

# Instabilités de terrain dans les hautes terres de l'Ouest Cameroun : caractérisation géologique et géotechnique du glissement de terrain de Kekem

## *Land instability in the highlands of western Cameroon : geological and geotechnical characterization of the Kekem landslide*

**Balla ABOUBAKAR<sup>1</sup>, Armand KAGOU DONGMO<sup>1\*</sup>, David Guimolaire NKOUATHIO<sup>1</sup> & François NGAPGUE<sup>2</sup>**

1. Université de Dschang, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire de Géologie de l'Environnement, BP : 67 Dschang ó Cameroun \*(kagoudongmo@yahoo.fr).

2. Université de Dschang, Institut Universitaire de Technologie Fotso-Victor, Département de Génie Civil, BP: 134 Bandjoun, Cameroun.

**Résumé.** Les hautes terres de l'Ouest Cameroun (H.T.O.C.) sont caractérisées par un ensemble morphologique très complexe, constitué de montagnes volcaniques, de hauts plateaux ainsi que de plaines d'effondrement. Les altitudes varient entre 800 m et 2740 m. La végétation de forêt et de savane arborée est fortement colonisée par la population. La localité de Kekem se trouve dans la zone de transition entre les affleurements d'âge Crétacé du bassin de Douala et les H.T.O.C. Le flanc étudié est recouvert d'altérites formées à partir de roches à faciès hétérogène, à structure tectonique et à composition minéralogique facilement altérable. Les caractéristiques géotechniques des sols montrent un matériau argileux, à forte porosité (>29%), à faible cohésion (< 0.5 bar) et à angle de frottement élevé (15°622°). Ces caractéristiques associées aux fortes pentes (>30°), aux pluies importantes (140062500 mm) et à l'action anthropique (déforestation, mauvaises techniques culturales, urbanisation non contrôlée), sont à l'origine d'un glissement de terrain de type rotationnel à translationnel le 20 octobre 2007 à Kekem. Les dégâts sont importants: une personne décédée, la route nationale N°5 coupée, des habitations et des plantations détruites. Du fait de la récurrence des mouvements de masse dans les H.T.O.C., des solutions ont été proposées à partir du site témoin de Kekem pour réduire les dégâts.

**Mots-clés :** Hautes Terres du Cameroun, glissement de terrain, caractéristiques géotechniques, facteurs naturels et anthropiques.

**Abstract.** The highlands of western Cameroon (H.W.C) are characterized by a very complex morphology. It is composed of volcanic mountains, high plateaus and collapsed plains. Altitudes of this region vary from 800 to 2740 m. Forest and savannah vegetation are colonized by the population. The area of Kekem is located at the transitional zone between the Douala Cretaceous basin and the highland of western Cameroon. The studied flank is covered with alterites formed from rocks with heterogeneous facies and with tectonic structure and mineral composition easily alterable. Geotechnical characteristics of these alterites show a clayey material, with high porosity (>29%), low cohesion (< 0.5 bar) and high angle friction (15°622°). These characteristics, associated to the high slopes (>30%), heavy rainfall (14006 2500 mm) and anthropic action (deforestation, bad farming techniques, uncontrolled urbanization), have caused a landslide of rotational and translational type on October 20<sup>th</sup> 2007 at Kekem. The damage is significant: a deceased person, national road N°5 cut and destroyed homes and plantations. The study of the Kekem landslide allows to suggest solutions in order to reduce damage in the western Cameroon highland, where landslides is a common hazard.

**Keywords :** Western Cameroon highland, landslides, geotechnical characteristic, natural an anthropic factors.

### **Abridged English version**

The highlands of western Cameroon located between latitudes 4°67'N, and longitudes 9°611'E form a well individualized geographical entity. Its general morphology is made of a series of plateaus separated by collapsed plains or basins (Ngoufo 1988, Morin 1989). The Kekem region is a transitional zone between the Douala basin (700 m altitude) and the H.W.C. (140062740 m altitude) (Fig. 1). Rainfall in this area reaches 1400 to 2500 mm/year) in July, August and October (wettest period of the year). This morphology exposes the H.W.C to natural hazards, mostly of meteorologic origin (Tab. 1, Fig. 2) such as landslides, rock falls, storms and flooding (Tchoua 1984, 1989, Ayongue *et al.* 2004; Zogning & Tiafack 2004, Aboubakar 2010). The present paper aims to present geological and geotechnical properties of Kekem soils, then to reconstitute

the natural and anthropogenic factors that caused the October 20<sup>th</sup>, 2007 Kekem landslide (Fig. 3A). The phenomenon has produced a brutal displacement of an important mass of water saturated soil (Aboubakar 2010). The front of the landslide, weakened by heavy rains, was detached from the flank of a dome and then slipped, exerting pressure on the pavement that is cut on a distance of about 25 m. The mass of soil flowed in the valley and reached the Ngoum River (Fig. 3B). The main damages recorded were: destruction of the Highway, houses, plantation and loss of human life. In the upper part of the ablation zone, we observe many large fissures on the soil; these could be marks of future instability. Ten months after this first landslide, an another landslide, happened on August 27<sup>th</sup>, 2008, has increased the limit of the old landslide to above 40 m.

The landslide was occurred on the northern side of the interfluvies, which is very uneven ( $>30^\circ$ ) (Fig. 5). It was likened to a mudflow due to the important volume, spontaneity and high speed of the movement of the mobilized materials. The movement was rotational in the upper part and translational in the lower part. The Kekem landslide scar presents an amphitheater-like shape, which can be divided in three units (Fig. 6): uphill ablation zone, drainage channel zone and an accumulation zone at the bottom. A geotechnical analysis shows the following characteristic (Tabs. 2, 3): a high porosity ( $>29\%$ ), a predominance of fine grain particles ( $>40\%$ ), a more or less weak cohesion ( $<0,5$  bar) and a high angle of internal friction ( $15^\circ$  à  $22^\circ$ ).

The factors that might cause these landslides are: (1) natural such as steep slopes (Fig. 4) ( $>30^\circ$ ), high degree weathering of mylonitic gneiss and dolerite rock (Fig. 8), important volume of alterites with high porosity, high content of fine grain particles (clay and silts) (Fig. 11), weak cohesion of materials, high angle of internal friction, (2) triggering factors such as hydraulic action and gravity, (3) anthropogenic factors (deforestation, bad land use system favoring the destabilization of the material). Hydraulic action due to seasonal increase of the hydrodynamic pressure, related to the heavy rains and water table fluctuations are the most important factors that cause the loss of stability of materials. Furthermore, the presence

of large blocks of rocks (40 to 50%) within loose materials represents an important supplementary loads that could accelerate and amplify the movement.

The soil section of the area is complete since it constitutes the following soil horizons (Figs. 4, 7): (1) Horizon O, 10 cm thick, dominated by organic matter; (2) Horizon A, 50 cm thick, rich in humus, (3) Horizon B, 50 cm thick, which is the mineral horizon and finally (4) Horizon C, more than 4 m thick, divided in to an alloterite and an isalterite levels. The whole section is sufficiently thick (about 5 m) to be mobilized and causes a landslide of a major scale.

In this study, we reconstituted three following main stages concerning the evolution of the Kekem landslide: (1) development of cracks, (2) widening of cracks and (3) brutal displacement stages. These stages occur over several years and may be transposable on the whole H.W.C. due to numerous similarities (Zangmo Tefogoum *et al.* 2009, Aboubakar 2010).

Solutions have been suggested to minimize the human loss and material damages in the Kekem region in particular and in the W.H.C. in general. These solutions are: materialization of unsteady zones, sensitization of the population, demarcation of landslide risk zones (Kouayep Lawou 2003) and transformation of the slopes into steps of critical height (Tab. 4), according to the abacus of Taylor-Biarex (Philipponnat & Hubert 1997).

## INTRODUCTION

Les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun (H.T.O.C.) forment un horst situé entre  $567^\circ$  de latitude Nord et  $9611^\circ$  de longitude Est. Sa morphologie est faite d'un ensemble de plateaux qui sont parsemés par endroit de plaines ou de bassins d'effondrement (plaines du Noun, des Mbo, de Ndop). Les altitudes varient entre 700 et 2740 m et les grands édifices volcaniques, notamment le mont Bambouto, le mont Bamenda et le mont Oku dominant la région. Ils sont tous alignés suivant la direction  $N30^\circ E$  de la ligne volcanique du Cameroun (Fig. 1),.

Les H.T.O.C. constituent une région sujette aux catastrophes naturelles. Nous citerons: (a) les catastrophes en rapport avec l'activité volcanique de la ligne volcanique du Cameroun et dont les plus récentes sont les éruptions volcaniques du mont Cameroun en 1999 et 2000, ainsi que les émanations des gaz toxiques des lacs Monoun et Nyos respectivement en 1984 et 1986; (b) les catastrophes d'origine géomorphologique comme les glissements de terrain et les chutes de blocs; et (c) les catastrophes d'origine météorologique, les plus répandus, qui regroupent les orages et les inondations (Tab. 1, Fig. 2).

La Direction de la Protection Civile du Cameroun recense chaque année de nombreuses personnes tuées et des sans-abris, ainsi que de nombreuses destructions des habitations, des écoles et des hôpitaux à cause des risques naturels.

Le climat de la région est tempéré dans l'ensemble et

dépend d'une unité de facteurs qui sont liés non seulement au relief et à l'exposition de cette région aux grands courants atmosphériques, mais aussi à sa position géographique et à l'éloignement de la mer (Tsalefac 1999). Les précipitations annuelles sont abondantes (1400 mm ÖPmoy Ö 2500 mm) avec des pics entre juillet et octobre, celles-ci diminuent du Sud vers le Nord tout en augmentant au voisinage des massifs montagneux. Le réseau hydrographique est lié à la morphologie de la région. La végétation de forêt et de savane arborée est fortement anthropisée par une population majoritairement agricole.

Sur le plan géologique, la région est dominée par des formations pétrographiques très variées. En général, sur le socle granito-gneissique panafricain reposent des formations volcaniques (coulées basaltiques rhyolitiques et trachytiques et projections basaltiques et ignimbritiques) d'âge tertiaire à actuel (Tchoua 1974).

La géomorphologie de la région, la nature géologique et l'âge des formations, ainsi que l'action tectonique se combinent aux conditions climatiques et parfois aux actions anthropiques pour faire des H.T.O.C., une région à fort risque de mouvement de masse (Aboubakar 2010). Tout au long de cette région, on observe des cicatrices d'anciens mouvements de terrain et des indices de mouvements avortés ou en cours. Nous avons choisi le site témoin de Kekem pour effectuer cette étude préliminaire du fait de ses caractéristiques géomorphologiques et de sa position intermédiaire entre les H.T.O.C. et le bassin côtier de Douala.

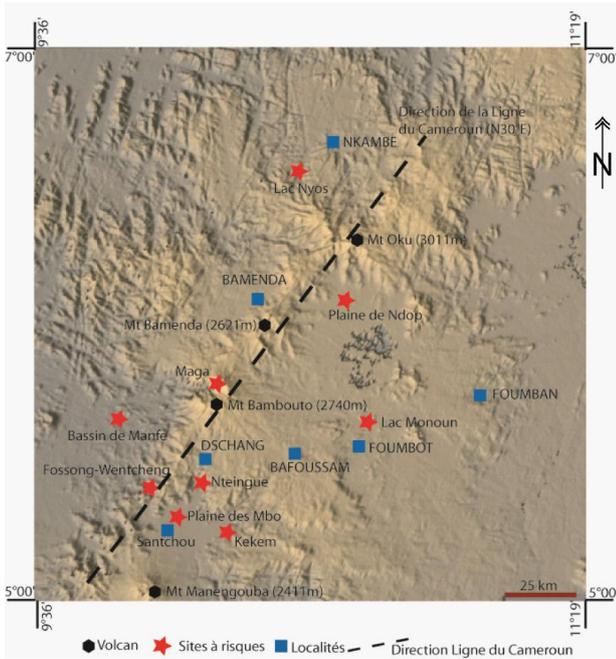


Figure 1. Modèle numérique de terrain montrant la morphologie générale des Hautes Terres de l'Ouest Cameroun (alternance de horsts volcaniques et de plaines d'effondrements) et l'alignement des volcans de la Ligne du Cameroun dans la direction N30°E.

Figure 1. Digital model showing the general morphology of the highland in western Cameroon (alternation of volcanic horst and collapse plains) and alignment of volcanoes of the Cameroon Volcanic Line in the N30°E direction.

Cette étude s'inscrit dans un programme général de recherche sur les mouvements de masse dans les H.T.O.C. Dans la présente publication, le glissement de terrain de Kekem est pris comme site expérimental et dont l'ensemble des résultats pourront être transposables à l'ensemble de la région. A cet effet, nous souhaitons présenter d'abord les caractéristiques géologiques et géotechniques des matériaux du site de Kekem et reconstituer par la suite les facteurs naturels et anthropiques responsables du déclenchement du glissement de terrain du 20 octobre 2007.

**PRESENTATION GENERALE DU SITE**

La région de Kekem se trouve dans la zone de transition entre le bassin côtier de Douala (Plaine des Mbo, environ 700 m d'altitude) et les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun (plus de 1400 m d'altitude). Cette zone de transition est marquée par un escarpement en escalier de près de 700 m. Une forte population d'agriculteurs y est installée. Les fortes précipitations dans la région entraînent des inondations fréquentes dans le bassin versant de Santchou (Fig. 3A), principalement pendant les mois de juillet à octobre, suivies d'une forte saturation des sols de la région en eau, éléments importants pour le déclenchement d'un mouvement de masse.

En effet, le samedi 20 octobre 2007, aux environs de 15H 30 mn, est survenu un déplacement brutal d'une masse importante de terre saturée en eau à côté du marché de Tchouaffé (quartier Djimbong) par Kekem, au point kilométrique 44 de la route nationale N°5.

Tableau 1. Localisation des glissements de terrain, inondations et les dégâts qui en résultent dans les hautes terres de l'Ouest Cameroun.  
Table 1. Location of landslides, floodings, and resulted damages in highlands of western Cameroon.

	Localisation des glissements de terrain	Dégâts	Année	Référence
1	Fossong-Wentcheng (SudOouest de Dschang)	6 morts et destruction des plantations	août 1978	(Tchoua 1984, 1989)
2	Pinyin	destruction des plantations	1991	(Rapport de la D.P.C. 2008)
3	Santa	12 morts	12 septembre 1992	(Rapport de la D.P.C. 2008)
4	Bafaka	destruction des plantations	1993	(Rapport de la D.P.C. 2008)
5	Nwa	destruction des plantations	2000	(Rapport de la D.P.C. 2008)
6	Limbe	24 morts	2001, 2009	(Ayongue <i>et al.</i> 2004)
7	Bana	destruction des plantations	10 septembre 2002	Ce travail
8	Maga	20 morts	20 juillet 2003	(Kagou Dongmo 2006)
9	Bafou	2 morts	2003	(Zogning <i>et al.</i> 2007)
10	Wabane	1 mort	2003	(Rapport de la D.P.C. 2008)
11	Fondonera (SW Dschang)	destruction des plantations	2008	Ce travail
12	Abuh (Fundong, NW Cameroun)	destruction des plantations	27 septembre 2007	(Rapport de la D.P.C. 2008)
13	Kekem	1 mort	20 octobre 2007	Ce travail
14	Bamenda	destruction des plantations et de la route	2009	Ce travail
15	Koutaba	2 morts	23 octobre 2011	Ce travail
16	Inondations des plaines de Mbo et de Ndop	destruction des plantations et de la route	Chaque année au mois d'août, septembre et octobre	(Bandji 1994)

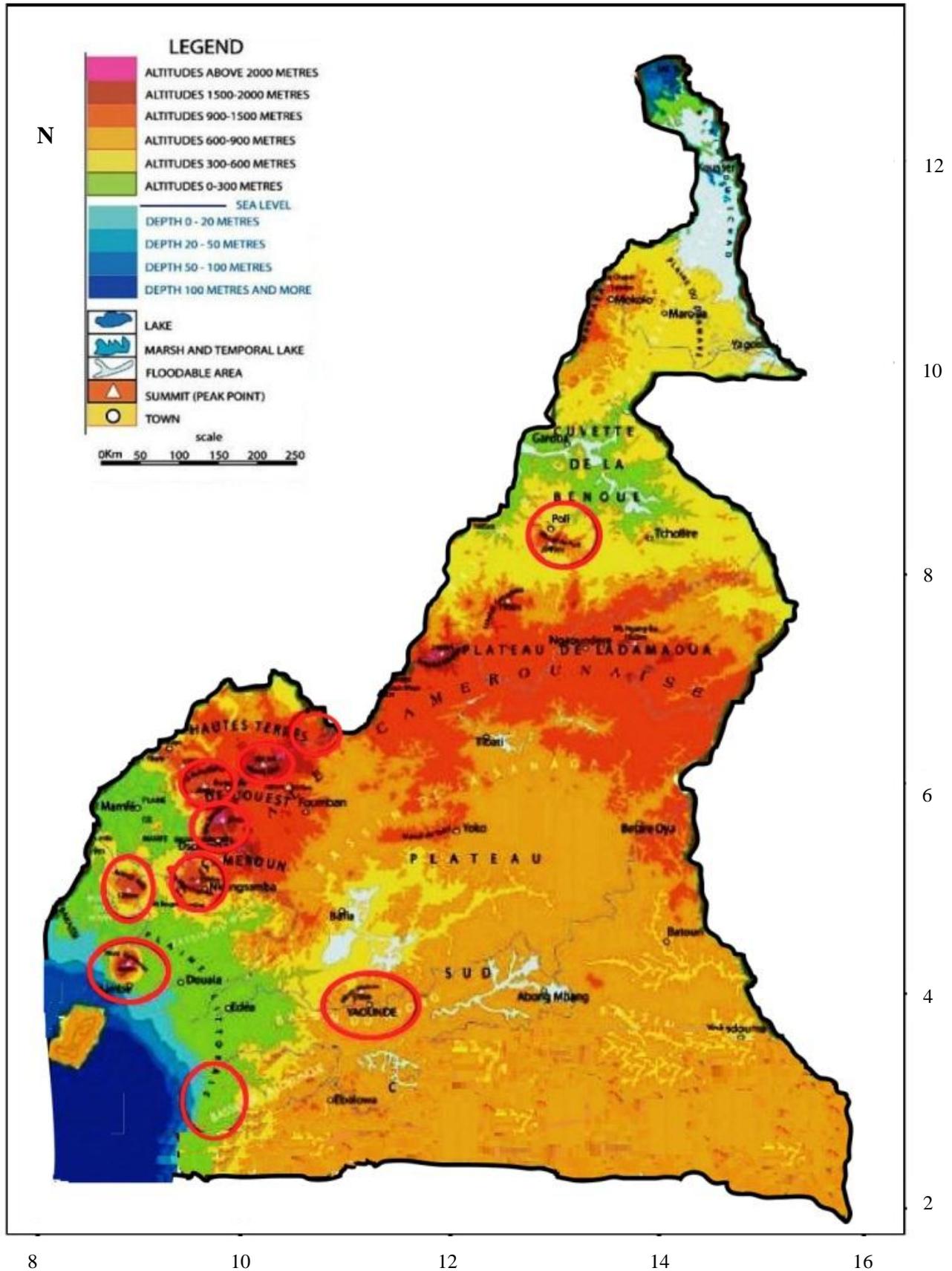


Figure 2. Principaux sites de mouvements de masse survenus au Cameroun (Zogning *et al.* 2007; complétée); La majorité de ces phénomènes (les zones entourées par des cercles rouges) se déroulent le long de la Ligne du Cameroun.

Figure 2. Localization of mass movements that happened in Cameroon (Zogning *et al.* 2007; completed); the majority of these phenomena (area inside the red circles) occur along the Cameroon volcanic Line.

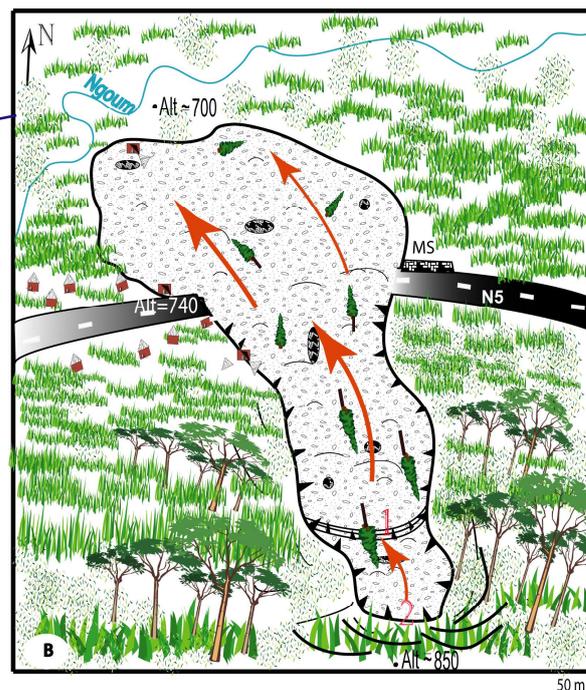
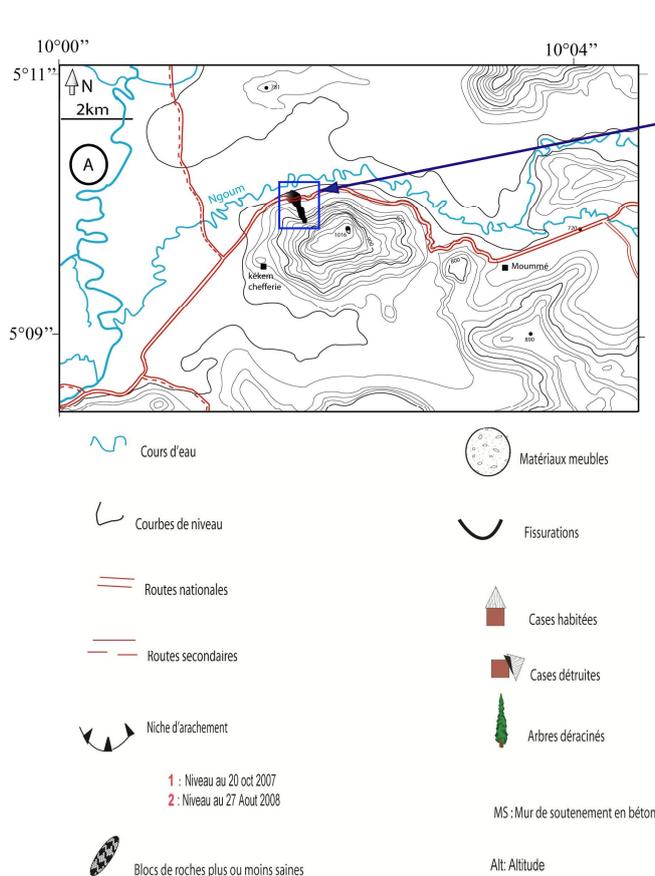


Figure 3. Cartographie détaillée de la zone de glissement de Kekem.

Figure 3. Detailed mapping of landslide area at Kekem.

Le front de la coulée de boue fragilisé par de fortes pluies s'est détaché sur le flanc d'un dôme et a glissé en faisant pression sur la chaussée qui s'est coupée sur environ 25 m. L'amas de terre s'est déversé dans le vide de la vallée et a atteint la rivière Ngoum (affluent du Nkam) qui coule en contre bas (à 100 mètres environ) de la route nationale N°5.

Les dégâts recensés sont les suivants (Fig. 3B):

- route nationale bitumée Nkongsamba-Bafang effondrée, ce qui a provoqué l'isolement d'une partie de la région de l'Ouest du fait de l'impossibilité du trafic sur cet axe vital où la circulation des biens et des personnes est d'habitude très dense,
- 12 maisons détruites faisant de nombreux habitants sans abris,
- plantations (palmiers à huile, manguiers, bananiers, caféiers, cacaoyers, ...) emportées,
- une victime (une femme âgée de soixante ans environ), des tombes exhumées.

#### Aperçu sur les mouvements de masses dans les H.T.O.C.

Les H.T de l'Ouest dans l'ensemble représentent la région la plus affectée par les instabilités de terrain au Cameroun, avec des conséquences plus ou moins importantes en termes de dégâts matériels et humains. On dénombre plus de 500 niches de décollement dans les H.T.O.C., et dans la plupart des cas, ce sont d'anciennes niches remobilisées, étant entendu que les vibrations générées par les premiers glissements engendrent généralement d'autres mouvements secondaires.

Dans son ensemble, les H.T.O.C. présentent des

paysages souvent très accidentés aux pentes abruptes et escarpées (cas de la région de Kekem). Ngoufo (1988) montre que 80 % de la région est constituée de pentes fortes (> 13 %). Les formations géologiques sont constituées de produits des éruptions volcaniques mio-pliocènes d'âges variables (52 Ma à l'actuel) et reposant sur un substratum pluto-métamorphique d'âge panafricain. Ces roches sont constituées de minéraux avec un degré d'altérabilité assez élevé. Le réseau hydrographique en général respecte les systèmes de fractures du socle. Les caractéristiques géotechniques des altérites s'apparentent à celles décrites dans le glissement de terrain de Bana (Kouayep Lawou 2003) et de Kekem (Aboubakar 2010). Les sols contiennent des quantités importantes en fine, la porosité est très élevée, la cohésion et l'angle de frottement sont assez défavorables. Le couvert végétal de forêt montagnarde est détruit par l'homme en la faveur de ses activités agropastorales, où le labour est couramment pratiqué, ainsi que l'urbanisation anarchique.

Cet aperçu sur le cadre physique et naturel des H.T.O.C. fait ressortir clairement les causes qui sont à l'origine de l'avènement des mouvements de masse. Leumbé Leumbé (2008) a recensé dans le massif des Bambouto, trois catégories de glissements de terrain: faible, moyen et de grande ampleur. Ce dernier auteur a effectué une cartographie des glissements de terrain (anciens et futurs) et réalisé une simulation informatique en s'appuyant sur les facteurs naturels qui sont à l'origine des glissements de terrain. Cette approche lui a permis d'évaluer dans ce massif la quantité de matériaux pouvant être mobilisée annuellement à 35193,87 t/ha par les glissements de terrain. Il classe les facteurs conditionnant des glissements de

terrain en région de montagne tropicale humide par ordre d'importance: la topographie, l'intensité des précipitations, la nature des sols et l'état du couvert végétal. Dans cette optique, Zangmo Tefogoum (2007) et Zangmo Tefogoum *et al.* (2009) notent que les risques en rapport avec les mouvements de masse sont plus répandus et susceptibles de faire plus de dégâts dans les monts Bambouto que dans le mont Manengouba, du fait de l'importante population (> 3000 habitants, densité > 200 habitants/km<sup>2</sup>) installée dans les zones à risque (Zogning *et al.* 2007). Dans le cas particulier des monts Bambouto, le glissement de terrain le plus récent (survenu le 20 juillet 2003 avec 20 morts dans le village de Maga, arrondissement de Wabane) a été circonscrit et décrit par Kagou Dongmo (2006). D'après cet auteur, les facteurs déclencheurs sont le léger tremblement de terre survenu la veille dans le village Fongo-Tongo, les fortes pluies de la période précédant le 20 juillet, la nature ignimbritique du matériau, les fortes pentes et l'état de saturation en eau des projections ignimbritiques.

Pour Zogning & Tiafack (2004), les facteurs qui sont à l'origine des mouvements de masse à Maga sont: le relief accidenté avec de fortes pentes, la géologie de la région qui englobe la pétrographie, l'hydrologie et la géophysique ajoutés aux facteurs climatiques et anthropiques. Sur le complexe pluto-volcanique du mont Bana et sur l'axe Bafang-Bangangté, la baisse de cohésion et du frottement interne des sols due à l'hétérogénéité des matériaux, à l'augmentation saisonnier de la pression hydrodynamique et au mauvais drainage des eaux de pluies semble être à l'origine de l'effondrement du tronçon routier à Toungou (Kouayep Lawou 2003).

Tchoua (1984, 1989) décrit les coulées boueuses meurtrières à Fossong-Wentcheng par Dschang dans la nuit du 26 au 27 août 1978; les parcours des coulées sont celles de la rivière Menoua et ses affluents. Le relief a ainsi joué un grand rôle dans la vitesse et l'orientation de ces coulées de boues. Les principales causes ayant produit ces dernières sont: (a) la nature de la roche mère qui consiste en sols peu ou non évolués issus de l'altération des trachytes et roches assimilées et sols argileux, d'où l'écoulement de type visqueux, (b) la topographie, et (c) le manque d'une végétation forestière abondante, ainsi que les conditions climatiques avec des précipitations très abondantes au courant de ce mois d'août (501,5 mm) qui ont constitué le détonateur du processus.

Aboubakar (2010) a effectué des travaux de recherches sur trois sites de glissement de terrain dans les H.T.O.C: Lepoh, Nteingue et Kekem. Il a montré, après caractérisation géotechnique des matériaux (Sr, Wi, Wp), que la forte pression hydraulique, les fluctuations de la nappe phréatique, ainsi que l'action anthropique très importante se sont combinées aux facteurs géomorpho-logiques et géotechniques défavorables pour donner naissance au glissement de terrain dans certaines régions des H.T.O.C. et avec les spécificités suivantes :

- A Lepoh par Bafou, Aboubakar (2010) a décrit un glissement probable, avec apparition des marques annonciatrices (fissuration) dans les altérites provenant de l'altération des ignimbrites.

- A Nteingue, c'est un glissement en cours marqué par

une phase d'évolution lente avec agrandissement des fissures, ouverture de la niche de décollement et mobilisation lente de la masse de terre provenant de l'altération des granito-gneiss.

- A Kekem, c'est un glissement dont la phase finale a été marquée par une accélération brutale et rapide. La mobilisation des masses, provenant de l'altération des mylonites, a laissé une cicatrice en forme circulaire et le mouvement s'apparente à un glissement de type mixte, circulaire en amont et plan en aval.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

Trois étapes ont conduit nos travaux sur le site d'étude:

- 1) L'observation générale du secteur d'étude a permis de relever les indices et les paramètres et de prélever des échantillons de sols et de roches, dans l'optique de mener une étude détaillée de l'environnement géomorphologique et géologique; ce qui a débouché sur l'élaboration des hypothèses sur les processus d'instabilité du versant;

- 2) La description du profil d'altération s'est faite directement sur le terrain en s'appuyant sur l'observation. Les couleurs ont été décrites à l'aide du code Munsell (Munsell Soil-Color Charts 2010). La texture a été appréciée en frottant un échantillon frais entre les doigts.

- 3) Des échantillons de sol non remaniés ont été soigneusement prélevés à l'aide des carottiers cylindriques en plastique (h=25 cm, r=18 cm), enrobés de paraffine, étiquetés et acheminés au laboratoire pour faire des études géotechniques. De même, des roches saines ont été échantillonnées.

### Laboratoire

Nous avons évalué les paramètres pétrographiques et géotechniques des matériaux du glissement (roches et sols). L'observation microscopique et la description pétrographique des roches prélevées, ont été faites à l'aide du microscope polarisant. Les manipulations en laboratoire et les méthodes analytiques (par calcul) utilisées ont permis de déterminer des propriétés géotechniques des produits d'altération.

## PRESENTATION DES RESULTATS

### Morphologie

La morphologie de l'ensemble montre des sommets en croupe constitués de roches du socle granito-gneissique d'âge panafricain. Le paysage presque plat (pente <3°) dans la Plaine des Mbo devient très abrupt (pente > 20°) au niveau de l'escarpement (Fig. 4).

Le glissement de terrain s'est développé sur le versant nord très accidenté (>30°) d'un interfluve (altitude : 1016 m, latitude : 05°10'N ; longitude : 10°01'20"O) donnant sur la route nationale N°5 Douala-Bafoussam (Fig. 5).

La grande vitesse, la spontanéité du mouvement (des dizaines de mètres par seconde d'après les témoignages) et le grand volume de matériaux mobilisés font penser à une

coulée boueuse. Le mouvement a été rotationnel en amont (orientation des arbres dans le sens inverse du mouvement) et translationnel en aval (les arbres sont restés debout après leur déplacement de plusieurs mètres).

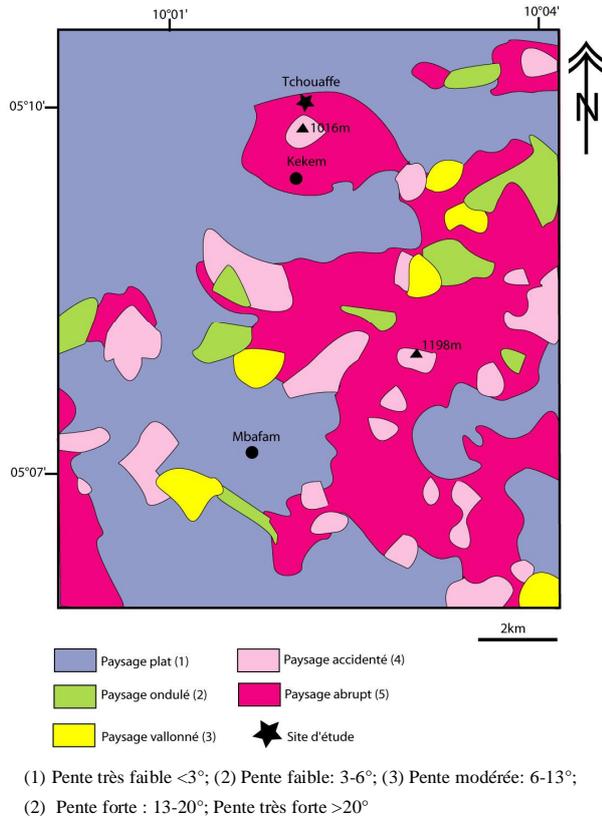


Figure 4. Carte des pentes de la région de Kekem.

Figure 4. Slope map in the Kekem region.



Figure 5. Route effondrée après le glissement de terrain à Kekem.

Figure 5. Collapsed road after the Kekem landslide.

La cicatrice laissée en forme d'amphithéâtre, peut être classiquement divisée en trois unités spatiales distinctes (Fig. 6):

(i) une zone d'ablation à l'amont, associant un escarpement principal (légèrement concave vers le ciel) avec à son pied des masses de terre mobilisées (plus ou moins chargées des chaos de blocs) qui semblent avoir

subies un mouvement de rotation. Il faut noter qu'au-delà de cette zone, de larges fissures sont observées en amont sur les sols encore stables; ce qui constitue des marques d'instabilités futures. Le 27 Août 2008, dix mois environ après la première mobilisation, le site a fait l'objet d'une seconde mobilisation des matériaux, entraînant le recul de la corniche de plus de 40 m.

(ii) un chenal d'écoulement servant de zone de transit et ayant l'allure d'un couloir pentu ( $> 20^\circ$ ), étiré de plus de 150 m de large et de plus de 400 m de long pour une profondeur moyenne de 10 m.

(iii) un cône de déjection ou zone d'accumulation à la base du versant où se déposent les produits mobilisés.



Figure 6. Couloir orienté N145°E formé après le glissement de terrain à Kekem.

Figure 6. Orientated corridor N145°E formed after the Kekem landslide.

### Description du profil d'altération

L'observation de la tranchée laisse entrevoir, de haut en bas, une diversité de niveaux et d'horizons pédologiques (Fig. 7):

#### Horizon humifère ou niveau O

Épais de 10 cm environ et subdivisé en horizon supérieur O<sub>1</sub>, (où la litière est formée de feuilles encore bien reconnaissables et de couleur brune) et en horizon inférieur O<sub>2</sub>, discernable par de nombreuses nervures, vestiges de feuilles.

#### Horizon organique ou niveau A

Il est fortement influencé par l'action de l'humus et de la minéralisation effectuée en profondeur, épais d'environ 50 cm et divisé en deux couches.

La couche organo-humique ou horizon Ap avec une importante quantité de matière organique anthropisée. Cet horizon est épais de 20 cm, de couleur rouge-brun (2.5YR3/6, Munsell Soil-Color Charts 2010) à l'état humide, sa texture est limono-argileuse, et sa structure est granulaire à sub-angulaire. La présence d'un fort développement de l'activité racinaire et la présence d'une forte activité micro-organique viennent confirmer sa porosité

importante. Sa limite inférieure est diffuse et graduelle.

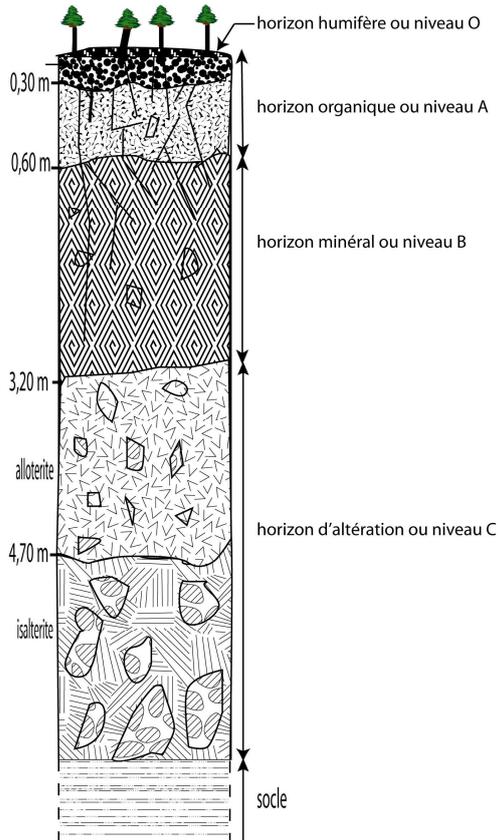


Figure 7. Organisation morphologique du profil de sol à Kekem.  
 Figure 7. Morphologic organization of the Kekem soil profile.

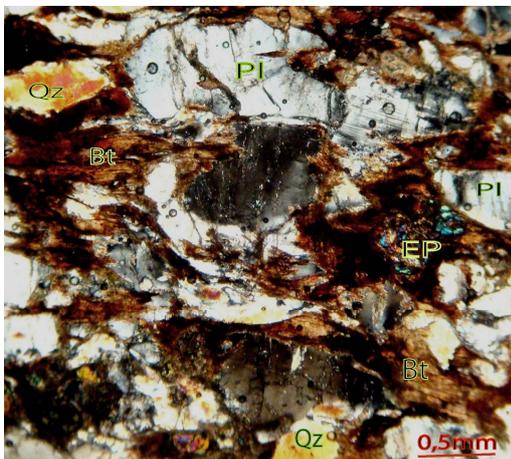


Figure 8. Vue microscopique d'une portion de gneiss mylonitisé en lumière polarisée et analysée (Pl : plagioclase, Qz: quartz, Bt: biotite, Ep: épidote).

Figure 8. Microscopic view of a portion of mylonitized gneiss in Polarized and analyzed light (Pl: plagioclase, Qz: quartz, Bt: biotite, Ep: epidote).

La couche organo-minéral ou horizon AB; elle a 30 cm d'épaisseur et une couleur brune (10YR4/4 à l'état humide, Munsell Soil-Color Charts 2010). On note la présence des blocs sub-anguleux et des graviers. Sa texture est sablo-argileuse et le matériau est plastique à l'état humide. La porosité est marquée par la présence des racines et des micro-organismes. Sa limite inférieure est diffuse.



Figure 9. Vue microscopique d'une portion de la dolérite en lumière polarisée et analysée (Pl: plagioclase, Ol : olivine, Cpx : clinopyroxène).

Figure 9. Microscopic view of a dolerite section in Polarized and analyzed light (Pl: plagioclase, Ol: olivine, Cpx: clinopyroxene).

**Le niveau minéral ou niveau B**

Il se caractérise par un seul horizon dit B cambique ou Bw car il est issu uniquement de la transformation in situ des roches originelles. Epais de plus de 160 cm à l'état humide, il présente une couleur brune (10YR4/6, Munsell Soil-Color Charts 2010) au sommet et gris-clair (2.5Y8/1) à la base. Sa texture est argilo-limoneuse et présente une structure en bloc angulaire et massif. Le matériau est faiblement poreux et plastique. On note la présence de fines racines, des graviers et des cailloux de taille variable (10 à 20 cm de diamètre). Sa limite est diffuse avec le niveau d'altération à sa base.

**Niveau d'altération ou niveau C**

Il comprend deux horizons majeurs: l'alloterite ou horizon C et l'isalterite ou horizon Cr.

L'alloterite ou horizon C, où l'altération de la roche mère a été totale, est d'environ 150 cm d'épaisseur, sa couleur est jaune orangée terne (10YR6/4) à l'état humide. De nature limono-argileuse, sa structure est polyédrique sub-angulaire, plastique et très faiblement poreuse. La pierrosité est forte et marquée par la présence des pierres dépassant 20 cm de diamètre.

L'isalterite ou horizon Cr. a subi une altération partielle avec des marques rappelant la structure originelle de la roche mère (présence de poches de roches plus ou moins saines). Il est séparé de l'alloterite par une limite diffuse, sa couleur dominante est jaune-brun lumineux (10YR6/7, Munsell Soil-Color Charts 2010). Une couleur secondaire est observée, toujours jaune-brun lumineux mais avec 2.5Y6/6 (Munsell Soil-Color Charts 2010). Sa texture est sablo-limoneuse, sa structure est prismatique et friable au toucher. La pierrosité est marquée par des poches de fragments rocheux plus ou moins altérés, allant jusqu'à 40 cm de diamètre ou même plus.

Le profil ainsi dégagé ne nous a pas permis d'apprécier le vrai contact entre l'isalterite et le socle. Cependant, au regard des fragments de roches retrouvés dans le profil et ailleurs dans la région, nous pouvons conclure que ce profil

s'est développé aux dépens, d'une part, d'un socle gneissique (horizon B, C et Cr) et d'autre part, des colluvions volcaniques (horizons A et AB), notamment doléritiques.

### 1. Gneiss mylonitisé

Il affleure en dalle. La forte fracturation, ainsi que la bréchification tectonique permet son débitage en blocs de taille et forme variables. Ce système de fracturation est judicieusement exploité par les végétaux (à la recherche des nutriments), mais surtout par l'injection de nombreux filonnets quartzo-feldspathiques. La roche montre un aspect grisâtre, un litage moins épais (0,263 cm) et compositionnel marqué par l'alternance des lits sombres riches en ferromagnésiens et des lits clairs quartzo-feldspathiques.

Au microscope, cette roche montre des minéraux plus ou moins broyés comme dans les tectonites (Fig. 8). La texture est ocellée granulaire.

Les principaux minéraux sont:

- les plagioclases (35%) : sous forme de clastes enrobés par les biotites. Ils sont d'aspect nuageux du fait de l'altération.
- Les biotites (30%) : sous forme de paillettes ou de veines moulant les minéraux de plagioclases et de quartz.
- Le quartz (20%) : à extinction roulante, xénomorphe et en grains polygonaux.

### 2. Dolérite subaphyrique

Elle forme une sorte d'escarpement mis en relief suite à l'altération différentielle sur le flanc supérieur du versant. On la retrouve également en blocs ovoïdes au sein des altérites meubles. Sa texture est doléritique, constituée majoritairement de plagioclase, olivine, clinopyroxène, serpentine et oxyde (Fig. 9).

- Les plagioclases (40 %) abondent sous forme de baguettes allongées, s'imbriquant entre elles avec de très importantes marques d'altération.
- Les olivines (35%), se présentent sous forme de phénocristaux xénomorphes à automorphes. Leur taille atteint souvent 2,5x1,75 mm. On retrouve les deux types d'altération des olivines sur cette roche (altération ferrugineuse en iddingsite et la serpentinitisation).
- Les serpentines (2%) sont de teinte jaunâtre et développées à l'intérieur de certaines olivines, elles se

développent le long des craquelures et dans les bordures des cristaux.

- Les minéraux opaques (12%) sont présents en baguettes légèrement allongées comme les plagioclases. Certains d'entre eux sont xénomorphes et occupent les interstices entre les baguettes de plagioclase et les olivines. Leur taille dépasse parfois 0,3 mm. Ils sont aussi en inclusion et accumulés suivant les craquelures des olivines et des augites.

- Les clinopyroxènes (8%) sont en cristaux sub-automorphes d'augite (0,04 à 0,70 mm), présentant des sections transversales qui sont fortement craquelées et légèrement colorées dans les tons rosâtres. Les clivages longitudinaux sont nets. Ils contiennent parfois des inclusions d'oxydes.

### Caractérisation géotechnique des matériaux

Les tests effectués en laboratoire sur les échantillons de sols non perturbés ont permis d'obtenir les paramètres physiques et mécaniques consignés dans les tableaux 2 et 3 respectivement.

Tableau 2. Paramètres physiques des échantillons de sol de Kekem.

Table 2. *physical parameters of soil samples from Kekem.*

Puits	n (%)	W(%)	S <sub>r</sub> (%)	W <sub>l</sub>	W <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	A
P01	34,10	33,6	84,7	60,1	36,4	23,7	1,12	64,4
P02	32,71	40,7	98,5	52,1	31,5	20,6	0,55	70,4
P03	30,42	16,9	64,8	59,0	28,3	30,7	1,37	58,8
P04	30,77	32,2	91,0	72,4	31,4	41,0	0,98	71,8
P05	33,46	29,5	82,3	59,0	27,8	31,2	0,95	77,4
P06	42,21	23,8	54,3	76,6	33,5	43,1	1,23	59,1
P07	35,23	30,0	78,0	61,5	31,2	30,3	1,04	70,1
P08	30,53	30,4	89,1	65,0	33,7	31,3	1,11	78,3
P09	36,02	31,4	77,2	70,3	36,8	33,5	1,16	71,4
P10	37,36	38,3	83,4	81,9	39,3	42,6	1,02	87,7
P11	37,22	32,4	77,1	70,4	38,8	31,6	1,20	66,0
P12	29,55	29,2	91,8	78,7	35,9	42,8	1,16	74,9

Tableau 3. Paramètres mécaniques des échantillons de sol de Kekem.

Table 3. *Mechanical parameters of soil samples from Kekem.*

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Essai CD à la boîte de Cassagrande	$\alpha_{TD}$	//	//	29,9°	//	32,2°	24,2°	//	31,2°	//	28,6°	//	27,7°
	$C\alpha_{TD}(\text{bar})$	//	//	0,040	//	0,013	0,126	//	0,038	//	0,033	//	0,190
Cisaillement triaxial CU	$\alpha_{CU}$	8°	4°	//	7°	//	//	6°	//	7°	//	12°	//
	$\alpha_{TU}$	22°	18°	//	18°	//	//	19°	//	15°	//	19°	//
	$C_{CU}(\text{bar})$	0,20	0,36	//	0,15	//	//	0,500	//	0,300	//	0,36	//
	$C\alpha_{TU}(\text{bar})$	0,16	0,29	//	0,102	//	//	0,382	//	0,266	//	0,20	//

Il ressort du tableau 2 que:

- la porosité ( $n$ ) est importante. Les vides constituent 30 à 42% du volume des échantillons prélevés,
- les valeurs de la teneur en eau ( $w$ ) des matériaux varient entre 17 et 41%, lesquelles sont très proches voire supérieures aux valeurs de la limite de plasticité  $W_p$  (28-39%). Les valeurs du degré de saturation ( $S_r$ ) sont très élevées (54 à 99%). Pour la plupart des échantillons, ( $S_r$ ) est supérieur ou proche de 80%, attestant de leur état quasi saturé.
- Le report des valeurs des limites de plasticité et des teneurs en eau par échantillon sur l'abaque de Casagrande (Robitaille & Tremblay 1997) (Fig. 11) montre que les matériaux se trouvent dans les zones des argiles très plastiques et des limons très plastiques et concorde avec l'analyse granulométrique qui confirme que la fraction fine (argile + silt) est très abondante (59 à 88%).

Le tableau 3 montre:

- Pour le cisaillement: les échantillons ont subi soit un essai CD lent à la boîte de Casagrande, soit un cisaillement triaxial CU. Le tableau 3 récapitule les différentes valeurs des paramètres de résistance au cisaillement (apparents ou effectifs) en fonction du type d'essai.
- Les tests CD donnent des valeurs de  $C_{CD}^0$  qui varient entre 24,2 et 32,2 bars et de  $\sigma_{CD}^0$  entre 0,013 et 0,126 bars. Le cisaillement triaxial CU montre des variations entre:
  - 4 et 12 de l'angle de frottement interne apparent ( $\phi_{cu}$ );
  - 15 et 22 de l'angle de frottement interne efficace ( $\phi_{cu}^0$ );
  - 0,15 et 0,50 bars de la cohésion apparente ( $C_{cu}$ );
  - 0,10 et 0,38 bars de la cohésion efficace ( $C_{cu}^0$ ).

Les altérites ainsi formées (en général chargés de gros blocs) ont des caractéristiques géotechniques suivantes: porosité (>29%) et teneur en fines élevées (>40%), cohésion plus ou moins faible (<0,5 bar) et angle de frottement élevé (46 à 22°).

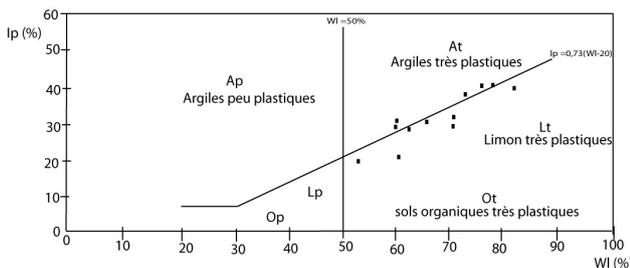


Figure 11. Diagramme de plasticité de Casagrande des sols de Kekem.

Figure 11. Casagrande plasticity diagram of the Kekem soils.

## DISCUSSION ET INTERPRETATION

Suivant les observations et les études menées au cours de ce travail, plusieurs facteurs auraient contribué à la perte de stabilité du versant à Kekem. Ceux-ci peuvent être regroupés en facteurs d'ordre naturel et en facteurs d'ordre anthropique.

### Facteurs naturels

Les facteurs naturels se répartissent en facteurs de

prédispositions et facteurs déclencheurs:

### Facteurs de prédispositions

Ils sont liés à la tectonique, la lithologie et la pente.

- La tectonique: les études des matériaux du glissement mettent en relief des roches de nature cataclastique, fortement mylonitisées et densément fissurées. Cette structure rend celles-ci facilement broyables, avec les eaux qui s'infiltreront à des profondeurs importantes.

- La lithologie: la composition minéralogique de ces roches est dominée par les feldspaths, amphiboles et biotites, minéraux dont l'indice d'altérabilité reste supérieur ou égal à 4 (Godard, 1962). Le processus d'altération chimique reste donc très poussé avec formation des sols bien développés et très épais (plus de 10 m). Les boules et blocs angulaires de roches de taille importante se trouvent dans ces altérites meubles et constituent des charges énormes qui s'ajoutent à celles du sol épais et humecté. L'abondance des argiles dans les matériaux du versant a des répercussions sur la stabilité. Le diagramme de Casagrande montre que les matériaux sont dans la limite argile et limon très plastiques. Ces matériaux sont très fluides et susceptibles de jouer le rôle de « couche savon ». Cependant, la porosité importante, la structure fissurée et chaotique des formations ont permis l'apparition des réseaux de circulation d'eau entre les particules et l'imbibition en profondeur de ces sols argileux (59-88%); ce qui a eu pour conséquence la dégradation des paramètres mécaniques (cohésion faible et angle de frottement interne élevé).

- La pente est très forte (>30°) dans ce site, suffisamment élevée pour créer le contraste de gravité et induire le mouvement de masse.

### Facteurs déclencheurs

L'eau est le facteur déclencheur principal du glissement de terrain de Kekem. Cette localité est très arrosée (>1500 mm/an) (Olivry, 1986) avec des pics de précipitations pendant les mois d'août (501,5 mm), septembre (480 mm) et octobre (344 mm).

La région est dotée des nappes aquifères superficielles (Aboubakar 2010) qui sont rapidement alimentées, vu la structure fissurée des formations qui la surmontent. Les fluctuations du niveau d'eau liées aux conditions météorologiques participent à l'augmentation de la teneur en eau des matériaux du sol et du sous-sol.

Pendant les quatre jours qui ont précédé le 20 octobre 2007, des pluies diluviennes sont tombées sur un sol déjà saturé. Certains auteurs (Costet & Sanglerat 1975) s'accordent sur le fait que dès que la teneur en eau des argiles dépasse la teneur en eau liée et que l'eau libre apparaît, la résistance des matériaux chute. Ils passent d'un état solide à un état plastique puis à un état liquide. A Kekem, les eaux ont plus ou moins saturé les sols ( $S_r=54$  à 99%) en les portant au-delà des limites d'Atterberg ( $W_p=28$  à 39%),  $W_i = (52$  à 81%). Tout cela a fragilisé la stabilité du sol et déclenché de façon instantanée et brutale le déplacement d'une importante quantité de matériaux sur le flanc du dôme de Kekem.

**Facteurs anthropiques**

Les actions humaines qui ont contribué à fragiliser la stabilité du versant de Kekem se répartissent sur trois aspects:

- la déforestation et la mise en culture de ce versant en pente forte ont contribué à travers le labour régulier à ameublir les niveaux superficiels et à augmenter le taux d'infiltration;
- l'exploitation des gneiss pour les fondations des habitations. Les populations creusent pour avoir des blocs plus sains. Ces creux se remplissent d'eau de pluies et contribuent à alimenter les couches profondes;
- la construction de la route a permis la modification de la géométrie initiale du versant. Ainsi le terrassement a diminué considérablement la résistance et la stabilité au pied du versant. Les vibrations dues aux passages des engins à poids lourds sont aussi à prendre en compte dans la fragilité de cette stabilité.

**Recommandations et lutte contre les glissements de terrain dans les H.T.O.C.**

Dans le but de minimiser les risques de glissement de terrain dans la zone d'étude, des mesures préventives ont été proposées comme suit:

- matérialisation des zones instables présentant une grande difficulté et/ou une impossibilité d'aménagement;
- sensibilisation de la population de ladite localité sur les risques encourus lorsqu'elle construit des habitats sur et au-dessus des versants à risques;
- délimitation des secteurs ne devant faire l'objet d'aucune exploitation par les populations (extraction d'argile, de bloc, culture, déforestation);
- modification du profil de la pente naturelle en un profil en gradins. A cet effet, la hauteur de chaque gradin ne devra pas excéder la hauteur critique  $H_c$  d'un talus vertical sans soutènement (cas le plus défavorable). Cette hauteur est donnée, selon l'abaque de Taylor-Biarez (Philipponat & Hubert 1997) pour une stabilité à long terme, par l'expression (1):

$$H_c = 2,67 \frac{c}{\gamma} \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1)$$

où  $c$ , et  $\gamma$  représentent respectivement la cohésion, le

poids volumique et l'angle de frottement interne du sol constituant le massif.

Si le terrain limité par un talus est destiné à être soumis à une surcharge  $q$  uniformément répartie sur la surface, la hauteur critique  $H_{cq}$  de chaque gradin sera alors déterminée par l'expression (2):

$$H_{cq} = 2,67 \frac{c}{\gamma} \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{2q}{\gamma} \quad (2)$$

Les valeurs de la hauteur critique  $H_c$  des gradins, déterminées à l'aide des paramètres apparents de résistance au cisaillement pour le massif étudié, sont présentées dans le tableau 4:

Etant donné que la moindre hauteur des gradins garantit plus de sécurité et facilite l'exécution des travaux, la valeur de la hauteur critique des gradins, proposée sur la base des données du tableau 3, est de 2,60 m lorsque leurs plates-formes ne portent pas de charge. Dans le cas où les plates-formes sont destinées à porter des surcharges dues aux ouvrages, leur hauteur critique devra être calculée à l'aide de l'expression (3):

$$H_c = 2,58 - 0,11q \quad (3)$$

Où  $q$  est la charge uniformément répartie sur la plate-forme exprimée en KN/m<sup>2</sup>. La pente du talus sera légèrement adoucie pour permettre une évacuation rapide des eaux de surface et une meilleure stabilité. La largeur des plate-formes devra être supérieure ou égale à 2 m dans le cas où ces dernières ne supportent pas de charges. Dans le cas des bermes destinées à supporter des charges des ouvrages, les bermes devront avoir une largeur supérieure ou égale à 8 m. De plus, la surface des plates-formes devra être imperméabilisée pour éviter la pénétration des eaux de pluie qui contribueraient à l'augmentation rapide du poids volumique des sols dans le prisme de rupture.

Des drains de surface et des drains profonds devront être réalisés pour permettre une bonne évacuation des eaux, ce qui accroîtrait la stabilité des versants étudiés. La surface des talus devra être recouverte de gazon pour minimiser l'érosion due aux eaux de ruissellement. On pourra procéder au rabaissement du niveau de la nappe phréatique en plantant des arbres tels que les eucalyptus. Ces derniers contribuent également à la rétention des terres dans le massif grâce à leur important réseau de racines.

Tableau 4. Hauteur critique ( $H_c$  et  $H_{cq}$ ) des gradins dans le massif de Kekem.  
 Table 4. Critical height ( $H_c$  and  $H_{cq}$ ) of steps in the Kekem massif.

Echantillon	Poids volumique, (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion, c (kPa)	Angle de frottement interne, (°)	Hauteur critique, $H_c$ (m)	Hauteur critique lorsque la plateforme porte une surcharge, $H_{cq}$ (m)
PEO1	16,77	20	8	3,66	3,66 - 0,12q
PEO2	17,46	36	4	5,90	5,90 - 0,11q
PEO4	17,56	15	7	2,58	2,58 ó 0,11q
PEO7	16,68	50	6	8,88	8,88 ó 0,12q
PEO9	16,28	30	7	5,56	5,56 ó 0,12q
PE11	16,28	36	12	7,29	7,29 ó 0,12q

## CONCLUSION

Le glissement de terrain du 20 octobre 2007 à Kekem survenu suite à de fortes précipitations a mobilisé un volume important de matériaux, laissant une morphologie en amphithéâtre avec une niche de décollement de plus de 5 m, et un canal d'écoulement d'environ 250 m suivi d'un cône de déjection bien matérialisé. Le glissement est de type mixte; circulaire en amont et plan en aval.

Les facteurs responsables de ce mouvement, mis en exergue, sont d'ordre naturel (facteurs de prédispositions et facteurs déclencheurs), auxquels s'ajoutent les facteurs anthropiques:

- Les facteurs de prédisposition sont: pentes fortes (>30°), degré d'altérabilité forte de la roche mère (gneiss mylonitisé et dolérite), volume important des altérites, d'une part, et leurs caractéristiques géotechniques défavorables d'autre part, porosité élevée, teneur en fine (argile et silts) importante, cohésion faible, angle de frottement interne fort et parfois inférieur à la valeur de la pente naturelle du versant.

- Les facteurs déclencheurs se résument à l'action hydraulique où l'augmentation saisonnière de la pression hydrodynamique, liée aux fortes pluies et aux fluctuations du niveau de la nappe phréatique, joue un rôle important dans la perte de stabilité des matériaux. De même, la présence des gros blocs de roches (40 à 50%) dans les produits meubles constitue des charges supplémentaires importantes qui amplifient le mouvement.

- Les facteurs anthropiques: déforestation, mauvaises techniques culturales et l'urbanisation non ou mal contrôlée favorisent la déstabilisation du matériau.

A la suite de cette étude, nous avons reconstitué trois étapes principales dans l'évolution du glissement de terrain de Kekem, étapes pouvant se dérouler sur plusieurs années et transposables sur l'ensemble des H.T.O.C., du fait de nombreuses similitudes du terrain.

1) apparition des marques annonciatrices (fissuration) qui sont le plus souvent méconnues ou négligées par l'homme,

2) une phase d'évolution lente de ces premières marques surtout pendant les saisons des pluies,

3) une phase d'accélération plus ou moins brutale et généralement rapide de déplacement de matériaux.

Des propositions ont été faites pour minimiser les pertes humaines et les dégâts matériels, non seulement dans la région de Kekem, mais aussi dans les Hautes Terres en générale. Elles prennent en compte les différents paramètres géologiques, géotechniques et anthropiques qui se combinent pour produire ces catastrophes naturelles.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de l'administration, des ingénieurs et techniciens de la société LABOGENIE de Yaoundé pour leurs appuis multiformes dans la finalisation de cette étude. Ces remerciements sont étendus aux évaluateurs du Bulletin (Dr. L. Asebriy et Dr. B. El Fellah) dont les remarques ont permis d'améliorer la version finale du manuscrit.

## REFERENCES

- Aboubakar B. 2010. *Etude géologique et géotechnique des mouvements de masse dans les hautes terres de l'Ouest Cameroun: cas des sites de Lepoh et Nteingue (Département de la Menoua) et de Kekem (Département du Haut-Nkam)*. Mém. Master Univ. Dschang, 103 p.
- Ayonghe S.N., Ntasin E.B., Samalang P. & Suh C.E. 2004. The June 27, 2001 landslide on volcanic cones in Limbe, Mount Cameroon, West Africa. *J. Afr. Earth Sc.*, 39, 4356439.
- Bandji D. 1994. *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la plaine des Mbo (Ouest-Cameroun)*. Thèse Doct. 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Yaoundé I. 191 p.
- Costet & Sanglerar 1969. *Cours pratique de mécanique des sols*. DUNOD éd. Paris, 599 p.
- D.P.C. (Direction de la protection civile du Cameroun) 2008. *Rapport sur l'état de la protection civile au Cameroun*, 305 p.
- Godard A. 1962. Essai de corrélation entre l'altitude des reliefs et les caractères pétrographiques des roches dans le socle de l'Ecosse du Nord. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 235, 1396141.
- Kagou Dongmo A. 2006. *Le mont Manengouba: Evolution volcanique, caractères magmatologiques et risques naturels; comparaison avec les monts Bambouto et Bamenda (Ligne du Cameroun)*. Thèse Doct. Etat, Univ. Yaoundé I, 230 p.
- Kouayep Lawou S. 2003. *Contribution à l'étude des mouvements de masse dans le massif de Bana: cas de la localité de Toungou*. Mém. Maîtrise, Univ. Dschang, 69 p.
- Leumbé Leumbé O. 2008. *Evaluation et cartographie au moyen d'un système d'information géographique des zones à risques d'érosion et de glissement de terrain en région de montagne tropicale humide (mont Bambouto - Ouest Cameroun)*. Thèse Doct. Univ. Yaoundé I, 153 p.
- Morin S. 1988. Les dissymétries fondamentales des hautes terres de l'Ouest-Cameroun et leurs conséquences sur l'occupation humaine: Exemples des monts Bambouto. *L'homme et la montagne tropicale, Sépanrit*. 35656.
- Morin S. 1989. *Hautes et bassins de l'Ouest-Cameroun. Etude géomorphologique*. Doct. Univ. Bordeaux III, IEGR, t. 1, 597 p.
- Munsell Soil-Color Charts 2010. *Munsell Soil-Color Charts with genuine Munsell color chips*. Produced by Munsell Color.
- Ngoufo R. 1988. *Les Monts Bambouto: Environnement et utilisation de l'espace*. Thèse de Doct. 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Yaoundé, t.1 et 2, 374 p.
- Olivry J.C. 1986. *Fleuves et rivières du Cameroun*. MESRES-ORSTOM, ISBN, 2-7099-0804-2, 722 p.
- Philipponat G. & Hubert B. 1997. *Fondation et ouvrage en terre*. Eyrolles, 747 p.
- Robitaille V. & Tremblay D. 1997. *Mécanique des sols (théorie et pratique)*. Modulo éd. Quebec-Canada, 652 p.
- Tchoua F.M. 1974. *Contribution à l'étude géologique et pétrologique de quelques volcans de la ligne du Cameroun (Mont Manengouba et Mont Bambouto) Cameroun*. Thèse Doct. Etat, Univ. Clermont Ferrant, 337 p.
- Tchoua F.M. 1984. Les coulées boueuses de Dschang (Août 1978). *Rev. Géogr. Cam.*, IV, 2, 25633.
- Tchoua F.M. 1989. Les matériaux des coulées boueuses de Dschang (Août 1978). *Rev. Géogr. Cam.*, 8, 1, 58664.
- Tsalefac 1999. *Variabilité climatique, crise économique et dynamique des milieux sur les Hautes Terres de l'Ouest-Cameroun*. Thèse Doct. Etat, Univ. Yaoundé, 549 p.
- Zangmo Tefogoum G. 2007. *Les caldeiras du mont Manengouba et des Mont Bambouto: Etudes comparatives et évolution*

- qualitative et quantitative des risques naturels associés*. Mém. Master, Univ. Dschang, 108 p.
- Zangmo Tefogoum G., Kagou Dongmo A., Nkouathio D. & Wandji P. 2009. Typology of natural hazard and assessment of associated risk in the mont Bambouto caldeira (Cameroun line West Cameroon). *Acta geologica sinica*, 83, 5, 100861016.
- Zogning A. & Tiafack O. 2004. Landslide assessment and prevention of futur risk, Mount Bambouto, Cameroun. *ParbleuTechnilogies inc.* Site web: <http://www.treemail.nl/privateers/Cameroun/>
- Zogning A., Ngouanet C., Tiafack O. 2007. The catastrophic geomorphological processes in humid tropical Africa: A case study of the recent landslide disasters in Cameroon. *Sediment. Geol.*, 199, 13627.

Manuscrit reçu le 02/02/2012  
Version révisée acceptée le 05/01/2013  
Version finale reçue le 30/04/2014  
Mise en ligne le 11/06/2014