



Faculté des Sciences de la Terre et l'Univers Département de

Géologie

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du grade de master en Science de la Terre et d'Univers

Option : Risques géologiques

Etude de la susceptibilité aux mouvements gravitaires affectant le site de Mers El kebir

Présenté par le binôme :

M^r. Bouziani HEDDI & M^r. Abd Elali DIF

Soutenu le 23 septembre 2023 devant le Jury composé de :

Mr. Nouredine BOUALEM	Enseignant à l'université Oran 2	Président
Mr. Abdelmansour NADJI	Enseignant à l'université Oran 2	Rapporteur
Mm. Halima ABLAOUI	Enseignante à l'université Oran 2	Examinatrice
Mr. Zine El Abidine ROUKH	Enseignante à l'université Oran 2	Invité

Remerciements

On tient à exprimer notre profonde gratitude envers notre DIEU, pour sa clémence et pour nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour réaliser ce mémoire.

Nos plus vifs remerciements s'adressent à notre Rapporteur Pr. Nadji pour son assistance précieuse, ses conseils judicieux et son encadrement pour valoriser ce mémoire 'PFE'.

Nous adressons également nos remerciements particuliers à

Mr. Roukh Zine El Abidine pour son soutien continu à travers divers moyens et informations depuis le début des travaux jusqu'à l'achèvement de ce mémoire.

Nous remercions très sincèrement notre examinatrice Mme. Abloui Halima et également à Monsieur le Président du Jury. Mr. Boualem Nourddine.

Nous n'omettons de présenter nos chaleureux remerciements à tous les Enseignants du Département de la Faculté des Sciences de la Terre de l'Université d'Oran 2. Auxquels nous redevons beaucoup pour notre formation académique.

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude de la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain de la zone côtière du littoral Oranais (Mers El Kebir) Algérie. Les glissements de terrain sont fréquents dans la région d'étude et affectent gravement les conditions de vie locales. En vue d'une meilleure gestion de ce phénomène, les décideurs doivent pouvoir disposer de cartes de susceptibilité, leur permettant d'identifier les zones de leur région où de nouveaux glissements de terrain auront une plus forte probabilité de se déclencher dans le futur. Cette étude présente une nouvelle procédure pour évaluer et cartographier la susceptibilité aux glissements de terrain.

L'utilisation des logiciels SIG permet de créer, d'enregistrer, de classer, d'interpréter et de présenter les données nécessaires à la réalisation des modèles. Une couche thématique est générée pour chaque facteur géo- environnemental influant sur les glissements de terrain. Ces facteurs sont : « la pente », « l'exposition des versants », « la lithologie », « l'occupation des sols », « la proximité au réseau hydrographique », « la proximité aux failles » « Altitude ».

Cette recherche aidera à accroître la sensibilisation, d'atténuer et de contrôler les glissements de terrain au niveau local. En effet et sur la base des résultats obtenus dans cette étude, des recommandations et des perspectives sont toutefois formulées pour aider les décideurs, les planificateurs, les géologues et les ingénieurs géotechniciens à prendre des décisions liées à ce phénomène.

ملخص:

يركز هذا العمل على دراسة مسح قابلية الإنزلاقات الأرضية في منطقة وهران الساحلية (المرسى الكبير) بالجزائر. الإنزلاقات الأرضية شائعة في منطقة الدراسة وتؤثر بشكل خطير على الظروف المعيشية المحلية. ولتحسين إدارة هذه الظاهرة، يجب أن يكون صانعو القرار قادرين على وضع خرائط للقابلية للتأثر، مما يسمح لهم بتحديد المناطق في منطقتهم حيث سيكون للإنزلاقات الأرضية الجديدة احتمال أكبر في المستقبل. تقدم هذه الدراسة إجراءً جديدًا لتقييم ورسم خرائط قابلية الإنزلاقات الأرضية.

ويتيح استخدام برمجيات نظام المعلومات الجغرافية SIG إنشاء وتسجيل وتصنيف وتفسير وتقديم البيانات اللازمة لتحقيق النماذج يتم إنشاء طبقة موضوعية لكل عامل جغرافي بيئي يؤثر على الإنزلاقات الأرضية. هذه العوامل هي: «المنحدر»، «التعرض للمنحدر»، «طبيعة الحجارة»، «استخدام الأرض»، «القرب من الشبكة الهيدروغرافية»، «القرب من الصدوع»، «الارتفاع».

سيساعد هذا البحث في زيادة الوعي والتخفيف من الانهيارات الأرضية والسيطرة عليها على المستوى المحلي. وبالفعل، وعلى أساس النتائج التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة، صيغت توصيات ومنظورات لمساعدة صانعي القرار والمخططين والجيولوجيين والمهندسين الجيوتقنيين على اتخاذ القرارات المتعلقة بهذه الظاهرة.

Table des matières :

Introduction générale	8
CHAPITRE I :	10
1 Chapitre I : Présentation de la zone	12
1.1 Cadre géologique et géographique :	12
1.1.1 Cadre géographique :	12
1.1.2 Cadre géologique :	14
1.1.3 Aperçu géomorphologique de la zone d'étude :	18
1.1.4 Climatologie :	20
CHAPITRE II :	24
2 Chapitre II : Généralité sur les mouvements de terrain	25
2.1 Introduction :	25
2.2 Les processus des mouvements de terrains :	25
2.2.1 Le processus de glissement :	25
2.2.2 Le processus d'éboulement :	25
2.2.3 Le processus d'écoulement :	25
2.3 Les types des mouvements de terrain :	26
2.3.1 Les éboulements :	27
2.3.2 Les basculements :	27
2.3.3 Les glissements de terrain :	28
2.3.4 Glissement rotationnel :	28
2.3.5 Glissement transnational :	28
2.3.6 Le déplacement latéral :	28
2.3.7 Les coulées boueuses :	28
2.3.8 Les glissements de terrain complexe :	28
2.4 Méthodes utilisées pour l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain :	29
2.4.1 La méthode statistique de la valeur informative :	29
2.4.2 La méthode statistique de rapport de fréquence (RF) :	30

2.4.3	La méthode statistique de régression logistique :	30
2.4.4	La méthode statistique AHP (Analytical hierarchyprocess) :.....	31
2.4.5	La théorie de l'évidence (WOE) :.....	33
CHAPITRE III :		34
3	Chapitre III : Cartographie de la susceptibilité aux glissements deterrain	35
3.1	La pente :	35
3.2	L'aspect (l'exposition de la pente) :.....	37
3.3	Lithologie :.....	38
3.4	La distance Par a pour réseau de la faille :.....	39
3.5	Cours d'eau (Proximité au réseau hydrographique) :.....	40
3.6	Occupation des sols:.....	41
3.7	Altitude :.....	42
3.8	Carte finale de susceptibilité :	43
4	Conclusion :.....	45

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Les mouvements de terrain entraînent chaque année de nombreuses pertes humaines et d'importants dégâts matériels partout dans le monde. Leur répartition n'est pas la même au fil du temps et elle dépend d'événements extrêmes comme de fortes pluies et des séismes intenses. Entre janvier 2004 et décembre 2016, 55 997 personnes ont perdu la vie suite à 4 862 glissements de terrain à travers le monde.

La répartition géographique de ces glissements de terrain est inégale la plupart se sont produits en Asie, principalement le long de l'arc himalayen, dans les États indiens et le sud-est de la Chine, ainsi que dans les pays voisins du Laos, du Bangladesh et de la Birmanie.

Ils se sont également produits plus au sud, sur les îles constituant l'Indonésie et les Philippines. d'autres régions touchées sont la Turquie, l'Iran et les Alpes européennes, l'Afrique de l'Est autour des frontières entre la Tanzanie, le Rwanda, le Burundi, le Kenya, l'Ouganda et la République démocratique du Congo, l'Amérique du Sud le long de la chaîne des Andes, sur la côte Est du Brésil autour de São Paulo et Rio de Janeiro, l'Amérique centrale entre le Costa Rica et le sud du Mexique et les îles des Caraïbes. Ces informations ont été publiées par (Froude et Petley en 2018.)

Parmi les catastrophes les plus importantes causées par des glissements de terrain, on peut citer :

- La catastrophe de l'Uttarakhand en Inde en juin 2013 où d'extrêmes précipitations ont provoqué des coulées de boue ayant causé 5700 décès. (Martha et al. 2015) (Ray et al. 2016)
- Séisme du Yunan en Chine en août 2014 d'une magnitude de 6.5 qui a entraîné des glissements de terrain catastrophiques faisant 589 morts et 2300 blessés (Tian et al. 2017).

En Algérie, les glissements de terrain sont fréquents et dommageables :

- En février 2015 à Cap Aokas dans la wilaya de Bejaia, un éboulement rocheux a endommagé des véhicules, faisant 6 morts et 7 blessés. Il a provoqué la fermeture temporaire de la RN09.

Les glissements de terrain causent donc de nombreuses pertes humaines et d'importants dégâts matériels en Inde, en Chine mais aussi en Algérie. Les précipitations extrêmes et les séismes sont les principaux facteurs déclencheurs de ces catastrophes.

Certaines études sur les glissements de terrain ont été menées, surtout dans la partie est de l'Algérie, à différentes échelles. Les régions les plus touchées par les glissements de terrain sont : la région de Constantine, Bejaia, Souk Ahras, Sétif, Tizi Ouzou, Mascara et Oran. Ces zones présentent une sensibilité aux instabilités gravitaires en raison de leurs caractéristiques géologiques, morphologiques, tectoniques et climatiques. La présence de glissements de terrain sur le littoral oranais, qui fait l'objet de notre étude, indique une forte sensibilité de cette zone aux instabilités gravitaires.

Dans ce contexte, un chapitre est consacré dans la thèse à l'élaboration d'une cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain sous SIG en appliquant une démarche analytique basée sur :

- L'analyse de la stabilité des versants à l'échelle d'un glissement de terrain en combinant différentes données sur les roches en profondeur et en identifiant la typologie du phénomène.
- L'élaboration de cartes d'inventaire et de cartes des facteurs de prédisposition environnementaux des glissements de terrain.
- L'application de méthodes statistiques afin d'évaluer l'indice de susceptibilité.
- L'établissement de cartes de susceptibilité aux glissements de terrain et la validation des résultats.

Cette démarche analytique permet d'établir une cartographie algébrique de la susceptibilité aux glissements de terrain à l'aide d'un SIG en combinant différentes données géologiques, géomorphologiques et structurales.

CHAPITRE I :

Présentation de la zone

1 Chapitre I : Présentation de la zone

1.1 Cadre géologique et géographique :

1.1.1 Cadre géographique :

1.1.1.1 Cadre géographique général :

Oran est située au nord-ouest de l'Algérie et se trouve à environ 432 km à l'ouest de la capitale, bordée au nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la wilaya de Mostaganem, au sud-est par la wilaya de Mascara, au sud-ouest par la wilaya de Sidi Bel Abbas et à l'Ouest par la wilaya d'Ain-Témouchent.

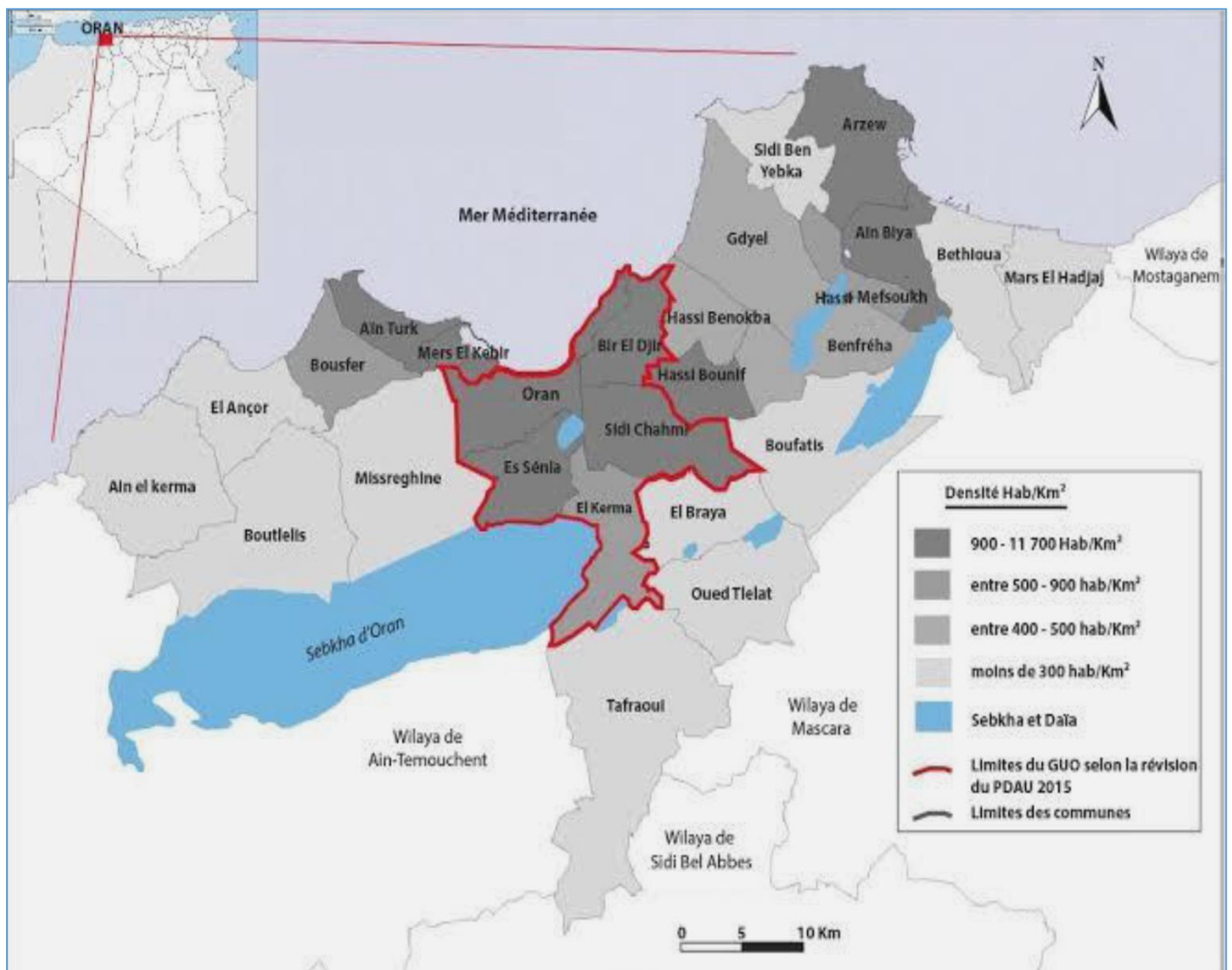


Fig 1 : la situation géographique de wilaya d'Oran sur la base du PDAU d'Oran (agence nationale d'intermédiation et de régulation foncière-Aniref) (2018)

1.1.1.2 Cadre géographique de Mers el kebir :

La commune d'El Mers el Kebir est située au nord-ouest d'Oran et se trouve à environ 7 km de celle-ci sur la route reliant Ain El Turk et Oran, cette dernière est bordée au Nord et au Nord - Ouest, et à l'Est et au Nord-est par la mer Méditerranée. C'est un grand port au fond d'une rade qui est bien protégé naturellement. Cadre géologique :

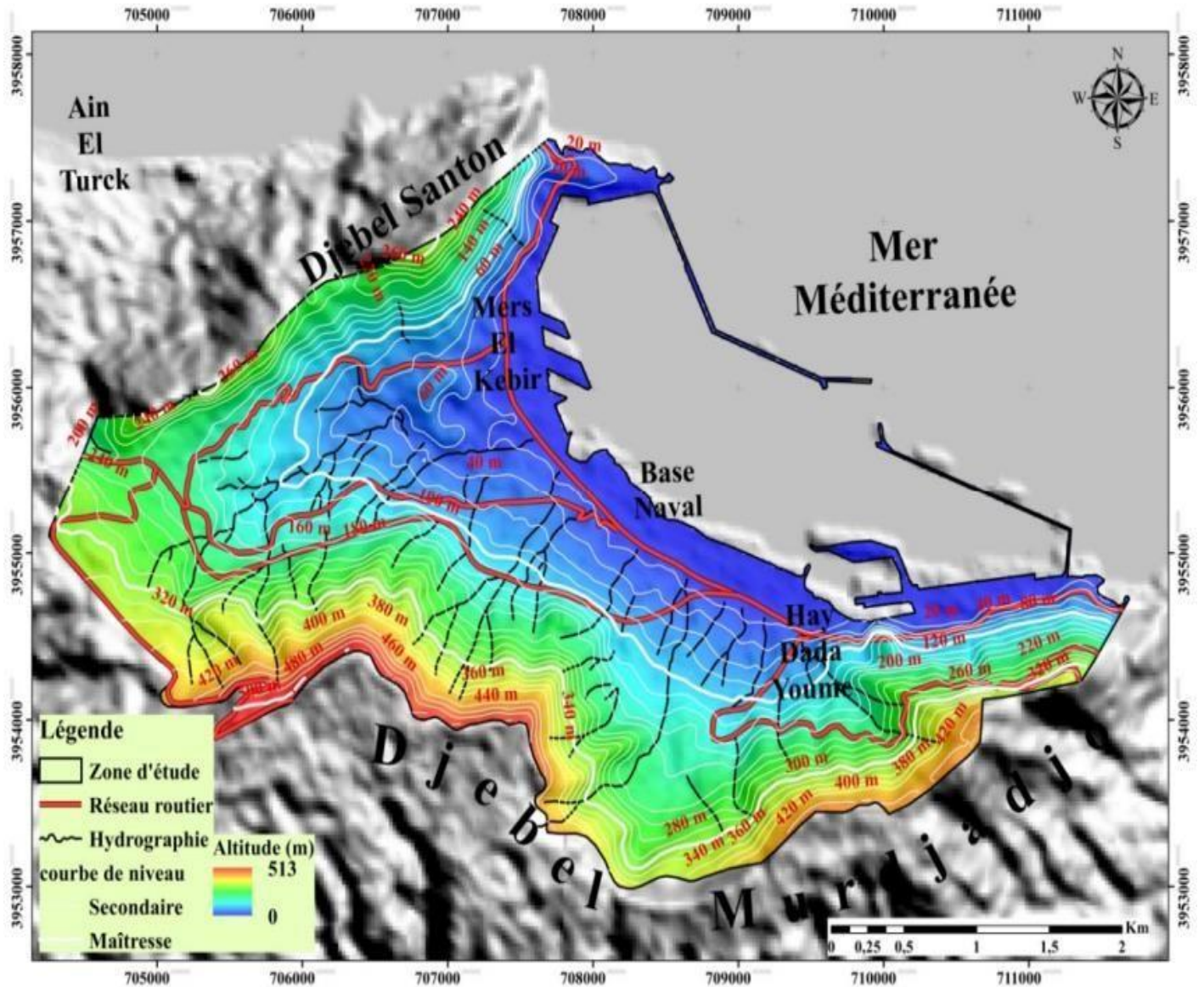


Fig 2 : Localisation de la commune de Mers el Kebir (Roukh 2020)

1.1.2 Cadre géologique :

1.1.2.1 Cadre géologique général du littoral oranais :

La zone d'étude (la frange maritime d'Oran), rattachée sur le plan géographique au littoral oranais, est liée à des bassins sédimentaires dont l'histoire géologique s'inscrit dans le processus de la géodynamique globale de la tectonique des plaques.

En effet, l'histoire du bassin Nord-Algérien est étroitement liée à celle de la chaîne des Maghrébines. D'après les différentes reconstitutions faites à partir d'anomalies magnétiques de l'Atlantique, la chaîne des Maghrébines s'est formée sur l'emplacement d'un ancien bassin téthysien, le bassin Maghrébin, qui séparait l'Europe de l'Afrique à partir du Jurassique. Elle s'étend du détroit de Gibraltar à la Tunisie, mais se poursuit en Sicile et en Calabre où elle se relie à la chaîne des Apennins qui frange la mer tyrrhénienne.

Les études géologiques à terre ont permis de caractériser la chaîne des Maghrébines et d'y reconnaître trois grands domaines (Wildi, 1983).

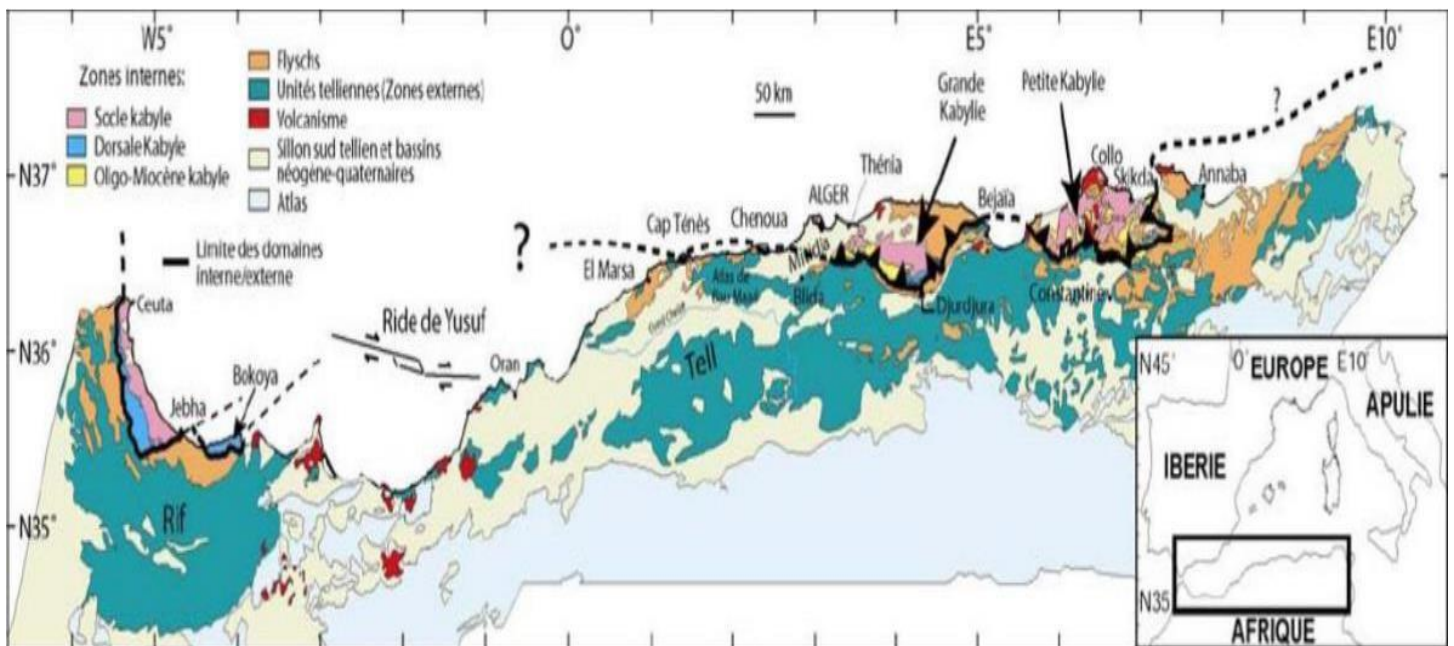


Fig 3 : Carte géologique du nord de l'Afrique montrant les différentes unités géologiques (Wildi, 1983 ; Domzig et al., 2006).

Les zones internes :

Ces zones qui chevauchent à leur tour les nappes de flysch, sont constituées par deux ensembles antérieurs au Miocène : (a) les massifs hercyniens et (b) les écaillés de terrains sédimentaires d'âge allant du Trias à l'Eocène.

La partie littorale de l'Algérie est la plus récente, la plus instable et là où il y a le plus de diversité de substrats géologiques. La région Oranaise est donc très diversifiée, ses strates géologiques appartiennent aux quatre ères. La région d'études s'intègre dans la terminaison occidentale de la chaîne alpine tellienne (ou atlas tellien). Les formations géologiques qui la constituent sont de natures et d'âges variés in Sadran (1958); Fenet (1975) et Guardia (1975).

L'orogénèse alpine a permis la structure de cet atlas tellien en un empilement d'unités structurales charriées et imbriquées entre elles. Ceci a favorisé la mise à nu de roches anciennes telles que les schistes qui forment l'assise du massif des Traras et de la montagne des Lions (Djebel Khar). Les différentes formations géologiques de cette région s'étendent depuis l'âge primaire jusqu'au quaternaire. Les schistes, d'âge primaire, constituent le substratum du massif des Traras. Ce sont des schistes gris-noirs se débitant en plaquettes. Leur altération donne des produits argileux (sols) de couleur brun-rouge. D'autres types de schistes d'âge secondaire forment ce qu'on appelle les massifs schisteux côtiers de l'Oranie. Les monts d'Arzew, à l'ouest d'Oran ville, forment la montagne des Lions et surplombent la plage de Kristel et la partie septentrionale du Murdjadjo à l'Ouest de la ville. Les calcaires, d'âge secondaire sont assez bien représentés dans l'Oranie. Ils forment le plus souvent des reliefs assez escarpés. Ces calcaires forment la partie méridionale du Murdjadjo. Toujours au nord mais à l'est, le plateau de Mostaganem s'abaisse régulièrement vers l'ouest sur la plaine de la Macta et le golfe d'Arzew. Il surplombe régulièrement la mer et le bas Chélif par une falaise de 150 à 200 m au nord et au nord-ouest. Les calcaires sont généralement clairs, le plus souvent compacts et massifs, leur altération donne presque toujours des sols blanchâtres crayeux.

Le quaternaire est formé par du calcaire lacustre, argiles à lignites : couches rouges dues à la désagrégation des terrains pliocène qui se trouvent effectivement dans ce secteur. En s'avancant de 100 km de la côte vers l'intérieur des terres se dressent les Monts de Béni-Chougrane et de Tessala qui forment l'un à la suite de l'autre une chaîne montagneuse plissée couvrant la région d'étude d'est en ouest sur environ 60 km de largeur. Plus précisément les Monts de Tessala constituent un massif secondaire de calcaire nummulitique (protozoaires fossiles) à structure complexe d'une cinquantaine de kilomètres de longueur ; ces monts sont des terrains crétacés formés par des calcaires gréseux devenant plus argileux en profondeur. A l'est on trouve des grès fins argileux in Behar (1990). Les monts des Béni-Chougrane sont constitués en grande partie par une série de plateaux miocènes de 700 à 800 m d'altitude, inclinés régulièrement vers le Nord-Est, laissant affleurer de larges boutonnières crétacées.

En descendant vers le sud se dressent à nouveau des monts séparés par les hautes plaines de Bel-

abbés (400 m) celle de Ghriss au sud de Mascara. Les monts de Saïda et de Daya appartiennent à l'atlas Tellien tabulaire. Ils ont tous deux une altitude moyenne comprise entre 1000 et 1200 m. Ces deux entités sont profondément découpées par des fossés d'effondrements

Les zones externes de la chaîne (zones telliennes) :

Ces zones sont caractérisées par la présence de séries du Crétacé et du Paléogène à dominance marneuse, en plusieurs endroits décollées de leur substratum jurassique. Ces séries découpées et empilées les unes sur les autres caractérisent les nappes telliennes.

Les nappes de flysch :

Ces nappes chevauchent les séries de nappes telliennes. Ces flysch sont constitués par des terrains d'âge crétacé et paléogène qui s'est déposé dans un sillon est situé entre les zones internes et les zones externes.

1.1.2.2 Cadre géologique locale :

Au plan géographique, le secteur d'étude est situé dans la partie Nord-Ouest de la wilaya d'Oran, Elle occupe une superficie totale de 1098 Ha, cette zone bénéficie d'une façade maritime d'environ 7 km. Elle est limitée au Nord par à Mer Méditerranée, à l'Est par le Djebel Murdjajou qui arrive jusqu'à la mer au niveau de Fort Liamone, au sud par la chaîne montagneuse d'El Murdjajou qui culmine à plus de 500 mètres, à l'Ouest, Par Djebel Santon qui culmine à plus de 300 mètres

Du point de vue morphologique la surface de cette commune couvre une dépression topographique, dont la seule ouverture est située au Nord sur la Mer Méditerranée. Ce site constitué un amphithéâtre géologique, limité au sud par les plateaux de Djebel Murdjajou, orienté Est –Ouest. A l'Ouest c'est le Djebel Santon qui culmine à plus de 300, orienté du Sud-ouest vers le Nord-est, et qui plonge dans la mer au niveau de l'ancien fort.

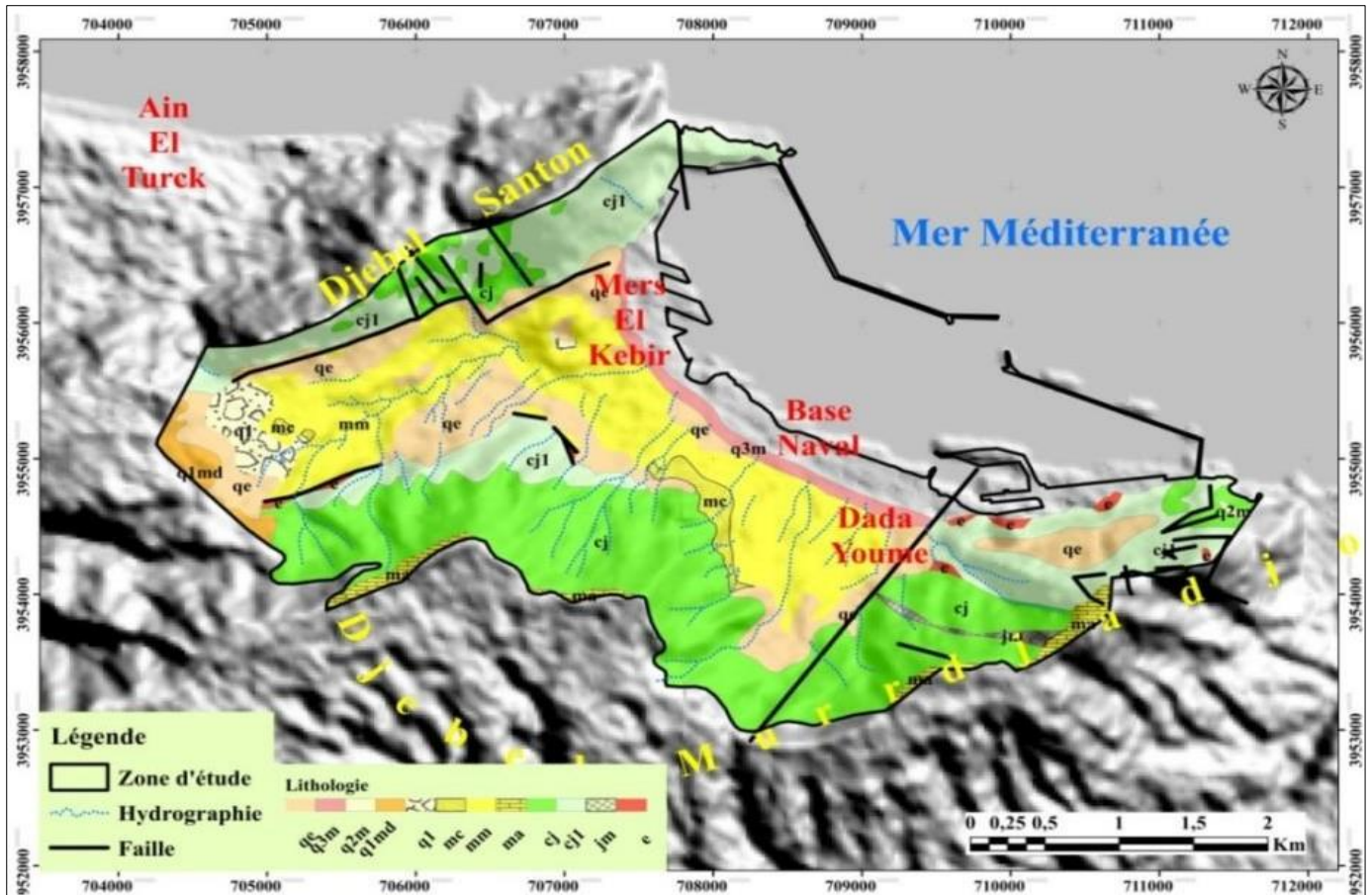


Fig 4 : Carte géologique de la commune de Mers El kebir ; (qe) Eboulis, (q3m), (q2m), (q1md),(ql) Lumachelle, (me) marnes +conglomérats, (mm) marne grise, (ma) calcaire à algue, (cj) schiste+calcaires, (cj1) Schistes +lentilles calcaires dolomitisées, (jm) a (Roukh 2020)

Selon la carte géologique d’Oran 1/50000, la région d’étude fait partie de la zone Nord du massif Murdjajou qui se caractérise géologiquement par des formations calcaires d’âge Miocène, qui affleure par endroits. Le substratum est identique à celle grandes formation littoral Oranais. Le plateau de Murdjajou est constitué de calcaires miocènes discordant sur les schistes primaires, ces schistes affleurent sur le haut des versants qui donnent ces fortes pentes, la partie basale des versants est constituée essentiellement par des marnes bleues et des marnes sableuses, surmontées par des grés lumachèlliques (Fig4). Le territoire de Mers El Kebir se caractérise par un climat méditerranéen à tendance semi-aride, chaud est sec en été, froid et humide en hiver. Cette zone se caractérise par l’existence d’un réseau hydrographique dense de ravins (Chaabat) très actifs, dont le sens d’écoulement est du Sud –ouest vers le Nord-est, du versant Nord de la chaine montagneuse du Murdjajou vers la partie base et puis vers la mer.

1.1.3 Aperçu géomorphologique de la zone d'étude :

L'Oranie septentrionale représente un domaine important du Moi-pliocène dans fait partie la commune de Mers El Kebir.

Au SW, la plus grande partie du djebel Murdjadjo, relief très dissymétrique, dont le flanc Nord forme un abrupt de 300-400 m. tandis que le flan Sud s'abaisse lentement en un plan incliné de 5-10 km, qui se raccorde au plateau d'Oran. Son extrémité orientale se divise en deux branches au Sud djebel Aidor qui domine Oran, au Nord djebel Santon qui domine Mers El Kebir, entre ces deux branches s'intercale la petite dépression de Mers El Kebir.

Le modèle numérique du terrain (MNT) de la commune (figure5) et ces dérivés nous montrent très bien la différence d'altitudes, les pentes dans la région (figure 6) et la direction des pentes (figure 7), on distingue d'après la morphologie des terrains :

- Une zone montagneuse au Nord (Djebel Santon) et au Sud-Est de la ville (Djebel Murdjadjou).
- La mer méditerranée au Nord-Est.

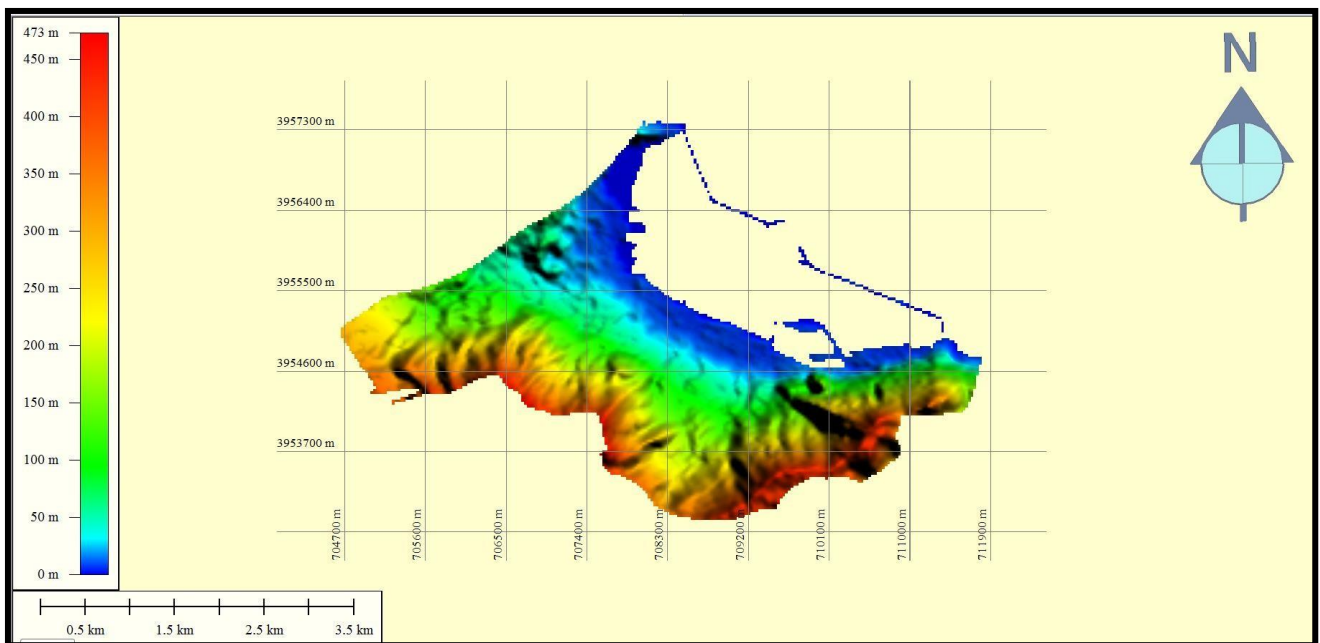


Fig 5 : MNT de la commune de Mers El Kebir altitudes en (m)

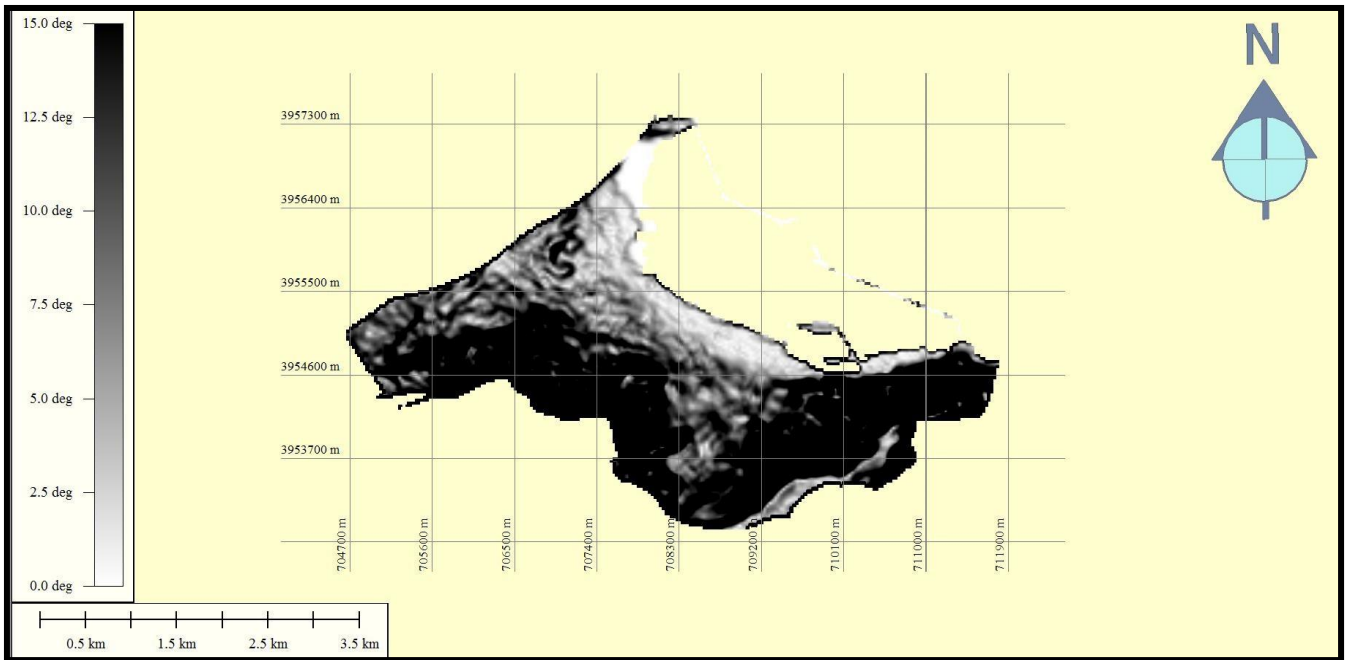


Fig 6 : Carte des pentes de la commune de Mers El Kebir

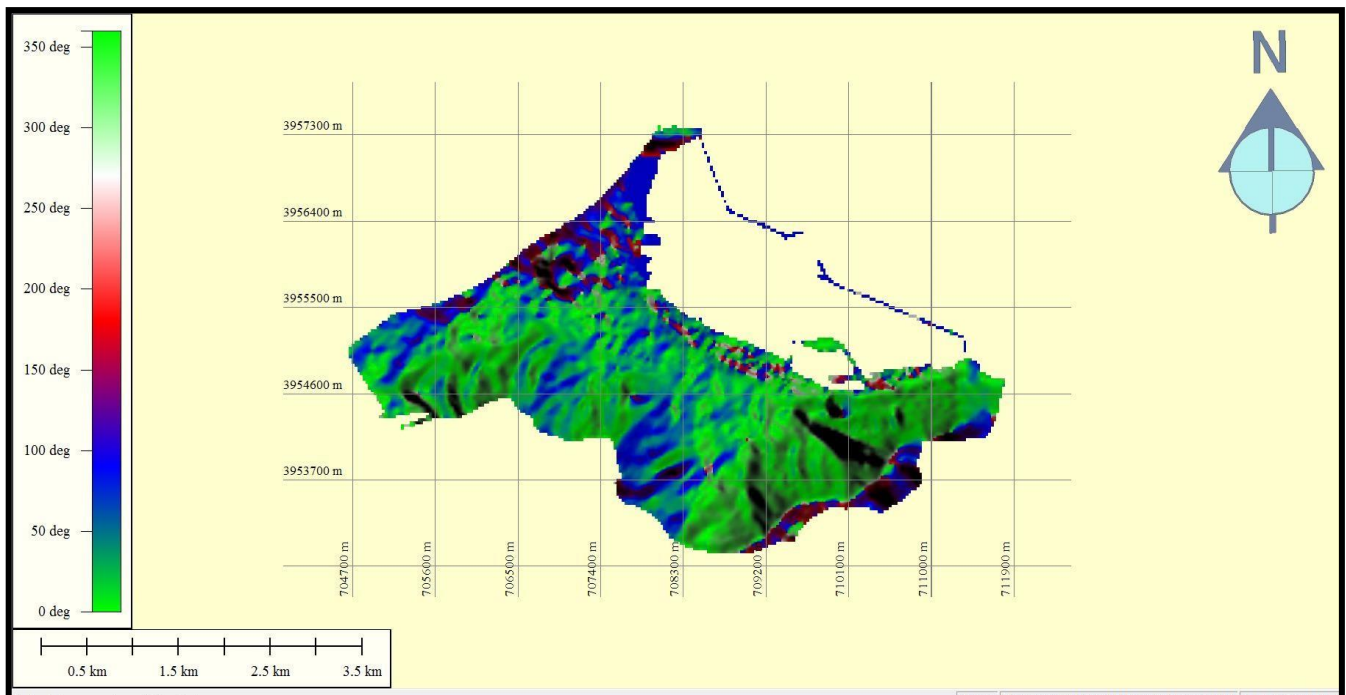


Fig 7 : Carte des directions des pentes de la commune

1.1.4 Climatologie :**1.1.4.1 Introduction :**

L'étude de cette partie est d'une importance primordiale grâce aux différents paramètres climatiques utilisés en particulier (T° , P) qui sont les deux facteurs indispensables pour la réalisation de cette étude. Les paramètres climatiques jouent aussi un rôle déterminant dans le comportement du régime des cours d'eau superficielles.

Le climat de la région d'étude par rapport au climat du pays est caractérisé par un climat contraste entre un climat méditerranéen au littoral et semi-aride au sud.

Les stations climatiques existantes, susceptibles d'être considérées comme représentatives de la région d'étude, et possédantes des données fiables, sont celles mentionné dans le tableau suivant :

Station	Code	X	Y	Altitude	Paramètres	Période d'observation
Oran	40438	198.7	272.6	-	P	(1983-2013)
Oran Es senia	40438	-	-	-	T	(2002-2012)

Tableau 1 : Les coordonnées des stations climatiques utilisées

1.1.4.2 Étude des précipitations mensuelles :

Le tableau (tab 2) représente les précipitations moyennes mensuelles durant la période de référence (1983-2013) de la station de d'Oran dont les données seront prises comme référence.

L'étude des précipitations moyennes mensuelles a permis d'observer que la période pluvieuse débute au mois d'Octobre et se termine au mois d'Avril. Au cours de cette période on remarque que le maximum des précipitations apparaît en Novembre (53,7 mm) et pour le minimum en Juillet (1,4 mm).

La station enregistre un cumul pluviométrie annuelle faible 370.5 mm et une moyenne mensuelle de 30,87 mm, avec une répartition mensuelle assez régulière.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Oran	53.0	45.3	42.7	46.9	27.6	7.6	1.4	3.5	17.1	26.3	53.7	45.4	370,5

Tableau2 : Précipitations moyennes mensuelles 1983-2013 St « ORAN » Source –ANRH

1.1.4.3 Étude des précipitations moyennes annuelles :

L'étude des précipitations moyennes annuelles permet de remarquer ce qui suit :

La figure (fig.8) montre les précipitations annuelles de 1983 à 2013. L'année la plus pluvieuse à été enregistrée (585.80mm) en 1995.

Cependant, l'année la plus sèche avec une pluviométrie (191.50mm) en 1992.

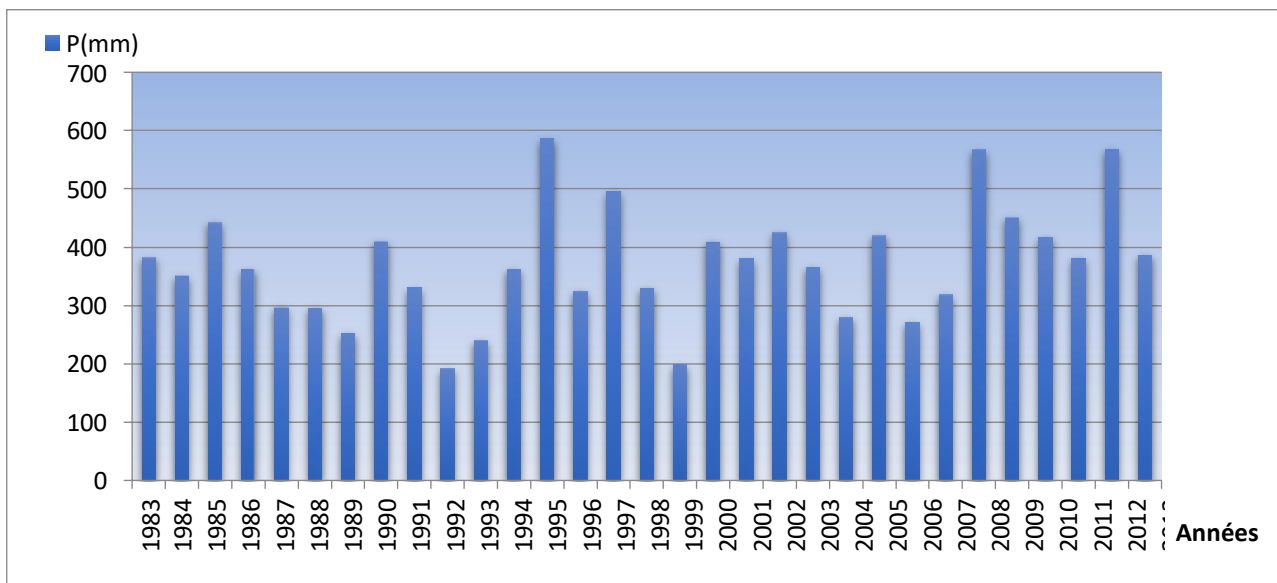


Fig 8 : Histogramme des Précipitations Annuelles
1983 a 2013

1.1.4.4 Températures : (Station d’Oran Sénia 2000-2009) source ONM :

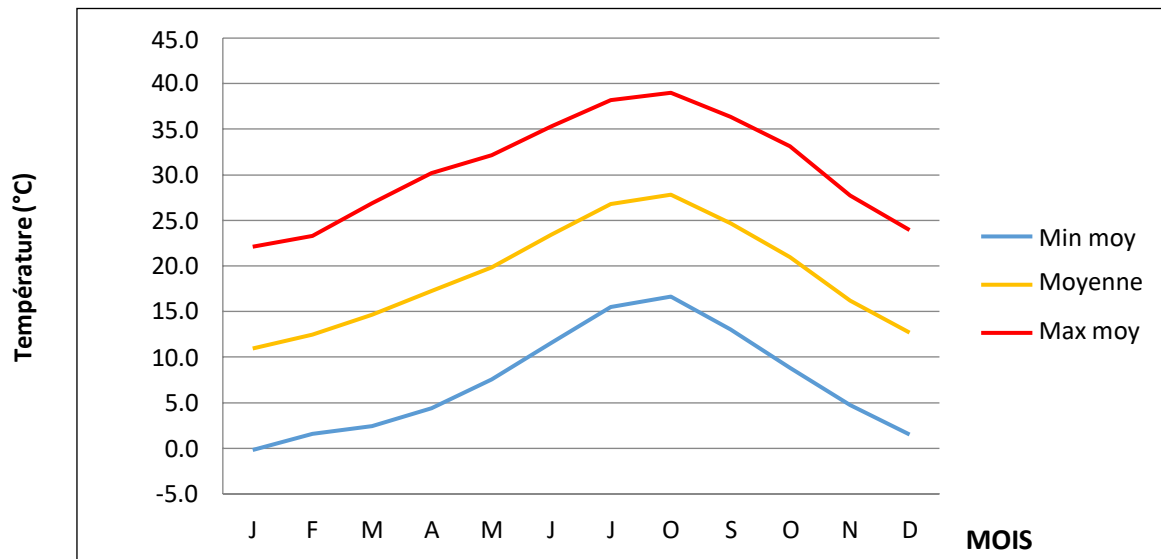


Fig 9 : Variation des Températures Moyennes Mensuelles « Oran Sénia » (2000-2009)

La région connaît deux saisons distinctes :

Les températures maximales en été selon l’exploitation de la source (ONM), un maximum de 39 °. La saison hivernale froide et rigoureuse atteint une température minimale de (-0,2 °)

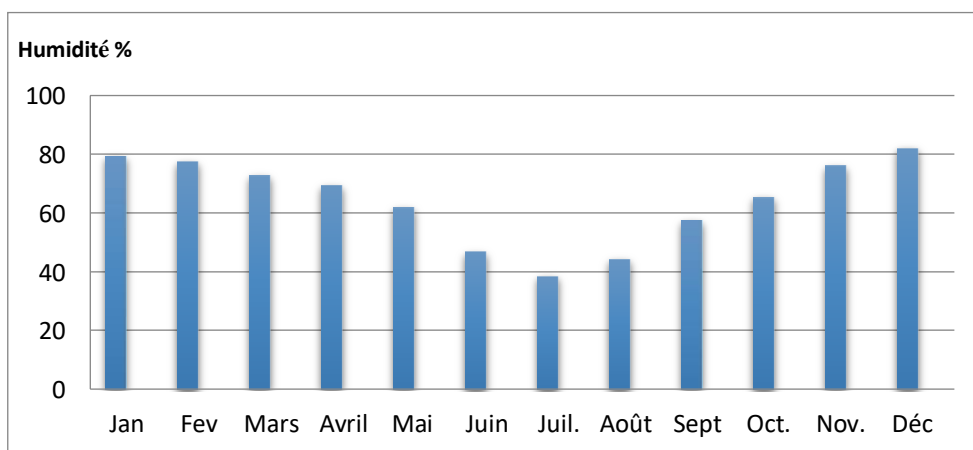


Figure 10 : Histogramme d’Humidité relative mensuelle à la Station d’Oran

Les moyennes mensuelles d'humidité relative varient, durant la période 2002 - 2011 de 38,5 % en Eté (Juillet) à 82.1 % (Décembre). Elles ont été supérieures à 50 % de Septembre à Mai et inférieures à 50 % durant les autres mois de l'année. La moyenne annuelle relative est évaluée 64.2 %.

L'humidité atteint son maximum durant les premières heures du jour, diminue avec l'augmentation de la radiation puis augmente à nouveau le soir.

1.1.4.5 Le régime Climatique :

Une étude de relation entre la température et les précipitations est établie à partir de différentes méthodes graphiques ou par des calculs de certains indices que nous appliquerons à la station de d'Oran.

L'étude du climat permet de donner à la région son caractère, son individualité climatique et de situer les périodes sèches et humides.

CHAPITRE II :
Généralité sur les mouvements de terrain

2 Chapitre II : Généralité sur les mouvements de terrain

2.1 Introduction :

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Les volumes en jeu sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. Une fois déclarés, les mouvements de terrain peuvent être regroupés en deux grandes catégories, selon le mode d'apparition des phénomènes observés. Il existe, d'une part, des processus lents et continus (glissements, affaissements, retrait-gonflement) et, d'autre part, des événements plus rapides et discontinus (chutes de pierre et éboulements, effondrements, coulées de boue). À l'exception du retrait gonflement des sols argileux, les mouvements de terrain sont dits "gravitaires" c'est-à-dire qu'ils ont pour moteur principal la force de gravité, la pesanteur. (Mounim Laouer 2019/2020).

Les mouvements de versants sont liés à plusieurs phénomènes naturels, se manifestant au déplacement brutal d'une masse rocheuse ; le long d'une pente sous l'effet de la gravité, appelées aussi mouvements de versant (Thiery 2007). Les mouvements de terrains posent deux problèmes liés à la prévision de leur propagation dans l'espace et leur évolution dans le temps (CAzimi, P Desvarreux, 1996).

2.2 Les processus des mouvements de terrains :

Les principaux types de mouvements de terrain se caractérisent comme suit (Dr HAOUES 2021) :

2.2.1 Le processus de glissement :

Est un mouvement de pente vers l'aval, affectant une masse rocheuse et/ou de terrain meuble, le long d'une surface de glissement.

2.2.2 Le processus d'éboulement :

Commence avec la désagrégation de matériel rocheux ou meuble sur une pente raide le long d'une surface sur laquelle ne se développe que peu de mouvements de cisaillement. Le matériel tombe ensuite principalement en chute libre, en rebondissant et/ou en roulant.

2.2.3 Le processus d'écoulement :

Résulte du mouvement continu d'une zone superficielle de terrain quittant rapidement la zone de cisaillement, de manière compacte au départ, mais ne conservant généralement pas ce caractère compact.

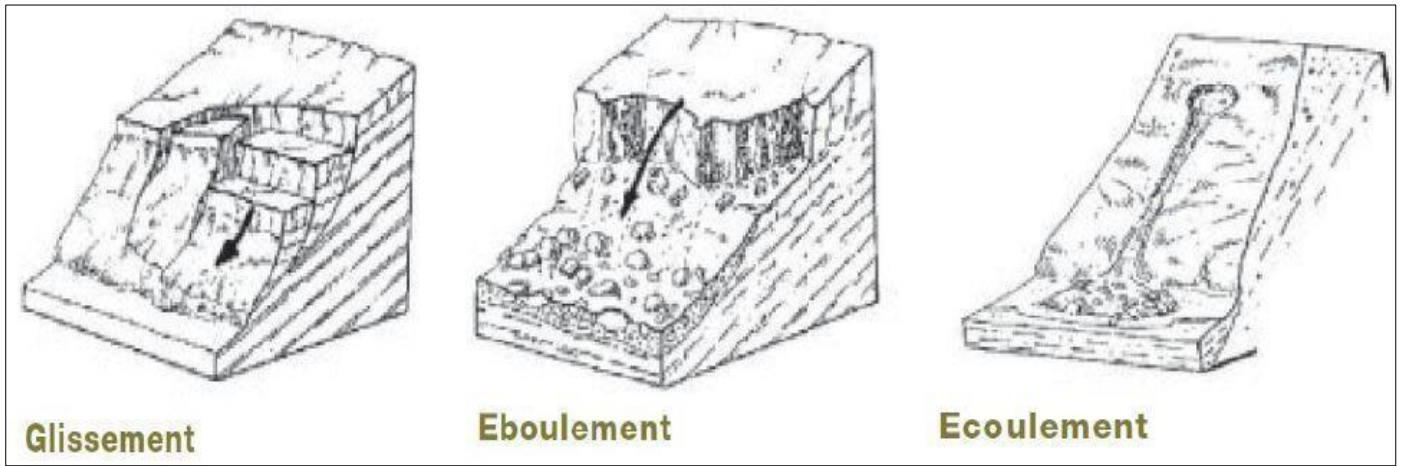


Fig 11 : Les processus des mouvements de terrain (cours de Dynamique des milieux physiques et aléas associés. Dr HAOUES)

2.3 Les types des mouvements de terrain :

Il existe divers types de mouvements de terrain : glissements de terrain, chutes de blocs, effondrements, coulées de boueuses etc... Les déstabilisations gravitaires affectent tous les types de matériaux géologiques, et sont influencées par des paramètres aussi divers que la structure géologique du massif, la topographie, l'état de contraintes tectoniques, ou encore les conditions climatiques locales. Plusieurs classifications ont été proposées pour nommer et regrouper ces différents mouvements de terrain. Parmi ces classifications, celle de Varnes (1978) (Tableau 1) est communément utilisée par la communauté scientifique s'intéressant au comportement mécanique des mouvements gravitaires.

Type de mouvement		type de matériaux		
		Rocher	Débris	Sols
Eboulement (Fall)		Chute de pierre	Chute de débris	Chute de formations superficielles
Basculement (Topple)		Basculement de rocher	Basculement de débris	Basculement de formations superficielles
Glissement (Slide)	Rotationnel	Glissement de rocher	Glissement de débris	Glissement de formations superficielles
	Translationnel	Glissement de rocher	Glissement de débris	Glissement de formations superficielles
Déplacement latérale (Spread)		Déplacement latérale de rocher	Déplacement latérale de débris	Déplacement latérale de formations superficielles
Coulées (Flow)		Coulées de rocher	Coulées de débris	Coulées de formations superficielles
Complexe		Combinaison du deux ou plusieurs types principaux		

Tableau 3 : Classification des mouvements de terrain selon (Varnes 1978)

2.3.1 Les éboulements :

Présentent des chutes de pierres, débris et formation superficielle (matériaux géologiques) détachées d'une pente abrupte ou d'une falaise, ils se produisent généralement sous forme de chute libre, rebondissant et en roulant. Ces types de chutes sont favorisés par l'impact de la fracturation, l'altération différentielle, l'excavation ou l'érosion des cours d'eau et le gel et le dégel. (Fig11.A).

2.3.2 Les basculements :

Un basculement est une action spontanée de masse rocheuse qui bascule ou tourne en avant sur un joint ponctuel ou articulaire, puis se sépare de la masse principale qui tombe avant de reculer ou de rouler librement sur la pente. (Fig11.B).

2.3.3 Les glissements de terrain :

Caractérisés par une surface de décollement, plus ou moins profond. Ils se déclenchent dans les roches meubles ou dans les roches très fracturées. Deux types de glissement sont distingués à savoir :

2.3.4 Glissement rotationnel :

Dans ce cas la surface de rupture est incurvée de manière concave vers le haut et ou le mouvement de la masse glissée est plus ou moins rotatif autour d'un axe parallèle au contour de la pente et suivis en aval par une coulée avec des lobes et des bourrelets ; (Thiery 2007). (Fig12.D).

2.3.5 Glissement transnational :

La masse glissée se déplace vers le bas sur une surface relativement plane et présente peu de mouvement de rotation ou de basculement vers l'arrière. Ces mouvements se développent sur : i) une discontinuité lithologique ou ii) au contact des formations superficielles/ roche saine ; (Thiery 2007) (Fig12.E).

2.3.6 Le déplacement latéral :

Se définit comme un glissement latéral d'un sol en pente douce due à la liquéfaction du sol à des profondeurs relativement faibles, et ne fait pas référence aux grands écoulements horizontaux associés à des défaillances de liquéfaction profondes. (Fig12.C).

2.3.7 Les coulées boueuses :

Sont des phénomènes lents ou rapides affectant des masses de matériaux remaniés, soumis à de forte concentration en eau, sur de faibles épaisseurs généralement de 0 à 5 mètres (Zaagane 2015). Les coulées de boue constituent le type de glissement de terrain plus fluide. Les pluies torrentielles peuvent provoquer ce genre de phénomène dans les régions montagneuses avec une vitesse qui peut atteindre les 90 km/h. (Fig12. F)

2.3.8 Les glissements de terrain complexe :

La combinaison de deux ou plusieurs types de mouvements de terrain est dite mouvement de terrain complexe.

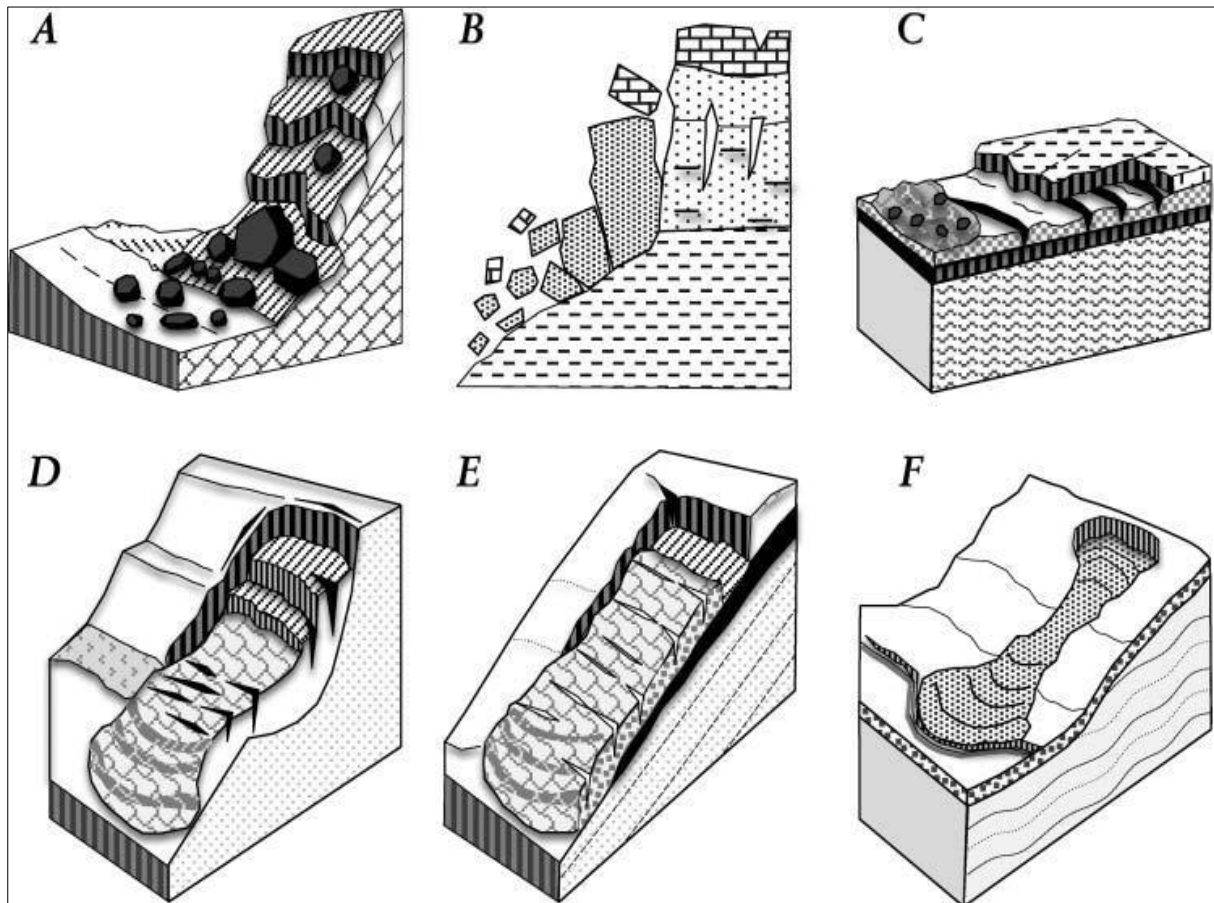


Figure 12 : les types de mouvement de terrain selon la classification de (Cruden and Varnes 1996) (Varnes 1978) modifiés par (Fausto Guzzetti 2015). (A) éboulement, (B) basculement, (C) déplacement latéral (D) glissement de terrain rotationnel (E) glissement de terrain translationnel, (F) coulée boueuse.

2.4 Méthodes utilisées pour l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain :

2.4.1 La méthode statistique de la valeur informative :

La valeur informative est une approche introduite à l'origine par (Yin 1988) ; modifiée par (Van Westen 1993), cette méthode se base sur la comparaison entre la distribution spatiale des phénomènes à la faveur des différents facteurs. Cette méthode s'appuie sur l'analyse statistique basée en premier lieu sur l'évaluation du ratio donné par l'équation (1) :

$$W(i) = \frac{N_{pix}(S_i)/N_{pix}(N_i)}{\sum N_{pix}(s_i)/\sum N_{pix}(N_i)} \quad (1).$$

Où ; $W(i)$ est le poids de chaque classe (par exemple le poids de la classe 10° de la pente), $N_{pix}(S_i)$ est le nombre de pixels de glissement dans la classe i , $N_{pix}(N_i)$ est le nombre de pixels de la classe i . Dans une seconde étape la probabilité d'occurrence des glissements des terrains dans chaque classe qui est déterminée par l'algorithme du ratio donné par l'équation (2) :

$$Pr(i) = \ln \frac{N_{pix}(S_i)/N_{pix}(N_i)}{\sum N_{pix}(s_i)/\sum N_{pix}(N_i)} \quad (2).$$

Enfin l'indice de susceptibilité au glissement de terrain (ISG) déterminé par la synthèse additive de l'ensemble des facteurs (équation 3) après l'intégration de la probabilité d'occurrence des glissements pour chaque classe envisagée.

$$ISG = \sum_{i=0}^n \ln \frac{N_{pix}(S_i)/N_{pix}(N_i)}{\sum N_{pix}(s_i)/\sum N_{pix}(N_i)} \quad (3).$$

2.4.2 La méthode statistique de rapport de fréquence (RF) :

La méthode statistique connue par ratio de fréquence est une méthode simple et facile à appliquer. Cette méthode statistique repose sur le calcul du ratio entre le pourcentage du phénomène dans une classe donnée et le pourcentage de la même classe dans la zone d'étude (Lee and Min 2001). La valeur moyenne du RF égale à 1, dans le cas où la valeur est supérieure à 1, indique que la corrélation entre le phénomène et le facteur de prédisposition est forte, dans le cas contraire ; cette corrélation est faible.

L'évaluation de l'indice de la susceptibilité aux glissements de terrain (ISG) se calcule sur l'équation cumulative suivante :

$$ISG = RF_1 + RF_2 + RF_3 + \dots + RF_n \quad (4).$$

Dont RF exprime le ratio de fréquence pour chaque classe.

2.4.3 La méthode statistique de régression logistique :

La régression logistique présente l'une des méthodes statistiques la plus utilisée dans les domaines de géoscience (Yilmaz 2010). Le calcul de la probabilité d'occurrence du glissement de terrain est réalisé par l'application de l'équation suivante :

$$P(y) = \frac{1}{1+e^{-y}} \quad (4).$$

Où

$P(y)$ est varié entre 0 et 1, Y est exprimée par l'équation

linéaire suivante : $Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n$ (5)

Où

Y est la variable dépendante présentée par l'absence (0) ou la présence (1) d'un phénomène, b_0 est l'interception, b_1, b_2, \dots, b_n sont les coefficients de régression partielle, x_1, x_2, \dots, x_n sont les variables indépendantes (facteurs de prédisposition).

2.4.4 La méthode statistique AHP (Analytical hierarchy process) :

La méthode AHP est une approche de prise de décision multicritère. Elle est basée sur des calculs complexes utilisant l'algèbre matricielle. Cette approche a été développée par (Saaty 1980). Cette méthode a été utilisée dans plusieurs domaines, tels que : la planification des transports combinés, le rationnement de l'énergie, la gestion des risques, l'analyse comparative des opérations logistiques, le risque d'inondation, la susceptibilité aux glissements de terrain. La popularité de l'AHP est due à sa simplicité, sa flexibilité, sa facilité d'utilisation et d'interprétation (Yalcin and Bulut 2007). Le modèle AHP consiste à appliquer les étapes suivantes : i) hiérarchiser le problème de la prise de décision, ii) établir un jugement comparatif, iii) synthétiser les propriétés et mieux évaluer la cohérence du système.

Dans la littérature, plusieurs travaux ont utilisé le modèle AHP pour évaluer la pondération des facteurs causatifs des glissements de terrain, mais pas pour les différentes classes des facteurs tels que le travail de (Barredo et al. 2000, Akgun and Türk 2010, Mondal and Maiti 2012). D'autres chercheurs ont utilisé le modèle AHP pour calculer le poids des facteurs causatifs des glissements de terrain et de leurs différentes classes (Phukon et al. 2012, Chen et al 2016a, Chen et al. 2016b, Yalcin et al. 2011, Intarawichian and Dasananda 2010). Le modèle AHP, permet calculer le poids de chaque facteur, au sein d'une matrice de comparaison par paires ainsi établie. En comparant chaque facteur avec les autres facteurs en utilisant une valeur comprise entre 1 et 9 ou 1/2 et 1/9 en fonction du degré d'efficacité (Tab 4).

Echelle	Définitions	Explications
1	importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3	un élément est un peu plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5	un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à un autre
7	un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9	un élément est absolument plus important que l'autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires	Used to represent compromises between the preferences in weights 1, 3, 5, 7 and 9.
Réciproques	Les opposés	Utilisé pour la comparaison inverse.

Tableau 4 : Echelle de comparaison de Satty 1980

Ces jugements sont confirmés à l'aide du rapport de consistance, CR donné par l'équation 6 :

$$CR = \frac{CI}{IA} \quad (06)$$

Où, IC est l'indice de consistance exprimé par la formule:

$$CI = \frac{(\lambda_{max}-n)}{(n-1)} \quad (07)$$

IA : Présente l'indice aléatoire définis par Saaty selon le tableau 3 :

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0	0	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5
			8	0	2	4	2	1	2	5	9	1	8	6	7	9

Où λ_{max} est la valeur propre la plus grande ou la plus importante de la matrice et peut être facilement calculé à partir de la matrice et n est l'ordre de la matrice. Si CR est supérieur à 0,1, la matrice de comparaison est incohérente et doit être révisée.

Finally, the integration of these factors and classes into a single susceptibility index for landslides (LSI) is given by a procedure based on a weighted linear sum. The susceptibility map for landslides using the AHP model will be constructed using equation (08):

$$LSI = \sum_{i=1}^n W_j \cdot W_{ij} \quad (08)$$

Where W_j is the weight of the causal factor j , w_{ij} is the weight of the class i of the causal factor j and n is the number of causal factors.

2.4.5 La théorie de l'évidence (WOE) :

The WOE method is one of the statistical probability methods used in earth sciences. It has been applied in several domains such as mineral identification (Bonham-Carter 1989), landslide susceptibility (Regmi et al. 2010) and flood susceptibility (Khosravi et al. 2016a, Tehrany et al. 2014b). The weight of each factor in landslide susceptibility can be estimated by combining each conditioning factor with the landslide inventory (presence or absence of landslides, according to equations 19 and 20 (Bonham-Carter 1994)).

$$W^+ = Ln \frac{P(B/L)}{P(\bar{B}/L)} \quad (09) \qquad W^- = Ln \frac{P(\bar{B}/L)}{P(B/L)} \quad (10)$$

Where, P is the probability, B and \bar{B} are respectively the presence or absence of the predictive factor of landslide potential, L and \bar{L} are respectively the presence or absence of landslide. W^+ and W^- are the weights of the presence or absence of landslide.

$$WC = W^+ - W^- \quad (11)$$

Where, WC is the weight contrast; it indicates the correlation between the occurrence of landslides and the conditioning factors of landslides.

The positive and negative values of the weight contrast WC , which means that the highest value, indicates a strong correlation between the predictable variable and the landslide and vice versa. The intersection of different causal factors with the landslide inventory map (formation data) allowed us to extract a database containing the landslide zones of each class, the stable zones of each class. The total of landslide zones and the total of stable surfaces with statistical analysis allowed us to estimate the parameters W^+ , W^- and WC using respectively the previous equations (09, 10 and 11).

CHAPITRE III :

Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain Cas du secteur de Mers el kbir

3 Chapitre III : Cartographie de la susceptibilité aux glissements deterrain Cas du secteur de Mers el kbir

3.1 La pente :

Dans la zone d'étude, le terrain est complexe car il est fortement accidenté et contient des pentes assez prononcées. La pente joue un rôle primordial dans l'occurrence des glissements de terrain. Il s'agit certainement de la variable la plus utilisée dans l'étude des glissements de terrain (Lee et Min, 2001 ; Cevik et Topal, 2003). La pente est une composante essentielle dans l'analyse de la stabilité, elle est directement liée au potentiel gravitationnel et donc à la contrainte de cisaillement à laquelle sont soumis les matériaux.

Les gradients de pente ont, par conséquent, une grande influence sur la susceptibilité des versants aux glissements. Elle présente l'un des paramètres topographiques les plus importants dans l'estimation de l'instabilité des versants. Ce facteur permet d'accélérer les mouvements gravitaires, cependant les valeurs des gradients de pente sont notées en Degré est générés à partir du modèle numérique de terrain MNT spécifique à la zone d'étude qui est assignée en cinq classes:(0 –10, 10 – 20, 20–30, 30– 40 et >40°).

Sur une pente, les effets gravitationnels peuvent être séparés en un composant parallèle à la pente (qui tire l'objet vers le bas de la pente) et un composant perpendiculaire à celui-ci (qui tire l'objet contre la surface de la pente). À mesure que l'angle de la pente augmente (ce qui la rend plus raide), la composante.

Parallèle de la gravité augmente et la composante perpendiculaire diminue, surmontant ainsi la résistance au mouvement vers le bas. Cette résistance est appelée frottement et dépend de la composante perpendiculaire de la gravité, ainsi que des surfaces de la pente et de l'objet. Lorsque le composant parallèle devient supérieur au composant perpendiculaire, l'objet glisse le long de la pente. Fig13.

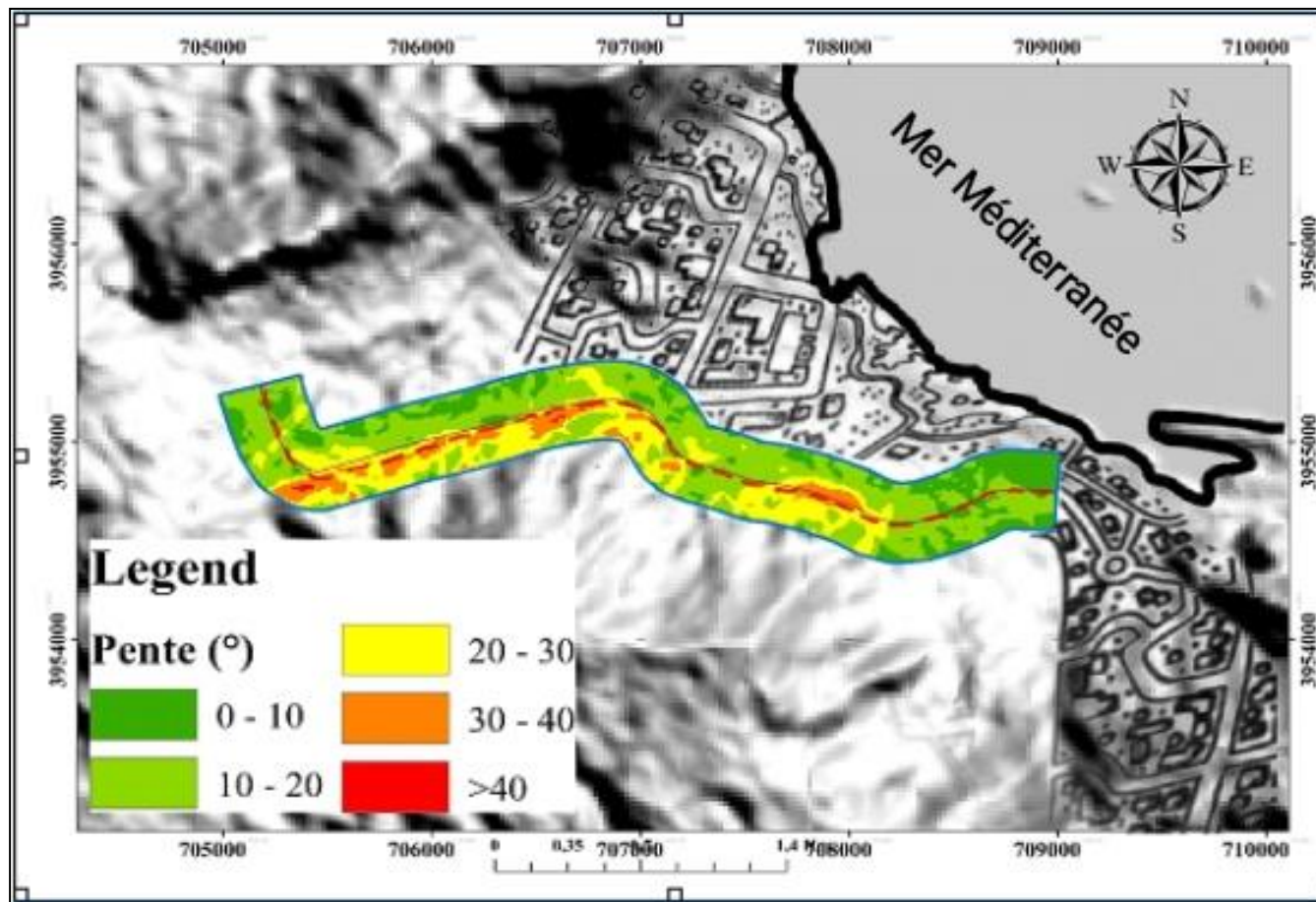


Fig13 : Carte des pentes de la zone d'étude réalisée par Arc GIS

3.2 L'aspect (l'exposition de la pente) :

L'aspect ou l'exposition de la pente présente aussi un paramètre essentiel dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain, ce facteur permet d'influencer dans l'instabilité des versants d'une part par le changement de concentration en humidité du sol selon l'exposition de la pente par rapport aux pluies et aux vents et d'autre part par l'effet tectonique (l'orientation de la fracturation). L'exposition de la pente est générée à partir du MNT.

L'intensité de l'exposition à la lumière, le type et l'étendue du couvert végétal et l'apport des eaux de surface varient considérablement selon l'aspect de la pente, la différence de température entre jour et nuit sur une pente ensoleillée est également plus importante que sur une pente ombragée et le cycle sec-humide est également plus rapide, ce qui réduit la résistance et la stabilité de la masse rocheuse et du sol sur la pente ensoleillée, à son tour augmenter la probabilité de glissement de terrain.

L'exposition de la pente est classifiée en 8 directions d'orientation (Nord, Nord-est, Est, Sud-est, Sud, Sud-ouest, Ouest, Nord-Ouest) et les valeurs négatives sont réservées on zone plate (fig 14)

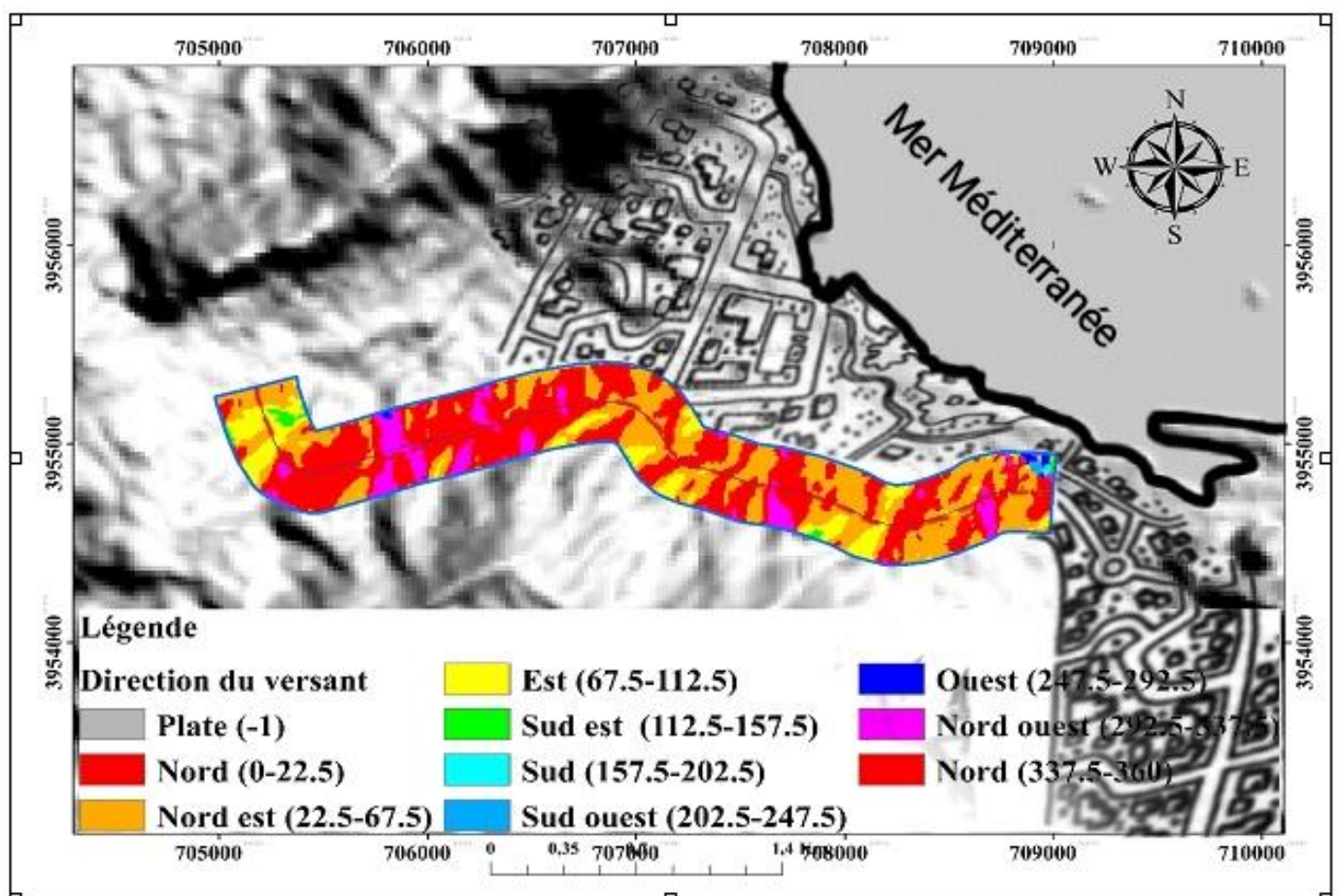


Fig. 14 : Carte de l'exposition des versants de la zone d'étude réalisée par Arc GIS

3.3 Lithologie :

La lithologie d'une région influe fortement sur la stabilité des pentes. Il existe une relation étroite entre ce facteur et l'occurrence de glissements de terrain. Une attention particulière doit être accordée à la lithologie d'une région parce que la plupart des ruptures de pente sont peu profondes, impliquant donc des dépôts près de la surface. Elle est considérée comme un facteur causatif fondamental dans cette étude. Fig15.

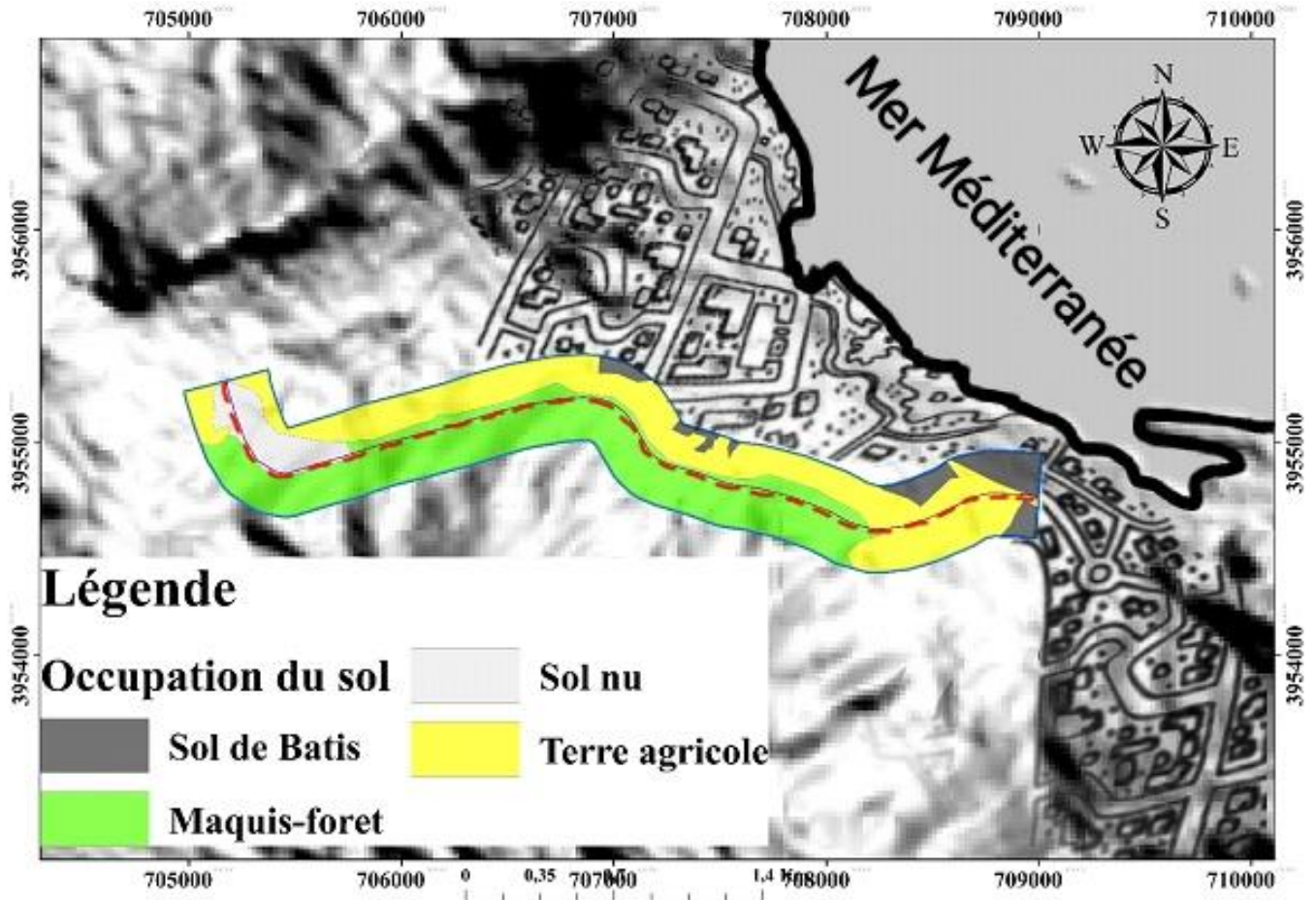


Fig15 : Carte lithologique simplifiée de la zone réalisée par Arc GIS

3.4 La distance Par a pour réseau de la faille :

Selon Pachauri et al. (1992), la considération de l'activité sismique dans la prédiction des glissements de terrain se traduit parfois par la prise en compte de l'accélération sismique et/ou de la proximité aux failles.

Les zones de proximité du tracé de faille présentent les endroits de faiblesse, où la fracturation est très dense permettant ainsi d'augmenter la probabilité d'occurrence aux glissements de terrain (Bourenane et al. 2016 ; Pradhan and Lee 2010), Dans notre cas la distance de proximité à la faille est classifiée en cinq classes d'intervalle de 50 m (0-50, 50-100, 100-150, 150-200 et >200). Fig16.

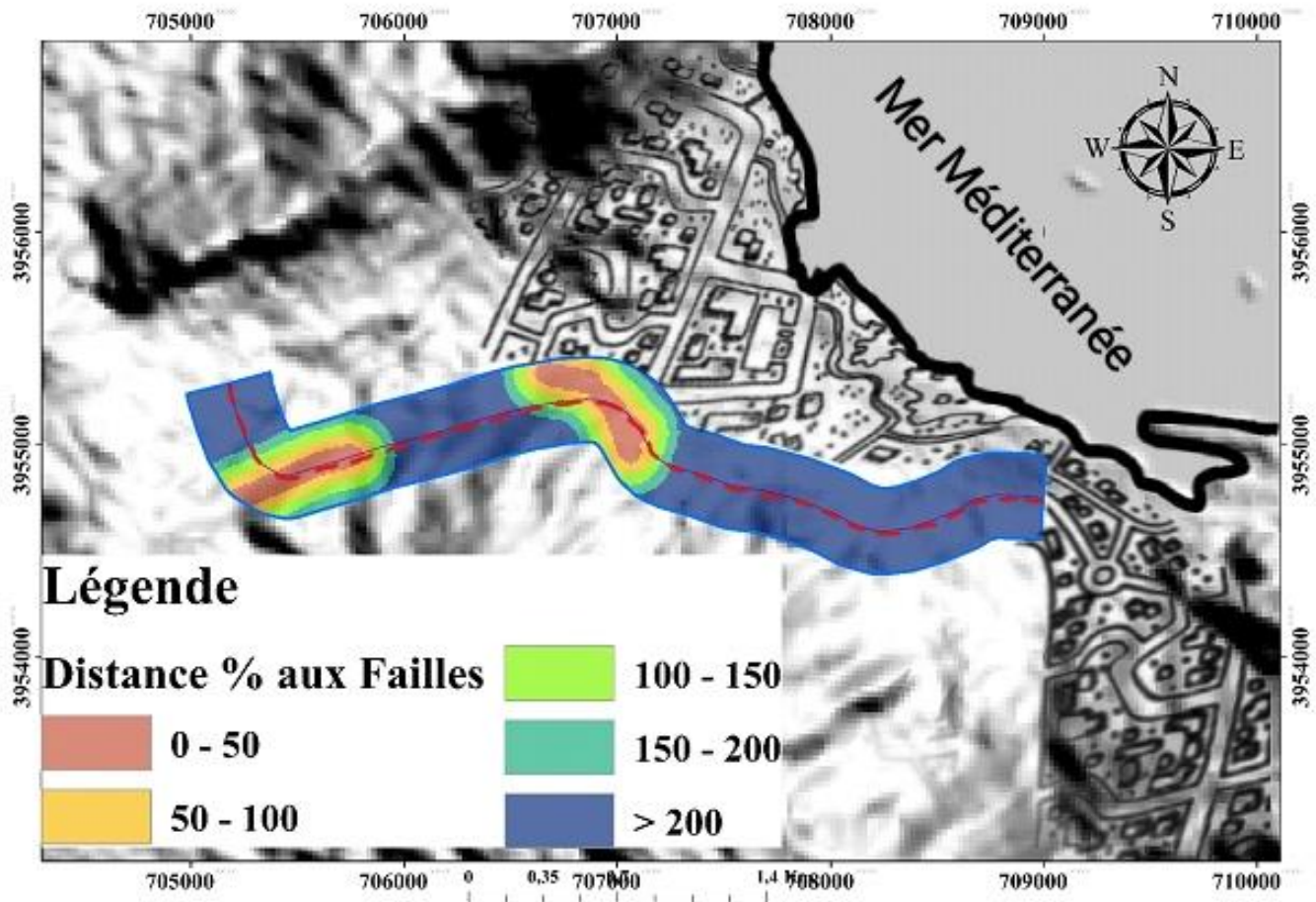


Fig16 : Carte de proximité aux failles réalisée par Arc GIS

3.5 Cours d'eau (Proximité au réseau hydrographique) :

Certains mécanismes de glissements de terrain correspondent à l'action érosive des cours d'eau. Le réseau de drainage peut avoir une influence sur la distribution des zones instables (glissements de terrain) en modifiant le comportement du terrain par l'érosion des ravins qui peut initier la rupture des pentes. Différentes études, comme celles de Dai et Lee (2001, 2002), ont mis en évidence l'influence du réseau de drainage sur la distribution des glissements de terrain.

Comme l'eau peut augmenter le poids du sol et des matériaux rocheux, on la connaît comme un facteur qui déclenche un glissement de terrain. L'espace inters yeux du sol et des roches exposés sur la pente est d'environ **10 % à 35 %** de leur taille. Lorsqu'il est sec, l'espace inter sérique est occupé par l'air. Cependant, après des précipitations à long terme, l'espace inters titi eux est entièrement occupé par l'eau et augmente donc le poids des sédiments. En d'autres termes, la puissance qui pousse les sédiments à se déplacer vers le bas est donc augmentée. Fig17.

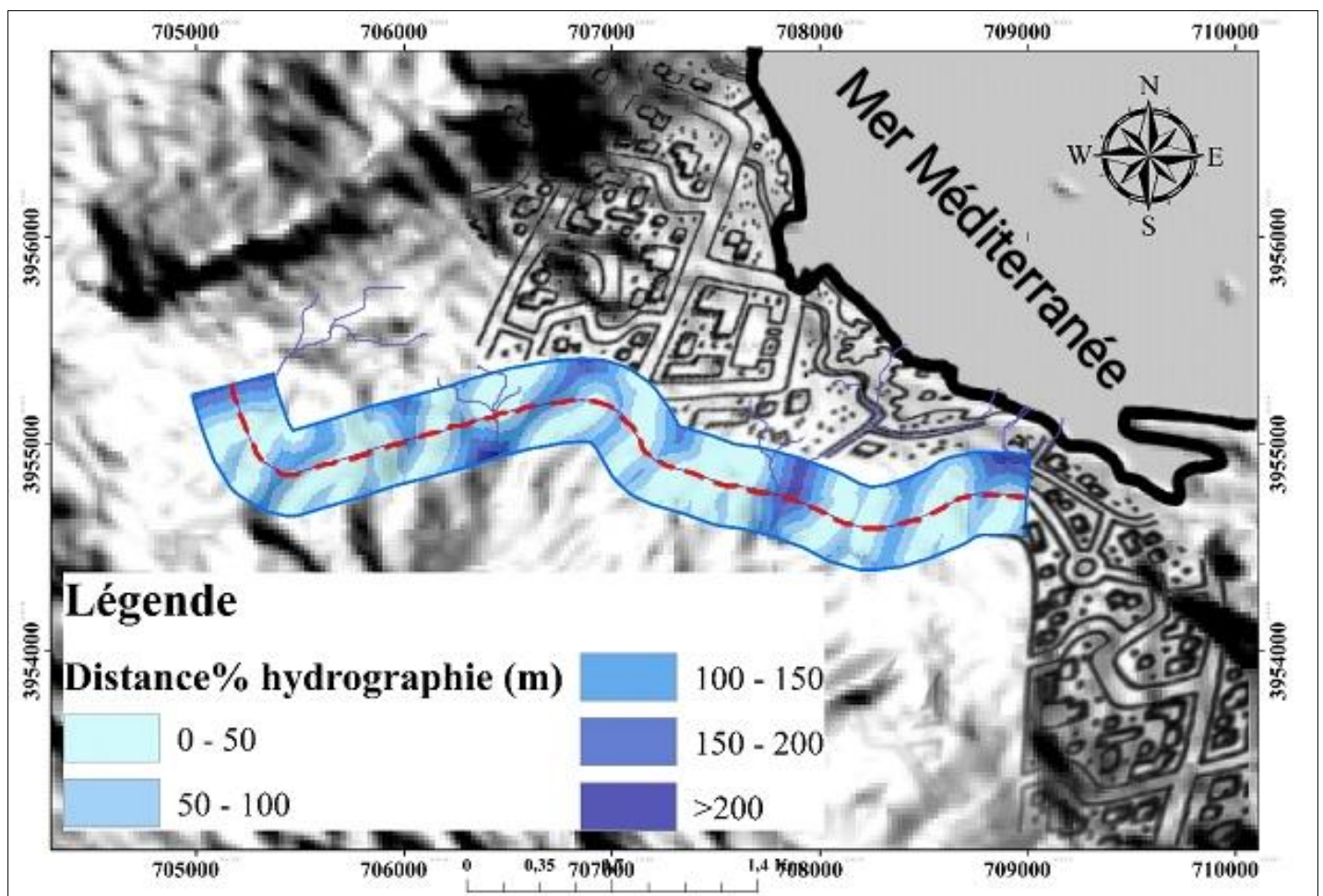


Fig17 : Carte de proximité au réseau hydrographique réalisée par Arc GIS

3.6 Occupation des sols:

L'occupation du sol est également un facteur très important dans la genèse des processus de glissements de terrain. À savoir que les zones forestières sont plus stables que les zones à sol nu ou les zones cultivées. Dans notre étude la carte d'occupation est classifiée en neuf zones distinctes (culture, culture arboricole, forêt, Maquis, oléiculture, polyculture, plan d'eau, sol nu et urbain).

Plusieurs études ont mis en évidence le rôle prépondérant de la végétation sur la stabilité des pentes et principalement lorsque des changements d'affectation interviennent (Jakob M., 2000 ; Montgomery et al., 2000 ; Glade, 2003). Fig18.

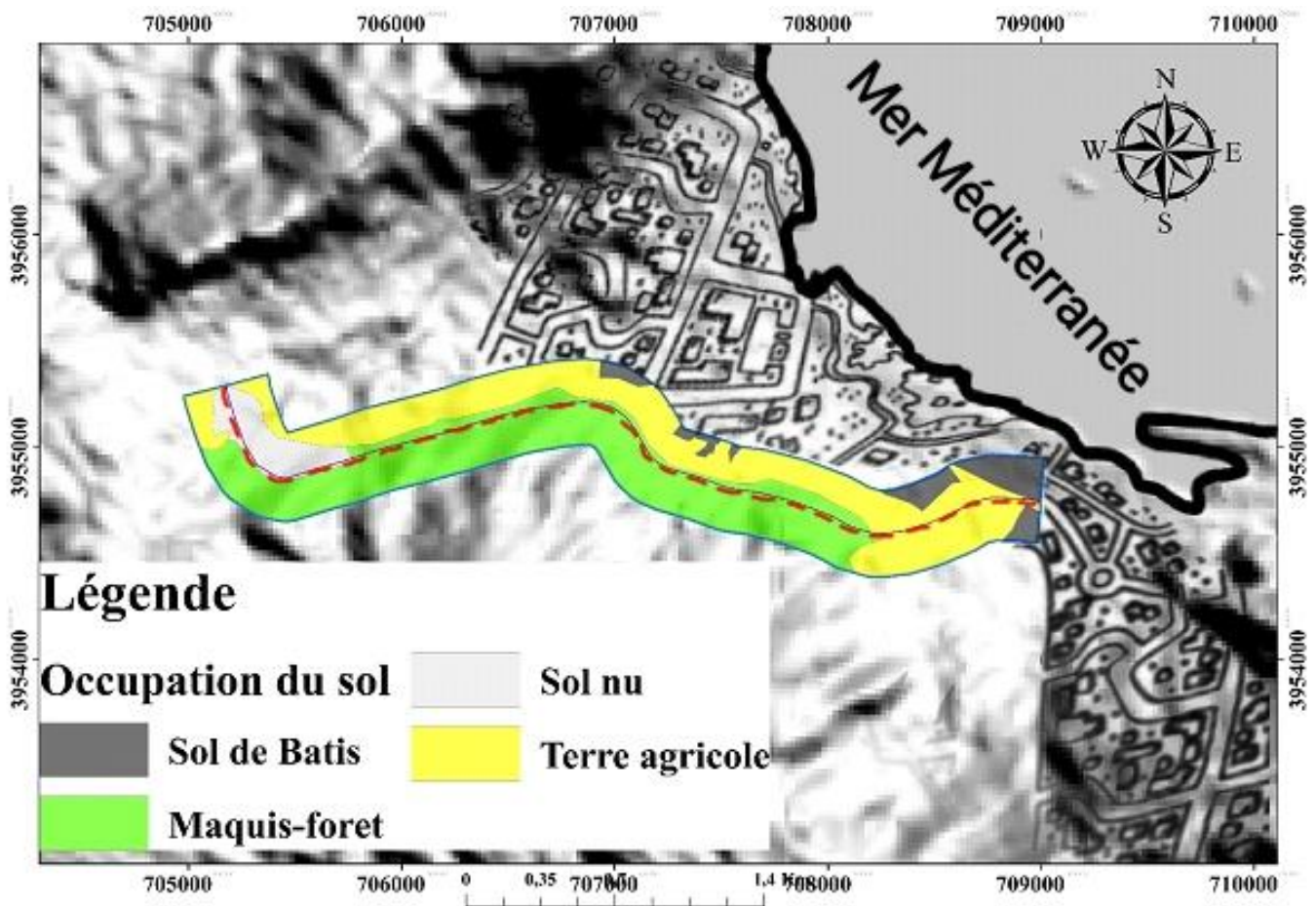


Fig18 : Carte d'affectation des sols réalisée par Arc GIS

3.7 Altitude :

L'altitude est un autre paramètre fréquemment utilisé pour les études de susceptibilité aux glissements de terrain. Il est précisé que les glissements de terrain ont plus tendance à se produire à des altitudes plus élevées (Ercanoglu et al.2004).

Plusieurs recherches ont utilisé l'altitude comme paramètre de détermination des zones exposées aux phénomènes de glissements de terrain (Devkota et al. 2013 ; Ozdemir and Altural 2013), pour exprimer le gradient altimétrique depuis la carte des altitudes ; un traitement hypsométrique a été initié pour générer une classification en tranches d'altitudes réparties en 5 classes : 0-50, 50-100, 100-150, 150-200, >200.fig19

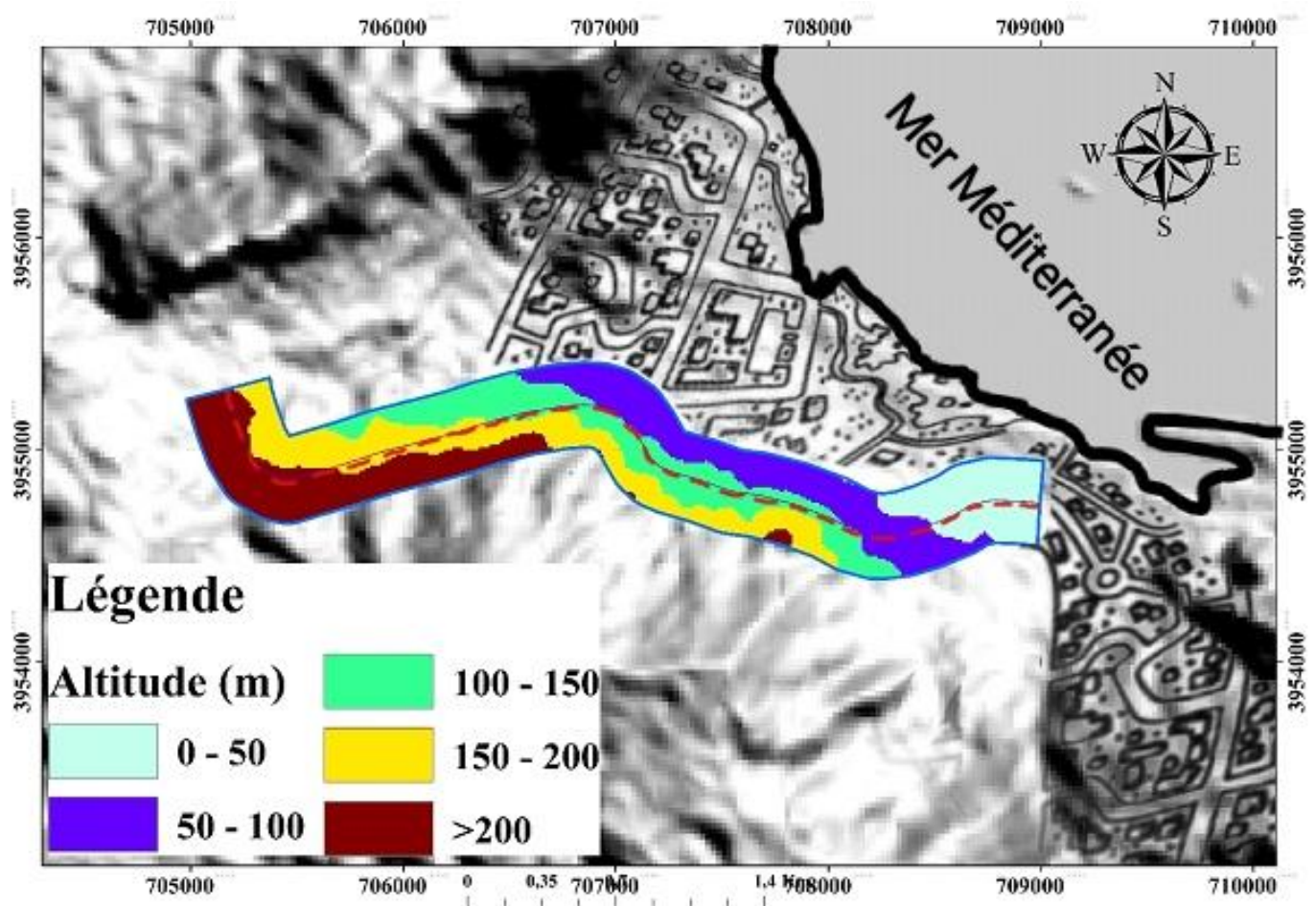


Fig19 : Carte d'altitude de la zone d'étude réalisée par Arc GIS

3.8 Carte finale de susceptibilité :

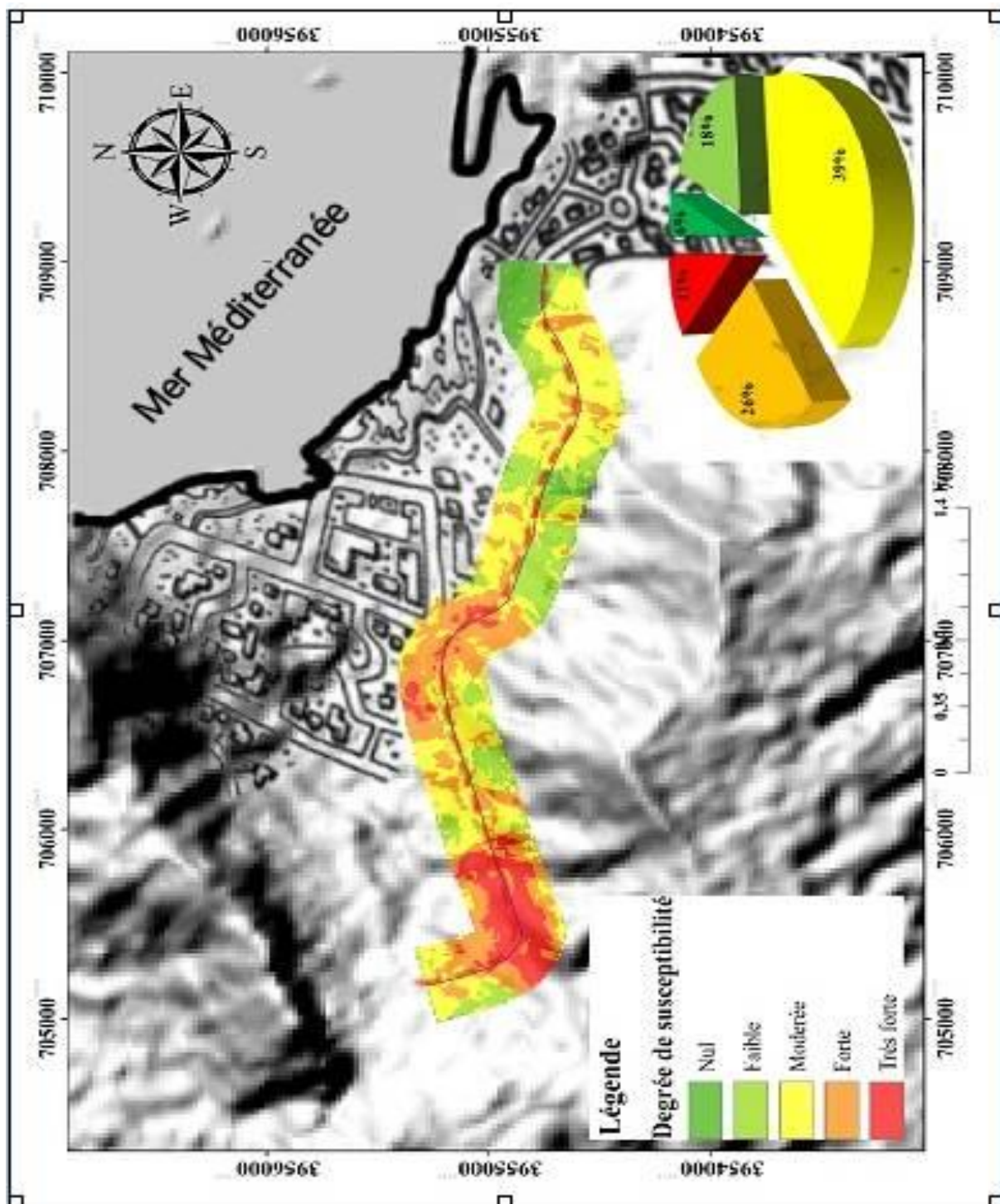


Fig20 : Carte de susceptibilité réalisée par ArcGIS

La carte de la susceptibilité aux glissements de terrain de la commune de Mers el Kabîr et établie par la classification de l'indice de susceptibilité au glissement de terrain en 5 class :

Une classe nulle avec un taux de 6% de la superficie totale.

Une classe faible avec un taux de 18% de la superficie totale.

Une classe modère avec un taux de 39% de la superficie totale.

Et un niveau fort avec un taux de 26% de la superficie totale

Et une classe très forte avec un taux de 39% de la superficie totale.

4 Conclusion :

Les glissements de terrain présentent ainsi un phénomène plus fréquent dans la zone d'étude et spécialement dans la zone montagneuse. Pour minimiser les conséquences de ce problème, on recommande des études préliminaires portant sur la cartographie des zones exposées aux phénomènes des mouvements de terrain source d'instabilité

Les études des glissements de terrain au niveau de la zone côtière du littoral Oranais (Mers El Kebir) montrent que les caractéristiques topographiques, géologiques et hydrologiques favorisent l'apparition, en certains endroits, des glissements de terrains importants. L'étude de ces phénomènes par l'application de plusieurs techniques et approches ; par des données de haute résolution à une échelle locale ont permis de mieux apprendre la topologie et les caractéristiques géomorphologiques des glissements de terrain envisagés .

La validation des résultats obtenus par l'application des modèles robustes confirme l'aptitude des modèles statistiques à résoudre les niveaux de la susceptibilité aux glissements de terrain et fournissant le zonage préventif des terrains à risque des glissements de terrain.

Les recommandations à faire :

Si l'on doit vivre à proximité de pentes à risque, il existe plusieurs solutions de génie civil afin de prévenir les glissements de terrain, notamment :

- Améliorer le drainage
- Réduire la dénivellation de la pente
- Excaver le haut de la pente
- Construire une berme ou un mur de protection afin de renforcer le bas de la pente
- En utilisant les commentaires d'experts et une planification méthodique, les collectivités peuvent déterminer les pentes à risque et restreindre ou surveiller le développement dans les zones dangereuses.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- **Barredo J, Benavides A, Hervás J, van Westen CJ** (2000) Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2:9-23.
- **Bonham-Carter GF** (1994) Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS *Computer methods in the geoscientists* 13:398.
- **Bonham-Carter GF** (1989) Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential *Statistical applications in the earth sciences*:171-183.
- **HAOUES** cours de Dynamique des milieux physiques et aléas associés (2021).
- **Khosravi K, Pourghasemi HR, Chapi K, Bahri M** (2016b) Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: a comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models *Environmental monitoring and assessment* 188:656.
- **Lee S, Min K** (2001) Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea *Environmental geology* 40:1095-1113.
- **Martha TR, Roy P, Govindharaj KB, Kumar KV, Diwakar P, Dadhwal V** (2015) Landslides triggered by The June 2013 extreme rainfall event in parts of Uttarakhand state, India *Landslides*.12:135-146.
- **Mounim Laouer** RISQUE NATURELS ET DEVELOPEMENT DURABLE MOUVEMENT DE TERRAIN Glissement Ecoulement (2019/2020).
- **Ozdemir A, Altural T** (2013) A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey *Journal of Asian Earth Sciences* 64:180-19.
- **Regmi NR, Giardino JR, Vitek JD** (2010) Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA *Geomorphology* 115:172-187.
- **Pachauri AK, Pant M** (1992) Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Eng Geol* 32:81-100.
- **Pradhan B, Lee S** (2009) Landslide risk analysis using artificial neural network model focussing on different training sites. *Int J PhysSci* 4:001-015.
- **Roukh Zine El Abidine** (2020) Cartographie algébrique d'aléa multirisque du Littoral Oranais, NO del'Algérie .
- **Saaty T** (1980) *The analytical hierarchy process: planning, priority setting, and resource allocation* McGraw-Hill New York.
- **Tehrany MS, Pradhan B, Jebur MN** (2014b) Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS *Journal of hydrology* 512:332- 343.

- **Thierry Y** (2007) Susceptibilité aux mouvements de versant dans le bassin de Barcelonnette : cartographie morphodynamique, analyse spatiale et modélisation probabiliste. Thèse de Doctorat, Université de Caen, 445p.
- **Tian Y, Xu C, Chen J, Hong H** (2017) Spatial distribution and susceptibility analyses of pre-earthquake and coseismic landslides related to the Ms 6.5 earthquake of 2014 in Ludian, Yunan, China Geocarto international 32:978-989.
- **Van Westen CJ** (1993) Application of geographic information systems to landslide hazard Zonation.
- **Varnes DJ** (1978) Slope movement types and processes Special report 176:11-33
- **Yalcin A, Bulut F** (2007) Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey) Natural Hazards 41:201-226.
- **Yilmaz I** (2010) Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine Environmental Earth Sciences 61:821-836
- **Yin K** Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. In: Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, 1988. pp 1269-1272.
- **Wildi W** (1983) La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène Revue de géographie physique et de géologie dynamique 24:201-297.
- **Zaagane M** (2015) Importance de la morphotectogenèse du parautochtone de l'Ouarsenis dans la mise en place d'un matériel épiglyptique (Tell Oranais-Algérie occidentale): Cartographie structurale, analyse qualitative et quantitative des risques, Thèse de Doctorat, Université de Mustapha Stambouli, Mascara, 221p.

Table des figures :

Figure 1 : la situation géographique de wilaya d'Oran sur la base du PDAU d'Oran	12
Figure 2 : Localisation de la commune de Mers el Kebi.....	13
Figure 3 : Carte géologique du nord de l'Afrique montrant les différentes unités géologiqu.....	14
Figure 4 : Carte géologique de la commune de Mers El kebir.....	17
Figure 5 : MNT de la commune de Mers El Kebir altitudes en (m).....	18
Figure 6 : Carte des pentes de la commune de Mers El Kebir.....	19
Figure 7 : Carte des directions des pentes de la commune.....	19
Figure 8 : Histogramme des Précipitations Annuelles.....	21
Figure 9 : Variation des Températures Moyennes Mensuelles « Oran Sénia » (2000-2009.....	22
Figure 10 : Histogramme d'Humidité relative mensuelle à la Station d'Ora.....	22
Figure 11 : Les processus des mouvements de terrain.....	26
Figure12 : les types de mouvement de terrain selon la classification de (Crudenand Varnes 1996) (Varnes 1978) modifiés par (Fausto Guzzetti 201.....	29
Figure 13 : Carte des pentes de la zone d'étude réalise par Arc GIS.....	36
Figure 14 : Carte de l'exposition des versants de la zone d'étude réalise par Arc G.....	37
Figure 15 : Carte lithologique simplifiée de la zone réalise par Arc GI.....	38
Figure16 : Carte de proximité aux failles réalise par Arc GI.....	39
Figure17 : Carte de proximité au réseau hydrographique réalise par Arc GIS.....	40
Figure18 : Carte d'affectation des sols réalise par Arc GIS	41
Figure19 : Carte d'altitude de la zone d'étude réalise par Arc GI.....	42
Figure20 : Carte de susceptibilité réalise par Arc GIS.....	43

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Les coordonnées des stations climatiques utilisée.....	20
Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles 1983-2013.....	21
Tableau 3 : Classification des mouvements de terrain selon (Varnes 1978)	27
Tableau 4 : Echelle de comparaison de Satty 1980.....	32

