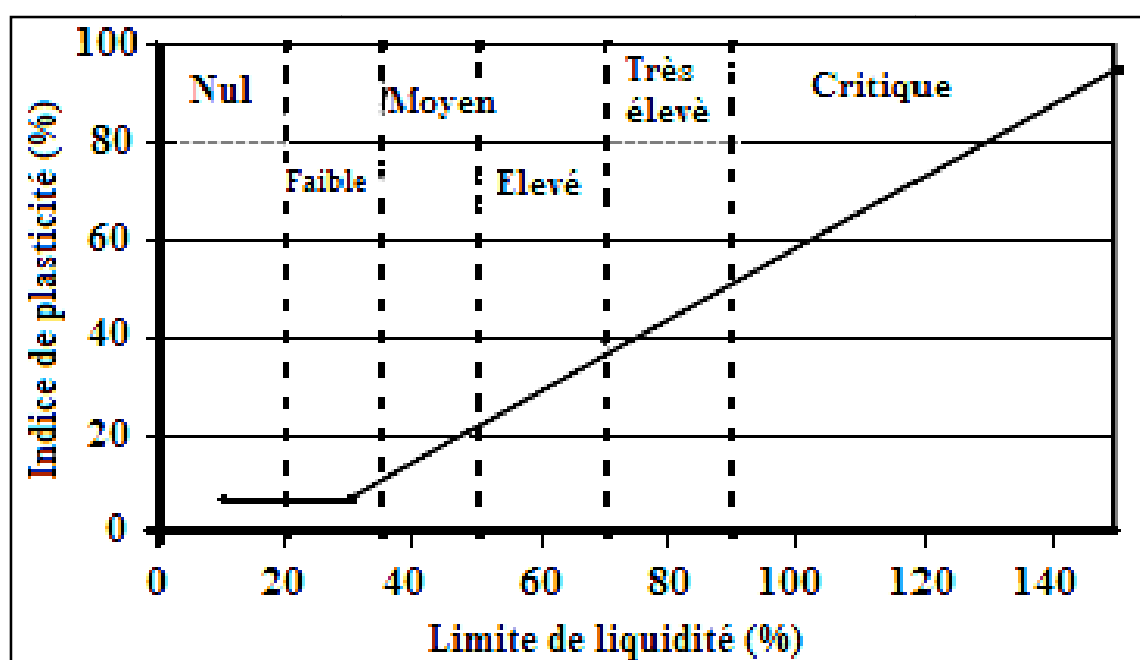


Figure 01 : Charte du potentiel de gonflement des sols (Daksanamurthy et al., 1973).

RESUME

Bien que d'ampleur variable, de très nombreux glissements de terrain affectent pratiquement une grande partie des versants naturels de la région de Souk Ahras chaque année surtout durant ou après une forte pluie. Les marqueurs des instabilités se dessinent actuellement sur les versants sous forme de nombreuses cicatrices d'arrachements marquant les zones de départ des matériaux, et le bourrelet aux pieds des versants affectés. Dans le but de la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain et la caractérisation des formations instables dans la région de Souk Ahras, le présent travail porte sur l'élaboration d'un inventaire des glissements de terrain pour un objectif de dresser un recensement de la répartition spatiale de ces événements, permettant d'évaluer la sensibilité du territoire à ce phénomène, et d'identifier les conditions ayant favorisé l'apparition de ces derniers par : i) l'exploitation des données bibliographiques, l'interprétation systématique des images satellites prouvés par des visites sur terrains, ii) la présentation géologique des versants affectés par des glissements de terrain et l'analyse de la distribution spatiale de ces événements d'une part, et d'après notre connaissance du comportement géotechnique des faciès géologiques vis-à-vis des glissements de terrain d'une autre part ; iii) l'application des analyses minéralogiques et géotechniques à certaines formations instables, afin de comprendre le mécanisme de comportement de ces formations. La distribution des glissements de terrain dans la région de Souk Ahras est en grande partie régie par une combinaison de plusieurs conditions liées aux caractéristiques géologiques, géomorphologiques et hydrologiques du terrain ainsi qu'aux activités anthropiques. En conséquence, une base de données spatiale de dix facteurs liés aux glissements de terrain a été identifiée et utilisée pour évaluer les glissements de terrain dans la région de Souk Ahras. Il vise à fournir une évaluation scientifique des zones susceptibles à ce phénomène, basant sur les résultats des trois modèles statistiques : la régression logistique (RL), Frequency Ratio (Fr) et Weighted of Evidence (WoE). Trois cartes de susceptibilité aux glissements de terrain ont été produites à l'aide de ces modèles statistiques. Chaque carte de susceptibilité subdivise la zone d'étude en cinq classes de susceptibilité aux glissements de terrain : très faible, faible, modérée, élevée et très élevée. Ces cartes de susceptibilité ont été comparées et vérifiées avec les données d'inventaire. Les résultats de la validation des modèles de la susceptibilité aux glissements de terrain survenus de 2015 à 2017 confirment que les méthodes statistiques (LR, Fr et WoE) sont toutes fiables pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain, tandis que le premier modèle présente une précision de prédiction nettement supérieure de 90,91 %, à celle des deux autres techniques, comme le montre notre étude, et que sa performance est la meilleure parmi les trois méthodes statistiques. Les résultats de ce travail de recherche peuvent servir de base aux décisions ou à la justification de la planification du développement dans la région de Souk Ahras.

Mots clés : versants naturels, instabilités, inventaire des glissements de terrains, comportement géotechnique, régression logistique (RL), Frequency Ratio (Fr) et Weighted of Evidence (WoE).

ABSTRACT

Numerous landslides affect practically a large part of the natural slopes of Souk Ahras region each year, especially during or after heavy rain. The instabilities markers are currently outlined on the slopes in the form of numerous tearing scars, and the bead at the feet of the affected slopes. For the purpose of landslides susceptibility mapping and characterization in Souk Ahras province, the present work focuses on the development of a landslides inventory map for the purpose of compiling a census of landslides. the spatial distribution of these events, making it possible to evaluate the sensitivity of the territory to this phenomenon, and to identify the conditions which favored the appearance of the latter by, i) the bibliographical data exploitation, the systematic interpretation of the satellites images proved by field visits, ii) the geological presentation of slopes affected by landslides and the analysis of the spatial distribution of these events on the one hand, and our knowledge of the geotechnical behavior of geological facies slipping on the other hand ; iii) the application of mineralogical and geotechnical analyzes for some unstable samples, in order to understand there mechanical behavior. The distribution of landslides in the study area is largely governed by a combination of several conditions related to the geological, geomorphological and hydrological as well as human activities. As a result, a spatial database of ten landslides-related factors were identified and used to assess landslides in Souk Ahras region. It aims to provide a scientific assessment of areas susceptible to this phenomenon, basing on the results of the three statistical models : Logistic Regression (RL), Frequency Ratio (Fr) and Weighted of Evidence (WoE). Three landslide susceptibility maps were produced using these statistical models. Each susceptibility map subdivides the study area into five classes of susceptibility to landslides: very low, low, moderate, high and very high. These susceptibility maps were compared and verified with the inventory data. The results of the landslides susceptibility models validation confirm that the statistical methods (LR, Fr and WoE) are all reliable for the mapping of landslide susceptibility, while the first model has a prediction accuracy significantly higher than 90.91 % compared to the other two techniques, as shown in our study. Its performance is the best among the three statistical methods. The results of this research work can serve as a basis of rational decisions for development planning in Souk Ahras region.

Key Words: Natural Slopes, Instabilities, Landslide Inventory, Geotechnical Behavior, Logistic Regression (LR), Frequency Ratio (Fr) and Weighted of Evidence (WoE).

المخلص

على الرغم من تباين حجمها، فإن العديد من الانهيارات الأرضية تؤثر عمليا على جزء كبير من المنحدرات الطبيعية لمنطقة سوق أهراس كل سنة، خاصة أثناء أو بعد هطول الأمطار الغزيرة. أين تظهر علامات عدم استقرار هذه المنحدرات بعدة أشكال. لغرض رسم خرائط قابلية انجراف التربة في منطقة سوق أهراس، يركز هذا البحث على إحصاء أكبر عدد من النقاط للانهيارات الأرضية و نمذجتها على شكل خريطة للتوزيع المكاني لهذه الأحداث، مما يجعل من الممكن تقييم حساسية الإقليم لهذه الظاهرة من خلال :

- (i) التفسير المنهجي لصور الأقمار الصناعية و استغلال نتائج الأبحاث السابقة التي أجريت في هذا السياق، و تثبت دقة هذه النتائج من خلال الزيارات الميدانية للمنطقة المعنية بالدراسة،
- (ii) العرض الجيولوجي للمنحدرات المتأثرة بالانجرافات وتحليل التوزيع المكاني لهذه الأحداث من جهة ، و معرفتنا بالسلوك الجيوتقني للتربة المتأثرة بهذه الانزلاقات من جهة أخرى،
- (iii) تطبيق التحليلات المعدنية و الجيوتقنية لعينات التربة الغير مستقرة ، من أجل فهم آلية سلوك هذه التكوينات.

يخضع توزيع الانهيارات الأرضية في منطقة سوق أهراس إلى حد كبير من الشروط المتعلقة بالخصائص الجيولوجية والجيومرفولوجية و الهيدرولوجية للأرض وكذلك للأنشطة البشرية. و نتيجة لذلك، تم تحديد قاعدة بيانات مكونة من عشرة عوامل مرتبطة بانجرافات التربة، استخدمت لتقييم هذه الظاهرة في منطقة سوق أهراس. يهدف هذا العمل إلى توفير تقييم علمي من المناطق المعرضة لهذه الظاهرة، استنادا إلى نتائج ثلاثة نماذج إحصائية: LR، Fr و WoE تم إنتاج ثلاث خرائط للحساسية الأرضية باستخدام هذه النماذج الإحصائية. تقسم كل خريطة منطقة الدراسة إلى خمسة أصناف من التعرض للانزلاقات الأرضية : منخفضة للغاية، منخفضة، متوسطة، عالية وعالية جداً. تمت مقارنة خرائط الحساسية هذه والتحقق منها مع بيانات الجرد للتوزع الجغرافي للنقاط غير المستقرة. نتائج التحقق من النماذج تؤكد أن الأساليب الإحصائية المستخدمة يمكن الاعتماد عليها لرسم خرائط القابلية للانهيارات الأرضية، في حين أن النموذج الأول (LR) لديه دقة 90.91 ٪، أعلى بكثير مقارنة بالتقنيتين الأخرين ، كما هو موضح في دراستنا ، وأن أدائها هو الأفضل بين الطرق الإحصائية الثلاث.

يمكن أن تكون نتائج هذا البحث بمثابة مرجع لاتخاذ القرارات على أساس منطقي لتخطيط التنمية في منطقة سوق أهراس.

الكلمات الأساسية : المنحدرات الطبيعية، عدم الاستقرار، جرد الانهيارات الأرضية، والسلوك الجيوتقنية، LR، Fr و WoE.