

**IMPACT DES PLUIES EXTREMES SUR LA GENESE ET  
L'AMPLIFICATION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LE  
NORD DE LA TUNISIE  
IMPACT OF EXTREME RAINFALL ON THE GENESIS AND  
AMPLIFICATION OF LANDSLIDES IN NORTHERN TUNISIA**

**Majid MATHLOUTHI**, Laboratoire de Recherche en Sciences et Techniques de l'Eau de l'INAT, 43 Avenue Charles Nicolle 1082 Tunis, Tunisie, majid\_mathlouthi@yahoo.fr.

**Abdessalem GHALI** Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences de Bizerte, Jarzouna 7021, Bizerte, Tunisie, Université de Carthage. absghali@yahoo.fr

**Fethi LEBDI**, Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), 43 Avenue Charles Nicolle 1082 Tunis, Tunisie, Université de Carthage, Lebdi.fethi@iresa.agrinet.tn.

**RESUME :** Les mouvements de terrain constituent un risque naturel réel dans le Nord de la Tunisie et forment un des principaux facteurs d'érosion des sols. Dans cette région à climat méditerranéen, chacune des grandes unités morfo-structurales risque d'être atteinte par ces types de mouvements, à des degrés divers, sous l'influence des pentes, des faciès tendres, de l'héritage morphologique et détritique, du couvert végétal et des précipitations. Certes des facteurs socio-économiques favorisent l'érosion hydrique et par conséquent les glissements de terrain. Il s'agit du surpâturage, de la non-adaptation des pratiques agricoles, du morcellement des terres agricoles et de la réduction du couvert végétal. Ce dernier est dû aux actions de coupe anarchique et de destruction des forêts et prairies en vue de l'extension urbaine et agricole. Cet article étudie l'impact conjugué des pluies extrêmes de 2005 sur le déclenchement et l'amplification des glissements de terrain qui se sont produits dans la région de Bizerte au Nord de la Tunisie. Le volume et l'intensité des précipitations participent beaucoup au déclenchement de la solifluxion et des glissements de terrain. Cet événement inattendu mais naturel est certainement la conséquence d'une ou de plusieurs causes isolées ou combinées. Les champs de culture dans la zone étudiée étaient détruits par la déformation des terrains atteints par les glissements. Pour traiter et prévenir des glissements de terrain, l'eau, en tant que premier facteur induisant le glissement de terrain par ses effets de saturation, doit être toujours évacuée par creusement de rigoles orientées selon les tracés les plus courts et suivant les plus grandes pentes.

**Mots clefs :** érosion, causes combinées, facteurs socio-économiques, glissement de terrain, pluies extrêmes.

**ABSTRACT:** Landslides are a natural real risk in Northern Tunisia and are a major contributor to soil erosion. In this region with a Mediterranean climate, each of the major morpho-structural units may be affected by these types of movements, in varying degrees, under the influence of slope, soft facies, detritic and morphological inheritance, vegetation, and precipitation. Certainly those socio-economic factors such as overgrazing, unadaptation of agricultural practices, fragmentation of agricultural lands and reduction of vegetation promote water erosion and consequently landslides. This happens through the actions of uncontrolled cutting and destruction of forests and grasslands for the expansion of urban and farming areas. This article examines the combined impact of extreme rainfall from 2005 to the outbreak and amplification of the landslides that occurred in the region of Bizerte northern Tunisia. The volume and intensity of precipitation are very involved in the initiation of solifluxion and landslides. Among others, this event is certainly unexpected but natural consequence of one or several isolated or combined causes. Crop fields in the study area were destroyed by the deformation of the land affected by the landslides. To treat and prevent landslides, water being the main factor inducing the landslide by its saturation effects should still be evacuated by digging drains oriented along the shortest tracks and according to the greatest slopes.

**Key words:** erosion, combined causes, socio-economic factors, landslide, extreme rainfall.

## **INTRODUCTION**

Un glissement de terrain est un événement inattendu mais naturel, certainement la conséquence d'une ou de plusieurs causes isolées ou combinées. Le volume et la constance des précipitations participent beaucoup au déclenchement de la solifluxion et du glissement de terrain. Les fortes précipitations dominent les montagnes du Nord tunisien. L'importance de la pluviosité s'explique par la position même du Nord tunisien comme premier écran montagneux face aux flux humides venant du Nord Ouest. En effet, étant limitée par la Méditerranée, cette région est souvent sous l'influence méditerranéenne. Les vents dominants dans la région sont les vents d'ouest et du nord-ouest. Ces vents provoquent une baisse significative des températures et une hausse des précipitations en particulier en hiver. Les plus fortes intensités se produisent surtout en hiver et au début du printemps, et conduisent à des phénomènes d'érosion par ruissellement ou par glissement, souvent graves au cours de ces périodes

durant lesquelles les sols et les formations superficielles emmagasinent jusqu'à saturation des quantités d'eau importantes. D'une façon générale, l'excès d'humidité d'hiver déclenche des phénomènes de solifluxion pelliculaire et les glissements de terrain, alors que la sécheresse estivale sur des sols très argileux provoque l'apparition de larges fentes de retrait.

Ces dernières facilitent la percolation rapide des eaux hivernales de l'année suivante, et par conséquent l'accélération du ravinement et la saturation en eau des roches en profondeur favorisant ainsi la déstabilisation des pentes. Des études ont montré que des périodes sèches prolongées pouvant atteindre 30 jours et même plus peuvent être enregistrées dans la zone (Mathlouthi & Lebdi, 2008, 2009, 2010a ; Mathlouthi, 2009).

Des événements secs extrêmes de 57 voire 81 jours, durant la saison pluvieuse, ont été identifiés dans la région (Mathlouthi & Lebdi, 2009, 2010a). Plusieurs études ont été consacrées au phénomène des glissements de terrain et aux méthodes de prévision et de prévention dont nous pouvons citer Aronica *et al.* (2011), Grossi *et al.* (2011), Petrucci *et al.* (2011) et Yahiaoui & Touaibia (2011).

Malet (2003), dans son étude sur les glissements de type écoulement dans les marnes noires des Alpes du Sud, a développé une approche fondée sur des mesures in-situ, le traitement statistique de séries temporelles, des essais de caractérisation hydrodynamique, géomécanique et rhéologique, et une modélisation numérique.

Un modèle conceptuel hydromécanique de comportement des glissements-coulées est proposé. Cet article, portant sur une étude de cas au Nord de la Tunisie, a pour objectif de faire un rapport scientifique sur les causes et les facteurs géologiques et morphodynamiques jouant un rôle direct sur le déclenchement du glissement, et proposer des méthodes de traitement et de prévention pouvant contribuer à limiter le développement et l'extension du mouvement de terrain vers d'autres régions.

## **SITE D'ETUDE**

### **Localisation et conditions climatiques**

Le cas d'étude est la zone de Mouaïssa couvrant environ 9.80 km<sup>2</sup>, à climat méditerranéen, située dans la région de Bizerte au Nord de la Tunisie (Fig. 1). La géologie du massif de la zone est favorable aux glissements de terrains tout à fait naturels. Les sols renferment des couches épaisses d'argiles et leur équilibre est d'autant plus fragile qu'ils sont en pente forte. A cela peuvent s'ajouter des pluies torrentielles et un réseau assez dense de failles préexistantes, déclenchant alors un glissement de masse. La zone est caractérisée par un relief relativement accidenté, à pente forte, voire très

forte par endroit à moyenne (Fig. 2). En effet 35.3% des terrains ont une pente supérieure à 20%, 50% ont une pente comprise entre 15 et 20% et 14.7% ont une pente comprise entre 10 et 15%. La pente moyenne du bassin versant est d'environ 15% et l'indice globale de pente est de 121.5 m/Km. D'autre part, l'altitude varie de 489 m pour le point culminant à 28 m au point le plus bas. Selon la répartition hypsométrique du bassin versant, la dénivelée spécifique est de 210 m, ce qui atteste que le relief est qualifié "d'assez fort" selon la classification IRD (Dubreuil & Guiscafre, 1971). Par ailleurs les prospections de terrain ont montré que la zone est couverte à 64.6% par des cultures annuelles (céréales, légumineuses), 28.7% par des broussailles et 6.7% par des arbres fruitiers. Avant les cultures, le paysage était représenté par du maquis.

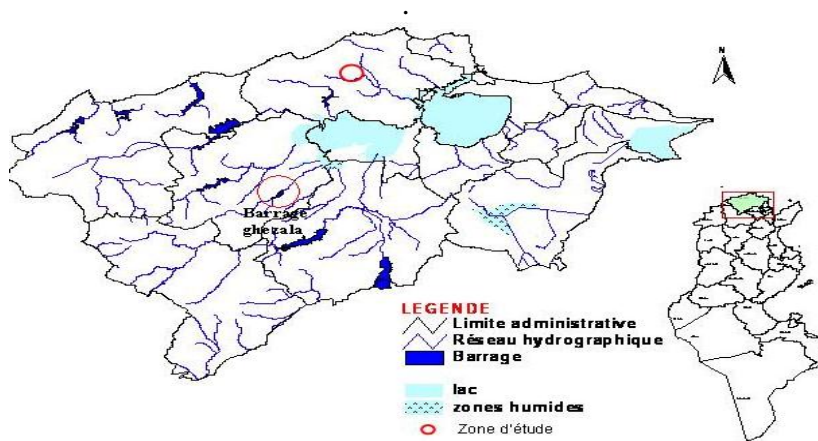
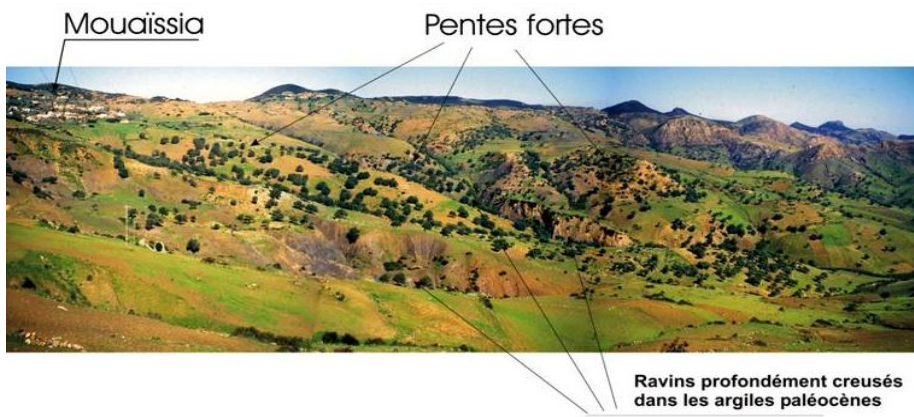


Fig. 1. Situation de la zone d'étude



Morphologie du bassin versant de Mouaïssia

Fig. 2. Photographie montrant la morphologie de la zone d'étude (El Ghali, 2005).

L'analyse des conditions du milieu physique et des conditions socio-économiques a mis en évidence la sensibilité et la fragilité de la zone ainsi que la complexité et l'importance des processus d'érosion. L'activité de l'érosion est accentuée par la faiblesse du couvert végétal, les fortes pentes, la nature des sols (sols meubles, argiles gonflantes) et le caractère orageux des précipitations (surtout celles d'automne). Des cumuls sur 24 heures pouvant dépasser 75 mm ont été enregistrés dans la région (Mathlouthi & Lebdi, 2010b). Le tableau 1 donne l'intensité de la pluie au niveau du bassin versant, déterminée en se référant aux courbes IDF de la station pluviographique du barrage Ghézala, pour un temps de concentration de 0.79 h et pour différentes périodes de retour. Il s'en suit que des intensités de pluies de 42 mm/h peuvent être enregistrées pour une période de retour centennale. Par ailleurs, l'inadaptation des techniques culturales pratiquées est un facteur qui a augmenté la fragilité du milieu. Il s'agit surtout de la mécanisation agricole non appropriée et du labour dans le sens de la pente.

**Tableau 1.** Intensité de la pluie pour différentes périodes de retour.

Période de retour T (ans)	2	5	10	20	50	100
Intensité (mm/h)	15	18	22	26	34	42

La température moyenne annuelle de la région est comprise entre 16 et 18°C, alors que l'évapotranspiration moyenne annuelle s'élève à environ 1335 mm. Pendant les mois de la saison sèche, l'évapotranspiration est plus forte ce qui favorise le phénomène de fissuration entraînant l'augmentation de l'infiltration des eaux aux premières pluies. Ceci constitue un facteur favorisant les instabilités des terrains contrairement aux mois de la saison humide où le taux de l'évapotranspiration est le plus faible. Les enregistrements de la pluviométrie annuelle à la station de Jebel Essama, la plus proche de la zone, durant la période 2001-2006, sont reportés dans le tableau 2, où un indice de pluie, défini par la pluie à l'année  $i$  rapportée à la moyenne de la pluie sur la période d'observations est calculé. Les apports annuels de pluies enregistrés dans la zone montrent que les cumuls des années 2002 jusqu'à 2005 sont exceptionnellement élevés puisque les indices de pluie traduisent une pluviométrie annuelle voisine ou supérieure à 50% de la moyenne interannuelle (tableau 2 et Fig. 3). Ainsi, les critères météorologiques sont des facteurs déclenchant d'instabilité des pentes, notamment à partir du cumul des pluies ou de l'intensité-durée des épisodes pluvieux. Dans ce contexte, le bassin versant de l'oued M'Khachbia (Nord-Ouest de la Tunisie) est un bon exemple où les événements localisés de type orageux, caractérisés par de fortes intensités atteignant parfois des valeurs

supérieures à 100 mm/h calculées sur une durée de 5 minutes, (tableau 3) produisent des taux importants de transports solides (tableau 3) (Jaoued et al., 2005). Des glissements de terrain ont été observés et l'érosion spécifique enregistrée pour les différents événements à l'exutoire de chaque sous-bassin varie de 0.03 à 1.03 Tonnes/ha, avec une moyenne de 0.5 T/ha (Jaoued et al., 2005). L'expérience montre cependant que des facteurs plus subtils entrent en jeu. Ainsi, une période de sécheresse provoque des fissurations par retrait des sols argileux superficiels, ce qui facilite l'infiltration de l'eau dans les fissures lors d'épisode pluvieux (Mathlouthi, 2009) déstabilisant les terrains en pente. Autrement dit, les argiles se gonflent et se rétractent à mesure qu'alternent les périodes de fortes pluies et de sécheresse, entraînant des mouvements du sol localisés ; par ailleurs, les précipitations peuvent entraîner d'importantes infiltrations d'eau. La force de cohésion des particules du sol est diminuée, ce qui joue un rôle important dans la déstabilisation des versants, et en particulier en terrains argileux.

**Tableau 2.** Pluviométrie annuelle de la zone durant la période 2001-2006.

Station J. Essama 32150	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	Moyenne annuelle <sup>(*)</sup> (mm)
Pluie annuelle (mm)	536	1362	1071	1223	613	721
Indice de Pluie (%)	74.3	188	148	169	85	-

(\*) Moyenne calculée sur 56 ans (1950-2006).

**Tableau 3.** Transport solide et érosion spécifique calculée à l'exutoire de deux sous bassins

Evénements	$I_{max}$ (mm/h)	Transport solide (Tonnes)		Erosion spécifique (T/ha)	
		Bazina	M'khachbi amont	Bazina	M'khachbia amont
29/10/1985	59 (10 mn)	936.85	1163.497	0.50	0.63
29/10/1986	30 (5 mn)	54.594	378.611	0.03	0.20
17/01/1987	29 (10 mn)	1662.301	760.687	0.90	0.41
13/02/1987	156 (5 mn)	1921.786	467.107	1.03	0.25

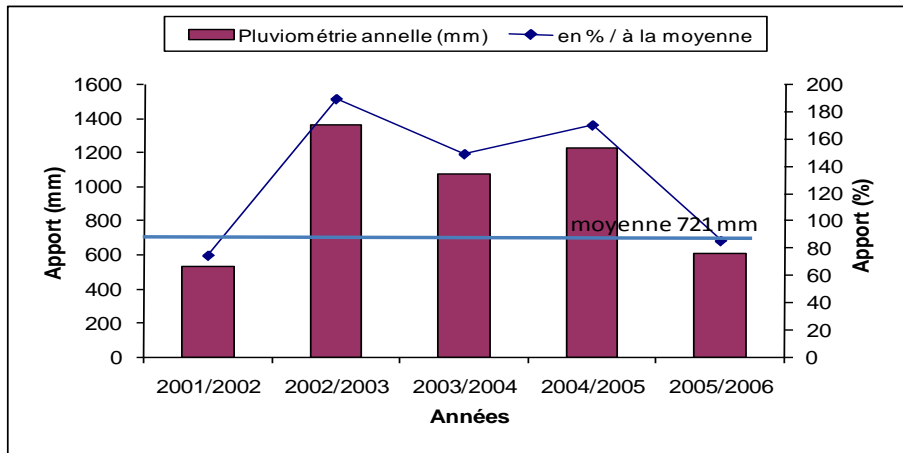


Fig. 3. Pluviométrie annuelle dans la zone durant les années 2001-2006.

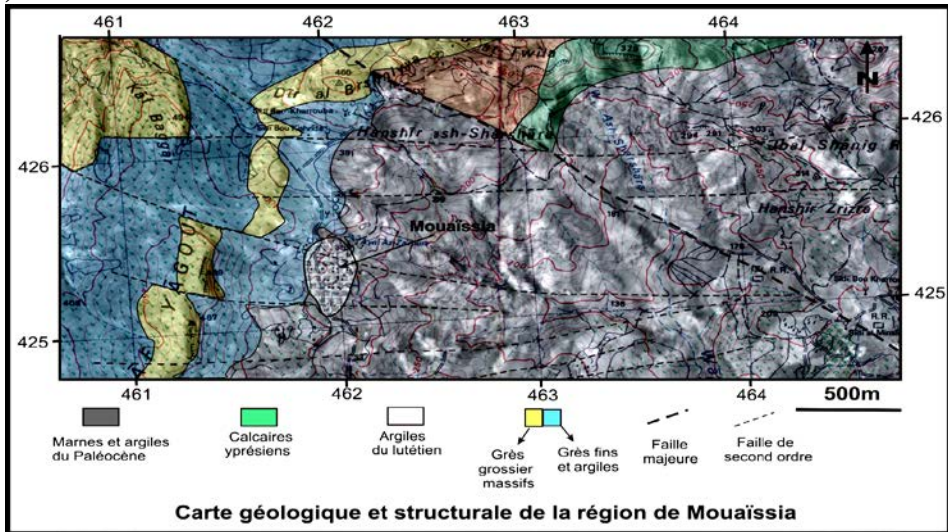
### Géologie et tectonique de la zone

Les glissements étudiés se situent dans une région caractérisée par une histoire géologique assez complexe depuis le Mésozoïque jusqu'à l'actuel. Au cours du Miocène et du Quaternaire, toute la zone était le siège d'une succession de déformations cassantes et plicatives donnant naissance aux structures géologiques plissées et faillées qui caractérisent les paysages actuels des bassins versants de la région. Les couches géologiques qui ont subi ces déformations et qui constituent le substratum du bassin versant remontent au Paléocène et à l'Oligo-Miocène inférieur. Le Paléocène est totalement argilo-marneux alors que les couches de l'Oligo-Miocène inférieur sont surtout gréseuses (connues sous le nom de "faciès numidien") et se développent sur plusieurs centaines de mètre et forment l'ossature des Monts de la région (El Ghali, 2005 ; Hammami, 2010). D'autre part, la carte géologique (Fig. 4) montre clairement une région affectée par deux types de réseaux de fracturations d'orientation et d'ordre différent. Le premier est une seule faille majeure de direction  $160^\circ$  par rapport au Nord, qui subdivise le bassin versant en deux compartiments ayant des séries sédimentaires différentes (Fig. 4). A l'Est, elle délimite un compartiment dont les séries sédimentaires montrent de la base vers le sommet et de l'aval vers l'amont la succession suivante: les argiles et les marnes du Paléocène, la barre calcaire de l'Yprésien, les argiles du Lutétien et les grès de l'Oligo-Miocène (Numidien). A l'Ouest elle borde un compartiment à série sédimentaire moins redressée (pendage ou inclinaison faible de l'ordre de  $20^\circ$ ) et comportant de l'aval vers l'amont uniquement deux entités lithologiques principales, à savoir les argiles et les marnes du Paléocène, surmontées directement par les grès de l'Oligo-Miocène (Numidien). Le deuxième

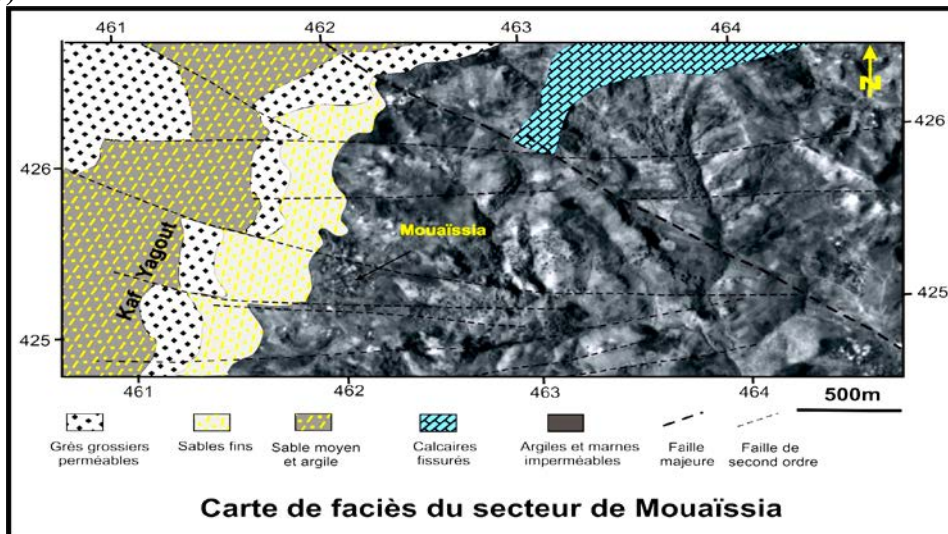


réseau est une famille de failles parallèles de direction proche de l'Est-Ouest troquent le compartiment occidental et le transforme en une série de couloirs de même direction (c'est-à-dire Est-Ouest) (Fig. 4). Ces failles sont beaucoup plus récentes que celle dirigée 160°, mais elles sont plus fréquentes donc elles contribuent plus activement à la dislocation du terrain et par conséquent à son instabilité (El Ghali, 2005).

a)



b)



**Fig. 4.** Cartes structurales (a) et de faciès (b) de la zone à l'échelle approximative de 1/25000 (El Ghali, 2005).



C'est pour cette raison que les glissements de terrain ont affecté ce compartiment (occidental) et non pas l'autre, situé vers l'Est, bien que les deux compartiments comprennent le même faciès argileux et épais du Paléocène.

Sur le plan hydrologique, ces deux directions de fractures ( $160^\circ$  et proche de  $90^\circ$ ) ont guidé directement l'architecture du réseau hydrographique du bassin versant. En effet, la forme du bassin montre une nette dissymétrie avec des affluents linéaires et parallèles à la faille principale  $160^\circ$  dans la partie orientale du secteur alors que vers l'Ouest les cours d'eau sont plutôt dirigés entre  $90^\circ$  à  $110^\circ$  et suivent les tracés des failles de même direction. En résumé, l'évolution géodynamique récente ainsi que la morphologie du bassin et son hydrologie sont tributaires du contexte tectonique local.

## **METHODOLOGIE**

Un glissement de terrain est un versant instable de montagne ou de colline qui se détache et glisse dans le sens de la pente. Il s'agit d'une masse de matériaux meubles ou rocheux dévalant une pente sous l'influence de la gravité et souvent sous l'action de l'eau quand les sédiments en sont saturés. Le volume du glissement dépend de la surface et de la profondeur de la rupture. La plupart du temps, leur vitesse de déplacement est de quelques mm ou cm par an, mais ils peuvent subir une accélération brutale (quelques m/jour) et surtout dégénérer en coulée au contact de l'eau (fortes pluies, ...). C'est alors qu'ils sont les plus dangereux.

Plusieurs aspects peuvent être étudiés à propos des glissements de terrain, et en particulier la pluie, mais ce n'est pas le sujet de ce travail. Notre étude se base essentiellement sur une approche d'analyse spatiale des conditions géologiques à partir de la cartographie et de l'interprétation des photos aériennes des sites montrant des instabilités de terrain, complétée par des prospections de terrain sur le milieu physique de la zone étudiée. Elle s'appuie d'avantage sur la démarche d'interprétation des cartes géologiques à l'échelle 1/50000 et topographiques au 1/25000 et la photo-interprétation (stéréoscopie) des photos aériennes à grande échelle (1/20000). On établit les cartes structurales et de faciès de la zone étudiée. Par recoupement on évalue l'ampleur et on décrit les glissements dans la zone, puis on analyse les causes, les conséquences et les risques. Parallèlement, une analyse pluviométrique a été également menée. Cependant, par manque de mesures des intensités de pluie dans la zone, l'analyse de ce facteur a porté seulement sur les cumuls annuels de la pluie. Un indice de pluie a été calculé durant la période où les glissements de terrain ont été observés.

## **ANALYSE DES GLISSEMENTS DANS LA ZONE**

### **Présentation et caractéristiques des glissements**

La prospection du terrain montre qu'il existe des glissements de type circulaire ou rotationnel. Il s'agit d'une surface de glissement plus ou moins circulaire ; mouvement caractérisé en général par l'existence d'une zone de départ nette et par un bourrelet frontal plus ou moins marqué où le remaniement interne dépend de la nature des terrains et de l'importance du déplacement. Il est présent en terrains meubles, dans les roches homogènes à faible cohésion telles que les argiles et les marnes. Des coulées boueuses prennent place aussi dans la région. Elles consistent en la propagation de matériaux intimement mélangés à une quantité d'eau telle que la masse en mouvement a franchi sa limite de liquidité. Les matériaux susceptibles de perdre ainsi leur cohésion sont des argiles et/ou des marnes. L'eau peut pénétrer au sein des matériaux par infiltration avant le déclenchement de la coulée ou au moment de la rupture par concentration des eaux de ruissellement. Donc la mise en mouvement de ces matériaux a pour origine une perte brutale de cohésion produite généralement à la suite d'un glissement de terrain. C'est le cas le plus probable de la région étudiée. La pente du terrain est relativement forte (30 à 40°), les argiles et les marnes saines et altérées sont saturées d'eau et la viscosité est assez élevée. Cependant le phénomène de propagation de la coulée peut être avorté par l'évacuation des eaux stagnantes dans les mégas fentes et les dépressions néoformées (drainage) et bien évidemment un arrêt prolongé des pluies.

### **Morphologie, géométrie et cause des glissements de terrain**

Les facteurs les plus importants qui influent sur la stabilité d'une pente sont l'inclinaison, la hauteur hors-tout, la nature du matériau du sol, la position de la nappe aquifère, la structure géologique (succession des couches, pentes des lits, failles ...) et l'apport pluviométrique. Le glissement de terrain observé dans la région étudiée est de type statique, rapide avec des niches d'arrachement et des escarpements en amont et des coulées boueuses limitées dans la partie aval (Fig. 5 et 6) induisant des mouvements relativement lents.

La cause des mouvements de masse (lents ou rapides) est à rechercher dans le déséquilibre entre d'une part, la masse de la couverture pédologique, de l'eau qui s'y trouve stockée et d'autre part, les forces de frottement de ces matériaux sur le socle des argiles et des marnes altérées en pente sur lequel ils reposent. Ce déséquilibre se manifeste progressivement sur plusieurs plans de glissement suite à l'humectation de ces plans ou par dépassement dans la couverture pédologique du point d'élasticité (avec

déformations sans rupture) ou de liquidité (coulées boueuses) (El Ghali, 2005). Le déséquilibre est brutal et associé aux averses orageuses abondantes et intenses qu'a subies la région durant l'hiver 2005 (tableau 2).

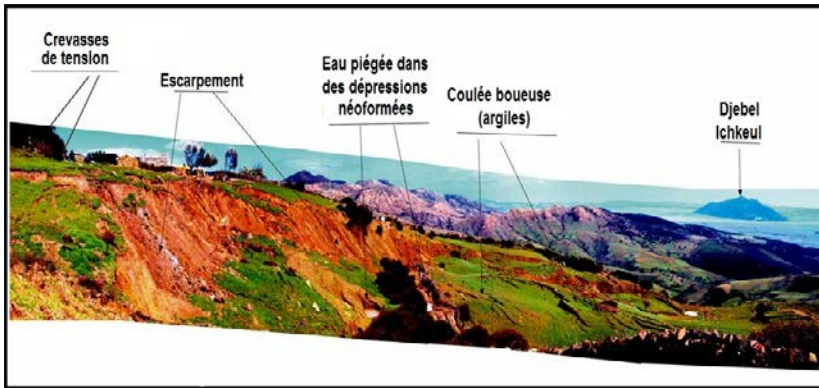
La circulation rapide de l'eau dans les fissures ou des méga pores jusqu'à la roche altérée provoquerait, à une certaine distance de la ligne de crête ou aux points de rencontre des filets d'eau dans le sol, une pression hydrostatique capable de repousser la masse réorganisée des sols, de décoller celui-ci par rapport à un niveau de fragilité de la roche altérée d'où la fréquence élevée des glissements en planche sur les argiles et les marnes du Paléocène.



**Fig. 5.** Image satellite et schéma d'interprétation des différents mouvements de terrain dans la zone (Hammami, 2010).

A ces effets météorologiques (pluies torrentielles), lithologiques (argiles et marnes très épaisses), topographiques (pentes très fortes) et hydrologiques dans le sens de jeune réseau hydrographique incisant profondément les talus abrupts argileux, s'ajoutent les grandes surfaces de discontinuité correspondant aux failles cisailantes affectant le secteur en plusieurs couloirs de direction est-ouest (Fig. 4).

Ces plans de failles constituent bien évidemment des surfaces préexistantes idéales à l'amplification des mouvements des masses argileuses et l'orientation des glissements de blocs selon leur direction.



**Fig. 6.** Vue panoramique montrant la morphologie du phénomène de glissement-coulée dans la zone (El Ghali, 2005). La tête du glissement en amont (à gauche) et le chenal de transit correspondant à un écoulement d'argile boueuse (à droite). L'ensemble évolue sur une pente d'environ 25°.

La conjugaison et la simultanéité de tous ces effets a rendu le glissement de Mouaïssia un des cas rares des mouvements de masse qui s'effectuent en un temps très court. Cette brutalité et cette vitesse de fonctionnement nous permettent de ranger ce glissement parmi les plus rapides.

## CONCLUSIONS

Dans la région étudiée des champs de cultures sont détruits par la déformation des terrains atteints par le glissement. L'eau étant le premier facteur induisant le glissement de terrain par ses effets de saturation doit être toujours évacuée par creusement de rigoles orientées selon les tracés les plus courts et suivant les plus grandes pentes. Cette évacuation doit être permanente et concerne surtout les dépressions néoformées par le basculement de blocs associés au glissement au voisinage des escarpements, les lignes de failles et les eaux bloquées derrière les écroulements de blocs effondrés dans les ravins. Un glissement déclenché ne peut s'arrêter définitivement qu'après l'atteinte d'un nouvel état d'équilibre statique et ce, selon deux styles de mouvement : un déplacement brutal au départ suivi d'un mouvement lent et continu. Ce dernier peut être entrecoupé par d'autres glissements brutaux si les conditions d'instabilité sont rétablies de nouveau. Ce sont les zones les plus sensibles aux déplacements et constituant les meilleurs marqueurs qui peuvent prévenir un nouveau glissement avant son paroxysme. L'ouverture excessive des fentes (crevasses) et/ou l'avancée anormale du front de la langue annonce le rapprochement d'un coup de glissement.

En perspectives de recherche, on se demande s'il aurait été possible de prévoir ce phénomène géologique ? On peut en effet déceler des signes précurseurs (fissures, fentes, diaclases, craquements ...) mais généralement trop tard pour pouvoir prendre des mesures, et de plus trop de facteurs influencent l'équilibre des sols. Toutefois des plans de prévention des risques de glissement peuvent être mis en place. Les géologues peuvent réaliser des études cartographiques et géotechniques se rapportant à la stabilité des talus et aux risques de glissement de terrain.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aronica, G., Brigandi, G. & Morey, N. (2011) Flash floods and debris flow in the city area of Messina, North-East part of Sicily, Italy in October 2009: the case of the Giampileri catchment. *Proceedings of the 4th International Workshop on Hydrological Extremes: From prediction to prevention of hydrological risk in Mediterranean countries (MEDFRIEND project, UNESCO IHP-VII 2008-13)*, University of Calabria, Cosenza (ITALY), 15-17 September 2011.
- Dubreuil, P. & Guiscafne, J. (1971) La planification du réseau hydrométrique minimal. *Cah. ORSTOM Sér. Hydrol.* 1971(8), 3-38.
- El Ghali, A. (2005) Rapport d'expertise géologique sur les glissements de terrain de Février 2005 dans la région de Mouaïssa (Délégation de Ghézala). *Rapport, Faculté des Sciences de Bizerte*, 14 Mars 2005, 21 p.
- Grossi, G. & Caronna, P. (2011) Sediment yield in a small mountain basin during extreme events. *Proceedings of the 4th International Workshop on Hydrological Extremes: From prediction to prevention of hydrological risk in Mediterranean countries (MEDFRIEND project, UNESCO IHP-VII 2008-13)*, University of Calabria, Cosenza (ITALY), 15-17 September 2011.
- Hammami, S. (2010) Apport de l'approche géologique et géotechnique à l'étude de la stabilité des pentes sensibles aux phénomènes de glissement coulée dans le Nord-Ouest de la Tunisie : étude de cas et proposition de solutions. *Master de Recherche en géologie appliquée. Faculté des Sciences de Bizerte*, Unité de Recherche 05 UR 10-01, 70 p.
- Jaoued, M., Gueddari, M. & Saadaoui, M. (2005) Modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued M'Khachbia (Nord-Ouest de la Tunisie). *Geo-Eco-Trop*, 2005, 29, 15-24.
- Malet, J.P. (2003) Les 'glissements de type écoulement' dans les marnes noires des Alpes du Sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique. *Thèse de doctorat*, Université Louis Pasteur, 364 p.

- Mathlouthi, M. & Lebdi, F. (2008) Event in the case of a single reservoir: the Ghèzala dam in Northern Tunisia. *Stochast. Environ. Res. Risk Assess.* 22, 513–528.
- Mathlouthi, M. (2009) Optimisation des règles de gestion des barrages réservoirs pour des évènements extrêmes de sécheresse. *Thèse de Doctorat*, Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis, (xv) + 162 p., 48 figures, 34 tableaux. <http://www.birsa.agrinet.tn>
- Mathlouthi, M. & Lebdi, F. (2009) Analyse statistique des séquences sèches dans un bassin du nord de la Tunisie. *Hydrol. Sci. J.* 54(3), 442-455.
- Mathlouthi, M. & Lebdi, F. (2010a) Caractérisation des événements secs dans un bassin du Nord de la Tunisie. In *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources* (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010). 86–94. IAHS Publ. 340, 2010. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Mathlouthi, M. & Lebdi, F. (2010b) Modélisation de la relation pluie–ruissellement par durée d’épisode pluvieux dans un bassin du Nord de la Tunisie. *Hydrol. Sci. J.* 55(7), 1111-1122.
- Petrucci, O., Polemio, M. & Pasqua, A.A. (2011) Damaging hydrogeological events in Calabria (Italy). *Proceedings of the 4th International Workshop on Hydrological Extremes: From prediction to prevention of hydrological risk in Mediterranean countries* (MEDFRIEND project, UNESCO IHP-VII 2008-13), University of Calabria, Cosenza (ITALY), 15-17 September 2011.
- Yahiaoui, A. & Touaibia, B. (2011) Using decision support system technique for hydrological risk assessment. Case of oued Mekerra in the Western of Algeria. *Proceedings of the 4th International Workshop on Hydrological Extremes: From prediction to prevention of hydrological risk in Mediterranean countries* (MEDFRIEND project, UNESCO IHP-VII 2008-13), University of Calabria, Cosenza (ITALY), 15-17 September 2011.

&&&