

Les côtières méditerranéens du Rif central : Facteurs induisant l'instabilité des versants

The central Rif Mediterranean coast: Slope failures causative factors

Bouchta EL FELLAH^{1*} & Mohamed MASTERE²

1. Institut Scientifique, Mohammed V University in Rabat, avenue Ibn Batouta, B.P. 703, Agdal, Rabat* (elfellah@israbat.ac.ma).

2. Institut National d'Aménagement et d'Urbanisme, Avenue Allal El Fassi, B.P 6215, Rabat-Instituts, Rabat.

Résumé. Les bassins versants des oueds Faddal, Fettouh et Takamout sont tous situés dans la grande unité de Tizirène. Celle-ci montre des terrains marqués par une topographie accidentée, une lithologie hétérogène et très contrastée composée de grès et de formations tendres et plastiques de flysch, sans pour autant oublier les conditions climatiques humides notamment en altitude. Cette zone côtière du Rif central est de plus en plus peuplée car elle est traversée par des voies de communication récemment mises en place (rocade méditerranéenne) et attire davantage d'activités socio-économiques et de service. Les versants de cette région ont toujours été exposés aux mouvements de masse (MM) et sont en mesure de causer des dégâts substantiels aux installations et un coût de leur maintenance très élevé. Pour étudier les mécanismes d'instabilité affectant les versants des côtières méditerranéens du Rif central, des secteurs représentatifs ont été choisis. Un inventaire des MM a été réalisé et croisé avec chacun des paramètres de prédisposition (lithologie, fracturation, élévation, exposition, degrés de pente, occupation des sols et réseau hydrographique). Le but est de caractériser les mécanismes générant les MM dans la zone d'étude. Il en ressort que les côtières méditerranéens du Rif central représentent un fonctionnement identique pour toute la zone entre le massif de Bokkoya et celui de Beni Bouchra, soit une distance d'environ 40 km.

Mots-clés : Bassins côtiers méditerranéens, mouvements de masse, Rif central, Maroc.

Abstract. The watersheds of Faddal, Fettouh and Takamout rivers are all located in the great Tizirène unit. The latter shows fields marked by a rugged topography and a heterogeneous and contrasted lithology, composed of sandstones and soft and plastic formations, which are exposed under humid climatic conditions that increase with hypsometry. This coastal area of the central Rif becomes a site of several socio-economic activities, increasingly populated and crossed by main communication routes. The slopes in this area usually suffer of slope instabilities that cause substantial damage and a very high maintenance cost. In order to assess the type of instability mechanisms affecting these slopes of heterogeneous formation, representative sites of the Rifian Mediterranean coastal area was chosen. A wide inventory of mass movements (MM) was performed, with the reporting of the existing lithology, fracturing, elevation, aspect, slope degree, land use and stream network. All these layers data have been jointly used for characterization of MM mechanisms in the study area. It is shown that the Mediterranean coasts of central Rif represent an identical functioning for the entire area between the Bokkoya and Beni Bouchra massifs, a distance of approximately 40 km.

Keywords : Mediterranean coastal watersheds, mass movements, central Rif, Morocco.

ملخص. الأحواض الساحلية للريف الأوسط : عوامل محفزة لحركات السفوح. فوق سطوح طبرغرافية متموجة وقاعدة صخرارية جد متباينة بمحاذاة الساحل المتوسطي للريف الأوسط تتعمق الأودية نازلة نحو الشمال فيما تنعزل القمم الحادة على ارتفاعات تفوق 1000م وقد تصل 1500م. تتقاسم أحواض أودية فضال وفتوح وتكموت وحدة تزيغن البنيوية. كما تشترك في نفس المتواليات الصخرية إما حثية متصلية مائلة في اتجاه الشمال وإما مواد رخوة عبارة عن شبيست وفليش. ومن شأن وضع كهذا مجاور للبحر المتوسط من جهة وآخر يتمثل في إشراف تضاريس جبلية قوية أن يضمننا درجة متميزة من الرطوبة. يعرف هذا المجال الساحلي تناميا مضطربا للسكان والأنشطة وذلك جراء بناء العديد من المحاور الطرقية خاصة الطريق الساحلي المتوسطي الذي يستقطب العديد من الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية والخدماتية. تتميز سفوح هذه الأحواض بطبيعتها المتحركة وتعرضها لانزلاقات كتلية غالبا ما تتسبب في ضياع جانب من الموارد الطبيعية الترابية والنباتية كما تتسبب في خسائر الطرق والقناطر والمنشآت بحيث ترتفع التكلفة إلى حدود ليست بالهينة. لأجل دراسة ميكانيزمات الحركات السفحية فوق سفوح الأحواض المتوسطية للريف الأوسط تعمدا الإقتصار على نماذج اختيرت على سبيل التجربة. فقد تم جرد هذه الحركات في مرحلة أولية ثم فحص كل منها قياسا بعناصر أساسية أهمها الصخرارية والانكسارات والارتفاع والتوجه ونسبة الانحدار واستعمال التربة والشبكة المائية. وهي طريقة سمحت بتحديد الأسباب الكامنة التي تترتب عنها هذه الحركات. وتبقى الغاية هي تعميم نفس المنهجية على باقي أحواض الريف المتوسطية التي تتقاسم نفس المقومات الطبيعية. ويتضح مما سلف أن هذه الأحواض المتوسطية للريف الأوسط تظهر نفس الخصائص بدءا من بقويا حتى بني بوشري، على امتداد أفقي يراوح 40 كم.

كلمات مفتاحية : أحواض الساحل المتوسطي، حركات السفوح، ريف أوسط، المغرب.

Abridged English version

The Rifian belt with its Mediterranean side in particular (northern Morocco), is very sensitive to mass wasting (MW) because of its geology, geomorphological features, geodynamic context, climatic and hydrological conditions. This activity, which causes damages to property and infrastructure is sometimes maintained or generated by human actions. Indeed, in this area where human density continues to increase, the territorial planning doesn't take into account the vulnerability to MW.

Mass wasting are common in the central part of the Rifian belt. Despite the presence of vegetation and little

human interference, some areas are currently too sensitive for high precipitation and become sites of active slope failures. Every year, a significant amount of land, near or away, from Feddal, Fettouh and Takamout rivers is changed into unstable ground. In the surrounded areas and as part of the solution to the problem, localized studies are repeatedly conducted by engineering companies, and a variety of remedial measures are installed along roads, river banks, and ledges of mountains.

They are subject to geotechnical complications related to the development of the coastal roads. Late Tertiary and Quaternary tectonic stresses resulted in the repetitive shock inducing a crust activity, which is frequently traduced by

micro-earthquakes. This area is the most vulnerable on the the Mediterranean coast, because it is affected by two left lateral strike-slip faults (Jebha and Nekor). The reactivation of these faults contributes largely to the genesis of MW in the study area. The changes undergone by the landscape are confirmed by several cases rock-falls collapses and landslides (El Fellah 1994, Mastere *et al.* 2013, Mastere *et al.* 2015a). The erosion becomes more accentuated by torrential rains on slopes devoid of vegetation. The annual average of rainfall (1000 mm/year) does not contribute enough to water storage because the vegetation cover is loose and alterations are thin with slopes less filled with soil formations. Once the humidity exceeds a certain threshold, dissolved substances lubricate joints and interstices. It reduces the endurance and increase the shearing stress. So, the hillsides of the Rifian coast become favorable to superficial and deep MW. Since the year 2000, the coastal development of the region is materialized by important harbor facilities (Calairis, Jebha) and infrastructures (bypass and provincial roads). It's accompanied by an acceleration of the urbanization and migration of some activities from the mountain or the adjacent regions. This coastal development is also reflected by the conversion of the rural population (currently 80%) to urban population and also by the transition from the agro-pastoral economy to service economy through capital flows, restoration activities and tourism. Socioeconomic changes are taking place in this region, which shows a whole variety of natural hazards. These are essentially of seismic, climatic, hydrologic and of MW origin. The aim of this study is to better understand, through a comparative and interdisciplinary approach, the MW hazard associated to the dynamic watersheds. The

relationship between the spatial distribution of inventoried MW and the various parameters involved in their genesis allows defining the interrelations of the predisposition factors and their respective effects in the release point of MW. Geographic Information Systems (GIS) (Mastere *et al.* 2015b) and spatial analysis techniques are used as a powerful tool for the extraction of spatial information. Emerging from this work is the fact that, the coastal area of the Moroccan central Rif shows a device of watersheds of small sizes. They present variable shapes and dynamics with a distribution in three categories:

Sectors with superficial and deep MW, generalized to the very humid hillsides;

Sectors where the surface forms tend to stabilize in the median zones, because of the elevation degree and the lack of moisture, show flats and encrusted terraces which are substituted to MW. The erosion operates in the superficial layer horizon;

Coastal strip is dominated by large-scale movements (rotational landslides and rock-falls), which are catalyzed by the inclined arrangement of lithological formation, but especially by the effect of the swelling and undermining the lower slopes. These inaccessible coasts, as cliffs and rocks, maintained the region isolated and retarded its development until the beginning of this century. They are subject to geotechnical complications related to the development of the coastal road and new urbanistic installation.

The proposed study has to be completed by the mapping of MW hazard using statistical models, based on both expert knowledge and objective calculations for the assessment of mass movement hazards.

INTRODUCTION

Le domaine rifain, notamment sa façade méditerranéenne représente un milieu très sensible aux mouvements de masse (MM) (chutes de pierres, éboulements, glissements de terrain, etc.), en raison de sa nature géologique, de ses particularités géomorphologiques et du contexte géodynamique d'une part, et d'autre part des conditions climatiques et hydrologiques. Cette activité qui porte préjudice aux biens et à l'infrastructure est entretenue ou générée parfois par des actions anthropiques démesurées. En effet, dans cette zone où la densité humaine ne cesse de s'accroître, les aménagements ne tiennent pas toujours compte de la vulnérabilité face aux MM. La vulnérabilité de cette partie de la côte méditerranéenne est d'autant plus accentuée que la côte est affectée par deux décrochements senestres (Jebha et Nékor). La réactivation de tels couloirs de failles contribue largement à la genèse des MM dans le secteur.

Les transformations subies par le modelé de surface dans les bassins versant des oueds Feddal et Fettouh sont confirmées par plusieurs cas de fissures, d'éboulements (cas de Takamoute 1970) et de glissements (El Fellah 1994). L'érosion, amplifiée par les pluies torrentielles, s'accroît sur les pentes dépourvues de végétation. Les séquences élevées de pluies (1000 mm/an), en altitude notamment (Gausson 1954), contribuent peu au stockage des eaux car le couvert végétal est lâche et les altérations sont minces avec des pentes de moins en moins garnies de sol. Une fois, l'humidité de ce dernier dépasse un certain seuil, les

substances dissoutes lubrifient les joints et interstices et, donc, réduisent la résistance et augmentent la contrainte de cisaillement. Ainsi, les pentes du littoral rifain sont favorables aux mouvements de versants superficiels et profonds. Ce qui rend le rivage méditerranéen une zone d'instabilité déclarée. Les études et les travaux réalisés, non loin de la côte, montrent que ce secteur ne manque pas de problèmes géotechniques compliqués. La littoralisation est accompagnée par une accélération de l'urbanisation et de la migration de certaines activités à partir de la montagne au voisinage mais aussi de régions lointaines. Cette littoralisation se manifeste également par la conversion progressive de la population rurale (80% actuellement) en population urbaine. Le flux de capitaux, d'activités de restauration et du tourisme assurent la transition de l'économie agropastorale à l'économie de services. Ces mutations à caractère social et économique s'opèrent dans un environnement qui montre toute une variété d'aléas naturels. Ces derniers sont essentiellement d'origine sismique, climatique ou hydrologique.

Par ce travail, nous essayons de mieux appréhender, par une étude comparée et interdisciplinaire, l'aléa MM associé à la dynamique des bassins versants. L'étude géostatistique à l'appui (Mastere *et al.* 2015b) a permis analyser la relation entre la distribution spatiale des MM inventoriés et les différents paramètres intervenant dans leur genèse. Il s'agit de caractériser les interrelations des facteurs de predisposition et leurs effets respectifs dans le déclenchement des MM.

LES VERSANTS LITTORAUX DU RIF CENTRAL

Le domaine du Rif constitue la terminaison occidentale de la chaîne alpine des maghrébides qui affleure le long de la côte méditerranéenne du Maroc (Didon *et al.* 1973, Durand Delga 1972). L'hypsométrie attribue à la région un caractère franchement montagneux. Les reliefs y sont très accidentés et les pentes très abruptes avec des vallées fortement encaissées. D'un point de vue géologique, la côte rifaine et son arrière-pays sont représentés exclusivement par le domaine interne (domaine d'Alboran) et le domaine des flyschs. Le premier est situé à l'Ouest de la localité de Jebha tandis que le deuxième en est à l'Est et correspond essentiellement à la nappe de Tisirène (Fig. 1A et 1B).

Le modelé de surface est le résultat de la conjugaison de plusieurs facteurs qui relèvent aussi bien de la géodynamique interne qu'externe. Le secteur d'étude correspond à des bassins versants présentant des ressemblances topographiques et lithologiques remarquables. Ces bassins sont respectivement drainés par les oueds Takamout, Fettouh et Feddal (Fig. 1C) et subissent le même mode d'occupation du sol. Malgré quelques points de différence identifiés en rapport avec l'agencement topographique et morphologique des bassins versants respectifs, ces derniers montrent des lits

d'oueds à fonds plats avec de larges chenaux où l'écoulement est de type anastomosé. Dans le bassin versant de l'oued Takamoute, les versants gréseux qui dominent le cours aval de l'oued ne présentent aucun indice d'instabilité. Dès qu'on quitte la confluence des deux principaux bras de l'oued vers l'amont, les mouvements commencent à se manifester sur les versants (Fig. 2A, 2B, 2C et 2D). Ils appartiennent surtout à la famille des mouvements épidermiques, notamment les coulées boueuses et la solifluxion comme c'est le cas pour la zone de Bouhanine à l'amont de l'oued Takamout. Ils sont dus surtout au changement du comportement du sol vis-à-vis de l'humidité (Mastere *et al.* 2013).

Les mouvements de masses des versants littoraux du Rif Central

L'inventaire et la caractérisation des MM récents et fonctionnels du Rif constituent la condition sine qua non pour la compréhension de leur genèse et comportement. Les auteurs ayant travaillé sur les MM dans le Rif (Millies-Lacroix 1968, Chaouki 1991, Fares 1994, El Fellaï 1994, 1996, Mansour 1998, El Khatabi 2001, Azzouz *et al.* 2002, El Kharim 2002, El Khatabi & Carrier, 2004, Sossey Alaoui 2005, Mastere 2011, Mastere *et al.* 2011, 2013) ont

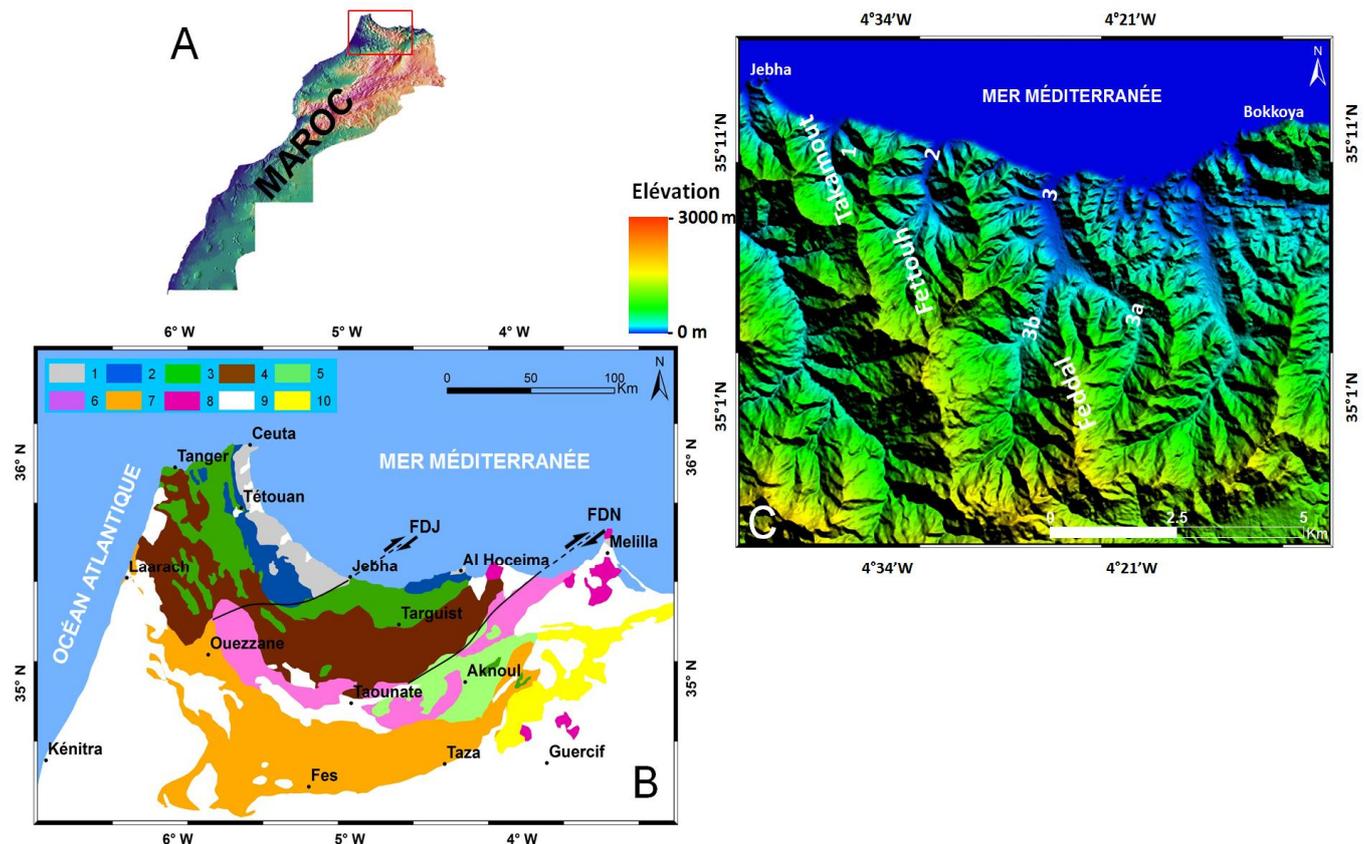


Figure 1. Situation et détails de la région d'étude. A et B : chaîne rifaine; 1 : Paléozoïque; 2: Dorsale calcaire; 3: nappes de flyschs; (1, 2 et 3 : domaine interne ou d'Alboran); 4: unité de Tanger-Kétama; 5: zone intrarifaine; 6: zone mésorifaine; 7: zone prérifaine; 8 : volcanisme néogène à quaternaire; 9: terrains post-nappes; 10: avant-pays; FDJ: faille décrochante de Jebha; FDN : faille décrochante de Nékor; C: organisation hypsométrique de la zone d'étude en bassins versants; 1: Takamout; 2: Fettouh; 3: Feddal (3a: sous-bassin de Mestassa, 3b: sous-bassin de Beni Gmil).

Figure 1. Situation and details of the study area. A and B: Rif chain; 1: Paleozoic; 2: Dorsal limestone; 3: flysch nappes; 4: Tangier-Ketama Unit; 5: intrarifaine Zone; 6: mesorifaine Zone; 7: prerifaine Zone; 8: Neogene to quaternary volcanism; 9: post-nappes lands; 10: foreland; C: hypsometric organization of the study area in watersheds; 1: Takamout; 2: Fettouh; 3: Feddal (3a: Mestassa sub-basin, 3b: Beni Gmil sub-basin).

généralement tous fait appel à la classification et aux définitions de Varnes (1978), ou à la version reprise et améliorée de celle-ci par Cruden & Varnes (1996), toutes les deux basées sur les critères morphologiques et géométriques des mouvements. Cela rend la classification des MM de la chaîne rifaine difficile à établir, puisque cette dernière présente une grande variété de terrains, associée à une forte complexité climatique et morphologique. D'une manière simpliste et à l'aide des données spatiales satellitaires et aéroportées, des cartes géomorphologiques et géologiques et des relevés de terrain, nous avons classifié les MM de la région d'étude en trois catégories suivant les traits morphologiques les plus dominants (Varnes 1978) :

i les éboulements regroupent un ensemble de phéno-

mènes rapides et brutaux affectant des roches rigides tels que les grès et les quartzites;

ii les glissements sont, le plus souvent, épidermiques affectant les altérations superficielles; ils se déclenchent également par l'action érosive des cours d'eau;

iii les coulées boueuses et les solifluxions se rencontrent principalement dans des terrains argileux, marneux ou argileux sableux; ils se manifestent sur des versants saturés en eau et qui ne présentent pas de surface de rupture décelable. D'un point de vue géotechnique, notamment dans les zones de basse altitude, les formations sont de types meubles généralement de cohésion médiocre, car elles sont composées d'altérations et de colluvions. La quasi-totalité

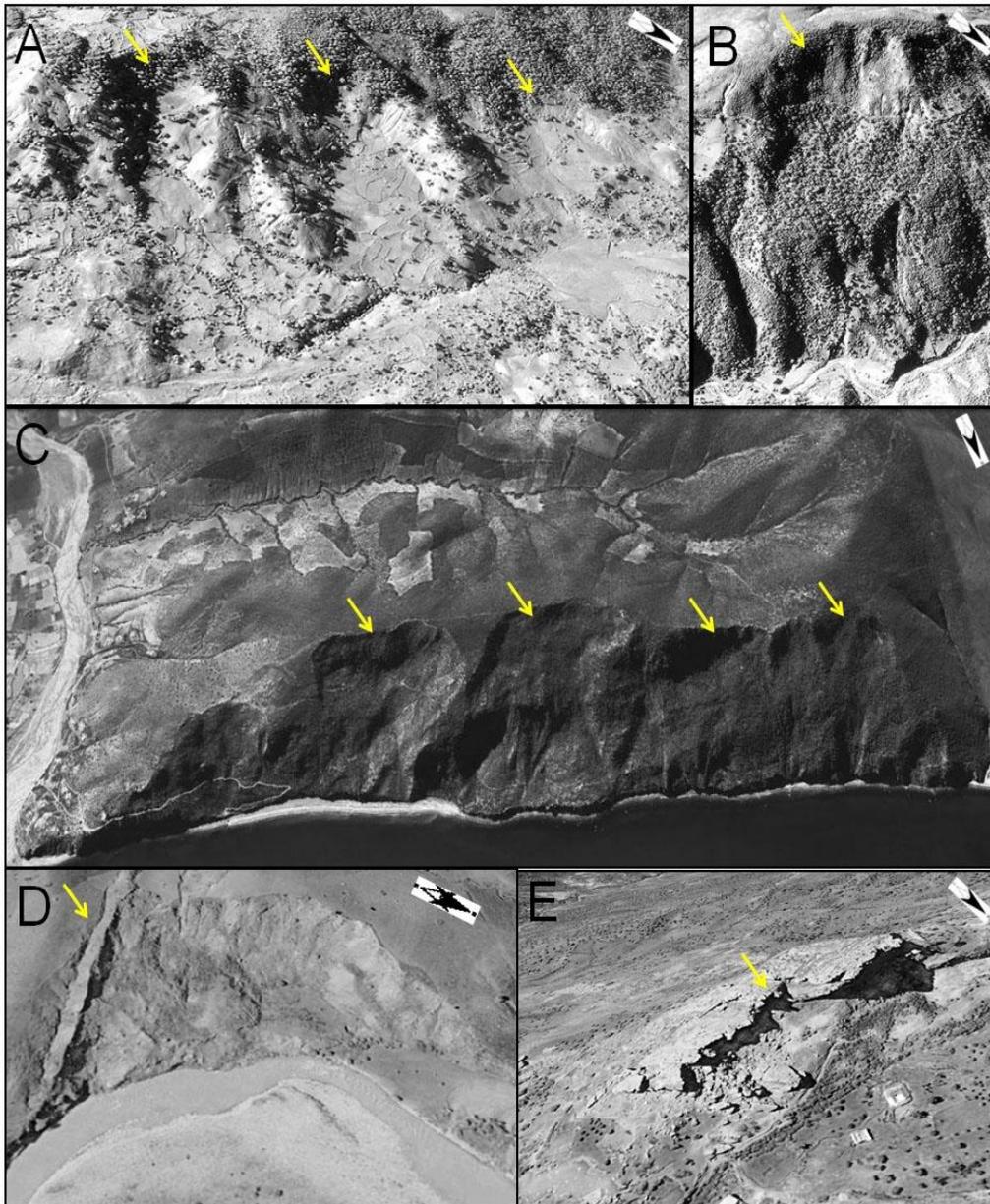


Figure 2. Exemples de mouvements de masse dans la zone d'étude, repérés à l'aide de l'imagerie satellitaire de très haute résolution. Les flèches jaunes indiquent les zones de départ des mouvements. A : glissements superficiels ; B : glissement rotationnel ; C : glissements mixtes rotationnels à translationnels; D : glissement par sapement ; E : écroulements de grès en blocs.

Figure 2. Examples of mass movements in the study area, identified using high-resolution satellite imagery. The arrows indicate the starting zones of movement. A: shallow landslides; B: rotational landslide; C: mixed translational to rotational slumps; D: sliding by undercutting; E: downfalls of sandstone blocks.

des MM est caractérisée par un comportement plastique en présence de l'eau qui constitue un facteur primordial dans le déclenchement de tout type de déplacement surtout dans les zones élevées (Maurer 1964). Toutes les formations instables ou potentiellement instables de la zone d'étude sont caractérisées par des propriétés géotechniques très hétérogènes, ce qui induit des comportements géomécaniques contrastés au sein d'un même versant. Dans le cas des versants à formations relativement homogènes, les altérations sont capables de fluer et évoluer en coulée boueuse. Les glissements prennent naissance à partir d'une rupture dans le cas des terrains avec des caractéristiques géotechniques différentes de celles de leur couverture.

Les facteurs causatifs et distribution spatiale des MM

La genèse et l'évolution des MM sont tributaires de plusieurs paramètres. Ces derniers sont soit intrinsèques dits de prédisposition, soit extrinsèques dits de déclenchement. La limite entre l'effet de chacun de ces deux groupes étant difficilement décelable, nous les regroupons en une seule famille dite « facteurs causatifs » et ce dans un souci de simplification, en faisant référence à l'acceptation anglaise du terme et qui désigne à la fois les paramètres de prédisposition et ceux de déclenchement.

Mener une analyse spatiale des MM en relation avec les différents paramètres causatifs disponibles et cartographiables, permettrait de connaître le comportement futur des versants d'une région donnée. Les paramètres causatifs disponibles peuvent changer d'une région à une autre, d'une structure à une autre. Dans notre cas, l'analyse spatiale des MM sera faite en croisement avec les paramètres suivants : l'hypsométrie, l'exposition, le gradient de pente, la lithologie, la fracturation, la sismicité, les précipitations, le réseau hydrographique, l'occupation des sols... L'ordre d'analyse de ces facteurs n'est pas forcément tributaire de leur poids relatif dans la genèse des MM. La lithologie exerce un rôle important dans l'équilibre des versants, aussi bien par la nature des matériaux (qualité géotechnique des roches) que par la structure (disposition et pendage des couches géologiques), ce qui rend facilement appréhendable le comportement d'une formation lorsque le matériau est ainsi défini. La distribution spatiale et l'abondance des MM dans la chaîne rifaine et plus spécialement dans la zone d'étude entretiennent des liens très étroits avec les versants à dominance marneuse et/ou argileuse. Ces derniers abritent plus de 37% des glissements et des coulées boueuses (Mastere 2011), tandis que les écoulements et les éboulements se concentrent le plus en présence de formations calcaires, quartzitiques et gréseuses.

L'activité tectonique, récente ou héritée, intervient soit en conditionnant, soit en déclenchant un mouvement de terrain (cas de rupture sismique) ; là où les terrains sont fragilisés par la fracturation. Le réseau de faille favorise l'infiltration de l'eau, entraînant ainsi l'augmentation de la pression interstitielle et la réduction de la résistance au cisaillement des sols. Une fois que ces derniers arrivent à saturation, le mouvement déclenche avec formation d'un plan de cisaillement profond. Sur le terrain, nous remarquons que les badlands, glissements épidermiques et glissements par sapements se comportent indépendamment

de la fracturation, sans écarter la possibilité que ces types s'intensifient en présence de fractures. En revanche, l'abondance du reste des MM semble être tributaire du degré de la fracturation, notamment les éboulements de masse qui évoluent très sensiblement en présence de ce paramètre.

Le facteur sismique a été analysé en tenant compte des isoprotendues des séismes et la fréquence des MM varie sensiblement avec la profondeur des séismes, où leur fréquence est inversement proportionnelle à la profondeur (Mastere *et al.* 2015b). Les écoulements et les éboulements font l'exception, car ce sont les seuls à avoir une fréquence qui augmente proportionnellement avec l'augmentation des profondeurs des séismes. Il est, donc, vraisemblable que l'occurrence des écoulements et des éboulements est intensifiée avec les séismes les plus profonds, puisqu'en général ce sont les plus puissants et avec des amplitudes significatives. L'autre paramètre primordial, responsable de la mise en mouvements des versants au Rif septentrional, est celui des précipitations. En effet, 80 à 100 jours de pluies sont recensés en moyenne chaque année. Ces pluies peuvent être continues, avec des pluies torrentielles pendant plusieurs jours. Elles alimentent le réseau karstique de la Dorsale Calcaire très fracturée. Ce dernier, à son tour, nourrit les formations sous-jacentes (marnes, marno-calcaires, schistes, argiles...).

La quantité des pluies annuelles n'est efficace qu'avec la conjonction, pendant la même "année pluvieuse", de plusieurs phénomènes, dont l'intensité et le rythme des précipitations (Mokhtari *et al.* 2013). Lorsque plusieurs mois successifs (novembre, décembre, janvier) concentrent des précipitations dépassant à eux seuls la moyenne annuelle, ces précipitations ont un effet morphogénétique certain, comparé à une même pluviosité répartie sur toute l'année. Ainsi, même avec un décalage de quelques mois déficitaires, les effets des pluies sont cumulatifs. Les pluies qui tombent sur un terrain saturé en profondeur et sec en surface causent plus de mobilité des matériaux (solifluxion, coulée boueuse..); c'est d'ailleurs le cas pour la coulée de Bouhanine au sud de Jebha. Cependant, lors des dernières périodes pluvieuses (hivers 2010, 2011, 2012 et 2013), il s'est avéré que les précipitations affectent particulièrement la tranche superficielle du terrain, principalement dans les marnes de l'unité de Tizirene et plus loin dans les marnes des unités de Ketama et Tanger. De plus, l'eau interagit beaucoup plus profondément en présence de discontinuités (tectoniques et/ou stratigraphiques), pouvant même atteindre le substratum beaucoup plus que dans les milieux non-fracturés. De par sa densité, le réseau hydrographique (RH), exprime plusieurs processus physiques, parmi lesquels on reconnaît l'écoulement superficiel et profond et même la vigueur des reliefs. Pour comprendre l'implication de ce paramètre sur la genèse des MM, nous avons procédé à l'intersection et la superposition des phénomènes inventoriés avec la densité du RH. Cela montre qu'une grande partie des phénomènes déclenchés sont dus au caractère torrentiel et saisonnier des eaux de surface notamment pendant la période humide de chaque année. Par son pouvoir d'enfouissement, le RH se trouve à l'origine du déclenchement de plusieurs glissements le long des berges des cours d'eau de la zone d'étude et de toute la chaîne rifaine.

Dans les régions dominées par des MM, le paramètre occupation des sols exerce un rôle, des plus importants, via le caractère stabilisant de la couverture végétale. Celle-ci, peut, en favorisant un ruissellement de sub-surface (matte racinaire) et un ancrage par enracinement profond, limiter le développement des MM sur les versants à matériel dont les caractéristiques géotechniques sont médiocres (Mastere *et al.* 2013). La rareté ou l'absence de la végétation engendre un effet érosif accéléré sur les versants par le biais du ruissellement diffus ou concentré. La relation entre les mouvements de terrain et le paramètre occupation des sols s'avère être complexe et dépendre à priori de la vocation de chaque terroir.

L'occupation des sols de la montagne rifaine devient de plus en plus caractérisée par une grande empreinte de l'activité humaine. Celle-ci se manifeste par des actions destructives qui se résument dans la dégradation de la couverture végétale et les effets de l'érosion hydrique, la charge en tête des versants par les travaux de construction et les remblais dans le cas de mise en place de nouvelles routes. Elle se manifeste aussi par l'affouillement des pieds des versants par les déblais, l'exploitation des carrières, les travaux de terrassement, l'infiltration localisée par la mise en place des drains, les fuites des canalisations, la modification du ruissellement de surface par les travaux de construction. Les fréquences les plus importantes des MM se localisent prioritairement dans deux classes d'occupation des sols et qui sont, par ordre d'importance, les terrains agricoles avec plus de 44%, suivis des zones de matorrals avec plus de 36%. Le reste des MM se répartissent sur les autres classes d'occupation des sols.

Pour explorer la relation MM - gradient de pente, il est à retenir que les différents types de mouvements se rencontrent avec de grandes fréquences au niveau des formations de 30° de pente en moyenne, à hauteur de 60% de la totalité des phénomènes rencontrés. Quant aux éboulements, ils sont tributaires de l'existence des massifs rocheux et de pentes fortes (plus de 45°), largement supérieure à la pente d'équilibre (30°). En outre, l'analyse générale de la relation MM - hypsométrie montre que ces derniers deviennent de plus en plus abondants avec l'altitude. Mais en essayant de se focaliser sur l'évolution de chaque type de mouvements, il ressort que les glissements se développent plutôt dans les classes hypsométriques basses alors que les coulées boueuses et les éboulements se forment d'avantage sur les zones à hypsométrie élevée, conditionnées par la présence des massifs rocheux résistants (les barres quartzitiques et gréseuses). Quant aux expositions, ce sont celles orientées Nord, Sud-Ouest, et Ouest qui abritent les plus grandes fréquences des MM avec environ 15%, en regard des précipitations et de la persistance de l'humidité (Mastere *et al.* 2015a).

LES COTIERS MEDITERRANEENS : UNE VARIETE DE CONTRAINTES ET DE FORMES

Le bassin versant de Takamout

Le bassin versant de Takamout, en forme d'éventail, possède un chevelu hydrographique dense qui se déverse directement dans la Mer méditerranée. Il est constitué de

trois sous-bassins versants : un central et deux autres de moindre taille, situés de part et d'autre du premier. Les altitudes varient de quelques mètres au niveau de la plaine alluviale à 400-500 m en moyenne, au niveau de la ligne de crêtes, pour culminer à 750 m dans sa partie sud-ouest. Ce bassin s'étend sur près de 35 km² et dispose d'une large plaine alluviale (900 m derrière l'estuaire). Deux ailes de ce bassin (à l'est et à l'ouest) dominent la Méditerranée avec des pentes sensiblement similaires au pendage des couches gréseuses (Fig. 3A) s'enfonçant dans la mer (nord 50-60°).

L'oued Takamout s'est développé dans la nappe du Tizirène. Il est implanté dans des faciès détritiques composés d'un ensemble à la base, marno-calcaire issu du Jurassique (Malm), surmonté par une alternance de marno-calcaires violacées et de marnes grises du Tithonique. Un deuxième ensemble, le plus apparent sur le terrain du fait de sa surimposition, est composé d'une série schisto-gréseuse (déposée entre le Tithonique et l'Aptien) et comprend une alternance de schistes argileux et de niveaux de grès fins calcaires. D'un point de vue tectonique, le bassin versant étudié se trouve coincé entre l'accident de Jebha-Cherafate au nord-ouest et l'accident de Nekor au sud-est. Cette disposition confère au matériel géologique un caractère morcelé, et la mise en place de MM d'envergures hectométriques est ainsi assurée, conséquence du réseau de fractures très important. L'observation depuis le large des falaises situées près de la localité de Takamout a permis de mieux identifier les caractéristiques de deux mouvements de terrain :

- le premier, situé à l'ouest de l'estuaire de l'oued Takamout est un mouvement rotationnel qui s'est manifesté à plusieurs reprises, à juger par la succession des niches et des replats. L'arrachement initial s'étend latéralement sur plusieurs centaines de mètres, au pied de ses 50 m de commandement on reconnaît plusieurs grabens de dimensions variables abritant des marres attestant de la fonctionnalité du mouvement.

- le deuxième, en amont, de taille moindre est dominé par un talus de 30 m. En fait, c'est une nouvelle cicatrice qui a eu lieu le 27 février 2010, suite à un mouvement de type rotationnel. Ce mouvement a commencé vers 14h et a duré trois heures. Au passage, il a complètement détruit la piste reliant Jebha à Takamoute. Le sens de ce mouvement est commandé surtout par des facteurs de structure. Il emprunte un tracé diagonal à la ligne de rivage sous la contrainte de l'affleurement d'un banc de grès qui l'intercepte depuis sa partie occidentale. D'une façon générale, il s'agit d'un grand mouvement rotationnel emboîté.

Le bassin versant de Fettouh

Juxtaposé au bassin de Takamout à l'est, le bassin versant de l'oued Fettouh est très évasé dans sa partie médiane (Fig. 3B). Ici, la rocade descend au fond de la vallée avant de remonter le versant opposé de manière perpendiculaire. Les altitudes sont plus élevées au sud et son périmètre est plus grand. Le chenal, très rectiligne, emprunte le milieu de la vallée et correspond à un axe de symétrie qui ramifie l'écoulement des deux côtés. Le cours inférieur montre des sédiments très grossiers et chaotiques entre deux parois édifiées dans les formations de grès ; l'écoulement se

manifeste suite à des pluies soutenues ou aux averses orageuses, avant de trouver l'estuaire formé de galets et de blocs volumineux :

- Partout les dépôts se présentent en vrac, la sédimentation a eu lieu sans sélection des matériaux ; on a pu d'ailleurs identifier quelques niveaux quaternaires dans la vallée médiane, là où le profil en large devient évasé.

- Oued Fettouh comme oued Feddal offrent un étagement de 5 à 6 niveaux de terrasses rougeâtres, dont la couleur est originaire des épandages supérieurs émanant du haut de la vallée. Des encroutements calcaires attestent de l'origine polyvalente de leur genèse. En aval, les dépôts en vrac des cours d'eau attestent d'une sédimentation sans sélection de matériel alluvial.

Le bassin versant de Feddal

Plus à l'est, le bassin versant de l'oued Feddal se compose de deux sous-bassins versants: l'oued Feddal et

l'oued Bni Gmil (Fig. 3C et 3D). La vallée du premier présente une succession de resserrments topographiques et de cuvettes. Ceci a favorisé la conservation de plusieurs niveaux qui sont encore très bien individualisés dans le paysage. L'oued Bni Gmil fait exception, son profil en large étant édifié dans le substrat géologique, sa dynamique favorise plutôt l'érosion plus que l'accumulation (Fig. 4). Partout, les mouvements de terrain sont plus prononcés dans la partie amont. L'érosion hydrique se manifeste plus dans les zones intermédiaires. Dans tous les cas, l'homme est considéré comme un élément essentiel dans l'aggravation des instabilités. Il est en conflit perpétuel avec la nature, les nouveaux aménagements dans cette région confirment la règle. Dans le moyen Feddal, la dynamique des versants est caractérisée par une zone de glissement du versant où le mouvement a remonté le versant de face sur une hauteur de plus de 50 m; phénomène reconnaissable car il est marqué par la disposition chaotique des sédiments qui ne présentent aucun lien de parenté avec le versant chevauché.

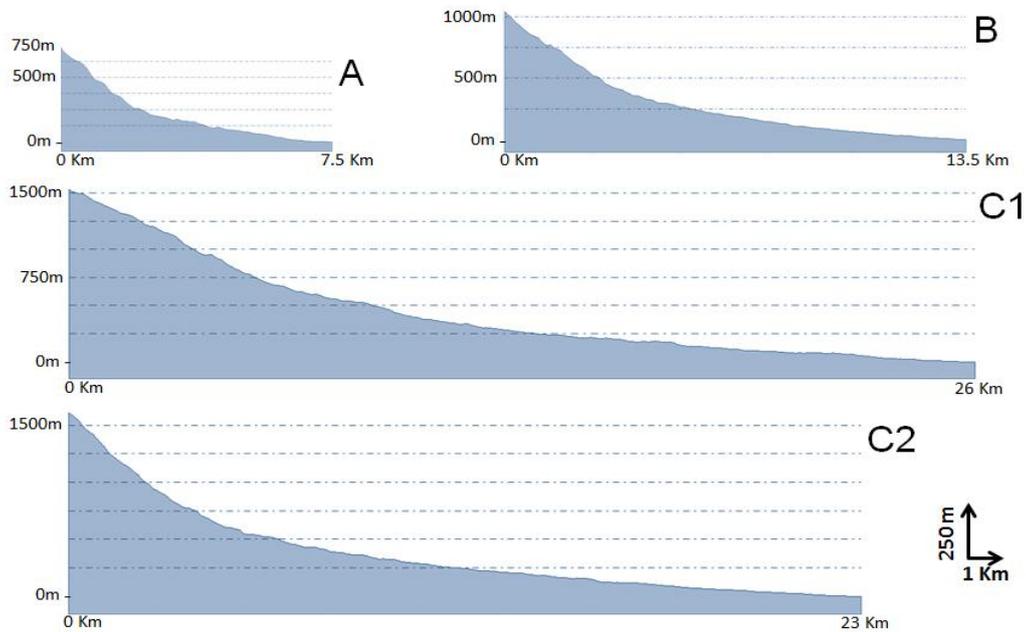


Figure 3. Profils en long des trois bassins versants de la zone d'étude. A : bassin versant de Takamout ; B : bassin versant de Fettouh; C1: sous-bassin versant de Beni Gmil ; C2: sous bassin versant de Mestassa.

Figure 3. Longitudinal profiles of the three watersheds in the study area. A: watershed Takamout; B: watershed Fettouh; C1: Beni Gmil sub-watershed; C2: Mestassa sub-watershed.

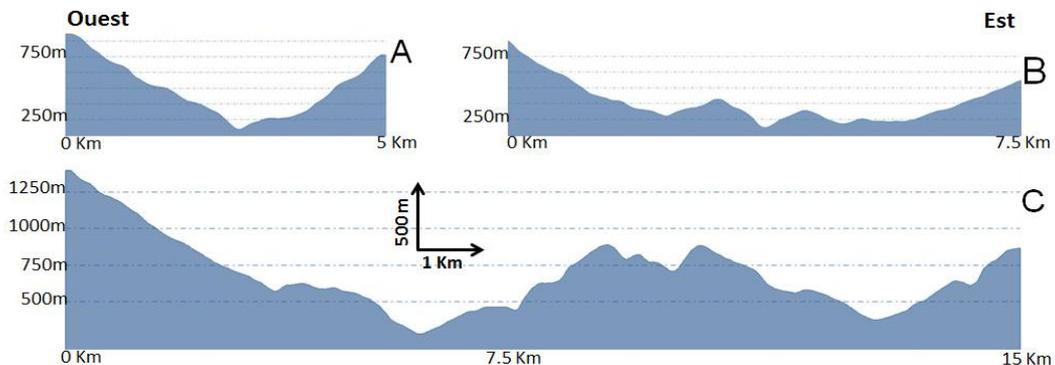


Figure 4. Profils des trois bassins versants de la zone d'étude. A : bassin versant de Takamout ; B : bassin versant de Fettouh; C : bassin versant de Feddal.

Figure 4. Profiles of the three watersheds. A : watershed Takamout; B : watershed Fettouh ; C : watershed Feddal.

Au niveau des terrains gréseux, gréso-calcaires et marno-calcaires, les hétérogénéités du comportement mécanique sont dues aux pressions interstitielles qui se développent au niveau des plans de faible résistance, matérialisés généralement par des plans de stratification. Les facteurs agissants dans cette dynamique sont variés; notamment la pente, la lithologie, la structure et l'érosion marine, sans pour autant oublier le rôle de la pluviométrie.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Le littoral du Rif central marocain montre un dispositif de bassins versants de petites tailles. Ces derniers présentent des formes et des dynamiques variables avec une répartition en trois catégories : (1) des secteurs à mouvements de masses superficiels et profonds, généralisés sur les versants très humides en altitude (Fig. 5A, 5B); (2) des secteurs où les formes de surface ont tendance à se stabiliser dans les zones médianes qui, pour des raisons hypsométriques et de manque d'humidité, montrent des replats et des terrasses encroutés substitués aux mouvements, ici l'érosion s'opère sous ses apparences superficielles et encaissées ; (3) la

lisière côtière laisse réapparaître des mouvements de grande envergure (glissements épidermiques, rotationnels et éboulements) qui sont gérés par la disposition inclinée des couches mais surtout par l'effet de la houle et du sapement du bas des versants (Fig. 5C, 5D, 5E, 5F).

Cette architecture aussi simplifiée qu'elle soit est valable pour tous les côtières méditerranéens, allant de Torres à la limite du massif calcaire des Bokkoya à l'est jusqu'à Jebha, là où commence le domaine d'Alboran (Rif interne), avec la boutonnière de Beni Bouchra à l'ouest. Ce secteur qui s'étend sur environ 40 km correspond à des côtes inaccessibles, sous forme de falaises et rochers. Ces derniers ont maintenu l'enclavement de la région et retardé son développement jusqu'au début de ce siècle. Depuis, elles font l'objet de complications géotechniques liées à la mise en place de la route côtière. La littoralisation de la région s'est concrétisée depuis quelques années par d'importantes installations portuaires et d'infrastructure. Les contraintes tectoniques, tertiaires et quaternaires, voire holocènes, se traduisent par des chocs répétitifs au niveau de la croûte induisant des mouvements intenses actuels.



Figure 5. Exemples de MM dans les bassins versants de la zone d'étude. A, B: MM des secteurs amonts; C, D: grès et marnes de Tizirene près de la mer; E, F: éboulements et glissements côtiers près de Takamout.

Figure 5. Examples of MM in the watersheds of the study area. A, B: MM of the upstream sectors; C-D: sandstone and marl of Tizirene near the sea; E-F: coastal landslides near Takamout.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les lecteurs anonymes pour leurs remarques et suggestions qui ont permis d'améliorer la qualité du manuscrit.

REFERENCES

- Azzouz O., El Fellah B. & Chalouan A. 2002. Processus de glissement dans le Massif de Bokoya (Rif interne, Maroc) : exemple de Cala Bonita. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Section Sciences de la Terre*, 24, 33–40.
- Didon J., Durand-Delga M. & Kornprobst J. 1973. Homologies géologiques entre les deux rives du détroit de Gibraltar (Cordillères bétiques occidentales, Espagne). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 14, 2, 77–105.
- Durand-Delga M. 1972. La courbure de Gibraltar; extrémité occidentale des chaînes alpines, unit l'Europe et l'Afrique. *Eclogae Geologicae Helvetica.*, 2, 65, 267–278.
- Chaouki A. 1991. *Les mouvements de terrain et les risques associés dans la région de Bab Taza (Rif occidental)*. Thèse de Doctorat de l'Université de Strasbourg, 211 p.
- Cruden, D.-M. & Varnes D.-J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner A.K. & Schuster R.L. (Eds.) - Landslides, Investigation and Mitigation. *Transportation Research Board Special Report 247*, Washington D.C, 36–75.
- El Fellah B. 1994. *Eboulement rocheux dans le Paléozoïque du Rif: présentation d'un cas sur la route Oued Lao- Jebha*. 7^{ème} Congrès International de l'AIIGI, Lisboa, Portugal, 3927–3931.
- El Fellah B. 1996. Sikha d'Asfalou : exemple de glissement littoral sur la côte méditerranéenne de Bokoya entre Torrès et Bades (Rif, Maroc). *ORSTOM, réseau érosion, Bulletin* 16, 222–230.
- EL Kharim Y. 2002. *Etude des mouvements de versants dans la région de Tétouan (Rif occidental) : Inventaire, analyse et cartographie*. Thèse de Doctorat Es-Sciences, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan. Maroc, 250 p.
- El Khattabi J. 2001. *Démarche méthodologique pluridisciplinaire intégrant une approche transversale pour l'étude des instabilités des versants: application aux versants du Rif Central (Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université d'Artois, 258 p.
- El Khattabi J. & Carlier, E. 2004. Tectonic and hydrodynamic control of landslides in the northern area of the Central Rif, Morocco. *Engineering Geology*, 71, 3, 255–264.
- Fares A. 1994. *Essai méthodologique de la cartographie des risques naturels liés aux mouvements de terrain. Application à l'aménagement de la ville de Taounate (Rif, Maroc)*. Thèse de Doctorat de l'Université de Franche Comté, 177 p.
- Gausson H. 1954. *Théorie et classification des climats et microclimats*. Actes VII Congrès International de Botanique. Paris, pp. 125–130.
- Mansour M. 1998. *Geodynamic processes and cartography of ground movements in the area of Chefchaouen (District of Bouhalla-Amtrass)*. Application to the stabilization of main road Nb: 39. Western Rif, Morocco. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VII, 192 p.
- Mastere M. 2011. *La susceptibilité aux mouvements de terrain dans la province de Chefchaouen: analyse spatiale, modélisation probabiliste multi-échelle et impact sur l'aménagement et l'urbanisme*. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 316 p.
- Mastere M., Van Vliet Lanoë B., Mansour M. & Aït Brahim L. 2011. Spatiotemporal analysis of landslides using digital photogrammetry and DEM. *Revue de Télédétection*, 10, 147–156.
- Mastere M., Van Vliet Lanoë B. & Aït Brahim L. 2013. Land use mapping and its relation to mass wasting and gullying in North-Western Rif (Morocco). *Geomorphology: relief, process, environment*, 3, 335–352.
- Mastere M., Van Vliet-Lanoë B., Aït Brahim L. & El Moulat M. 2015a. A linear indexing approach to mass movements susceptibility mapping: the case of the Chefchaouen Province. *International Journal of Geomatics and Spatial Analysis*, 2, 25, 245–265.
- Mastere M., El Fellah B., Van Vliet-Lanoë B. & Aït Brahim L. 2015b. Synergie des outils géomatiques pour la cartographie et l'analyse des discontinuités structurales dans le Rif. *Arabian Journal of Earth Sciences*, 5, 2, 31–42
- Maurer G. 1964. L'érosion dans le Rif et le Prérif. *Revue de géographie du Maroc*, 6, 87–116
- Millies-Lacroix C.A. 1968. Les glissements de terrains. Présentation d'une carte prévisionnelle des mouvements de masse dans le Rif (Maroc septentrional). *Mines et Géologie*, 27, 45–55.
- Mokhtari N., Mrabet R., Lebaillly P. & Bock L. 2013. Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. *Revue Marocaine Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 2, 50–66.
- Sossey Alaoui, F. 2005. *Traitement et intégration des données satellitaires optiques et radar dans un sig en vue de l'obtention de carte de l'aléa lié aux instabilités de terrain dans la péninsule de Tanger (Rif Septentrional, Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat. 175 p.
- Varnes D.-J. 1978. Slope Movement Types and Processes. In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control. In: Schuster R.L. & Krizek, R.J. (Eds.), Transport Research Board. *National Research*, 11–33.

Manuscrit reçu le 19/03/2015

Version révisée acceptée le 09/03/2016

Version finale reçue le 03/06/2016

Mise en ligne le 14/06/2016