

Papeles de Geografía

Papeles de Geografía

ISSN: 0213-1781

espin@um.es

Universidad de Murcia

España

Ali, Faleh; Abdelhamid, Sadiki; Brahim, Akdim; Benyounes, Haloui
Application des analyses minéralogiques et géotechniques des Argiles dans l'étude des glissements
de terrains: exemples du Prérif central (Maroc septentrional)
Papeles de Geografía, núm. 35, enero-junio, 2002, pp. 115-128
Universidad de Murcia
Murcia, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40703508>

► Comment citer

► Numéro complet

► Plus d'informations de cet article

► Site Web du journal dans redalyc.org

redalyc.org

Système d'Information Scientifique

Réseau de revues scientifiques de l'Amérique latine, les Caraïbes, l'Espagne et le Portugal

Projet académique sans but lucratif, développé sous l'initiative pour l'accès ouverte

APPLICATION DES ANALYSES MINÉRALOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES DES ARGILES DANS L'ÉTUDE DES GLISSEMENTS DE TERRAINS: EXEMPLES DU PRÉRIF CENTRAL (MAROC SEPTENTRIONAL)

Faleh Ali¹, Sadiki Abdelhamid², Akdim Brahim¹ & Haloui Benyounes³

RESUME

Dans le Prérif central, le paysage de versants bosselés par les glissements de terrains, récents ou réactivés est presque courant. Les facteurs responsables de cette morphodynamique accélérée sont liés à la prédominance de roches tendres, aux précipitations intenses et irrégulières et aux pentes fortes.

L'objectif de cette note est de déterminer la susceptibilité des différents faciès aux mouvements de masse et ce en relation avec les caractéristiques minéralogiques et géotechniques des argiles.

Mots clés: Prérif central, glissement de terrain, minéralogie des argiles, mécanique des sols, instabilité des infrastructures.

RESUMEN

En el Prerif central resulta muy común el paisaje de vertientes afectadas por deslizamientos de terrenos, recientes o reactivados. Los factores responsables de esta morfodinámica acelerada están ligados al predominio de rocas blandas, a las precipitaciones intensas e irregulares y a las fuertes pendientes.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la susceptibilidad de las diferentes facies a los movimientos en masa, en relación con las características mineralógicas y geotécnicas de las arcillas.

Palabras clave: Prerif central, deslizamiento del terreno, mineralogía de arcillas, mecánica de suelos, inestabilidad de las infraestructuras.

Fecha de recepción: 25 de mayo de 2001. Fecha de aceptación: 10 de julio de 2001.

* Faleh Ali. Département de Géographie, Faculté des Lettres et de Sciences Humaine Saïs-Fès. B.P. 59 Route d'Imouzzar - 30000 - Fès. Maroc. E-mail: falehali2001@yahoo.fr

1 Département de Géographie, Faculté des Lettres Saïss -Fès.

2 Département de Géologie, Faculté des Sciences Dhar Mahraz, Fès.

3 Département de Biologie, Faculté des Sciences, Oujda.

1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'étude porte sur les processus d'érosion liés aux mouvements de masse et sur l'application des analyses minéralogiques et géotechniques des argiles dans l'étude des glissements de terrains. Elle vise à développer les objectifs suivants:

- définition des processus et des formes liées aux glissements de terrains et établissement d'une typologie des mouvements de masse en fonction de l'épaisseur des matériaux affectés et de l'amplitude des mouvements;
- évaluation de l'évolution temporo-spatiale des glissements de terrains en s'appuyant sur des enquêtes de terrain auprès des habitants et sur des études comparées de deux missions de photographies aériennes (1964-1986);
- analyse du spectre minéralogique des argiles constituant les matériaux flués et leurs caractéristiques géotechniques en adoptant la diffractométrie des rayons X et les mesures des limites d'Atterberg;
- détermination de la susceptibilité des matériaux à fluer sous différentes conditions minéralogiques et géotechniques afin de prévoir les zones prédisposées aux mouvements de masse.

2. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le paysage morphologique du Prérif central, au nord de Fès, est constitué d'un système de hautes et de basses collines disséquées par un réseau hydrologique dense. Les crêtes sommitales correspondent aux affleurements de grès, de marno-calcaire et de marnes blanches à silex, alors que les basses collines sont façonnées dans les marnes et les flyschs (fig. 1).

Deux grandes nappes de charriage couvrent la région: la première correspond à la Nappe prérfaine, la seconde, à la Nappe d'Ouazzane chevauchante sur la première en synclinaux perchés.

Cette organisation morphostructurale résulte d'une érosion différentielle et reflète fidèlement le contraste lithologique et l'enfoncement du réseau hydrographique après la mise en place des nappes de charriage.

Les précipitations moyennes annuelles oscillent autour de 550 mm avec des valeurs extrêmes atteignant 800 mm. La saison sèche s'étend de mai à la mi-octobre. Le nombre moyen de jours pluvieux est de 71 j/an et l'intensité-durée des pluies hivernales est de 82% pour les précipitations comprises entre 30-50 mm/j et de 18% pour celles supérieures à 50 mm/j.

La majeure partie des versants de la région étudiée a été modelée par des glissements de terrains anciens ou récents dont les traces se dessinent actuellement sur les versants sous forme de nombreuses cicatrices d'arrachements marquant les zones de départ des matériaux. Aux pieds des versants affectés, les loupes et langues de boue arrachées forment une topographie bosselée. L'épaisseur du matériau flué varie de quelques décimètres à quelques dizaines de mètres et parfois plus.

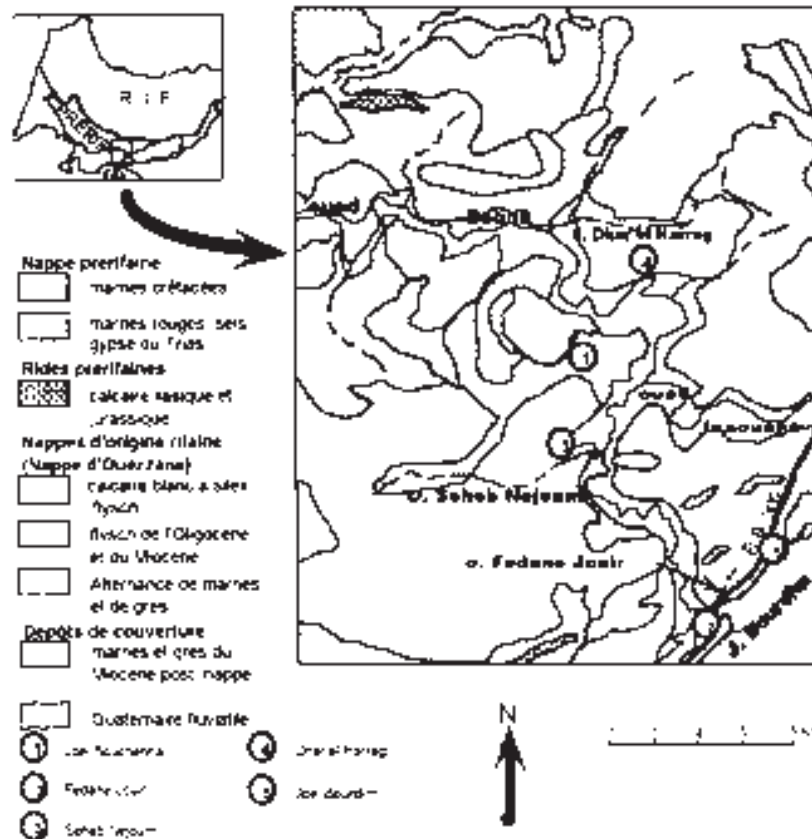


FIGURE 1. Situation et carte lithostructurale de la zone d'étude.

3. PROCESSUS ET FORMES DE GLISSEMENTS DE TERRAINS DANS LE PRÉRIF CENTRAL

Selon Flageollet (1989) La diversité des glissements est grande, à cause des différences dans la nature et la taille des matériaux, fragments de roches cohérentes, de roches meubles ou de sol, dans la forme de la surface de rupture, dans la distance parcourue par les matériaux glissés au-delà de la zone de rupture.

Pour Mouroux *et al.* (1988), l'organisation des particules argileuses entre elles varie de l'empilement serré et orienté dans le cas des argiles situées en profondeur, sous l'effet du poids des matériaux sus-jacents à une organisation lâche pour celle se trouvant près de la surface et qui ont été découvertes par l'érosion. La cohésion entre les particules se trouve ainsi déstabilisée et l'imprégnation par l'eau plus grande.

Dans la zone d'étude, comme le substrat dominant est constitué de marnes, les glissements présents sont surtout liés au comportement mécanique des argiles. On a distingué en fonction de l'épaisseur des matériaux mis en mouvement et de l'ampleur du mouvement quatre grands types de glissements:

- Les glissements superficiels ou pelliculaires
- Les glissements boueux
- Les glissements rotationnels
- Les foirages

Les premiers n'affectent que la partie superficielle des formations colluviales des versants. Les autres affectent une grande épaisseur et entraînent un volume considérable de matériaux. Ces formes se localisent surtout dans les sites où le soubassement rocheux est couvert par un manteau colluvial très épais et où le substrat est formé de marnes riches en argiles gonflantes.

3.1. Les glissements pelliculaires

Il s'agit d'un mouvement lent d'une pellicule superficielle du versant qui se produit lorsque la limite de plasticité des minéraux constituant la partie supérieure du manteau colluvial est franchie. Ainsi cette pellicule, d'une épaisseur moyenne de quelques décimètres glisse dans le sens de la pente sous forme de masse de boue visqueuse.

Un exemple représentatif de ce phénomène est visible sur le versant de Jbel Bouchena exposé au NE et situé sur la rive droite de l'oued Sebou (fig. 1). Le glissement laminaire se développe sur un versant marno-calcaire du miocène moyen surmonté par un manteau colluvial très argileux, d'une épaisseur moyenne de 20 cm.

Le déplacement de cette mince pellicule vers le fossé de la route s'est déclenché après une pluie fine et persistante à la fin de janvier 86. La masse imbibée d'eau s'est mise en mouvement après le franchissement de la limite de plasticité des minéraux de la couverture colluviale superficielle.

Les échantillons prélevés de ce manteau colluvial et analysés selon le procédé d'Atterberg, montrent que la limite de plasticité des formations fluées est de l'ordre de 32% et la limite de liquidité n'est atteinte qu'à 51%.

Il semble que le déclenchement de cette solifluxion pelliculaire ait été facilité par la création d'un niveau lubrifiant au contact du substratum et du matériel colluvial qui le recouvre. Ce type d'érosion remanie quelques décimètres d'épaisseur de la couverture colluviale. Il s'emboîte parfois dans les loupes de glissement ancien et participe à leur réactivation.

3.2. Les glissements boueux

A l'instar des glissements pelliculaires, les glissements boueux se produisent aussi chaque fois que les limites de liquidité et de plasticité des minéraux argileux des formations argileuses sont atteintes ou dépassées. MAURER (1975), définit ces processus comme suit: «Les glissements boueux résultent d'une imprégnation plus ou moins complète par l'eau du matériel mis en mouvement».

Les versants affectés par ce type de mouvement présentent une allure bosselée. Les bourrelets déforment complètement la topographie préexistante et lui donne un aspect chaotique. Ce type de mouvement solifluidal est largement développé sur les versants exposés au nord.

La plus part des glissements boueux dans le Prérif central se développent sur les marnes crétacées de la Nappe prérfaine et sur les formations colluviales épaisses à prédominance argileuse. La perméabilité de ces colluvions permet une assez forte infiltration. L'eau arrive sur un substrat marneux imperméable. Un plan lubrifié se crée, ce qui facilite le déclenchement des glissements superficiels comme dans le cas précédent, mais lorsque les eaux imbibent les marnes du substrat, ce sont les formes solifluidales profondes qui se produisent.

Dans les deux cas, une énorme quantité de matériaux est libérée pour être évacuée à travers une série de ravins et d'affluents vers les oueds.

Ces mouvements sont très fréquents dans la région. Les plus représentatifs s'observent surtout le long de la route secondaire n° 302 reliant Fès à Taounate et sur la rive droite de l'oued Seheb Nejoun. Deux exemples choisis dans le secteur étudié vont nous permettre de mieux saisir le phénomène de déclenchement et de l'évolution des glissements boueux.

3.2.1. *Le glissement de Feddane Jouir*

Le premier exemple de glissement se situe à proximité de la route secondaire n° 302 Au sud du synclinal perché de Bourdim, sur la rive droite de l'oued Feddane Jouir (photo n° 1).

Ce glissement s'est développé sur un versant marneux à forte pente (60%) couvert d'un manteau colluvial assez épais et à prédominance argileuse. Il a progressé le long du ravin qui conflue en aval avec Feddane Jouir en Hiver 1986, après une longue période pluvieuse entre le 2 et le 9 décembre. L'étude détaillée de cette coulée montre la succession des formes suivantes.



PHOTO 1. Glissement boueux de Feddane Jouir affectant les marnes crétacées.

- En amont juste en bas de la route, le glissement débute par une niche d'arrachement bien marquée de 4m de hauteur. Cette dernière est bordée par une série de fissures qui témoignent du recule rapide de la niche par éboulement.
- En aval, le corps de la coulée emprunte le ravin et colmate la topographie antérieure. Elle s'étale sur une longueur d'environ 300m de la base du remblai routier jusqu'au front du glissement sur une largeur moyenne de 20m.

Les eaux de ruissellement venues de l'amont du versant ont stagné dans le fossé de la route mal drainé. Puis elles se sont infiltrées dans les matériaux du remblai de la route et dans les colluvions sous-jacentes, d'où l'apparition de l'autre côté de la plate-forme routière d'une multitude de petites sources. Au niveau de ces suintements d'eau, la masse argileuse des colluvions fortement saturée est devenue visqueuse. Sous l'effet cumulé du poids des matériaux, de la pente et du trafic routier, cette masse s'est détachée sous forme de glissement boueux important entraînant avec lui une bonne partie de la route.

Cet ensemble chaotique a emprunté le ravin qui rejoint oued Jouir en aval. Au cours de son déplacement et sous l'effet de son poids, il a endommagé les gabions installés par les services des travaux publics en vue de stabiliser le ravin et de protéger la route.

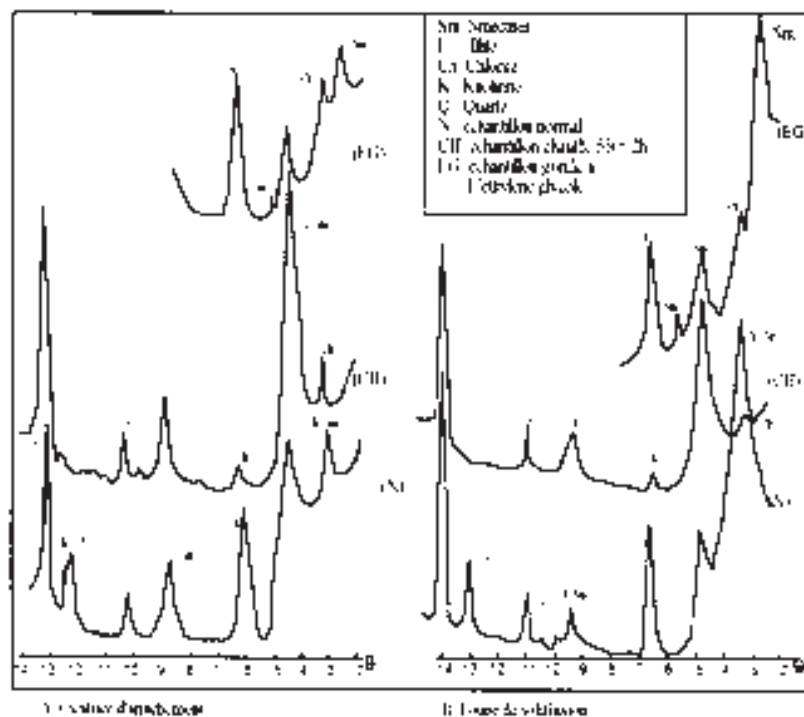


FIGURE 2. Diffractogramme de la fraction fine $< 10 \mu\text{m}$ du glissement de Feddane Jouir.

Les analyses aux rayons X, effectués sur les échantillons prélevés au niveau de l'arrachement et au niveau de la loupe (fig. 2), montrent que la majorité des argiles contenues dans ces formations fluées ont une grande aptitude à gonfler et passer à l'état plastique puis liquide (Prédominance de Smectites et d'Illites). Les limites de plasticité et de liquidité successivement de 29% et 48% ont été franchies lors de la mise en mouvement du glissement. Plusieurs facteurs ont donc contribué au déclenchement de ce glissement:

- Les caractéristiques géotechniques et minéralogiques des colluvions argileuses en place.
- L'incohérence et la forte perméabilité des matériaux formant le remblai de la route (galets de grès, de calcaire et des fragments de croûte calcaire).
- La rupture de l'équilibre du versant par l'entaille de la route.

Actuellement, la zone d'arrachement paraît stabilisée grâce à la construction d'un mur en béton armé. Mais le corps qui lui fait suite continue de progresser après chaque période pluvieuse.

3.2.2. *Le glissement de Sehb Nejoun*

Un autre exemple de glissement boueux affecte le versant marneux de Koudiat el Amama, située sur la rive gauche de l'oued Sehb Nejoun au sud de Douar Ben Harti (fig. n° 1 et photo n° 2).

En haut, le glissement montre un amphithéâtre formé d'une série de paquets en marches d'escalier, séparés par des crevasses plus ou moins béantes.



PHOTO 2. Glissement boueux de Seheb Nejoun dans les marnes crétacées.

Les matériaux arrachés de la niche de décollement sont accumulés en bas du versant sous forme de bourrelet convexe qui progresse en aval chaque année.

Le glissement s'est déclenché vraisemblablement (témoignages des habitants de douar Oulad Ben Harti) pendant l'hiver de l'année 1985. Les processus de sa formation sont liés à l'existence des cicatrices d'arrachements anciennes, en amont du versant, héritées d'anciens mouvements de masse. En effet, les eaux de pluie arrivant dans ces cicatrices s'infiltrèrent progressivement jusqu'au niveau de la roche mère (marne crétacée). Parallèlement, les masses colluviales situées en aval de ces dépressions franchirent la limite de plasticité et de liquidité respectivement de 24 et 52% et se mirent alors en mouvement, sous forme de masse de boue, qui vinrent recouvrir le bas du versant.

Du point de vue granulométrique, les argiles représentent la fraction dominante des marnes et des colluvions affectées par ce glissement (50%). La minéralogie de cette fraction argileuse est constituée essentiellement de smectites et d'illites. Ces types d'argile (surtout les smectites) sont gonflants et favorise la liquéfaction du matériau.

D'autres glissements du même type se développent un peu partout dans le Prérif central sur des terrains où la couverture colluviale très épaisse, a des caractéristiques minéralogiques et géotechniques favorables au déclenchement de ce type de dynamique.

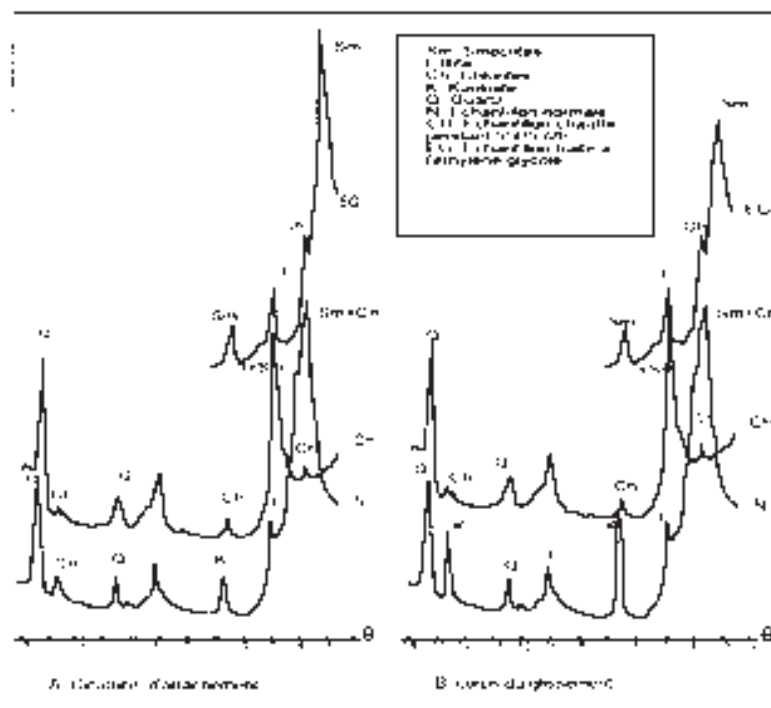


FIGURE 3. Diffractogramme de la fraction fine $<10 \mu\text{m}$ du glissement de Sehb Nejoud.

de ce type s'étend sur 600m de longueur, depuis la crête de Dhar el Harrag jusqu'au lit de l'oued Sebou.

Le décollement a déplacé une grande masse de matériaux de forme chaotique. L'expansion de la masse vers l'aval a probablement repoussé l'oued Sebou qui s'est réinstallé sur la rive convexe du méandre.

D'après une enquête orale menée auprès des habitants des douars avoisinants, ce glissement s'est déclenché pendant l'hiver 1962-63 après une longue période de pluviosité exceptionnelle.

Une comparaison des deux missions de photographies aériennes (1964 et 1986) montre que le glissement a progressé de 100m environ entre ces deux dates. Cette constatation permet de conclure que ce glissement continue de bouger surtout lors des années humides.

Le versant affecté est façonné dans un lambeau de la Nappe d'Ouazzane qui repose en contact anormal sur les formations crétacées de la Nappe préifaine. Ce versant, dont la pente générale varie de 25 à 45%, est constitué par une alternance de bancs de grès et de marnes d'épaisseur variable: les bancs gréseux sont plus épais mais fissurés et diaclasés.

Du haut vers le bas, ce glissement montre la succession de trois parties principales:

- En haut, le glissement débute par une cicatrice d'arrachement subverticale de 12m de hauteur entaillée dans les flyschs. Une série de fissure jalonnent la couronne du glissement et témoignent de la traction affectant le terrain.
Cette partie évolue par éboulements de blocs: les fissures verticales des bancs gréseux facilitent le détachement de grands pans de roches, et la corniche a tendance de reculer progressivement.
- Dans la partie centrale du glissement, une série de cisaillements secondaires de rejet moins important que l'escarpement principal donne au corps du glissement



Photo 3. Glissement de Dhar el Harrag sur la rive droite de l'oued Sebou.

- une structure en marches d'escalier. En amont des contre-pentes se développent des petites dayas (lacs) qui persistent jusqu'au début de l'été.
- En aval, le glissement se termine par une loupe bombée et étalée, formée par une grande quantité de blocs noyés dans une matrice argilo-sableuse.

Une multitude de facteurs se conjuguent pour expliquer le déclenchement de ce glissement et son évolution ultérieure.

- *La position géomorphologique*

Par sa position géomorphologique, ce versant qui surplombe un ancien méandre de l'oued Sebou était exposé au processus de sapement et d'affouillement à la base. Cette situation le mettait d'avantage en déséquilibre, et a favorisé le déclenchement du glissement.

D'ailleurs, la masse de matériaux dérivant de ce glissement et qui s'est déposé dans le lit de l'oued Sebou avait constitué un obstacle qui aurait obligé ce dernier à changer de tracé. L'ancien méandre n'est actuellement qu'un bras mort dominé par ce versant.

- *La structure du versant*

La grande porosité des bancs gréseux, la densité des fractures, des diaclases et des joints de stratification (fig. 5) ont facilité l'infiltration. Les eaux absorbées par ces zones de faiblesse ont imbibé progressivement les niveaux marneux sous-jacents, ce qui a facilité le mouvement après le franchissement des seuils de plasticité et de liquidité.

La disposition structurale de ce versant a aussi favorisé la mise en place de ce glissement par le poids des lyschs de la Nappe d'Ouazzane qui pèse sur le matériel tendre sous-jacent a participé à la déformation de la masse plastique.

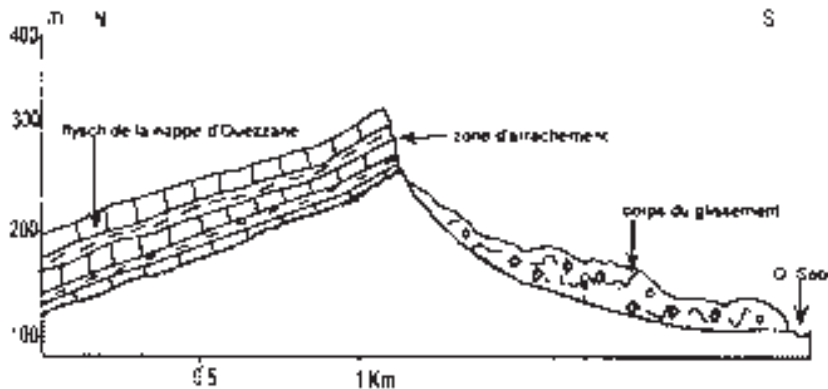


FIGURE 5. Coupe schématique du glissement de Dhar el Harrag.

- *La minéralogie et le comportement mécanique des argiles*

Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés au niveau de l'arrachement et du bourrelet (fig. 6) ont montré que la fraction argileuse est prédominante et elle est composée essentiellement de smectites connues pour leur pouvoir de gonflement et de stockage d'eau. La limite de plasticité des formations solifluées est de l'ordre de 21% alors que la liquidité est atteinte lorsque la teneur d'eau est de 58%.

- *Les conditions climatiques exceptionnelles*

La naissance du glissement de Dhar el Herrag est également attribué aux conditions climatiques exceptionnelles qu'a connu la région pendant l'hiver 1962-63. En effet, en moins de deux semaines (fin décembre 62- début janvier 63), la hauteur d'eau enregistrée à la station de Azib Soltane, qui se trouve à 20 km environ en aval, était de 278mm, alors que la moyenne normale de ces deux semaines est de 42mm. Ces précipitations rarement observées dans la région ont, certainement, porté les formations à leurs seuils de plasticité et de liquidité.

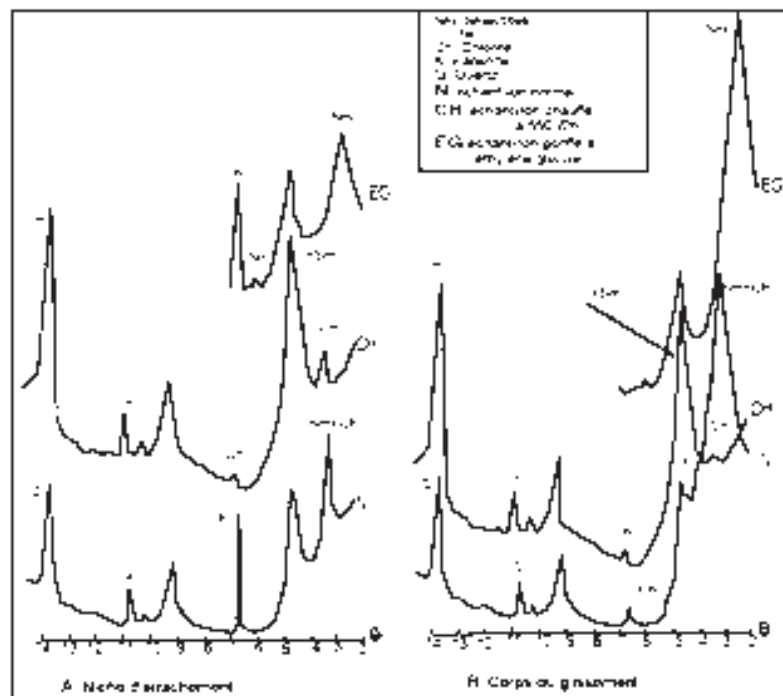


FIGURE 6. Diffractogramme de la fraction $< 10 \mu\text{m}$ du glissement de Dhar el Harrag.

3.4. Les foirages

Ce phénomène se produit chaque fois qu'il y a superposition d'une roche dure perméable sur une autre roche plus tendre et imperméable. En effet, ce contraste de résistance et de perméabilité provoque le foirage sous les effets combinés de la pression des matériaux durs et de la saturation en eau des matériaux tendres sous-jacents.

Dans le secteur étudié, ce processus d'érosion est observable sur les contrebas des corniches conglomératiques du quaternaire moyen et ancien et aussi sur les crêtes des synclinaux perchés du miocène post-nappe. Ces synclinaux sont souvent couronnés par des bancs gréseux surmontant les marne bleues (Jbel Bourdim, Chebichet).

Du point de vue de l'exposition, ce phénomène érosif ne semble pas avoir de préférence car il se développe aussi bien sur les versants exposés au nord que sur ceux exposés au sud.

Parmi les exemples les plus représentatifs du phénomène de foirage dans la région, on peut citer celui du synclinal perché de Jbel Bourdim (fig. 1).

En effet le versant affecté est formé par des marnes vertes du Crétacé supérieur, injectées par des affleurements triasiques et surmontées par les bancs gréseux du Miocène post-nappe. Le foirage observé sur ce versant est le résultat d'un processus composé de deux étapes:

- a. Les eaux de pluie infiltrées à travers les bancs gréseux, perméables et fissurés se sont accumulées au niveau de la zone de contact stratigraphique. Elles ont, de ce fait, provoqué la saturation de la partie supérieure des marnes en les portant au-delà des limites d'Atterberg (pour ce cas précis la limite de plasticité est de 26%, celle de liquidité est de 46%).
- b. Les marnes ainsi imbibées ont, sous l'effet de la pression des bancs gréseux, flué en entraînant avec elles une partie de ces bancs qui se sont détachés de la corniche sous forme de gros paquets. Les blocs ainsi foirés s'enfoncent dans la masse plastique et forment alors un ensemble plus ou moins chaotique. La route qui longe le bas du versant est parfois endommagée par les masses de blocs dont la taille est supérieure à 2m.

CONCLUSION

Des précipitations parfois exceptionnellement fortes. Des substrats tendres ou peu cohérents formés en majorité de minéraux argileux gonflants. Une zone de collines à pentes plus ou moins fortes. Ce sont là les principaux facteurs qui ont fait des pays préirifains de l'oued Sebou, une zone riche en mouvements de masse liés surtout à la solifluxion.

Selon qu'il s'agit d'une couverture colluviale, d'un manteau d'altération ou du substrat lui-même, l'action de l'eau diffère. Quand il s'agit d'une couverture colluviale, l'eau imbibe cette couverture et arrive au niveau du substrat non altéré dont les minéraux sont encore plus ou moins bien, tassés et bien organisés, donc imperméables. Il se crée un plan d'accumulation d'eau qui joue comme lubrifiant et déclenche le glissement de la couverture colluviale sous forme pelliculaire ou boueuse.

Si l'eau s'infiltre dans le substrat déjà altéré sur une certaine épaisseur ou si l'eau s'infiltre à travers une roche dure mais fissurée et diaclasée, arrive sur une formation marneuse et y stagne, l'organisation des argiles de cette formation finit par lâcher et l'eau s'infiltre progressivement de plus en plus profondément, ce qui fait qu'une grande épaisseur du substrat est affectée. Lorsque la limite de liquidité des argiles est atteinte, tout le volume du substrat concerné glisse sous l'effet de son poids. Le glissement se déclenche d'autant plus vite que la pente du versant est forte.

La présence en grandes proportions de smectites dans les marnes qui forment la majorité des affleurements du Préfif central est le facteur prépondérant qui accélère la mise en mouvement de masses. En effet ces argiles ont une surface spécifique très grande. Ils peuvent par conséquent absorber beaucoup d'eau. L'acquisition de cette eau entre les feuillets augmente leur volume et les rend particulièrement aptes à fluer.

Les phénomènes de glissement sont déclenchés par des conditions particulières, mais le mouvement de masse ne s'interrompt pas sous les conditions normales. Il continue à une moindre vitesse et cause beaucoup de perturbations aux constructions et à l'infrastructure routière. Il pèse par conséquent sur le budget de l'état et des communes. Il doit être considéré et traité comme risque naturel majeur.

Pour pouvoir cerner l'évolution des processus des mouvements de masse, il est nécessaire d'adopter de nouvelles méthodes plus efficaces telles que la télédétection et les images satellites. Ces outils fournissent des données à différentes échelles de temps et d'espace. Ils constituent donc des outils de suivi d'un intérêt considérable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FALEH, A. (1989): «Les pays du Sebou préfifain: étude géomorphologique». Thèse de Doctorat de l'Université de Tours. 228 p. Université François Rabelais, Tours, France.
- FALEH, A. (1995): «Aspect de l'érosion et de la dynamique fluviale dans la partie amont de l'oued Sebou». *Revue de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Oujda*, n° 5, pp. 42-55.
- FALEH, A. (2000): «Cartographie des risques naturels liés à la morphodynamique des versants; application sur le bassin versant de l'oued Elkebir». *Revue de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïss — Fès*, n° 4, pp. 173-200.
- MAURER, G. (1976): «Les mouvements de masse dans l'évolution des régions telliennes et rifaines d'Afrique du nord». Acte du Symposium sur les versants en pays méditerranéens, Aix en provence, Centre d'Etudes Géologiques et de Recherches Méditerranéennes, pp. 133-137.
- MAURER, G. (1988): «Héritage et dynamique actuelle dans les bassins versants, exemples du Rif et Préfif». Géomorphologie et dynamique des bassins versants élémentaires. *Etudes méditerranéennes*, fascicule 12, CIEM, Poitiers, pp. 179-198.
- MOUROUX, P., MARGRON, P. et PINTÉ, J.C. (1989): La construction économique des sols gonflants» Edition BRGM, Paris, 125 p.
- FLAGEOLLET, J.C. (1989): «Les mouvements de terrain et leur prévention» collection Géographie, édition Masson. Paris, 224 p.