

Spatial correlation between the predictor variables and the weighting values calculated during the mapping of the environmental factors of mass movements in the Beni Idder region (northern Rif)

Ait Brahim L., Jemmah A. I., Bousta M., El Hamdouni I., Abdelouafi A., El Mahsani A.,
 Lallout I. Labraimi A. Et Merouni F.Z

Université Mohammed V, Faculté des sciences, Unité de recherche GEORISK, LGRN, 4 Avenue Ibn Battouta Rabat-Agdal, BP 1014, Rabat, Maroc.

laitbrahim@gmail.com

Abstract. The Tleta of Beni Ider region located in the SW of Tetouan (Rif Septentrional) knows many mass instabilities. The diagnostic via the inventory, the mapping and the characterization of mass movements was made by using satellite imagery, aerial photography and field data coupled with existing documents (geological, geomorphological,...). The understanding of both their spatial distribution and the mechanism generating them, is very complex because of the existence of an important number of natural factors (geological, geomorphological, hydrological) in a relative mountainous landscape with deep valleys, steep slopes and significant elevation changes. Thus, a multidisciplinary approach was adopted to elaborate the landslide susceptibility map of the region taking into account interactions and causal relationships between the various natural parameters that tend to accentuate and aggravate the setting of landslides. The multidisciplinary database allowed us to evaluate the susceptibility thanks to a bivariate probabilistic model (Weight of Evidence). The obtained landslide susceptibility map is a major contribution to the development of urban development plans in the region.

Introduction

L'objectif de cette partie est d'élaborer le zonage de la carte de susceptibilité aux mouvements de terrain à méso-échelle (1/50 000ème) au niveau de la région de Béni Idder. Le choix de cette échelle d'analyse pour cette région a été conditionné par un certain nombre de paramètres essentiels : La présence d'une densité relativement importante et diversifiée des mouvements de terrain ; c'est une zone centrale qui regroupe les cinq classes de susceptibilité identifiées. A cela, s'ajoute l'accroissement progressif de l'installation de la population le long de la route nationale N°2 (Tetouan-chechaouen) et des routes secondaires (P4704, P4702, P4405, P4403 etc.) qui ne cessent de s'accroître dans le cadre du désenclavement de cette région.

L'approche probabiliste statistique utilisée pour le zonage de la susceptibilité aux mouvements de terrain à méso-échelle (1/50 000ème) est la théorie de l'évidence (TDE) qui est une méthode bayésienne bivariée testée en contextes montagneux [1] [2] [3] [4] [5]. La démarche adoptée est représentée dans la figure.1, et peut être résumée en cinq grandes étapes :

- i.** La sélection des différents paramètres à intégrer

dans le modèle ; **ii.** La mise en œuvre de tests pour s'assurer de la validité des paramètres sélectionnés ; **iii.** La réalisation d'un nombre de simulations par la théorie de l'évidence ; **iiii.** La comparaison des résultats qui permettra d'en sélectionner la meilleure. (Fig.1)

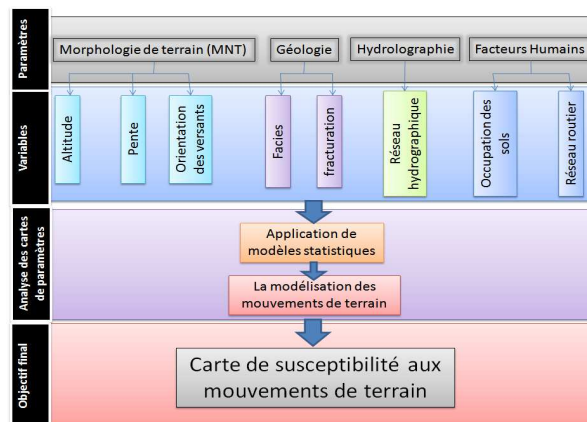


Fig.1 la démarche adoptée pour le zonage de la susceptibilité aux mouvements de terrain à méso-échelle (1/50 000ème) par la théorie de l'évidence (TDE) de la région de Béni Idder

1 Secteur d'étude

2.1 Cadre géographique

La région d'étude est celle de Beni Idder (Rif septentrional), qui se trouvent à 35°24'0" N et 5°30'36" E. Administrativement, elle est délimitée au Nord par Tétouan au Sud par Chefchaouene, à l'Est par Talembote et à l'Ouest par Khmis El Arous. Avec une superficie d'environ 635 km². (Fig.2)

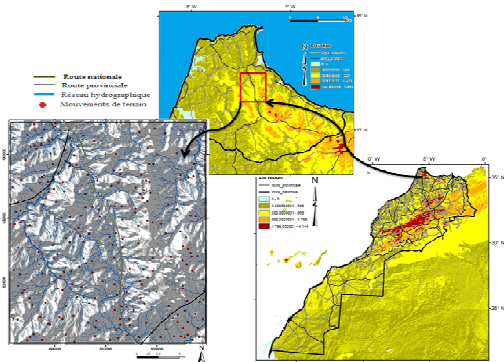


Fig.2 Situation géographique du secteur d'étude

2.2 Cadre géomorphologique et géologique

L'hypsométrie de la région de Tleta de Beni Ider lui imprime un caractère moyennement montagneux (1900m). Secteur caractérisé par des reliefs très accidentés et des pentes très abruptes notamment au niveau des grands contacts chevauchants entre les nappes de charriage, caractérisées par des vallées fortement encaissées, et des dénivellations relativement fortes. Une telle morphologie est le résultat de la conjugaison de plusieurs facteurs, à savoir : la lithologie complexe, le système climatique, la dynamique érosive, le style de déformations et l'activité tectoniques récente. Les unités géomorphologiques distinctes dans le secteur, ont été reconnues par [6].

De point de vue géologique ; la zone d'étude appartient au Rif septentrional. Elle est situé entre la dorsale calcaire constitué par un empilement d'écaille calcaire-dolomitique à l'est, l'unité d'Ametrasse-Bettara qui englobe des marnes d'âge éocène-oligocène au sud, et vers l'ouest apparaissent des unités de Tisirène (nappes des flysch) constitués des argilites et des marnes gréseux d'âge crétacé inférieur. La zone est couverte d'un manteau de dépôts récents constitué de coulées boueuses, d'éboulis et d'alluvions [7].

2 Présentation de la variable à modélisé

Nous avons recensé et cartographié les différents mouvements de terrain de Beni Idder, en consultant les documents disponibles et en utilisant les données satellitaires (Landsat7 ETM+ haute résolution, Spot) et une série de photo-aériennes à l'échelle de 1/ 50 000eme, les résultats ont été vérifiés

sur le terrain (Fig.3). Nous avons classé les mouvements de terrains par typologie dans le Rif (malgré la diversité lithologique, et la complexité morphologique) en quatre classes [8]: **i.** Les glissements qui occupent 43,07 % de la totalité des mouvements de terrain. Ils se localisent surtout dans des formations grésopélitiques ou des intercalations marno-calcaires. **ii.** Les éboulements (écroulements+coulée de débris) qui présentent 31,46 % du nombre total des mouvements recensés. Ils regroupent un ensemble de phénomènes rapides et brutaux qui affectent des roches rigides et fracturées tels que les calcaires, les grès, ou les roches cristallines. **iii.** Les coulées boueuses constituent 8,24 % ; elles se localisent au niveau des terrains argileux, ou argileux sableux. **iiii.** Les effondrements constituent 17,23 % du nombre total des mouvements développés surtout au niveau des calcaires de la dorsale. Les mouvements de terrain dans la région de Beni Idder, présentent 10.10 % de la surface total de la région (Tab. 1).

Tableau 1. Pourcentages en nombre et en surface des quatre types de mouvements de terrain de la région d'étude

Types	Nom- bre	% en Nom- bre	Super- ficie en Km ²	% en Super- ficie
Glissements	115	43,07	28,65	44,66
Eboulements	84	31,46	10,92	17,01
Coulées Boueuses	22	8,24	7,68	11,97
Effondrements	46	17,23	16,91	26,36

3 Outils et méthode ;

3.1 La théorie de l'évidence

La théorie de l'évidence (Weight of evidence) est l'approche que nous avons adoptée dans notre étude. C'est une version log-linéaire du théorème général de Bayes utilisant les principes de calcul de probabilité fondés sur les notions de probabilité a priori et de probabilité a posteriori [9]. Le principe de la méthode consiste à définir une relation mathématique entre les facteurs de prédisposition (variable prédictive, V_p) et l'occurrence spatiale des glissements de terrain à travers ses données historiques (variable dépendante, $V_d=VM$) [1]. Elle suppose trois hypothèses : **1.** Les glissements de terrain potentiels se déclencheront selon les mêmes conditions que dans le passé, **2.** Les facteurs de prédisposition ($V_e=VP$) sont connus *a priori* et introduits dans l'analyse, **3.** L'ensemble des glissements de terrain est inventorié sur l'aire d'étude.

La méthode est fondée sur le calcul d'un poids positif (1 : $W+$) et d'un poids négatif (2 : $W-$), dont les valeurs dépendent de l'association entre V_p et V_d . Ce ci pour calculer la probabilité a priori et la probabilité a posteriori. La probabilité a priori, qui est la probabilité qu'une unité de terrain (maille de calcul,

un pixel) contienne une variable dépendante ($Vd=VM$), dans notre cas les glissements de terrain, est calculée suivant la densité sur la zone d'étude. La probabilité a posteriori est estimée après le calcul de la probabilité a priori selon la densité de Vd (VM) pour chaque variable considérée comme prédictive (Vp , dans notre cas chaque facteur de prédisposition) [1] [2] [3]. .

$$(1) \quad W^+ = \ln \frac{P\{B | E\}}{P\{B | \bar{E}\}} \quad (2) \quad W^- = \ln \frac{P\{\bar{B} | E\}}{P\{\bar{B} | \bar{E}\}}$$

B étant la classe de Vp

Le ratio représente la probabilité de présence sur la probabilité d'absence d'un phénomène. Les pondérations sont additionnées en utilisant le logarithme naturel des ratios appelé logit. Pour chaque VP, deux poids sont calculés, un positif (W^+) et un autre négatif (W^-) dont les valeurs dépendent de la relation spatiale entre les VP et la VM survenu dans le passé [9]. Lorsque plusieurs Vp sont combinées, les zones (mailles de calculs) qui ont un poids respectivement élevé ou faible correspondent respectivement à une forte ou faible probabilité de présence de VM.

3.2 Outils de travail ;

Les données nécessaires à cette étude ont été obtenues à partir des cartes topographiques existantes, des cartes géologiques et des images satellitaires en utilisant des techniques de traitement d'image. Toutes les fonctions de localisation, géologiques et géomorphologiques fournis par les différentes cartes thématiques ont été numérisées en utilisant le logiciel ArcGIS, puis transférées dans ArcView pour les analyses ultérieures. Ces données ont été regroupées en 5 groupes de variables : **1.** un inventaire des mouvements de terrain, **2.** Des paramètres topographiques (MNT, gradient de pente, expositions), **3.** Des paramètres géologiques (lithologie, failles), **4.** Le réseau hydrographique (densité du réseau de drainage), **5.** L'occupation du sol.

4 Facteurs prédictifs

La base de données multi-sources élaborée (sous forme de cartes) des facteurs de prédisposition de l'occurrence spatiale des mouvements de terrain comporte deux variables géologiques : lithologie, fracturation ; trois variables géométriques : cartes hypsométrique, des pentes et d'exposition une variable topographique : le réseau hydrographique et l'occupation du sol. Toutes les cartes élaborées ont été rasterisées avec la même taille du Pixel qui est de l'ordre de 25m.

4.1 La lithologie

La carte lithologique qu'on a réalisée présente cinq ensembles lithologiques ou cinq classes à savoir : les dolomies et calcaires, les marnes, les grès, les schistes et les alternances marno-calcaires. (**Fig.4**)

La fréquence des glissements au niveau des Grès, des marno-calcaires et Marnes montre une fréquence relativement élevée, et au niveau des marno-calcaires elle est jugée très élevée.

4.2 Occupation des sols

L'occupation du sol est obtenue par analyse et interprétation d'images satellitaires et de photographies aériennes. Nous avons défini cinq classes : **1.** La forêt qui présente 33,2% de la surface totale, **2.** La végétation naturelle avec une surface de 26%, **3.** terres arables de 22,9%, **4.** terrains agricoles avec 17,3% de la surface, **5.** terrains nus de 0,6% (**Fig.5**).

La corrélation entre l'occupation du sol et la fréquence des glissements de terrain montre que la fréquence des glissements de terrain est relativement faible sur les terrains nus et plus élevé sur des terres arables et forêts.

4.3 Le gradient de pente

On a réalisé la carte des pentes à partir du MNT de la Région de Beni Idder avec cinq classes bien déterminer : classe 1 ($0^\circ - 5^\circ$), classe 2 ($5^\circ - 15^\circ$), classe 3 ($15^\circ - 25^\circ$), classe 4 ($25^\circ - 45^\circ$) et classe 5 ($45^\circ - 89^\circ$) (**Fig.6**).

L'examen de la répartition des glissements de terrain avec les classes de gradient de pente, montre une augmentation de la fréquence des glissements de terrain dans trois classes de gradient de pente où la fréquence maximale est atteinte dans la classe $5^\circ - 15^\circ$.

4.4 Hypsométrie

On a réalisé la carte d'hypsométrie avec les classes suivantes : 33m- 400m, 400m- 650m, 650m- 900m, 900m- 1250m et 1250m- 1913m (**Fig 7**). Au niveau des altitudes de 400m à 900m la fréquence des mouvements de terrains est très élevée, on note aussi que la fréquence des mouvements de terrain est assez importante aux altitudes inférieures à 400 m.

4.5 Exposition des versants

La carte d'exposition a été reclassifiée en cinq classes importantes (**Fig.8**). La répartition des glissements de terrain cartographiées par rapport aux classes des expositions, montre que les glissements sont relativement plus fréquents au niveau des orientés Nord et Ouest.

4.6 La fracturation

L'activité tectonique récente et héritée peut intervenir, en conditionnant les mouvements de terrain dans les zones où les terrains sont fragilisés [10] [11]. Ainsi la cartographie des mouvements de terrain dans la région d'étude, montre qu'un nombre important de mouvements s'est développé le long des principaux accidents de direction NS et les fronts de chevauchements de direction, (, etc). Ces diverses failles guident un certain nombre d'écoulements de surface. Elles montrent aussi une relation avec la répartition des sources d'eau [10] [11] [12]. (Fig.9)

La relation entre la fréquence des glissements de terrain et la distance aux failles, montre que la fréquence des glissements de terrain diminue lorsque la distance aux failles augmente. Avec le maximum des mouvements de terrain se trouve à 100 m des failles.

4.7

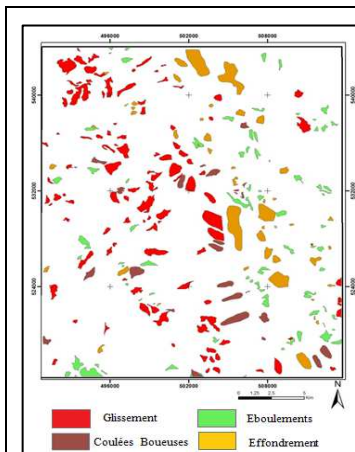


Fig.3 carte d'inventaire des mouvements de terrain.

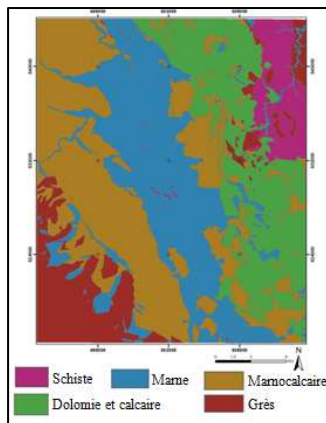


Fig.4 Carte des différentes formations lithologiques.

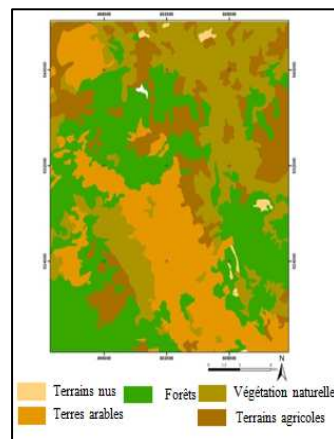


Fig.5 Carte d'occupation des sols.

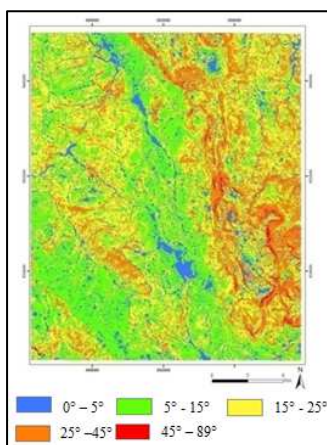


Fig.6 Carte des gradients de pente.

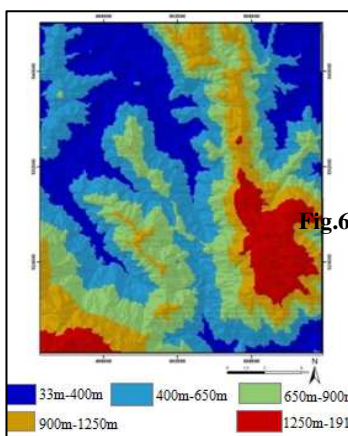


Fig.7 Carte d'hypsométrie (en mètre).

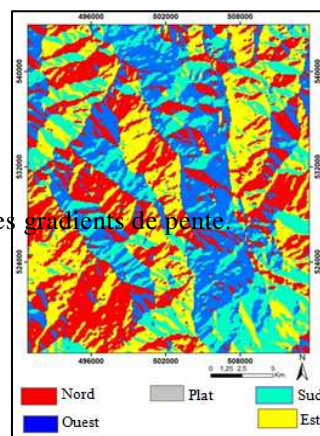


Fig.8 Carte d'expositions.

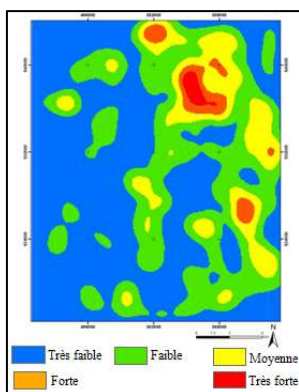


Fig.10 Carte de la densité du réseau hydrographique.

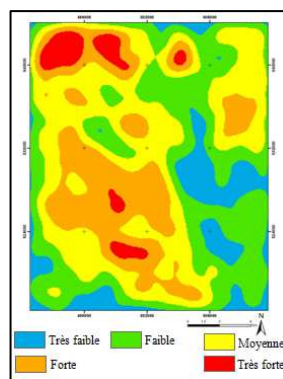


Fig.11 Carte de densité du réseau hydrographique

Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est pris en considération pour deux raisons : **i.** La nature imperméable de la majorité des terrains dans le Rif (à l'exception de la dorsale calcaire), se traduit par un écoulement de surface très important lors de la période pluviale et à chaque orage ce qui conduit soit à une érosion soit à une infiltration à travers des zones fragiles (stratification inclinée, schistosité, failles etc...) contribuant à une diminution de la résistance au cisaillement des matériaux ; **ii.** Son analyse en terme d'anomalies et de perturbation peut nous renseigner dans les zones dépourvues de terrain plio-quaternaire de notre secteur d'étude de la réactivation récente des failles [10] [12]. **(Fig.10)** La relation entre la fréquence des glissements de terrain et la densité du réseau hydrographique, montre que la fréquence des glissements de terrain augmente dans la classe ou la distance entre 200 et 400 m.

5 Résultats et analyses

5.1 Calcul du poids ;

Les cartes des paramètres de prédisposition combinées avec la carte de glissement de terrain permettent de calculer les poids positifs et négatifs et les contrastes, comme indiqué dans le **tableau.2**.

Les valeurs positives du contraste (**C**) enregistrés pour les paramètres lithologiques (Marno-calcaire, Marne et dolomie-calcaire), l'occupation du sol (terres arables et terrains nus), distance aux failles (inférieure à 300 m), attestent de leur rôle significatif dans l'apparition des mouvements de terrain.

Tableau 2 : Corrélation spatiale entre les variables prédictives et les valeurs de pondération calculées par la théorie de l'évidence, (W+) : la valeur la probabilité a priori, (W-) : la valeur de la probabilité à posteriori, (C) : le contraste qui est la différence entre W+ et W-, S(C) : la variance du contraste

Gradient de pente	Surface en Km ²	W+	W-	C(Contraste)	S(C)
0 - 5°	67,686	0,6162	-0,1063	0,7225	0,3587
5 - 15°	219,90	0,0598	-0,0339	0,0938	0,2927
15 - 25°	213,09	-0,5493	0,1967	-0,7459	0,3553
25 - 45°	118,28	0,1250	-0,0318	0,1568	0,3443
45 - 89°	8,0862	0,3906	-0,0064	0,3971	1,0252
Exposition des versants	Surface en Km ²	W+	W-	C(Contraste)	S(C)
Plat	37,194	0,9925	-0,1107	1,1033	0,3946
Nord	241,45	-0,3411	0,1670	-0,5082	0,3165
Est	83,763	-0,3121	0,0406	-0,3527	0,4746
Sud	77,692	0,1046	-0,0157	0,1202	0,4115
Ouest	187,01	0,1115	-0,0514	0,1628	0,3003
Distance au réseau hydrographique	Surface en Km ²	W+	W-	C(Contraste)	S(C)
100	69,838	0,2128	-0,0300	0,2429	0,4119
200	190,34	-0,2555	0,0939	-0,3494	0,3330
300	205,51	-0,1038	0,0467	-0,1505	0,3103
400	137,97	0,0737	-0,0216	0,0953	0,3337
>500	26,157	0,8868	-0,0620	0,9487	0,4819
Occupation des sols	Surface en Km ²	W+	W-	C(Contraste)	S(C)
Forêts	218,00	-0,3595	0,1475	-0,5070	0,3211
Végétation naturelle	161,96	0,0152	-0,0053	0,0205	0,3139
Terres arables	143,20	0,2774	-0,0971	0,3745	0,3019
Terrains agricoles	107,76	-0,0204	0,0041	-0,0245	0,3690
Terrains nus	3,6054	1,9718	-0,0326	2,0044	0,7732
L'hypsométrie	Surface en Km ²	W+	W-	C(Contraste)	S(C)
33 - 400 m	148,20	0,0073	-0,0022	0,0095	0,3335
400 - 650 m	190,28	0,2217	-0,1116	0,3334	0,2929
650 - 900 m	191,37	-0,0259	0,0110	-0,0369	0,3104
900 - 1250 m	70,632	-1,0567	0,0797	-1,1364	0,7242
1250 - 1913 m	33,887	0,0985	0,0124	-0,2608	0,3255

Formations géologiques	Surface en Km ²	W+	W-	C(Contraste)	S(C)
Grès	73,443	-0,4067	0,0436	-0,4503	0,5246
Dolomie et calcaires	130,64	0,0368	-0,0099	0,0466	0,3441
Marno-calcaires	212,39	0,0430	-0,0227	0,0657	0,2961
Schistes	37,478	-1,1347	0,0431	-1,1778	1,0135
Marnes	173,90	0,1915	-0,0836	0,2751	0,3005
Distance par rapport aux Failles	Surface en Km ²	W+	W-	C(Contraste)	S(C)
100	332,40	0,0498	-0,0621	0,1120	0,2856
200	196,47	0,0650	-0,0310	0,0960	0,3002
300	70,891	-1,0694	0,0813	-1,1508	0,7242
400	16,292	0,4266	-0,0141	0,4407	0,7326
> 500	4,4508	1,0577	-0,0130	1,0707	1,0392

5.2 Calcul de l'indépendance conditionnel (IC)

5.2.1 Degré de liberté entre chaque paire de variables de predisposition

Parmi les sept variables de predisposition traités, six ont été retenues (occupation des sols, la pente, le faciès, hypsométrie, distance aux failles et le réseau hydrographique) étant donné que les valeurs du degré de liberté (α) entre chaque paire de variables obtenue par la méthode de WofE (tableau.4) sont supérieurs à **0,05** ($\alpha > 0,05$) [1] [2] [3]. La variable exposition a été retirée ($\alpha < 0,05$) étant donné sa dépendance avec la variable pente. Ce résultat a été confirmé par le test de **chi-carrée** (X^2) étant donné que l'écart n'est pas important entre

l'écart de X^2 observé et X^2 théorique pour chaque couple de facteurs et pour l'ensemble des variables à modéliser.

Tableau 3 : Valeurs du degré de liberté α entre chaque paire de variables

	Occupation des sols	Pente	Facies	Hypsométrie	Réseau hydrographique
Distance au faille	0,9919	0,8358	0,3607	0,9996	0,9330
Occupation des sols		0,9841	0,8133	0,3840	0,9611
Pente			0,8392	0,9736	0,9952
Facies				0,8091	0,6982
Hypsométrie					0,7724

5.2.2 La carte de susceptibilité aux mouvements de terrain de Beni Idder (WofE)

La carte obtenue permet de distinguer 5 classes de susceptibilité : très forte, forte, moyenne, faible, et très faible (**Fig.11**).

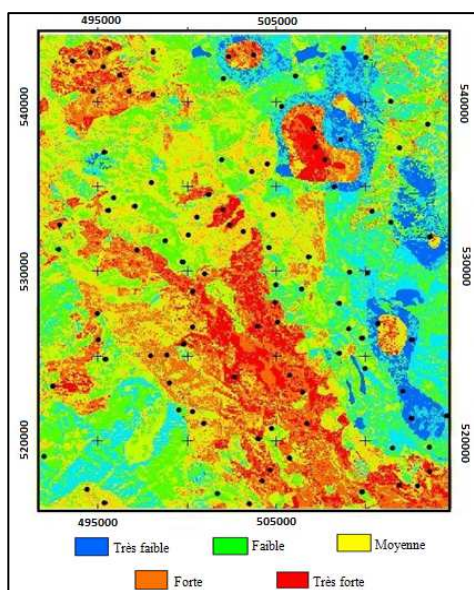


Fig.11 La carte de susceptibilité aux mouvements de terrain par la théorie de l'évidence de la région de Tleta de Beni Ider

Pour la validation de la carte de susceptibilité aux mouvements de terrain de la région de Tleta de Beni Ider, on a superposé les mouvements de terrain cartographiés sur la carte de susceptibilité obtenue afin de définir la proportion des mouvements de terrain par classes de susceptibilité. Le résultat statistique en proportion des mouvements de terrain par classes de susceptibilité a montré que 53% des mouvements de terrain cartographiés se situent dans la zone à très forte à forte susceptibilité, 24% des mouvements de terrain dans la zone moyenne.

Tableau. 4 : Les pourcentages des mouvements de terrain par rapport les classes de susceptibilité

Susceptibilité	Pourcentage des MT (%)
Très forte	29
Forte	24
Moyenne	20
faible	15
très faible	12

Conclusion

L'analyse de la susceptibilité aux mouvements de terrain dans la région montagneuse de Beni Idder a été facilitée grâce à l'utilisation d'outils de la géomatique (Télédétection, SIG, GPS, etc.).

La théorie de l'évidence a été testée dans la région de Tétouan-Chefchaouen (Rif septentrional) pour évaluer la susceptibilité liée aux quatre types de mouvements de terrain. Les facteurs conditionnellement indépendants ont été retenus et intégrés dans le processus de modélisation afin de produire les cartes de probabilité d'occurrence de mouvements de terrain.

Les facteurs de prédisposition de l'occurrence spatiale des mouvements de terrain, ont été rasterisés avec la même taille du Pixel qui est de l'ordre de 25m, puis classés en 5 classes. Les mouvements de terrain significatifs et représentatifs ont été identifiés et cartographiés.

Le test chi-carré X^2 a permis de définir les facteurs prédictifs conditionnellement indépendants vis à vis aux mouvements de terrain VM. Les poids positifs et négatifs ainsi que leurs contrastes ont été calculés pour chaque classe de variables. Ce calcul a permis d'identifier les variables qui sont positivement corrélées ($W^+ > 0$ et $W^- < 0$) ou négativement corrélées ($W^+ < 0$ et $W^- > 0$).

La carte de susceptibilité élaborée fait ressortir que : **i.** Les glissements de terrain sont les plus fréquents et se localisent sur des terrains marneux à marno-calcaires ; **ii.** Les éboulements viennent par la suite en terme de fréquence et se localisent au niveau de la dorsale calcaire (dolomie calcaire, marno-calcaire) ; **iii.** Les coulées boueuses se localisent dans les zones où dominent les marnes ; **iiii.** Les effondrements sont situés essentiellement au centre de la dorsale calcaire ce qui est justifié par sa nature lithologique. Ainsi les zones les plus exposées aux instabilités de terrains se localisent au niveau de la dorsale calcaire et des nappes des flyschs.

Les résultats statistiques montrent que 53% des mouvements de terrain cartographiés se situent dans la zone à très forte à forte susceptibilité, 24% des mouvements de terrain dans la zone moyenne.

La carte de susceptibilité aux mouvements de terrain élaborée, servira dans l'aménagement et le

développement durable de la région, ceci pour une éventuelle extension urbaine, ou lors des planifications de nouveaux tracés de routes et autoroutes. Elle constitue un document utile pour la prévention et l'information des populations aux risques de mouvements de terrain dans la région de Tleta de Beni Ider.

References

1. A. Carrara, M. Cardinali, F. Guzzetti, P. Reichenbach, *GIS-based techniques for mapping landslide hazard*. Geographical Information System in assessing natural hazard (1995)
2. C.J. Van Westen, E.A. Castellanos Abella, L.K. Sekhar, *Spatial data for landslide susceptibility, hazards and vulnerability assessment: an overview*. In: Engineering geology. (2008)
3. Y. Thiery, J-P. Malet, S. Sterlacchini, A. Puissant, O. Maquaire, *Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment*. Geomorphology. (2007)
4. M. El Moulat, L. Ait Brahim, M. Mastere and A. I. Jemmah, "Mapping of Mass Movements Susceptibility in the Zoumi Region Using Satellite Image and GIS Technology (Moroccan Rif)," International Journal of Scientific & Engineering Research, vol. **6(2)**, pp. 210-217, (2015)
5. M. Mansour, L. Ait Brahim, P. Potherat, Z. Sekkat. "Etude du glissement de Bouhalla par une approche multisource (commune de Chaouene, Rif, Maroc)." Revue de Génie civil, **81**, Mai 1999, pp.34-41, (1999).
6. A.El Gharbaoui, *La terre et l'Homme dans la péninsule tingitane. Etude sur l'Homme et le milieu dans le Rif occidental*. Travaux de l'Institut Scientifique, série Géologie et Géographie Physique, Rabat, **15**, 439 p. (1981)
7. M. Moukhchane, S. Bouhlassa, A. Chalouan ; *Approche cartographique et magnétique pour l'identification des sources de sédiments : cas du bassin versant Nakhla (Maroc)*. Sécheresse, 9 :227-32. (1998)
8. D.J. Varnes, *Landslide Hazard Zonation, a review of principles and practice*. IAEG Commission on Landslides. UNESCO, Paris. (1984)
9. G.F. Bonham-Carter, F.P. Agterberg, *Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential*. Geological Survey of Canada Paper, **89-9**. (1989)
10. L. Aït Brahim - *Tectonique cassante et état de contraintes récentes du Maroc Nord, contribution à l'étude du risque sismo-tectonique au Maroc*. Thèse de doctorat d'état, Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat. (1991)
11. L. Aït Brahim, P. Chotin, S. Hinaj, A. Abdelouafi, A. El Adraoui, C. Nakcha, D. Dhont, M. Charroud, F. Sossey Alaoui, M. Amrhar, A. Bouaza, H. Tabyaoui, A. Chaoui. *Paleostress evolution in the Moroccan African margin from Triassic to Present*. Tectonophysics. (2002)
12. Deffontaines et al., *Investigation of active faults in Morocco using morphometric methods and pattern analyses sonderdruck an Geologische Rundschau*, **8**, Helt 1, Stuttgart, Deutschland, P. 199-210, (1992).