

EVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITE A L'ALEA « GLISSEMENT DE TERRAIN » PAR L'UTILISATION DE L'OUTIL SIG: APPLICATION A LA VILLE DE CONSTANTINE (ALGERIE).

MEZHOUD Lamia, BENZAOUZ Mohamed Tahar

Université des Frères Mentouri Constantine 1, BP, 325 Route Ain El Bey, 25017, Constantine, Algérie

Reçu le 09/07/2017 – Accepté le 07/02/2018

Résumé

L'aléa lié aux glissements de terrain, présente l'un des phénomènes qui constitue un danger sur le tissu urbain de la ville de Constantine. Cette recherche précise une procédure pour évaluer et cartographier l'aléa lié aux glissements de terrain dans cette ville.

La méthodologie suivie consiste en la production des cartes thématiques par combinaison de SIG des facteurs déterminants dans le déclenchement des instabilités de terrain.

Ces cartes sont par la suite combinées pour produire une carte d'aléa glissement de terrain, qui constituera un outil important pour l'aménagement du territoire et la gestion des risques permettant de définir et d'identifier les zones de susceptibilité aux glissements de terrain.

Mots clés: Aléa naturel, Susceptibilité, Glissement de terrain, Système d'information géographique, Constantine.

Abstract

The hazard associated with landslides is one of the phenomena which constitute a danger on the urban infrastructure of the city of Constantine. This work presents a procedure for assessing and mapping the hazard associated with landslides in this city.

The followed methodology and the production of thematic maps by combination in GIS, factors determining the triggering of field instabilities.

These cards are eventually combined to give a hazard map landslide. That is an important tool for land use planning and risk management, allowing defining and identifying the areas of susceptibility to landslides.

Keywords: Natural hazard, Susceptibility, Landslide, Geographic Information System, Constantine.

المخلص

تشكل المخاطر المرتبطة بالانزلاقات الأرضية، واحدة من أكثر الظواهر التي تشكل خطرا على النسيج العمراني لمدينة قسنطينة. يعرض هذا العمل إجراء لتقييم ورسم خرائط المخاطر المتعلقة بالانزلاقات الأرضية في هذه المدينة. المنهجية المعتمدة عليها تقوم اساسا على إنشاء خرائط موضوعية من خلال الجمع ضمن نظم المعلومات الجغرافية، حيث يتم من خلاله تحديد العوامل التي تسبب عدم الاستقرار الاراضي، ثم يتم الجمع بين الخرائط الموضوعية لإعطاء خريطة المخاطر المتعلقة بالانزلاقات الأرضية، والتي ستكون أداة مهمة لتهيئة المجال وإدارة المخاطر، تكمن اهميتها في تحديد والتعرف على المناطق التي من المحتمل أن تتعرض للانزلاقات الأرضية.

الكلمات المفتاحية: المخاطر الطبيعية، القابلية، الانزلاقات الأرضية، نظام المعلومات الجغرافية، قسنطينة.

1. INTRODUCTION

En Algérie la ville de Constantine est caractérisée par la fréquence des sites exposés aux glissements de terrain et qui menacent dangereusement de nombreux quartiers de la ville.

Les premières manifestations ont été observées au début du 20ème siècle, actuellement les désordres affectent une superficie importante du tissu urbain, menaçant le patrimoine immobilier existant [1].

L'évaluation du risque glissement de terrain implique d'évaluer le niveau d'aléa et les enjeux humains ainsi que la vulnérabilité des éléments exposés.

L'objectif de ce travail est l'évaluation de l'aléa par l'analyse de la susceptibilité des terrains aux glissements, c'est-à-dire la possibilité qu'un glissement se produise sur un territoire donnée pour différentes conditions environnementales locales.

2-APPROCHE ET METHODOLOGIE :

Avant toute analyse spatiale des facteurs de la susceptibilité, il est nécessaire de définir de façon claire, le concept de celle-ci.

D'après la définition proposée par Julião et al (2009), "la susceptibilité, représente la prédisposition d'une zone à être touchée par certains phénomènes dangereux, en un temps indéterminé, évaluée à l'aide de critères de prédisposition à ces phénomènes ou actions, sans prendre en compte sa période de retour ou la possibilité de se reproduire" [2].

Elle est donc définie comme la probabilité d'occurrence spatiale d'un phénomène en fonction de leur occurrence temporelle.

Les méthodes de cartographie de la susceptibilité s'appuient essentiellement sur le croisement d'un inventaire de phénomènes gravitaires avec des facteurs de prédispositions locaux afin de dégager les relations entre la présence de ces facteurs et les phénomènes.

Ces relations sont ensuite généralisées afin de produire une carte de probabilité de présence future de phénomènes gravitaires ; "La cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain a connu un fort développement méthodologique depuis la fin des années 90 et la démocratisation des SIG" [3] [4].

En réalité, il existe plusieurs méthodes d'évaluation de l'aléa « glissement de terrain », elles sont généralement qualitatives, c'est-à-dire basées sur l'expérience régionale d'experts, et beaucoup plus rarement quantitatives et requièrent en général une approche théorique plus rigoureuse.

Ces méthodes peuvent se diviser en deux principales catégories : les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives.

o **Les méthodes qualitatives:** peuvent être des approches géomorphologiques ou des approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique.

o **Les méthodes quantitatives :** sont basées sur des analyses statistiques de données de terrain, ou sur des modèles déterministes ou probabilistes.

Chacune des méthodes d'analyse et de cartographie de l'aléa utilise des données provenant de différentes cartes des facteurs qui influencent la stabilité des talus de la région considérée.

Ces facteurs sont divisés en plusieurs classes de façon à représenter leur variabilité dans l'espace. Une fois les variables géoréférencées, intégrées et organisées dans le SIG, la superposition des informations peut être exploitée pour évaluer la susceptibilité.

Cette recherche propose de réaliser une cartographie de la susceptibilité aux glissements de la ville de Constantine, en utilisant une étude approche bivariée «théorie de l'évidence» [5].

Cette méthode est considérée actuellement comme l'une des plus robustes statistiquement pour ce type d'étude.

Le modèle adopté pour évaluer la susceptibilité est basée sur une méthode statistique bivariée mettant en relation les glissements avec les facteurs de prédisposition, son principe est le suivant :

o Les valeurs de chaque variable sont groupées en plusieurs classes.

o Une première superposition de la carte des glissements existant avec chaque facteur permet de calculer une valeur informative (VI) basée sur des rapports de surfaces pour chaque classe de variable.

Cette valeur servira pour quantifier la contribution de la classe dans le déclenchement des glissements. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$VI \text{ Classe } (i) = \ln \left[\frac{S_i / N_i}{S / N} \right] \quad (1)$$

Avec :

- S_i = la surface de la classe i qui a glissé
- N_i = la surface de la classe i
- S = la surface totale qui a glissé
- N = la surface totale de la zone étudiée

3-APPLICATION DE LA METHODE QUANTITATIVE A LA VILLE DE CONSTANTINE :

3-1-Présentation de la zone d'étude :

La ville de Constantine, Chef-lieu de wilaya, est située à 36° 22' Nord et 6°37' Est du méridien de Greenwich. Elle se dresse au contact des montagnes telliennes au nord et les hauts plateaux au sud.

Elle s'est édifiée sur un Rocher, situé à la confluence de deux oueds : le Boumerzoug au sud et le Rhummel à l'ouest. Son site est caractérisé par une topographie accidentée dont les zones de replats est bordée par de fortes pentes aux dénivellations importantes (Fig1).

EVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITE A L'ALEA « GLISSEMENT DE TERRAIN » PAR L'UTILISATION DE L'OUTIL SIG : APPLICATION A LA VILLE DE CONSTANTINE (ALGERIE).

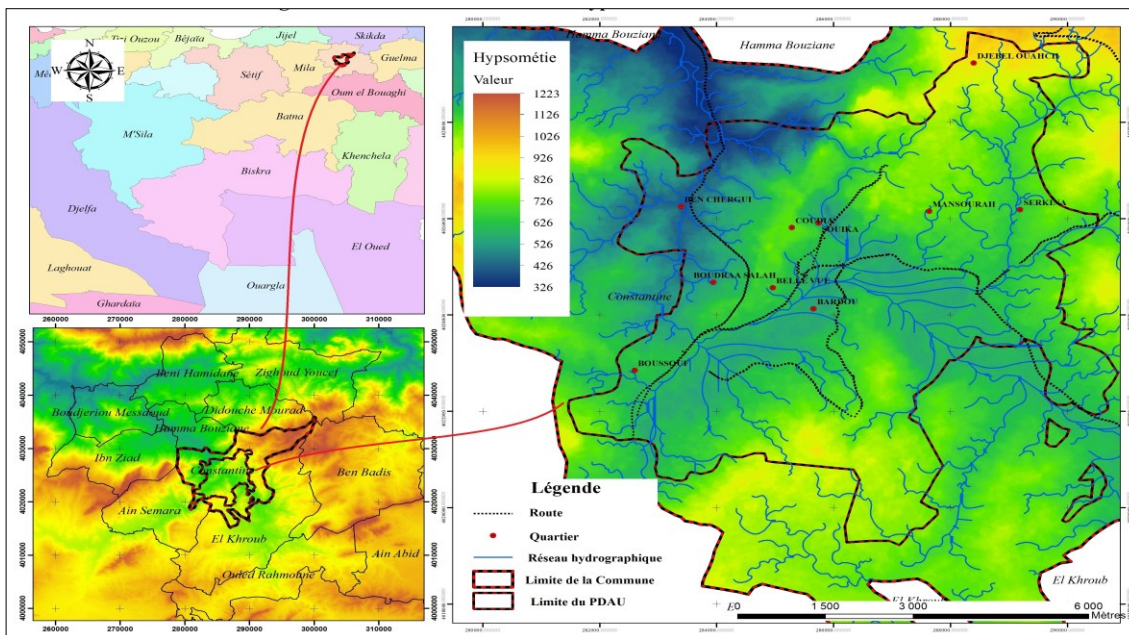


Fig.1: Carte de situation et hypsométrie de la zone d'étude

3-1-1-Le contexte géologique

Dans le cadre de cette recherche, la carte géologique présentée (Fig 2), a été effectuée sous le logiciel Arc Gis, à partir de la carte géologique de Constantine (1/10000) réalisée dans le cadre de l'étude des glissements de terrain de la ville de Constantine, par la direction de l'urbanisme et de la construction - wilaya de Constantine-DUC en collaboration avec ARCADIS (EEG-SIMECSOL) en 2004.

Cette dernière a été effectuée à partir d'une série de documents, en particulier les cartes géologiques au (1/50 000) de Constantine et d'El Aria [6] [7].

La ville de Constantine et sa périphérie offrent, sur un espace relativement réduit, une grande variété de terrains sédimentaires d'âge crétacé à quaternaire.

Leurs structures géométriques sont difficiles à maîtriser par suite d'une tectonique Alpine et Néogène, complexe et de fréquentes variations latérales de faciès dans les formations Miocène. [8].

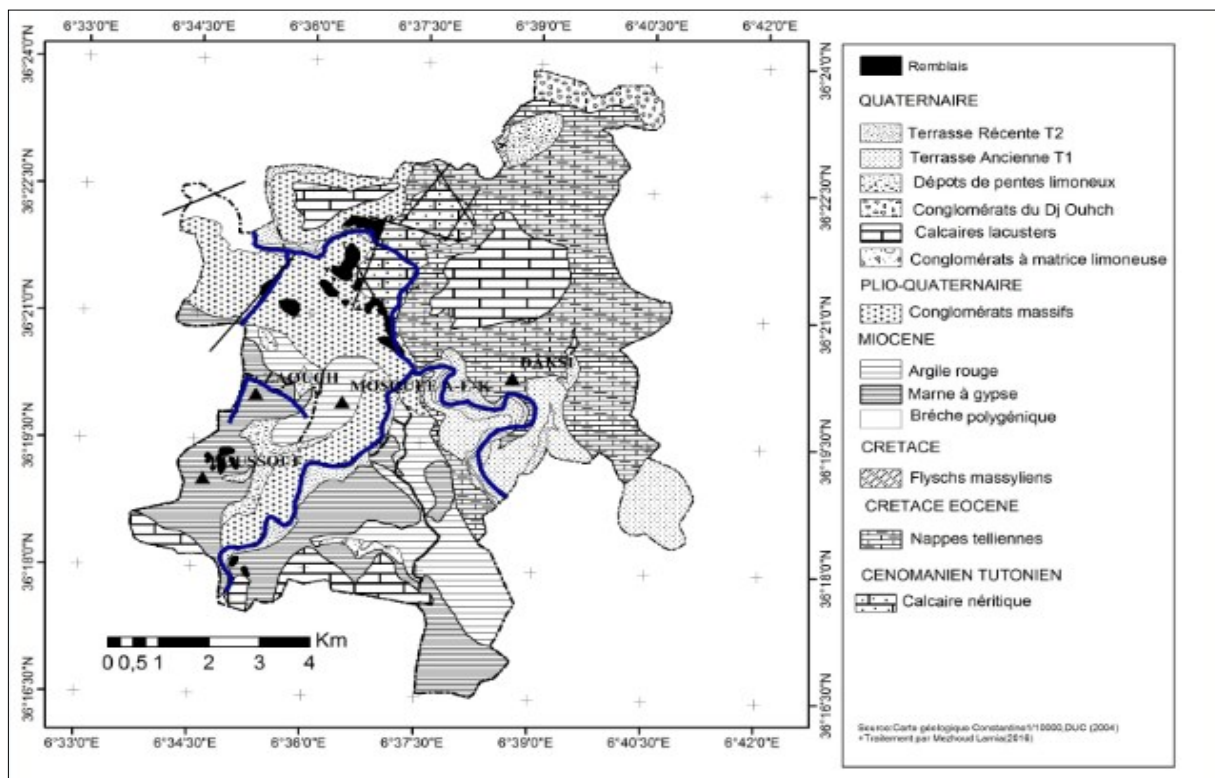


Fig.2 : Carte géologique de Constantine

3-1-2-Le contexte climatique :

La ville de Constantine est caractérisée par un climat méditerranéen chaud et sec en été.

La carte des régions bioclimatiques de l'Est Algérien permet de classer la ville selon un étage bioclimatique semi-aride à hiver frais, qui se caractérise par une pluviosité qui varie de 550 à 350 mm.

La pluviométrie se trouve répartie en deux maxima fin d'automne et fin de printemps, près de 50% des précipitations tombent durant les mois de décembre, janvier et février.

La plupart des glissements de terrain sont réactivés au cours de ces périodes, dont les pics des précipitations cumulées, ont atteint 409 mm en (1984-1985), 278,8 mm en (1992-1993) et 429,2 mm en (2003-2004) [9].

Souvent ces périodes pluvieuses engendrent des inondations à travers les sites les plus vulnérables de la ville.

3-2-Analyse spatiale des facteurs de la susceptibilité :

L'application de la méthode quantitative a été rendue possible grâce au système d'information géographique qui a permis la cartographie et l'intégration aussi bien des glissements existants que des facteurs de prédisposition. « Le principe de la technique consiste à définir des relations mathématiques entre les facteurs de prédisposition et la répartition spatiale des glissements de terrain afin d'évaluer quantitativement la probabilité

de rupture pour des régions non affectées par des glissements de terrain» [10].

Le choix des données à utiliser comme variables explicatives de la susceptibilité aux glissements de terrain a été dépendant à la fois des facteurs de prédisposition connus et de l'accès aux couches d'information, ce qui nous a permis de mettre en évidence quatre principaux facteurs de prédisposition dans l'occurrence spatiale des glissements de terrain à Constantine : la pente, l'exposition, l'hypsométrie et la lithologie (Fig 3).

C'est à partir des paramètres, n'ayant pas la même influence sur les glissements de terrain, que nous analysons la susceptibilité aux glissements de terrain. Sur la base de l'approche statistique, les classes des différents paramètres seront pondérées.

L'application de la méthode « Landslide Index Method » [11], est basée sur le calcul de poids, accordé à chaque classe d'un paramètre suivant la relation (1).

Les poids attribués à ces différentes classes, ont permis d'apprécier ainsi l'influence de chaque paramètre dans la prédisposition à l'instabilité.

Ces classes sont croisées avec la couche des glissements, ce qui permet d'obtenir une indication sur les relations des différentes classes de variables avec les glissements de terrain existant.

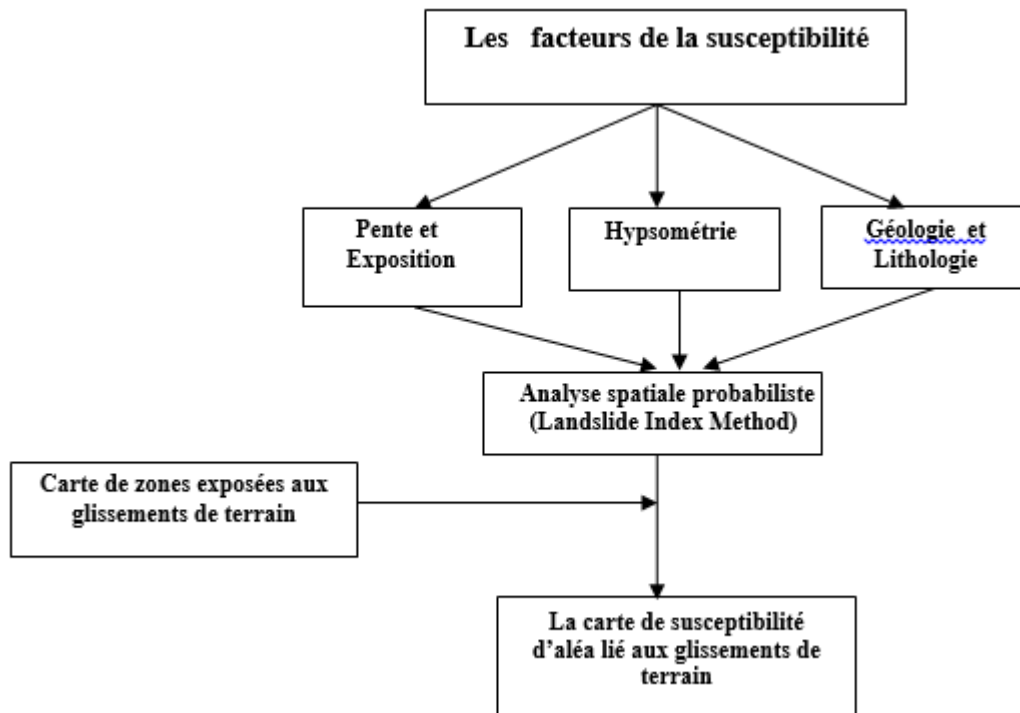


Fig.3 : Méthodologie d'analyse de l'aléa appliquée à l'étude

EVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITE A L'ALEA « GLISSEMENT DE TERRAIN » PAR L'UTILISATION DE L'OUTIL SIG : APPLICATION A LA VILLE DE CONSTANTINE (ALGERIE).

3-2-1-La pente

La pente est le paramètre le plus utilisé dans l'étude des glissements de terrain. « Les glissements de terrain impliquent des matériaux meubles, saturés et de faible cohésion sur des pentes faibles à modérées » [12]. Ainsi que Beauchamps (2003), reconnaît qu'un terrain contenant des argiles gorgées d'eau sera instable sur des pentes même très faibles de 1% [13].

La distribution des pentes (fig 4a), permet de mettre en

lumière ce qui suit : plus de la moitié de l'espace circonscrit par le périmètre étudié (PDAU) est caractérisé par des pentes variant de 10 à 30%, les pentes les plus élevées supérieures à 30% sont essentiellement distribuées à proximité des cours d'eau dont elles forment les berges.

Les falaises circonscrivent en particulier les calcaires Nérétiques, le "Rocher" résultent de la tectonique cassante.

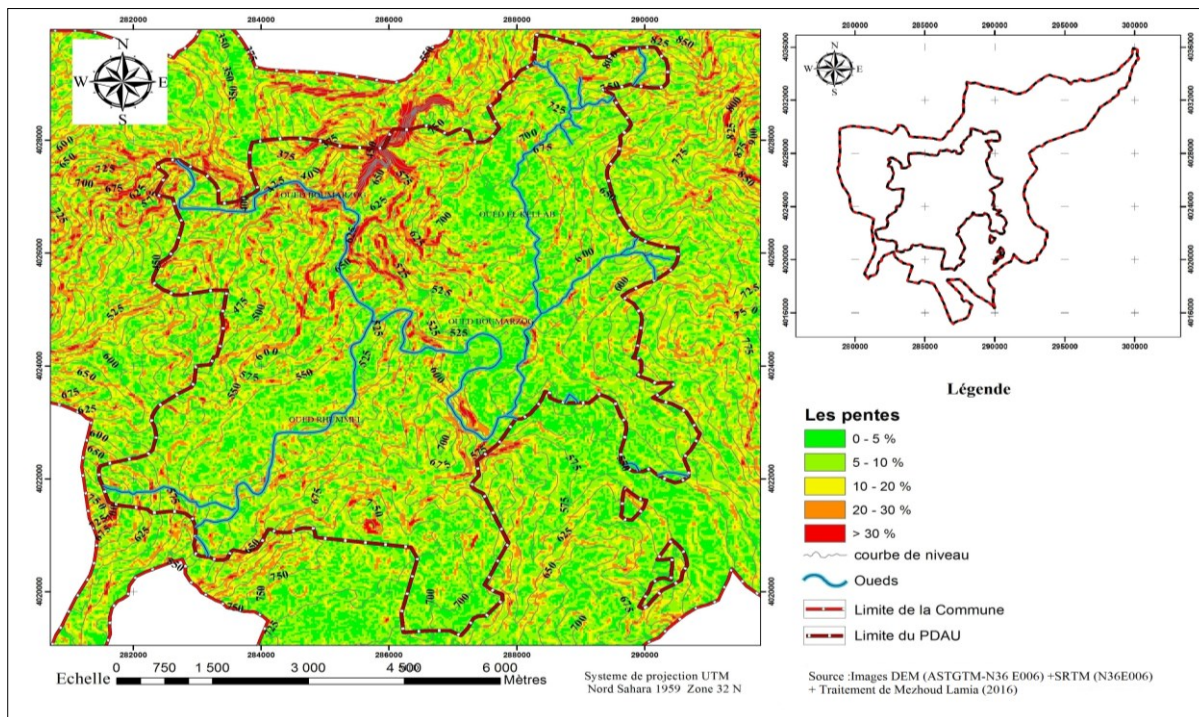


Fig.4 (a): Carte des classes des pentes de Constantine

Des falaises existent néanmoins, bien que de moindre hauteur, dans les conglomérats des quartiers Kitouni et Bardo, et ne correspondent pas nécessairement à des escarpements de failles.

Les pentes les plus faibles (0 à 10%), représentent une proportion notable du PDAU, correspondent d'une part, aux terrasses alluviales du Rhummel et du Boumerzoug, et d'autre part, aux plateaux du Rocher, de Mansourah, de la Coudiat et de Salah Bey plus au Nord-Ouest.

Ces caractéristiques orographiques sont l'héritage des facteurs naturels : la tectonique récente, la nature lithologique et le réseau hydrographique mais sans négliger l'action anthropique. Dès que les pentes atteignent ou dépassent 10 % de déclivité, les glissements de terrain se produisent [8].

A partir des résultats du tableau n°1, on constate que 45,46% des glissements de terrain sont localisés dans des

Classe	Superficie des classes en (ha)	Pourcentage des classes (%)	Superficie des glissements de terrain en (ha)	Densité	Pourcentage des glissements de terrain (%)
(0-5) %	956,97	18,11	116,99	12,22	13,01
(5-10)%	1181,08	22,35	288,61	24,44	32,10
(10-20)%	2375,85	44,97	408,73	17,21	45,46
(20-30)%	608,75	11,52	79,53	13,14	8,84
>30%	160,65	3,04	5,18	3,23	0,57
Total	5283,30	100	899,04	70,24	100

Tab.1: Degré de susceptibilité des glissements de terrain par rapport aux classes des pentes

zones où les pentes sont comprises entre 10 et 20%, 32,10% des terrains en mouvement sont dans des zones où les pentes sont comprises entre 5 et 10%, ces deux classes représentent des zones exposés aux aléas des glissements de terrain dont une grande partie de l'extension du tissu urbain de la ville était sur ces zones.

Pour les pentes les plus faibles de 0 et 5%, elles ne représentent que 13,01% du total de zones affectées

par les glissements de terrain.

Alors que pour les pentes supérieures à 30%, elles ne représentent que 0,57% du total des terrains instables.

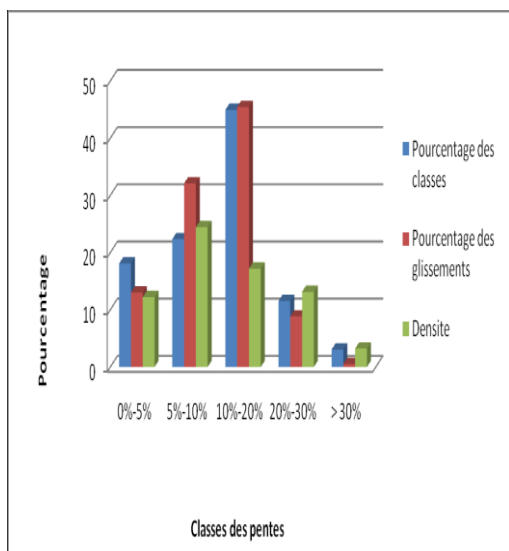


Fig.4 (b): Distribution des glissements de terrain suivant les pentes

3-2-2- Orientation des pentes :

Selon Dewitte (2006), « l'orientation des pentes peut agir sur la réactivation en influençant les propriétés physiques de la pente et donc sa susceptibilité au mouvement » [14].

L'utilisation de l'outil ArcGIS, nous a permis d'extraire une couche des données à partir des altitudes.

C'est ainsi que pour déterminer l'orientation des pentes, la fonction « Aspect » dans ArcGIS nous a permis d'extraire une couche des données à partir des altitudes.

Cette fonction attribue à chaque pixel la direction du plan ajusté lors du calcul de la pente.

Elle donne des valeurs de pente allant de 0° à 360°.

Ainsi 8 classes ont été mises en évidence, ces classes forment 8 différentes directions chacune comportent 45° (Fig. n°5(a) Tab.n°2).

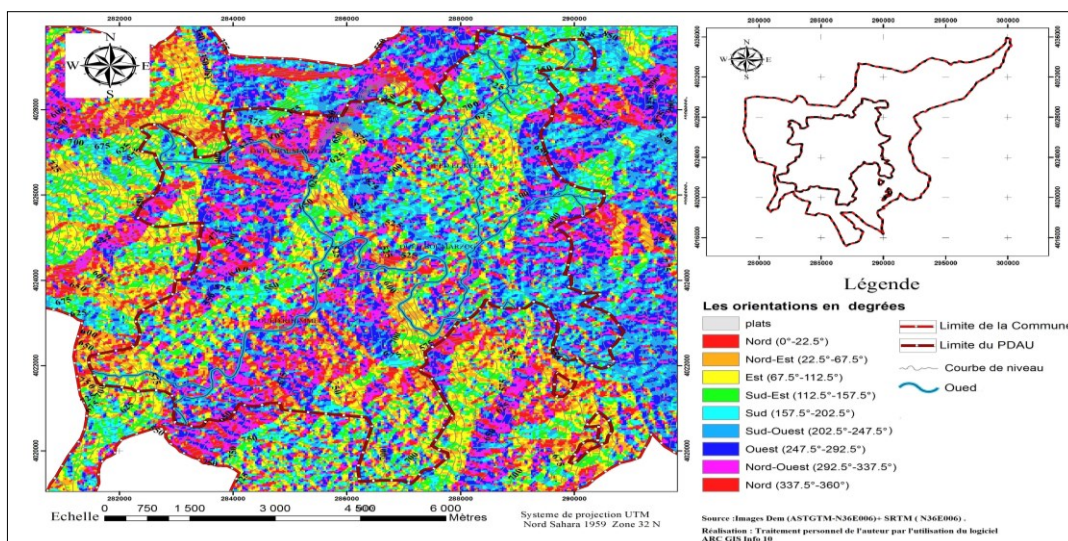


Fig.5 (a) : Carte d'orientation des pentes de Constantine

Classes	Superficie des classes en (ha)	Pourcentage des classes (%)	Superficie des glissements de terrain en (ha)	Densité	Pourcentage des glissements de terrain (%)
Plats	1,69	0,03	0	0	0
N (0°-22,5°)	306,62	5,8	154,39	50,35	17,14
N E (22,5°- 67,5°)	562,1	10,64	118,07	21,01	13,11
E (67,5-112,5°)	601,1	11,38	157,61	26,22	17,50
SE (112,5°-157,5°)	634,32	12,01	75,49	11,9	8,38
S (157,5°-202,5°)	673,02	12,74	76,85	11,42	8,53
SO (202,5°-247,5°)	679,29	12,86	86,56	12,74	9,61
O (247,5°-292,5°)	769,67	14,57	96,97	12,6	10,76
NO (292,5°-337,5°)	752,62	14,25	68,24	9,07	7,57
N (337,5°-360°)	302,87	5,72	66,25	21,87	7,35
Total	5283,30	100	900,43	177,18	100

Tab.2 : Degré de susceptibilité des glissements de terrain par rapport à l'orientation des pentes

EVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITE A L'ALEA « GLISSEMENT DE TERRAIN » PAR L'UTILISATION DE L'OUTIL SIG : APPLICATION A LA VILLE DE CONSTANTINE (ALGERIE).

D'après les résultats, nous remarquons que la susceptibilité aux glissements de terrain est localisée sur les versants de pente orientés beaucoup plus vers l'est et le nord soit 17,50 % et 17,14%, ensuite vers le nord-est soit 13,11%.

Ces trois orientations présentent des densités supérieures aux autres orientations, elles représentent un risque d'être affectées par d'autres glissements de terrain dans le futur.

L'absence de données sur l'influence des orientations des pentes sur les précipitations ou sur le réseau hydrographique dans cette recherche constitue une limite pour cette mise en relation.

3-2-3-Hypsométrie :

La ville de Constantine est située dans les hautes plaines orientales de l'Atlas tellien montagneux et s'élève sur une altitude moyenne de 675 m par rapport au niveau de la mer. Cette altitude varie d'un point à un autre elle est de 493 m à El-Menia le point le plus bas, elle peut arriver à 820 m du côté de Djebel Ouhach et elle est à 602 m en plein centre de la ville.

Son site est caractérisé par un relief contrasté où se côtoient gorges profondes, plateaux et collines coupés

d'oueds, le plateau du Mansourah à l'Est, les collines de Boufrika au sud, les collines de Belle vue au sud ouest [15].

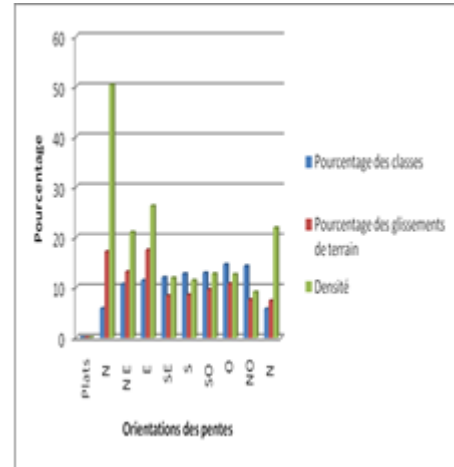


Fig.5(b): Distribution des glissements de terrain suivant l'orientation de pentes

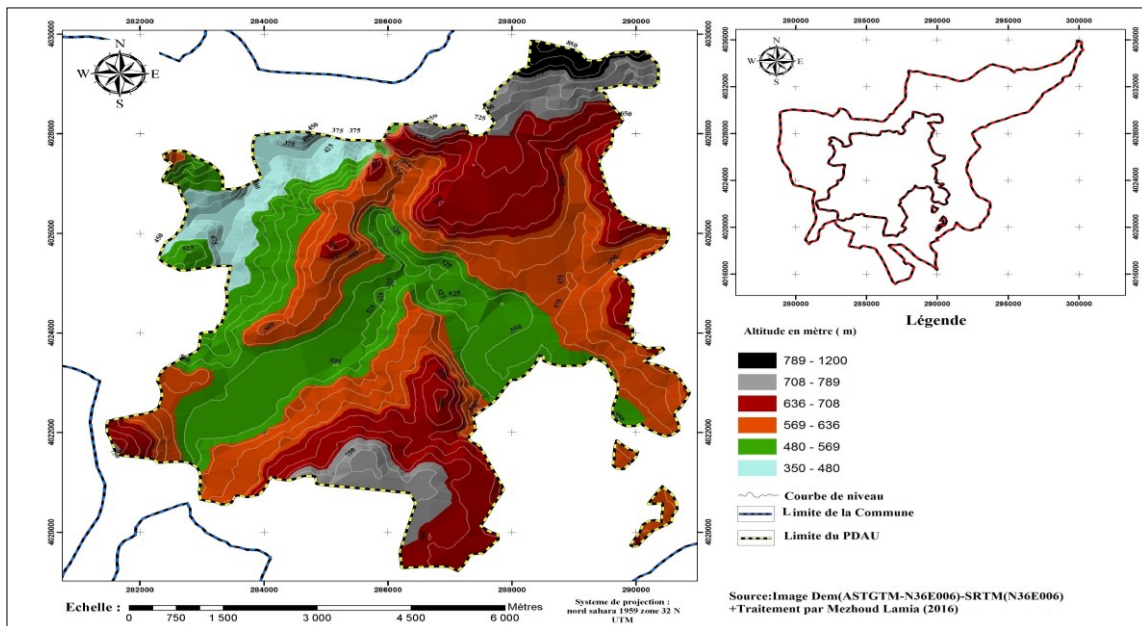


Fig.6(a) : Carte d'altitude de la ville de Constantine

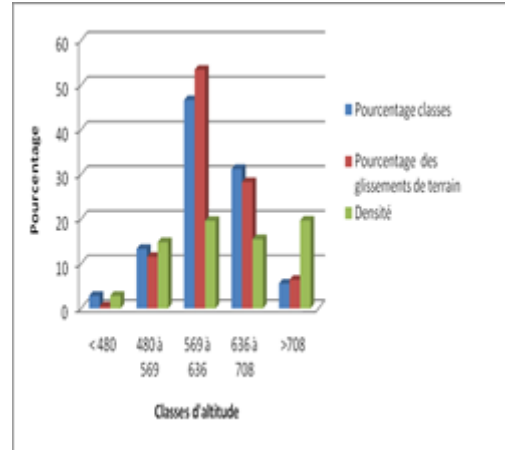
Classes (m)	Superficie des classes (h)	Pourcentage des classes (%)	Superficie des glissements de terrain (h)	Densité	Pourcentage des glissements de terrain (%)
< 480	147,31	2,79	4,13	2,80	0,45
480 à 569	702,48	13,30	103,90	14,79	11,52
570 à 636	2462,35	46,61	481,57	19,56	53,39
637 à 708	1648,20	31,20	254,85	15,46	28,25
>708	292,92	5,54	57,48	19,63	6,37
Total	5253,26	99,44	901,93	72,24	100

Tab.3 : Degré de susceptibilité aux glissements de terrain par rapport aux classes d'altitude

A partir des résultats, on peut constater qu'une grande partie de zones affectées par les glissements de terrain près de 54% localisé dans les zones où l'altitude est comprise entre (570-636) m, elle représente 46,61% de la superficie totale de la zone d'étude.

Alors que les glissements de terrain sont presque inexistantes et ne présentent que 0,45% du total des terrains menacés par l'instabilité pour les altitudes inférieure 480m.

Fig.6(b): Distribution des glissements de terrain suivant l'altitude



3-2-4- Lithologie :

A Constantine, les principaux glissements de terrain touchent une partie du tissu urbain (Fig. 7), ils sont localisés dans les argiles du miocène, les conglomérats plio-quaternaires à intercalation d'argiles, les marno-calcaires crétaé et les remblais principalement dans la partie Sud et Sud Ouest du PDAU [16].

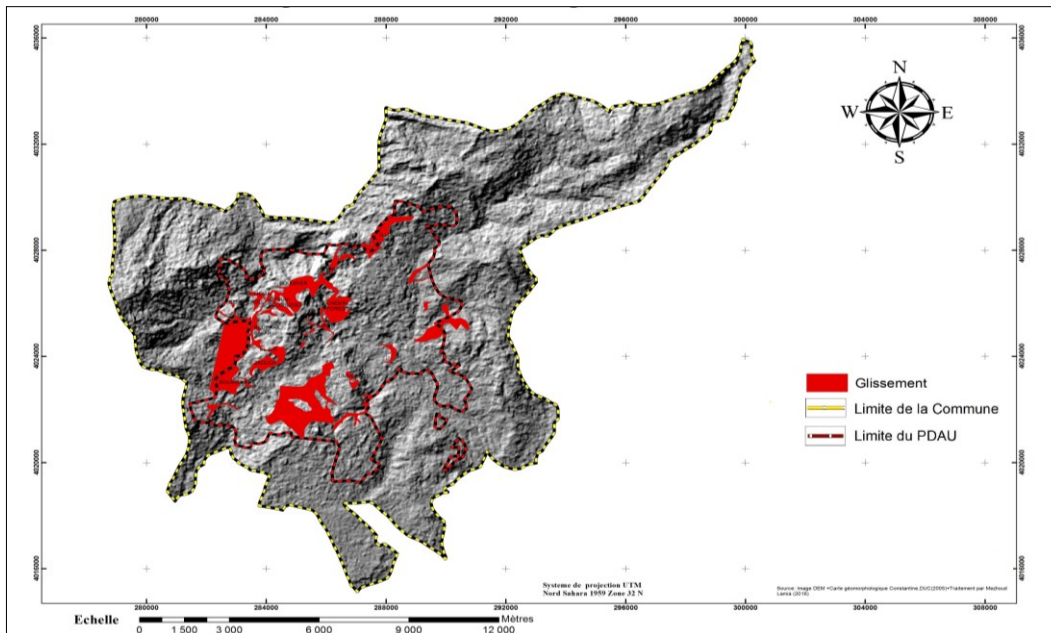


Fig.7: Carte de localisation d'aléa « glissements de terrain »

o Les glissements dans les argiles du Miocène

Les principaux glissements concernant cette formation, sont situés d'une part, sur les deux versants de Châabet el Merdja, depuis sa confluence avec l'oued El Mellah jusqu'à la limite amont de son bassin versant et d'autre part, sur l'ensemble du versant rive droite du Rhummel, entre la limite sud de la zone industrielle et l'Université des frères Mentouri.

Ces glissements sont de type fluage, caractérisés par une morphologie moutonnée, des contrepentes et une fissuration dense et profonde. Ils se produisent dès que les pentes atteignent ou dépassent 10 % de déclivité affectent les quartiers: Boussouf, Boudrâa salah et Benchergui.

Les instabilités étaient détectées aussi le long de la rive droite du Rhummel, la route de Massinissa, reliant la banlieue Ouest de Constantine (Boussouf, Zone industrielle) à Ain el Bey est affectée. L'instabilité par fluage lent, d'une grande partie du versant qu'elle traverse, l'a dégradée sur plusieurs sections.

L'investigation par 7 sondages carottés, de 25 à 35m de profondeur, dont trois équipés en inclinomètres, révèlent la présence d'une argile décomprimée, plastique, entre 7 et 12m de profondeur, passant franchement à des argiles plus compactes en profondeur (Fig.n°8a) [17].

EVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITE A L'ALEA « GLISSEMENT DE TERRAIN » PAR L'UTILISATION DE L'OUTIL SIG : APPLICATION A LA VILLE DE CONSTANTINE (ALGERIE).

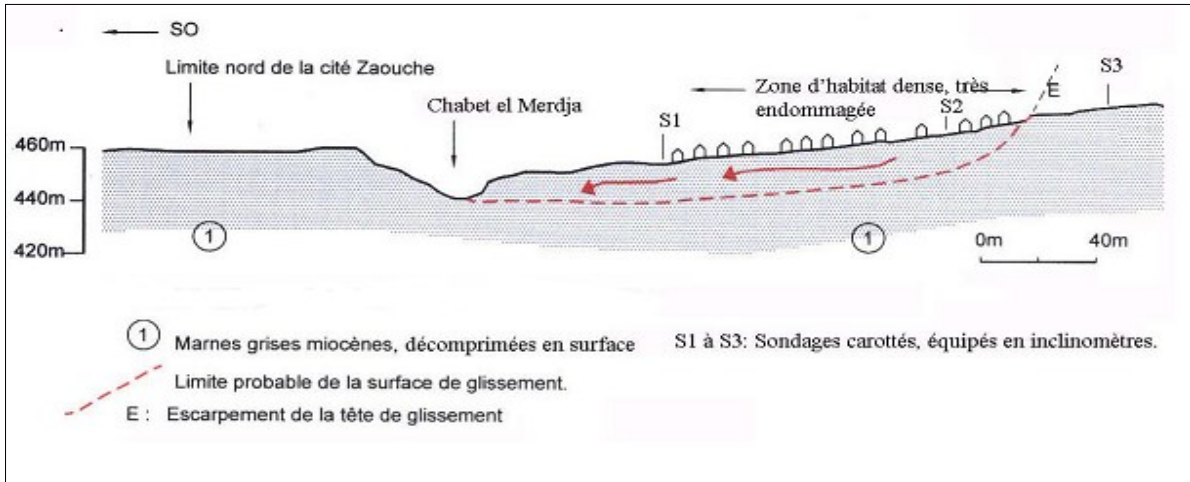


Fig.n°8(a):Coupe géologique du terrain Boudrâa Salah (Bougdal R ,2007)

o **Les glissements dans les conglomérats du Miocène Continental**

Les conglomérats, sont représentés par de gros blocs gréseux à matrice limoneuse. Ils forment des talus subverticaux de grande hauteur, dans le centre-ville de Constantine (quartiers du Bardo et de la Coudiat Aty). Ils constituent également, en alternance avec des argiles limoneuses, le versant nord des quartiers : Belouizdad - Kitouni - Kaïdi ponctués par quelques abrupts, jusqu'au Rhummel.

D'autres glissements se produisent aussi le long du versant rive gauche de l'oued El Mellah à Benchergui.

A oued El Mellah d'autres facteurs interviennent dans les instabilités ; Il s'agit d'une part, du sapement des berges par les crues de l'oued qui maintient la forte déclivité du bas du versant et d'autre part, de l'érosion différentielle des niveaux argileux qui met les niveaux les plus durs (conglomérats et grès) en surplomb.

L'ensemble de ces facteurs entretient alors, le recul progressif du versant, en période humide.

o **Les glissements dans les remblais du Quaternaire**

Les remblais proviennent des matériaux de terrassement, datant de l'époque française (au moins) jusqu'à nos jours. Ils sont déversés sur les pentes des talus et versants et leur similitude de faciès avec la roche mère, souvent proche, ne permet pas de les en distinguer aisément.

Ces remblais, non compactés, leur faible résistance conduit ainsi, à des tassements et à des ruptures sur les pentes : le glissement de la RN27 à Benchergui (Fig.n°8(b)), le glissement de la route du Bardo, le quartier de la « Poudrière » totalement détruit en hiver 2003 et le glissement de l'université des frères Mentouri [18].

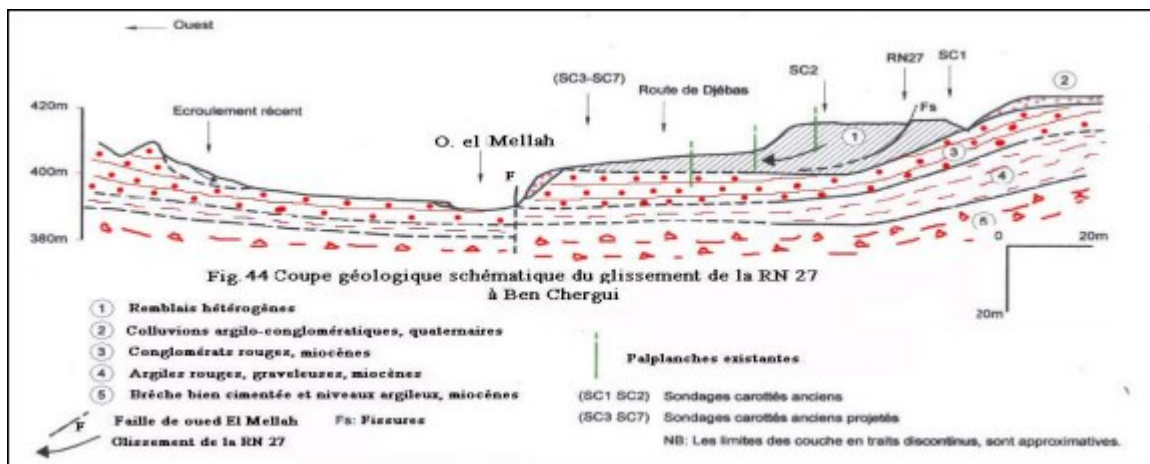


Fig n°8(b):Coupe géologique schématique du glissement de terrain RN 27 à Benchergui (Bougdal R,2007)

Classes	Superficie des classes (ha)	Pourcentage des classes(%)	Superficie des glissements de terrain (ha)	Densité	Pourcentage des glissements de terrain(%)
Remblais	74,36	1,42	31,75	42,36	3,52
Quaternaire : Terrasses Récente	221,16	4,23	11,96	5,40	1,32
Quaternaire : Terrasse Ancienne	555,48	10,64	2,47	0,44	0,27
Quaternaire : Dépôts de pentes limoneux	148,94	2,85	35,29	23,69	3,91
Quaternaire : Conglomérats de Dj Ouhach	86,39	1,65	0,41	0,474	0,04
Quaternaire : Calcaires lacustres	558,14	10,69	75,52	13,53	8,38
Quaternaire :Conglomérats à matrice limoneuse	19,17	0,36	19,17	100	2,12
Plio quaternaire: Conglomérats massifs	607,41	11,64	107,25	17,65	11,91
Miocène : Argile rouge	536,01	10,27	150,62	28,10	16,72
Miocène : Marne à gypse	869,22	16,66	294	33,82	32,65
Miocène : Brèche Massyliens	53,04	1,01	00	00	00
Crétacé Eocène :Nappes telliennes	1272,9	24,40	161,51	12,68	17,93
Crétacé :Flychs massyliens	11,79	0,22	10,41	88,29	1,11
Cenomaimen Turonien :Calcaire néritique	202,73	3,88	00	00	00
Total	5216,74	99,9	900,36	366,43	99,39

Tab.4 : Degré de susceptibilité aux glissements de terrain par rapport aux formations lithologiques

D’après les résultats, on remarque que les glissements de terrain sont localisés dans les formations du miocène en particulier, les marnes à gypse avec une densité de 33,82, dont les zones en mouvement représentent 32,65% de la superficie totale des glissements de terrain.

Tandis que pour les autres formations en particulier, l’argile rouge du miocène et les conglomérats massifs du plio quaternaire, les zones affectées par les glissements de terrain constituent respectivement près de 18% et 12% de la superficie totale des glissements de terrain.

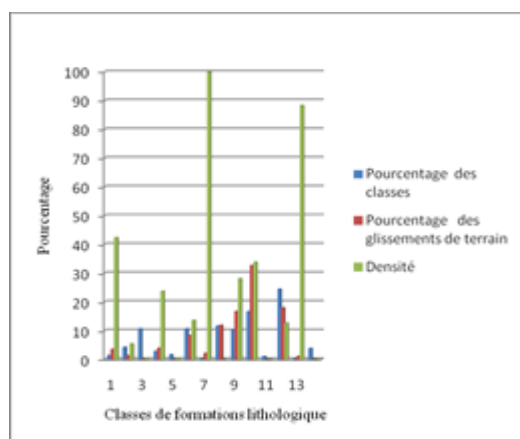


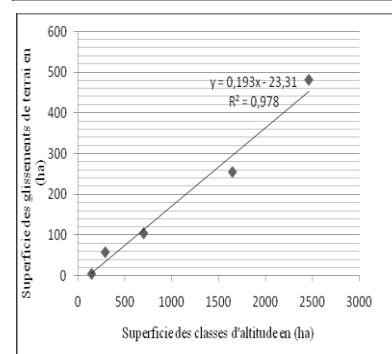
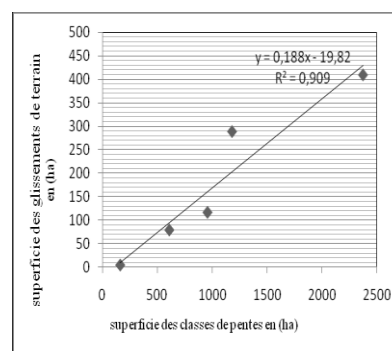
Fig. 9: Distribution des glissements de terrain suivant les formations lithologiques

4-RESULTATS ET DISCUSSION :

L’évaluation de l’indépendance des zones de glissements de terrain aux différents facteurs

(pente, hypsométrie et formations lithologique) à été soumis à des relations linéaires, logarithmiques, puissances et exponentielles, les meilleures relations sont obtenues par la relation linéaire (Fig.10).

Les résultats obtenus montrent qu’il existe une bonne corrélation pour les facteurs pente et hypsométrie d’où le coefficient de détermination R^2 est respectivement 0,90 et 0,97; alors qu’elle est acceptable pour la lithologie d’où R^2 est supérieur à 0,50.



EVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITE A L'ALEA « GLISSEMENT DE TERRAIN » PAR L'UTILISATION DE L'OUTIL SIG : APPLICATION A LA VILLE DE CONSTANTINE (ALGERIE).

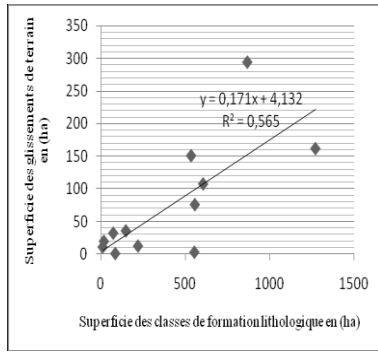


Fig.10 : Relation linéaire entre les paramètres de la susceptibilité et les glissements de terrain

Grâce à l'outil « Système d'Informations Géographiques », nous avons superposé les différentes cartes factorielles des facteurs de prédiction signalés ci-haut.

Le recouplement de ces cartes a permis la production d'une carte d'aléa, le traitement de la base de données permet de faire sortir les classes des variables qui contribuent le plus dans le déclenchement des glissements de terrain.

La carte de susceptibilité est obtenue par la superposition des cartes thématiques et la somme des valeurs informatives de chaque thème.

En mode vectoriel, chaque polygone de thème possède une valeur informative et le résultat de la somme des valeurs informatives des différents polygones issus de la superposition quantifie la susceptibilité au glissement pour chaque zone du terrain d'étude.

Les valeurs résultantes sont également regroupées en trois classes, la carte de susceptibilité est obtenue par la superposition des cartes résultantes des premiers croisements.

Le calcul de la somme des valeurs informatives et leur groupement en trois classes, le modèle obtenu permet d'identifier les zones suivant le degré de susceptibilité (zone à susceptibilité élevée zone à susceptibilité moyenne, zone à susceptibilité faible (Fig.11a).

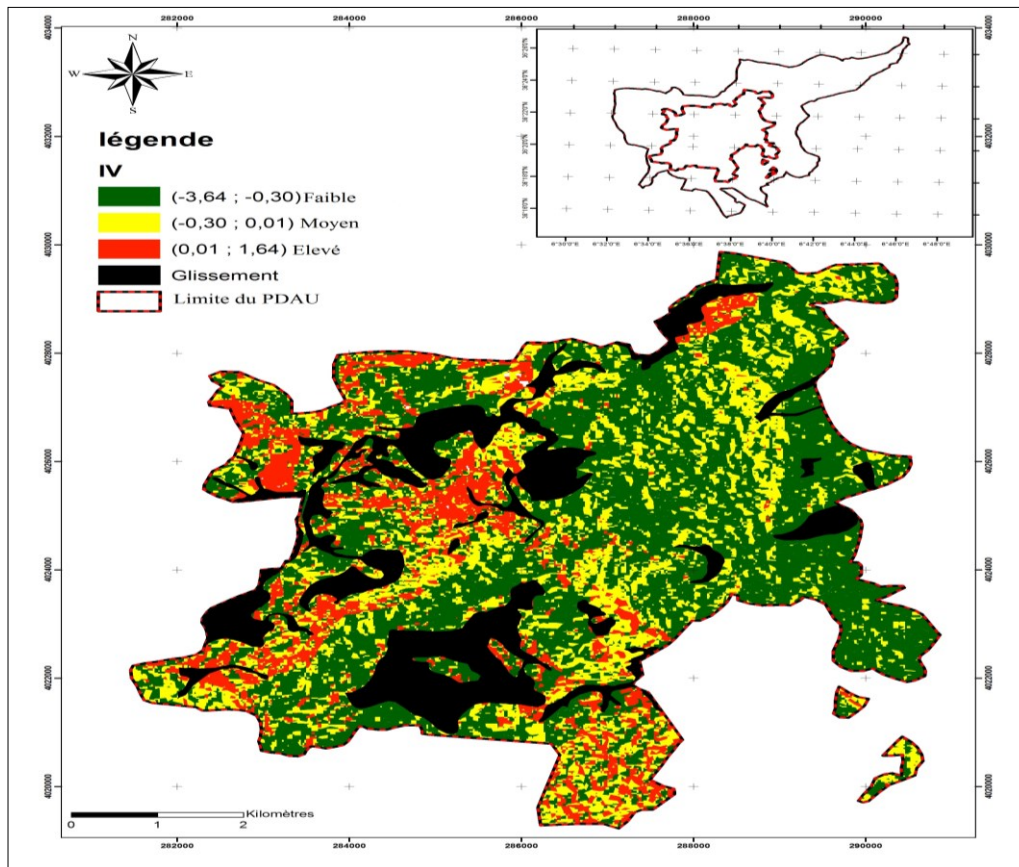


Fig.11(a) : Carte d'évaluation de la susceptibilité à l'aléa des glissements de terrain à Constantine

Il apparait que la probabilité d'occurrence de glissements de terrain dans la zone de susceptibilité moyenne est 38,36%, cette classe regroupe 64,16 % des glissements de terrain sur une surface correspondant à 28,52 % de la zone d'étude. Tandis que les espaces de susceptibilité faible 4,58%, elle regroupe 14,95% des glissements de terrain, sur 55,60 % de la surface de la zone d'étude total, alors que les espaces de susceptibilité forte sont mieux classés par 22,43%, dont 20,88% des glissements sur 15,87 % de la zone d'étude (Fig.11b).

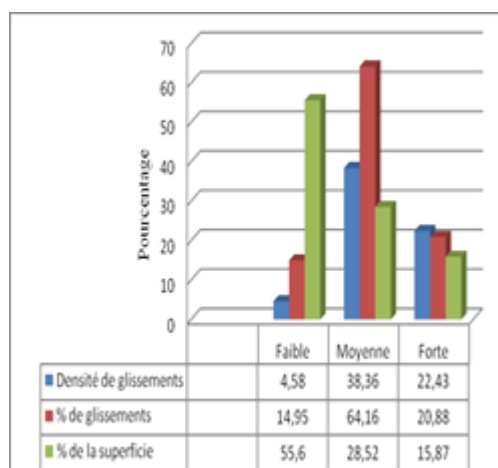


Fig.11(b) La susceptibilité en fonction de la superficie des glissements

5- CONCLUSION

Cette recherche a permis d'établir d'une carte de susceptibilité aux glissements de terrain dans la ville de Constantine, par l'utilisation d'une approche probabiliste basée sur un modèle d'analyse spatiale bivariée.

L'étude propose une technique qui consiste à définir des relations mathématiques entre les facteurs naturels de prédisposition et la répartition spatiale des glissements de terrain.

L'application de cette méthode a été possible par le biais du système d'information géographique SIG.

L'analyse des résultats a permis d'évaluer et d'interpréter le rôle respectif des facteurs de prédisposition dans l'occurrence spatiale des glissements de terrain.

Il apparait que ces facteurs naturels auront un rôle important dans le déclenchement des glissements de terrain dans le futur.

Le manque de données sur les facteurs déclencheurs d'origine climatique et anthropique dans cette étude n'a pas permis de déterminer l'importance de ces paramètres dans l'évaluation de la susceptibilité.

La carte de la susceptibilité obtenue apparait comme un outil préalable et indispensable à l'évaluation de l'aléa lié au glissement de terrain, pouvant participer à une meilleure gestion du risque et

à l'élaboration des plans de prévention des risques naturels.

Néanmoins pour aboutir à des cartes probabiliste plus fiables sur l'aléa lié aux glissements de terrain, les recherches doivent intégrer les facteurs déclencheurs ainsi que d'autres éléments tels que : les composantes temporelle et spatiale, l'intensité de phénomène, probabilité de rupture et probabilité de propagation...etc, qui ne sont pas toujours disponible dans l'évaluation de l'aléa. Il ne faut pas non plus négliger la vision d'expert, qui doit cependant être accompagné d'une utilisation du SIG.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[1]-**Benazzouz M.T.**,

"L'évaluation de l'aléa géomorphologique et des couts des Risques naturels à Constantine", Z. Geomorph.N.F. Suppl.-Bd 83,(1991),pp.63-70 .

[2]-**Julião, P. R.; Nery, F.; Ribeiro, J.L.**;

Castelo Branco, M. & Zêzere, J.L.(2009): "Guia metodológico para a produção de cartografia Municipal de risco e para a criação de sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal".,Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa (Coordenador) Autorida de Nacional de Protecção Civil,DGOTDU/IGP,Lisboa. Disponivel

em :http://www.proteccaocivil.pt/Documents/guia_metodologico_SIG.pdf. ISBN 978-989-96121-4-3,(2009).,91p.

[3]-**Guzzetti,F,Carrara A.,Cardinali,M.,Reichenbach, P & al.**,

"Landslide hazard evaluation,a review of current techniques and their application in a multi scale study central Italy", Geomorphology .,Vol.31, N°1-4 (1999), pp.181-216.

[4]-**Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez, T., & El Homdouni, R.**,

"Engineering geology maps:Landslides and geographical information systems", Bulletin of Engineering Geology and the Environment., N° 65, DOI 10.1007/S 10064-006-0064-z (2006), pp.341- 411.

[5]-**Yin K,L et Yan,T Z.**,

"Statiscal prediction models for slope instability of metamorphosed rocks .In Bonnard,C . (Ed.), Landslides,

EVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITE A L'ALEA « GLISSEMENT DE TERRAIN » PAR L'UTILISATION DE L'OUTIL SIG : APPLICATION A LA VILLE DE CONSTANTINE (ALGERIE).

Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, 2, Balkema, Rotterdam,(1988), pp.1269-1272.

[6]-**Ficheur, E & al.,**

Carte géologique de l'Algérie au 1/50000, feuille n°73,CONSTANTINE avec notice explicative. Editeur: Service géologique de l'Algérie,(1901).

[7]-**Villa, J-M & al.,**

Carte géologique de l'Algérie au 1/50 000, feuille n°74,EL ARIA avec notice explicative détaillée ., Editeur : Ministère de l'industrie et de l'énergie., Direction des mines et de la géologie, Service de la carte géologique de l'Algérie.,SONATRACH,(1977).

[8]- **Benazzouz,M-T & al.,**

"La vulnérabilité de la ville de Constantine, face aux risques naturels, Réduction des vulnérabilités et des risques-plan national de recherche PNR5 : prévention des catastrophes naturelles et protection contre les risques majeurs". Laboratoire d'Aménagement du territoire LAT;Université les frères Mentouri, Constantine 1,(2013). 65p .

[9]- **Ministère de l'habitat et de la construction .Direction de l'urbanisme et de la construction -wilaya de Constantine - DUC & ARCADIS (EEG-SIMECSOL):**

"Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, hydrogéologie des glissements de terrain",(2003)., 69p.

[10]-**Zêzere,JL,Garcia,Rac ,et Oliveira,SC.,**

"Probalistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal)", Geomorphology Elsevier,Vol.94, N°3-4 (2008),pp.467-495.

[11]-**Van Westen, C.J., Rengers, N. & Soeters, R.,**

"Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment", Natural Hazards,Vol 30, N° 3(2003), pp.399-419.

[12]-**Keefer, D K.,**

"Investigating landslides caused by earthquakes-a historical review",Surverys in Geophysics,Vol 23,(2002),pp. 473-510.

[13]-**Butara,S & al.,**

"Susceptibilité aux glissements de terrain : cas de la commune d'ibanda ,Bukavu ,République démographique du Congo".International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324, Vol. 11 N°1 Apr (2015), pp. 129-147,© 2015, Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issr-journals.org/>

[14]-**Dewitte,O.,**

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

[15]- **Ministère de l'habitat et de la construction ; Direction de l'urbanisme et de la construction - wilaya de Constantine - DUC & ARCADIS (EEG-SIMECSOL):**

"Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, géomorphologie de la ville de Constantine et de ses alentours".(2003).,19p.

[16] - **Ministère de l'habitat et de la construction ; Direction de l'urbanisme et de la construction -wilaya de Constantine - DUC & ARCADIS (EEG-SIMECSOL):**

"Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, Géologie de la ville de Constantine et de ses alentours".(2003)., 29p.

[17]-**Bougdal, R. (2007).,**

Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord .Thèse de doctorat, Spécialité : Géologie appliquée, Université des sciences et de la Technologie ,Houari Boumediene, (2007),203p.

[18]-**Benazzouz, M-T & al**

"Etude de glissement de terrain et évaluation de leur impact dans la ville de Constantine"; Revue du Laboratoire d'Aménagement du territoire ,N°1,Université Mentouri Constantine, (2003)