UNE APPROCHE SIMPLE DE LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE GLISSEMENT DE TERRAINS

Muhsin Élie RAHHAL, École Supérieure d'Ingénieurs de Beyrouth, Université Saint Joseph, Beyrouth, LIBAN
Robert NINI, École Centrale de Paris, LMSSMAT, Chatenay- Malabry, FRANCE
Jean Louis FAVRE, École Centrale de Paris, LMSSMAT, Chatenay- Malabry, FRANCE

RÉSUMÉ
Cinq cas importants de glissements de terrain au Liban ont été étudiés. La topographie montagneuse et les nappes aquifères sont parmi les causes principales des risques de glissement. Le sol concerné est à base argileuse de plasticité moyenne et considéré géologiquement comme appartenant aux formations du crétacé et des dépôts de quaternaire. En se basant sur la répartition géographique des modalités des facteurs causant l'instabilité, une cartographie de l'aléa MVT est lancée; c'est un compromis entre les approches expertes, la reconnaissance de forme et les modèles numériques. La présente étude devra aider à améliorer les techniques de confortement.

ABSTRACT
Five important landslides in Lebanon have been analyzed. The mountainous topography and its different aquifers are among the principal reasons for a landslide risk. The concerned soil is clayey of medium plasticity and is considered geologically as belonging to cretaceous formations and quaternary deposits. Based on the geographical repartition of different modalities of factors causing these cases of instability, a new landslide hazard mapping method is launched, which is a compromise between the « expert » method, recognition of shape and numerical methods. This study would help in improving remediation techniques for future instability problems.

1. INTRODUCTION

Le Liban connaît pour la deuxième année consécutive, un hiver dur avec des pluies abondantes. Ces intempéries sont à la base de plusieurs cas d'instabilité des terrains surtout dans les régions montagneuses. En janvier 2004, deux glissements menaçant des habitations dans les régions de Broumana et de Machghara ont été répertoriés. Le mouvement de terrain est défini comme étant le déplacement plus ou moins brutal d'une masse de terrain meuble ou rocheux. Sous ce titre, mouvements des terrains, viennent se regrouper plusieurs phénomènes qui sont très variés selon leurs morphologies, mécanismes, types de matériaux, et l'amplitude du déplacement. Ces mouvements sont l'un des phénomènes géodynamiques les plus répandus à travers la planète (Antoine 1990).

Au Liban, la topographie montagneuse et ses différents aquifères sont parmi les causes principales d'instabilité. A l'époque des périodes géologiques, des glissements vastes ont eu lieu à Habchite, Nabeh El-Assal, Jebel Sannine, El-Modairej, Ain Zhalta, Jebel Drassia, El Zire, Ainata et à Deir El-Moukhalles. Ces glissements sont actuellement en état stable. Les glissements récents se sont produits durant les dix dernières années, à l'exception de celui de Aaqoura qui a été déclenché pour la première fois durant le siècle dernier.

En général, l'augmentation du nombre des victimes des glissements est liée à une croissance de la population surtout dans les zones présentant un certain risque d'instabilité. Des progrès ont eu lieu afin de développer de nouvelles techniques pour minimiser l'impact des glissements (Popescu 2002). L'élimination complète du risque est impossible dans la majorité des cas, mais en se basant sur les facteurs causaux inventoriés, une cartographie de l'aléa peut être faite. Cette carte permet de limiter les risques inhérents à de tels phénomènes sur les populations menacées. Ainsi, une carte de l'aléa peut être dressée en utilisant des photos aériennes, des plans topographiques et géologiques et en tenant compte de l'histoire de la région en ce qui a trait aux glissements précédents.

2. DONNEES D'ENQUETE: LES CINQ CAS DE GLISSEMENT

Une première base de données sur les glissements (Sfireh, Béharré, Aaqoura, Dahr el Baidar, Kfarfaqoud), les facteurs permanents, et les facteurs déclenchants a été établie.

Les glissements se situent dans la région centrale du Liban connue par le Massif du Liban. Leurs tailles varient de quelques dizaines à quelques milliers de mètres. Ils se sont produits sur des formations datant du crétacé supérieur ou des dépôts quaternaires.

Le massif du Liban qui est localisé entre 800 et 1800 m d'altitude, reçoit une pluviométrie entre 1100 et 1700 mm et a relativement le même climat. La végétation couvrant ces zones est composée d'arbres fruitiers comme les pruniers et les pommiers, mais aussi de pins et de chênes. Par ailleurs, l'activité tectonique est présente

parce que le massif est limité à l'Est par la faille majeure de Yammouneh, continuation de la faille de la Mer Morte et par d'autres failles mineures à l'Ouest. Néanmoins, le facteur prédominant déclenchant ces glissements demeure l'eau.

Des analyses plus poussées ont montré que la forme de la surface de rupture, plane ou circulaire, est liée à l'épaisseur de la couche superficielle glissée et à l'angle de la pente naturelle. En fait, pour les glissements présentant des plans de rupture planes, l'angle de la pente naturelle ne dépasse pas 12 degrés, avec une épaisseur maximale du sol glissé atteignant 8 mètres. Alors que pour les autres glissements avec des plans de rupture rotationnels, l'angle de la pente naturelle et l'épaisseur de la couche superficielle glissée peuvent atteindre 25 degrés et 15 mètres respectivement.

3. SYNTHESE DES FACTEURS CAUSAUX

En se basant sur l'analyse de similitude entre les facteurs causant les cinq cas de glissement, des relations entre le comportement du sol glissé et les paramètres du sol concerné peuvent être établies. Ces conclusions peuvent être d'une importance pour la surveillance des glissements n'importe où dans le monde (Rahhal et al. 2003).

Les facteurs qui déterminent le risque d'instabilité peuvent être divisés en deux groupes: Les facteurs permanents et les facteurs déclenchants. Les facteurs permanents comme la topographie, la géologie, les paramètres géotechniques du sol, la végétation, l'hydrogéologie, et le climat sont les caractéristiques du milieu et leur distribution spatiale dans une région donnée détermine la distribution spatiale de la susceptibilité relative du glissement dans cette région (Carrara et al. 1995). Les facteurs déclenchants conditionnent non seulement l'occurrence spatiale du phénomène mais aussi son occurrence dans le temps.

Pour les cinq glissements étudiés, une certaine similitude entre les facteurs causaux comme la géologie, l'hydrogéologie, la topographie, le climat, la végétation, la géomorphologie et la tectonique permet d'établir des relations de base entre le comportement de ces glissements et leurs paramètres de sol. Cette analyse permet de noter l'absence d'effet stabilisateur d'une simple végétation formée d'arbustes, pruniers et pêchers. Par ailleurs, une relation entre la forme du plan de rupture d'une part et l'angle de pente naturelle et l'épaisseur de la couche superficielle glissée d'autre part peut être établie. Il y a aussi le rôle des complexes basaltiques inter stratifiés de l'Aptien supérieur contenant une grande proportion d'argile rouge (Terra-rosa) qui agissent comme une couche savon. Et enfin, le rôle de l'eau, provenant de la pluie ou de la fonte des neiges, est reconnu comme le facteur déclenchant des glissements en l'absence du facteur tectonique.

4. CARTOGRAPHIE DES ZONES INSTABLES

L'exploitation et l'analyse de la base de données (Favre et al. 1999) permettent la recherche des facteurs significatifs pour la caractérisation de l'aléa, ces facteurs supposés être impliqués dans l'occurrence d'un glissement de terrain. Une partition de la carte de chaque facteur en trois types de zones est réalisée en se basant sur l'analyse des facteurs et les seuils qu'ils présentent dans les zones reconnues instables. Chaque type est appelé modalité. Le premier type de zone est caractérisé par un risque quasi nul de glissement, pour cette modalité on attribue la note 0. Le deuxième type est défini pour un risque moyen et une modalité notée 1 et le troisième est défini avec un risque important et une modalité notée 2.

A noter que ces facteurs n'ont pas tous la même importance et que les réalisations de leurs modalités ne sont pas toujours indépendantes: la détermination du poids relatif de chaque facteur d'instabilité n'est pas simple et la détermination du risque de glissement par addition des notes des modalités (même pondérées les unes par rapport aux autres) ne peut être qu'indicative pour le décideur. C'est le propre de l'approche experte.

4.1 Cartographie des différents facteurs

4.1.1 Cartographie du facteur géologie

Géologiquement, les formations sédimentaires sont relativement dominantes sur tout le Liban et particulièrement sur le Massif du Liban (Dubertret 1955).

Les modalités adoptées ont été comme suit:

- Modalité 0 : Formation compacte et homogène où il ne peut y avoir de glissements,
- Modalité 1 : Formation hétérogène, alternance de marnes et de bancs de calcaires fins,
- Modalité 2 : Formation tendre

A titre d'exemple, la modalité 1 qui est le plus répandue regroupe:

- les formations de calcaires lités fracturés et fortement altérés,
- les formations du Crétacé,
- les marnes blanches et calcaires sub-récifaux de l'éocène et de l'oligocène
- les poudingues grossiers torrentiels de miocène et de pliocène,
- les conglomérats marneux et calcaires récifaux de miocène.
- les complexes basaltiques inter stratifiés avec une forte proportion d'argile rouge (Terra rosa).

On obtient ainsi la carte de la figure 1 où la modalité 1 a été hachurée E-W puisque la géologie de la plupart des sols glissés a la modalité 1. Elle est tirée de la carte géologique au 1: 200 000ème. (Dubertret 1955)

4.1.2 Cartographie du facteur pente

Le rôle des pentes des versants dans l'occurrence d'un glissement de terrains est bien établi. Les modalités adoptées ont été:

- Modalité 0: pente < 15º pentes faibles
- Modalité 1: 15º < pente < 30º pentes moyennes
- Modalité 2: 30º < pente pentes fortes

A partir d'un fond topographique, on obtient la carte de la figure 2 où la modalité 2 a été hachurée N-S puisque les pentes de la plupart du sol glissé ont la modalité 2; Le réseau de faille tiré de la carte géologique au 1 : 200 000ème y est aussi représenté. (Dubertret 1955)

Figure 1. Cartographie du paramètre géologie.

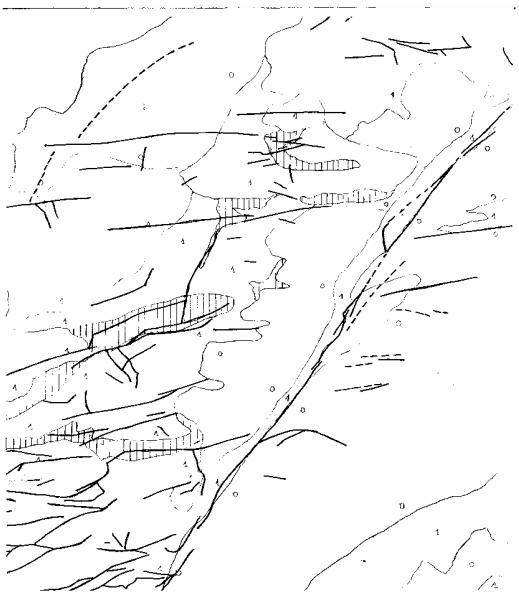

Figure 2. Cartographie du facteur pentes avec failles.

4.1.3 Cartographie du facteur sol

Un très grand nombre de types de sols figure sur la carte des sols au 1 : 200 000ème utilisée. Mais, en général, les sols glissés ont une base argileuse de plasticité faible à moyenne. Les regroupements ont été faits ainsi:

Modalité 0 :
- sols gris (continus seulement sur basaltes anciens ou en topographie plane, favorable à l'altération),
- sols rouges (Terra Rosa) sur calcaire compact

Modalité 1 :
- sols jaunâtres de montagne, équivalents des sols rouges en altitude, sur calcaire compact.
- sols de mélanges, sur marnes, calcaires, grès et basaltes alternants
- sables blancs grisâtres, sur marnes blanches.

Modalité 2 :
- éboulis et glissements en masse,
- sols noirs ou gris (très argileux et généralement calcaires)
- sols tourbeux, sols fauves côtiers
- sables côtiers récents et actuels

A partir de la carte au 1 : 200 000ème (Gèse 1956) on obtient la figure 3. La modalité 2 est hachurée SW-NE qui est la modalité de la plupart des sols glissés.

4.1.4 Cartographie du réseau hydrographique

Les différentes modalités sont:
- Modalité 0: Région généralement sans nappes ou à nappes très locales,
- Modalité 1: Région avec nappes locales ou discontinues,
- Modalité 2: Région avec nappes étendues.

Les cas d'étude étant sensibles aux fluctuations et en modalité 1, nous avons hachuré celle-ci NW-SE pour obtenir la figure 4 à partir de la carte d'hydrogéologie au 1 : 200 000ème.(Nations Unis 1967).

4.1.5 Autres facteurs

La tectonique, bien que peu influente a été reportée sur la carte des pentes (figure 2). La végétation, toujours d'arbustes et vergers dans les cas d'étude, n'a pas été cartographiée ainsi que la pluviométrie toujours très importante et supérieure à 1000 mm (carte pluviométrique (Ray 1984).

4.2 Cartographie de l'aléa glissements de terrains en formations meubles

Le croisement des quatre cartes de facteurs, sachant une végétation unique d'arbustes et vergers et une pluviométrie importante, permet d'obtenir la carte de la figure 5 où les zones à 4 hachures, regroupant les facteurs analysés dans la présente étude, sont

pratiquement inexistantes ou très petites. Ceci pose le problème de l'échelle d'étude qui s'est fait au 1 : 200 000ème, seule la géologie ayant été accessible au 1 : 50 000ème. Quatre des cas d'étude figurent sur cette carte, le cinquième, le glissement de Kfarfaqoud se trouvant au sud de notre représentation actuelle.

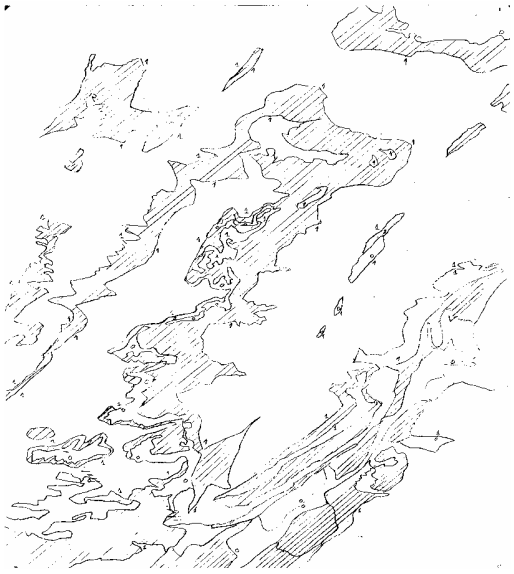

Figure 3. Cartographie du paramètre sol.

Figure 4. Cartographie du paramètre réseau hydrographique.

5. CONCLUSION EST PERSPECTIVES

Cette première tentative de cartographie de l'aléa MVT au Liban pour les formations hétérogènes meubles est basée essentiellement sur l'analyse des paramètres causaux permanents et déclenchants. Elle vient de couvrir l'insuffisance de l'utilisation des méthodes d'analyses basées principalement sur le calcul. La relativité du choix des paramètres causaux limite la capacité de cette méthode. En effet, pour une pente donnée, les paramètres qui présentent l'aspect le plus défavorable à la stabilité, peuvent ne pas l'être pour une autre zone. Toutefois, cette méthode reste générale, simple et pratique. Cela explique pourquoi par exemple, dans la cartographie du paramètre pente, le glissement plan de Aaqoura se trouve dans la zone à modalité 0 (pente < 15 degrés) vu le type de leurs formations tendres, alors que les glissements circulaires de Bécharré et de Daher-El-Baidar ont des pentes à modalité 1. Concernant la cartographie des quatre paramètres superposés, les zones présentant ces paramètres en même temps n'existent pas vu l'échelle des plans utilisés. Ces plans de cartographie peuvent être intéressants pour les travaux à long terme de planification des aménagements de territoires et de transport. Mais pour l'exécution ponctuelle, l'étude spécifique reste irremplaçable (Margaa et al. 1998).

Cela explique pourquoi par exemple, dans la cartographie du paramètre pente, le glissement plan de Aaqoura se trouve dans la zone à modalité 0 (pente < 15 degrés) vu le type de leurs formations tendres, alors que les glissements circulaires de Bécharré et de Daher-El-Baidar ont des pentes à modalité 1. Concernant la cartographie des quatre paramètres superposés, les zones présentant ces paramètres en même temps n'existent pas vu l'échelle des plans utilisés. Ces plans de cartographie peuvent être intéressants pour les travaux à long terme de planification des aménagements de territoires et de transport. Mais pour l'exécution ponctuelle, l'étude spécifique reste irremplaçable (Margaa et al. 1998).

L'étude des pentes est peut être le problème géotechnique le plus dominé par l'incertitude, ce qui fait que les techniques probabilistes constituent des moyens rationnels pour quantifier et incorporer l'incertitude dans la conception et l'analyse des talus. Pour cela, une approche probabiliste est en train d'être appliquée à ces glissements. Cette étude fiabiliste est indispensable vu que le facteur de sécurité obtenu par un calcul déterministe n'indique pas la probabilité de rupture et ne nous informe que sur la stabilité relative d'une pente. Ceci implique qu'en se basant seulement sur le facteur de sécurité, la comparaison de la sécurité des différentes structures n'est pas suffisante puisque les incertitudes des différents paramètres ne sont pas prises en considération.

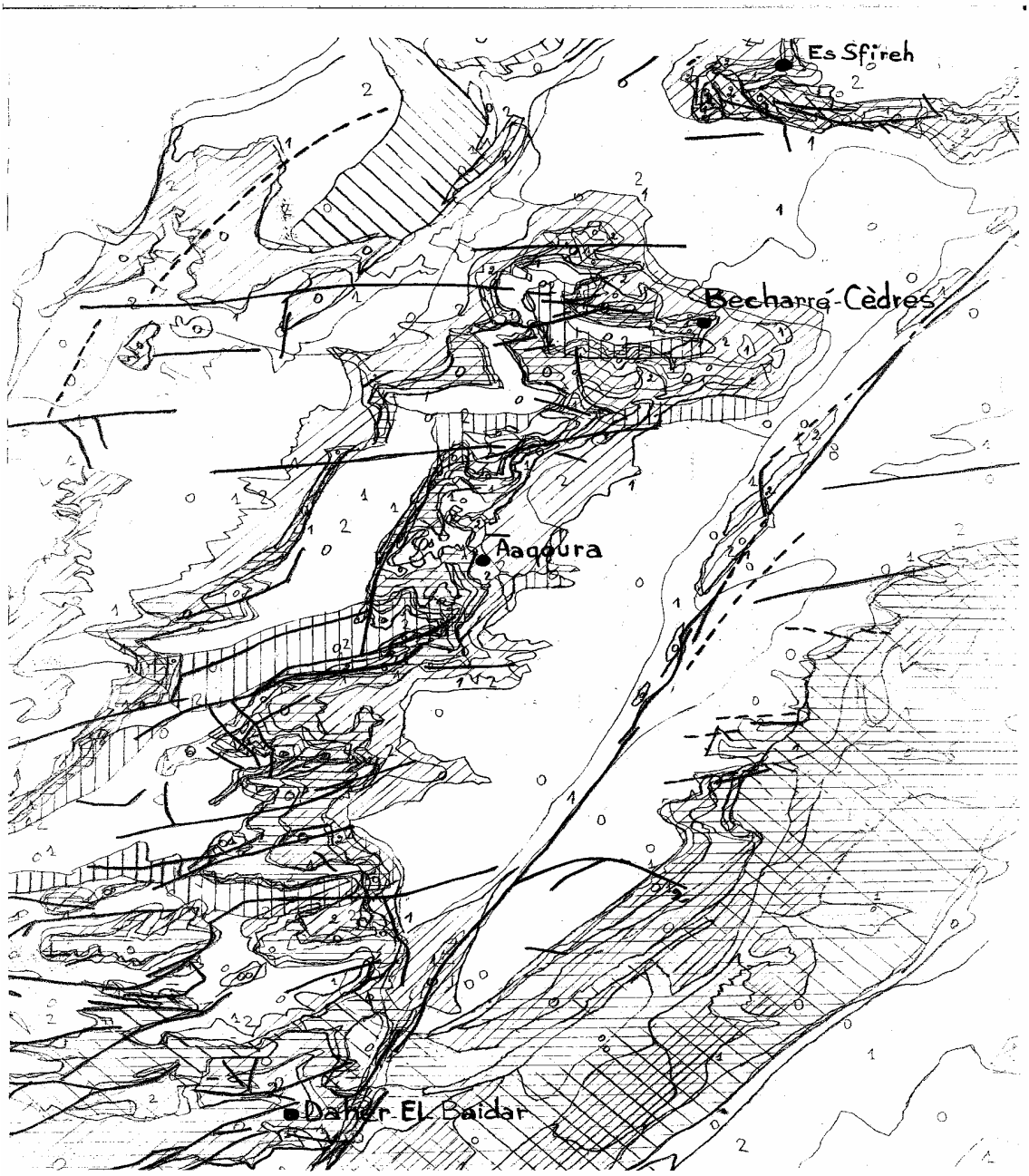

Figure 5. Cartographie des tous les paramètres superposés.

Le but de cette synthèse probabiliste pour l'étude de la stabilité des cinq glissements au Liban sera d'améliorer la fiabilité des relations déjà établies pour le comportement des sols glissés afin de pouvoir les appliquer aux glissements partout dans le monde. Nos études présentement en cours devront être publiées incessamment. Finalement, le rôle du géotechnicien et sa connaissance des paramètres du sol doivent rester prépondérants. Il ne s'agit donc pas seulement d'utiliser des programmes informatiques mais surtout de savoir en exploiter les résultats. Pouvoir rallier le calcul probabiliste, au calcul déterministe, avec un bon jugement géotechnique, serait la meilleure solution.

REFERENCES

ANTOINE P. 1990. Mouvements de terrain. Introduction à l'étude du phénomène. Université européenne d'été sur les risques naturels, session septembre : Mouvements de terrain.

CARRARA, A., CARDINALI, M., GUZZETTI, F., and REICHENBACH, P. 1995. GIS-based techniques for mapping landslide hazard. Edited by A. Carrara and F. Guzzetti. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands: 135-176.

DUBERTRET, L. 1955. Carte géologique du Liban au 200.000^{E}. Reprint with the financial help of the European Union, Beirut, February 2000.

FAVRE, J.L., REZIG, S., LEROI, E. 1999. Landslide hazard mapping. Proceedings 8th International Conference on the Application of Statistics and Probability to soils and structure engineering, Sydney, Australia, Balkema Editions: 255-262.

GESE, B. 1956. Carte de Reconnaissance des Sols au Liban 1:200.000ème, Ministère d'Agriculture, Beyrouth, in BRGM-Orléans.

NATIONS UNIES 1967. Plan hydrologique du Liban, 1 :200.000ème in BRGM-Orléans.

MARGAA, K. and ABDELGADER, A. 1998. Une méthodologie de cartographie des zones potentiellement instables- Application à la région d'Al Hoceima au Maroc. Canadian Geotechnical Journal, **35**: 460- 470.

POPESCU, M.E. 2002. Landslide causal factors and landslide remedial options. Keynote Lecture. Proceedings, third international conference on landslides, slope stability and safety of infrastructures, Singapore: 61-81.

RAHHAL, M.E., NINI, R., FAVRE, J.L. 2003. Analysis of Factors Causing Slope Instabilities. Proceedings 56th Canadian Geotechnical Conference, Winnipeg, CANADA, Volume 2, 368-375.

RAY, J. 1984 Carte pluviométrique du Liban, 1 :200.000ème, Ministère des Travaux Publics, Beyrouth, in BRGM-Orléans.