

## Cartographie de l'aléa mouvements de terrain du bassin versant de N'fis, Haut Atlas, Maroc

### [ Mapping of mass movements hazard in the N'fis watershed, High Atlas, Morocco ]

*A. Amaya, Ab. Algouti, Ah. Algouti, and N. El Aaggad*

Département de Géologie,  
Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences,  
B.P. 2390, 40 000, Marrakech, Maroc

---

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This work provides the map of mass movements hazard, which presents the most common phenomena in the N'fis watershed. The study is part of the contribution to the watershed management, which is highly vulnerable to natural hazards, and also in the context of the production of information and awareness documents. The methodology is the creation of thematic maps in GIS by combining, determining factors (slope, lithology, fracturing) in triggering land instabilities in the region, following decision rules. These maps are subsequently combined to yield a map of mass movements hazard. The latter shows four areas of susceptibility to hazard: low, medium, high and very high. The class of high susceptibility to hazard occupies 50.83% of the surface of the study area. This shows the sensitivity of the area to potential risks. These results were compared to the realities on the ground, allowing the validation of the method used.

**KEYWORDS:** instabilities, slope, lithology, fracturing, map, GIS, remote sensing.

**RESUME:** Ce travail fournit une cartographie de l'aléa mouvements de terrain, qui présente les phénomènes les plus fréquents dans le bassin versant de N'fis. L'étude s'inscrit dans le cadre de la contribution à l'aménagement du bassin versant qui est très vulnérable aux risques naturels, et aussi dans le cadre de la production des documents d'information et de sensibilisation de la population. La méthodologie suivie est la création des cartes thématiques par combinaison dans les SIG, des facteurs déterminants (pente, lithologie, fracturation) dans le déclenchement des instabilités de terrains dans la région, suivant des règles de décision. Ces cartes sont par la suite combinées pour donner une carte d'aléa mouvements de terrain. Cette dernière montre quatre zones de susceptibilité aux mouvements de terrain : faible, moyen, fort et très fort. La classe d'aléa fort occupe 50,83% de la surface du secteur d'étude. Ceci montre la sensibilité de la région aux risques potentiels. Ces résultats ont été confrontés aux réalités de terrain, permettant ainsi la validation de la méthode utilisée.

**MOTS-CLEFS:** instabilités, pente, lithologie, fracturation, carte, SIG, télédétection.

## 1 INTRODUCTION

Le bassin versant de N'fis est une région montagneuse qui, par la beauté de ses attraits naturels, attire un grand nombre de visiteurs et plusieurs finissent même par s'y installer. Il s'en suit donc un développement démographique et infrastructurel qui est exposé à des catastrophes naturelles, car malgré les attractions naturelles, les caractéristiques géologiques, topographiques, tectoniques, et climatiques de la région sont particulièrement favorables au développement du risque d'érosion hydrique et de mouvements de terrain (éboulement, chute de blocs, glissement de terrain,...). Ceci engendre des problèmes socio-économiques qui peuvent affecter tout le pays. Ainsi pour protéger l'environnement et assurer la pérennité

de l'économie du Maroc, de nombreux travaux de contribution à la lutte contre l'érosion hydrique, ont été faites sur des bassins du Haut Atlas en général [1], [2], et sur le bassin de N'fis en particulier (Agence du Bassin Hydraulique de Tensift : ABHT). Cependant, l'érosion gravitaire (mouvement de terrain) dans le bassin de N'fis reste un sujet peu documenté.

Le but général de cette étude est la contribution à la réduction des risques naturels dans le bassin versant de N'fis en utilisant les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection afin de produire une série de cartes correspondant aux différents types d'aléas mouvement de terrain de la région d'étude.

L'objectif spécifique est d'établir une carte d'aléa mouvements de terrain sur l'ensemble du bassin versant de l'oued N'fis, qui permet de délimiter de façon générale et exploratoire, l'ensemble de zones susceptibles de présenter des instabilités de terrain dans tout le bassin. Ceci afin de disposer de documents d'information et de sensibilisation pouvant servir également de document de base permettant de guider les travaux d'aménagement.

## 2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de N'fis d'une superficie de 1442,72 Km<sup>2</sup> est située sur le front nord du Haut atlas marocain, entre les longitudes 7°55' et 8°40' ouest et entre les latitudes 30°5' et 31°2' nord (Figure 1). De forme allongée, il est caractérisé par une topographie accidentée, dont les altitudes varient de 640 mètres au niveau de l'exutoire à 4079 mètres au point le plus élevé (montagnes du Haut Atlas). La région est soumise à un climat semi-aride. Les précipitations présentent une variabilité spatio-temporelle [3]. Elles sont irrégulières et agressifs, ne dépassant pas les 500 mm en moyenne. On distingue deux grandes saisons : une saison humide d'octobre à avril, où interviennent la quasi-totalité des épisodes pluvieux, soit 84% en moyenne de la pluviosité annuelle, une saison sèche de Mai à Septembre avec seulement 16% de la pluviosité annuelle en moyenne.

Sur le plan géologique, Le bassin de N'fis est essentiellement composé d'un socle affecté par l'orogénèse hercynienne surmonté par une couverture d'âge secondaire et tertiaire. Sa partie amont qui constitue la zone axiale du Haut Atlas de Marrakech est formée par des terrains magmatiques (granites, granodiorites, andésites, rhyolites, basaltes etc.) et des roches métamorphiques (Schistes, gneiss, quartzites). Sa partie aval, qui fait partie de la zone subatlasique septentrionale constitue la zone des plateaux avec, surtout, des terrains mésozoïques et cénozoïques dont la lithologie est composée d'une alternance de roches plus tendres : grès, siltite, et argile.

Toutes ces formations géologiques ont subi une importante tectonique, se traduisant par une forte densité de fracturation.

La couverture végétale est rarement dense mais présente une variété d'espèce. On distingue des terrains de culture et des forêts à base de chênes et de thuyas, lesquelles se localisent essentiellement dans la partie amont du bassin-versant. La région présente également des vergers ainsi que des prairies le long de l'oued N'fis.

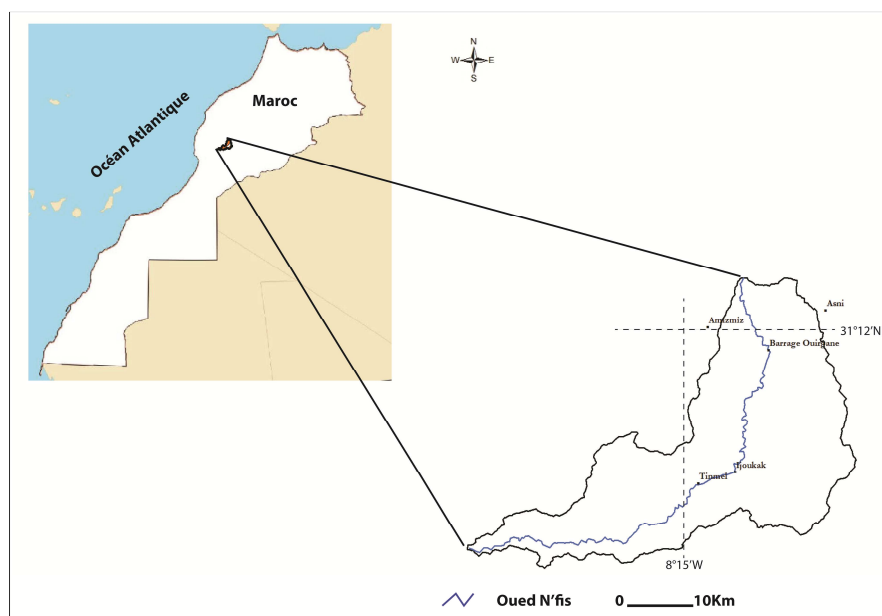


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

### 3 DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE

Les données utilisées sont :

- Une carte géologique de Marrakech 1/500 000 [4]. Cette carte a été numérisée et géoréférencée dans le système UTM WGS 84. Les grandes failles de la région et les terrains géologiques ont été digitalisés, respectivement, en polygones et en polygones pour établir une carte de faciès lithologiques, ainsi qu'une base de données sur les dimensions des différents terrains géologiques. En fonction des différences lithologiques, à chaque faciès a été attribué un degré de susceptibilité aux instabilités de terrain, en tenant compte des réalités de terrain (Tableau 1).

*Tableau 1. Susceptibilité des différentes couches lithologiques en fonction de leurs faciès*

Faciès	Susceptibilité aux éboulements et chute de bloc	Susceptibilité aux glissements de terrain
Roches magmatiques, quartzite,	3	1
Schistes du primaire	3	2
grés du Trias	3	1
Calcaire du crétacé	2	2
conglomérat	2	1
Argile du trias	1	3

- 11 cartes topographiques couvrant tout le bassin versant de l'oued N'Fis. Les onze cartes topographiques (1/50 000), numérisées et géoréférencées dans le même système géodésique, ont été assemblées dans un seul document couvrant tout le bassin versant.
- Un fichier MNT (modèle numérique de terrain) de la SRTM « Shuttle Radar Topography Mission » dont la résolution est de 90 m. Ce modèle numérique de terrain (MNT) a permis, de dresser des cartes caractérisant la topographie du bassin versant de la zone étudiée.
- 2 images TM de Landsat-5 datant du 4 Aout 2011 et du 5 Septembre 2011, en l'absence de toute couverture nuageuse. Les deux scènes satellitales Landsat TM ont été assemblées en Mosaïque afin de couvrir toute la région d'étude. Ces images ont permis d'extraire les linéaments du bassin versant de N'fis par application des filtrages directionnels. Ceci a permis d'établir une carte de fracturation (Figure 2).

Toutes ces étapes préliminaires (prétraitement) permettant de transformer les différentes couches en image (raster), facilitent l'analyse spatiale [5]; car toutes les grandeurs sont amenées à une même unité de base, le pixel [6].

- Les archives et les analyses de terrain : elles ont permis d'étudier l'historique des mouvements de terrains qui ont affectés la région, de rechercher les facteurs déterminants dans le déclenchement d'une instabilité de terrain dans la zone d'étude, de déterminer les indices de classification de ces facteurs et de vérifier les résultats obtenus.

La méthode utilisée pour cartographier l'aléa mouvements de terrain du bassin versant de N'fis utilise des règles qualitatives et une hiérarchisation des facteurs déclenchant l'instabilité de terrain. Elle est inspirée des travaux de nombreux chercheurs sur les mouvements de terrain [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15].

Les phénomènes retenus pour ce travail sont les plus fréquents dans la région, il s'agit : des éboulements et chutes de blocs, des glissements de terrain. Pour chaque phénomène une carte d'aléa a été établie par croisement des facteurs en suivant des règles de décision. La classification de la pente, le degré de susceptibilité des couches lithologiques et le degré de contribution de la fracturation, sont déterminés selon leur intervention dans un phénomène. Les facteurs déterminant des éboulements et chute de bloc sont : la pente, la lithologie et la fracturation. Ceux des glissements de terrain sont : la pente et la lithologie. Quatre niveaux d'aléa sont définis pour chaque phénomène.

- Pour les éboulements et chute de bloc, les classes d'aléa sont : faible, moyenne, fort et très fort.
- Pour les glissements de terrain les classes attribuées sont : nul, faible, moyen à fort et très fort.

Les deux cartes ont été synthétisées en une carte qui donne la carte d'aléa des mouvements de terrain du bassin versant de N'fis.

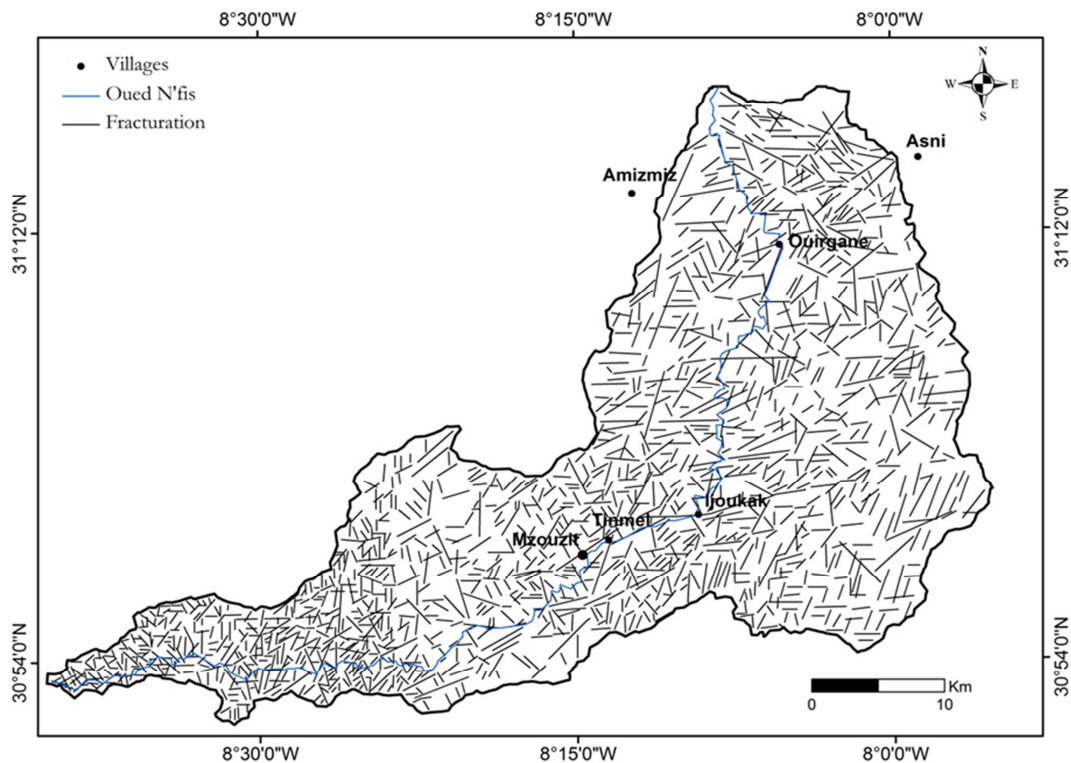


Fig. 2. Carte des fractures du bassin versant de N'fis

#### 4 RESULTATS ET DISCUSSION

##### 4.1 LA CARTE D'ALEA EBOULEMENTS/CHUTES DE BLOC

La combinaison sous les SIG, des cartes de répartition spatiale des facteurs pente et lithologie puis l'ensemble avec la fracturation, suivant les règles de décision mentionnées sur les Tableau 2 et 3, a permis de produire la carte de l'aléa éboulement et chute de bloc du bassin versant de N'fis (Figure 3). Celle-ci comprend quatre classes : faible (22,12 %), moyen (17 %), fort (52,91 %) et très fort (7,9 %). Les zones à susceptibilité faible ou moyen à l'aléa éboulement se trouvent dans la partie nord où le degré de pente est faible et les endroits occupés par des terrains argileux. En revanche, dans la haute montagne, les terrains à pente forte, sont les plus exposés aux éboulements et chutes de bloc.

Tableau 2. Règle de décision de la combinaison pente et susceptibilité des faciès

Indice de pente + Susceptibilité de faciès	(0-15°)	(15-30°)	(30-45°)	(>45°)
	1 (Pente faible)	2 (Pente moyenne)	3 (Pente forte)	4 (Pente très forte)
1 (faible)	1	1	1	2
2 (moyenne)	1	2	3	3
3 (forte)	2	3	4	4
4 (Très forte)	3	4	4	4

Tableau 3. Règle de décision de l'aléa éboulement et chute de bloc

Résultat de la combinaison pente et susceptibilité du faciès + Densité de fracturation	1 (Faible)	2 (Moyenne)	3 (Forte)	4 (Très forte)
1 (faible)	1	1	2	2
2 (moyenne)	2	2	3	3
3 (forte)	2	3	4	4
4 (Très forte)	3	4	4	4

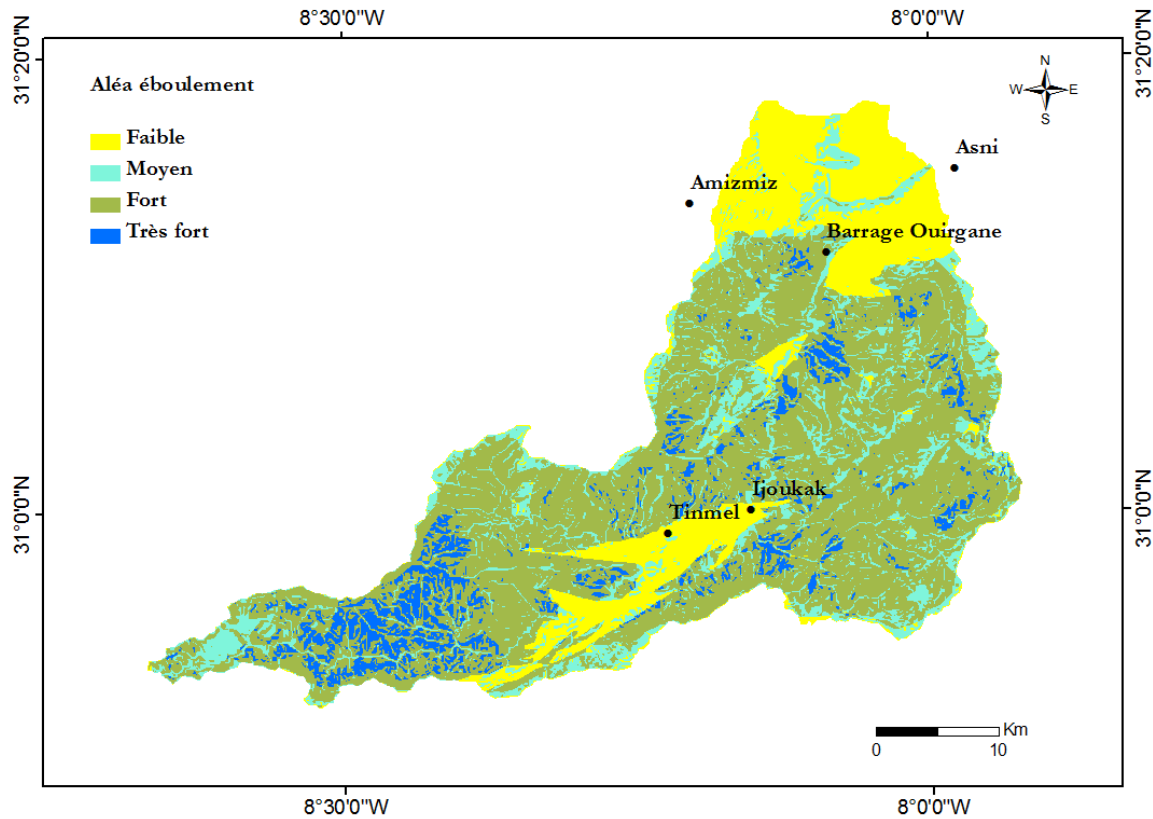


Fig. 3. Carte d'aléas éboulements/ chutes de bloc du bassin versant de N'fis

#### 4.2 LA CARTE D'ALEA GLISSEMENTS DE TERRAIN

Le croisement des facteurs pente et lithologie suivant la règle de décision du Tableau 4 a permis d'établir une carte d'aléa de glissement de terrain. Celle-ci présente une classe de susceptibilité au glissement de terrain nulle occupant 24,47% du secteur d'étude, celle de susceptibilité faible est répartie sur 44,72% de la superficie du bassin versant, 27,11% est occupé par la classe moyenne à forte. Et enfin 3,6% représente la classe de très forte susceptibilité au glissement de terrain (Figure 4). Les fortes susceptibilités sont localisées au niveau des formations lithologiques meubles avec une forte pente.

Tableau 4. Règle de décision de l'aléa glissement de terrain

Indice de pente + Susceptibilité de faciès	(0-10°) 1 (Pente faible)	(10-20°) 2 (Pente moyenne)	(20-30°) 3 (Pente forte)	(>30°) 4 (Pente très forte)
1 (faible)	1	1	1	2
2 (moyenne)	1	2	3	3
3 (forte)	2	3	4	4
4 (Très forte)	2	4	4	4

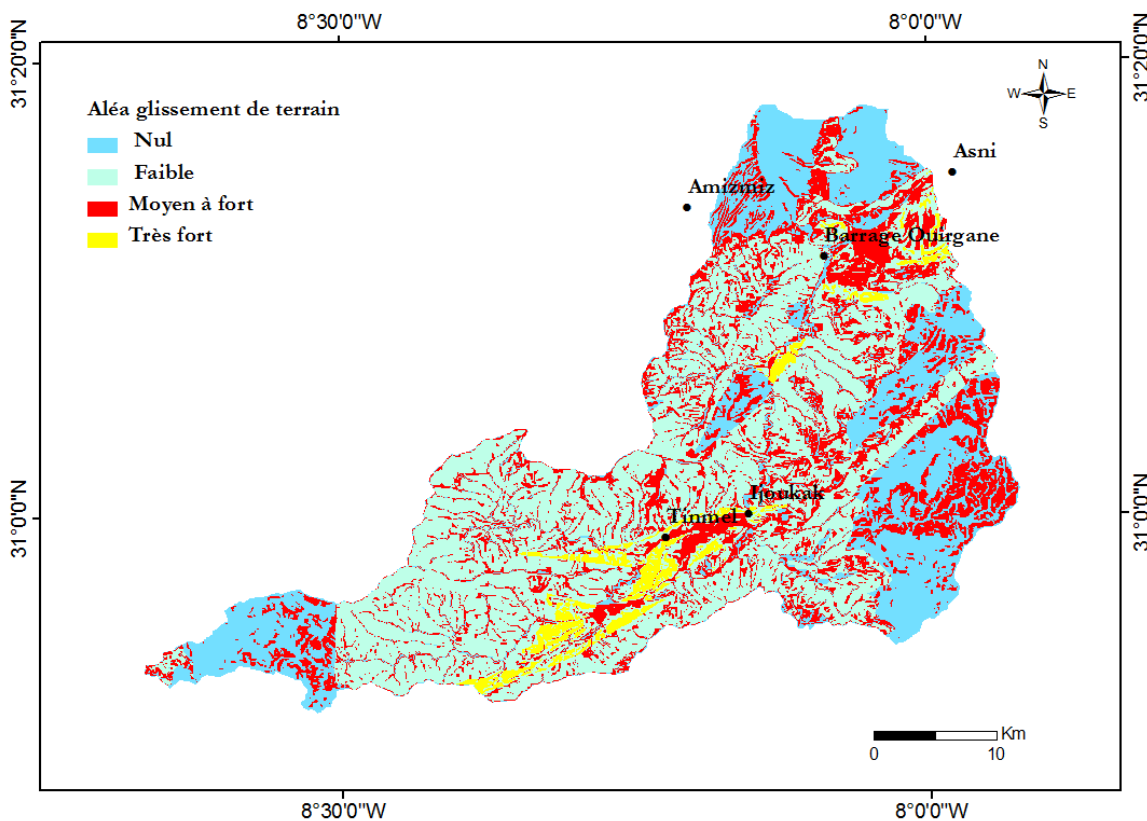


Fig. 4. Carte d'aléa de glissement de terrain du bassin versant de N'fis

### 4.3 LA CARTE DE L'ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN DU BASSIN DE N'FIS

La combinaison sous SIG de la carte d'aléa éboulements et chutes de bloc avec celle de glissements de terrain, nous a permis d'établir la carte de mouvement de terrain du bassin versant de N'fis, à l'aide de la règle de décision présentée dans le Tableau 5.

Cette dernière délimite les zones potentiellement instables en utilisant une classification de susceptibilité de faible à très forte. Pour la surface analysée qui est de 1442,72 km<sup>2</sup> (100%), les zones d'aléa très fort occupent 0,83% de la surface du bassin versant. Les zones d'aléa fort sont les plus représentées et éparpillées dans l'ensemble du secteur d'étude, elles occupent 50,83% de la superficie totale. Les aléas moyens occupent 41,16% de l'aire totale. Finalement les zones moins sensibles ou d'aléa faible sont réparties sur 7,07% de l'aire totale, et sont localisées au nord du bassin versant (Figure 5).

Les zones très sensibles occupent une surface plus importante que la somme des zones d'aléa faible et moyen, ce qui montre l'ampleur du secteur exposée aux risques.

L'intérêt de cet étude réside dans le fait que cette première carte de susceptibilité aux instabilités de terrains du bassin versant de N'fis, indique où le mouvement de terrain peut se produire, attirant l'attention des autorités et des décideurs sur les zones qui doivent être le sujet des études poussées, pour apporter des aménagements concrets.

Tableau 5. Règle de décision de l'aléa mouvement de terrain

Aléa glissement de terrain + Aléa éboulement/ Chute de bloc	1 (Nul)	2 (Faible)	3 (Moyen à fort)	4 (très fort)
1 (faible)	1	2	3	4
2 (moyen)	2	2	3	4
3 (fort)	3	3	4	4
4 (Très fort)	4	4	4	4

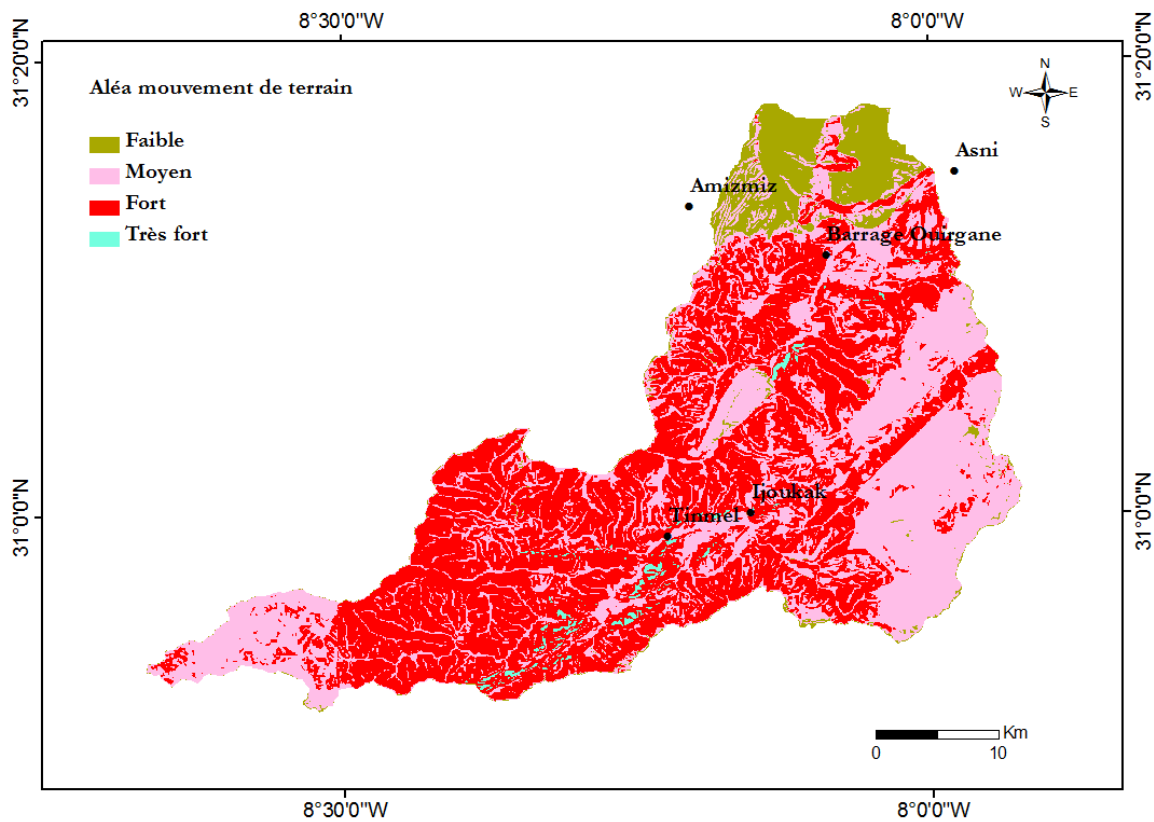


Fig. 5. Carte d'aléa mouvement de terrain du bassin versant de N'fis

## 5 CONCLUSION

La cartographie de l'aléa mouvements de terrain du bassin versant de N'fis a été réalisée suivant une démarche simple de combinaison des facteurs intervenant dans les phénomènes (éboulement/chute de bloc, glissement de terrain). Ces combinaisons ont suivi des règles de décision déduites des analyses sur le terrain. La carte obtenue montre que plus de 50% de la superficie du bassin versant est susceptible aux forts aléas de mouvements de terrain.

Ce travail réalisé en limitant le plus possible la subjectivité, affiche des niveaux d'aléas potentiels dans les zones où aucun événement n'est connu, ce qui permet de prendre des mesures de prévention et de sécurité. En général, cette cartographie a permis une appréciation globale de la susceptibilité du bassin versant de N'fis aux mouvements de terrains. Il s'agit d'un document d'information et de sensibilisation sur les risques de mouvements de terrain de cette région. Il s'agit aussi d'un

document d'alerte qui doit guider le choix des secteurs sur lesquelles les recherches doivent se poursuivre, au mieux en intégrant d'autres facteurs (le couvert végétal, l'hydrographie...) dans la méthodologie.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement le responsable du laboratoire GEOBASSMA de la Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech, pour le cadre et moyen fournis au travail.

## REFERENCES

- [1] J. Abaoui, A. El Ghmari, A. El Harti, E. M. Bachaoui, A. Bannari et El A. Bouadili, « Cartographie de l'érosion hydrique en zone montagneuse : cas du bassin versant des ait bou goumez, Haut Atlas, Maroc », *Estudios Geologicos*, vol. 61, pp. 33-39, 2005.
- [2] B. Bachaoui, E.M. Bachaoui, A. El Harti, A. Bannari et A. El Ghmari, « Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : exemple du Haut Atlas marocain », *Téledétection*, vol. 7, no. 1-2-3-4, pp. 393-404, 2008.
- [3] M. Alifriqui, O. M'Hrit, R. Michalat, et J.P. Peltier, « Variabilité des précipitations dans le Haut Atlas Occidental marocain », *Le climat*, Vol. 13 no. 1, pp. 11-28, 1995.
- [4] G. Choubert, *Carte géologique, Marrakech 1/500000 : Notes et mémoires*. Service Géologique du Maroc, n° 70, 1957.
- [5] C. Collet, *Systèmes d'information géographique en mode image*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Col. Gérer l'environnement n° 7, 186 p. 1992.
- [6] E. Payet, P. Dumas, et G. Pennober, « Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana », *Vertigo*, vol 11, no. 3, 2011.
- [7] F. Léone, J.-P. Asté, E. Leroi, « L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain : pour une meilleure quantification du risque », *Revue de Géographie Alpine*, vol. 1, pp. 35-46, 1996.
- [8] O. Maquaire, « Aléas géomorphologiques (mouvements de terrain) : processus, fonctionnement, cartographie ». *Mémoire d'habilitation à Diriger des Recherches*. Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 219 p. et un volume d'annexes, 2002.
- [9] H. Raetzo, O. Lateltin, D. Bollinger and J.P. Tripet, « Hazard assessment in Switzerland – Codes of practice for mass movements », *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 61, pp. 263-268, 2002.
- [10] J.M. Mompelat et P. Maurizot, « Problématique du risque « mouvements de terrain » en Nouvelle- Calédonie et en Polynésie : état des lieux et perspectives ». *Extended abstract des communications présentées aux Assises de la Recherche Française dans le Pacifique*, Nouméa - Nouvelle-Calédonie, pp. 248-251, 2004.
- [11] M. Panizza, A. Corsini, M. Marchetti, A. Pasuto, S. Silvano, et M. Soldati « Cartographie du risque de mouvements de terrain au Tyrol du Sud », *Risques Naturels et Aménagement en Europe*, Paris, Armand Colin, pp. 131-142, 2004.
- [12] Y. Thiery, J.P. Malet, S. Sterlacchini, A. Puissant, et O. Maquaire, «Analyse spatiale de la susceptibilité des versants aux glissements de terrain. Comparaison de deux approches spatialisées par SIG », *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 15, no. 2, p.227-245, 2005.
- [13] P. Maurizot, Y. Lafoy, N. Mercier-des-Rochettes, et M.Vendé-Leclerc, « Cartographie des formations superficielles et des aléas mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie – Zone de Kaala », *Rapport BRGM /RP 53 927 – FR*, 2005.
- [14] B. Colas, « Cartographie de l'aléa mouvement de terrain du département de l'Aude- Echelle 1/50 000 », *Rapport final BRGM/PR-60688-FR*, 94p., 2011.
- [15] R. Cochery, « Caractérisation et cartographie de l'aléa mouvement de terrain lié aux cavités et coteaux sur Lavenay, Poncé-sur-le-Loir et Ruillé-sur-Loir (Sarthe) ». *Rapport final.BRGM/RP-62668-FR*, 63p., 2013.