

## **ANALYSE GÉOMORPHOLOGIQUE DES RISQUES LIÉS AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN A NIAMEY, NIGER**

**Tahirou HASSANE YAOU<sup>1,2\*</sup>, Bachirou HAMADOU YOUNOUSSA<sup>1,2</sup>,  
Amadou ABDOURHAMANE TOURE<sup>2</sup>,  
Abdoulkader MOUSSA ISSAKA<sup>3</sup>, Bouba HASSANE<sup>2</sup>  
et Zibo GARBA<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Université de Dosso, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Numérisation des Sciences Environnementales, BP 230 Dosso, Niger*

<sup>2</sup>*Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, BP 10662 Niamey, Niger*

<sup>3</sup>*Université de Zinder, Faculté des Sciences et Techniques, Département des sciences géologiques et environnementales, BP 656 Zinder, Niger*

---

\* Correspondance, e-mail : [hassaneyaout@yahoo.fr](mailto:hassaneyaout@yahoo.fr)

### **RÉSUMÉ**

Les mouvements de terrain sont des phénomènes capables de causer d'importants dommages. Cette étude a pour objectif de caractériser les processus qui sont à l'origine du déclenchement des éboulements des corniches de Yantala et Gamkalley. Ainsi, la méthodologie adoptée a consisté à des caractérisations pétrographiques et structurales, à l'identification des facteurs d'exposition des riverains aux risques de mouvements de terrain et des facteurs à l'origine des éboulements desdits corniches. Il ressort que les facteurs déterminants dans le déclenchement des éboulements des corniches sont les précipitations, la fracturation des roches, les caractéristiques lithologiques, la pente (> 30°) et la gravité. L'action de ces facteurs est aggravée en générale par celle des agents d'érosion mécanique (ruissellement des eaux de surface) et chimique (phénomène d'altération des terrains superficiels), et l'action de l'homme par extraction de matériaux de construction.

**Mots-clés :** *risques, mouvements de terrain, corniches, Niamey.*

### **ABSTRACT**

**Geomorphological analysis of the risks related to mass movements in Niamey, Niger**

Mass movements are phenomena capable of causing significant damage. The aim of this study is to characterize the processes that triggered the mass

mouvements of Yantala and Gamkalley cornices. Thus, the methodology adopted consisted of petrographic and structural characterizations, the identification of the residents' exposure factors to the risk of mass movement and the factors responsible for mass movements of said cornices. The determining factors in triggering cornices mass movements are precipitation, rock fracturing, lithological characteristics, slope ( $> 30^\circ$ ) and gravity. The action of these factors is aggravated in general by the effects of mechanical erosion (surface water runoff) and chemical erosion (phenomenon of alteration of the superficial mass), and human action by extraction of building materials.

**Keywords :** *risks, mass movements, cornices, Niamey.*

## I - INTRODUCTION

Les mouvements de terrain correspondent à une rupture et à un déplacement des matériaux [1]. Ils sont très variés par leur nature (glissements de terrains, éboulements rocheux, coulées boueuses, effondrements de cavités, affaissements, gonflement ou retrait des sols) et par leur grandeur (certains glissements peuvent atteindre plusieurs millions de  $m^3$ ) [2]. Les mouvements de terrain sont des phénomènes capables de causer d'importants dommages. En effet, ils provoquent en moyenne la mort de 800 à 1 000 personnes par an dans le monde et occasionnent des préjudices économiques importants [3, 4]. En France par exemple, l'éboulement d'un flanc du mont Granier à Savoie en 1248, a entraîné la destruction de cinq villages et la mort de 2000 à 5000 personnes [5]. En mai 1998, à Sarno (Italie), 161 personnes ont péri sous des coulées de boues [5]. Les pays d'Afrique ne sont pas également en marge de ces phénomènes. En Egypte, le 6 septembre 2008, un glissement de terrain mortel a détruit une grande partie du bidonville d'Ezbet Bekhit, à l'est du Caire et plus d'une centaine d'habitants ont ainsi été tués [6]. Au Cameroun, un glissement de terrain a entraîné la mort de trois (3) personnes et la destruction de plusieurs maisons dans la ville d'Alakuma en 2007 [7]. Toujours au Cameroun, un glissement de terrain survenu en 2011 à Koutaba a provoqué la mort de deux (2) personnes [8]. A part leur caractère meurtrier, les mouvements de terrain engendrent des coûts qui peuvent être considérables. Ces coûts ont été estimés à 1,5 milliards de dollars de dégâts par an au Japon [9] et à 1,8 ; 1,4 et 1 milliard de dollars de dégâts par an en Italie, aux Etats unis et en Inde respectivement [10]. En effet, ces pays représentent les plus affectés par les mouvements de terrain. Il ressort de ce tour que les mouvements de terrain surviennent à la fois dans les pays pauvres que développés. Cependant, dans ces derniers, des études à la fois historiques, et des processus de ces mouvements sont effectuées pour mieux appréhender le phénomène et minimiser ses conséquences. La question de compréhension de

ce phénomène du point de vue à la fois historique et des processus reste entière dans les pays pauvres et au Niger en particulier où aucune étude n'a traité de ces géorgiques, alors que des milliers de personnes situées le long des corniches ou des abrupts des plateaux et montagnes se trouvent exposées. L'objectif général de ce travail est d'analyser les risques des mouvements de terrain auxquels sont exposées les populations riveraines des corniches de Yantala et Gamkalley. Spécifiquement, il s'agit de :

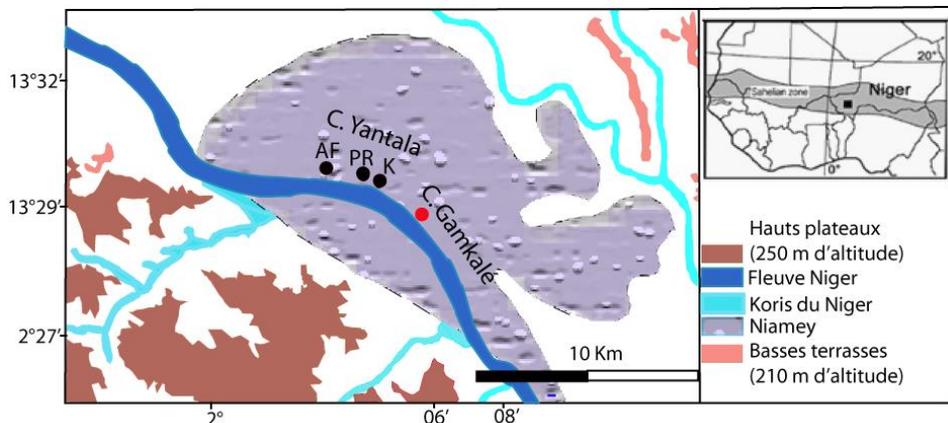
- caractériser la pétrographie et les structures des roches des corniches ;
- déterminer les facteurs à l'origine des mouvements de terrain ;
- faire des scénarios d'explication des processus de déclenchement des mouvements de terrain.

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

### II-1. Zone d'étude

La zone d'étude est située à Niamey, capitale du Niger. Le climat de Niamey est de type sahélien [11], avec une alternance d'une courte saison pluvieuse (juin à septembre) et d'une longue saison sèche (octobre à mai). La pluviométrie moyenne annuelle est de 525 mm [12]. D'un point de vue géologique, Niamey est située dans sa partie Ouest sur le socle du Liptako formé d'une alternance de ceintures de roches vertes et de plutons granitoïdiques [13] et dans sa partie Est sur la bordure sud-ouest du bassin des Iullemeden formée de grès du Continental Terminal reposant en discordance majeur sur le socle birimien [14]. Deux corniches ont été choisies pour conduire cette étude. Il s'agit de celles de :

- Gamkalley située entre  $13^{\circ}17'49''$  et  $13^{\circ}1'31''$  de latitude Nord ; et entre  $2^{\circ}4'19''$  et  $2^{\circ}3'58''$  de longitude Est ;
- et Yantala située entre  $13^{\circ}30'36''$  et  $13^{\circ}31'12''$  de latitude Nord ; et entre  $2^{\circ}5'56''$  et  $2^{\circ}4'41''$  de longitude Est où trois (3) points ont été concernés compte tenu de l'hétérogénéité du socle à ce niveau (*Figure 1*).



**Figure 1 :** Localisation des corniches de Yantata (AF = Ambassade de France ; PR = Présidence ; K = Kombo) et de Gamkalley

A ces différents points les populations sont exposées à des risques de mouvements de terrain. L'exposition des populations est liée à la présence d'habitations vulnérables construites à base de matériau précaire notamment au quartier Kombo (corniche de Yantala) et à la corniche de Gamkalley où des habitations en banco sont installées au pied des corniches aux roches instables (**Figure 2A**). En effet, les blocs rocheux qui se détachent des socles des corniches peuvent rouler jusqu'à atteindre et buter les habitations, leur causant ainsi des dommages qui peuvent se manifester par l'apparition de fractures, voire l'effondrement de maisons. La corniche de Yantala est aussi longée par une voie (**Figure 2B**) qui peut être obstruée par des blocs rocheux qui se détachent du socle au niveau de la Présidence, causant ainsi des désagréments aux usagers. Ces derniers peuvent aussi être atteints directement par les blocs rocheux et subir des dommages physiques et/ou matériels. A ce niveau il faut également noter la présence de producteurs de plantes ornementales (**Figure 2C**) qui y passent la journée pour s'occuper de leurs plantes et accueillir les clients. A la Présidence et à la corniche de Gamkalley, des mouvements de terrain peuvent aussi se produire par remobilisation de blocs stoppés en cours de trajectoire dans les pentes des corniches.



**Figure 2 :** *Facteurs d'exposition des riverains des corniches et de leurs biens (A = bloc rocheux suspendu au-dessus d'une habitation, B = voie longeant la corniche de Yantala, C = blocs suspendus au-dessus des plantes)*

## II-2. Entretien avec les populations riveraines des corniches

Un entretien a été administré à l'endroit des riverains des corniches de Yantala et de Gamkalley afin, d'une part, s'informer sur les risques auxquels ils sont exposés et d'identifier avec eux les endroits affectés par les mouvements de terrain. D'autre part, l'entretien a permis de se renseigner sur la période d'occurrence du phénomène, sur les dommages causés par les blocs rocheux et sur les stratégies adoptées par les riverains pour réduire l'impact ou contrecarrer les roches qui tombent. L'entretien a concerné 24 personnes dont 14 à la corniche de Yantala et 10 à la corniche de Gamkalley. Les personnes interviewées sont d'âge supérieur à cinquante (50) ans. Ceci a permis d'avoir des informations qui remontent le plus lointain dans le temps. Ces personnes ont été interviewées aussi bien individuellement que collectivement. Des notes ont été prises et un rapport a été dressé à la fin de l'entretien.

## II-3. Caractérisation pétrographique et structurale des formations des corniches

La caractérisation pétrographique et structurale a été effectuée par observation directe sur le terrain. Elle a consisté à des descriptions d'affleurements, à des mesures de pendages et d'orientations d'éléments structuraux à l'aide d'un

clinomètre et d'une boussole, à des quantifications de structures et à des mesures de l'indice  $I_D$  (intervalle entre les fractures) permettant d'apprécier la densité de fracturation des massifs rocheux. Ce dernier ( $I_D$ ) représente la moyenne des intervalles découpés par les discontinuités successives (mesurés à l'aide d'un ruban dans notre cas) le long d'une ligne de mesure sur affleurement [15]. Les valeurs d'interprétation de cet indice sont présentées dans le **Tableau 1**. Ces actions ont été suivies par la caractérisation du rôle des structures et de la pétrographie dans le déclenchement des mouvements de terrain, ainsi que de l'identification d'autres facteurs à l'origine des mouvements de terrain. En fin, des scénarios d'explication des processus de déclenchement des mouvements de terrain des corniches de Yantala et Gamkalley ont été élaborés.

**Tableau 1 :** Classe de densité de discontinuités mesurées selon une ligne, d'après l'intervalle entre discontinuités  $I_D$  [15]

| Classe   | Intervalles entre les discontinuités<br>$I_D$ (Cm) | Densité de discontinuités dans<br>les massifs rocheux |
|----------|--|---|
| $I_{D1}$ | > 200  | Très faible   |
| $I_{D2}$ | 200 à 60   | Faible  |
| $I_{D3}$ | 60 à 20  | Moyenne   |
| $I_{D4}$ | 20 à 6   | Forte   |
| $I_{D5}$ | < 6  | Très forte  |

### III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

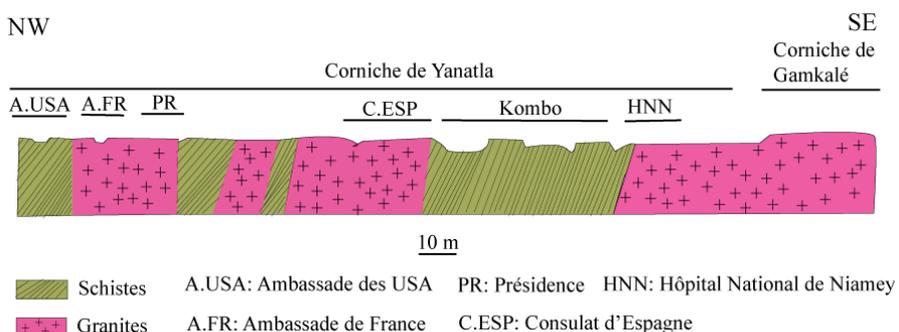
#### III-1. La Perception et les stratégies d'adaptation des populations

Selon les riverains des corniches de Yantala et Gamkalley les chutes des blocs se produisent pendant la saison des pluies. Ceux de la corniche de Gamkalley ont évoqué un cas récent qui s'était produit dans la nuit du 13 au 14 juin 2017 et qui a provoqué l'effondrement d'une maison qui a dû être abandonnée par les occupants. Quant aux riverains de la corniche de Yantala, ils ont en mémoire des événements qui s'étaient produits en 2012 et qui ont provoqué la fissuration de maisons. L'évènement le plus récent dont ils ont fait cas date de 2019, bien que n'ayant pas causé des dégâts, car les blocs s'étaient stoppés avant d'atteindre les habitations. Les riverains des corniches de Yantala et Gamkalley attribuent ces mouvements de terrain à l'intensité des événements pluvieux et aux hauteurs des pluies élevées. Ils ont par ailleurs évoqué le poids des animaux en pâture ou en divagation sur les corniches parmi les causes déclencheurs de ces mouvements. Les mouvements de terrain constituent un danger pour les riverains. Ainsi pour s'en prévenir, certains des riverains disent

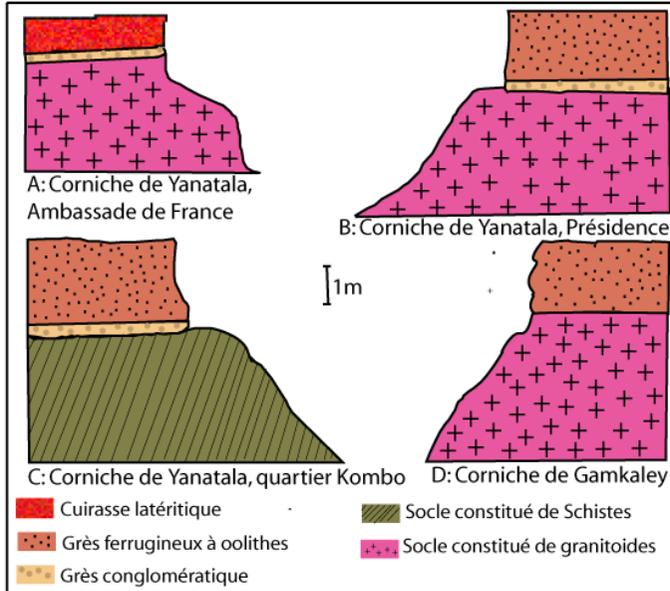
provoquer eux même des effondrements, en basculant de leurs mains les blocs de roches susceptibles de tomber sur les habitations en se servant de pioches. Ces actions sont entreprises pour éviter l'effet de surprise qui pourrait accentuer les dommages. D'autres riverains, par contre très proches des flancs des corniches, abandonnent ces lieux exposés.

### III-2. Caractérisation pétrographique des formations des corniches

Les corniches de Yantala et Gamkalley sont composées de deux formations géologiques. Il s'agit d'une part du socle précambrien constitué d'une alternance de schistes et de granitoïdes (**Figure 3**) et, d'autre part de la couverture sédimentaire du continental terminal (Ct) constituée de trois niveaux (points considérés), dont un niveau de grès conglomératique reposant en discordance majeur sur le socle, un niveau de grès ferrugineux à oolithes et un niveau latéritique (**Figure 4**). Cependant, ces trois niveaux de la couverture sédimentaire ne sont pas présents à tous les points considérés. En effet, le niveau de grès conglomératique d'une épaisseur de 0,70 mètres est absent à la corniche de Gamkalley. Cette remarque est valable pour le niveau de grès ferrugineux à oolithes de 2,70 mètres d'épaisseur qui n'apparaît pas à l'Ambassade de France (corniche de Yantala) et le niveau latéritique de 1 mètre d'épaisseur qui n'est présent qu'à l'Ambassade de France (corniche de Yantala). Les couvertures sédimentaires des corniches de Yantala et Gamkalley sont constituées de roches cohérentes et dures, car constituées de matériaux à dominance gréseuse. En effet, les grès sont des roches détritiques issues de l'agrégation et la concentration de grains de sable, il s'agit par conséquent de roches cohérentes et dures [16]. Au niveau du socle, les granitoïdes sont rencontrés à la Présidence (corniche de Yantala) et à la corniche de Gamkalley (**Figure 3**). Quant aux schistes, ils apparaissent à Kombo (corniche de Yantala) et dans une partie du point se situant à la Présidence (**Figure**). Ces différents points (kombo, Présidence et corniche de Gamkalley) sont ceux affectés ou susceptibles d'être affectés par des mouvements de terrain du fait de l'instabilité des roches constituant leurs couvertures sédimentaires, raison pour laquelle nous ne nous intéressons qu'à ces point dans cette étude.



**Figure 3 :** Coupe du socle des corniches de Yantala et de Gamkalley



**Figure 4 :** Coupes lithologiques montrant les relations socle/couverture des corniches de Yantala et Gamkalley

### III-3. Les facteurs à l'origine des mouvements de terrain

Plusieurs facteurs ont été identifiés comme étant à l'origine des éboulements des corniches de Yantala et Gamkalley (**Tableau 2**). Ces facteurs sont d'ordre naturel et anthropique et sont répartis en trois (3) groupes [17 - 19]. Il s'agit : des facteurs de prédisposition, des facteurs préparatoires et des facteurs déclenchant. C'est de l'action conjuguée de ces facteurs que résulte la génération des mouvements de terrain bien qu'étant difficilement dissociables [18, 20].

**Tableau 2 : Les facteurs à l'origine des mouvements des corniches de Yantala et Gamkalley**

|                                   | Corniche de Gamkalley  | Corniche de Yantala   |   |
|-----------------------------------|--|---|---|
|                                   |  | Présidence  | Kombo   |
| <b>Facteurs de prédisposition</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fractures verticales ;</li> <li>- Nature lithologique du socle (granitoïde) ;</li> <li>- Pente du relief.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fractures verticales ;</li> <li>- Fractures horizontales ;</li> <li>- Nature lithologique du socle (granitoïde) ;</li> <li>- Pente du relief.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fractures verticales ;</li> <li>- Joints de décompression ;</li> <li>- Pente du relief.</li> </ul>                           |
| <b>Facteurs préparatoires</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Précipitations;</li> <li>- Système racinaire ;</li> <li>- L'homme.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Précipitations;</li> <li>- système racinaire.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Précipitations;</li> <li>- Système racinaire ;</li> <li>- L'homme.</li> </ul>  |
| <b>Facteurs déclencheurs</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Précipitations ;</li> <li>- Force de gravité ;</li> <li>- Chute d'arbres déchaussés ;</li> <li>- Les animaux en pâture ou en divagation sur la corniche.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Précipitations ;</li> <li>- Force de gravité ;</li> <li>- Chute d'arbres déchaussés.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Précipitations ;</li> <li>- Force de gravité ;</li> <li>- Les animaux en pâture ou en divagation sur la corniche.</li> </ul> |

**III-3-1. Les facteurs de prédisposition**

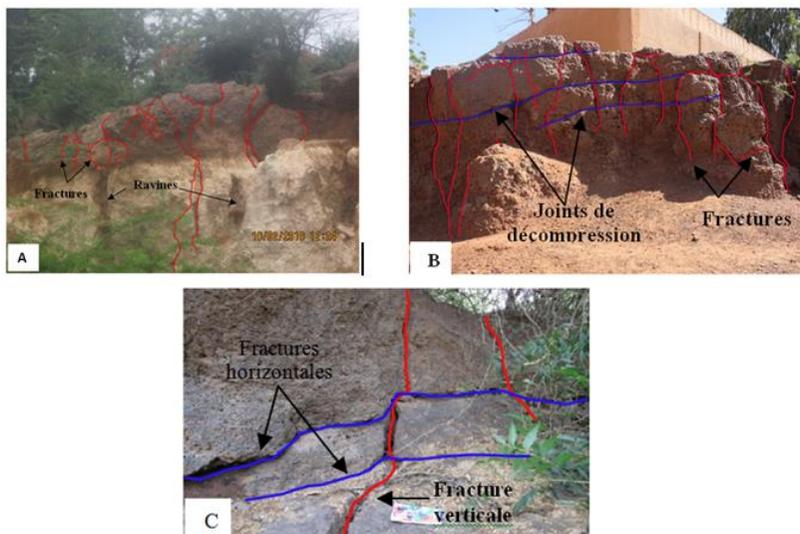
Les facteurs de prédisposition sont des éléments intrinsèques aux massifs rocheux [17, 21]. Les facteurs prédisposant les corniches de Yantala et Gamkalley aux mouvements de terrain sont constitués de fractures subverticales et subhorizontales, de joints de décompression, de la nature lithologique des terrains et la pente du relief. Hormis l'Ambassade de France, les fractures subverticales affectent tous les points considérés (*Figure 5A-C*). Elles représentent des voies de pénétration de l'eau dans les massifs rocheux [22]. Les résultats des mesures des fractures subverticales sont présentés dans le *Tableau 3*. Il ressort que la longueur des lignes de mesure des fractures subverticales a varié en fonction des sites. Ceci est lié à l'inaccessibilité de certains endroits des corniches du fait de la densité de la végétation et de la raideur de la pente. Les mesures des intervalles entre les fractures identifiées

le long des lignes de mesure des fractures subverticales (**Tableau 3**) ont permis de déterminer l'indice  $I_D$ . Ce dernier est de 109 cm à Kombo, 116 cm à la Présidence et 105 cm à la corniche de Gamkalley. Ces valeurs bien que caractéristiques de massifs à densité de discontinuités faible [15] démontrent que les blocs délimités par les fractures sont assez considérables pour provoquer des dégâts au moment de leur chute. Le pendage de ces fractures subverticales est compris entre 80 et 90° à tous les niveaux (**Tableau 3**), ce qui témoigne du rôle que jouent ces dernières dans l'acheminement des eaux dans les roches des corniches. A la corniche de Gamkalley certaines fractures subverticales se prolongent jusque dans le socle qui est aussi affecté par des ravines creusées par les eaux qui ruissellent de la couverture sédimentaire (**Figure 5A**). Tout comme les fractures subverticales, la pente du relief intervient dans la prédisposition des corniches aux mouvements de terrain car elle régit l'équilibre des forces mécaniques liées à la pesanteur et à la résistance des roches au cisaillement. A tous les niveaux la pente est supérieure à trente degré ( $> 30^\circ$ ). La nature lithologique, elle, n'a d'effets qu'à la corniche de Gamkalley et à la Présidence (corniche de Yantala) où elle est constituée de granitoïdes (granites altérés) qui sont des roches imperméables à l'eau. Le granite est une roche acide constituée de quartz, de mica et de feldspath. Suite à l'altération de la roche, les minéraux de feldspath et de mica se transforment en argile. Hors l'argile est une roche très sensible à l'eau.

En effet, dans le cas des corniches de Yantala (Présidence) et Gamkalley où le socle est constitué de granitoïdes, l'eau qui s'infiltré à travers les fractures de la couverture sédimentaire est stoppée à l'interface socle-couverture où elle dissout les minéraux argileux, formant ainsi une pâte argileuse (surface de glissement) qui imbibée d'eau pourrait jouer un rôle de «lubrifiant». A kombo par contre, l'infiltration de l'eau à travers la schistosité empêche la formation d'une surface de glissement. Quant aux fractures horizontales et les joints de décompression, ils apparaissent à la Présidence et à Kombo respectivement. Ils présentent une direction subhorizontale inclinée de 28 à 35° par rapport au nord (**Figure 5B et C**). Leur apparition serait liée à la libération de la pression lithostatique par enlèvement de la cuirasse latéritique surincombante. Cette libération a induit une décompression de la couverture sédimentaire traduite par l'apparition de ces structures. Ces derniers sont des plans de faiblesse qui favorisent la fragmentation des blocs au moment de leur chute. Tout comme les fractures subhorizontales, Ils permettent aussi à l'eau de se propager latéralement dans les massifs rocheux. Les joints de décompression et les fractures subhorizontales observés à Kombo et à la Présidence n'apparaissent pas sur la couverture sédimentaire de la corniche de Gamkalé (**Figure 5A**), cela peut être dû à l'inexistence d'une cuirasse latéritique sus-jacente à la couche de grès ferrugineux à oolithes, dont la libération pourrait être à l'origine de l'apparition de ces structures.

**Tableau 3 : Résultats des mesures des fractures verticales**

|   | Corniche de Gamkalley | Corniche de Yantala |          |
|---|-----------------------|---------------------|----------|
|   |                       | Présidence          | Kombo    |
| Longueur de la ligne de mesure (m)            | 37                    | 60                  | 20       |
| Nombre de fractures identifiées               | 33                    | 52                  | 16       |
| Espacement moyen des fractures ( $I_D$ en cm) | 105                   | 116                 | 109      |
| Pendage des fractures                         | 85 à 90°              | 80 à 90°            | 88 à 90° |



**Figure 5 : Etat de fracturation des roches des corniches de Yantala et Gamkalley (A= corniche de Gamkalley, B=Kombo, C= Présidence)**

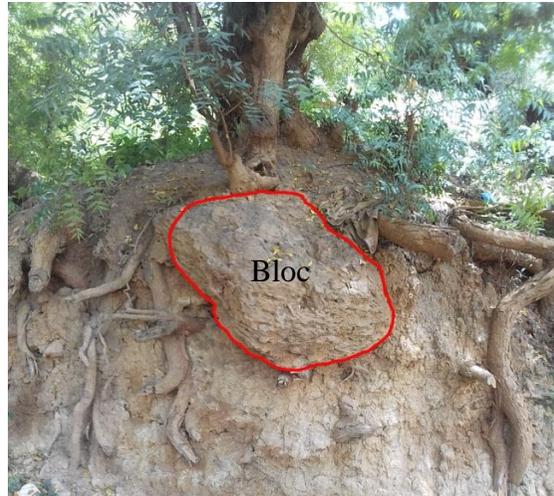
### III-3-2. Les facteurs préparatoires

Aux facteurs de prédisposition s’ajoutent d’autres facteurs qui interviennent pour affaiblir progressivement le versant en participant à son altération sur des échelles de temps qui vont notamment dépendre de la nature des matériaux concernés [23]. Au niveau des corniches de Yantala et Gamkalley les facteurs préparant les massifs rocheux à l’instabilité sont : les précipitations, le système racinaire et l’action de l’homme. En effet, l’eau de pluie qui ruisselle sur les flancs des corniches provoque le creusement de ravines (érosion hydrique) qui fragilisent davantage le substrat (socle) sur lequel sont posées les roches instables de la couverture sédimentaire. Quant au système racinaire, il agit en élargissant davantage les fractures existantes, en exerçant de part et d’autre de

leurs parois une pression tendant à repousser les blocs qu'elles séparent. De ce fait, le système racinaire peut accentuer d'une part, le départ de blocs en participant à fragmenter/déstructurer les roches et à produire ainsi de nouveaux blocs [24]. D'autre part, le système racinaire crée des cheminements préférentiels pour l'eau d'infiltration [25]. Au niveau des corniches de Yantala (Kombo) et Gamkalley, il faut aussi noter la présence de l'homme qui intervient dans la perturbation de l'équilibre naturel du milieu à travers les travaux de sape au niveau des pieds des corniches par extraction de matériaux du socle pour des constructions ou pour étendre les habitations. Cela a pour conséquence, la mise en surplombe des roches de couverture.

### ***III-3-3. Les facteurs déclenchant***

Un facteur déclenchant est un stimulus externe à l'origine de la rupture des matériaux rocheux [20, 26]. Dans le cas des corniches de Yantala et de Gamkalley, les précipitations constituent le principal facteur déclencheur des éboulements. En effet, les précipitations sont responsables des quantités d'eau dans les matériaux rocheux des corniches. Le rôle principal de la pluviométrie dans le déclenchement des mouvements de terrain est reconnu par plusieurs auteurs [8, 27 - 32]. L'eau agit en dissolvant le substrat sur lequel sont posés les blocs stoppés en cours de trajectoire et en créant par imbibition, des surfaces de glissement des parties de la couverture sédimentaire encore intactes. Elle diminue la résistance des discontinuités et donc des massifs rocheux [33]. Cependant, l'eau seule ne saurait déclencher les mouvements de terrains sans la force de gravité qui entraîne le déplacement des matériaux rocheux et la pente du relief. En effet, les mouvements de terrain ne peuvent survenir que lorsque la pente est suffisamment forte pour que d'autres facteurs se conjuguent et produisent une certaine contrainte interne à laquelle la résistance du sol ou la roche doivent céder [25]. aussi, les arbres déchaussés sous l'action de l'érosion hydrique ou par effondrement d'une partie du sol qui leur sert de support, peuvent en cas de chute entraîner avec eux des blocs stoppés en cours de trajectoire (**Figure 6**), et même provoquer la rupture de certaines parties de la couverture sédimentaire encore intactes. Par ailleurs, le déclenchement des mouvements de terrain peut être provoqué par les animaux en pâture ou en divagation sur les corniches. En effet, le poids des animaux peut engendrer un déséquilibre qui peut provoquer la chute de blocs, surtout au niveau d'un massif rocheux en surplomb qui peut s'écrouler sous l'effet d'une charge à son sommet ou sous son propre poids [34].



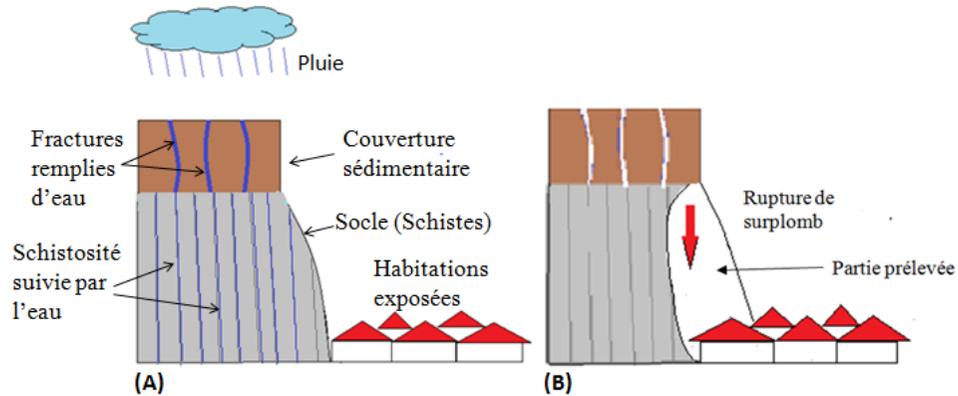
**Figure 6 :** *Arbre déchaussé pouvant entraîner le bloc lors de sa chute*

#### **III-4. Scénarios d'explication des processus de déclenchement des mouvements de terrain**

Compte tenu de la période d'occurrence des mouvements de terrain aux corniches de Yantala et Gamkalley, seuls les processus liés à la pluie seront pris en compte dans la réalisation des scénarios. Deux cas de figures se présentent : le cas de Kombo (corniche de Yantala) où le socle est constitué de schistes et le cas de la Présidence (corniche de Yantala) et la corniche de Gamkalley où le socle est constitué de granitoïdes.

##### ***III-4-1. Cas des éboulements du quartier Kombo (Corniche de Yantala)***

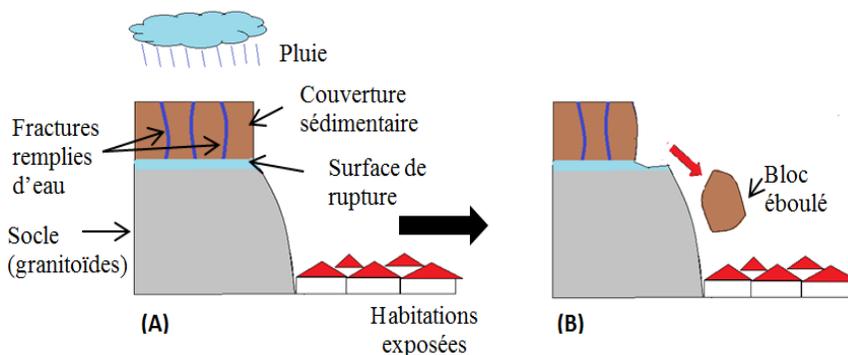
A kombo, le socle est constitué de schistes présentant une direction de schistosité presque verticale avec une pente de 82 à 90°. L'eau des pluies drainée à travers les fractures de la couverture sédimentaire n'est pas stoppée au-dessus du socle. Elle s'infiltré davantage dans les schistes à travers les plans de schistosité pour alimenter les profondeurs (**Figure 7A**). Cette situation empêcherait une mise en place d'une surface de rupture (pâte argileuse ramollie car imbibée d'eau) pouvant déclencher les éboulements. Ceux-ci pourraient néanmoins intervenir dans ces environnements à travers les travaux de sape au niveau des flancs (prélèvement des schistes pour les constructions) (**Figure 7B**) où par la création d'un déséquilibre de poids, cas des animaux évoqué par les populations par exemple.



**Figure 7 :** Comportement des schistes au contact de l'eau(A) et rupture de surplomb (B)

### III-4-2. Cas de la corniche de Gamkalley et de la corniche de Yantala (Présidence)

Le drainage de l'eau des pluies à travers les fractures de la couverture sédimentaire élargit les cassures et éloigne les blocs les uns des autres. Une partie de cette eau est cependant arrêtée à l'interface socle /couverture du fait de l'imperméabilité des granitoïdes. Cette eau, faiblement acide, s'accumule alors, et reste plus longtemps dans ce lieu où elle dissout les minéraux argileux issus de l'altération des minéraux de feldspath et de micas, créant ainsi une couche jouant le rôle de couche savon à l'interface socle-couverture qui pourrait constituer une surface de rupture et de glissement des blocs dès que la pente du terrain est suffisante (**Figure 8A**). La rupture qui se produit sous des blocs délimités par des fractures, aidée par la gravité, entraîne la chute de ces blocs (**Figure 8B**).



**Figure 8 :** Création d'une surface de rupture par l'eau au niveau du socle granitique des corniche de Yantala et Gamkalley

#### IV - CONCLUSION

Les mouvements de terrain constituent un risque majeur pour les populations riveraines des corniches de Yantala et Gamkalley car vivant aux pieds de corniches aux roches de couverture instables. En effet des blocs rocheux détachés de la couverture sédimentaire ou se trouvant dans les pentes des corniches peuvent rouler jusqu'à buter les habitations sur lesquelles les dommages se manifestent par l'apparition de fractures et même l'effondrement de maisons. Il ressort de cette étude que les mouvements de terrain des corniches de Yantala et Gamkalley sont liés à plusieurs facteurs parmi lesquels la gravité et la pente ( $> 30^\circ$ ) de ces secteurs combinées à la nature lithologique et structurale des terrains et à une pluviométrie importante. Il faut cependant noter que le phénomène est plus intense au niveau du socle granitique (Présidence et corniche de Gamkalley) qu'au niveau des schistes Kombo.

#### RÉFÉRENCES

- [1] - J.-C. FLAGEOLLET, "Les mouvements de terrain et leur prévention", Paris : *Ed Masson*, Collection Géographie, (1989) 224 p.
- [2] - M. E. RAHHAL, N. MASAAD ET J. RIZKALA, "Comprendre le comportement d'une couche savon dans un glissement de terrain", École Supérieure d'Ingénieurs de Beyrouth ESIB -Université Saint Joseph, Beyrouth, LIBAN. *Geo Edmonton*, (2008) 477 - 484 p.
- [3] - P. ALEOTTI, R. CHOWDHURY, "Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58 (1999) 21 - 44 p.
- [4] - P. HELOÏSE, R. FABRICE, R. SEBASTIEN, G. MURIEL, "Évaluation de l'impact du changement climatique sur l'aléa « mouvement de terrain »", Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2010 -Grenoble 7-9 juillet, (2010)
- [5] - O. MAQUAIRE, "Aléas géomorphologiques (mouvements de terrain) - processus, fonctionnement, cartographie", Diplôme d'Habilitation à Diriger des recherches. Université Louis Pasteur de Strasbourg, (2002) 219 p.
- [6] - AMNESTY INTERNATIONAL, "Document- Égypte : Enterrés vivants, Délaissés et piégés par la pauvreté dans les bidonvilles du Caire" [en ligne], (2009). [www.amnesty.org](http://www.amnesty.org) (consulté le 17/09/ 2019)
- [7] - S. FREDERIC, "La vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : cas de la ville de Bamenda", Mémoire de Master [en ligne], Université Yaoundé I , (2014) [consulté le 14/10/10] <https://www.memoireonline.com>
- [8] - B. ABOUBAKARI, A. KAGOU DONGMO, D.G. NKOUATHIO1 & F. NGAPGUE, "Instabilités de terrain dans les hautes terres de l'Ouest Cameroun : caractérisation géologique et géotechnique du glissement de terrain de Kekem", *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, Section Sciences de la Terre, N° 35 (2013) 39 - 51 p.

- [9] - T. GLADE, "Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand", *Environmental Geology*, 35 : 2-3 (1998) 160 - 174 p.
- [10] - R. L. SCHUSTER, "socioeconomic significance of landslides. In A. K. Turner, R. L. Schuster, (Eds) Landslides Investigation and Mitigation", Transportation Research Board, Special Report 247, *National Research Council*, Washington, (1996) 12 - 35 p.
- [11] - J. C. DESCONNETS, "Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger - Degré carré de Niamey)", Doctorat, Université de Montpellier II, Montpellier, France, (1994) 326 p.
- [12] - G. PANTHOU T. VISCHEL and T. LEBEL, "Short Communication Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel" *International Journal of Climatology*, 34 (2014) 3998 - 4006 p.
- [13] - A. SOUMAILA, "Étude structurale, pétrographique et géochimique de la ceinture birimienne de Diagorou-Darbanî", Liptako, Niger occidental (Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat de l'Université Franche- Comté, France, (2000) 253 p.
- [14] - R. POUGNET et J. GREIGERT, Notice explicative sur la carte géologique du Niger : à l'échelle du 1/2000000 (contours arrêtés au 13 août 1965). Edition du bureau de recherches géologiques et minière, (1967) 62 p.
- [15] - AFTES, "Description des massifs rocheux utile à l'étude de stabilité", Tunnels et Ouvrages Souterrains, supplément au, N° 11 7 (1993)
- [16] - F. MICHEL, "Roches et paysage, reflets de l'histoire de la terre", Paris, belin, Orléans, brgm édition, (ISBN 2701140811), (2005) 208 p.
- [17] - N. POLLET, "Mouvements gravitaires rapides de grandes masses rocheuses : Apports des observations de terrain à la compréhension des processus de propagation et dépôt", Application aux cas de La Madeleine (Savoie, France), Flims (Grisons, Suisse) et Köfels (Tyrol, Autriche), Thèse ENPC, (2004) 252 p.
- [18] - B. MARTINS-CAMPINA, "Le rôle des facteurs géologiques et mécaniques dans le déclenchement des instabilités gravitaires : exemple de deux glissements de terrain des Pyrénées Atlantiques (Vallée d'Ossau et Vallée d'Aspe) ", Planète et Univers [physics] ; Thèse de doctorat de l'Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, Français. tel-00324072, (2005) 267 p.
- [19] - S. ZERATHE, "Origine et évolution des ruptures gravitaires de grande ampleur dans les chaînes subalpines méridionales à l'Holocène", Thèse de Doctorat de l'Université de Nice - Sophia Antipolis, (2013) 322 p.
- [20] - D. J. VARNES, "Slope movements Types and Processes", In: Schuster R.L. et Krizek R.J. (eds), *Landslides Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report 176, National Research Council, Washington D.C., Chap.2, (1978)
- [21] - M. PETER-BOIRE, S. GENTIER ET S. AUBIE, "Modélisation des instabilités dans le flysch et les altérites associées sur le littoral basque français (64) ", Rapport BRGM/RP-57056-FR, 25 illus., 1 ann, (2009) 59 p.

- [22] - G. HUGONIE, “les facteurs de l’instabilité des versants en sicils”, In : *L’information géographique*, Vol. 08, N°1 (2004) 27 - 39 p.
- [23] - E. PALIS, “Etude du comportement post rupture de versants instables par l’observation et l’instrumentation” Thèse de doctorat de l’Université Côte d’Azur, École doctorale Sciences Fondamentales et Appliquées Unité de recherche : Géoazur, (2017) 241 p.
- [24] - O. SEDAN, M. MATHON, A. NACHBAUR, F. A. JACQ, J. F. BUTAUD, “Rôle de la végétation vis-à-vis des mouvements de terrain en Polynésie française”, Rapport final, BRGM/RP-62203-FR., 48 illustrations, 8 annexes, (2013) 119 p.
- [25] - R. RICE, “Aménagement forestier en vue de minimiser les risques de glissements de terrains des Terres”, Station d’essai forestière et pastorale de la région Pacifique sud-ouest (E.U.) [en ligne] Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’agriculture, (1977) [consulté le 19/09/2019] <http://www.fao.org/docrep/006AD071F/AD071f16.htm>
- [26] - G. DAN, “Processus Gravitaires et Evaluation de la Stabilité des Pentés : Approches Géologique et Géotechnique. Application à la marge algérienne et à l’effondrement de l’aéroport de Nice en 1979”, Thèse de doctorat de l’Université de Bretagne occidentale, (2007) 457 p.
- [27] - R. COJEAN, Role of water as a triggering factor for landslides and debris flows, - Int. Workshop on Floods and Inundtions related to the Large Earth Movements, Trent, Italy, (1994) 31 - 39 p.
- [28] - G. CROSTA, “Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation”, *Environmental Geology*, I.J.G., Vol. N°35, N° 2-3 (1998) 131 - 145 p.
- [29] - TH. LEBOURG, “Analyse géologique et mécanique de glissements de terrain dans des moraines des Pyrénées centrales et occidentales (France) ”, Thèse de doctorat de l’Université Bordeaux 1, (2000) 362 p.
- [30] - J. P. MALET, D. LAIGLE, A. REMAÎTRE & O. MAQUAIRE, “Triggering conditions and mobility of debris flows associated to complex earthflows”, *Geomorphology*, N°66 (2005) 215 - 235 p.
- [31] - P. GOSTELOW, “Rainfall and landslides. Prevention and control of landslides and other mass movements”, edited by: Almeida-Teixeira, M., Fantechi, R., Oliveira, R., and Gomes Coelho, A., CEC, Brussels, (1991) 139 - 161 p.
- [32] - A. L. COELHO NETTO, A. M. SATO, A. S AVELAR, L. G. G. VIANNA, I. S ARAUJO, D. CROIX, P. LIMA, A. P. SILVA & R. PEREIRA, “January 2011: the Extreme Landslide Disaster in Brazil”, Proceedings 2nd World Landslide Forum, Rome, (2011) 1 - 6 p.
- [33] - B. Y. PEDRAM, “Modélisation de la stabilité des massifs rocheux avec prise en compte de l’endommagement des joints et des effets hydromécaniques”, Mécanique des matériaux [physics. class-ph], Ecole des Ponts Paris Tech, Français, NNT : 2009 ENPC0921, pastel-00662311, (2009)
- [34] - D. CLEMENT, L. JULIEN, H. M. HELENE, “Les glissements de terrain, modélisation et prévention ”, Ecole normale supérieur, Paris-Sarclay, (2017)