Télédétection, 2005, Vol. 5, n°1-2-3, p 95-103

© 2005 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions Scientifiques GB*

APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION RADAR ET DU MNT À L'ANALYSE DE LA FRACTURATION ET LA DYNAMIQUE DES VERSANTS DANS LA RÉGION DE BAB-TAZA, RIF, MAROC

MAJID MANSOUR[a,1] et LAHCEN AIT BRAHIM [b,2]

[a] *Institut National d'Aménagement et d'Urbanisme*
Avenue Allal Fassi. Rabat-Instituts. Rabat, Maroc.
Téléphone +212 37 77 16 24 ; télécopieur : +212 37 77 50 09

[b] *Faculté des Sciences de Rabat, Laboratoire Georisk,*
Avenue Ibn Battouta, B.P. 1014 Rabat - Agdal, Maroc.
Téléphone / télécopieur : +212 37 77 19 57

Courriel (1,2) : majidmansour@hotmail.com ; aitbrahi@fsr.ac.ma

(soumis : 22 mai 2004 ; révisé : 27 septembre 2004 ; accepté 30 mars 2005)

Cette étude a pour objectif l'analyse et la cartographie des mouvements de terrain par une approche multisources, dans la région de Bab-Taza, Rif occidental, Maroc.

Tous les mouvements ont été recensés, cartographiés et replacés dans leur contexte morphodynamique et structural afin de comprendre le mécanisme générateur de cette dynamique.

À l'aide du logiciel Arc-Info, on a procédé à une analyse morphométrique à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et de ses produits dérivés.

Le premier groupe d'informations traitées concerne la morphologie et les documents associés. Par rapport à la carte topographique, nous avons constaté que la carte des pentes donne une meilleure appréciation des dénivelés du terrain naturel. Il en résulte un certain nombre de résultats concernant la relation entre la typologie des mouvements de terrain et les différentes classes de pente.

Le deuxième groupe concerne les problèmes liés aux conditions climatiques. L'influence de l'orientation de versant sur les processus dynamiques est déterminée par le rôle des facteurs tels que l'ensoleillement et la situation par rapport aux vents dominants. Face à l'Ouest, les versants soumis aux vents humides, d'origine atlantique, paraissent livrés aux mouvements de masse et à la solifluxion, alors que les versants exposés vers l'Est enregistrent surtout l'action de l'eau sous forme de ruissellement et de ravinement.

La contribution d'une analyse multisources à l'étude morphostructurale, couplant des images radar ERS-1, acquise le 03/09/1993, Landsat ETM, acquise le 18/08/1987 et les analyses de terrain de la microfracturation a révélé que les désordres observés au niveau de cette zone s'inscrivent dans un contexte structural régional. La fracturation s'ordonne autour de quelques familles d'accidents assez bien identifiées.

Mots-clefs : mouvements de terrain ; MNT ; radar ; fracturation ; Rif ; Maroc.

THE CONTRIBUTION OF RADAR REMOTE SENSING AND DTM TO THE ANALYSIS OF FRACTURING AND SLOPE DYNAMICS IN THE BAB-TAZA REGION, RIF, MOROCCO

The objective of this research was to analyze and map natural geodynamic processes in a humid mountain region of the Western Rif, southeast of Chaouène. Geomorphological information was derived from a morphostructural and morphodynamics map at the scale of 1/20 000. The construction of a DEM in addition to additional thematic map products allowed to process further morphometric analysis of the region by using the Arc/Info software. The West facing slopes, submitted to the humid winds of Atlantic origin, appear delivered to mass movement and solifluction, whereas the slopes oriented towards the East are submitted to runoff and erosion. A detailed morphostructural analysis, based on a multisource approach coupled with the analysis and interpretation of the ERS-1 radar image of 09/03/1993, the Landsat ETM image of 08/18/1987, air-photos and a digital terrain model in addition to the compulsory controls in the field, show that the observed gravitating phenomena of instabilities are related to the reactivation of active faults. This fracturing, which guides on the surface the majority of the hydrographical network. This fracturing associated with the slope and lithology, corresponds to the predisposing factors of the mass movement. A detailed study by means of a multivariable source analysis reveals a disruption of the test region in keeping of Tortonian to actual time.

Keywords : ground movements ; DTM ; radar ; fracturing ; Rif ; Morocco.

1. INTRODUCTION

La région de Bab-Taza est située dans le Rif, au Nord-Ouest du Maroc. Le réseau routier qui dessert cette région a particulièrement souffert de l'instabilité permanente des versants. Après chaque hiver pluvieux, la route a été emportée et la circulation interrompue pendant plusieurs semaines. Plusieurs maisons ont été détruites ou présentent des désordres, obligeant les habitants à quitter leur village. Des terres de cultures ont été emportées par des mouvements de masse, créant une situation confuse dans laquelle personne ne reconnaît ce qui lui appartient. Le but de cette étude est de mieux comprendre les mécanismes réactionnels des mouvements de terrain dans cette région en fonction des données issues de l'analyse spatiale d'image radar, des produits dérivés du MNT et d'un contrôle sur le terrain. Les levés qui ont abouti à l'établissement de la carte morphodynamique ont permis de localiser les différents mouvements et de préciser leur nature. La dynamique actuelle des versants est commandée par les relations entre la morphologie de surface, la lithologie, la structure et le climat.

2 LES DONNÉES GÉOLOGIQUES

Le Rif, édifice montagneux de la partie septentrionale du Maroc, fait partie des chaînes alpines du pourtour de la Méditerranée occidentale, par son âge et son style (Lespinasse, 1975). Il comporte, au-dessus d'éléments du socle ancien, une série sédimentaire secondaire et tertiaire. Sa structure présente des plissements multiples et intenses, accompagnés de métamorphisme ainsi que des déversements et des charriages importants orientés vers l'Ouest et le Sud-Ouest (Michard, 1976). Dans la zone d'étude (figure 1), trois domaines structuraux s'individualisent :

– le Rif interne représenté ici par la dorsale calcaire qui se présente sous forme d'une entité morphostructurale saillante (Fallot, 1937) et qui occupe la partie la plus externe du Rif interne. Sa série stratigraphique comporte des termes du Permien à l'Oligocène, mais c'est le Trias et le Lias qui sont les mieux représentés. Cette chaîne est découpée en nappes et écailles calcaro-dolomitiques (Kornprobst, 1962-1966 ; Griffon, 1966 ; Raoult, 1966 ; Gutnic, 1969 ; Leikine, 1969 ; Nold et al., 1981).

– le domaine des flyschs est constitué des unités prédorsaliennes (Durand Delga, 1972) : ce terme désigne des séries lithologiques particulières à la bordure externe de la dorsale calcaire. Ces unités à matériel marno-gréseux du Jurassique à l'Oligocène supérieur, présentent un caractère qui est, tantôt celui de la chaîne calcaire, tantôt celui des flyschs (Olivier, 1990).

– le domaine externe, Il s'oppose aux domaines précédents par la nature de ses matériaux essentiellement marneux, marno-schisteux et argileux. Il a été intensément déformé.

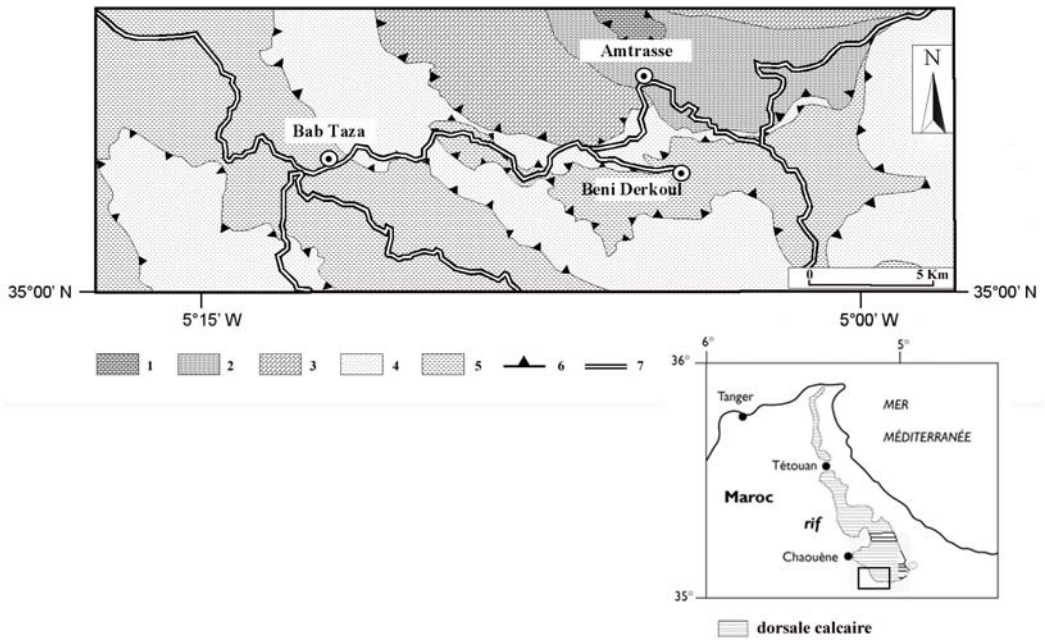


FIGURE 1 Situation de la zone d'étude. *Location of the study area.*

3 MÉTHODOLOGIE ET TECHNIQUES UTILISÉES

La méthodologie utilisée consiste à combiner des données différentes, à des échelles variées :

– la photo-interprétation a contribué largement à améliorer nos connaissances concernant la dynamique des versants, missions de 1986, 1/20 000, de 1966, 1/21 000 et une étude détaillée de terrain.

– une analyse quantitative de la topographie par la réalisation d'un modèle numérique de terrain (MNT) par numérisation des courbes de niveaux (équidistance = 20 m) et des points cotés de la carte topographique de Bab-Taza à 1/50 000 (Service géologique du Maroc, 1975) entre 35 ° et 35 ° 07 ' de latitude Nord et entre 5 ° et 5 ° 15 ' de longitude Ouest. La taille du pixel du MNT est de 50 m.

– une analyse d'image. La scène utilisée ERS-1 (figure 2b) de la phase C d'acquisition (orbite/rang, date : 11168/693, 03-Sep-1993). Cette image, dont les caractéristiques sont décrites dans le tableau 1, a été fournie par EURIMAGE dans le cadre du programme AI 219 STU 2000, un programme de recherche franco-marocain entre la Faculté des sciences de Rabat (Maroc) et la Faculté des sciences de Lemans (France), 2000-2003.

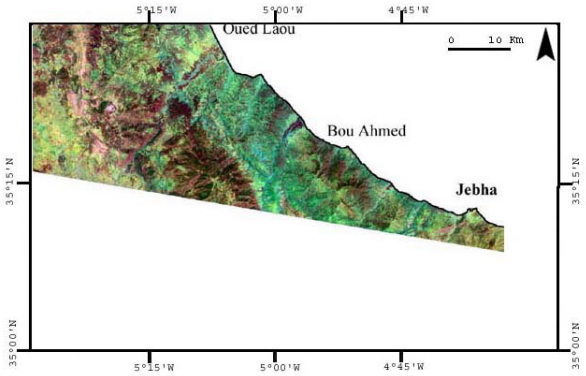


FIGURE 2a Image TM de Landsat (Oued Laou -Jebha). *Landsat TM image (Oued Laou-Jebha).*

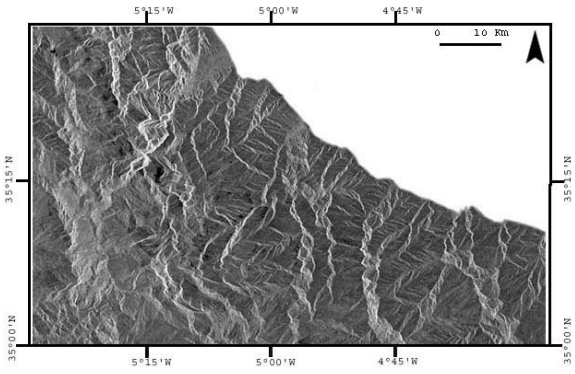


FIGURE 2b Extrait de l'image ERS-1 #11168-711 du 03/09/1993 (Oued Laou-Jebha). *Section of the ERS-1 image #11168-711 of 09/03/1993 (Oued Laou-Jebha).*

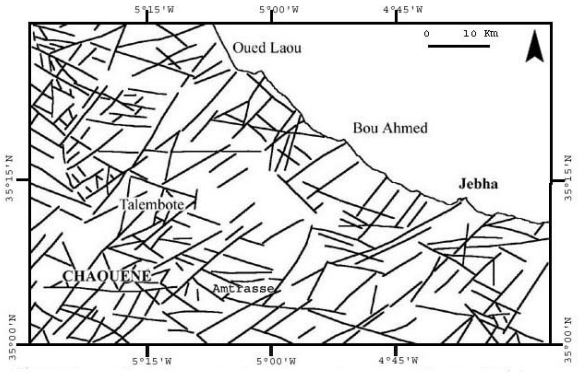


FIGURE 2c Photointerprétation des failles relevées sur l'image radar. *Photo-interpretation of the faults recorded on the radar image.*

TABLEAU 1 Paramètres et caractéristiques de l'image radar utilisée. *Parameters and characteristics of the radar images used.*

Plate-forme satellitaire	SCÈNE	Capteur	Date d'acquisition	Résolution spatiale (m)	Angle de prise de vue
Radar ERS-1	11168-693	AMI	03-Sep-1993	12,5 m	23 °

Les résultats de ces observations ont été validés par un contrôle au sol. En effet, un levé sur le terrain a été effectué, focalisé surtout sur les problèmes d'instabilité; néanmoins, la carte présentée ici fournit une représentation générale de toutes les composantes de l'environnement géo-morphodynamique et hydrologique qui présente une grande importance dans le cas des mouvements de terrain.
Cette démarche méthodologique combine des données différentes, à des échelles variées, incluant une image radar, une image Landsat TM entre Oued Laou et Jebha (figure 2a) les photographies aériennes multidates, un modèle numérique de terrain et les traitements numériques dérivés, la carte d'exposition, de pente et le contrôle au sol. Cette approche permet d'appréhender la dynamique du milieu et de hiérarchiser son évolution par la combinaison des différents facteurs.

4 RÉSULTATS

a - Analyse de la fracturation

L'image radar du satellite RSO de ERS-1 nous a permis de reconnaître le réseau de fractures affectant la région de Bab-Taza (Maroc). Trois principaux réseaux de failles sont reconnus (figure 2c) :

– **Le réseau N050-070** est statistiquement le plus fréquent et correspond à des failles ayant joué en décrochement dextre lors de la phase E-W (Nold et al., 1981 ; Olivier, 1984). Il est matérialisé par des segments discontinus et alignés qui affectent l'ensemble du domaine interne sur de longues distances (parfois supérieure à 20 km). Parmi les plus importants citons la faille de Jebha, Bou Ahmed, Oued Laou et Talembote qui ont rejoué en décrochante sénestre lors de la phase NE-SW à NNE-WSW.

– **Le réseau N110-130** est représenté par des failles à composante décrochante souvent sénestre importante lors de la phase E-W (Chaouni, 1999). Il constitue, avec le réseau N050-070, un système de fractures conjuguées. Ils ont affecté les Ghomarides, la dorsale calcaire et les dépôts de l'Aquitanien et du Burdigalien inférieur. En général, ces deux réseaux recoupent systématiquement les contacts chevauchants subméridiens et leurs sont donc postérieurs. Certaines directions présentent un jeu décrochant dextre attribué au Quaternaire (Ait Brahim et al., 2002).

– **Le réseau N160-020** représente les failles à mouvements inverses vus sur le terrain, caractérisées par des plans de faille de dimension métrique à kilométrique à pendages faibles à moyens. Il correspond aux contacts chevauchants et rétro-chevauchants entre le Rif interne (dorsale calcaire), d'une part, et le Rif externe, d'autre part. Tous ces contacts de direction subméridienne vont être réactivés plus tard en failles normales et/ou décrochantes pendant les épisodes fini- miocène (Chotin et al., 1995) et Quaternaire (Ait Brahim, 1991).

b - Présentation générale de la carte morphostructurale et morphodynamique

L'extrait de carte présentée ici (figure 3) fournit une représentation générale de toutes les composantes de l'environnement géo-morphodynamique et hydrologique qui présentent une grande importance dans le cas des mouvements de terrain (Varnes, 1978). Tous les mouvements ont été recensés, cartographiés et replacés dans un contexte morphodynamique et structural afin de comprendre les mécanismes générateurs de cette dynamique (Mansour, 1998). Les caractères représentés sur la carte sont les suivants :

– données des roches et des formations superficielles : répartition, position stratigraphique, lithologie et état physique.

– caractéristiques hydrogéologiques : représentation des zones fracturées, perméables, phénomènes karstiques, condition de l'écoulement, sources, zones humides.

– caractéristiques géomorphologiques : topographie, héritage morphologique, morphostructure et éléments importants du paysage. Les phénomènes géodynamiques, les mouvements de terrain (figure 4) et les données sur les phénomènes sismiques par le biais des failles actives ont été analysés. Les processus dynamiques sont hiérarchisés selon leur nature et leur degré d'activité. Ils sont ainsi classés en mouvements actifs ou stabilisés, en niches d'arrachement anciennes ou fraîches.

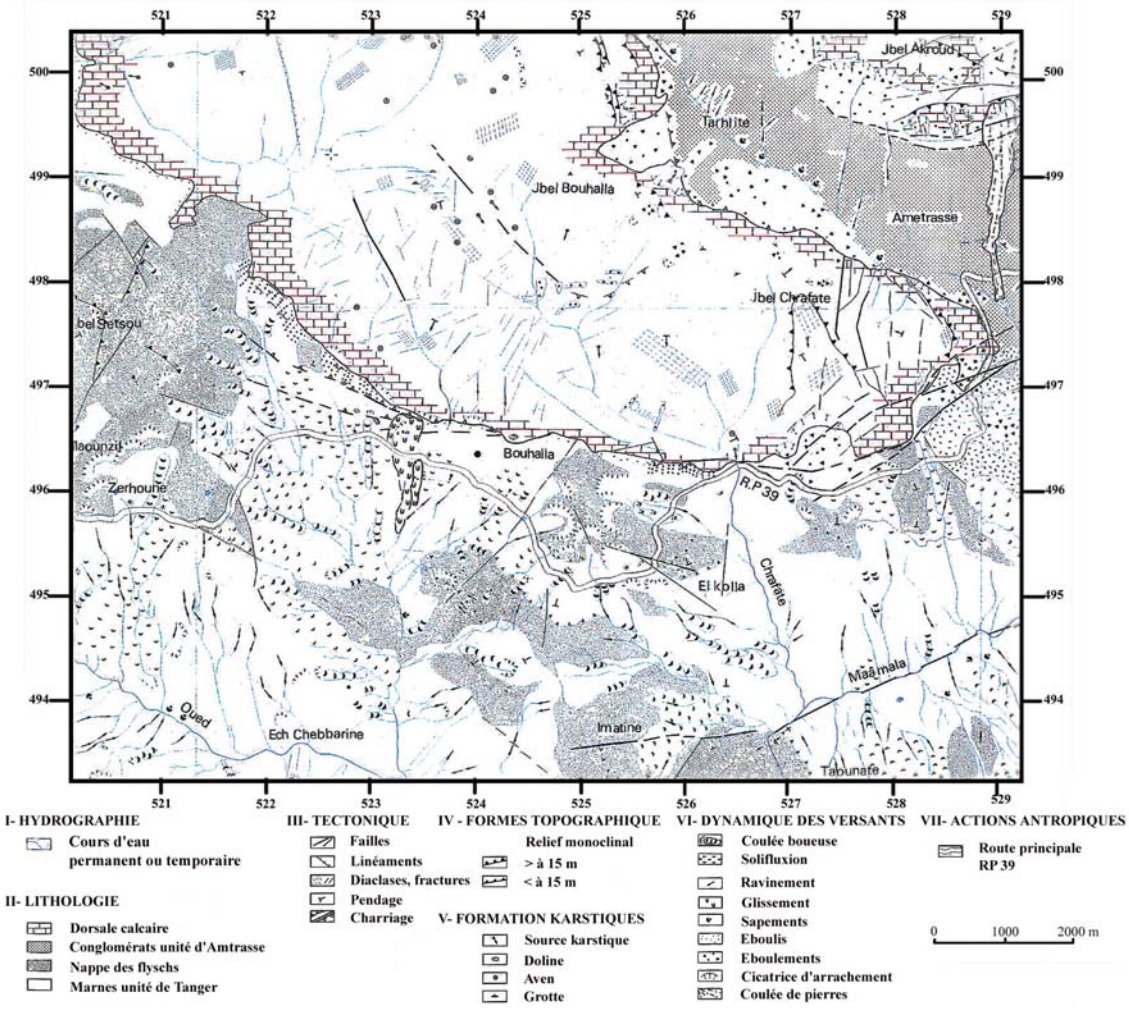


FIGURE 3 Carte morphodynamique et morphostructurale du secteur de Bouhalla-Amtrasse. *Morphodynamics and morphostructural map of the Bouhalla-Amtrasse area.*

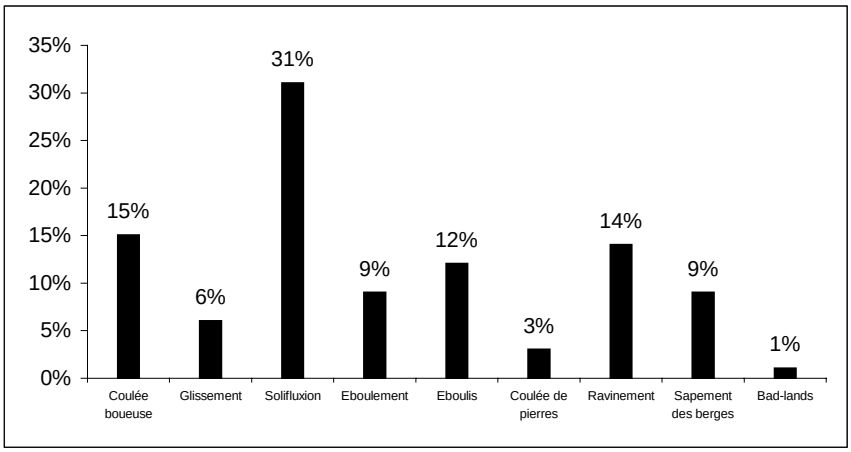


FIGURE 4 Fréquence des types de mouvements de terrain : région de Bab-Taza. *Frequency of ground movement types : Bab-Taza region.*

Parallèlement, afin de perfectionner le modèle géomorphodynamique, on a procédé à une analyse détaillée de la topographie à l'aide du logiciel Arc-info. Ces données numériques appelées Modèle numérique de terrain (figure 5a) affinent ce type de corrélation et permettent un meilleur traitement cartographique des structures de terrain. À partir du MNT, un certain nombre de fichiers dérivés sont calculés. Ces fichiers renseignent sur la valeur des caractères morphologiques tels que les cartes de pentes et d'expositions. Les cartes de pentes (figure 5b) et d'expositions de versants (figure 5c) ont été superposées à la carte morphostructurale et morpho-dynamique. Il en résulte un certain nombre de résultats concernant la relation entre la typologie des mouvements de terrain et les différentes classes de pentes ainsi que la relation entre la dynamique des versants et leurs orientations. L'inclinaison des versants est un facteur de fragilité incontestable qui permet aux forces d'attraction liées à la gravité de s'exercer plus facilement. Le redressement de la pente entraîne une accélération des processus dynamiques. Dans la zone étudiée, les pentes sont fortes dans l'ensemble (figure 6a), en raison des mouvements tectoniques tardifs (fini Pliocène-Quaternaire) qui ont rehaussé tous les massifs, ce qui a permis aux oueds de creuser de profondes vallées.

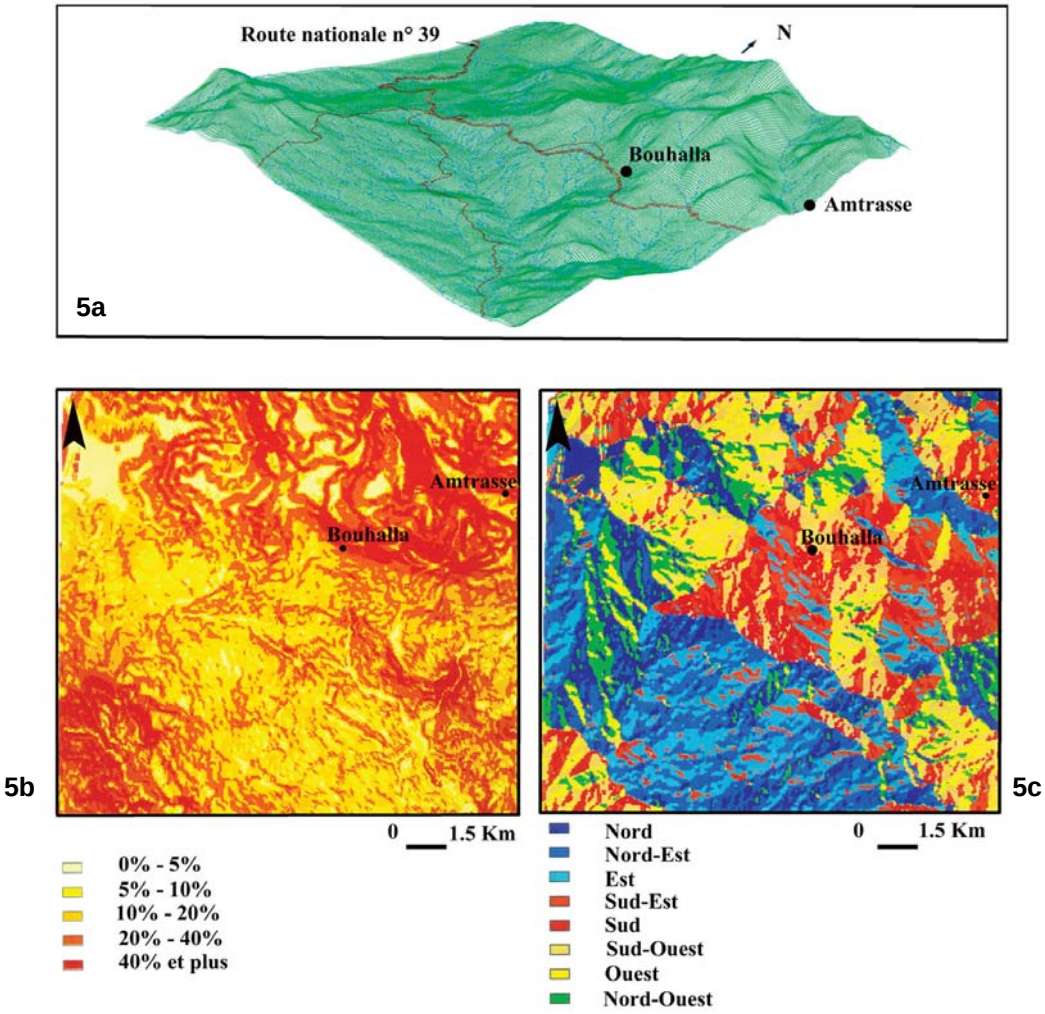


FIGURE 5a Modèle numérique de terrain du secteur de Bouhalla-Amtrasse. *Digital terrain model of the Bouhalla-Amtrasse area.*
FIGURE 5b Carte des pentes. *Slope map.*
FIGURE 5c Carte des expositions des versants. *Slope orientation map.*

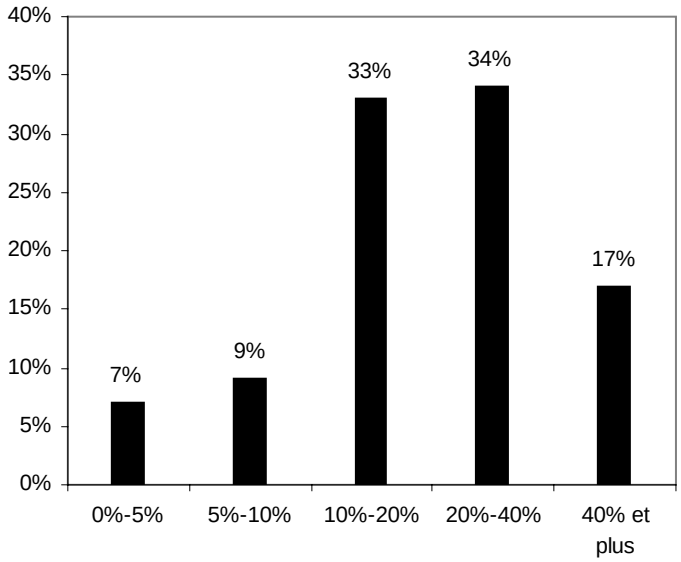


FIGURE 6a Fréquence des pentes. *Slope frequency.*

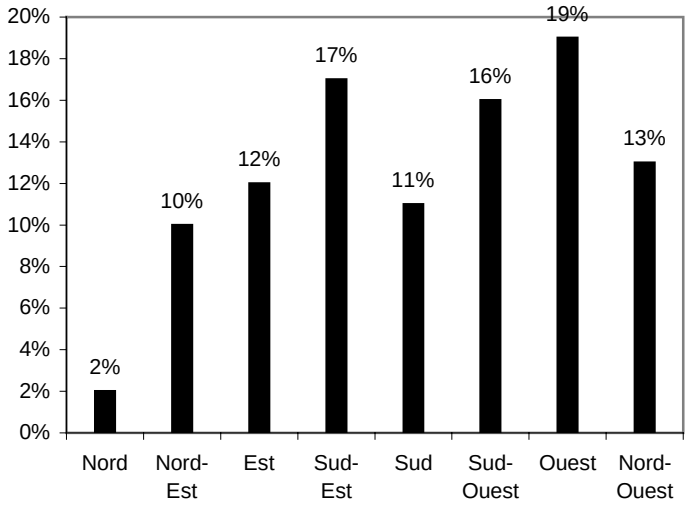


FIGURE 6b Fréquence des expositions de versants. *Frequency of slope orientations.*

L'influence de l'orientation des versants sur les processus dynamiques est déterminée par le rôle de facteurs tels que l'ensoleillement et la situation par rapport aux vents dominants. Ici, l'essentiel des masses d'air humide est originaire de l'Ouest (perturbations océaniques). Deux classes ont été distin-guées :

– la première regroupe les expositions Ouest et ses variantes (NO, SO), plus à l'ombre, plus exposés aux vents dominants, les versants gardent plus d'humidité et connaissent un système dynamique favorisant la solifluxion.

– la seconde regroupe les pentes d'orientation Est et ses variantes (SE, NE). Celles-ci sont plus

chaudes et plus sèches. Elles sont plus sensibles au ruissellement.

Cette disposition n'est pas une règle absolue, puisque d'autres facteurs peuvent intervenir et l'emporter : les pentes, la lithologie, etc.

La figure 6b montre que toutes les classes d'orientation sont représentées, à part plus ou moins égale, allant de 10 % à 19 % de la superficie totale. Seuls les versants exposés au Nord sont faiblement représentés avec 2 % de la superficie totale.

La dynamique actuelle des versants est commandée par les relations entre la morphologie, la lithologie, la structure et le climat. Les levés qui ont abouti à l'établissement de la carte morphodynamique ont permis de localiser les différents mouvements et de préciser leur nature (tableau 2).

TABLEAU 2 Typologie des mouvements de terrain. *Typology of the ground movements.*

	Mouvements dans les bassins					Mouvements dans la dorsale	Exposition	Pente		Extension maximale
Type de mouvement	Oued Maâmala	Bouhalla	Ecchebarine	Oued Amtrasse	Oued Ouara			Valeurs moyennes	Valeurs minimales	L en m
Coulée boueuse	***	***	***		***		S-SO.O.SE	20 °<	10 °	> 500 m
Glissement		**	**		*		SO-S	22 °	15 °	2 km
Solifluxion	***	***	***		**		SO-NO.S.SE	15 °	5 °	–
Écroulement-Éboulement		*		***		***	SE-S	>30 °	25 °	100 m et plus
Éboulis			*****			****	SE-S	>30 °	25 °	> 10 m
Coulée de pierres						**	S	30 °	25 °	> 1 km
Ravinement	**	**	***	**	**		S-NO.NE	18 °-20 °	10 °	–
Sapements de berges	*	*	**	**	**					–
Badlands					*		SO-O	20 °	20 °	–

N.B. Tous les chiffres sont approximatifs.

**** très fréquents ; *** fréquents ; ** moyennement fréquents ; * fréquents

5 CONCLUSION ET DISCUSSION

Ce travail faisant suite à celui de Chotin et al. (1995) sur l'apport des données RSO de ERS 1 sur la reconnaissance du réseau de failles dans la péninsule de Tanger, au Maroc. En effet, les images RSO de ERS 1 mettent parfaitement en évidence les failles qui affectent le Nord du Rif. L'utilisation de complémentarité optique, radar pourrait combler le vide d'interprétation dans les zones d'ombres et à fort dénivelé. Ainsi, l'efficacité des images radar pour extraire une information utile n'est perceptible que dans le cadre d'une approche multisources combinant une démarche naturaliste classique et une analyse numérique basée sur l'acquisition et le traitement de l'information géographique.

À l'échelle du site étudié, l'image radar permet de révéler les failles actives qui représentent l'un des plus importants paramètres conditionnant les mouvements de terrain. L'ensemble des résultats corrobore les observations de terrain et permet de suivre sur de très longues distances le tracé des failles et de mettre en évidence des structures dans les régions boisées, souvent nuageuses et d'accès difficile. Dans certains cas, l'anisotropie liée à la direction du faisceau incident peut masquer partiellement certaines structures majeures qui lui sont parallèles.

L'inventaire des désordres a permis de dresser une typologie détaillée des mouvements de terrain de la zone étudiée. Tous les mouvements ont été recensés, cartographiés et replacés dans un contexte morphodynamique et structural afin de comprendre les mécanismes générateurs de cette dynamique ; de l'analyse des phénomènes, il ressort une meilleure connaissance des facteurs et mécanismes responsables de l'instabilité quasi permanente des versants. Les phénomènes d'instabilités gravitaires observés sont liés à la réactivation des failles actives. Ces dernières ont fracturé la roche et amorcé les mouvements gravitaires. La rapidité de la réponse aux précipitations de certains puits ouverts dans le village de Bouhalla peut être liée à l'existence d'un système de failles et d'un degré de fracturation élevé favorisant un écoulement rapide et un maintien permanent de l'instabilité de versants au pied de la dorsale calcaire. Les hivers sont frais et il n'est pas rare que la température chute sous 0° ; le risque de gel est certain et favorise l'ouverture des fissures. Ces fissures permettent la diffusion de l'eau d'infil-

tration et le développement des pressions interstitielles au sein du massif rocheux.

Les précipitations moyennes annuelles montrent une grande variabilité pluviométrique entre les années pluvieuses et les années sèches (650 mm < P < 2 900 mm), avec une moyenne annuelle de 1 344 mm, d'où des conditions d'écoulement, elles aussi très variables. La plupart des glissements surviennent après une période de sécheresse plus ou moins prolongée ; ainsi des précipitations, même moyennes, peuvent déclencher ces mouvements. Le redressement de la pente entraîne une accélération des processus dynamiques et il en résulte un certain nombre de résultats concernant la relation entre la typologie des mouvements de terrain et les différentes classes de pentes. La dynamique des versants est influencée par leur orientation dominante ; face à l'Ouest, les versants soumis aux vents humides d'origine atlantique paraissent livrés essentiellement aux mouvements de masse et à la solifluxion, alors que les versants tournés vers l'Est enregistrent surtout l'action de l'eau sous forme de ruissellement et de ravinement. Les mouvements sont relativement lents, ont souvent une histoire ancienne et sont susceptibles d'être réactivés une fois le sol saturé. Ceci correspond à la période hivernale ou au début du printemps. L'action de l'érosion et des mouvements de masse est parfois même antino-mique. Les versants parcourus par plusieurs ravins, donc bien drainés, sont moins exposés à de grands mouvements de masse. Le rôle de la lithologie, de la structure et de la topographie a été démontré, l'eau et la sismotectonique restant les principaux facteurs responsables des désordres majeurs.

Références

Ait Brahim, L. (1991) Tectoniques cassantes et états de contraintes récents du Maroc Nord. Résultats de la cinématique des plaques Afrique-Europe et du bloc d'Alboran. Thèse d'état, Université Mohamed V, Rabat, 233 p.

Ait Brahim, L., Chotin, P., Hinaj, S., Abdelouafi, A., El Adraoui, A., Nakhcha, C., Dhont, D., Charroud, M., Sossey Alaoui, F., Amrhar, M., Bouaza, A., Tabyaoui, H., Chaouni, A. (2002a) Paleostress evolution in the Moroccan African margin from Triassic to Present. Tectonophysics, Volume 357, Issues 1-4, 1 November 2002, p. 187-205.

Chaouni, A. (1999) Apport des données Landsat MSS, radar ERS1-SAR, Modèles numériques de terrain et morphométrie structurale de terrain à la compréhension de la cinématique des principales failles de la Péninsule de Tanger depuis l'Oligocène supérieur à l'actuel. Thèse de doctorat, Université Mohamed V, Rabat, 284 p.

Chotin, P., Ait Brahim, L., Deffontaines, B., Rudant, J-P. et Chaouni, A. (1995) Nouvelles données ERS1-SAR sur la reconnaissance du réseau de failles dans la péninsule de Tanger Maroc. Photo-interprétation, nº 1995/2, Paris, p. 129-152.

Durand Delga, M. (1972) La courbure de Gibraltar, extrémité des chaînes alpines, unit l'Europe et l'Afrique. Eclog. géol. Helv., vol. 65/2, p. 267-278.

Fallot, P. (1937) Essai sur la géologie du Rif septentrional. Notes et M. Serv. Mines et cartes géol. Maroc, 40.

Griffon, J.-C. (1966) La Dorsale calcaire au Sud de Tétouan, In Études géologiques sur la chaîne du Rif. Notes et M. Serv. Géol. Maroc, 184, p. 149-212.

Gutnic, M. (1969) La Dorsale rifaine dans la région d'Asifane, In Études géologiques sur la chaîne du Rif, II, Notes et M. Serv. Géol. Maroc, 194, p. 51-110.

Kornprobst, J. (1962-1966) La chaîne de Haouz, de la Hafa Queddana au col d'Azlu d'Arabia. Notes et M. serv. géol. Maroc, n°184, p. 9-60.

Leikine, M. (1969) La chaîne du Haouz au Nord de Tétouan, (jbel Dersa), In Études géologiques sur la chaîne du Rif. II, Notes et M. serv. géol. Maroc, n° 194, p. 7-49.

Lespinasse, P. (1975) Géologie des zones externes et des flyschs entre Chaouène et

Zoumi (centre de la chaîne rifaine, Maroc). Thèse de Doct. État, Université de Toulouse I, 248 p.

Mansour, M. (1998) Processus géodynamiques et cartogra-phie des mouvements de terrain

dans la région de Chaouène. Zone de Bouhalla-Amtrasse. Apllication à la confortation de la route principale n° 39. Rif occidental, Maroc. Thèse de Doctorat, Université Paris VII, 171 p + 2 cartes hors texte.

Michard, A. (1976). Éléments de géologie marocaine. Notes et Mémoires du Ministère de l'Énergie et des Mines, n°52.

Nold, A., Uttinger, J. et Wildi, W. (1981) Géologie de la Dorsale calcaire entre Tétouan et Assifane (Rif interne, Maroc). Notes et Mémoires du Service Géologique, nº 300, Rabat, 233 p.

Olivier, P. (1984) Évolution de la limite entre zones internes et zones externes dans l'arc de

Gibraltar (Maroc, Espagne). Thèse de doctorat, Université de Toulouse I, 229 p.

Olivier, P. (1990) Étude géologique et structurale de la région de Jebha (Rif maroc). La terminaison NE de l'accident de Jebha-Chrafate. Notes et M. Serv. Géol. Maroc, n° 323, p. 117-190.

Raoult, J.-F. (1966) La chaîne du Haouz, du col d'Azlu d'Arabia au Bab Aonzar, in : Étude géologique sur la chaîne du Rif. Notes et M. Serv. Géol. Maroc, n° 184, p. 61-131.

Service géologique du Maroc (1975) Carte géologique de Bab-Taza à 1/50 000. Notes et mémoires, n° 288.

Varnes, D.S., (1978) Slope movements and types and processes. In Landslides : Analysis and Control, Trans-portation Research Board, National Academy of Science, Special Report, Washington, p. 11-33.