Document public

Appui technique à la Direction de l'Equipement dans le cadre de la prévention des risques naturels à Mayotte. Notes de l'année 2009 et 2010.

BRGM/RP-58855-FR
Août 2010

Liberté • Égalité • Fraternité
PRÉFECTURE DE MAYOTTE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Appui technique à la Direction de l'Equipement dans le cadre de la prévention des risques naturels à Mayotte. Notes de l'année 2009 et 2010.

Rapport final

BRGM/RP-58855-FR
Août 2010

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public
du BRGM 10RISH13

A. Oppermann
Avec la collaboration de
C. Garnier et JL. Nédellec

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : J.-L. Nedellec	Nom : P. Puvilland
Date :	Date :
Signature :	Signature **:**

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008

Liberté • Égalité • Fraternité
PRÉFECTURE DE MAYOTTE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : appui technique, Direction de l'Equipement, Océan Indien, Mayotte, aléas naturels, risques naturels, mouvements de terrain, inondations, submersion marine.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Oppermann A., avec la collaboration de Garnier C. et de Nédellec JL. (2010) : Appui technique à la Direction de l'Equipement dans le cadre le la prévention des risques naturels à Mayotte. Notes de l'année 2009 et 2010. Rapport – BRGM/RP-58855-FR.

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le contexte géologique, morphologique et climatique particulier de Mayotte, le développement et l'aménagement du territoire doivent tenir compte d'une forte exposition aux aléas naturels.

Dans le cadre de ses missions régaliennes et de la procédure de commande publique, la Direction de l'Equipement de Mayotte sollicite souvent un appui du BRGM pour des avis sur les risques naturels. En conséquence, pour formaliser et fixer le cadre de cet appui spécifique, le BRGM et la DE de Mayotte ont signé une convention annuelle d'appui technique.

Cet appui se fait soit lors de l'instruction réglementaire au titre des Codes de l'Urbanisme et de l'Environnement, lors de la conception d'équipements publics et d'intérêt général (réseau routier, collèges et lycées, port, etc.), pour le compte de maîtres d'ouvrage publics (opération de résorption de l'habitat insalubre, lotissements communaux, équipements sportifs, etc.), soit ponctuellement en période de crise (saison cyclonique, événement exceptionnel tel qu'un éboulement, etc.).

Le présent rapport compile l'ensemble des notes techniques faites à la demande de la DE au cours du second semestre de l'année 2009 et du premier semestre de l'année 2010. L'élaboration de ces notes est assurée par un géologue, spécialisé en risques naturels, en poste au BRGM de Mayotte ou par des experts du BRGM localisés en métropole ou à La Réunion. Cet appui revêt différentes formes qui ont le plus souvent un caractère d'urgence et demandent une grande disponibilité. Il peut s'agir notamment :

- d'avis techniques sur dossiers suite à un déplacement sur le terrain ;
- d'avis techniques sur des risques supposés ;
- d'avis techniques sur des travaux (en projet ou en cours) ;
- d'avis géologiques post événement (chutes de blocs, éboulements, glissements de terrain, inondations, etc.)

Sommaire

1. Localisation des notes sur le territoire de Mayotte, de mai 2009 à août 2010.....7

2. Note 2009 SAR/MAYOTTE 01. Précisions sur l'aléa « mouvements de terrain » et découpage en bassins de risque sur une zone NC à Acoua.....11

3. Note 2009 SAR/MAYOTTE 02. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » et découpage en bassins de risques des zones U et NA situées à l'Est du village de Bouyouni, commune de Bandraboua. 21

4. Note 2009 SAR/MAYOTTE 03. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain au Sud-est de Chiconi avec délimitation de bassins de risque, et avis spécifique sur une parcelle située dans cette zone. 33

5. Note 2009 SAR/MAYOTTE 04. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » des zones U et NA situées au Nord de Bandrélé. 53

6. Note 2009 SAR/MAYOTTE 05. Evaluation des risques naturels au droit du projet d'extension de la maison d'arrêt de Majicavo, commune de Koungou. 63

7. Note 2009 SAR/MAYOTTE 06. Diagnostic suite aux instabilités affectant les bordures de la RN2 et suite à l'apparition de fissures et de débuts d'affaissements entre le PR 7+500 et le PR 8+300 (virages d'Ironi Bé, commune de Dembéni) 75

8. Note 2009 SAR/MAYOTTE 07. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » au droit de l'école primaire de Poroani, commune de Chirongui. 93

9. Note 2009 SAR/MAYOTTE 08. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » à Mtsangadoua, commune d'Acoua. 105

10. Note 2009 SAR/MAYOTTE 09. Diagnostic suite aux instabilités affectant un versant en contrebas du centre de la commune de Tsingoni. 123

11. Note 2009 SAR/MAYOTTE 10. Etude de bassin de risque concernant le carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani pour un projet d'extension de l'urbanisation. 135

12. Note 2009 SAR/MAYOTTE 11. Etude de bassin de risque concernant le carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani pour un projet d'extension de l'urbanisation 147

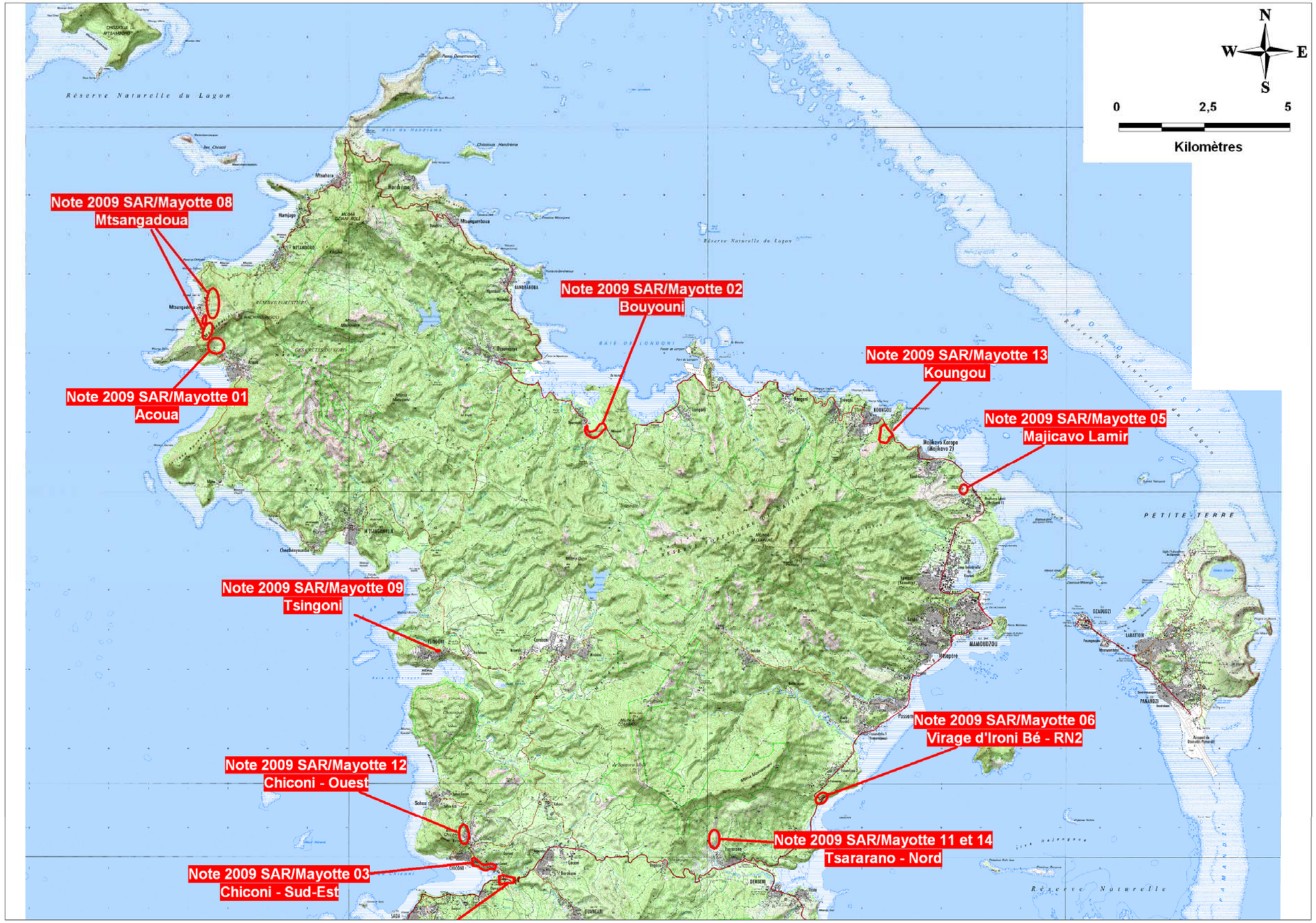
13. Note 2009 SAR/MAYOTTE 12. Etude de bassin de risque concernant les zones d'extension de l'urbanisation dans la partie Nord-Ouest de Chiconi 161

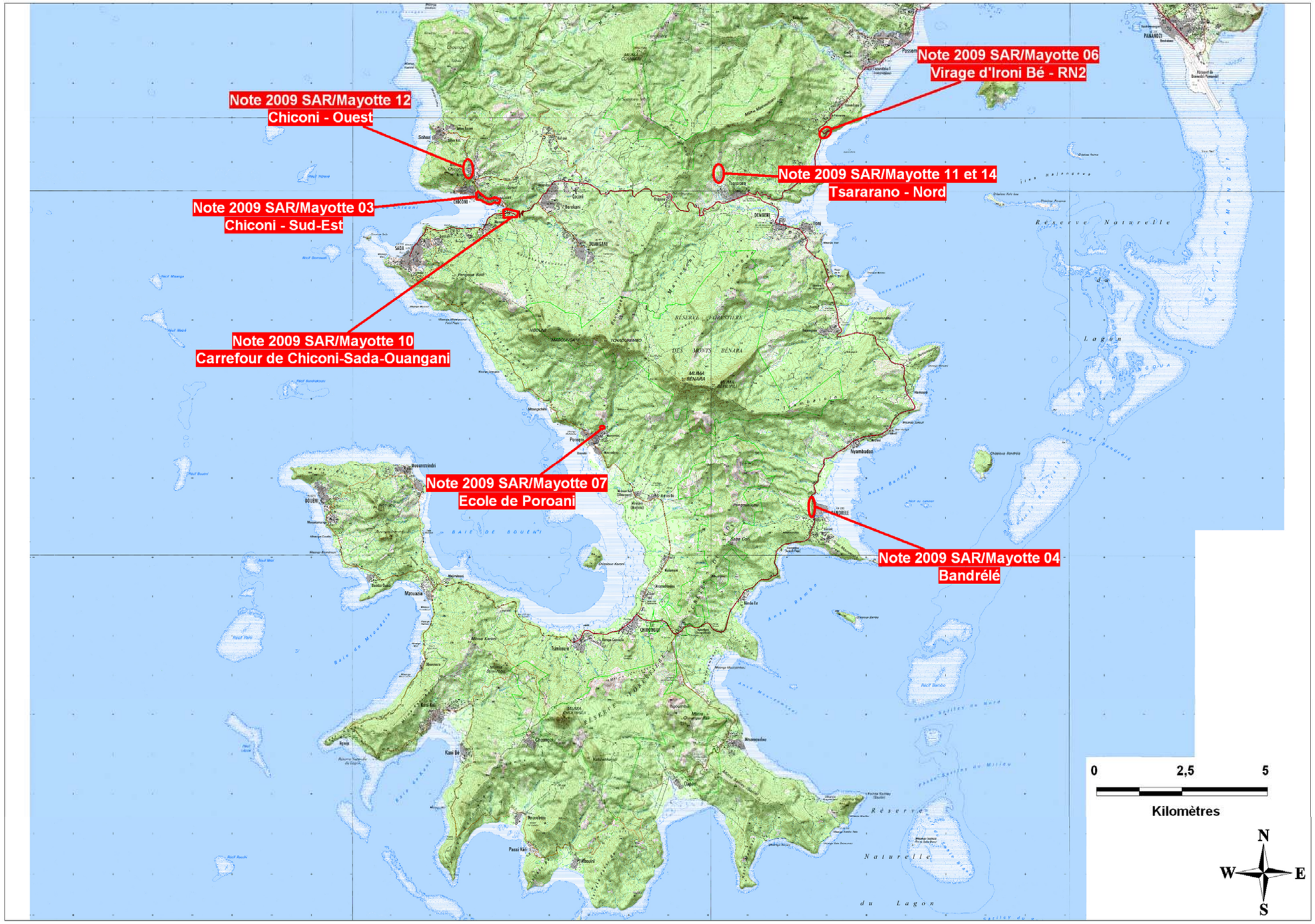
14. Note 2009 SAR/MAYOTTE 13. Etude de bassin de risque au droit de la future zone d'activité à Koungou (Sud de *Pointe Koungou* 175

15. Note 2009 SAR/MAYOTTE 14. Avis complémentaire concernant le rapport SEGC n°1559 pour l'aménagement de la zone Nord-Ouest du village de Tsararano 187

1. Localisation des notes sur le territoire de Mayotte, de mai 2009 à août 2010

(Fond © IGN Scan 25)


N
W
E
S
0
2,5
5
Kilomètres
Note 2009 SAR/Mayotte 08
Mtsangadoua
Note 2009 SAR/Mayotte 01
Acoua
Note 2009 SAR/Mayotte 02
Bouyouni
Note 2009 SAR/Mayotte 13
Koungou
Note 2009 SAR/Mayotte 05
Majicavo Lamir
Note 2009 SAR/Mayotte 09
Tsingoni
Note 2009 SAR/Mayotte 06
Virage d'Ironi Bé - RN2
Note 2009 SAR/Mayotte 12
Chiconi - Ouest
Note 2009 SAR/Mayotte 11 et 14
Tsararano - Nord
Note 2009 SAR/Mayotte 03
Chiconi - Sud-Est
Réserve Naturelle du Lagon
PETITE-TERRE


Note 2009 SAR/Mayotte 06
Virage d'Ironi Bé - RN2
Note 2009 SAR/Mayotte 12
Chiconi - Ouest
Note 2009 SAR/Mayotte 11 et 14
Tsararano - Nord
Note 2009 SAR/Mayotte 03
Chiconi - Sud-Est
Note 2009 SAR/Mayotte 10
Carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani
Note 2009 SAR/Mayotte 07
Ecole de Poroani
Note 2009 SAR/Mayotte 04
Bandrélé
0
2,5
5
Kilomètres
N
W
E
S

2. Note 2009 SAR/MAYOTTE 01. Précisions sur l'aléa « mouvements de terrain » et découpage en bassins de risque sur une zone NC à Acoua.

.

Direction de l'Equipement de Mayotte

Précisions sur l'aléa « mouvements de terrain » et découpage en bassins de risque sur une zone NC à Acoua.

Juillet 2009

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 01
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 1398
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 05/06/09	**Site :** Nord Ouest d'Acoua
Commune : Acoua	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : Précisions sur l'aléa « mouvements de terrain » et découpage en bassins de risque sur une zone NC à Acoua.	
Demandeur : DE/SEC	
Diffusion : DE/SEC et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

S. Gremminger (DE/SEC/HEA) a sollicité le BRGM afin d'obtenir un avis sur l'emprise de la zone d'aléa fort mouvements de terrain, « chutes de blocs dominantes », concernant une parcelle en zone NC, en aval de la falaise « Madjabalini », au Nord-Ouest d'Acoua. L'objectif de cet avis est aussi de délimiter des bassins de risque à l'intérieur de cette zone NC et dans la partie concernée par l'aléa fort mouvements de terrain.

Pièces du dossier fournies par la DE au BRGM

La DE a fourni une illustration aidant à la localisation de la parcelle et l'emprise de la zone d'aléa.

Observations ressortant des compétences du BRGM

Données issues des travaux du BRGM

La parcelle se situe en aval du relief « Madjabalini » (310 mètres) au Nord-Ouest de la ville d'Acoua (cf. Illustration 1). Géologiquement[1], cette zone présente une entité de roche saine au Nord de la parcelle avec le dôme de phonolite formant la ligne de crête qui entoure la partie Nord du domaine d'Acoua (cf. Illustration 2). Au pied de cette ligne de crête, on trouve un ensemble de matériaux remaniés, des colluvions de versants (cf. Illustration 3 et 4) avec des blocs pouvant atteindre plusieurs m^3 (cf. Illustration 3). Ces colluvions sont présentes sur tout le reste la parcelle.

D'un point de vue morphologique, au Nord de la parcelle, les parois du dôme de phonolite présentent une hauteur d'environ 100 mètres et des pentes moyennes de l'ordre de 70°, tout le long de la ligne de crête. Au pied du dôme de phonolite, la pente se réduit très sensiblement pour atteindre des valeurs de 30° à 10°, voire nulle en fond de ravine au niveau des habitations.

Selon l'Atlas des aléas remis à jour en 2007[2] (mise à jour de l'aléa mouvements de terrain uniquement), la zone d'étude apparaît dans la partie Ouest en aléa fort « chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements », l'autre partie est en aléa moyen « glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » (cf. Illustration 5).

[1] Stieltjes L. (1988) – Carte géologique de Mayotte à 1/50000 et sa notice. Ed. BRGM.

[2] J.-C. Audru et M. Imbault (2007) : Mise à jour de l'aléa mouvements de terrain pour les atlas des aléas naturels, sur 8 communes de Mayotte. Rapport BRGM/RP-55589-FR, 6 p., 5 figures.

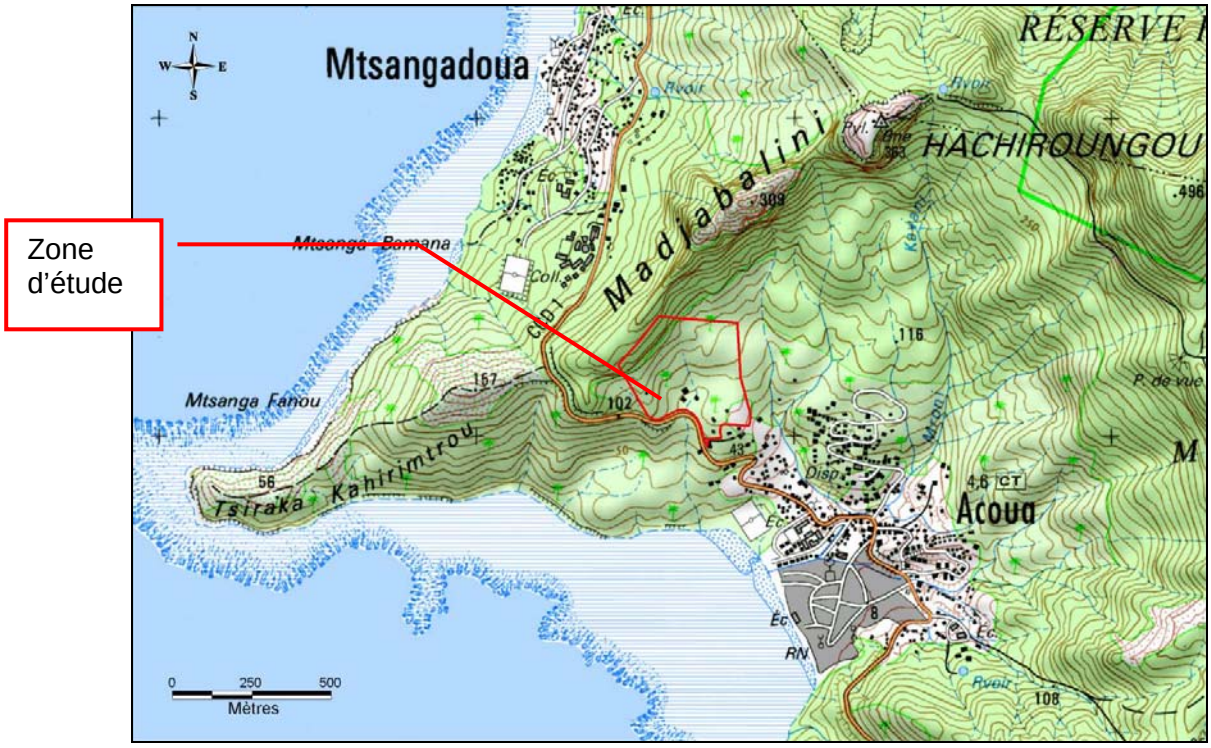


Illustration 1. Localisation de la zone d'étude (fond scan25)

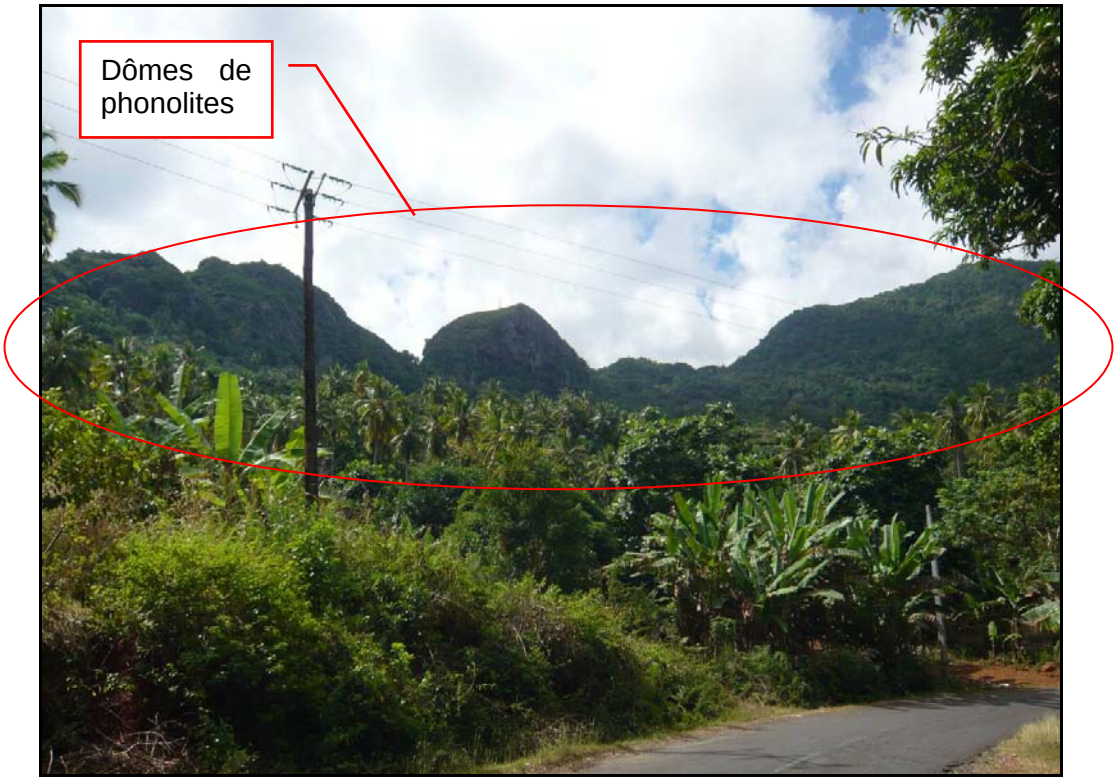


Illustration 3. Colluvions de versant avec blocs de phonolites de plusieurs m^3

Illustration 4. Colluvions latéritiques anguleuses de volume variant entre 20 et 50 litres.

Illustration 2. Dômes de phonolite formant la ligne de crête en arrière plan

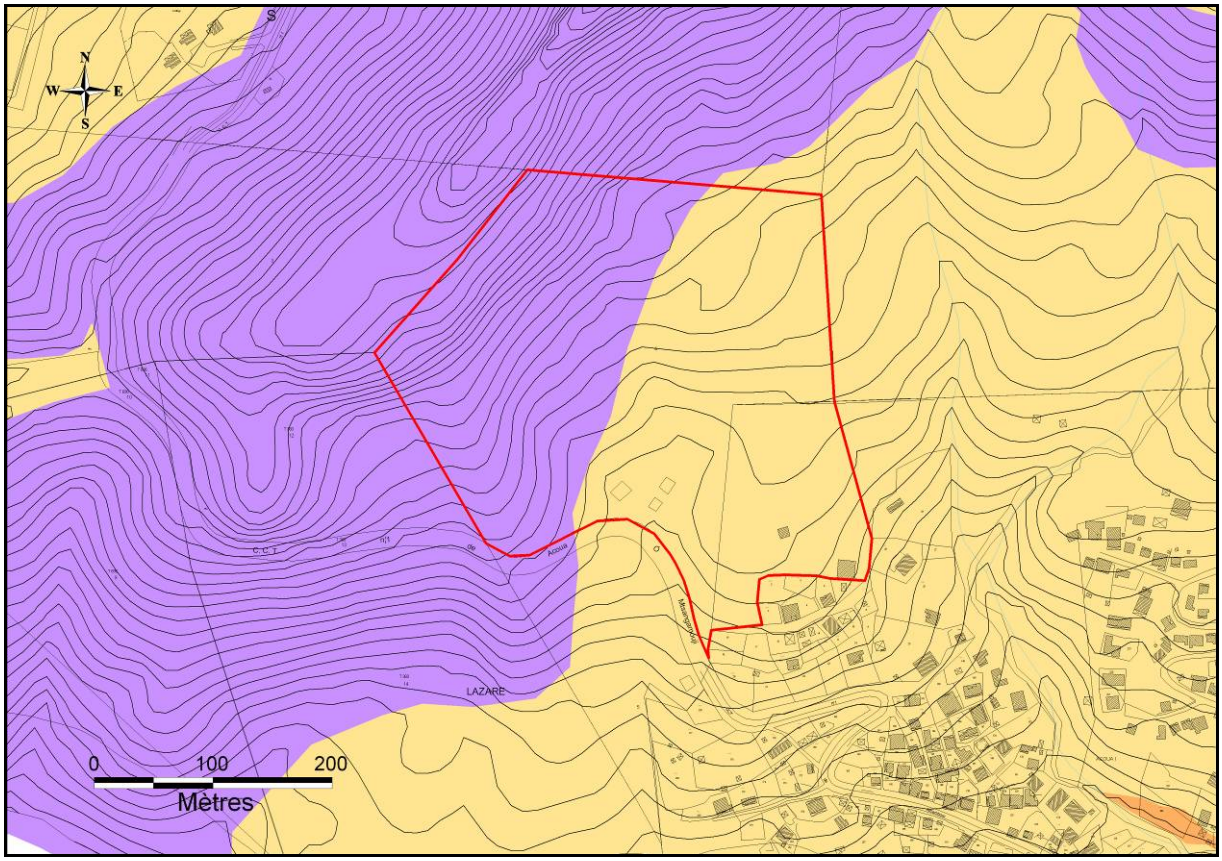


Illustration 5. Zonage de l'aléa mouvements de terrain au droit de la parcelle d'étude (Atlas des aléas 2007, fond cadastral).

Légende : Aléa fort « chutes de blocs dominants accompagnés de glissements de terrain » en violet ; Aléa moyen « glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » en jaune.

Observations relatives à la visite de terrain

La visite de terrain a permis de redéfinir le zonage de l'aléa mouvements de terrain au droit de la parcelle concernée par cette étude.

La géomorphologie et la lithologie du site montre qu'un aléa fort « chutes de blocs dominants » (P3) est justifié sur la partie Nord-Ouest de la parcelle puisqu'elle englobe une partie des dômes de phonolite qui correspond à une zone de départ de blocs pouvant atteindre plusieurs m^3. A priori, la distinction est nette entre l'aléa « chutes de blocs » et l'aléa « glissements de terrain » étant donné la lithologie et la formation géologique en place. Compte tenu de cette zone (P3) de départ de blocs, une bande de sécurité de 30 à 40 mètres directement en aval est également justifiée. Dans cette zone dite de propagation, les pentes ne sont pas très fortes, elles varient entre 15 et 20°. C'est pourquoi, en fonction de l'interprétation géomorphologique (valeurs de pente, présence d'indices) cette bande a été révisée et diminuée (cf. Illustration 6).

Les colluvions latéritiques présentes sur l'ensemble de la parcelle et sur de faibles pentes permettent de définir un zonage en aléa moyen « glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » (G2). Aucun indice de glissement de terrain ancien ou récent ou indice d'instabilité n'a été décelé dans la zone d'aléa moyen G2.

Concernant les bassins de risque à l'intérieur de cette zone NC concernée par l'aléa fort P3, la visite de terrain, les photos aériennes (orthophotos 2005), la Bd ortho 2006 et les courbes de niveaux ont permis la délimitation de 3 micro-bassins de risque. Ces 3 micro-bassins de risques sont visibles sur l'illustration 6. Ils s'étendent depuis la ligne de crête jusqu'aux bords de la route située en aval.

Conclusions

➲ Eu égard des éléments observés sur le terrain, le zonage d'aléa sur cette parcelle NC peut être modifié et une nouvelle délimitation est envisagée.
➲ Trois micro-bassins de risques ont été délimités en fonction de la géomorphologie du site et des aléas en présence.

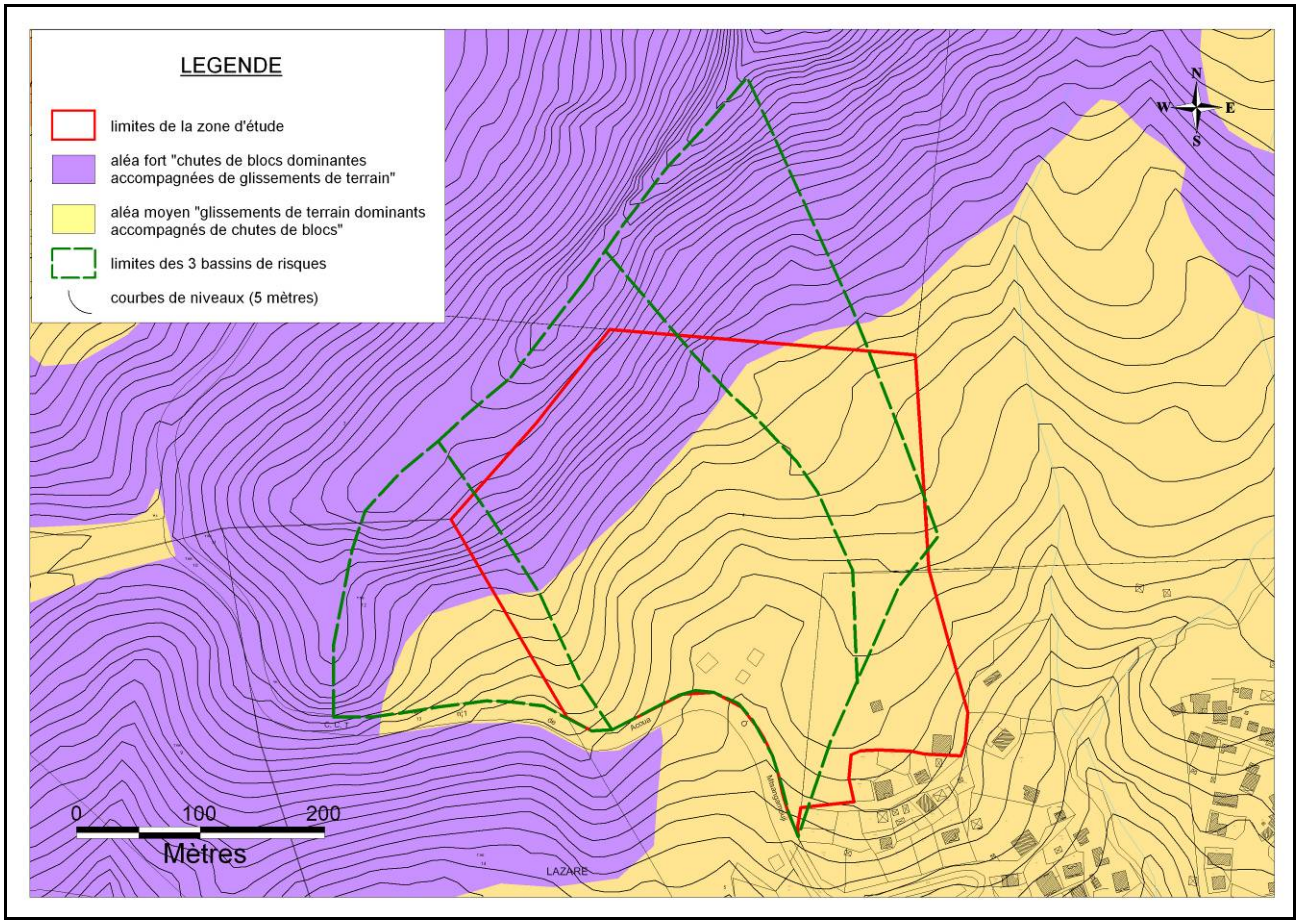


Illustration 6. Zonage de l'aléa mouvements de terrain modifié d'après le présent avis (fond cadastral)

3. Note 2009 SAR/MAYOTTE 02. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » et découpage en bassins de risques des zones U et NA situées à l'Est du village de Bouyouni, commune de Bandraboua.

.

Direction de
l'Equipement de Mayotte

Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » et découpage en bassins de risques des zones U et NA situées à l'Est du village de Bouyouni, commune de Bandraboua

Juillet 2009

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 02
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 1398
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 05/06/09	**Site :** Zones U et NA à l'Est de Bouyouni
Commune : Bouyouni, commune de Bandraboua	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » et découpage en bassins de risques des zones U et NA situées à l'Est du village de Bouyouni, commune de Bandraboua.	
Demandeur : DE/SEC	
Diffusion : DE/SEC et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

S. Gremminger (DE/SEC/HEA) a sollicité le BRGM afin d'obtenir un avis sur l'emprise de la zone d'aléa fort mouvements de terrain « glissements de terrains dominants accompagnés de chutes de blocs », concernant des parcelles U et NA situées à l'Est de Bouyouni. L'objectif de cet avis est aussi de délimiter des bassins de risques à l'intérieur de ces zones concernées par l'aléa fort mouvements de terrain.

Pièces du dossier fournies par la DE au BRGM

La DE a fourni une illustration aidant à la localisation des parcelles et l'emprise de la zone d'aléa.

Observations ressortant des compétences du BRGM

Données issues des travaux du BRGM

La zone d'étude est composée d'une zone U et d'une zone NA qui sont localisées en amont de la RN1 à l'Est du village de Bouyouni, commune de Bandraboua (cf. Illustration 1). La zone U est une zone urbanisée alors que la zone NA est composée de cultures maraichères et de quelques arbres disparates.
D'un point de vue morphologique, la zone U est relativement plate dans sa partie Ouest (la plus urbanisée). Dans sa partie Est, un relief en forme de butte d'une hauteur proche de 40 mètres possède des pentes moyennes de 15° à 20°. La zone NA est un versant présentant des pentes moyennes de l'ordre de 20° à 25° et jusqu'à 30° par endroit (en partie intermédiaire du versant) (cf. Illustration 3 et 4).
Géologiquement, la formation basaltique en place qui constitue le versant a subi des transformations selon un profil d'altération typique (roche-mère, saprolite, allotérite). L'allotérite forme la couche superficielle du versant. Il s'agit d'une argilite légèrement compacte dont les couleurs sont caractéristiques : marron rouge à orange et ocre. Elle forme un relief assez « mou » (cf. Illustration 3 et 4). En zone urbanisée, (Est de la zone U), le sol est composé d'alluvions fines, limoneuses, typique des plaines littorales.

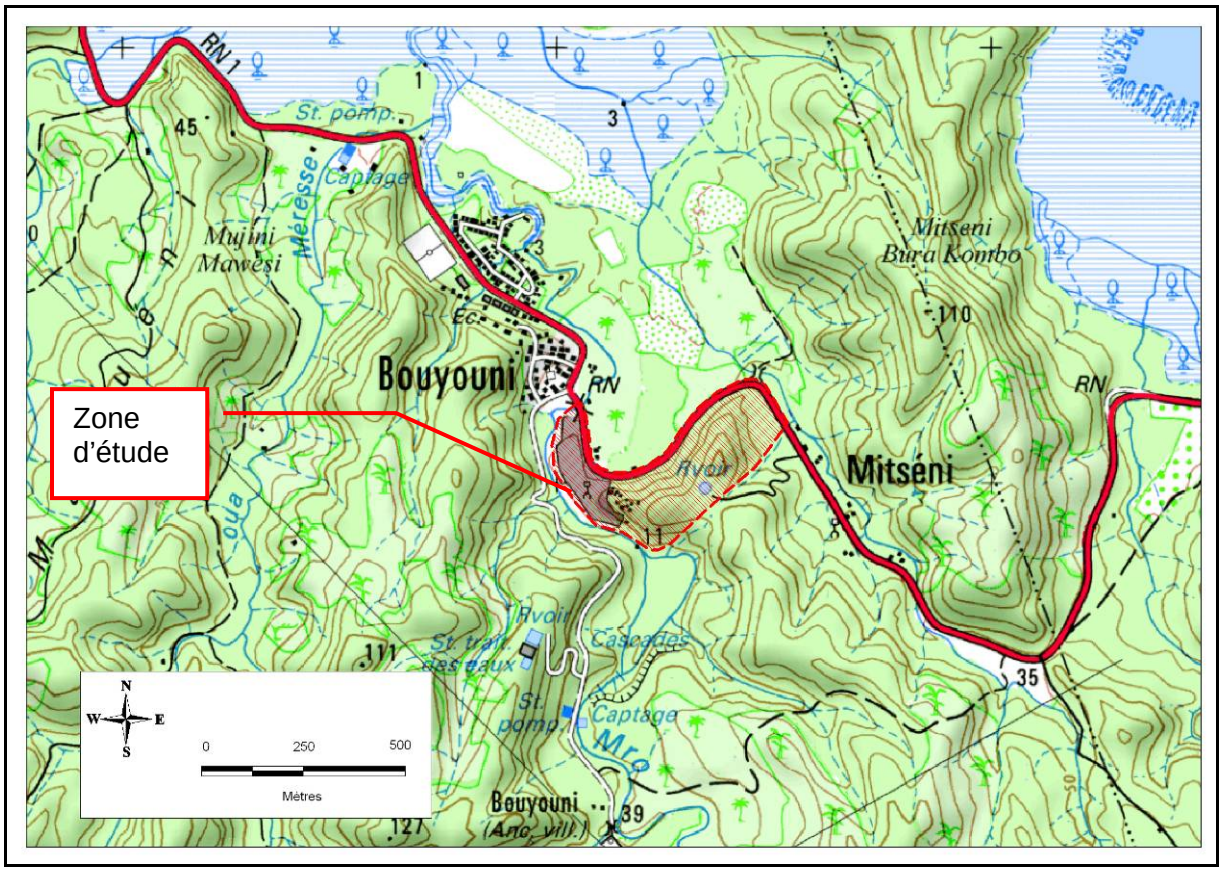


Illustration 1. Localisation de la zone d'étude (fond IGN scan25)

Illustration 2. Habitations au pied du versant dans la zone U (photo BRGM)

Illustration 3. Versant constituant la Zone NA, cultures maraichères et allotérite en surface (photo BRGM)

Illustration 4. Versant constituant la Zone NA, cultures maraichères et allotérite en surface (photo BRGM)

Selon l'Atlas des aléas remis à jour en 2007[3] (mise à jour de l'aléa mouvements de terrain uniquement) (cf. Illustration 5), la zone U apparaît dans sa partie Ouest en aléa nul à faible et dans sa partie Est, en pied de versant, en aléa moyen « glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » (G2). On remarque également une petite partie d'aléa fort en zone U. La zone NA est classée en aléa fort « glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » (G3) sur le versant exposé au Nord (amont de la RN1). Le versant exposé au Sud (amont de la rivière) est quant à lui classé en aléa moyen G2 ainsi que la partie sommitale du relief.

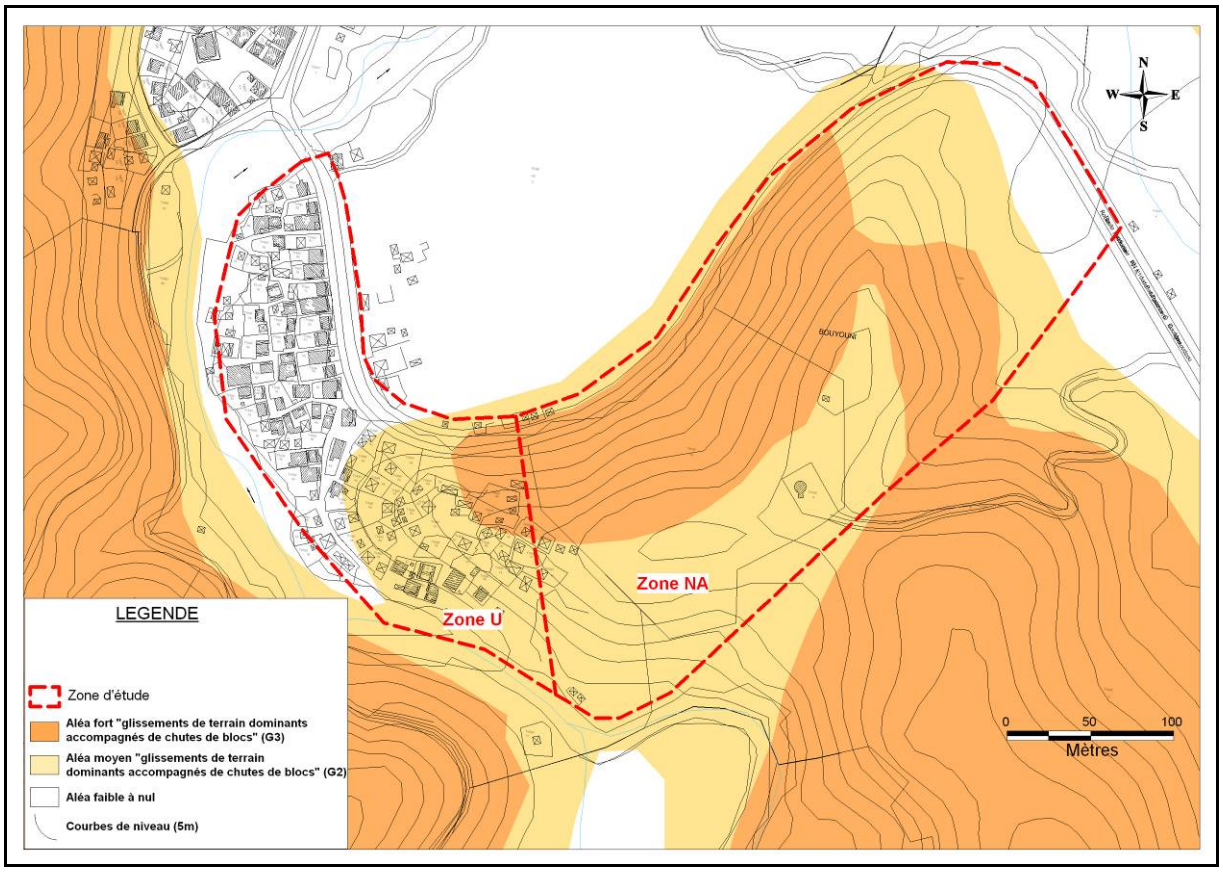


Illustration 5. Zonage des aléas mouvements de terrain extrait des Atlas des risques 2007 (fond cadastral)

Observations relatives à la visite de terrain

La visite de terrain a permis de conforter le zonage de l'aléa mouvements de terrains établi dans le cadre des Atlas des risques et de redéfinir localement et légèrement ce zonage au droit de la zone concernée par cette étude.

D'une manière générale, le versant en amont de la RN1 est classé de manière légitime en aléa fort « glissement de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » selon la cartographie des PPR. En effet, étant donné les caractéristiques morphologiques et lithologiques du versant, ainsi que les indices de glissements récents, l'aléa fort nous paraît justifié dans cette zone. En effet, d'un point de vue morphologique, les pentes moyennes sont prononcées, de l'ordre de 20 à 25° avec des secteurs avoisinant les 30°. D'un point de

[3] J.-C. Audru et M. Imbault (2007) : Mise à jour de l'aléa mouvements de terrain pour les atlas des aléas naturels, sur 8 communes de Mayotte, commune de Bandraboua et Tsingoni. Rapport BRGM/RP-55589-FR, 6 p., 5 figures.

vue lithologique, l'ensemble de la zone d'étude, le sol est constitué d'allotérites en surface sur une profondeur plus ou moins épaisse. Par ailleurs, l'occupation du sol (cultures maraichères) est un facteur aggravant de l'érosion du sol. Concernant l'hydrologie, on constate que le versant dans son ensemble ne possède pas de ravine prononcée et l'écoulement se fait de manière éparse et diffuse.
On sait aussi que durant les forts épisodes pluvieux de décembre 2008 (dépression tropicale), trois à quatre petits glissements-coulées superficiels se sont produits sur le versant (bas du versant) et ont provoqué des dégâts sur la RN1 (voir localisation sur l'illustration 9). Ces petits glissements d'environ 10 à 15 m³ (cf. Illustrations 6,7,8), ont été répertoriés et inscrits dans le projet d'inventaire départemental 2009 des mouvements de terrain à Mayotte qui sera disponible en fin d'année.

Illustrations 6, 7, 8. Glissements-coulées ayant eu lieu en décembre 2008 et affectant la RN1 et le versant amont

Néanmoins, certains endroits du versant initialement classés en aléa fort dans l'Atlas des aléas, méritent d'être déclassés en aléa moyen. Notamment dans les zones où les pentes sont relativement faibles (environ 15° à 20°) et où aucun indice d'instabilité n'a été relevé. Ces zones concernent les bordures Ouest et Est du relief étudié :
- l'Est de la zone U, en amont du versant (point n°1) ;
- l'Est de la zone NA, en amont du versant (point n°2).

La délimitation des bassins de risques à l'intérieur de cette zone d'étude concernée par l'aléa fort mouvements de terrain, a été possible grâce à la visite de terrain et à l'utilisation de

données numériques telles que les orthophotos 2005, la Bd ortho 2006 (IGN) et les courbes de niveau (IGN). Le principe de micro-bassin de risques[4] est pris en compte dans ce cas. Vis-à-vis d'une étude de faisabilité géotechnique, le micro bassin de risques définit, en matière de mouvements de terrain, la zone de terrain ayant une relation directe ou indirecte sur la zone à aménager. Il en ressort 6 micro-bassins de risques s'étendant depuis la ligne de crête du relief en question jusqu'au niveau de la RN1 en contrebas du versant. Ces micro-bassins de risques sont visibles sur l'illustration 9.

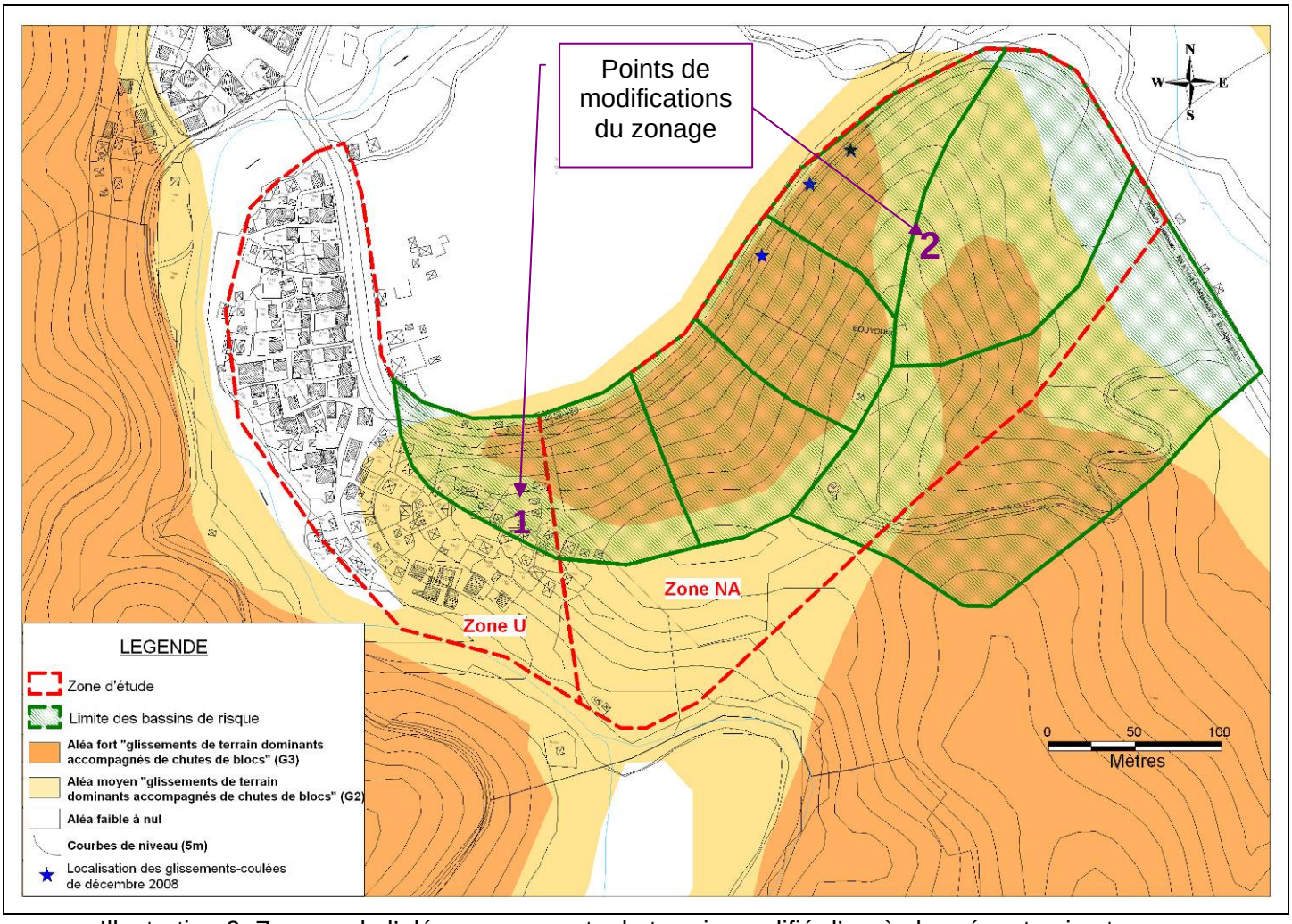


Illustration 9. Zonage de l'aléa mouvements de terrain modifié d'après le présent avis et délimitation des bassins de risques (fond cadastral).

Conclusions

➲ Eu égard des éléments observés sur le terrain, le zonage d'aléa sur ces parcelles U et NA est d'une part justifié et d'autre part modifiable localement. Un nouveau zonage est établi (cf. Illustration 9) et inséré dans la mise à jour de la cartographie des Atlas des aléas.

[4] J.L. Nédellec (2007) - Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte - Rapport BRGM/RP-55631-FR.

➲ Six micro-bassins de risques ont été délimités en fonction de la morphologie du relief en question, des données numériques et des aléas en présence, et selon le principe de micro-bassin de risque.

4. Note 2009 SAR/MAYOTTE 03. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain au Sud-est de Chiconi avec délimitation de bassins de risque, et avis spécifique sur une parcelle située dans cette zone.

Direction de
l'Equipement de Mayotte

Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » au Sud-est de Chiconi avec délimitation de bassins de risque, et avis spécifique sur une parcelle située dans cette zone.

Octobre 2009

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 03
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 15/10/09	**Site :** Sud-est de Chiconi
Commune : Chiconi	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » au Sud-est de Chiconi et délimitation de bassins de risque. Avis sur une parcelle située en aléa fort « chutes de blocs ».	
Demandeur : DE/SEC/HEA	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

La cellule HEA du Service Equipement des Collectivités (SEC) de la Direction de l'Equipement a sollicité le BRGM afin d'obtenir un avis sur l'emprise de la zone d'aléa fort mouvements de terrain « chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain » (P3) au Sud-est de Chiconi, et afin d'obtenir un avis spécifique sur une parcelle située dans cette zone.

Pièces du dossier fournies par la DE au BRGM

La DE a fourni une illustration aidant à la localisation de la zone d'étude et de la parcelle concernée.

Observations ressortant des compétences du BRGM

Données issues des travaux du BRGM

La zone d'étude est localisée en bord de mer, au Sud-est de Chiconi juste en aval de la CCD 7 et en amont de la CCD 7a.
C'est une zone en pente située au sein d'un versant appartenant à une formation volcanique culminant à 120 mètres de hauteur.

Selon l'Atlas des aléas remis à jour en 2009[5] (cf. Illustration 2), cette zone est située en aléa fort mouvements de terrain de type « chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain » (P3).

Observations relatives à la visite de terrain

➢ **Nature des matériaux**
D'un point de vue géologique, la formation volcanique en place de type basaltique, a subi des transformations selon un profil d'altération typique (roche-mère, saprolite, saprolite évoluée). C'est une altération supergène s'effectuant par progression d'un front d'altération du haut vers le bas[6]. La couche superficielle est composée de saprolite évoluée. En effet, on trouve en surface, un sol de nature argilo-sableuse avec roche majoritaire fissurée et des boules résiduelles de roche saine.
A certains endroits du versant, des coupes de sol correspondant à des déblais permettent de bien distinguer le profil d'altération affectant ce versant. C'est le cas au niveau de la parcelle à étudier en bas du versant. Sur l'illustration 20, on distingue bien le profil d'altération avec la

[5] C. Cluzet, A. Oppermann, A. Malard, L. Françoise. (2009) : Mise à jour des atlas des aléas naturels sur 12 communes de Mayotte, commune de Chiconi. Rapport BRGM/RP-57082-FR, 20 p., 15 figures.

6 C. Cluzet, A. Oppermann, C. Mathon, JM. Baltassat, A. Bitri, B. François, E. Jaques (2009) - Projet Régolite : Phase de test sur le site urbanisable de Doujani (commune de Mamoudzou, Mayotte). Rapport – BRGM/RP-57275-FR.

roche-mère surmontée d'un niveau fortement fracturé, suivis d'une altération en boule principalement.

Illustration 1. Localisation de la zone d'étude (fond IGN scan25)

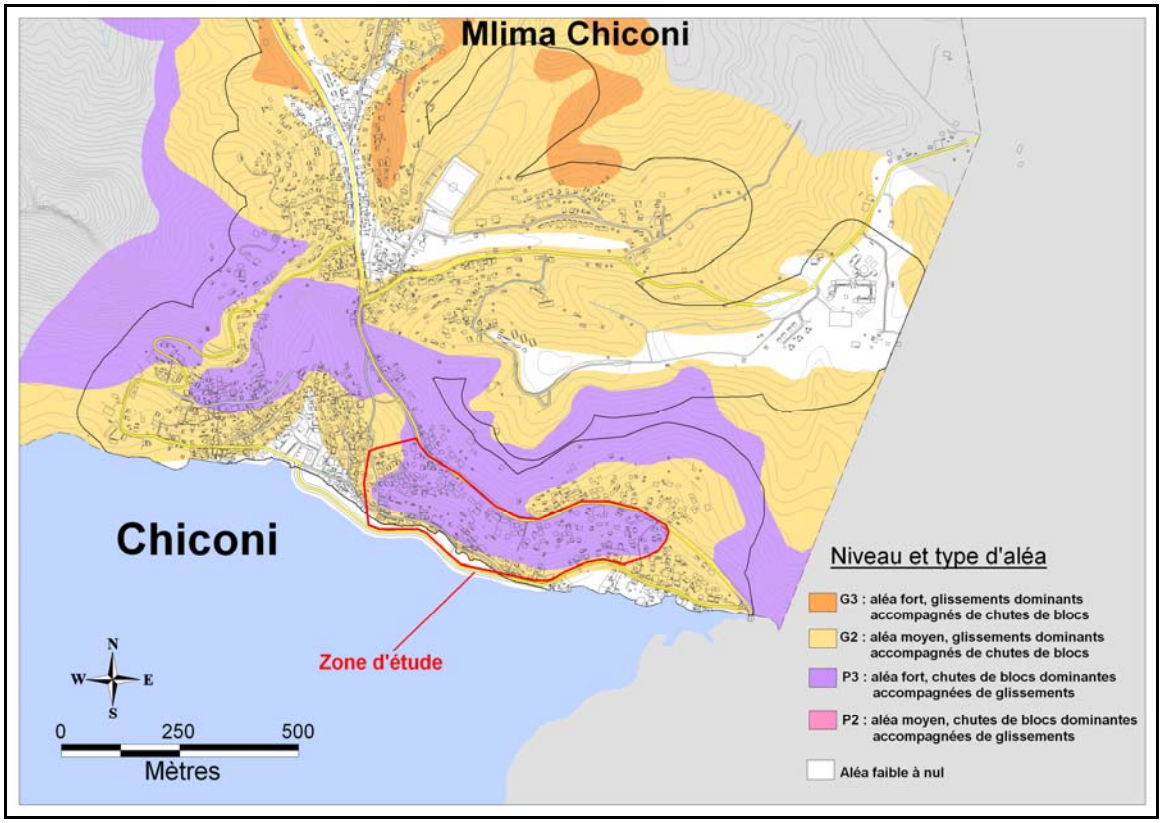


Illustration 2. Zonage de l'aléa mouvements de terrain, extrait de l'atlas des aléas de la commune de Chiconi. BRGM 2009.

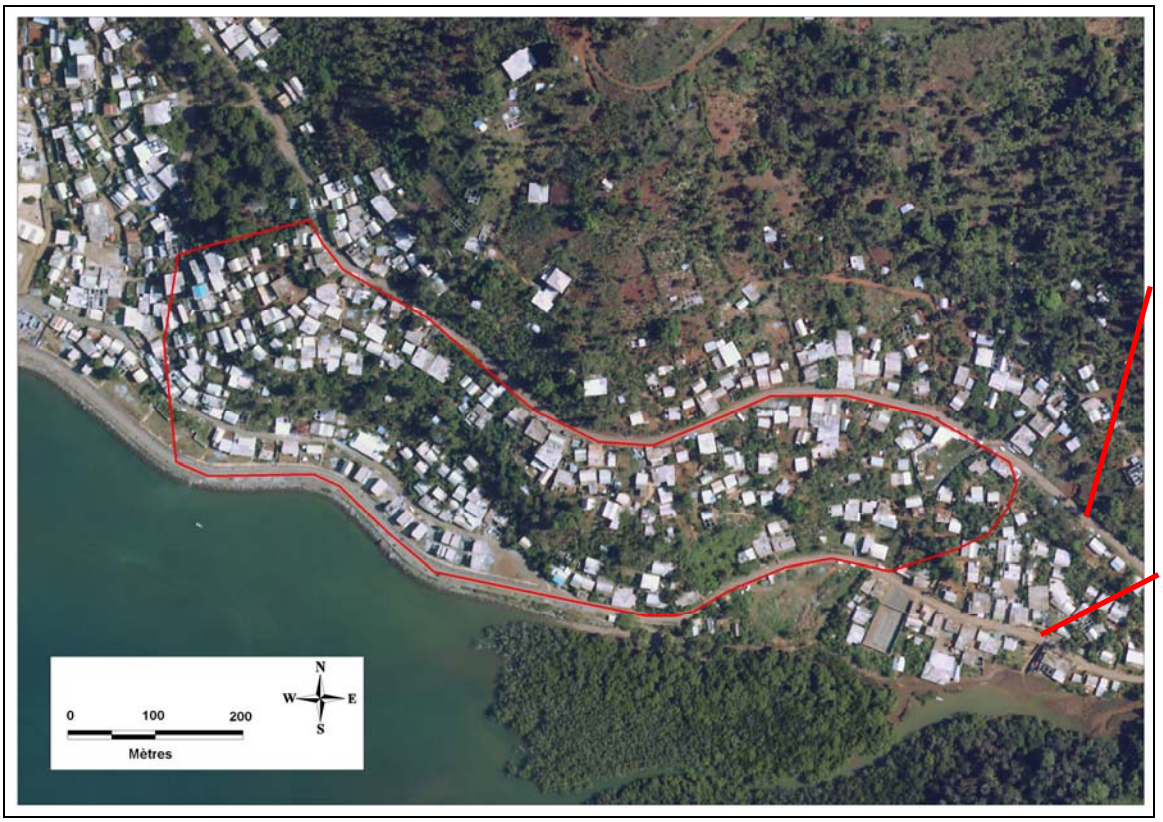


Illustration 3. Occupation du sol dans la zone d'étude. Orthophotos 2008 (©IGN).

➢ **Morphologie**

Concernant la morphologie du site, on distingue des unités topographiques différentes dans le versant.

En amont de la route CCD7 et de la zone d'étude le versant est divisé en deux unités topographiques suivant la valeur des pentes ; à l'Ouest, les pentes sont fortes (environ 30° en moyenne et supérieures à 30° au niveau du talus routier) ; à l'Est les pentes sont beaucoup plus douces, en moyenne 15 à 20° et il n'y a pas de talus routier, mais des habitations (cf. Illustration 3, 4 et 5).

A l'intérieur de la zone d'étude et dans la partie haute du versant, juste en aval de la route, les pentes sont relativement faibles et le sol est occupé par une ligne de bâti tout le long de la route côté aval (cf. Illustration 6 et 7).

Dans la partie intermédiaire du versant, les pentes sont plus prononcées mais sur une distance relativement faible, une vingtaine de mètres (cf. Illustrations 8 et 9). Cette partie correspond à un « bourrelet » à la base du versant. Elle est faiblement urbanisée excepté à l'Ouest de la zone d'étude.

Au pied du versant les pentes redeviennent douces et urbanisées jusqu'à devenir faible voire nulle au niveau de la route en contre-bas de la zone d'étude.

Ces observations de terrain s'appuient sur l'utilisation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et le traçage de plusieurs profils de pente (cf. Illustrations 10 et 11).

D'une manière générale, la pente naturelle du versant a été modifiée dans son ensemble car tout le versant est affecté par l'aménagement sous forme de «déblais/remblais» permettant le développement de l'urbanisation. Sur l'illustration 10, on distingue très nettement ces zones de déblais/remblais et on devine assez bien le tracé de la route CCD 7 directement en amont de la zone d'étude grâce au talus routier.

Illustrations 4 et 5. Versant amont de la zone d'étude, côté Est. (photos BRGM)

Illustrations 6 et 7. Partie supérieure de la zone d'étude, directement en aval de la CCD7. (photos BRGM)

Illustrations 8 et 9. Fortes pentes dans la partie intermédiaire de la zone d'étude. (photos BRGM)

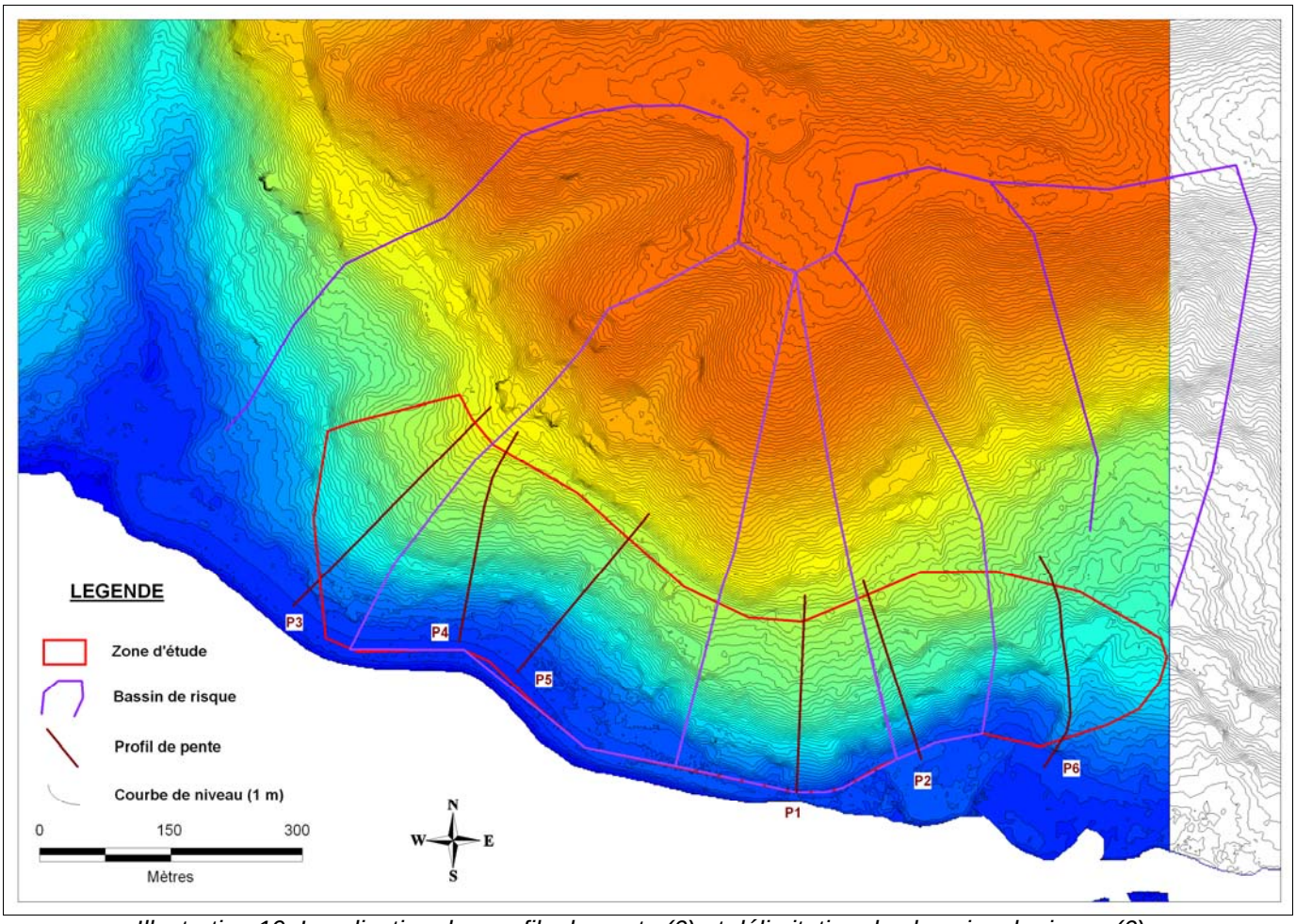
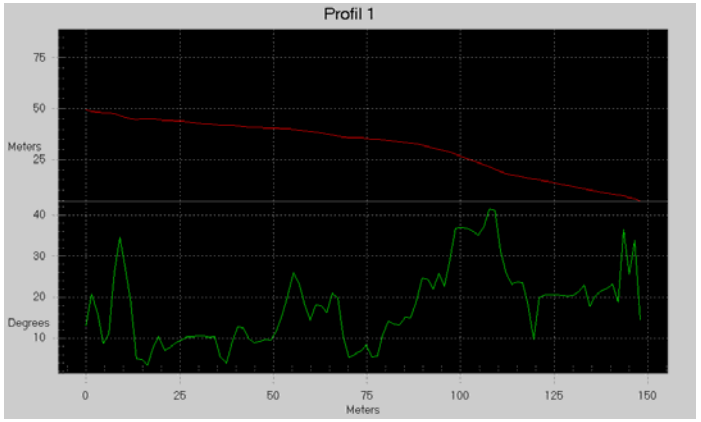
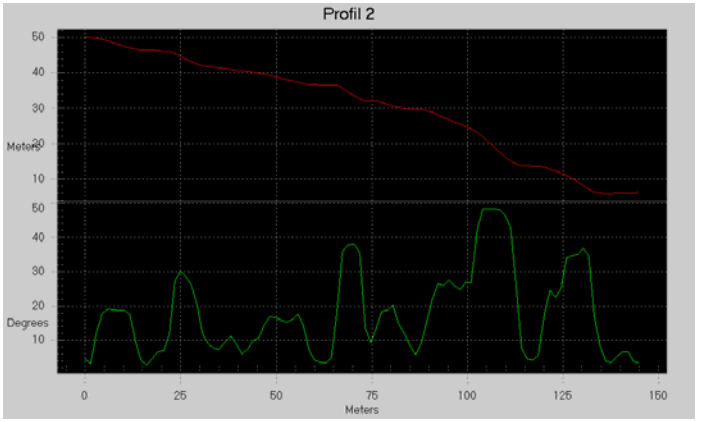


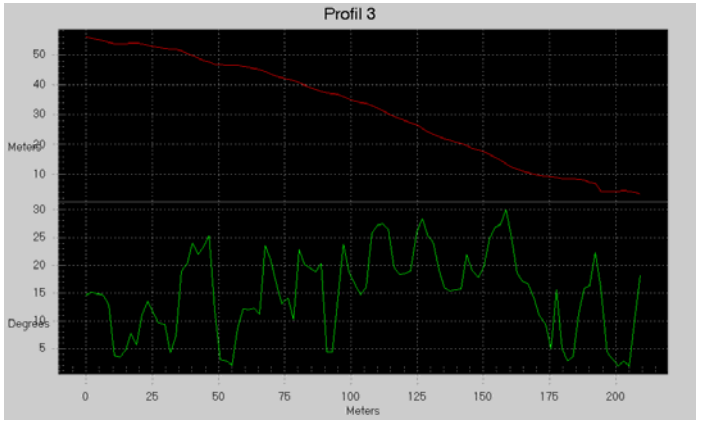
Illustration 10. Localisation des profils de pente (6) et délimitation des bassins de risque (6) concernant la zone d'étude, à partir du MNT 2009 (©IGN)

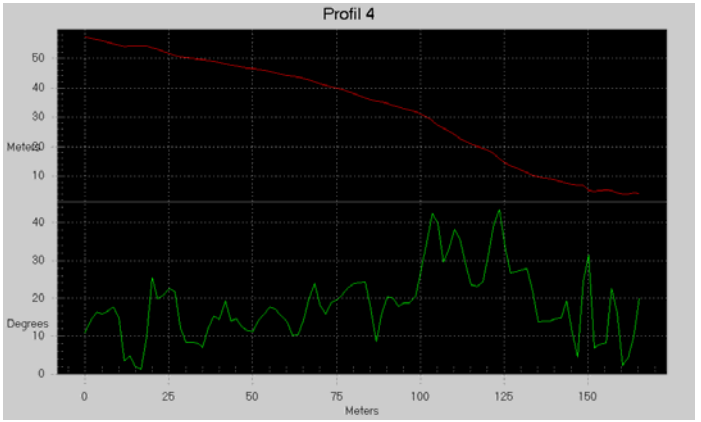
D'après ces six profils de pente (cf. Illustration 11) il est possible de caractériser de manière précise la topographie du site sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces profils sont tous situés en zone d'aléa fort « chutes de blocs dominantes » (P3).
Le profil 1 représente le secteur le moins abrupt de la zone d'étude. Sur un linéaire de 150 mètres environ d'amont en aval, les 100 premiers mètres donnent une valeur moyenne de pente de l'ordre de 12 à 15°. La deuxième partie du profil montre une nette augmentation de la valeur de pente, atteignant 35 à 40° sur 15 mètres de long. Enfin la pente s'adoucit à nouveau jusque tout en bas de la zone d'étude.
Les profils 3 et 6 implantés aux extrémités de la zone d'étude sont assez similaires. La pente moyenne dans ces parties du versant n'excède pas les 15°.
Pour les profils 2, 4 et 5, les déblais/remblais ressortent bien sur les graphiques à la vue des pics dans la partie présentant les degrés de pentes. En effet, dans ces 3 profils, localement, les pentes atteignent presque les 50° et tournent autour de 45° en général sur un linéaire relativement court de 5 à 10 mètres. Comme pour le profil 1, sur ces 3 secteurs, les valeurs de pente ont nettement tendance à augmenter après 100 mètres (70 mètres pour le profil 5) mais sur un linéaire assez succinct, de l'ordre de 15 à 30 mètres. Dans ce cas, la valeur de pente moyenne atteint 30 à 35°.

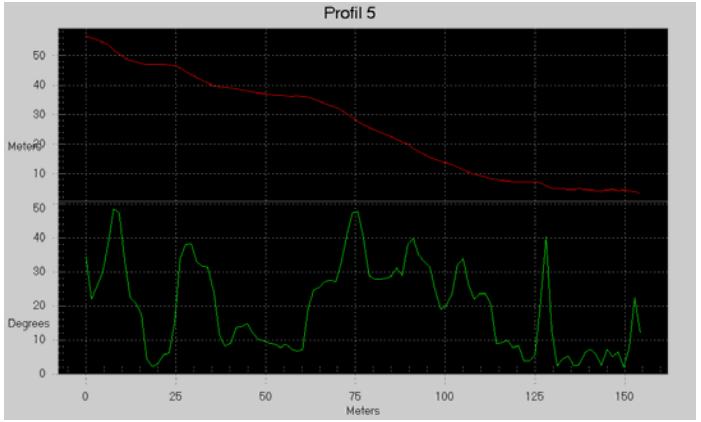
Au final, sur l'ensemble de la zone d'étude, on constate que la partie supérieure de la zone comporte de faibles pentes sur une longueur variant entre 70 et 100 mètres en comprenant la route CCD7 en amont de la zone ainsi qu'une bande « tampon » de 10-20 mètres correspondant de talus routier. Ensuite, sur une distance de 15 à 30 mètres, les pentes sont nettement plus prononcées atteignant les 35° en moyenne. Et dans la partie inférieure les pentes redeviennent douces puis nulles au niveau de la CCD7a en aval de la zone.











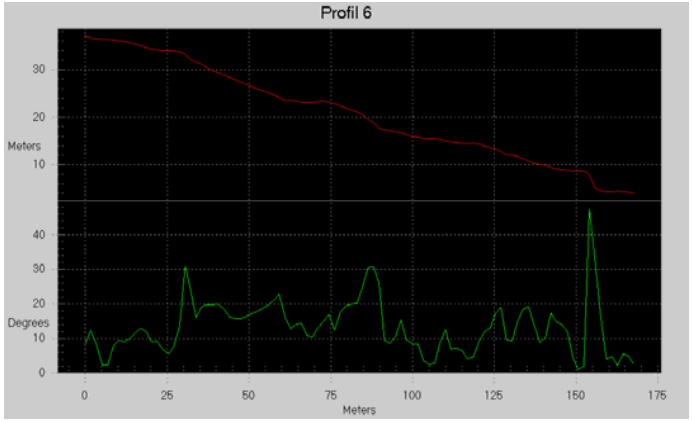


Illustration 11. Profils de pente réalisés sous Vertical Mapper avec le logiciel MapInfo

Le paramètre « valeur de pente moyenne sur le versant » est un des paramètres déterminants dans la qualification de l'aléa mouvements de terrain.

➢ **Indice d'instabilité**

Des blocs de basalte de plusieurs centaines de litres (max. 600 litres) et libérés de leur matrice argilo-sableuse sont présents sur l'ensemble du versant et surtout dans la zone intermédiaire, zone où les pentes sont les plus fortes et dont les valeurs atteignent 35° en moyenne. Ces blocs reposent essentiellement sur un sol très altéré et propice aux effets de l'érosion donc la remobilisation de bloc est à prendre en compte d'autant que les pentes sont fortes (cf. Illustration 12)

Illustration 12. Blocs présents dans la partie intermédiaire de la zone d'étude où les pentes moyennes sont les plus fortes. (Photo BRGM)

➢ **Facteurs aggravants**

Les facteurs aggravants et influençant la qualification des aléas peuvent correspondre à des indices d'instabilité de terrains, une mauvaise gestion des eaux pluviales et usées, la végétation, l'érosion, etc.

Dans ce cas, la visite de terrain a permis de préciser les différents paramètres évoqués ci-dessus.

➲ Malgré les nombreux remaniements (déblais/remblais) du profil naturel de la pente du versant en question, aucun indice d'instabilité ancien ou récent n'est à déplorer.

➲ Les venues d'eau naturelles proviennent du versant en amont de la zone d'étude. Dans la partie Est de la zone d'étude, des ravines « descendent » du versant amont et traversent la zone d'étude pour rejoindre la mangrove. Ces ravines sont sèches et intermittentes mais lors d'un épisode pluvieux conséquent des débordements de ravine peuvent se produire et entraînerait alors une érosion des berges. Comme annoncé auparavant dans cet avis, cette zone possède n'est pas très en pente donc les phénomènes de mouvements de terrain sont limités.
En dehors de ce secteur, des axes d'écoulements concentrés provenant de l'amont sont entrecoupées par la route CCD7 et l'eau s'écoulant de ces axes lors d'épisodes pluvieux et à l'origine de divagations et de ravinements, est interceptée au niveau de la zone d'étude par un réseau de caniveaux relativement dense (cf. Illustration 13).

Illustration 13. Caniveau récupérant les eaux pluviales provenant de l'amont de la zone d'étude. (Photo BRGM)

Globalement, les eaux pluviales semblent être gérées de façon correcte.
➲ Concernant l'occupation du sol, on relève une forte densification de l'urbanisation dans les parties hautes et basses dans la zone d'étude. Par ailleurs, dans la zone intermédiaire présentant des pentes nettement plus prononcées, la végétation est dense et quelques habitations ont pu être construites grâce à la technique du déblais/remblais. En règle générale, le sol est couvert, réduisant ainsi les risques d'érosion et de ravinement. Cependant, compte tenu des fortes pentes par endroit et la mise à nu du sol lors des constructions et autour des maisons en place, l'aléa érosion est maintenu à un niveau fort.

Conclusion

Eu égard des observations de terrains, de la nature des matériaux et de la topographie du site, le zonage de l'aléa « mouvements de terrains » a pu être modifié et précisé (cf. Illustration 15).
L'aléa à prendre en compte sur ce versant est l'aléa « chutes de blocs dominantes accompagnés de glissements de terrain ». Cette qualification de l'aléa est justifié par :

- La nature du sol (altérites évoluées à roches majoritaires fissurées et blocs résiduels) ;
- Le risque de remobilisation de bloc à l'intérieur du versant dans des pentes proches de 35°.

Cependant, dans les zones de pentes faibles à modérées, l'aléa « mouvements de terrains » dominant est le glissement de terrain comprenant le ravinement et les glissements superficiels. Du coup, cet aléa est considéré comme moyen (G2) et il peut également constituer la bande « tampon » entre les zones d'aléa fort et moyen.

➲ Dans la partie supérieure de la zone d'étude, directement en aval de route CCD7, l'aléa est considéré comme moyen :

- dans la partie Ouest, car premièrement dans le zonage P3 (amont zone d'étude), la bande de sécurité aval comprise dans le zonage d'aléa fort est matérialisée par la route CCD7 et l'aléa est réduit grâce à l'urbanisation éparse dans ce secteur, et deuxièmement, car les pentes sont faibles ;
- dans la partie Est de la zone d'étude, du fait de la continuité avec le zonage amont en aléa moyen G2, et étant donné que les pentes sont faibles.

➲ Aux extrémités de la zone d'étude, l'aléa fort P3 est déclassé en aléa moyen G2 pour les mêmes raisons citées ci-dessus pour la partie supérieure.

➲ Dans la zone intermédiaire entre la partie haute et basse de la zone d'étude, l'aléa est maintenu en aléa fort P3 étant donné les valeurs de pente moyennes proches de 35°, la lithologie, les blocs instables et l'érosion importante.

➲ Enfin, en partie basse au niveau des pentes inférieures à 15°, le tampon entre l'aléa fort et moyen est respecté par une bande d'aléa moyen G2. Au pied du versant, au niveau de la route CCD7a, l'aléa est nul à faible en l'absence de pente.

➲ La forte densité d'habitations dans certaines parties du versant contribue à la bonne stabilité générale vis-à-vis des mouvements de terrain. Le problème principal se situe alors dans la bonne gestion des eaux usées et pluviales et dans la re-végétalisation autour des habitations afin d'éviter les ravinements et les coulées de boue.

La délimitation des bassins de risques à l'intérieur de cette zone d'étude concernée par l'aléa fort « mouvements de terrain » a été possible grâce à la visite de terrain et à l'utilisation de données numériques telles que le Modèle Numérique de Terrain (MNT)

de 2009 et les orthophotos 2008 (©IGN). Le principe de micro-bassin de risques[7] est pris en compte dans ce cas. Vis-à-vis d'une étude de faisabilité géotechnique, le micro bassin de risques définit, en matière de mouvements de terrain, la zone de terrain ayant une relation directe ou indirecte sur la zone à aménager. Il en ressort 6 micro-bassins de risques s'étendant depuis la ligne de crête du versant en question jusqu'au niveau de la CCD7a au pied du versant. Ces micro-bassins de risques sont visibles sur l'illustration 10.

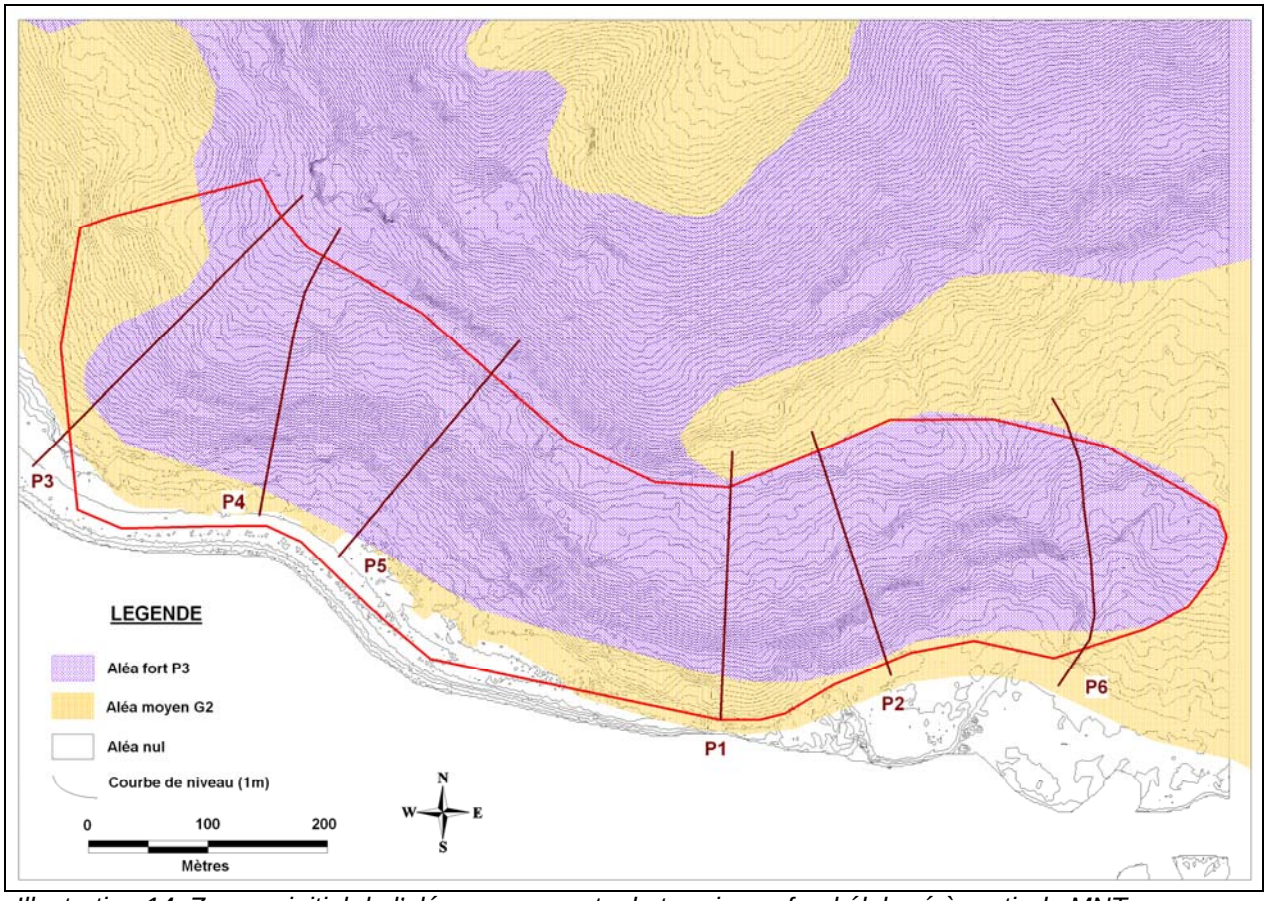


Illustration 14. Zonage initial de l'aléa mouvements de terrain sur fond élaboré à partir du MNT 2009

[7] J.L. Nédellec (2007) - Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte - Rapport BRGM/RP-55631-FR.

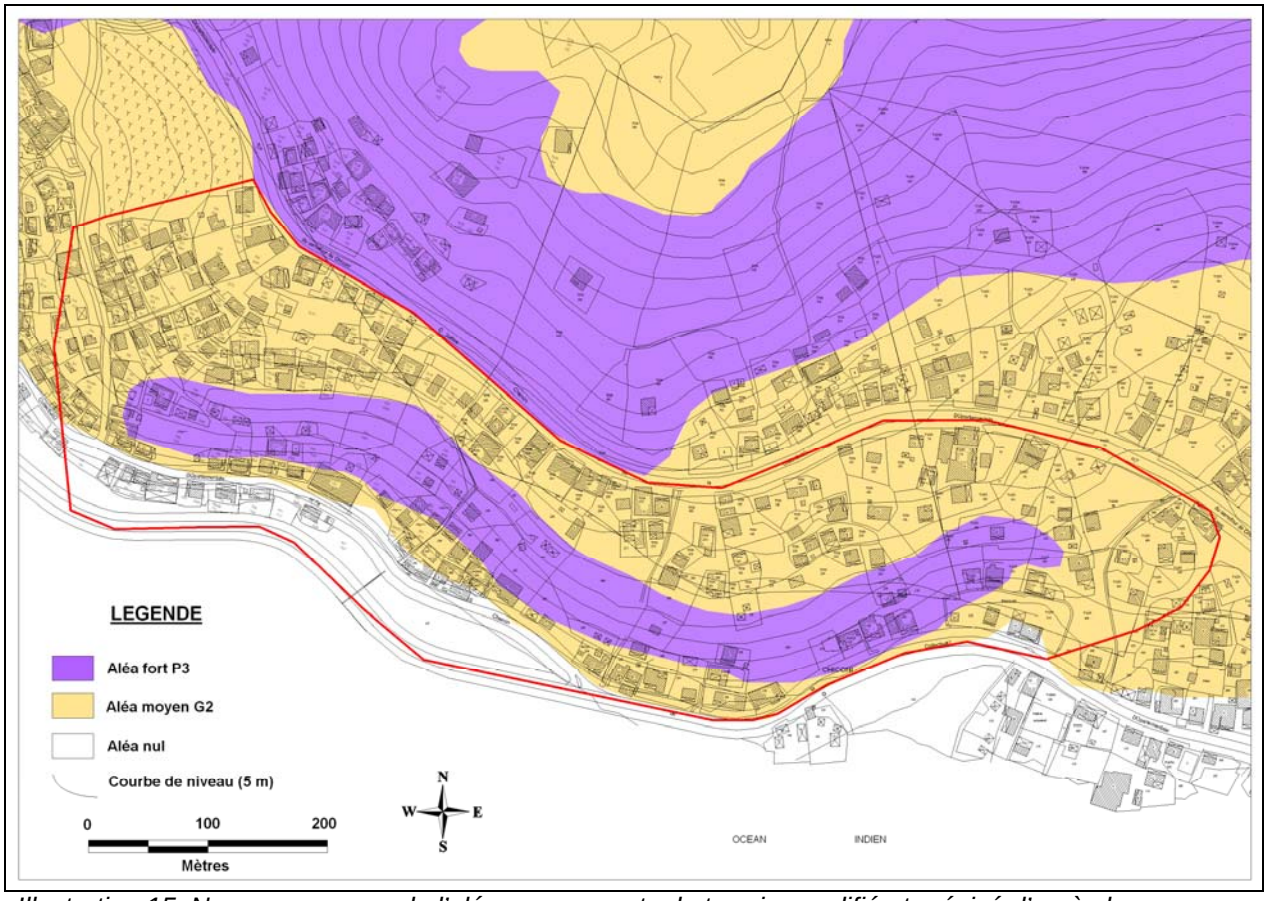


Illustration 15. Nouveau zonage de l'aléa mouvements de terrain, modifié et précisé d'après le présent avis. Fond cadastral 2008

Avis sur une parcelle située en aléa fort « chutes de blocs »

La DE a souhaité avoir un avis sur une parcelle située dans cette zone d'étude et localisée initialement en zone d'aléa fort « chutes de blocs dominantes et accompagnées de glissements de terrain ». Il s'avère qu'après modification du zonage suite à cet avis, la parcelle se situe toujours en zone P3.

Plus précisément, la parcelle est en partie basse de la zone d'étude et au pied du versant (cf. Illustration 16).

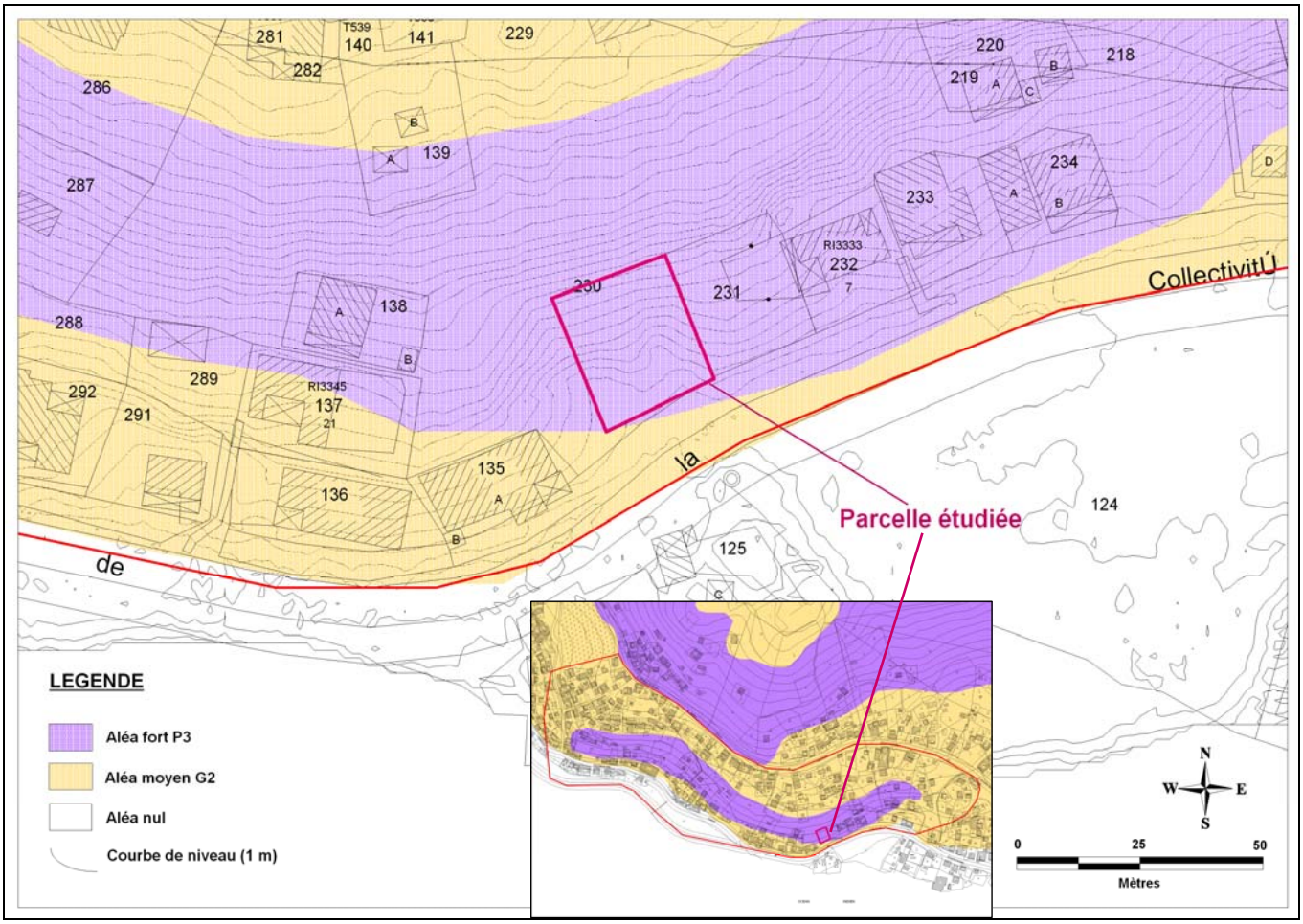


Illustration 16. Localisation de la parcelle à étudier en rapport avec le nouveau zonage mouvements de terrain.

Au niveau de la parcelle, on s'aperçoit que des travaux de constructions ont déjà été entamés. Le versant a été creusé et déblayé en trois niveaux. Ces niveaux sont séparés par environ 3 mètres de hauteur et 5 mètres de largeur (cf. Illustrations 17, 18, 19) et forment des redans. A l'origine, la pente naturelle est estimée à environ 30°. Concernant la lithologie, comme dit plus tôt dans cet avis, le sol est composé d'altérites évoluées à roches majoritaires fissurées et boules résiduelles. Sur l'illustration 20 on distingue bien le profil d'altération du haut vers le bas.

Des murs en béton ont été édifiés au niveau le plus bas, en bord de route. Ces murs ont apparemment une fonction de soutènement mais ils n'offrent aucune garantie quant à leur pérennité. Quoiqu'il en soit, le mur « du fond », parallèle à l'axe de la coupe et en contrefort du versant n'est pas suffisant en l'état car sans barbacanes il fait office de barrage, empêche le drainage et peut entraîner son basculement.

Illustration 17. Travaux effectués au niveau de la parcelle en question.
(Photo BRGM octobre 2009)

Illustration 18. Niveau 1 (= route) à gauche et niveau 2 à droite, séparés par un mur de soutènement ?

Illustration 19. Vue de la parcelle et de l'amont.

Quant à l'instabilité du terrain sur la parcelle et en amont de celle-ci, il est vivement recommandé de procéder à des travaux géotechniques pour déterminer l'aléa mouvement de terrains de manière très précise, à l'échelle de la parcelle. A priori, des chutes de blocs et des glissements superficiels pourraient affecter le versant étant donné la pente, et des instabilités du sol pourraient avoir lieu suite à des effets de fluage au niveau de toute la partie P3 dans la zone d'étude (bourrelet de pied de versant).

Illustration 20. Profil d'altération au niveau de la parcelle étudiée (niveau 2)

Illustration 21. Saprolite de transition entre la roche saine et l'altérite évoluée. Niveau au sein duquel les boules s'individualisent et ou l'altération commence à s'étendre. Les boules de roche saine sont enchâssées dans une matrice argilo-sableuse.

En conclusion, les murs en béton édifiés sur la parcelle ne sont pas suffisants en l'état peuvent constituer un danger de basculement.
Il est recommandé de procéder à des travaux et essais géotechniques sur l'ensemble de la parcelle et en amont de celle-ci afin de déterminer la stabilité du versant à ce niveau là.
Dans le cas où les travaux géotechniques aboutiraient, l'étude géotechnique définira les dispositions à mettre en œuvre.
Il est important aussi de procéder au repérage et à la purge de blocs situés en amont et susceptibles de débouler aux abords de la parcelle.
Dans une autre mesure, il conviendrait de végétaliser l'ensemble du versant et notamment la partie amont de la parcelle afin de limiter au maximum l'érosion du sol et ainsi limiter le ravinement et la remobilisation de blocs ou la production de blocs mobilisable par lessivage de la matrice argilo-sableuse.

5. Note 2009 SAR/MAYOTTE 04. Précision sur l’aléa « mouvements de terrain » des zones U et NA situées au Nord de Bandrélé.

Direction de
l'Equipement de
Mayotte

Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » des zones U et NA situées au Nord de Bandrélé.

Octobre 2009

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 04
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 12/08/09	**Site :** Zones U et NA au nord de Bandrélé
Commune : Bandrélé	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » des zones U et NA situées au Nord de Bandrélé.	
Demandeur : DE/SEC/HEA	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

La cellule HEA du Service Equipements des Collectivités (SEC) de la Direction de l'Equipement a sollicité le BRGM afin d'obtenir un avis sur l'emprise de la zone d'aléa fort mouvements de terrain « glissements de terrains dominants accompagnés de chutes de blocs » (G3), concernant des parcelles U et NA situées au Nord de Bandrélé.

Pièces du dossier fournies par la DE au BRGM

La DE a fourni une illustration aidant à la localisation des parcelles et l'emprise de la zone d'aléa.

Observations ressortant des compétences du BRGM

Données issues des travaux du BRGM

La zone d'étude est localisée en bordure de la RN3 au niveau de l'entrée Nord du village de Bandrélé (cf. Illustration 1). Cette zone est urbanisée en aval, le long de la RN3, et un projet d'urbanisation est en voie pour la surface plane en amont. Au sud de la zone, un cours d'eau pérenne s'écoulant d'Ouest en Est a incisé l'unité.

Géologiquement, la formation basaltique en place constituant le relief, a subi des transformations selon un profil d'altération typique (roche-mère, saprolite, allotérite). L'allotérite forme la couche superficielle du versant (cf. Illustration 2). Il s'agit d'une altérite légèrement compacte dont les couleurs sont caractéristiques : marron rouge à orange et ocre. En zone urbanisée, au pied de la falaise, le sol est composé d'alluvions fines, limoneuses et ferralitiques, typique des plaines littorales.

Selon l'Atlas des aléas remis à jour en 2009[8] (cf. Illustration 3), la zone est principalement concernée par un aléa fort « glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » (G3) étant données la forte pente et la nature du sol. Le zonage G3 inclus également les « bandes de sécurité » juste en amont et en aval de la falaise. Les zones « tampons » amont et aval sont en aléa moyen « glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » (G2) Ils concernent l'évolution régressive du terrain en amont et la zone de propagation vers l'aval. Quant à la partie plane recouvrant tout le relief en question, l'aléa « mouvements de terrain » est nul à faible.

[8] C. Cluzet, A. Oppermann, A. Malard, L. Françoise. (2009) : Mise à jour des atlas des aléas naturels sur 12 communes de Mayotte, commune de Bandrélé. Rapport BRGM/RP-57570-FR, 35 p., 30 figures.

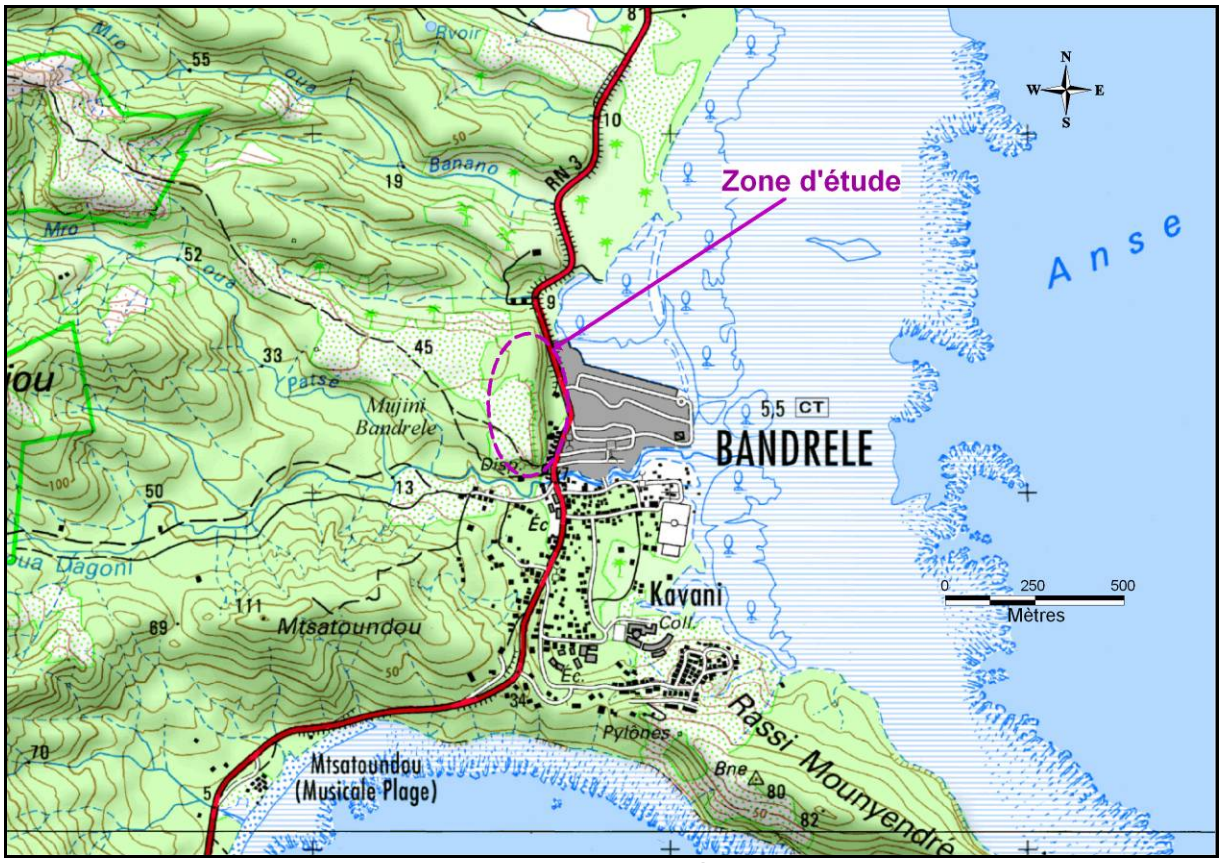


Illustration 1. Localisation de la zone d'étude (fond IGN scan25)

Illustration 2. Vue de l'extrémité Sud de la butte surplombant les habitations en aval. Voir l'angle de la photo sur l'illustration 3. (Photo BRGM)

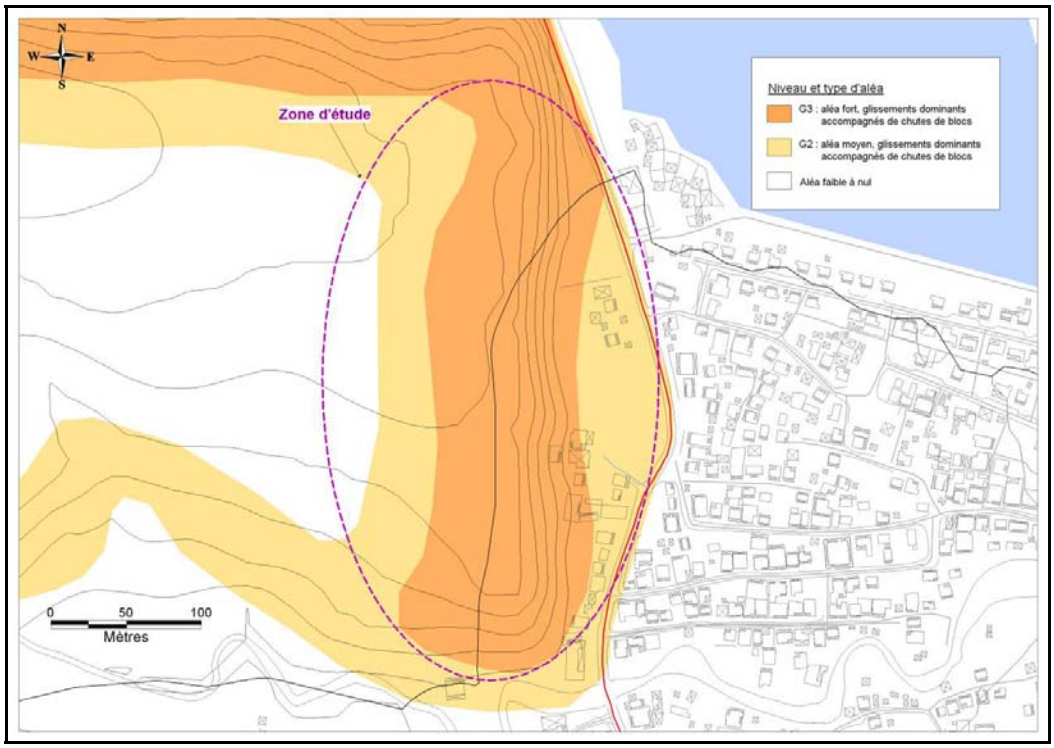


Illustration 3. Zonage des aléas mouvements de terrain extrait des Atlas des aléas 2009 (fond cadastral)

Observations relatives à la visite de terrain

La visite de terrain a permis de conforter le zonage de l'aléa mouvements de terrains établi dans le cadre des atlas des aléas pour la commune de Bandrélé.

D'une manière générale, le versant en bordure de la RN3 est classé de manière légitime en aléa fort « glissement de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » selon la méthodologie de cartographie des aléas. En effet, étant donné les caractéristiques morphologiques et lithologiques du versant, ainsi que la présence de facteur aggravant tel que l'absence de végétation se traduisant par une activité érosive importante, l'aléa fort nous paraît justifié dans cette zone.

D'un point de vue morphologique, la zone est constituée d'une butte dont les flancs sont caractérisés par une hauteur comprise entre 25 et 30 mètres, et par de très fortes pentes. Les pentes moyennes sont très prononcées, de l'ordre de 40 à 45° avec des secteurs avoisinant les 50° (cf. Profils de pente issus du MNT, illustrations 4 et 5).

Concernant la lithologie, deux unités géologiques ont été distinguées : le versant est essentiellement constitué en sub-surface d'altérites évoluées à très évoluées (matrice prépondérante) et sur une profondeur plus ou moins épaisse ; au pied du versant, le sol est composé d'alluvions fines et limoneuses.
Des facteurs aggravants sont observés sur le site. Les sols sont largement dénudés de végétation en raison des pratiques agricoles (cf. Illustration 2) et les défrichissements progressent. La mise à nu de ces matériaux va induire, en saison pluvieuse, une érosion importante sur l'ensemble du versant et générer des écoulements chargés en sédiments.

Conclusions

➲ Eu égard des éléments observés sur le terrain, le zonage d'aléa « mouvements de terrain » sur ces parcelles U et NA dans le cadre des atlas des aléas est justifié.

➲ Aucun aménagement dans le flanc de la butte n'est conseillé étant donné la topographie du site et la nature des matériaux, en plus de la présence de facteurs aggravants tels que l'absence de végétation et la pratique maraichère.

➲ En revanche, sous réserve de respecter les « bandes de sécurité » ainsi que les « zones tampons » en amont, une urbanisation est envisageable sur la partie supérieure et plane de la butte. A condition néanmoins de maîtriser les eaux pluviales du fait de l'incidence pour l'aval.

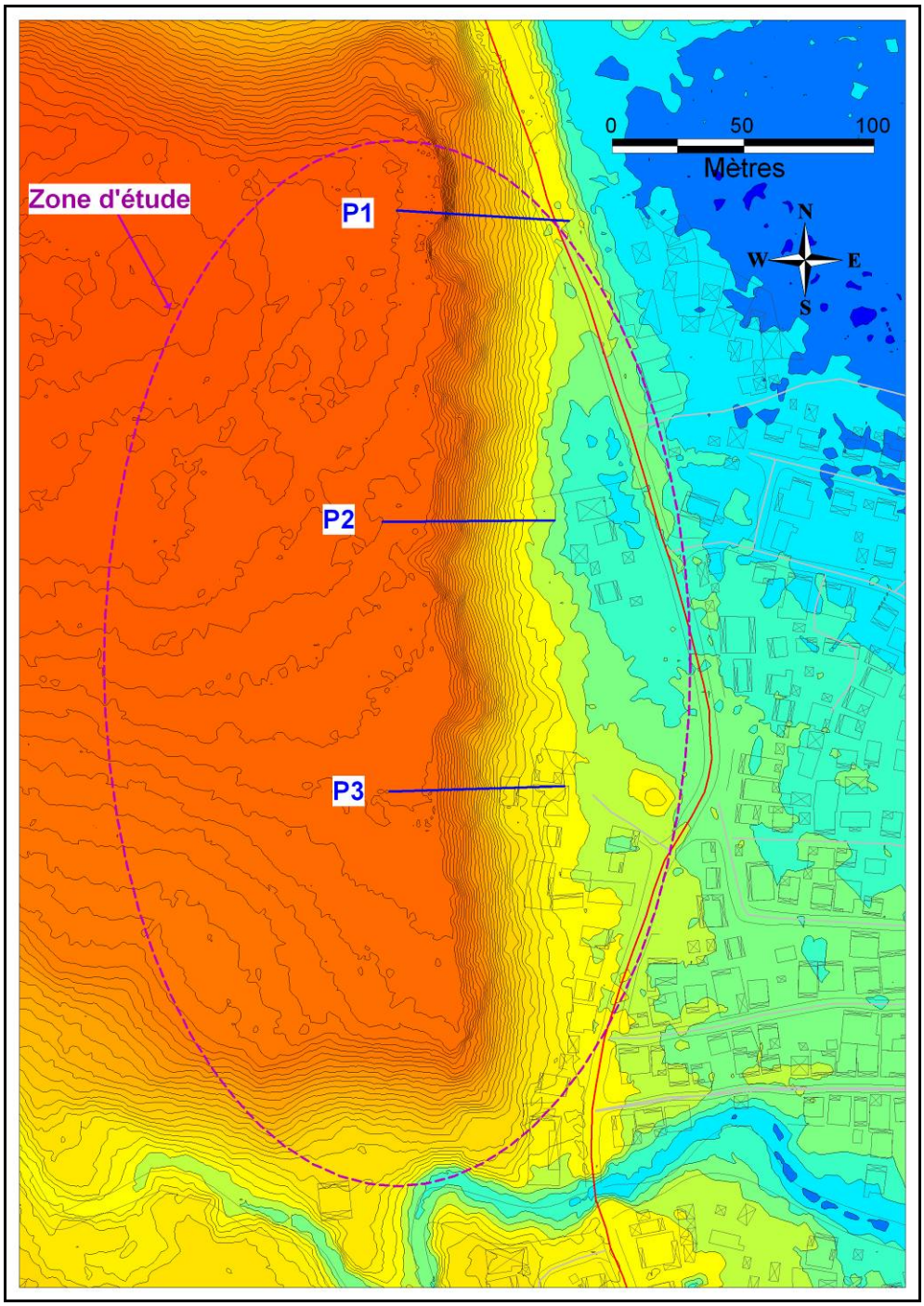
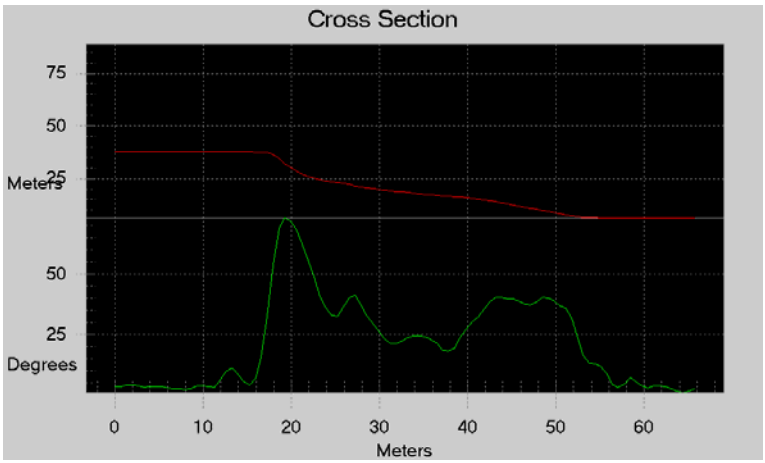
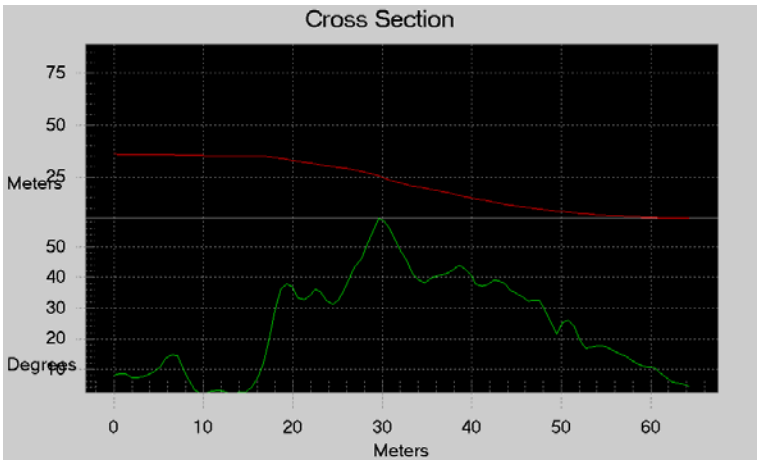


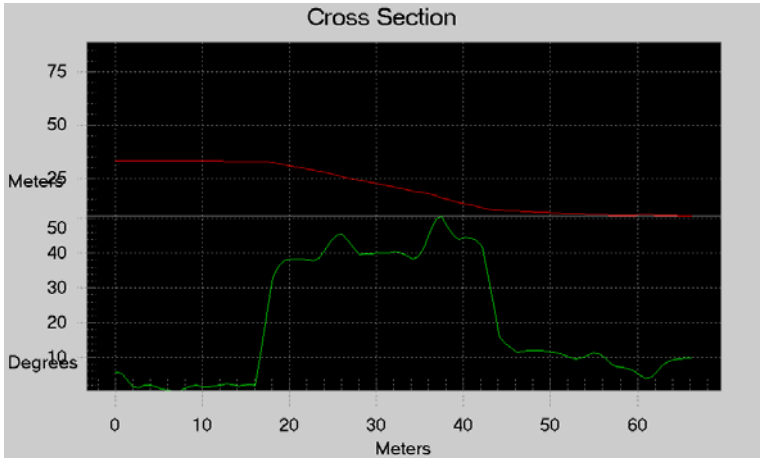
Illustration 4. Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone d'étude, localisation des 3 profils de pente. Courbes de niveau de 1 mètre. Fond cadastral.



Profil 1



Profil 2



Profil 3

Illustration 5. Profils de pente pour la zone d'étude. En « x » la longueur du profil, en « y » le degré de la pente et la hauteur du sol. Logiciel Vertical mapper.

Illustration 6. Vue du flanc de la butte derrière les habitations en aval. (Photo BRGM)

6. Note 2009 SAR/MAYOTTE 05. Evaluation des risques naturels au droit du projet d'extension de la maison d'arrêt de Majicavo, commune de Koungou.

.

Direction de
l'Equipement de Mayotte

Evaluation des risques naturels au droit du projet d'extension de la maison d'arrêt de Majicavo, commune de Koungou.

Juillet 2009

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 05
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 15/07/09	**Site :** Maison d'arrêt de Majicavo
Commune : Majicavo-Lamir, commune de Koungou	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : Evaluation des risques naturels au droit du projet d'extension de la maison d'arrêt.	
Demandeur : DE/SEC/CP	
Diffusion : DE/SEC/CP et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

La cellule SEC/CP de la Direction de l'Equipement par l'intermédiaire de D. Cheloudiakoff a sollicité le BRGM afin d'obtenir un diagnostic sur l'évaluation des risques naturels au droit du projet d'extension de la maison d'arrêt de Majicavo-Lamir, commune de Koungou.

Pièces du dossier fournies par la DE au BRGM

La DE a fourni des informations permettant de localiser approximativement la zone d'extension ainsi qu'une étude géotechnique (SEGC, dossier n°268) datant d'octobre 2002 sur cette extension.

Observations ressortant des compétences du BRGM

Données issues des travaux du BRGM et données issues de la visite de terrain

La maison d'arrêt de Majicavo-Lamir se situe sur le territoire communal de Koungou, en bordure de la RN1 (Illustration 1).
D'un point de vue géomorphologique, le bâtiment est construit en bordure du littoral, sur une zone plane bordée par des talus à l'Ouest et au Sud ainsi que par un cours d'eau non pérenne à l'Est.
Géologiquement, le terrain est situé dans une zone de plaine littorale avec des matériaux de types alluvions fines provenant essentiellement d'altérites.

Illustration 1. Localisation de la zone d'étude (fond scan25, échelle 1/10000)

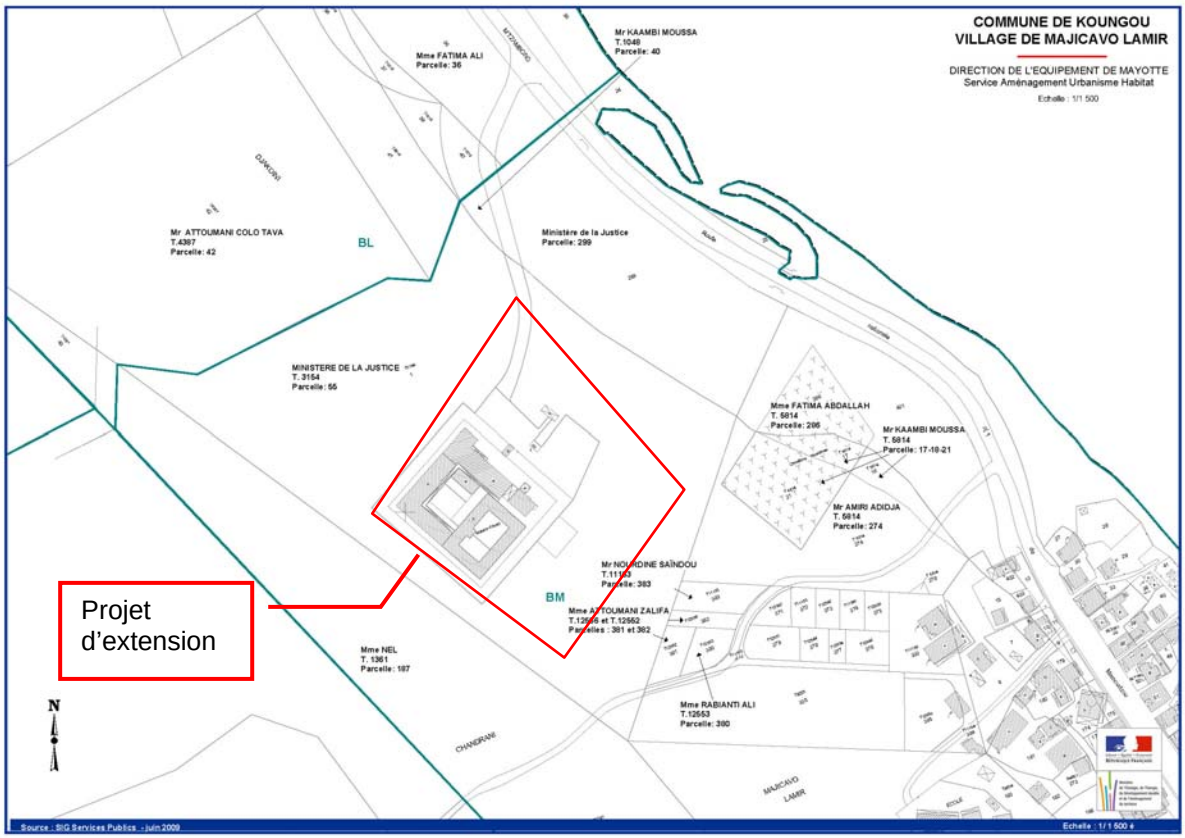


Illustration 2. Plan cadastral avec localisation du projet d'extension de la maison d'arrêt (informations fournies par la DE, échelle 1/500)

La commune de Koungou est actuellement soumise à un projet de Plan de Prévention des Risques (mouvements de terrain, inondations, submersion cyclonique). La cartographie établie dans ce cadre indique le niveau d'aléa et la réglementation à adopter suivant les cas étudiés.

Au regard de la cartographie des **aléas mouvements de terrain**, le site de la maison d'arrêt (englobant le projet d'extension), est soumis en grande partie à **un aléa faible à nul.** On note que l'extension du bâtiment vers l'Est entrainera un aménagement de la parcelle étant donné la présence d'une butte d'environ 5-7 mètres de hauteur et d'une cinquantaine de mètres de longueur. Ce petit relief apparaît être constitué de roches très fracturées d'où une prise en compte de l'aléa chutes de blocs non négligeable (**aléa moyen**) en périphérie immédiate de la butte et au sein même de celle-ci. (Illustration 3).

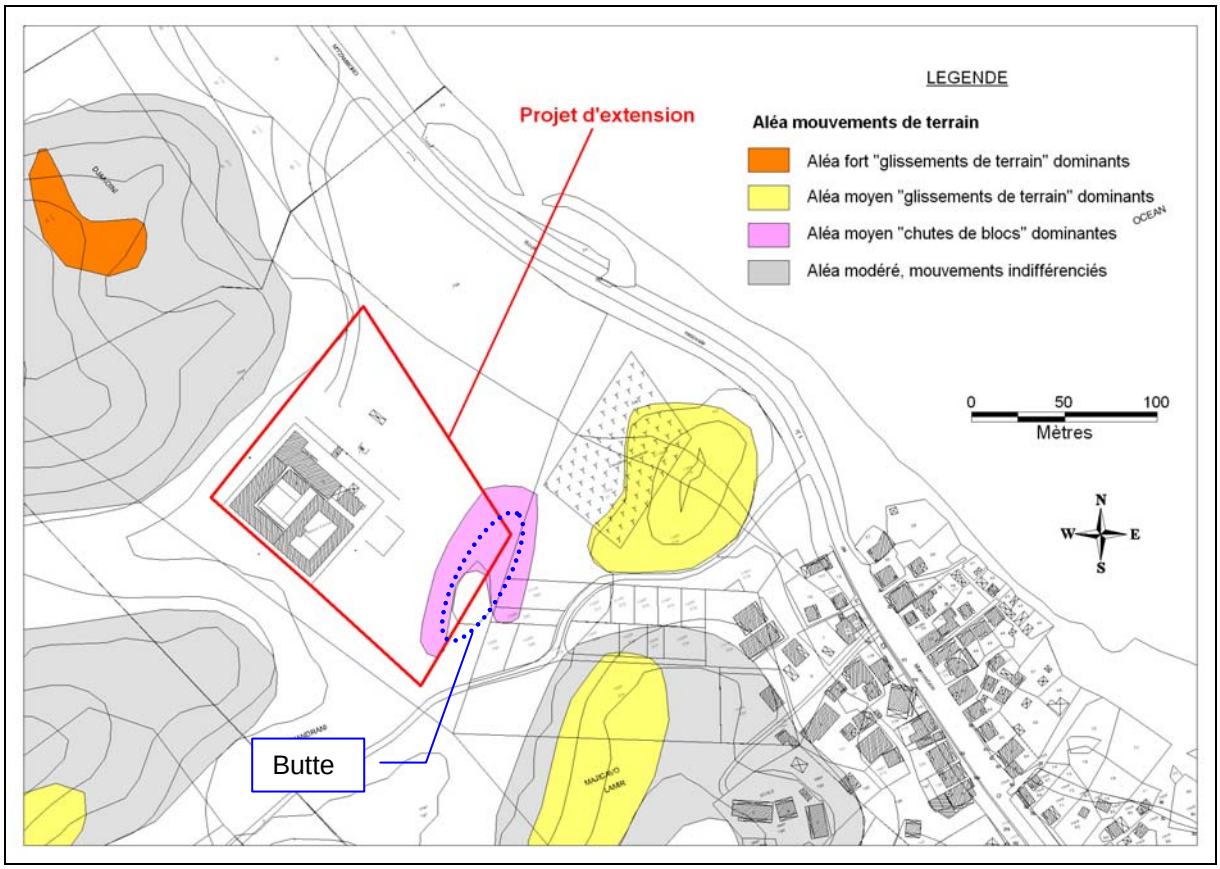


Illustration 3. Zonage de l'aléa mouvements de terrain au droit du projet d'extension de la maison d'arrêt, extrait du PPR provisoire de Koungou (fond cadastral).

La cartographie de **l'aléa inondation** (Illustration 4) montre que le bâtiment actuel ainsi qu'une partie de la zone d'extension est situé en **aléa faible d'inondation par débordement de cours d'eau**. Le cours d'eau non pérenne s'écoulant à l'Est du bâtiment en place et sur une partie de la zone d'extension (Illustration 5) est classé en **aléa fort d'inondation par débordement de cours d'eau** (largeur 10 mètres = cours d'eau+érosion de berges) conformément à la méthodologie issue des PPR. Cette ravine est considérée comme « aveugle », dans le sens où son tracé est interrompu et son écoulement semble s'évaser sur une large zone marécageuse en aval (Illustration 6 et 7). Le contour de cette ravine (zone tampon) est qualifié en **aléa moyen d'inondation par débordement de cours d'eau** car on considère qu'étant donné la capacité d'écoulement du cours d'eau et sa morphologie, des débordements peuvent être envisagés.

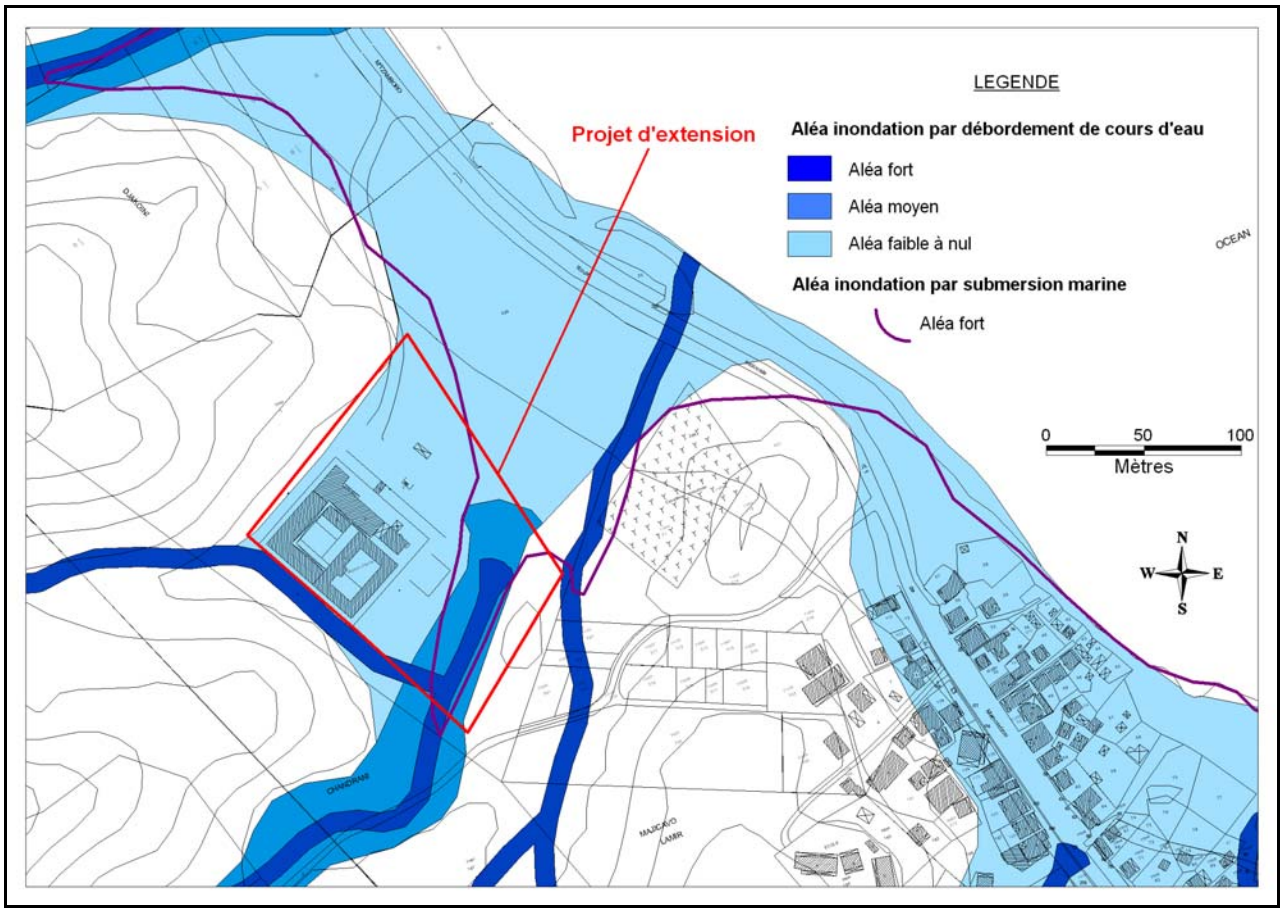


Illustration 4. Zonage de l'aléa inondation au droit du projet d'extension de la maison d'arrêt, extrait du PPR provisoire de Koungou (fond cadastral).

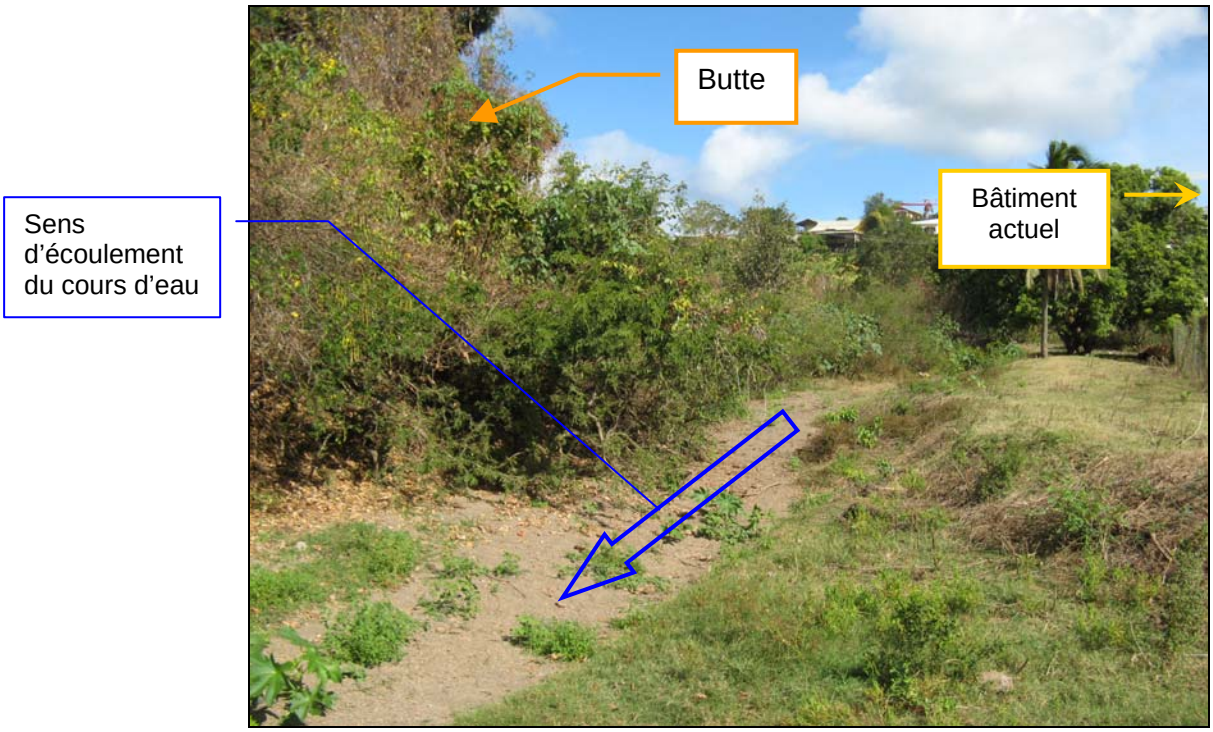


Illustration 5. Ravine de cours d'eau non pérenne. (Photo BRGM, juillet 09)

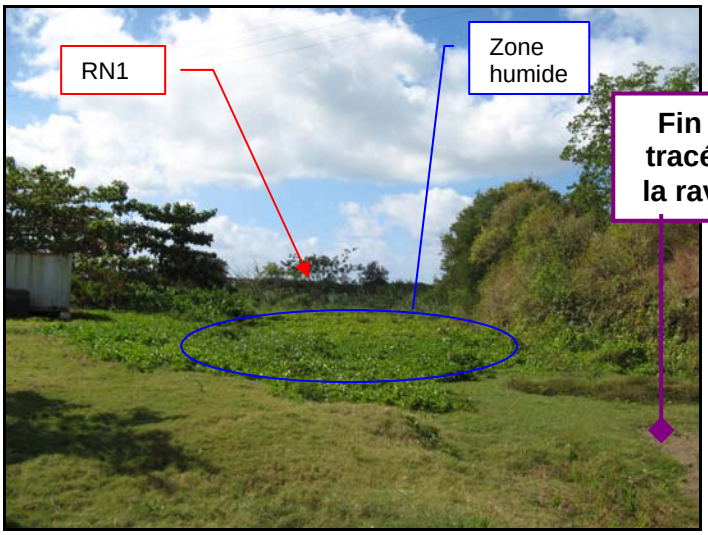


Illustration 6. Zone aval de la ravine (Photo BRGM)

Illustration 7. Eau stagnante dans la zone aval de la ravine (Photo BRGM)

Par ailleurs, on portera aussi l'attention sur la ravine de cours d'eau non-pérenne provenant du versant Sud derrière le bâtiment déjà existant. En effet cette ravine s'écoulant du versant Sud est canalisée juste au niveau du bâtiment et est déviée vers le Sud-Est pour rejoindre la ravine principale. Etant donné l'état actuel du caniveau, il est recommandé de curer l'ouvrage avant la prochaine saison des pluies afin d'éviter des débordements dans l'enceinte pénitentiaire (Illustration 8).

Illustration 8. Confluence entre la ravine canalisée et la ravine principale. (Photo BRGM)

D'autre part, on constate que la zone d'extension est également concernée partiellement par **l'aléa fort de submersion cyclonique**. La méthodologie cartographique de la submersion cyclonique est la suivante :
La zone d'aléa fort (probabilité d'occurrence importante) est déterminée par les données du cyclone de référence (dépression Feliksa, 1985). La limite supérieure indicative de cette zone correspond au tracé de la courbe de niveau équivalent à la somme : marée haute de 4,2 m (cote marine, donc 2,4 m NGM[9]) + surcote au point considéré + houle cyclonique de 0,6 en arrière d'une mangrove ou de 0,9 m en arrière d'une plage sableuse.
Dans notre cas, la limite supérieure indicative de cette zone d'aléa fort correspond au tracé de la courbe de niveau équivalent à la somme : marée haute de 2.4 m NGM + surcote au point considéré de 0,35 m + houle cyclonique de 0,6 m, soit 3,4 m.

Concernant les aléas liés aux mouvements sismiques tels que la liquéfaction des sols (effets induits) et les effets de site (effets directs) de nature lithologique et topographique, les atlas des aléas nous renseignent à ce sujet.

Mayotte n'est pas soumise pour l'instant à la réglementation parasismique nationale française (zonage sismique national présenté dans l'annexe de l'article R563-4 du code de l'environnement).
Toutefois, Mayotte se trouve en zone d'aléa sismique modéré selon la carte d'aléa sismique du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT).
A ce jour, bien qu'aucune réglementation relative à l'aléa sismique ne s'applique à Mayotte, le territoire de Mayotte est toujours considéré par analogie au zonage sismique national (décret n°91-461 du 14 mai 1991) en zone de sismicité « Ib ». Néanmoins, eu égard à l'absence actuelle de réglementation parasismique à Mayotte, et du fait que la réglementation nationale n'impose d'intégrer les règles parasismiques que pour les zones classées en zones « II » ou plus, il a été décidé par les services de l'Etat de ne pas prendre en compte le risque sismique dans les PPR multirisques en cours à Mayotte.
Selon l'atlas des risques de la commune de Koungou, le site de la maison d'arrêt de Majicavo ainsi que le site d'extension ne sont **a priori pas soumis à l'aléa de liquéfaction des sols ni à des effets de site de nature topographique.**
En revanche, la zone est **soumise à des effets de site lithologiques d'intensité moyenne** (Illustration 9). Les effets de site lithologiques sont déterminés à partir de la carte géologique à 1/50 000 de Mayotte (Stieltjes, 1988), accompagnée de divers relevés de terrain, de coupes de sondages de la Base de donnée du Sous-Sol gérée par le BRGM et de mesures géophysiques in situ (H/V et SASW).
Suivant le guide des règles PS92 (AFPS, 1993) de construction parasismique, les données ci-dessus permettent de classer les sols en sites-types, suivant leurs caractéristiques mécaniques. Les sites, classés habituellement S0, S1, S2, S3, sont ensuite cartographiés en zones susceptibles de présenter des effets de site lithologiques. Le site en question est classé S1-S2 dans l'Atlas des risques, d'où sa susceptibilité à présenter des effets de site lithologiques moyens.

D'après l'étude SEGC n°268 fournie par la DE, et les travaux effectués dans le cadre de cette étude, on note l'existence d'une couche d'épaisseur au moins 6 mètres de limons sableux médiocres. Selon ces reconnaissances, **un effet de site lithologique pourrait être confirmé**. De plus, il convient de souligner que ces investigations n'ont pas permis de

[9] La côte marine (CM) est le zéro marin ; ce zéro est différent du zéro IGN ou NGM (nivellement général de Mayotte). La côte marine vaut la côte IGN moins environ 1,8 m. Les valeurs de plus hautes eaux à Mayotte (SHOM, 2002) sont d'environ 4,20 m en côte marine (4,15 m en 2002) soit 2,40 m NGM.

préciser l'épaisseur totale de terrains sédimentaires médiocres, ni l'absence d'autres formations de mauvaises qualité plus en profondeur.
D'autre part, dans cette étude, on ne trouve pas de traces d'essais en laboratoire sur des échantillons prélevés, et donc pas de granulométrie ni de résultats quant aux limites d'Atterberg dans les limons sableux médiocres. De plus, on remarquera que les investigations faites par SEGC n'ayant pas permis de préciser la position du substratum en place, ni l'absence de formations sédimentaires très médiocres en profondeur, les éléments en notre possession ne se révèlent pas suffisants au regard des données exigées pour conduire une analyse du potentiel de liquéfaction.
Par conséquent, il apparaît délicat de confirmer catégoriquement l'absence d'une potentialité de liquéfaction des sols au droit du site de la maison d'arrêt, même si ce risque semble peu probable sur le site.

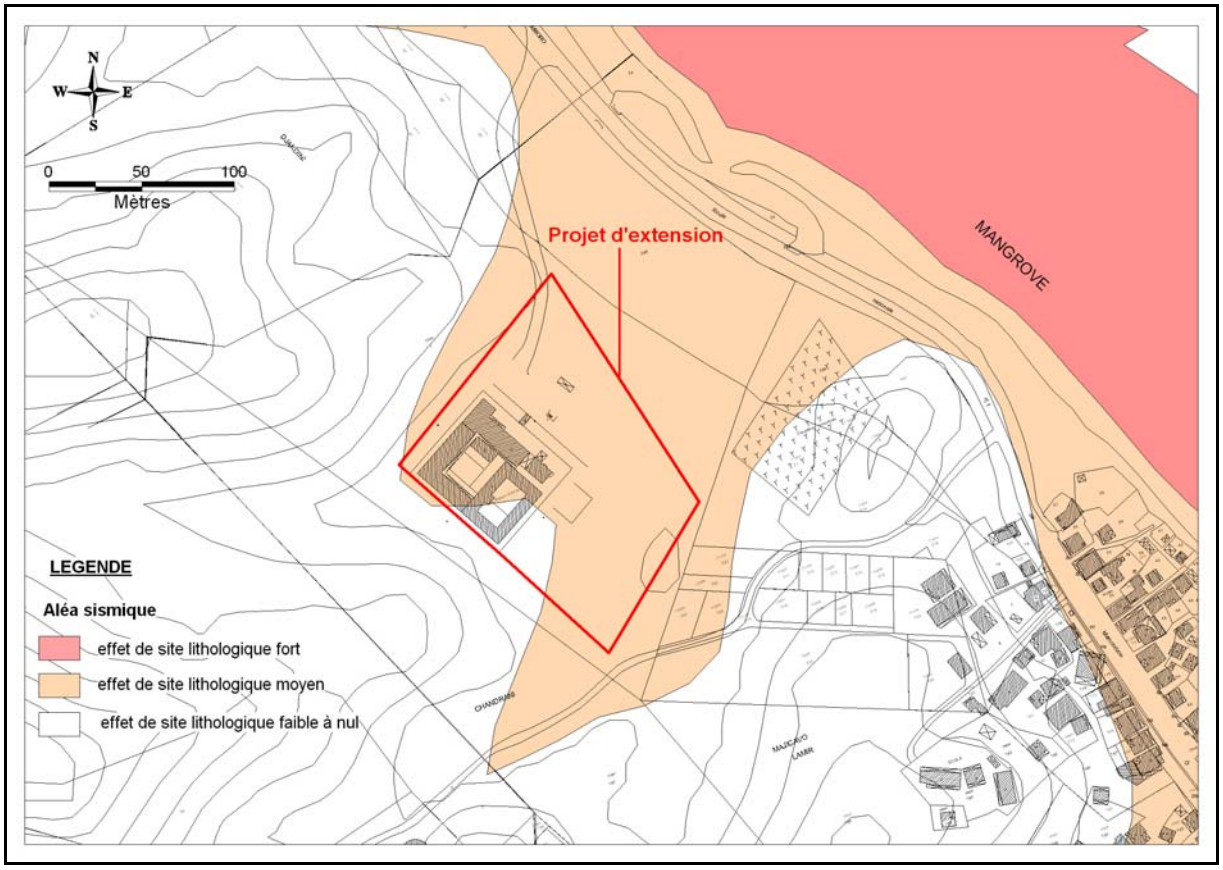


Illustration 9. Susceptibilité aux effets de site lithologiques, extrait des atlas des aléas pour la commune de Koungou (fond cadastral).

Conclusions

Le projet d'extension de la maison d'arrêt de Majicavo-Lamir est confronté à plusieurs aléas naturels présents sur une grande partie de l'île de Mayotte.
➲ D'après l'emprise du projet, l'extension de la maison d'arrêt entraînerait probablement un aménagement de la parcelle du fait de la présence d'une butte à l'Est du bâtiment déjà en place, et d'une ravine de cours d'eau non-pérenne dans le même secteur. L'aménagement de la parcelle consisterait a priori à raser la butte et à dévier la ravine (par exemple pour rejoindre une ravine un peu plus à l'Est s'évacuant jusqu'à la mer - pour autant que cette dernière puisse accepter le surcroit de débit) pour que l'écoulement des eaux pluviales se fasse en dehors de l'emprise du projet. **Suite à ces aménagements, les aléas**

mouvements de terrain et inondations par débordement de ravine pourront être maîtrisés.

➲ L'aléa cyclonique présente également un risque si l'on se réfère à la cartographie de l'Atlas des aléas. Plusieurs solutions permettraient de s'affranchir du risque de submersion marine :

- soit remblaiement partiel de la zone afin de placer le projet hors cote de submersion + 3,4 NGM (cette solution semble la mieux adaptée dans la mesure où le petit cours d'eau Est serait dévoyé et remblayé, cette zone étant la seule exposée à une éventuelle submersion marine - cf. illustration 4) ;
- soit mise en place d'un écran protecteur face à la submersion cyclonique (mur ou merlon). Le démantèlement de la butte présente sur la parcelle pourrait aider à la mise en place d'une telle protection en réutilisant les matériaux. On notera néanmoins que cette solution se révèle souvent moins efficace en raison des brèches devant être maintenues pour la libre circulation des eaux continentales et éviter que cet écran favorise des inondations liées au pluvial.

Dans tous les cas de figure, il est vivement recommandé de préserver la mangrove protectrice en front de mer, celle-ci ayant pour effet de sensiblement réduire l'énergie du déferlement de la mer et limiter l'impact des submersions marines.

➲ Lors de la création de l'Atlas des risques pour cette commune en 2004, le BRGM n'avait pas eu connaissance de cette étude SEGC datant de 2002 dans la mesure où les reconnaissances des sols effectués par ce bureau d'étude sur ce site amènent à confirmer un éventuel effet de site lithologique. De plus, l'aléa liquéfaction des sols ne peut pas être a priori considéré comme nul étant donné l'absence d'essais en laboratoire sur échantillons et en raison des résultats et des limites des reconnaissances sur site. **Au final, dans la mesure où un effet de site lithologique peut avoir lieu et qu'en l'état il est impossible d'exclure la présence d'un potentiel de liquéfaction, il est recommandé d'engager une étude sismique local tenant compte des effets de site, et d'autre part évaluer le potentiel de liquéfaction des sols et si nécessaire proposer des mesures générales de protection adaptées.**

A ce titre, à la demande de la Direction de l'Equipement, le BRGM émettra très prochainement (au courant de la semaine 34) une proposition technique et financière concernant l'évaluation de l'aléa sismique sur le terrain de l'extension de la maison d'arrêt de Majicavo-Lamir.

7. Note 2009 SAR/MAYOTTE 06. Diagnostic suite aux instabilités affectant les bordures de la RN2 et suite à l'apparition de fissures et de débuts d'affaissements entre le PR 7+500 et le PR 8+300 (virages d'Ironi Bé, commune de Dembéni)

Direction de l'Equipement
de Mayotte

Diagnostic suite aux instabilités affectant les bordures de la RN2 et suite à l'apparition de fissures et de débuts d'affaissements entre le PR 7+500 et le PR 8+300 (virages d'Ironi Bé, commune de Dembéni).

Septembre 2009

A. Oppermann, JL. Nédellec.

Note 2009 SAR/MAYOTTE 06
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 1398
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 05/08/2009	**Site :** Ironi Bé
Commune : Dembéni	
Participant(s) : A. Oppermann (BRGM), JL. Nédellec (BRGM)	
Objet : Evaluation de l'aléa mouvements de terrain sur un tronçon de la RN2	
Demandeur : DE 976/ SI/ST	
Diffusion : DE 976/SI/ST, DE 976/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Contexte

Suite à une série de glissements de terrain en bordure de la RN2 à Ironi Bé sur la commune de Dembéni et suite à l'apparition de fissures sur la chaussée ainsi que de débuts d'affaissements localisés entre le PR 7+500 et le PR 8+300, la DE/SI/ST (Mr Mercier) a sollicité le BRGM pour une expertise visant :

- à évaluer les risques résiduels pour la RN2, les causes, l'ampleur de l'aléa et son évolution à court et moyen termes.
- à définir des solutions pour contenir le phénomène afin de préserver la RN2 et définir les dispositions de sécurisation à mettre en œuvre pour préserver la sécurité des usagers de la route. Seuls des principes de travaux sont définis, le présent diagnostic ne constituant pas une mission de maitrise d'œuvre et ne pouvant se substituer à une étude de définition.

Le diagnostic a été réalisé exclusivement à partir de reconnaissances visuelles depuis la route et depuis le sommet du versant. Une visite préalable du site a été effectuée fin juillet avec Mr Mercier pour la reconnaissance des fissures sur la chaussée et des glissements de terrains en bordure de la RN2.

Le site est localisé à Ironi Bé sur la commune de Dembéni, juste après le lieu-dit La Palmeraie à Tsoundzou II, pratiquement à la limite entre le territoire communal de Mamoudzou et celui de Dembéni (Illustration 1).

Illustration 1. Localisation de la zone d'étude - extrait SCAN 25 IGN

Observations et diagnostic

A l'endroit de la zone d'étude, la RN2 est bordée par une série de talus souvent abrupts constitués d'altérites dont le stade d'évolution est très avancé. Assez souvent lors de périodes de pluies intenses, des glissements superficiels (glissements coulés) se produisent et entrainent le recouvrement de la chaussée. Récemment, lors de l'épisode pluvieux du 15-16 décembre 2008, plusieurs centaines de m³ ont ainsi été déplacés et la DE a du intervenir pour désencombrer la RN2 à ce niveau. Les cicatrices de glissement sont encore visibles aujourd'hui sur certains talus. D'autre part, un glissement a également été recensé dans cette zone d'étude lors de l'inventaire des mouvements de terrain ayant eu lieu à la suite de la forte tempête tropicale FAME de fin Janvier 2008.

La visite du 5 Août et celle de Fin juillet avec Mr Mercier a permis d'une part de relever un certains nombre d'indices d'instabilité sur la chaussée et en bordure de la route (Illustration 2) ; et d'autre part, d'examiner la gestion des écoulements et le réseau d'évacuation des eaux pluviales.

Désordres observés

➲ Section 1 (amont)

Sur cette section, la route montre un début d'affaissement aval de la chaussée au niveau du caniveau de traverse et un autre à hauteur du mur en gabions. Ces affaissements récents, de l'ordre de quelques mois, ont provoqué des fissures du revêtement goudronné (Illustrations 3 et 4). Ces fissures ont été en grande partie comblées il y a 2-3 mois environ, mais elles sont réapparues entre-temps, signe de l'activité de l'affaissement. Le mur en gabions semble être resté en bon état malgré tout, sans décalage apparent dans le talus (Illustration 5).

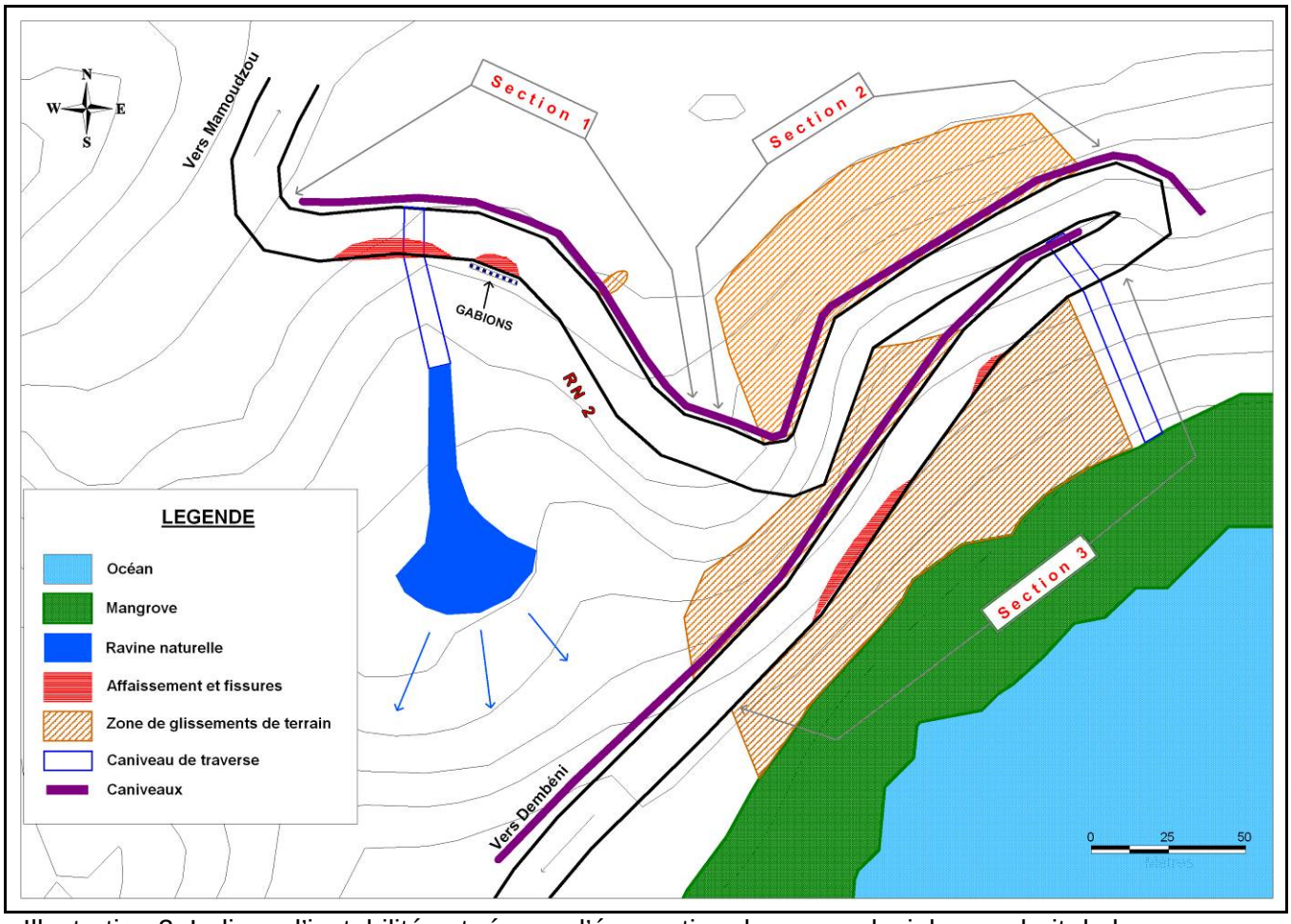


Illustration 2. Indices d'instabilités et réseau d'évacuation des eaux pluviales au droit de la zone d'étude - le tracé de la route est celui issu du cadastre 2008.

Illustration 3. Désordres du talus aval de la section 1.

Illustration 4. Désordres du talus aval de la section 1

Illustration 5. Mur en gabions jouant un rôle dans le maintien de la stabilité de la route.

Du côté du talus amont de cette section, d'un dénivelé d'une hauteur de quelques mètres seulement, aucun signe d'instabilité notable n'est visible mis à part la petite cicatrice de glissement de terrain visible dans la partie Est de la section 1.
Au pied de ce talus, un fossé de drainage des eaux pluviales est creusé à une profondeur variant entre 30 et 50 cm, et possède une largeur approchant les 50 cm. Au sein de cette section, ce caniveau est relativement bien entretenu et fonctionnel. L'ouvrage est relié à un caniveau traversant la route et permettant l'évacuation des eaux récupérées en amont. Ces eaux s'écoulent ensuite dans une ravine naturelle qui suit un tracé bien marqué sur 150 mètres environ jusqu'à l'évasement de celui-ci en aval. L'écoulement se fait de manière diffuse à partir de ce point et tend à s'infiltrer ou à rejoindre le fossé en bordure de la RN, côté amont. L'état du caniveau permettant aux eaux pluviales de traverser la route est en majorité en bon état et ses dimensions sont correctes (Illustration 6). Cependant, du côté aval au niveau du début d'affaissement, on constate que le caniveau montre des signes de déstabilisation, notamment des fissures dans les parois, fissures qui ont été comblées par du mortier de ciment récemment.

Illustration 6. Caniveau de traverse dans la section 1

➲ **Section 2 (centre)**

Directement après la section 1, au niveau du virage à 90 degrés, la section 2 englobe toute la zone très susceptible aux glissements de terrain superficiels affectant le talus amont. Comme annoncé auparavant dans cet avis, lors d'épisodes pluvieux intenses, le talus fortement penté et composé d'altérites très évoluées est systématiquement exposé à des risques de glissements, d'autant que l'occupation du sol dans cette zone est souvent représentée par des cultures maraîchères ne favorisant pas la stabilité du sol superficiel (Illustration 7).

Illustration 7. Talus amont de la section 2 propice aux glissements de terrain. Photos BRGM de décembre 2008.

Mis à part les instabilités du talus amont, cette section ne présente pas de signes de glissements mettant à mal l'intégrité de la RN. Aucun signe d'affaissement au niveau

du talus aval n'est à déplorer sur cette section. Concernant les écoulements des eaux pluviales, on retiendra que l'évacuation s'effectue dans la continuité de la section 1 c'est-à-dire par le fossé côté amont, jusqu'au virage en épingle marquant la fin de la section 2. Compte tenu de l'occurrence des phénomènes superficiels d'instabilités, il est important que ce fossé soit entretenu régulièrement afin d'éviter le blocage du système d'évacuation ce dernier favorisant l'infiltration sous la route.

➲ **Section 3 (aval)**

Directement après le virage en épingle, la section 3 s'amorce. Un deuxième caniveau de traverse est observé, il est censé a priori récupérer les eaux de pluies s'écoulant sur la route en amont de sorte à constituer un exutoire vers la mangrove.

Sur cette section, on constate que l'intégrité de la route est menacée par des glissements de terrains s'opérant entre la route et la mangrove (en aval de la chaussée), au droit d'une falaise d'environ 15 mètres. Le sol fortement altéré et la forte pente contribuent à l'accentuation de ces phénomènes. D'ailleurs les cicatrices de glissements sont nettes et les bambous qui occupent tout ce secteur sont déstabilisés. On remarque l'action du fluage sur ce versant avec les traces de mouvements des bambous sur plusieurs mètres et certains d'entres eux se sont détachés de la falaise et se retrouve dans la mangrove au pied du versant. On distingue d'ailleurs très bien les niches d'arrachement (Illustration 8).

Illustration 8. Versant côté aval de la section 3 avec les niches d'arrachement. Au pied de ce versant on trouve la mangrove.

Cette situation apparaît d'autant plus inquiétante dans la mesure où la marge de terrain est très réduite entre le début de la falaise et la RN, de l'ordre de 1,50 mètres où 2 mètres suivant l'endroit (Illustration 9). De plus, et de façon similaire à la section 1, on retrouve des signes de début d'affaissement le long de la route du côté aval. On observe des fissures qui sont réapparues après travaux de colmatage il y a deux-trois mois (Illustration 9).

Il convient de souligner le rôle majeur de la mangrove au pied de la falaise vis-à-vis de l'atténuation de l'effet de l'érosion marine et notamment du sapement du pied de la

falaise engendrant un sous-cavage propice aux glissements de terrains. Il est primordial de conserver cet écosystème en l'état.

Parallèlement, on retrouve les phénomènes de fluage et de glissement de terrain sur le talus côté amont le long de la section 3. En effet, on observe des cicatrices de glissements-coulés superficiels et de glissements un peu plus profonds affectant les altérites (Illustration 10). Pour les mêmes raisons qu'au niveau du tronçon 2, le fossé creusé le long de la route côté amont mériterait d'être entretenu régulièrement et creusé davantage pour optimiser l'écoulement des eaux pluviales.

D'une manière générale, le site subit des glissements de terrains superficiels donc d'ampleur limités liés d'une part aux effets combinés de la lithologie médiocre du sol et de sa morphologie marquée au niveau des talus routiers (facteurs de prédispositions permanents). D'autre part les épisodes pluvieux et venteux accompagnés d'une végétation à forte « prise au vent » (bambous, manguiers) susceptible de provoquer un effet balancier et un arrachement brutal du terrain (Illustration 11), constituent les principaux facteurs déclencheurs des instabilités dans un contexte déjà délicat.

Illustration 9. Surface fissurée sur plusieurs mètres côté aval, après colmatage des brèches il y a deux mois.

Illustration 10. Glissements affectant le talus côté amont.

Illustration 11. Manguier le long de la RN et au bord de la falaise.

2. Origine des désordres

Plusieurs paramètres conduisent vraisemblablement à l'occurrence des désordres :

- **Le contexte géomorphologique** : sur l'ensemble des zones de glissements, les instabilités ont affecté les versants caractérisés par des pentes importantes et par la présence d'altérites fortement évoluées. Ces matériaux, qui présentent une sensibilité élevée aux variations de teneur en eau et des caractéristiques géomécaniques le plus souvent médiocres, sont propices aux phénomènes de glissement / ravinement ;

- **Le rôle des eaux pluviales (EP)** : les investigations de terrain ont permis de mesurer l'efficacité du réseau (EP) le long de la RN2. En premier lieu nous sommes allés voir en amont des talus en tête de versant et force est de constater que les apports d'eau venant de l'amont ne semblent pas être très importants taille limitée de l'impluvium). Le problème se situe au niveau de l'occupation du sol en amont. En effet, la pratique maraichère a tendance à provoquer la concentration des eaux s'écoulant sur le versant. D'autre part, cette pratique ne favorise pas une stabilité des versants car les sols sont à nus et dans ces conditions, où la pente moyenne est de l'ordre de 40°, le ravinement joue un rôle prépondérant sur l'érosion du talus. Donc, il semblerait

que le problème de gestion des EP survienne au niveau des caniveaux le long de la RN. Le fait que ces caniveaux ne soient pas creusés assez profonds et qu'ils soient peut-être sous-dimensionnés pour réceptionner les écoulements provenant des versants entraînerait un écoulement des eaux sur la route et donc une dégradation de celle-ci. A cela s'ajouterait l'entretien irrégulier des fossés comblés de façon récurrente par les ravinements et glissements en tout genre. Une stagnation des eaux et un apport continu dans ces fossés, engendre irrémédiablement une infiltration de celles-ci sous l'infrastructure routière pouvant être à l'origine des indices d'instabilités sur la RN ainsi que des débuts d'affaissements pour certaines portions de la route.

- **Le couvert végétal des talus routiers (en amont et en aval)** : déjà formulé précédemment dans cet avis, les talus routiers côté amont et aval sont occupés par une végétation contraignante car propice à la « prise au vent » et à « l'effet balancier » qu'elle engendre. A contrario, l'absence d'occupation du sol (sols nus) ou la pratique maraichère, favorise le ravinement et l'érosion prématurée des talus.

Risques résiduels

Compte tenu de l'état actuel des talus routiers côté amont, il n'est pas à exclure que de nouveaux glissements-coulés du type ceux qui se sont produits lors de l'épisode pluvieux de décembre 2008 n'aient plus lieu, notamment aux endroits où la pratique maraichère occupe le talus et où la végétation favorise l'effet balancier accentuant les instabilités. De nouvelles fortes pluies sont en mesures de générer de nouveaux départs de matériaux dans le versant (volumes potentiellement comparables à l'épisode des 15 et 16 décembre 08, voire supérieurs), avec un recouvrement possible de la totalité de la largeur de chaussée.
Les talus routiers du côté aval montrent également des signes inquiétants d'évolution dans la mesure où la marge entre la falaise et la route se réduit très rapidement sous l'effet des glissements et du fluage du sol favorisé par un ravinement et de la végétation (bambous) à la tendance « prise au vent ».
L'intégrité même de la RN2 aux PR 7+500 et PR 8+300 n'est pas remise en cause à l'heure actuelle même si certains signes conduisent à être vigilant sur la maîtrise des eaux pluviales en particulier. En effet, les débuts d'affaissement et les fissures qu'ils engendrent seraient causés par l'infiltration des eaux sous la route du fait de l'état des fossés le long de celle-ci.

Recommandations

Sur la base du précédent diagnostic, nous proposons l'adoption des dispositions suivantes :

1. Dispositions à très court terme (sans délai)

- **Le curage et l'entretien plus fréquent des fossés côté amont le long de la route et des caniveaux de traverse.** L'ensemble des eaux de ruissellement collectées (eaux provenant du versant et de l'écoulement sur la route en amont)

doivent être drainées de façon fluide et sans obstacles par ces ouvrages de façon à éviter la stagnation et l'infiltration de ces eaux sous la route ainsi que le débordement sur la route.

- **Effectuer un travail d'élagage sur la végétation de type bambous et arbres avec prise de vent pour éviter le problème de balancier dans les talus et versant du côté amont et aval ainsi que sur la crête.** Cet élagage doit s'effectuer de façon sévère, c'est-à-dire couper la végétation afin de conserver uniquement 1 mètre de tronc environ, le système racinaire participant à la stabilisation des terrains.

- **Influencer l'arrêt de la pratique maraichère au droit de la section 2 dans le versant côté amont, largement propice aux glissements aux terrains.** La pratique maraichère (culture de bananes, manioc,…) joue un rôle néfaste dans la stabilité du talus en favorisant grandement le ravinement et l'érosion du sol, surtout dans ce contexte où les pentes moyennes avoisinent les 40° et que les terrains sont meubles.

- **Mise en place sur les différentes zones de départ des instabilités (en proie à une érosion importante) de bâches en polyane** destiné à minimiser les phénomènes de ravinement et l'infiltration, notamment au droit du versant aval de la section 3. Une attention particulière devra être donnée pour la pose de la bâche. En effet il est primordial d'enterrer la partie supérieur de la bâche afin d'éviter l'infiltration entre le sol et la bâche en question.

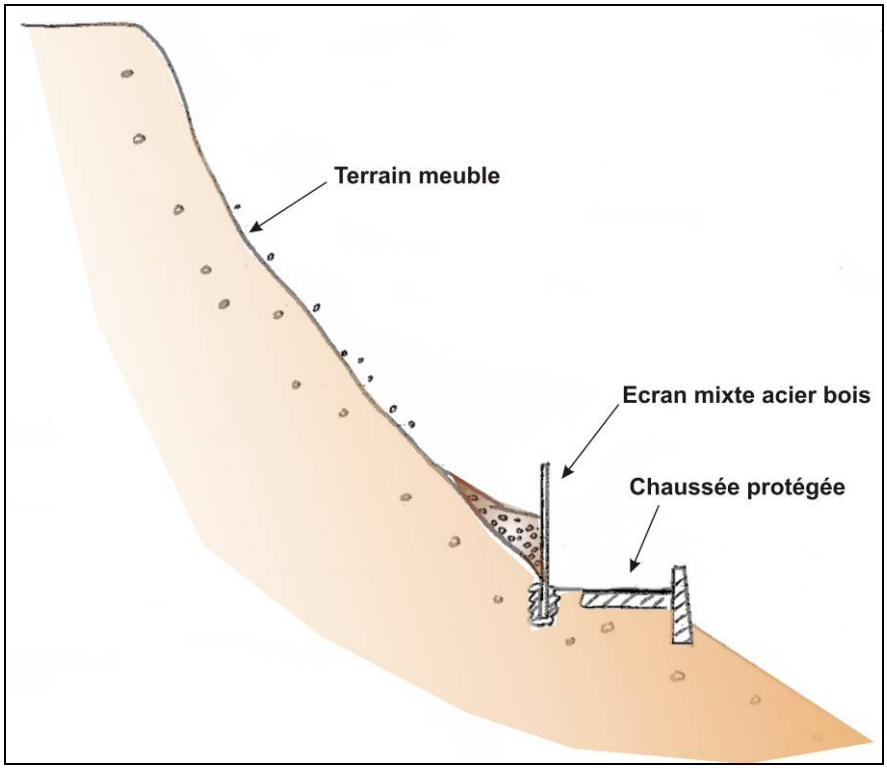
- **Condamner le stationnement et l'arrêt de véhicules sur la faible bande de terrain séparant la route de la falaise en section 3**, surtout en saison des pluies, dans le but d'éviter l'effet de surcharge en amont.

2. Dispositions à moyen terme (si possible avant la saison des pluies)

- **Retravailler les fossés de drainage des eaux pluviales côté amont sur toute la zone d'étude en augmentant leur profondeur et en les imperméabilisant** soit avec la pose d'une membrane en polyane au fond pour minimiser les infiltrations et les remontées capillaires (par ailleurs solution acceptant les déformations sans générer de fuites), soit en bétonnant l'ouvrage sur tout son linéaire.

- **Mettre en place le même système de drainage des eaux pluviales du côté amont pour le côté aval (création de fossés imperméabilisés, peut être de dimensions plus modestes) en installant un système d'exutoire efficace.**

- **Aménager les bords de la RN exposés aux glissements de terrains provenant des versants amont de la section 2 et 3, en installant par exemple des écrans mixtes bois/acier** de 1,5 voire 2 mètres de hauteur (Illustration 12) afin de réduire significativement les problèmes d'encombrement de la voirie lors d'épisodes pluvieux et surtout l'encombrement des ouvrages de drainage et d'évacuation des eaux.



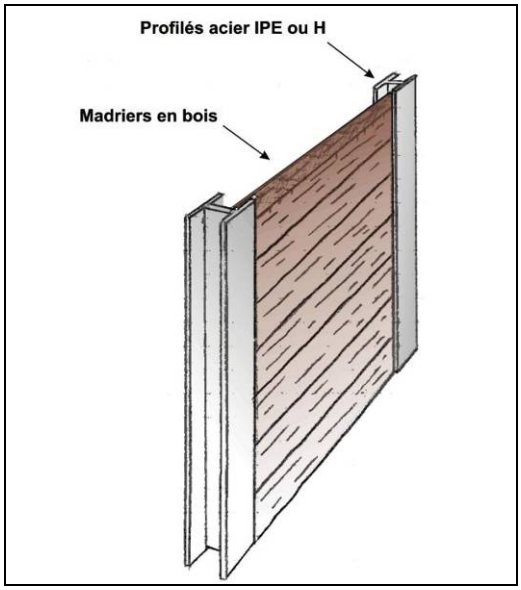


Illustration 12. Effet de la pose d'un écran mixte sur la chaussée = parade passive. Source BRGM

- **Effectuer des travaux géotechniques de style sondages à la tarière et sondages au pénétromètre dynamique lourd, au droit des débuts d'affaissements et fissures au bord de la RN.** D'une part, les sondages à la tarière d'une profondeur minimum de 5 mètres (voire plus si le « bon » sol n'est pas atteint) permettront de caractériser les matériaux du sol grâce aux essais d'identification en laboratoire sur des échantillons remaniés (poids volumique humide, teneur en eau naturelle, limites d'Atterberg, valeur au bleu). Les échantillons seront au nombre de 2 par couches de sol.
  D'autre part, les sondages au pénétromètre dynamique lourd devront être effectués au niveau des fissures et des débuts d'affaissement au bord de la route.
  Au total, 4 sondages à la tarière et 4 sondages au pénétromètre dynamique lourd devraient confirmer de manière définitive si des glissements profonds peuvent avoir lieu où s'ils resteront uniquement superficiels et si nous sommes en présence de déblai/remblai (chaussée en profil mixte).

3. Dispositions à long terme (après saison des pluies)

- **En dernier recours, si les glissements de terrains et l'érosion affectent encore la falaise séparant la mangrove de la RN (section 3), on peut envisager l'aménagement d'un parement clouté sur ce versant (Illustration 13).** Les instabilités et l'érosion seront stoppées de façon efficace. Un dimensionnement de l'ouvrage devra être réalisé par un bureau d'étude géotechnique sur la base des résultats des investigations proposées ci-avant.

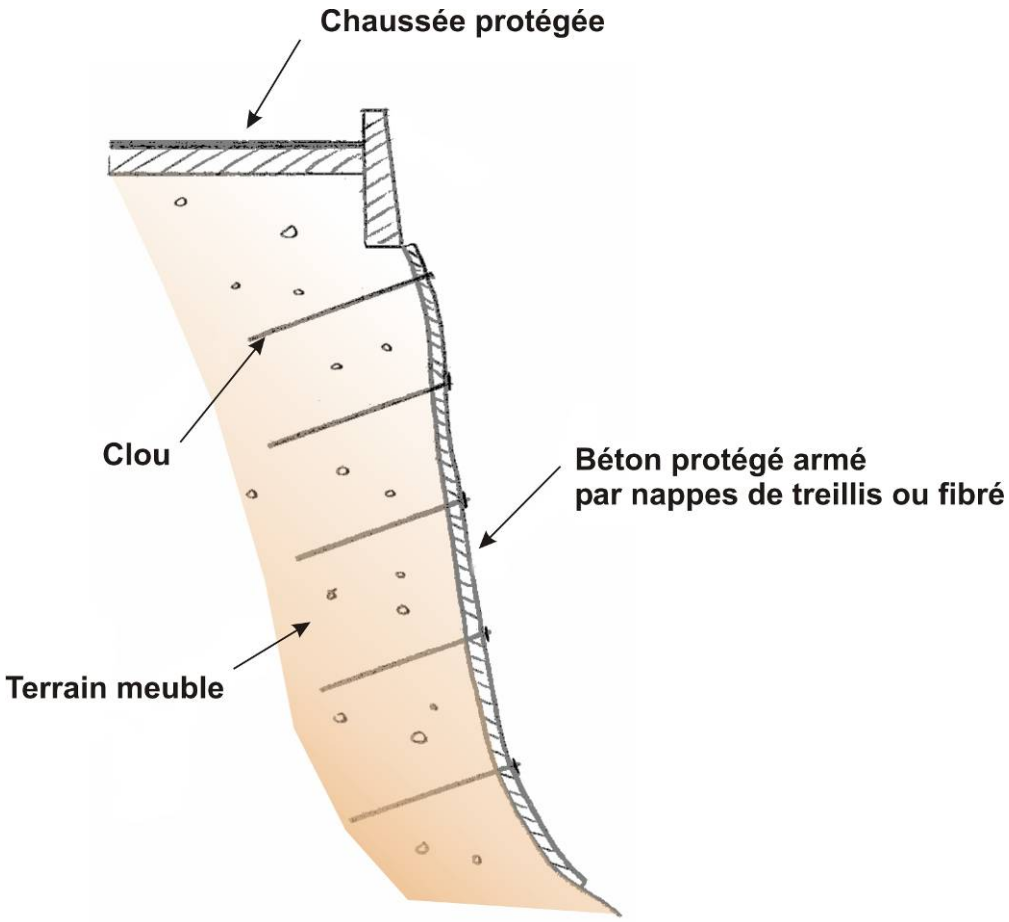


Illustration 13. Principe d'un parement clouté. Source BRGM

8. Note 2009 SAR/MAYOTTE 07. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » au droit de l'école primaire de Poroani, commune de Chirongui.

Direction de
l'Equipement de
Mayotte

Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » au droit de l'école primaire de Poroani, commune de Chirongui.

Novembre 2009

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 07
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 13/08/09	**Site :** école primaire de Poroani
Commune : Chirongui	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : Précision sur l'aléa « mouvements de terrain ».	
Demandeur : DE/SEC/HEA (Grégory Lefèbvre)	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

G. Lefèbvre (DE/SEC/HEA) a sollicité le BRGM afin d'obtenir un avis sur l'emprise de la zone d'aléa fort mouvements de terrain de type «glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs» (G3P2) au niveau du projet d'extension de l'école primaire à Poroani, commune de Chirongui.

Pièces du dossier fournies par la DE au BRGM

La DE a donné une indication sur la localisation de l'école de Poroani et sur l'emprise du projet d'extension.

Observations ressortant des compétences du BRGM

Données issues des travaux du BRGM

La zone d'étude est localisée dans les hauteurs du village à environ 50 mètres au dessus du niveau de l'océan et à mi-versant avec la formation en place atteignant une altitude de 100 mètres.
C'est une zone en pente située en partie basse d'un versant appartenant à une formation volcanique de type basaltique.
Le projet de construction est localisé juste derrière l'école de Poroani déjà en place.

Selon l'Atlas des aléas remis à jour en 2009[10] (cf. Illustration 2), cette zone est située en aléa fort mouvements de terrain de type « glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs » (G3P2). L'école déjà en place est située en aléa moyen (G2P2) et juste en limite entre aléa moyen et fort.

[10] C. Cluzet, A. Oppermann, A. Malard, L. Françoise. (2009) : Mise à jour des atlas des aléas naturels sur 12 communes de Mayotte, commune de Chirongui. Rapport BRGM/RP-57568-FR, 30 p., 25 figures.

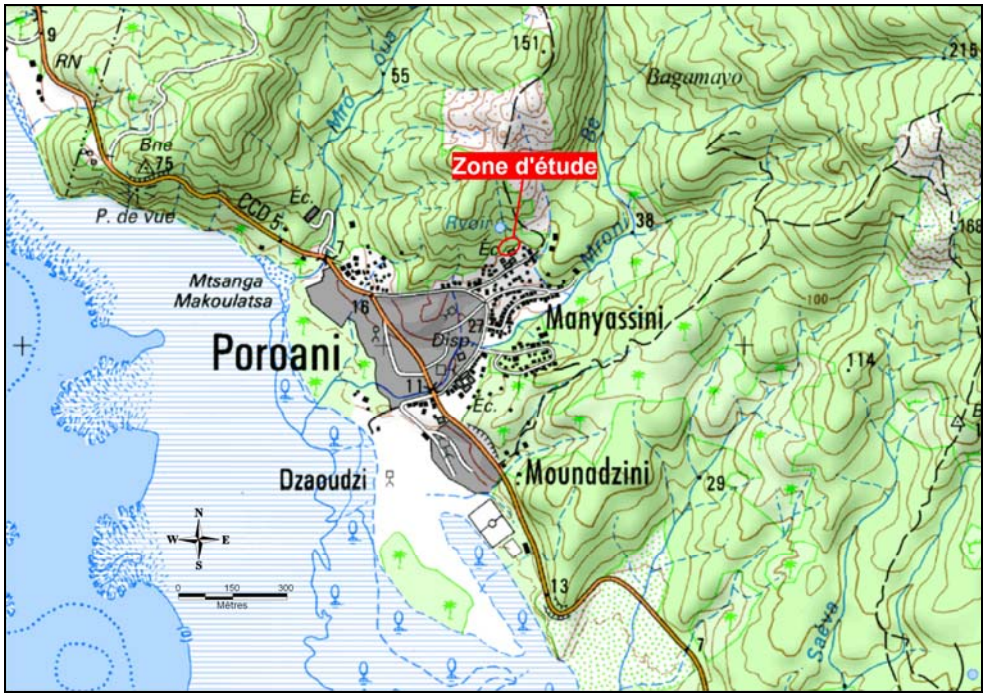


Illustration 1. Localisation de la zone d'étude (fond IGN scan25)

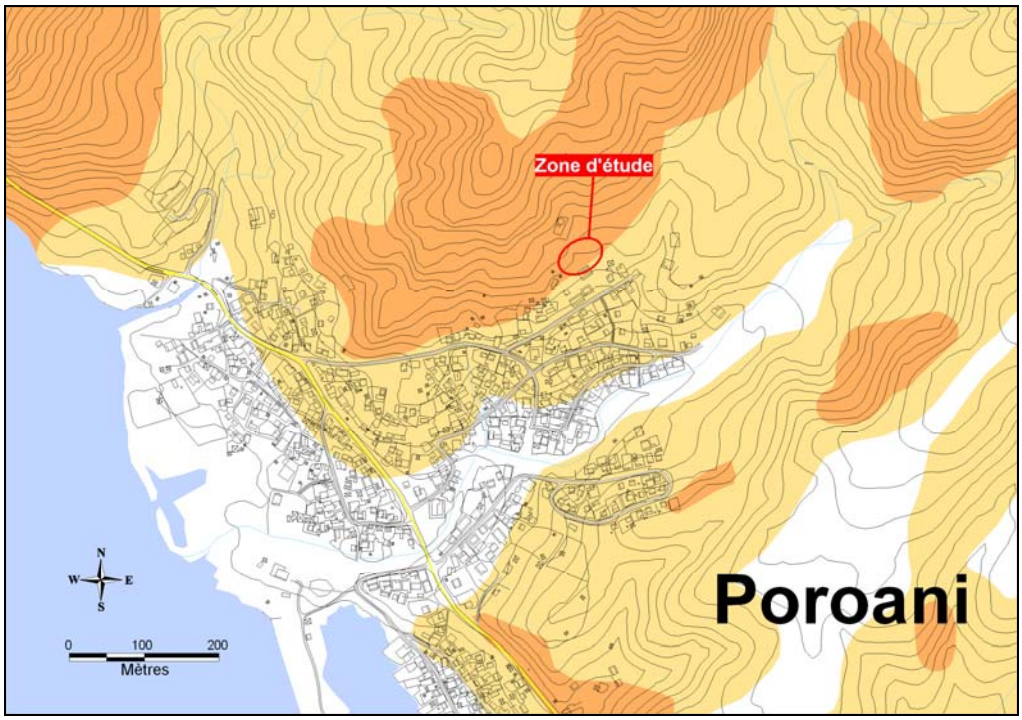


Illustration 2. Zonage de l'aléa mouvements de terrain, extrait de l'atlas des aléas de la commune de Chirongui. BRGM 2009.

<u>Légende :</u>

Orange = aléa fort « glissements de terrains dominants accompagnés de chutes de blocs » (G3P2)

Jaune = aléa moyen « glissements de terrains dominants accompagnés de chutes de blocs » (G2P2)

Observations relatives à la visite de terrain

➢ **Nature des matériaux**

D'un point de vue géologique, la formation volcanique en place de type basaltique, a subi des transformations selon un profil d'altération typique (roche-mère, saprolite, allotérite). C'est une altération supergène s'effectuant par progression d'un front d'altération du haut vers le bas[11]. On trouve en surface, un sol de nature argilo-sableuse correspondant à une altération très évoluée. En surface également, des blocs résiduels et sains de basalte sont disposés de manière éparse sur le versant, ils correspondent à des éluvions (altérites à boules ou blocs lessivées de leur matrice) (Illustration 3). La taille de ces blocs varie le plus souvent entre 10L et 500L. Localement (cf. Illustration 4) des blocs peuvent être plus importants (> 500L et atteignant 1m³). Au pied du versant on trouve également des blocs de basalte de taille inférieure à 100L au sein d'une matrice argilo-sableuse, ce sous-sol correspond aux altérites à roche majoritaire fissurée et altérée en boules (reliques de coulées de laves).

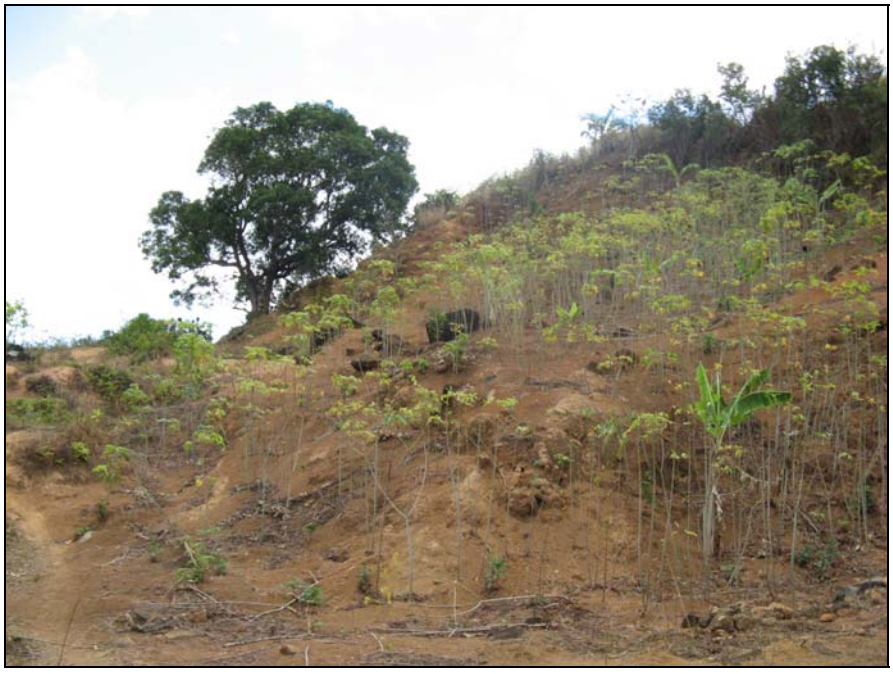


Illustration 3. Nord-Ouest de la zone d'étude - cultures maraichères - sol très altéré en surface avec présence de blocs (éluvions) de taille comprise entre 500L et 1m³. Photo BRGM.

11 C. Cluzet, A. Oppermann, C. Mathon, JM. Baltassat, A. Bitri, B. François, E. Jaques (2009) - Projet Régolite : Phase de test sur le site urbanisable de Doujani (commune de Mamoudzou, Mayotte). Rapport – BRGM/RP-57275-FR.

Illustration 4. Pied de versant – affleurement mettant en évidence le sol constitué d'altérites à roche majoritaire fissurée et altérée en boules. Photo BRGM.

➢ **Morphologie**

Globalement, la zone est constituée de reliefs (buttes, replats, crêtes) dont les flancs sont caractérisés par de fortes pentes en partie amont et des pentes plus douces au sommet et en partie aval. Ces reliefs sont entrecoupés de ravines temporaires (Illustration 5).
Plus précisément, au niveau de la zone d'étude, juste en amont les pentes ont une valeur moyenne de 15 à 20° (cf. profil de pente - Illustration 6). Localement, ces pentes peuvent atteindre 25 à 30° sur de petites sections comme par exemple dans la zone de blocs représentée sur l'illustration 5.
Au sein de la zone d'étude, un déblai/remblai a été effectué juste derrière l'école déjà en place et un mur de soutènement au pied du versant a été établi pour permettre la stabilité du terrain amont. Ce mur de soutènement semble être en bon état et ne présente aucun signe de défaillance.

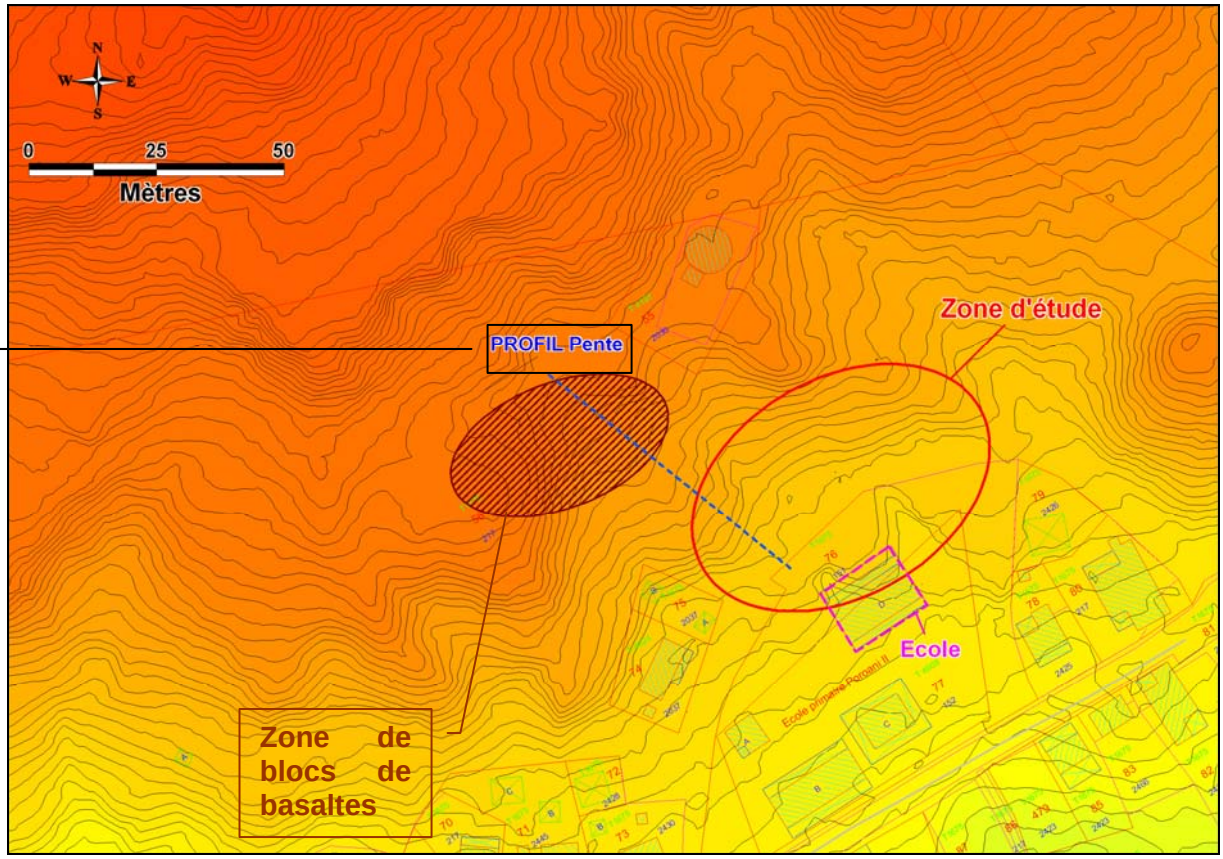


Illustration 5. Extrait du MNT (IGN 2008) - zone de blocs au Nord Ouest de la zone d'étude.

Illustration 6. Profil de pent établi avec le logici « Vertical Mapper ».

➢ **Facteurs aggravants**

Les sols sont dénudés de végétation en raison des pratiques agricoles (cf. illustrations 3 et 7). Celles-ci sont présentes en amont de la zone d'étude. La mise à nu de ces matériaux va induire en saison pluvieuse, une érosion importante sur l'ensemble des versants et générer des écoulements chargés en sédiments.

Illustrations 7. Pied du versant derrière l'école. Photos BRGM.

➢ **Indices d'instabilité**

Dans les zones de faible pente (< 20°), les blocs de basalte en surface sont peu susceptibles d'être mobilisés et ne présentent donc pas de réel danger. Par contre, dans les petites sections (quelques dizaines de m²) de pente supérieure à 25° (au nord-ouest de la zone, cf. Illustration 3), ces blocs peuvent être remaniés sous forme de colluvions de versants, notamment lors d'épisodes pluvieux lorsque des coulées de boue se produiraient avec une énergie suffisante pour remobiliser les blocs.

Conclusions

Les observations complémentaires apportées dans le cadre de cet avis amènent à modifier partiellement le zonage établi dans l'atlas des aléas naturels sur la commune de Chirongui (BRGM/RP-57568-FR) (cf. Illustration 8). Une modification de la limite de l'aléa fort a été apportée, elle a été repositionnée plus au Nord dans le versant amont de la zone d'étude.

On retiendra notamment les éléments suivants ayant conduit à la requalification de l'aléa mouvements de terrains au droit de la zone d'étude :

⇒ Pentes proches de 20° dans l'emprise de la zone d'étude. Néanmoins, en amont de cette zone, les pentes peuvent atteindre 30° localement.

⇒ Pas d'indices d'instabilité relatifs au glissement de terrain dans les altérites, néanmoins, les blocs présents en surface notamment au Nord-Ouest de la zone d'étude peuvent présenter un danger pour le projet. Il est nécessaire de s'en prémunir c'est pourquoi il est fortement recommandé de purger les blocs les plus instables de manière à réduire le risque de remobilisation de ces blocs.

L'exposition des sols à l'érosion (parcelles cultivées, sols nus) constitue un facteur d'aggravation, c'est pourquoi il est recommandé de végétaliser la partie amont de la

zone de projet afin de maîtriser l'impact de l'érosion en particulier. En complément de cette revégétalisation, nous proposons le rehaussement d'environ 1 mètre du mur de soutènement déjà en place à l'arrière de l'école afin de faire obstacle aux coulées de boue notamment. On veillera dans ce cas à prévoir une bonne gestion des écoulements d'eau à l'arrière de l'ouvrage.

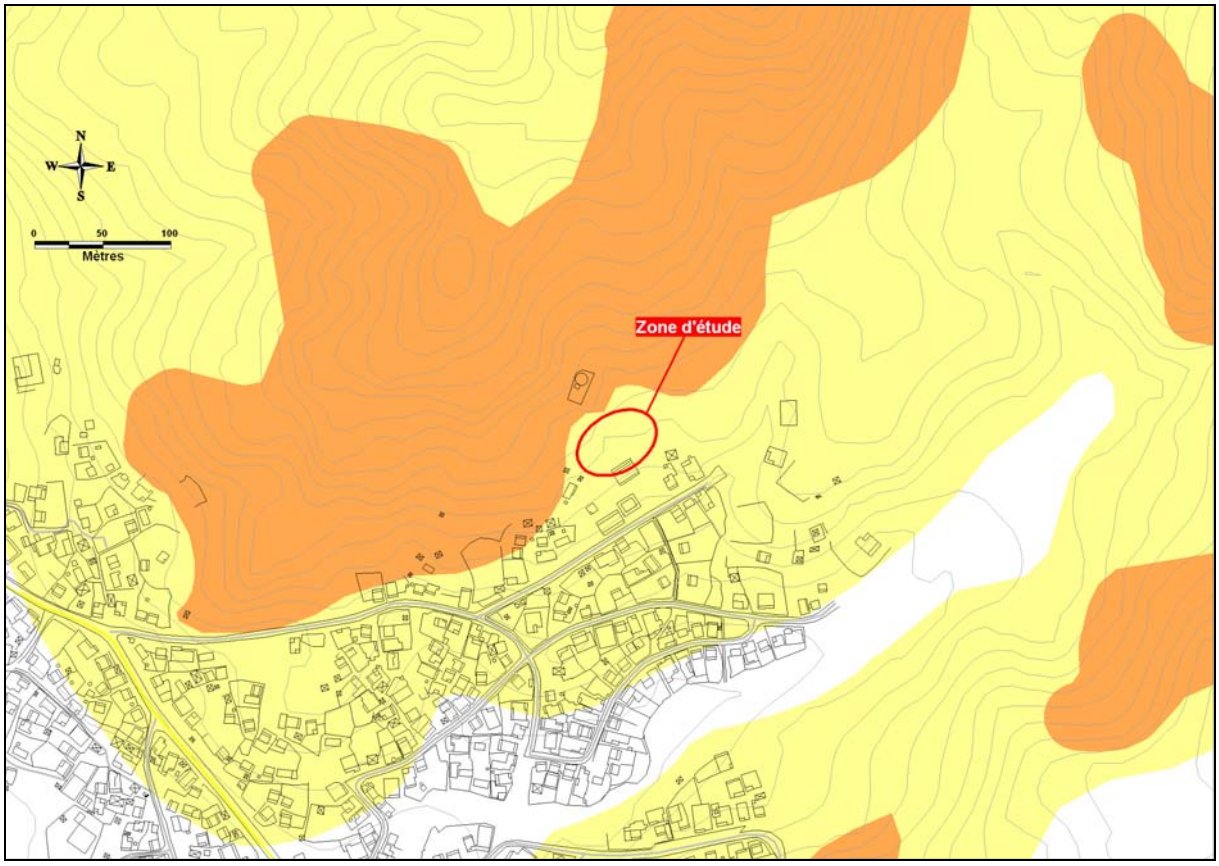


Illustration 8. Zonage de l'aléa mouvements de terrain modifié d'après le présent avis.

Légende :

Orange = aléa fort « glissements de terrains dominants accompagnés de chutes de blocs » (G3P2)

Jaune = aléa moyen « glissements de terrains dominants accompagnés de chutes de blocs » (G2P2)

9. Note 2009 SAR/MAYOTTE 08. Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » à Mtsangadoua, commune d'Acoua.

Direction de
l'Equipement de Mayotte

Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » à Mtsangadoua, commune d'Acoua.

Janvier 2010

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 08
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009-2010

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 20/01/2010	**Site :** village de Mtsangadoua
Commune : Acoua	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : Précision sur l'aléa « mouvements de terrain » au Sud-est de Chiconi et délimitation de bassins de risque.	
Demandeur : DE/SEC/HEA (G.Lefèbvre) pour DE/SAUH (M. Berruet)	
Diffusion : DE/SEC/HEA, DE/SAUH et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

Le service SAUH par l'intermédiaire de la cellule HEA du Service Equipement des Collectivités (SEC) de la Direction de l'Equipement de Mayotte, a sollicité le BRGM afin d'obtenir un avis sur l'emprise de la zone d'aléa fort mouvements de terrain à Mtsangadoua.

Pièces du dossier fournies par la DE au BRGM

La DE a fourni des cartes de localisation des zones où l'aléa fort mouvements de terrain devra être précisé.

Observations ressortant des compétences du BRGM

Données issues des travaux du BRGM

Les trois zones d'étude sont situées en bordure de la CCD1. Les deux plus grandes zones sont en amont de la route alors que la plus petite est localisée juste au Nord du Collège et longe la CCD1 sur environ 200 mètres (cf. Illustration 1).

Selon l'Atlas des aléas remis à jour en 2009[12] sur la commune d'Acoua (cf. Illustration 2), les zones situées en amont de la CCD1 sont majoritairement classées en aléa fort chutes de blocs (phénomène dominant, potentiellement associé à des glissements de terrain). La zone en aval de la CCD1 et juste au nord du Collège est quant à elle classée en aléa fort glissement de terrain (phénomène dominant, potentiellement associé à des chutes de blocs).

Observations relatives à la visite de terrain

1. **Nature des matériaux et morphologie du versant**

Le village de Mtsangadoua est dominé par un relief nommé « Madjabalini » atteignant 350 mètres à l'Est. Le village est établi sur la partie basse du versant. Géologiquement, le relief est constitué de roche saine en partie sommitale correspondant à des dômes de phonolite. D'un point de vue morphologique, les parois de ces dômes de phonolite présentent des pentes très raides assimilées à des falaises d'une cinquantaine de mètres. Dans le versant Nord-Ouest intéressant le village de Mtsangadoua, les pentes

[12] C. Cluzet, A. Oppermann, A. Malard, L. Françoise. (2009) : Mise à jour des atlas des aléas naturels sur 12 communes de Mayotte, commune d'Acoua. Rapport BRGM/RP-57084-FR, 15 p., 10 figures.

s’adoucissent progressivement pour atteindre en moyenne 20 à 30°. Les matériaux rencontrés sur ce versant et à la base des dômes de phonolites correspondent le plus souvent à des colluvions de versant pouvant comporter des blocs de plusieurs m³. En profondeur, on retrouve les basaltes altérés formant la base de la série septentrionale[13].

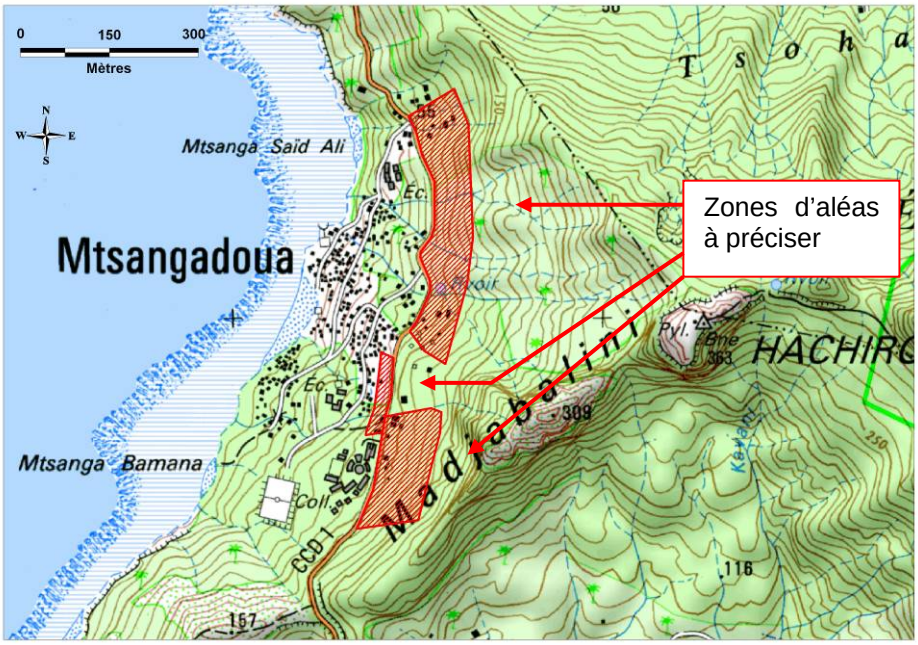


Illustration 1. Localisation des zones d’étude (fond IGN scan25)

[13] Stieljjes L. (1988) – Carte géologique de Mayotte à 1/50000 et sa notice. Ed. BRGM.

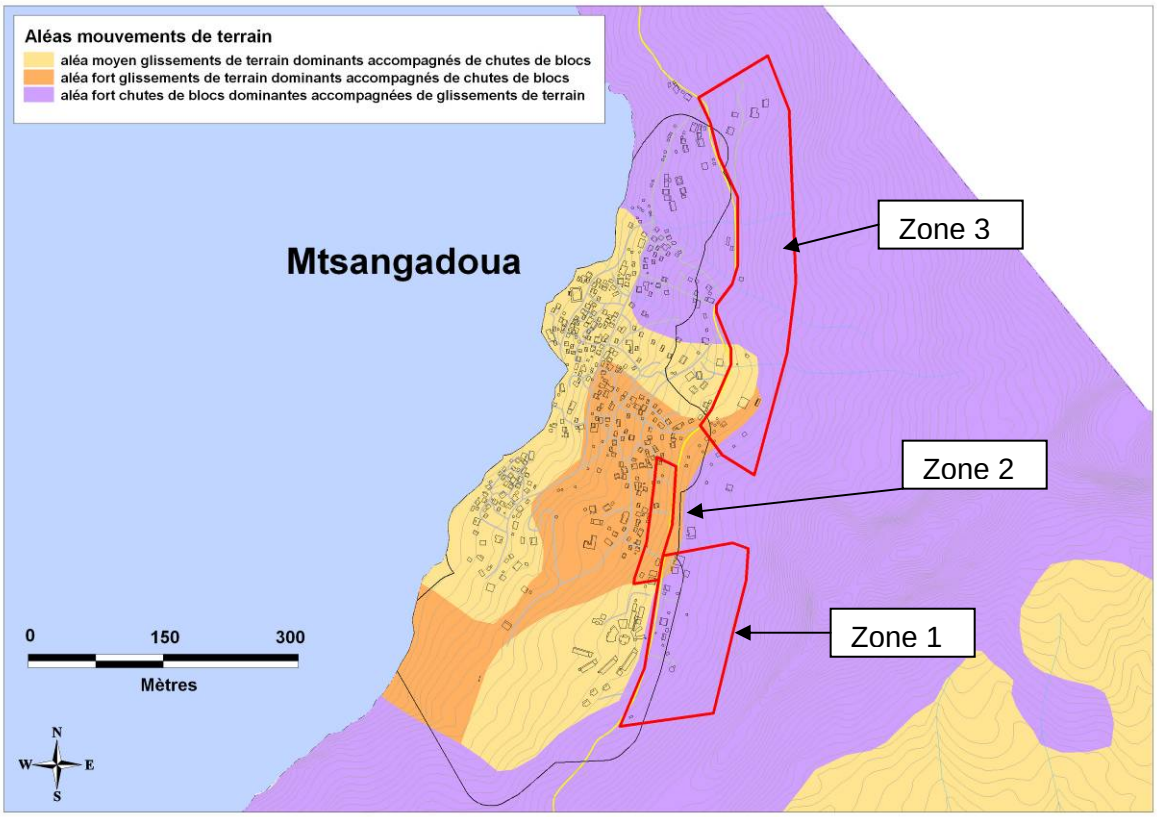


Illustration 2. Zonage de l'aléa mouvements de terrain, extrait de l'atlas des aléas de la commune de Chiconi. BRGM 2009.

- **Zone 1**

A l'intérieur de la zone 1, de nombreux blocs de phonolites sont présents de façon éparse. Ils correspondent à des colluvions de versants et mesure en général une centaine de litre (cf. Illustration 3). Néanmoins, lors de la visite de terrain, de gros blocs de plusieurs m³ ont été observés dans le versant (cf. Illustration 4), qui pour certains résultent probablement d'anciennes chutes de blocs. Quelques uns d'entre eux ont été géoréférencés et localisés sur l'illustration 5 présentant la morphologie globale de la zone 1.

Illustration 3. Colluvions présents dans la partie aval de la zone 1.

Illustration 4. Blocs de plusieurs m³ localisés et géoréférencés dans la zone 1. cf. Illustration 5.

Au vue de la morphologie du site, des matériaux rencontrés et au vue de la partie sommitale du versant correspondant à une zone de départ de blocs, la zone 1 est considérée comme une zone de propagation des blocs et donc comme une zone d'aléa fort chutes de blocs dominantes. Les profils de pente réalisés dans cette zone à l'aide du Modèle Numérique de Terrain, nous renseignent sur les valeurs de pentes et il est possible d'estimer une pente moyenne le long du profil (cf. Illustrations 5 et 6). La partie amont de cette zone présente les pentes les plus fortes. Pour ces trois profils, la partie amont est caractérisée par des pentes avoisinant les 35°. Dans la partie intermédiaire entre la partie amont et aval de la zone d'étude, les pentes tournent autour de 20-25° sauf pour le profil 1 où les pentes sont plutôt proches de 30°. Enfin dans la partie basse de la zone 1, les pentes sont plus douces et deviennent quasiment nulles.

Les profils 1 et 2 mettent en évidence les fortes pentes du secteur en amont de la zone 1 (partie haute du versant), alors que le profil 3 met en évidence les pentes relativement douces (autour de 17°) de ce secteur. Cela pourrait correspondre à un secteur d'accumulation de blocs provenant du dôme de phonolite en sommet. Dans ce cas, la partie de la zone 1 concernée serait moins touchée par la propagation des

blocs. D’ailleurs la visite de terrain n’a pas permis de mettre en évidence des blocs comme ceux de l’illustration 4 qui ont été géoréférencés.

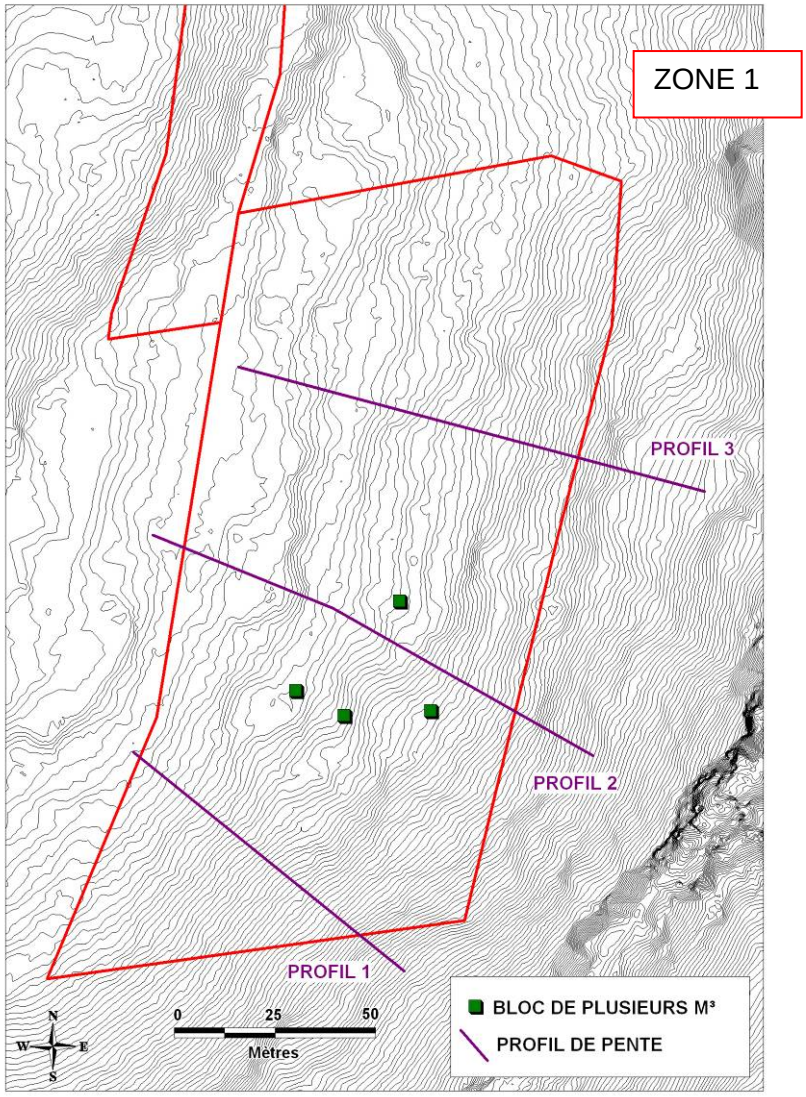
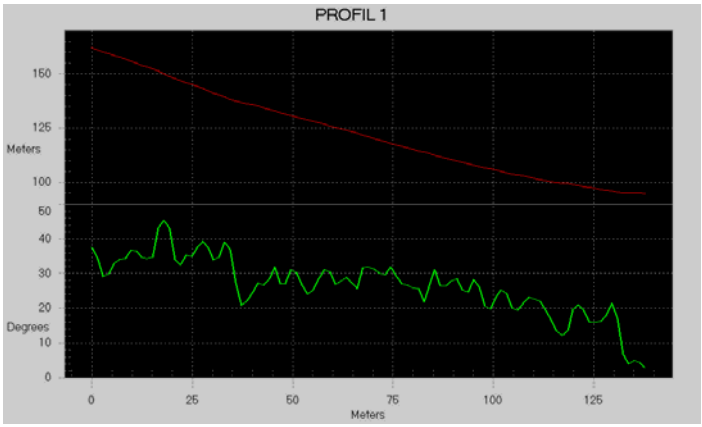
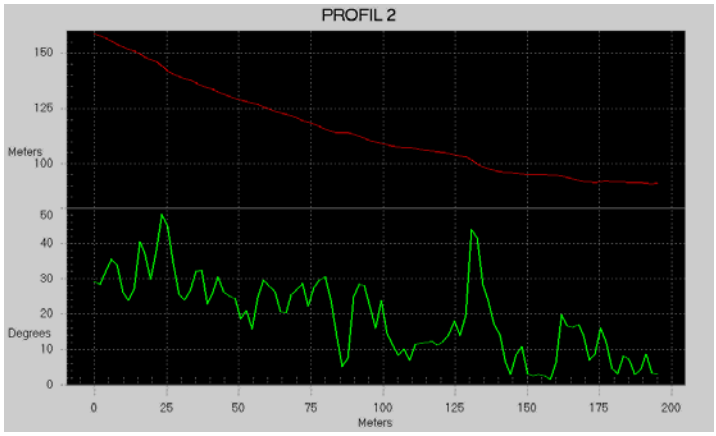


Illustration 5. Morphologie de la zone 1 et localisation des profils de pente ainsi que certains « gros » blocs de phonolites comme ceux présentés en illustration 4 (repérage des blocs non exhaustif). Fond MNT IGN 2008





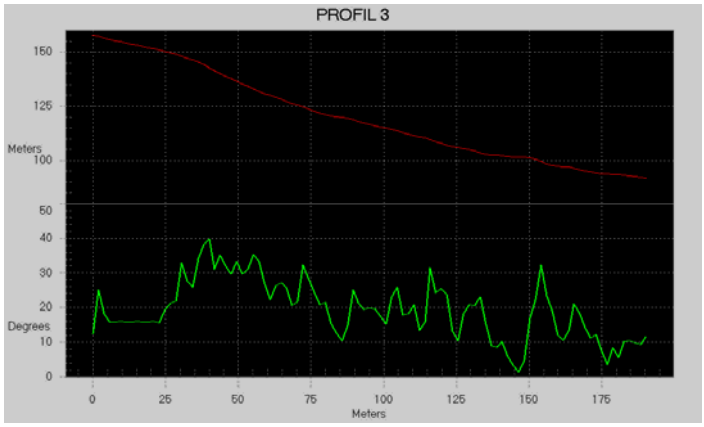


Illustration 6. Profils de pentes de la zone 1

- **Zone 3**

La zone 3 est similaire à la zone 1 en termes de matériaux composant le versant et en termes de morphologie. C'est pourquoi elle est également classé en grande partie en aléa fort chutes de blocs dominantes. Elle peut se décomposer en 3 secteurs différents (cf. Illustration 10) :

- le secteur Nord : la partie du versant juste en amont de la zone 3 montre des pentes supérieures à 35° dans des colluvions de versants du même type que ceux de la zone 1. Ces colluvions sont potentiellement remobilisables et peuvent donc se propager à l'intérieur de la zone 3. Dans ce secteur et à l'intérieur de la zone, les pentes sont moins fortes et sont comprises entre 15 et 25° maximum (cf. Illustrations 7 et 11).
- le secteur Centre : les pentes sont fortes et proches de 30° sur l'ensemble du secteur. Les talus routiers formés pour la construction de la CCD1 sont abrupts et tendent à déstabiliser la partie aval de la zone 3 (cf. Illustration 8). Des ravines relativement encaissées pourraient entraîner des coulées de matériaux colluvionnaires lors d'un épisode pluvieux intense.
- Le secteur Sud : le sol est composé d'une couche argilo-sableuse contenant des blocs anguleux de phonolite provenant du massif situé en amont de la zone d'étude (cf. Illustration 9). Il s'agit de dépôts de versant et de bas de pente issus du démantèlement des parties hautes des versants. Ces matériaux concernent d'avantage les glissements de terrains que les chutes de blocs (cf. classification des matériaux pour les PPR), c'est pourquoi ce secteur est classé en aléa

glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs. Les pentes sont moins fortes que les secteurs précédents et sont de l’ordre de 20°.

Illustration 7. Secteur Nord, à l’intérieur de la zone 3.

Illustration 8. Secteur Centre, talus routier au bord de la CCD1

Illustration 9. Secteur Sud, couche argilo-sableuse avec blocs de phonolites anguleux. Dépôts de bas de pente à gauche et dépôts de versant à droite.

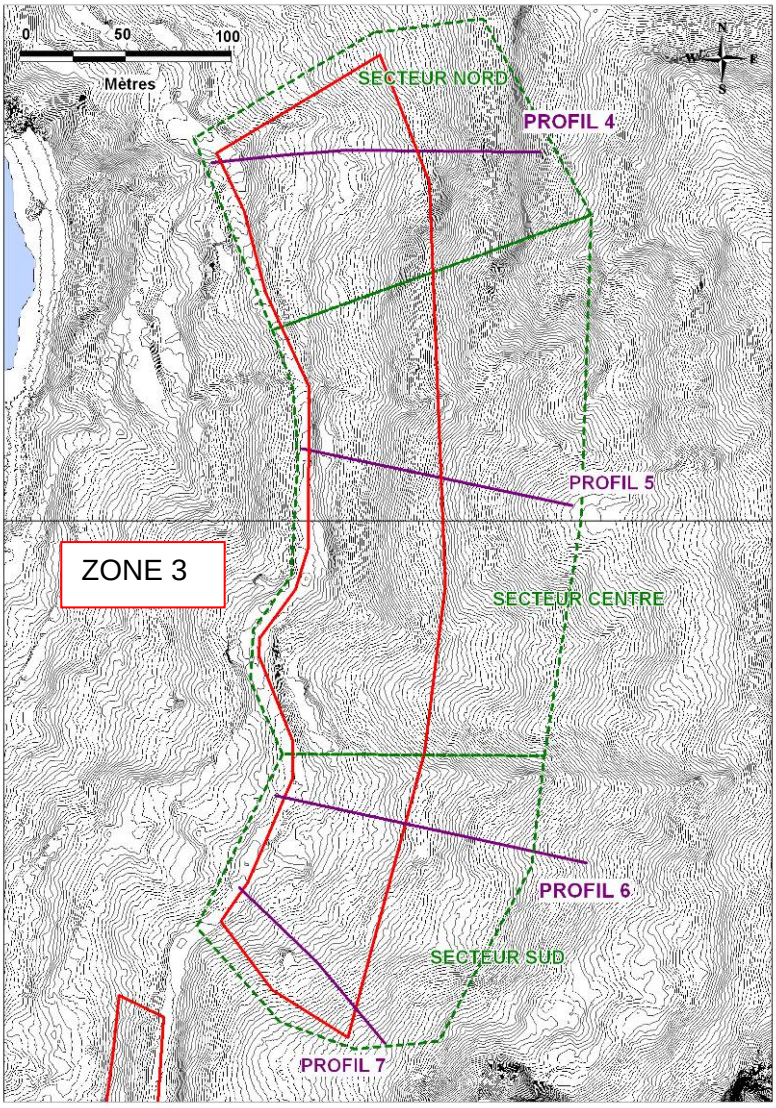


Illustration 10. Morphologie de la zone 3 et localisation des profils de pente. Fond MNT IGN 2008

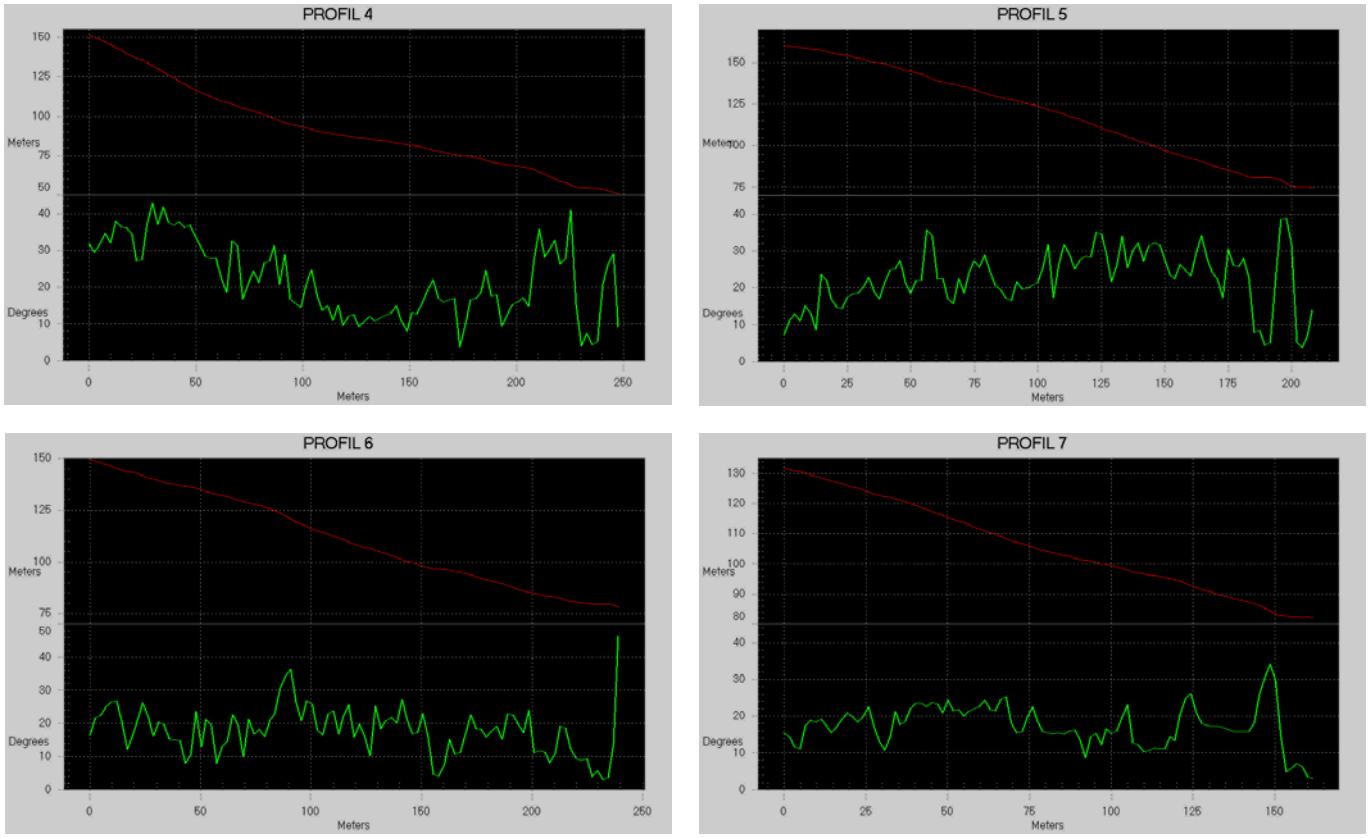


Illustration 11. Profils de pente de la zone 3 pour les trois secteurs délimités.

- **Zone 2**

Cette zone située en aval de la route CCD1 est une zone de dépôts de pied de versant. Elle est composée principalement de colluvions latéritiques et de blocs de phonolites de taille métrique (cf. Illustration 13). La structure argilo-sableuse prédomine et d’un point de vue morphologique les pentes sont comprises entre 30 et 35° (cf. Illustration 12 et 14). La construction de la route a engendré l’aménagement de talus routiers qui permettent de mettre en évidence les matériaux composant le sous-sol. Au final cette zone est classée en aléa fort glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs, conformément à la méthodologie utilisé pour la cartographie des aléas dans les Plan de Prévention des Risques.

Illustration 12. Morphologie de la zone 2. pentes supérieures à 30°

Illustration 13. Blocs présents dans la zone 2.

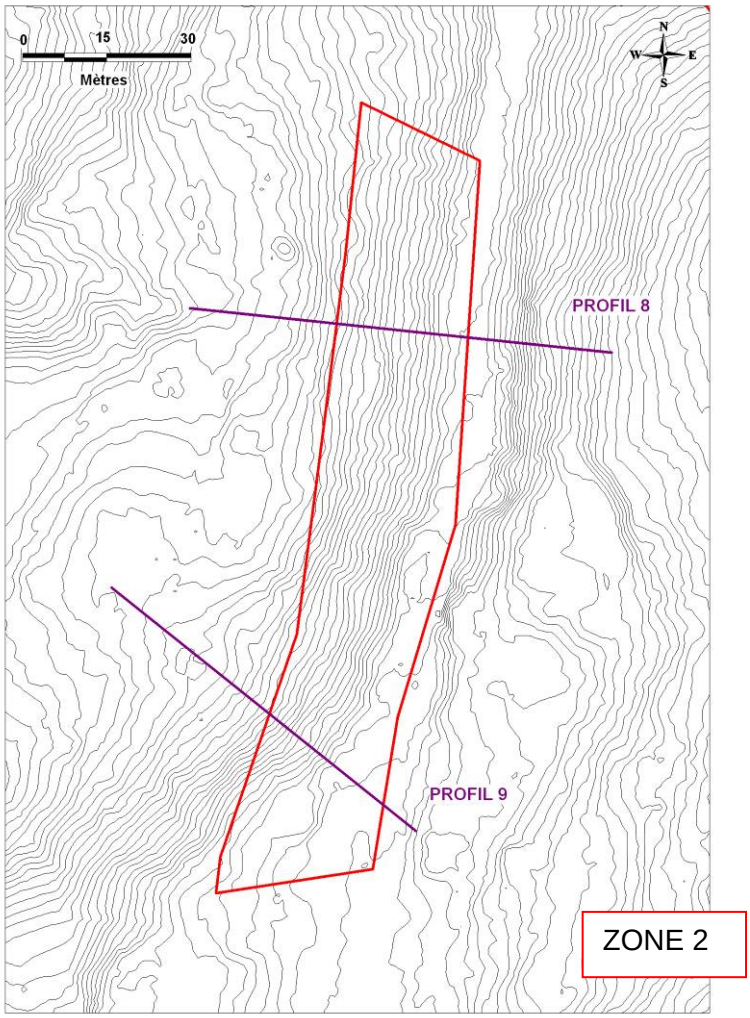


Illustration 14. Morphologie de la zone 2 et localisation des profils de pente

2. Facteurs aggravants

Les eaux pluviales provenant du versant en amont de la zone d'étude sont collectées par des ravines le plus souvent sèches et intermittentes. Lors d'un épisode pluvieux conséquent, des coulées de débris (colluvions) peuvent se produire et affecter les zones de pied de versant. De plus, des débordements de ravine peuvent également se produire et engendrer une remobilisation des blocs présents sur le versant dans les secteurs de fortes pentes.

Conclusion

Eu égard des observations de terrains, de la nature des matériaux et de la morphologie du site, le zonage de l'aléa « mouvements de terrain » a pu être légèrement modifié :

➲ Dans la zone 1 : dans la partie basse, la probabilité d'atteinte par des blocs est très limitée. De plus, la remobilisation des blocs comme ceux géoréférencés sur

l'illustration 4 ne semble pas envisageable. Au final, cette partie basse de la zone 1 est considérée comme une zone d'aléa moyen chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain (P2G2) en aval d'un aléa fort du même genre.

➲ Dans la zone 2 : le sud de la zone est reclassé en aléa moyen glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs (G2P2).

➲ Dans la zone 3 : le zonage de l'aléa G2P2 couvre une surface plus importante qu'à l'origine dans le secteur Sud. Une zone d'aléa P2G2 a pu être délimitée dans le secteur Nord pour les mêmes raisons que celles évoquées dans la zone 1.

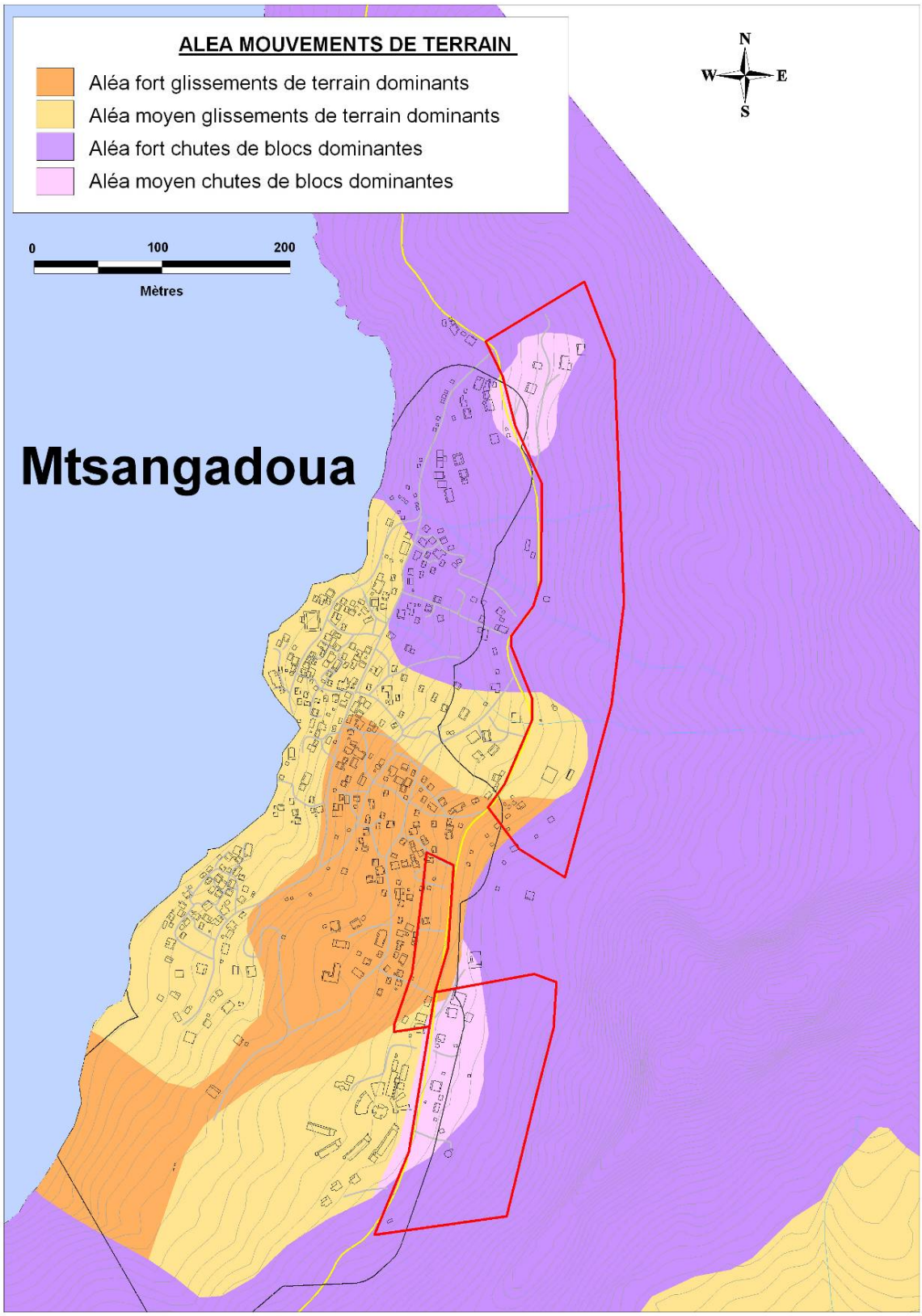


Illustration 15. Zonage de l'aléa mouvements de terrain modifié d'après le présent avis.

10. Note 2009 SAR/MAYOTTE 09. Diagnostic suite aux instabilités affectant un versant en contrebas du centre de la commune de Tsingoni.

Direction de l'Equipement de Mayotte

Diagnostic suite aux instabilités affectant un versant en contrebas du centre de la commune de Tsingoni.

Janvier 2010

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 09
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009-2010

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 21/01/2010	**Site :** versant exposé Nord en contrebas du centre de la commune
Commune : Tsingoni	
Participant(s) : A. Oppermann et Mr Daniel Mohammed Ali (service technique de Tsingoni)	
Objet : Evaluation de l'aléa mouvements de terrain	
Demandeur : DE/SEC/HEA (G.Lefèbvre)	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

Suite à l'apparition de désordres de type érosion de talus et glissements de terrain en contrebas d'une ligne de bâtis, la cellule HEA du Service Equipement des Collectivités (SEC) de la Direction de l'Equipement a sollicité le BRGM le 20/01/2010 afin d'obtenir une expertise visant :

- A définir la nature de ces instabilités et leur évolution ;

- A évaluer les risques résiduels pour les habitations et proposer des mesures de confortement et de protection.

N.B. Seuls des principes de travaux seront proposés. Le présent diagnostic ne constitue pas une mission de maîtrise d'œuvre et ne peut se substituer à une étude de définition.

Le diagnostic est réalisé à partir de reconnaissances visuelles effectuées lors de la visite de terrain ainsi qu'à partir d'une étude SEGC[14] et d'une étude ANTEA[15], respectivement produites en 2005 et 2008.

Observations et diagnostic

Le site est localisé sur le versant exposé Nord en contrebas du centre de la commune de Tsingoni.

[14] Etude SEGC n°579 de Janvier 2005 – Extension du quartier Mkiri Ya Maji, Tsingoni
[15] Rapport ANTEA 49574/A. Février 2008. Opération M'kiri Ya Maji – Tsingoni. Etude de précision des aléas

Illustration 1. Localisation de la zone d'étude – extrait Scan25 IGN

D'un point de vue morphologique, le site est caractérisé par un versant avec des pentes plus fortes à l'amont qu'en partie basse. Selon la carte des pentes d'ANTEA, le versant concerné par ces désordres présente des pentes supérieures à 45° en partie haute et entre 30 et 45° en partie basse. La rivière M'Rowalé constitue le fond de vallée.

Selon l'Atlas des aléas[16] remis à jour en 2009 sur la commune de Tsingoni, la zone est concernée par un aléa fort de glissements de terrains dominants et potentiellement accompagnés de chutes de blocs.

Le résultat d'un des sondages à la tarière effectués par SEGC nous renseigne quant à la composition du sol au droit de notre zone d'étude :

- De 0 à 0.6m de profondeur, le sol est composé de terre végétale de couleur marron brun à ocre ;

- De 0.6m à 1.6m au minimum, le sol est composé de cendres ferrallitisées de couleur marron-rougeâtre à brun grisâtre avec limons fins sableux-argileux à argilo-sableux, à éléments altérés et sains de taille millimétriques.

Nos observations de terrain ont confirmé la présence de ces matériaux fins altérés de couleur brune à rougeâtre (sorte d'argile limoneuse avec des éléments au sein de la matrice, de taille millimétrique et des éléments plus grossiers).

Il est à signaler que les sondages géotechniques de SEGC sont antérieurs aux travaux de terrassement. A l'heure actuelle, le sol composant le versant est recouvert des terres décaissées initialement et qui auraient été mises en remblai dans ce même

[16] C. Cluzet, A. Oppermann, A. Malard, L. Françoise. (2009) : Mise à jour des atlas des aléas naturels sur 12 communes de Mayotte, commune de Tsingoni. Rapport BRGM/RP-57563-FR, 25 p., 20 figures.

versant. Ces remblais ont eu pour conséquence d'augmenter les pentes du talus aval. De plus, cette zone correspond à une accumulation de déchets ménagers.

1. Désordres observés

En premier lieu, les désordres observés sont principalement lié à l'activité anthropique mal maîtrisée. On observe un terrassement sur environ 50 mètres tout juste en contrebas d'une ligne de bâti (cf. Illustration 2).

Illustration 2. Talus et terrassement anthropique affectés par l'érosion, en contrebas d'une ligne de bâti.

Ce talus est raide et présente une hauteur d'environ 2-3 mètres sur tout le long. De plus, après le décaissement, aucune protection n'a été mise en place visant à stabiliser le talus et afin d'éviter l'érosion de celui-ci.

L'épisode pluvieux de ce mois de janvier a très probablement accentué l'instabilité de ce sol très sensible à l'eau. En effet, les fortes précipitations combinées aux rejets non maîtrisés de ces eaux de ruissellement pluvial dans le versant ont engendré une déstabilisation du talus situé à 1 ou 2 mètres en arrière des habitations (cf. Illustration 3).

Illustration 3. Glissements de terrain au niveau du talus et affaissement du terrain remblayé en tête du versant sous l'action des eaux de ruissellement pluvial. Photos BRGM.

Concernant le versant en aval du talus, des niches d'arrachement et des affaissements de la masse de terrain remblayé ont été constatées. Ces remblais en question localisés en tête de talus ne sont pas compacts et correspondent simplement à un déversement des terres décaissées au préalable. Selon Mr Daniel du service technique, cette zone touchée par ces désordres est depuis un certain temps une zone de décharge de déchets de toutes sortes ainsi qu'une zone de déversement des terres décaissées en amont. Sur la plate-forme issue des travaux de terrassement, des fissures perpendiculaires à la ligne de plus grande pente sont apparues (cf. Illustration 4 et 5). Ces fissures mesurent une dizaine de mètres de long et ne semble pas être très profondes. Elles correspondraient probablement au glissement des terres superficielles initialement décaissées et mises en remblai dans le versant. L'hypothèse d'un glissement en masse du versant ne serait donc pas à craindre a priori.

Généralement, le décaissement des terres en crête de versant a plutôt tendance à améliorer la sécurité du versant, du fait de l'allègement et de l'augmentation de la stabilité de la pente, sauf si les pentes du talus aval sont augmentées en remblayant à ce niveau, comme c'est le cas ici.

Au total, il semblerait que ces désordres ont été provoqués en grande partie par le décaissement sans protection des talus, le remblaiement en tête de talus et les rejets non-maîtrisés des eaux pluviales provenant du sommet urbanisé.

Illustration 4. Fissure parallèle au talus. Photos BRGM

Illustration 5. Fissures en tête du versant. Photos BRGM

2. Risques résiduels

Compte tenu de l'état actuel des talus, du terrassement effectué dans son ensemble, de la non-maîtrise des eaux pluviales provenant de l'amont et s'écoulant dans le versant, de la nature du terrain particulièrement sensible aux variations de teneur en eau et possédant des propriétés géomécaniques très médiocres, il n'est pas à exclure que de nouveaux glissement superficiels se produisent d'ici peu. Un début d'affaissement des terrains remblayés (déversés) en tête du versant est à surveiller de près avec l'apparition de nombreuses fissures. Cet affaissement pourrait entraîner une quantité non négligeable de terres déversées.

Le talus situé directement en contrebas de la ligne de bâti est affecté par des instabilités d'ensemble engendrées par l'érosion régressive du fait de l'abondance des rejets d'eaux pluviales mais aussi du fait de sa conception et de sa morphologie (talus raide, sans protection).

Etant donné ces observations, et le risque auquel sont exposées les habitations situées juste au-dessus du talus, il est fortement recommandé de déloger provisoirement ces habitations et de sécuriser ce talus.

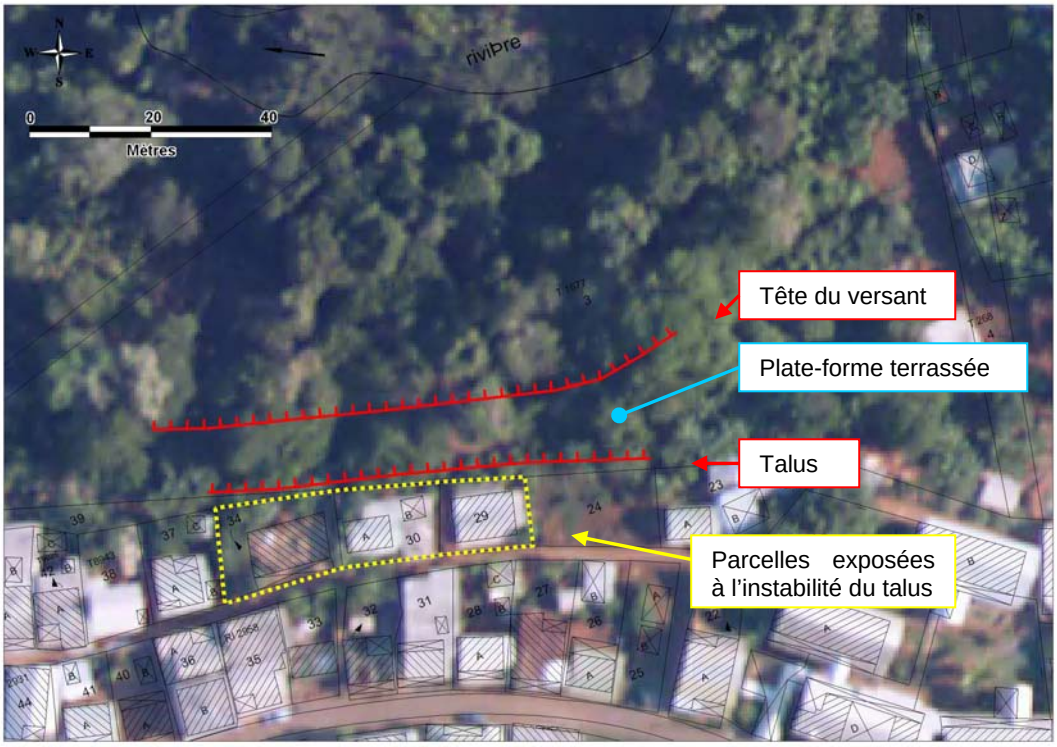


Illustration 6. Contexte général du site. Fond IGN 2008 et cadastre.

3. Recommandations

Sur la base du présent diagnostic, nous proposons l'adoption des dispositions suivantes à très court terme (sans délai) :

- Le délogement provisoire des habitations localisées sur les parcelles n°29, 30 et 34 de la section BI du cadastre de Tsingoni (cf. Illustration 6), et le relogement des habitants en attendant l'achèvement de travaux de mise en sécurité du talus.

- Consolider le talus vertical directement en contrebas des habitations en édifiant un merlon de matériau de préférence assez noble (pas argileux) et bien compact (pas argileux). Ce merlon taluté en butée de pied devra être penté à 3H/2V maximum et devra être bien compacté. Au mieux et si possible, le talus pourrait également être bloqué par des enrochements protégés à l'arrière par un géotextile anticontaminant. Un léger tassement des terrains retenus à l'arrière est à prévoir, durant le temps que ces terrains se mettent en butée contre le merlon, sauf si celui-ci est constitué de matériaux nobles et bien compactés.

- Les nombreux rejets d'eaux pluviales dans le versant devront être maîtrisés et canalisés pour éviter l'érosion et l'infiltration des eaux dans les fissures et le sol, et surtout pour éviter de déstabiliser le merlon installé en butée de pied. La collecte des eaux pluviales s'opèrera par la mise en place d'un

réseau de fossés de drainage imperméables grâce à la pose d'une membrane en polyane au fond dans les tronçons à faible pente afin de minimiser les infiltrations et les remontées capillaires, ou en bétonnant l'ouvrage sur tout son linéaire, de préférence jusqu'à la ravine au pied du versant.

- Mise en place, sur la plate forme issue des travaux de terrassement et sur la tête du versant (remblais), de bâches en polyane destinée à minimiser les phénomènes de ravinement et d'infiltration (dans les fissures en particulier). Une attention particulière devra être donnée pour la pose de la bâche. En effet, il est primordial d'enterrer la partie supérieure de la bâche afin d'éviter l'infiltration entre le sol et la bâche en question.

Dans tous les cas, la plate forme terrassée ne pourra pas être aménageable à des fins urbaines (une activité agricole hors construction étant tolérée) du fait de son instabilité et pour des problèmes de surcharge en tête de talus remblayé. Lors des travaux de confortement du talus en contrebas des habitations, il est d'ailleurs conseillé de prendre en considération ce problème de surcharge (circulation d'engins pour les travaux, apport des terres favorables à la construction du merlon,...).

11. Note 2009 SAR/MAYOTTE 10. Etude de bassin de risque concernant le carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani pour un projet d’extension de l’urbanisation.

Direction de
l'Equipement de
Mayotte

Etude de bassin de risque concernant le carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani pour un projet d'extension de l'urbanisation.

Avril 2010

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 10
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009-2010

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 08/04/2010	**Site :** Carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani
Commune : Ouangani-Sada	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : étude de bassin de risque	
Demandeur : DE/SEC/HEA (G.Lefèbvre) pour DE/SAUH (P.Berruet)	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

La Direction de l'Equipement, par l'intermédiaire de G. Lefèbvre (cellule Hydraulique Environnement et Assainissement), a sollicité le BRGM pour une précision des aléas naturels de type mouvement de terrain, inondation et submersion cyclonique, au droit du carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani. Cette demande intervient dans le cadre d'un projet d'extension de l'urbanisation du carrefour pour le développement d'une intercommunalité entre les 3 communes.

Pièces du dossier fournies par le demandeur au BRGM

La DE a transmis au BRGM un plan de délimitation de la zone d'étude englobant le carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani.

Illustration 1. Localisation de la zone d'étude – extrait Scan25 IGN

La zone d'étude, localisée dans la baie de Chiconi, est composée de trois entités topographiques :

- au Nord et en aval de la RN, une plaine alluviale urbanisée en partie Ouest et formée par la confluence de rivières pérennes dont l'altitude des terrains concernés est comprise entre 5 et 8 m NGM ;
- au Sud-est, un fond de vallée large et encaissée ;
- au Sud-ouest, un pied de versant avec des pentes relativement fortes en amont et douces en aval.

Observations ressortant des compétences du BRGM

1. Description générale du site

Données issues des travaux du BRGM

Le site est à cheval entre la commune de Sada et la commune de Ouangani. D'un point de vue de la cartographie des aléas naturels, Sada est concernée par un Plan de Prévention des Risques (PPR) prescrit en décembre 2009 et en cours d'élaboration. La commune de Ouangani n'est pas concernée par un PPR mais par la cartographie établie dans le cadre des atlas des aléas du BRGM, remis à jour en 2009.

Un avis BRGM (Note 2009 SAR/MAYOTTE, février 2010) sur la précision de l'aléa mouvement de terrain a été donné dans le Nord-est de la zone d'étude, au niveau du projet de station d'épuration à la demande du SIEAM. Les cartographies ci-dessous tiennent compte de cet avis BRGM.

Selon la cartographie du PPR de Sada et des atlas pour la commune de Ouangani, la zone d'étude est concernée :

- par un aléa glissement de terrain de niveau fort, moyen et modéré au Sud-ouest de cette zone, et par un aléa chutes de blocs de niveau moyen sur une étroite bande à l'Est de la zone (cf. Illustration 2) ;

- par un aléa inondation par débordement de cours d'eau de niveau fort, moyen et faible. L'aléa fort correspondant au lit mineur et à ses berges, l'aléa moyen correspondant au lit majeur et l'aléa faible correspondant à des zones où l'écoulement des eaux est faible et les hauteurs de submersion limitées ;

- par un aléa moyen de submersion marine dans la partie extrême Nord, prenant en compte l'occurrence d'un événement cyclonique de type exceptionnel. Elle n'est pas concernée par un aléa fort de submersion marine.

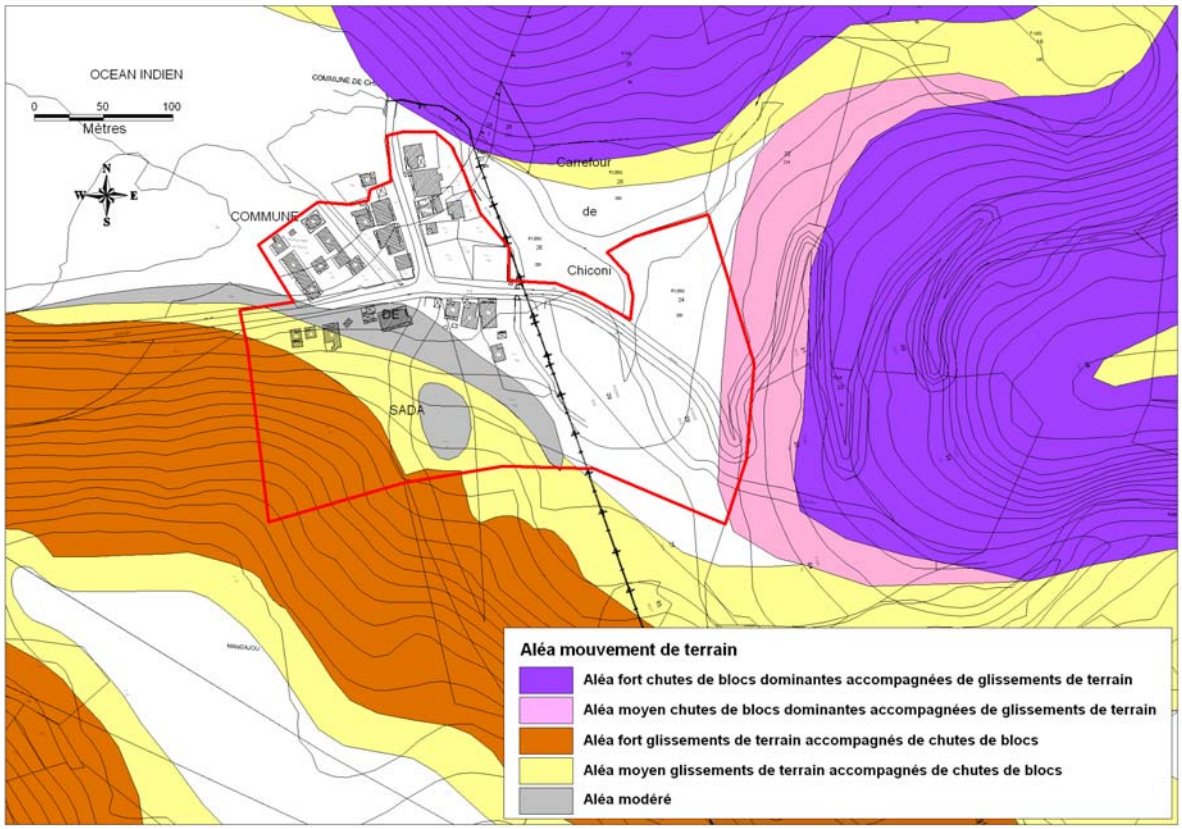


Illustration 2. Zonage de l'aléa mouvement de terrain au droit de la zone d'étude. Extrait de la cartographie PPR de Sada et des atlas des aléas de Ouangani. BRGM Février 2010.

Observations relatives à la visite de terrain

- Nature des matériaux

La zone d'étude s'inscrit d'une part, au Sud-ouest, dans une formation volcanique de type basaltique apparue lors des épisodes du mio-Pliocène, et d'autre part, dans les alluvions et dans les petites accumulations de déjection correspondant aux formations de rivières (blocs, limons, argiles, accumulations détritiques, souvent ferralitiques).
La visite de terrain a permis de mettre en évidence la nature des matériaux rencontrés. Le versant au Sud-ouest du site est composé d'une couche d'épaisseur plurimétrique d'altérites évoluées (matrice prépondérante), alors que la plaine est composée en surface d'éléments fins et grossiers alluvionnaires provenant des rivières.

- Morphologie du site

Illustration 3. Extrait des orthophotos 2008 de l'IGN

D'un point de vue morphologique, le versant au Sud-ouest de la zone d'étude, d'une centaine de mètres d'altitude, montre des pentes relativement fortes (en moyenne 25°) sur un dénivelé d'environ 70 mètres. Au pied de ce versant, les valeurs de pentes s'adoucissent et deviennent nulles au niveau de la RN (cf. Illustration 4). Cependant, l'urbanisation en pied de versant a entraîné des terrassements, qui ont été confortés par un mur de soutènement (cf. Illustration 5). Cet ouvrage est en bon état et semble avoir été réalisé en respectant les règles de l'art.

Illustration 4. Vue du versant au Sud-ouest de la zone d'étude. Photo BRGM

Illustration 5. Mur de soutènement en pied de versant derrière les habitations du bord de la route. Photos BRGM

Sur ce versant, on note la présence d'une ravine alimentant le cours d'eau en aval lors d'épisodes pluvieux (cf. précision de l'aléa inondation).
Le restant de la zone d'étude ne possède pas de topographie particulière, les cours d'eau ont généré de larges vallées encaissées et une plaine alluviale s'est formée à la confluence de ces cours d'eau.

2. Précision de l'aléa mouvement de terrain

La partie Nord-Est de la zone d'étude a été analysée dans le cadre de l'avis BRGM donné au SIEAM concernant un projet d'implantation d'une station d'épuration. La cartographie de l'aléa issu de l'atlas des aléas du BRGM de la commune de Ouangani a été modifiée localement du fait de l'aménagement de la voirie (lacets et confortement de la RN2) dans le versant en amont de la zone d'implantation. Du coup, cette zone n'a pas fait l'objet d'une nouvelle expertise dans le cadre du présent avis.

Concernant la partie de la zone d'étude située sur le territoire de la commune de Sada, le zonage de l'aléa mouvement de terrain établi dans le cadre du PPR n'a pas été modifié dans le cadre de cet avis. Cependant, des bassins de risque ont été délimités suite aux observations de terrain et avec l'aide du Modèle Numérique de Terrain (MNT) 2008 de l'IGN.
Selon la notion de bassin de risque[17] définissant en matière de mouvements de terrain la zone de terrain ayant une relation directe ou indirecte sur la zone à aménager, il convient d'intégrer l'ensemble des risques de déstabilisation des terrains sur l'intégralité du bassin de risque concerné (cf. Illustration 6).

Ainsi, il est recommandé pour cette problématique de versant de procéder à une investigation géotechnique globale pour chaque bassin de risque, qui permettrait, en fonction des résultats obtenus de redéfinir l'aléa mouvement de terrain dans cette zone.

[17] J.L. Nédellec (2007) - Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte - Rapport BRGM/RP-55631-FR.

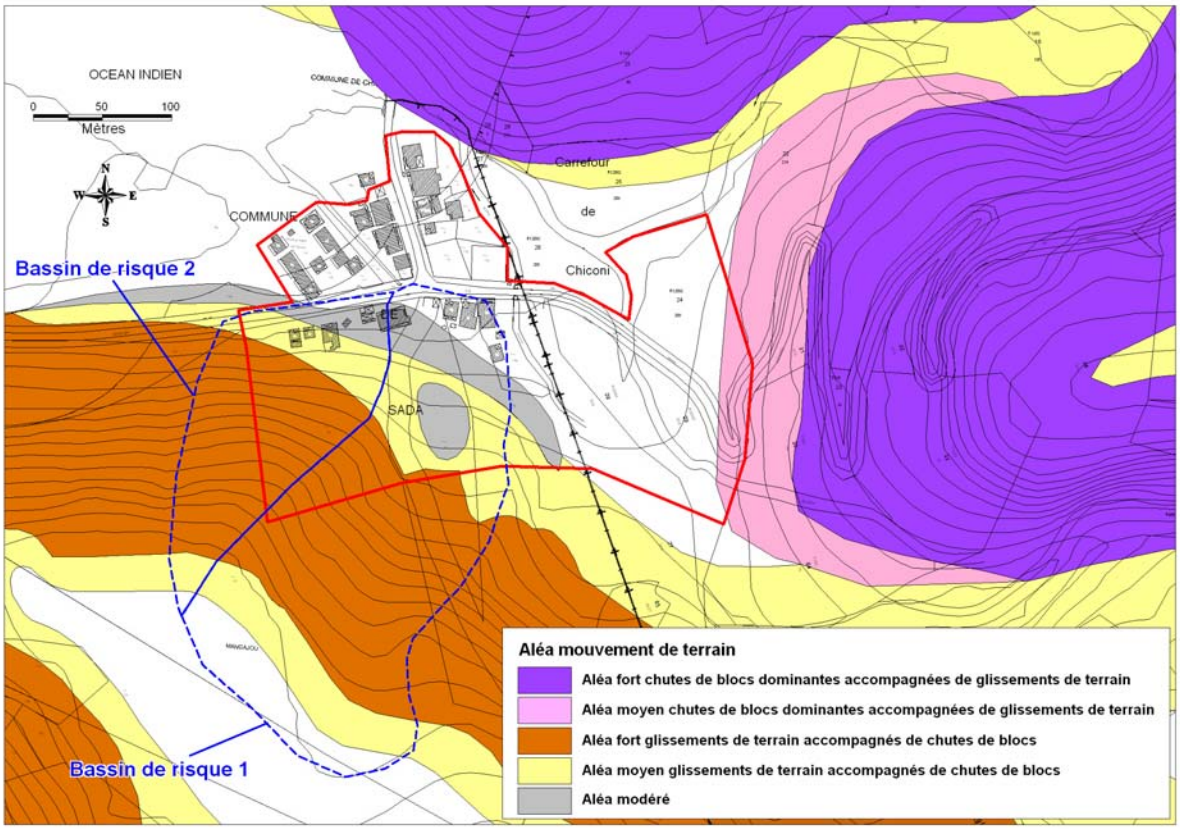


Illustration 6. Délimitation des bassins de risques en vue d'établir des études de faisabilité géotechnique dans les zones exposées à l'aléa fort glissement de terrain.

3. Précision de l'aléa inondation et de l'aléa submersion marine

Eu égard des observations de terrain et conformément à la méthodologie de qualification des aléas utilisée dans le cadre des PPR, l'aléa inondation par débordement de cours d'eau à été précisé.

Les relevés au GPS ont permis d'affiner le positionnement des axes d'écoulement et les lits mineurs des différents cours d'eau concernés par la zone d'étude (cf. Illustrations 7 et 9). Des ravines ont également été retracées en fonction des relevés au GPS et avec l'aide du Modèle Numérique de Terrain (MNT) 2008 de l'IGN. Les lits mineurs ainsi que les ravines sont classés en aléa fort d'inondation par débordement de cours d'eau et ravine.
Les lits majeurs des cours d'eau, classés en aléa moyen, ont également été affinés grâce aux observations de terrain.
En cas de débordements importants, les zones d'accumulation d'eau et les zones où la vitesse d'écoulement de l'eau serait faible ainsi que la hauteur de submersion limitée, sont cartographiés en aléa faible.

Illustration 7. Cours d'eau présents dans la zone d'étude. Leur localisation est visible sur l'illustration.9. Photos BRGM

La zone d'étude n'est pas concernée par un aléa fort submersion marine. En revanche, l'aléa moyen intéresse une petite partie du Nord de la zone d'étude, et notamment l'ancienne école située au Nord-ouest (cf. Illustration 8). En cas de cyclone de type exceptionnel la surcote est estimée à environ 5,7 m NGM dans ce secteur de l'île.

Illustration 8. Site de l'ancienne école implantée à moins de 6 m NGM et qui serait touchée partiellement par un cyclone de type exceptionnel selon les modélisations effectuées en 2004.

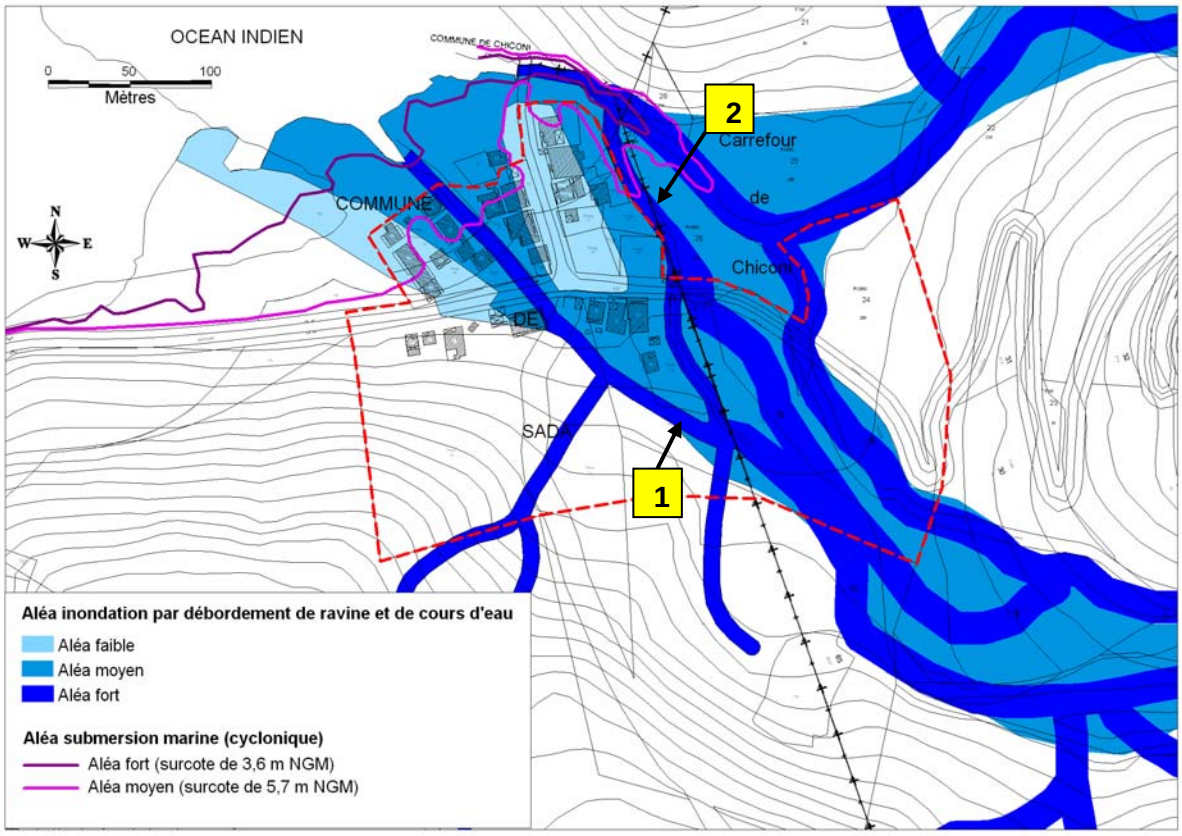


Illustration 9. Zonage de l'aléa inondation par débordement et de l'aléa submersion marine d'après le présent avis.

12. Note 2009 SAR/MAYOTTE 11. Etude de bassin de risque concernant le carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani pour un projet d’extension de l’urbanisation

Direction de
l'Equipement de
Mayotte

Avis concernant le rapport SEGC n°1559 pour l'aménagement de la zone Nord-Ouest du village de Tsararano

Juin 2010

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 11
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009-2010

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009/2010 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 09/06/10	**Site :** Nord-Ouest Tsararano
Commune : Dembéni	
Participant(s) : A. Oppermann, J. Bernard (BRGM)	
Objet : reconnaissance géologique et expertise naturaliste de la zone	
Demandeur : DE/SEC/HEA (G.Lefèbvre)	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

La Direction de l'Equipement, par l'intermédiaire de G. Lefèbvre (cellule Hydraulique Environnement et Assainissement), a sollicité le BRGM pour une expertise sur un rapport SEGC concernant une étude géotechnique de type G5 pour l'aménagement de la zone Nord-Ouest du village de Tsararano, commune de Dembéni (cf. Illustration 1).

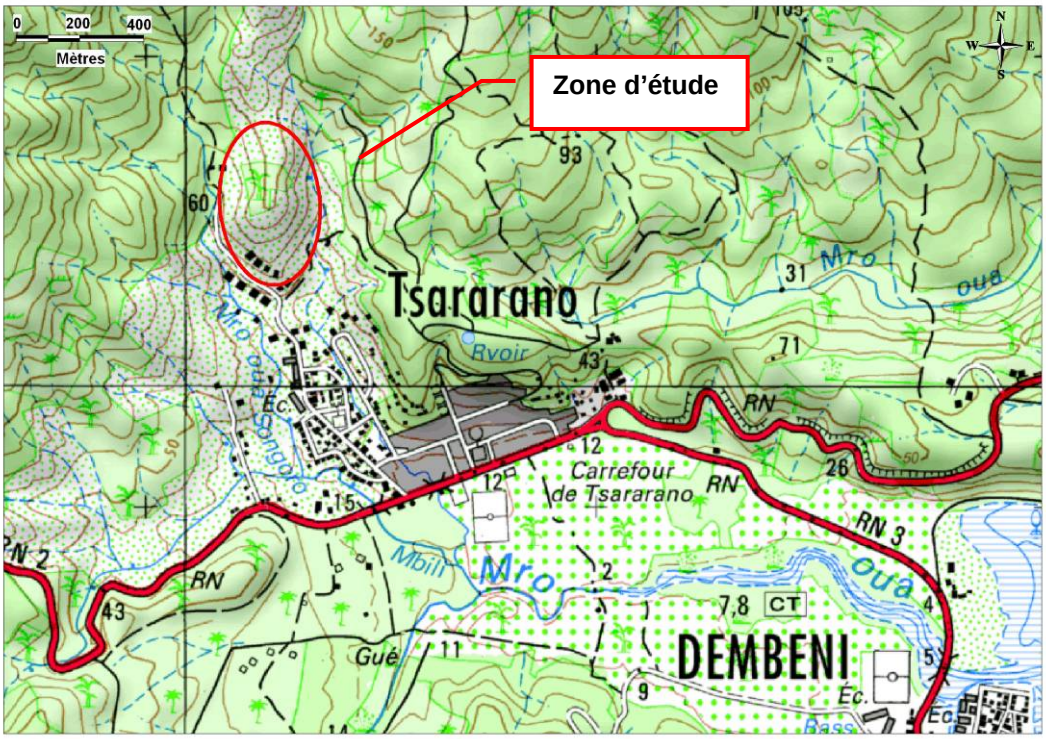


Illustration 1. Localisation de la zone d'étude. Extrait du Scan25 de l'IGN

Pièces du dossier fournies par le demandeur au BRGM

Le rapport SEGC n°1559 datant de Janvier 2010 et intitulé « Aménagement de la zone Nord-Ouest du village de Tsararano » a été transmis par la DE au BRGM.

Observations ressortant des compétences du BRGM

1. Contextes géologique et morphologique de la zone d'étude

La visite de terrain effectuée par le BRGM a permis de mettre en évidence la nature des matériaux rencontrés. Au droit du site accueillant le projet d'aménagement, le sol est composé en surface d'éléments fins limono-argileux faiblement sableux avec présence de blocs basaltiques de taille décimétrique à pluri-métrique. Cette couche superficielle de matériaux d'épaisseur pluri-métrique correspond aux colluvions (cf. Illustrations 3 et 4). Sous cette couche, on observe localement au niveau des talus et des terrassements anthropiques, une couche d'altérites composées de matériaux argileux, de compacité assez marquée, de couleur brune à grisâtre et d'épaisseur indéterminée (cf. Illustration 3).

Illustration 1. Terrassement faisant apparaître les colluvions à blocs au Sud-Ouest de la zone d'étude. Photo BRGM

Illustration 2. Blocs basaltiques sains en surface et potentiellement remobilisables sur le versant Est de la zone d'étude. Photo BRGM

Illustration 3. Couche d'altérites au niveau d'un terrassement d'environ 3 mètres de hauteur dans la partie Sud-Est de la zone d'étude.

Concernant la morphologie du site, le site est localisé sur les versants d'une colline d'axe Nord-Sud et dont l'altitude la plus haute est de 105 m NGM et la plus basse 40 m NGM. La colline est délimitée à l'Est et à l'Ouest par des ravines. Ces ravines sont encombrées de blocs basaltiques de taille métrique.

Les profils de pente présentés ci-dessous issus du MNT 2008 de l'IGN (cf. Illustration 5), ainsi que les courbes de niveau de l'illustration 4, montrent des valeurs de pente relativement fortes (25-30°) en partie haute des versants ouest et est, et des valeurs plus faibles en partie basse (15-20°). Le versant sud est moins penté avec des valeurs de pente moyenne de 25°. La morphologie de ce versant est de type concave alors que les versants ouest et est sont convexes. En effet, la partie haute du versant sud montre des pentes relativement douces (10-15°) tandis que la partie basse est nettement plus pentée en suivant le profil de pente naturel (20-25°). En l'état, cette partie aval du versant est marquée par l'intervention humaine et la réalisation de terrassements anarchiques le plus souvent (cf. Illustrations 6 et 7). Ces talus, de hauteur variable, peuvent atteindre jusqu'à 5 m par endroit, au sein des colluvions et des altérites globalement fortement évoluées. Sans que des instabilités importantes aient été constatées, les observations de terrain soulignent clairement le caractère évolutif de ces talus : déchaussement de blocs, ravinement superficiel, etc.

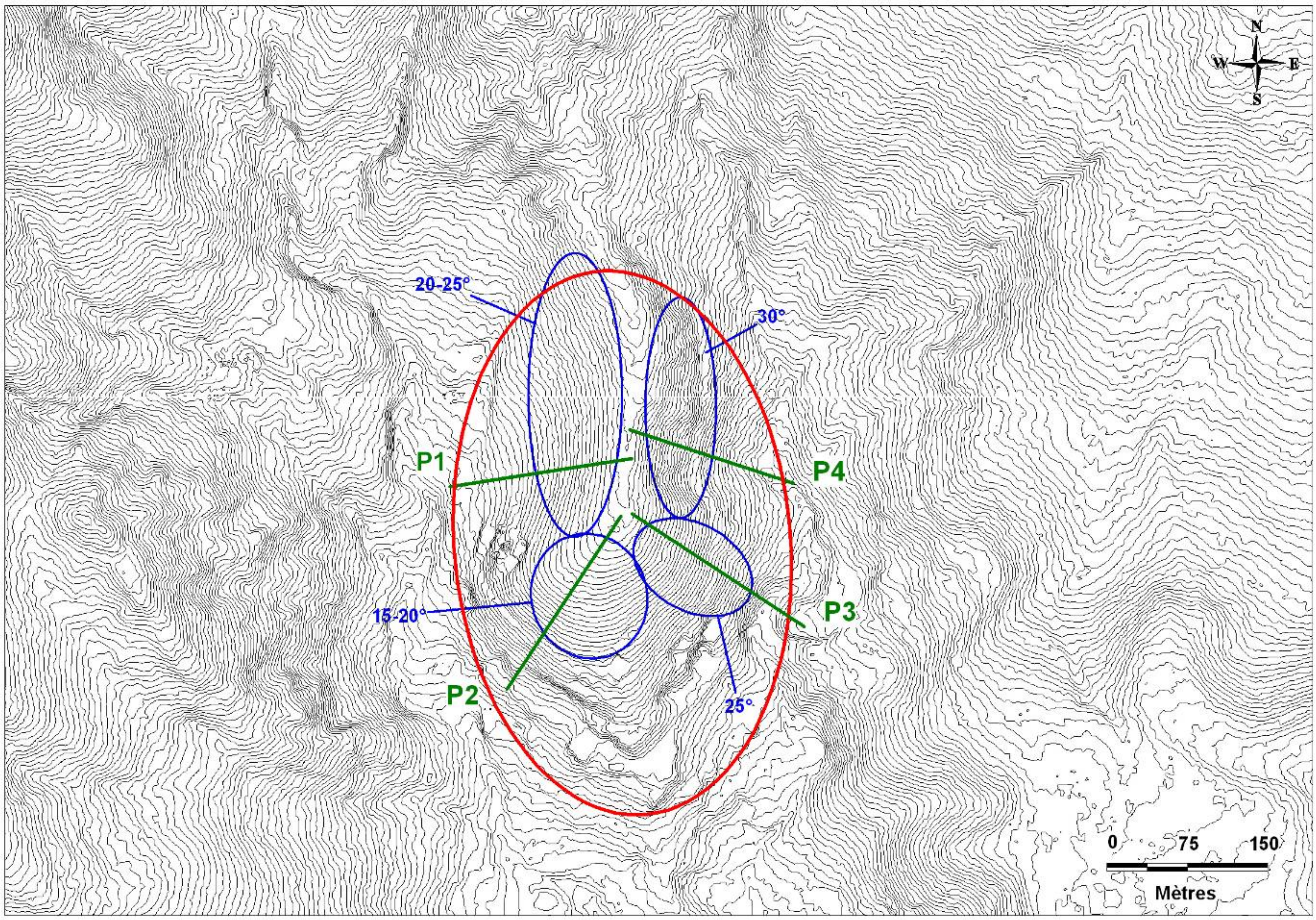


Illustration 4. Localisation des 4 profils de pente et topographie du versant d'après le Modèle Numérique de Terrain (MNT 2008) de l'IGN. Courbes de niveau de 1 m.

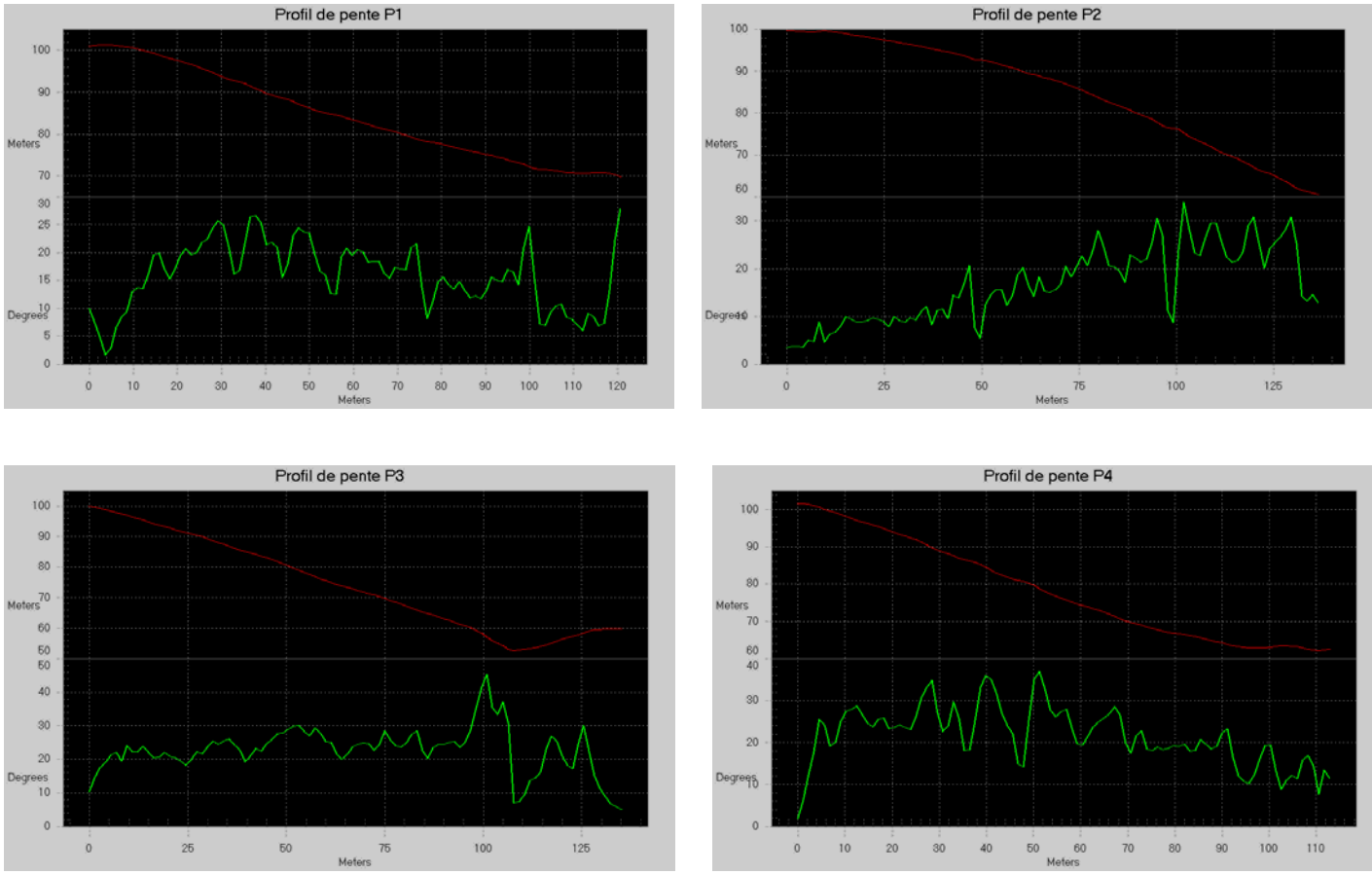


Illustration 5. Profils de pente P1 à P4 établis avec le logiciel Vertical Mapper – MapInfo.

Illustrations 6 et 7. Terrassements anarchiques et non soutenus au sein des colluvions et des altérites.

2. Cartographie de l'aléa mouvements de terrain issue de l'atlas des aléas du BRGM pour la commune de Dembéni

Le zonage de l'aléa mouvements de terrain établi dans le cadre de l'atlas des aléas de la commune de Dembéni fait état, pour la zone d'étude, d'un aléa fort chutes de blocs (phénomène dominant) potentiellement accompagné de glissements de terrain (cf. Illustration 8), et, d'un aléa moyen glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs.

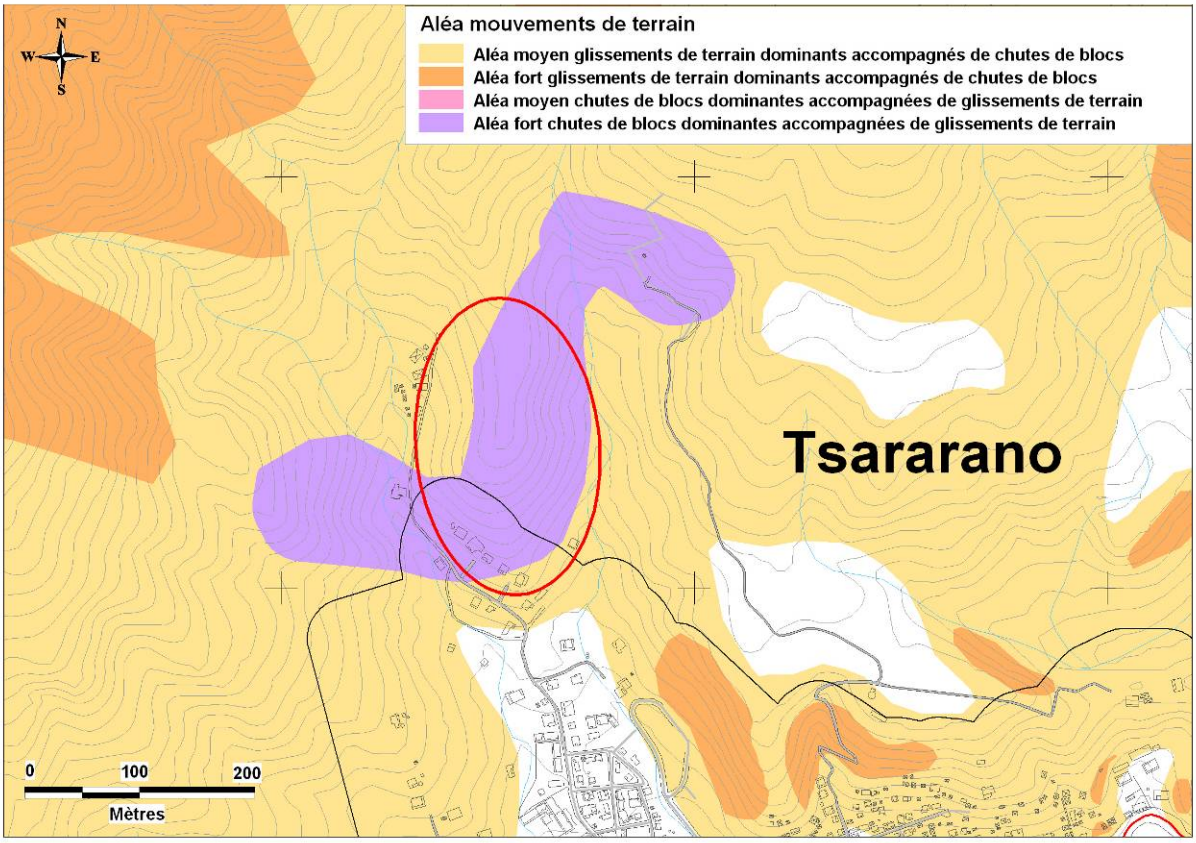


Illustration 8. Zonage de l'aléa mouvements de terrain extrait de l'atlas des aléas de la commune de Dembéni.

3. Observations relatives au contenu de l'étude SEGC

↳ Synthèse géotechnique :

Les investigations effectuées par SEGC ont consisté dans la réalisation :

- de 51 essais pressiométriques réalisés au droit de 5 sondages ;
- de 2 prélèvements d'échantillons pour essais de laboratoire (VBS, granulométrie, teneur en eau, etc.) ;
- de 2 prélèvements d'échantillons pour essais de cisaillement ;

Il ressort de ces investigations la **synthèse lithologique suivante, conforme aux observations de terrains réalisées par le BRGM** :

- présence en surface, sur une épaisseur de l'ordre de 4 m à 5 m environ, de colluvions limono-argileuses, à blocs basaltiques de volume très variable. Les essais pressiométriques soulignent des matériaux normalement à sur-consolidés et une portance moyenne à forte.
- sous ces terrains de couverture colluvionnaire et ce sur une profondeur maximale « observée » de l'ordre de plus de 16 m/TN, des niveaux altéritiques fortement évolués. Les essais pressiométriques mettent en évidence des matériaux normalement à sur-consolidés et une portance moyenne à forte.

Concernant le contexte hydrogéologique, SEGC a constaté l'existence de venues d'eau ou nappes d'eau sur deux des 5 sondages réalisés : au droit de SPs4 (pied de versant est) vers -3,70 m/TN, et au droit de SPs5 (pied de versant sud-est) vers -6 m/TN. Selon SEGC, ces venues d'eau trahiraient la nappe d'accompagnement de la rivière Songoro (passant en pied de flanc orientale de la zone d'étude).

Les essais de cisaillement à long terme réalisés ont donné les caractéristiques de sols suivantes :

- colluvions : C' = 12,28 kPa et Phi'= 26° ;
- altérites : C' = 13,86 kPa et Phi'= 35,8°.

On regrettera que les 2 prélèvements aient été réalisés sensiblement dans le même secteur de la zone d'étude (flanc sud), alors que les disparités spatiales – en particulier dans les matériaux altéritiques – sont susceptibles d'être fortes.

↳ Calculs de stabilité :

La sensibilité aux glissements de la zone d'étude a été évaluée à l'aide de calculs de stabilité effectués sous Talren. Les principales remarques suivantes peuvent être formulées sur ces calculs :

- quatre profils ont été simulés ; leur localisation couvrant l'ensemble du périmètre étudié ;

- les calculs ont été effectués aux ELU, justifiant par là-même qu'un coefficient de sécurité de 1 soit recherché pour juger de la stabilité des pentes considérées ;

- les calculs ont été réalisés en intégrant le paramètre défavorable constitué par les conditions sismiques ;

- conformément aux règles de l'art pour des calculs aux ELU, des coefficients de sécurité partiels ont été appliqués sur les caractéristiques mécaniques des matériaux. Les coefficients pris en compte sont tous de 1, sans qu'il soit apporté de justification particulière à ce choix. Il serait souhaitable qu'un minimum d'argumentation puisse être apporté pour étayer ces éléments.

- Les calculs ont été réalisés **sans prise en compte de conditions hydrogéologiques potentiellement défavorables**, contrairement à ce qui apparait souhaitable dans ce type de démarche d'évaluation de la stabilité des

terrains, en particulier dans le contexte mahorais, et ce qui peut s'avérer comme non négligeable dans les résultats. En effet, au-delà du fait que des conditions pluviométriques défavorables sont en mesure de minorer sensiblement la tenue des sols (chute de cohésion), le comportement hydrogéologique des altérites est imparfaitement connu et il n'est pas à exclure que de petites nappes puissent se former au sein de ces matériaux, générant phénomènes de mise en pression susceptibles ainsi de conduire à une minoration de leurs caractéristiques mécaniques intrinsèques. Au final, **la prise en compte dans les simulations Talren du contexte hydrogéologique apparait d'autant plus nécessaire que les coefficients de sécurité établis par SEGC apparaissent « limites »** (1,01 à 1,09);

- Selon la page 12 du rapport, les caractéristiques suivantes ont été retenues pour les calculs :
  colluvions : C' = 12 kPa - Phi'= 26° - masse volumique 16 kN/m3;
  altérites : C' = 19 kPa - Phi'= 33°- masse volumique 16 kN/m3.
  Les remarques suivantes peuvent être faites :

  ① Pour les altérites, ces valeurs sont différentes de celles annoncées page 9, notamment une cohésion de 19 kPa et non de 13,9 kPa ;

  ② En annexe VI, on peut s'étonner que les caractéristiques de sols figurant sur les graphes (sol1 : colluvions, sol 2 : altérites) ne soient pas toujours identiques aux valeurs annoncées page 12. Notamment pour le profil 3, une cohésion de 26 kPa (et non 12) a été retenue pour les colluvions, l'influence sur la valeur finale du C.S. pouvant ne pas être neutre. Là encore, compte-tenu du fait que les coefficients de sécurité calculés sont très proches de 1, il semble souhaitable de lever ces incertitudes (imprécisions ?) et de préciser quelles sont les valeurs effectivement prises en compte dans les calculs ;

  ③ Par ailleurs, au-delà des points précédemment évoqués, les valeurs retenues pour les calculs peuvent apparaitre relativement optimistes, notamment en ce qui concerne la cohésion. Dans les altérites globalement assez fortement évoluées comme celles présentes sur la zone d'étude, une valeur de cohésion de l'ordre de 10 kPa semble plus cohérente par rapport aux valeurs habituellement obtenues pour ces types de matériaux à Mayotte. De même la valeur de cohésion retenue dans les colluvions apparait sensiblement surévaluée.

- Au niveau du profil n°4 (versant sud-ouest), pour lequel un CS de 1,01 a été calculé, une zone d'aléa fort *« en l'état »* a été maintenue dans la proposition de modification de zonage d'aléas établie par SEGC. Cet aléa serait dû à l'existence d'un talus subvertical de l'ordre de 4 à 6 m de hauteur. On soulignera :

  - que ce talus n'apparait pas sur le profil topographique Talren en annexe VI. On peut ainsi s'interroger sur le fait que cette singularité topographique ait bien été prise en compte dans les calculs de stabilité ;

  - par suite, on peut s'interroger également sur la représentativité du C.S. calculé (NDLR : C.S. = 1,01), qui traduit une stabilité pour le moins précaire (et ce d'autant plus à la lumière des remarques faites précédemment). De façon

légitime au regard notamment de la nature des terrains en place, on peut craindre que ce talus d'une hauteur relativement importante puisse avoir une incidence défavorable pour la tenue des sols en arrière bien au-delà d'une bande de quelques mètres en arrière immédiat de la tête de talus ; en conditions pluviométriques fortement défavorables, de tels terrassement non soutenus peuvent constituer un facteur aggravant prépondérant vis-à-vis plus largement du versant dans son ensemble.

Au final, les coefficients de sécurité calculés étant somme toute peu « rassurants », **il semble souhaitable que ces différents points relatifs aux calculs Talren puissent suivant les cas être précisés ou faire l'objet de réévaluation**. De façon à appuyer cette nécessité, on évoquera le fait que SEGC signale l'existence d'indices de glissements superficiels affectant les colluvions (page 14) au niveau du versant est-sud-est, alors même que le C.S. sur le profil de simulation Talren n°3 (représentatif a priori de ce secteur) est supérieur à 1 (1,08). Ces observations dans un secteur semble-t-il non influencé par l'activité anthropique (talus en particulier) plaident pour une stabilité toute relative des pentes de la zone relative.

Accessoirement (?), on attirera de plus l'attention sur les problèmes de numérotation dans le rapport (numérotation non linéaire, paragraphes manquants (?), notamment V3.7) en ce qui concerne le sous-paragraphe V.1 (« *étude de l'aléa mvt par modélisation* »).

Conclusions

L'analyse du rapport, en particulier en ce qui concerne les calculs de stabilité, met en évidence un certain nombre de points nécessitant à notre sens d'être précisés ou réévalués. Notamment, la prise en compte dans les simulations de l'influence du contexte hydrogéologique (calcul « sans nappe » et calcul « avec nappe ») et un ajustement des paramètres de sols retenus pour la modélisation, est susceptible d'avoir un impact significatif sur les résultats. De plus, il est souhaitable de s'assurer que les profils de stabilité intègrent bien l'influence des talus anthropiques présents en partie basse des versants.

Les coefficients de sécurité déterminés par SEGC étant très proches du seuil de stabilité (même pour les plus favorables d'entre eux), il convient d'adopter une position pour le moins prudente. On proposera en conséquence, **dans l'attente des éléments complémentaires qui seraient apportés par SEGC, de maintenir le zonage de l'aléa mouvements de terrain actuel**.

13. Note 2009 SAR/MAYOTTE 12. Etude de bassin de risque concernant les zones d’extension de l’urbanisation dans la partie Nord-Ouest de Chiconi

Direction de
l'Equipement de
Mayotte

Etude de bassin de risque concernant les zones d'extension de l'urbanisation dans la partie Nord-Ouest de Chiconi.

Mai 2010

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 12
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009-2010

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 08/04/2010	**Site :** Nord-Ouest Chiconi
Commune : Chiconi	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : étude de bassin de risque	
Demandeur : DE/SEC/HEA (G.Lefèbvre) pour DE/SAUH (Mr. Boquet)	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

La Direction de l'Equipement, par l'intermédiaire de G. Lefèbvre (cellule Hydraulique Environnement et Assainissement), a sollicité le BRGM pour une précision des aléas naturels de type mouvement de terrain et inondation, au droit des zones d'extension de l'urbanisation dans la partie Nord-Ouest de Chiconi.

Pièces du dossier fournies par le demandeur au BRGM

La DE a transmis au BRGM un plan de délimitation de la zone d'étude.

Illustration 1. Localisation des zones d'étude – extrait Scan25 IGN

Les deux zones d'études au Nord-Ouest de la commune de Chiconi sont situées en aval du *Mlima Chiconi,* dôme de phonolite au relief escarpé. La zone la plus au Nord (zone 1) s'étend sur environ 400 m en amont de la CCD7 et des habitations implantées au bord de la route. La deuxième zone d'étude (zone 2) est située entre 90 et 140 m NGM sur un versant du *Mlima Chiconi* en amont du quartier de Kavani.

Observations ressortant des compétences du BRGM

4. Description générale du site

Données issues des travaux du BRGM

Selon la cartographie de l'atlas des aléas du BRGM de la commune de Chiconi[18], ces zones d'études font l'objet d'un classement en aléa fort chutes de blocs dominantes et accompagnées de glissements de terrain. Une petite partie de chaque zone est concernée en aléa moyen glissements de terrains dominants (cf. Illustration 2).

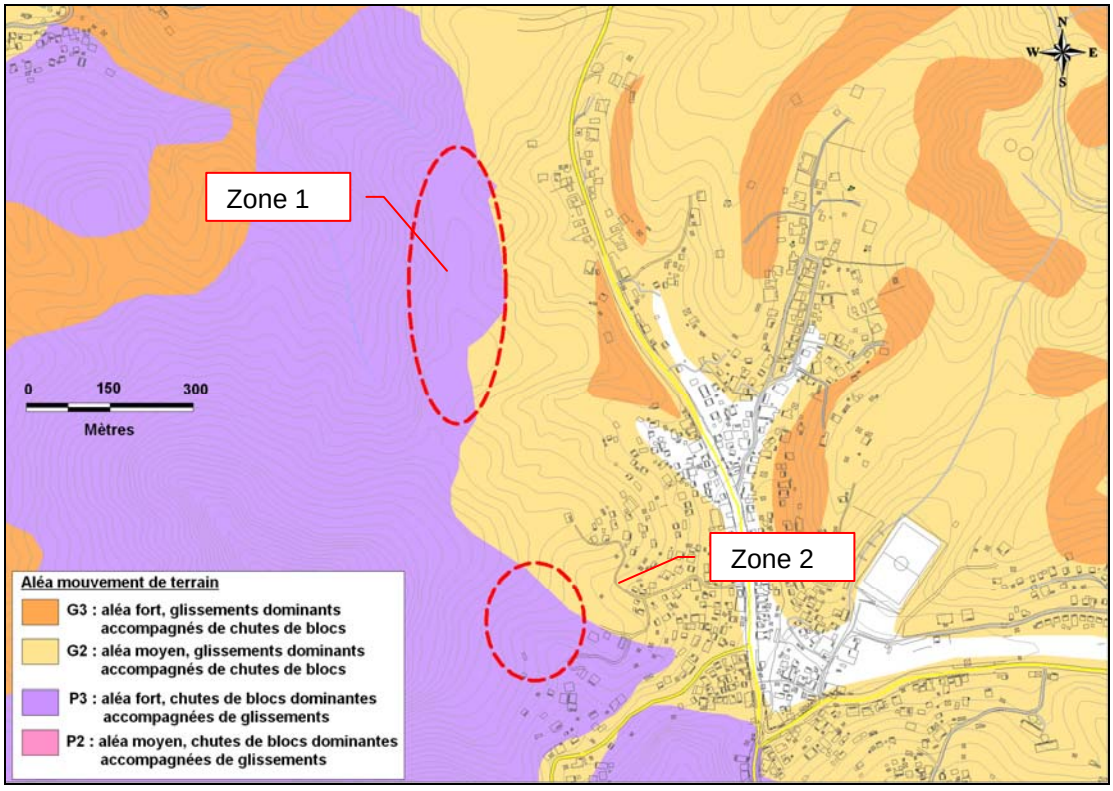


Illustration 3. Zonage de l'aléa mouvement de terrain extrait de l'atlas des aléas de la commune de Chiconi.

La cartographie de l'atlas des aléas du BRGM de la commune de Chiconi montre également localement un aléa fort d'inondation pour la zone la plus au Nord, correspondant aux axes d'écoulements des ravines lors d'épisodes pluvieux intenses (cf. Illustration 4).

[18] C. Cluzet, A. Oppermann, A. Malard, L. Françoise. (2009) : Mise à jour des atlas des aléas naturels sur 12 communes de Mayotte, commune de Chiconi. Rapport BRGM/RP-57082-FR

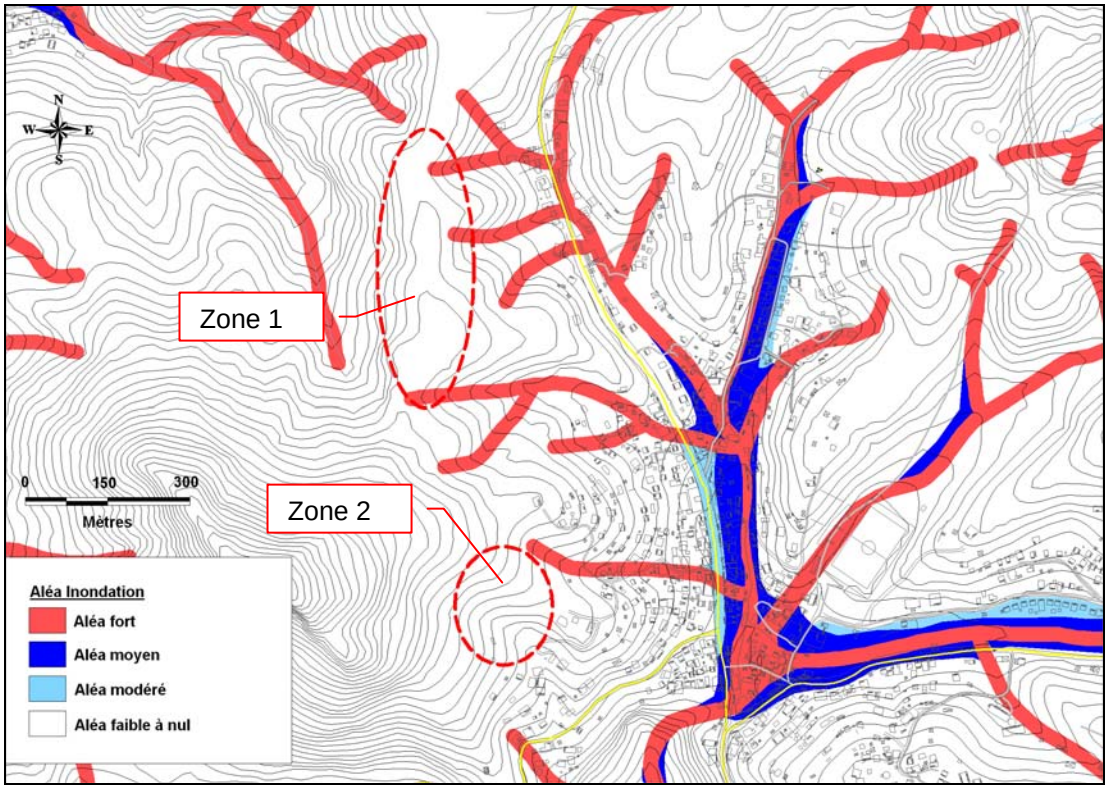


Illustration 4. Zonage de l'aléa inondation extrait de l'atlas des aléas de la commune de Chiconi.

Observations relatives à la visite de terrain

- Nature des matériaux

Les zones d'études s'inscrivent dans une formation volcanique de type phonolite apparue lors des épisodes du Pliocène reposant sur une ancienne formation basaltiques du Mio-Pliocène et formant la base de la série méridionale. Des colluvions de versant sont distingués en aval des dômes phonolitiques.

La visite de terrain a permis de mettre en évidence la nature des matériaux rencontrés en surface. Les deux zones sont constituées d'une couche d'épaisseur plurimétrique d'altérites évoluées avec présence de blocs décimétriques au sein de la matrice. Les talus artificiels mettent en évidence cette couche de matériaux médiocres et très vulnérables à l'érosion (cf. Illustration 3).

- Morphologie du site

D'un point de vue morphologique, la zone 1 concerne un versant d'un cinquantaine de mètres en amont de la CCD7 en direction du village de Sohoa. Les pentes du versant sont globalement modérées avec des valeurs de pente de l'ordre de 15-20° en moyenne. La partie sommitale du relief est relativement plate. En revanche, le pied du versant est marqué par des pentes plus raides correspondant à des talus artificiel du fait de l'aménagement de la voirie (cf. Illustration 3). Par ailleurs, le versant en question est entaillé de plusieurs ravines, au nombre de 4 dans cette zone d'étude. Ces ravines

encaissées possèdent des flancs avec des pentes proches de 25° voire 30° localement.

La deuxième zone, en partie basse du versant Est du *Mlima Chiconi,* concerne les flancs d'une ravine encaissée et présentant des pentes fortes comprises entre 20 et 25°.

Une délimitation des bassins de risques intéressant les zones d'études a été effectué eu égard aux observations de terrain et à l'utilisation de données numériques telles que le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de 2008 et les orthophotos 2008 de l'IGN. Selon la notion de bassin de risque[19] définissant en matière de mouvements de terrain la zone de terrain ayant une relation directe ou indirecte sur la zone à aménager, il convient d'intégrer l'ensemble des risques de déstabilisation des terrains sur l'intégralité de chaque bassin de risque concerné. Ces bassins de risques sont visibles sur l'illustration 4.

Illustration 3. Talus artificiel dans le versant (à gauche) et au pied du versant (à droite.). Photos BRGM

[19] J.L. Nédellec (2007) - Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte - Rapport BRGM/RP-55631-FR.

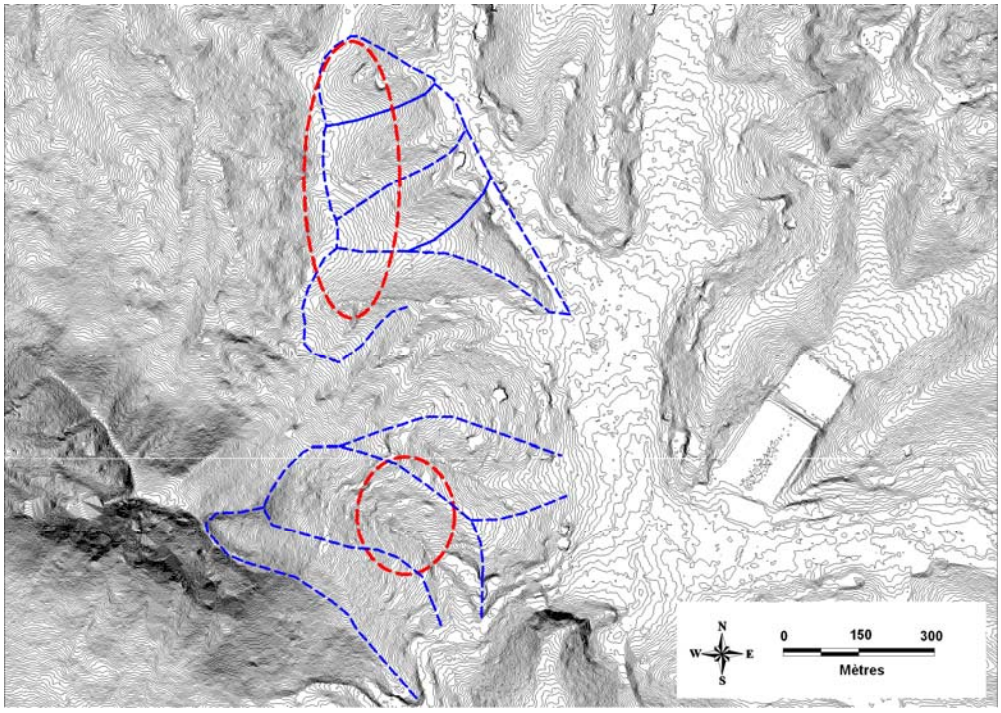


Illustration 4. Délimitation des bassins de risque à partir du MNT (©IGN).

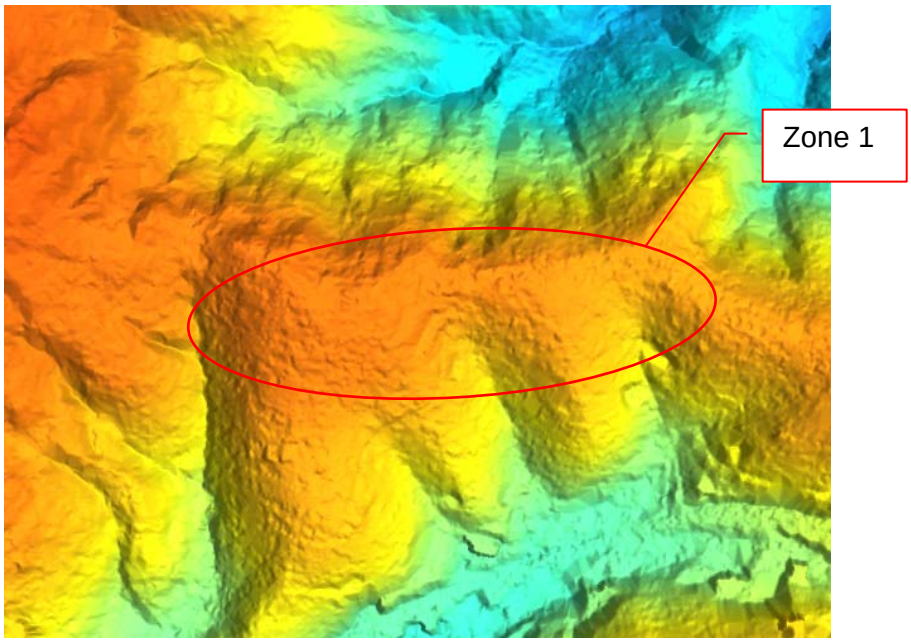


Illustration 5. Vue générale du versant réalisée avec le logiciel Vertical Mapper

5. Précision de l'aléa mouvement de terrain

D'après la nature des matériaux en jeu, les zones d'études initialement classées en aléa fort chutes de blocs dominantes et accompagnées de glissement de terrain, sont requalifiées en aléa glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de

blocs. En effet, la composition du sol dans ces secteurs montre une couche d'altérites évoluées à très évoluées, avec présence de blocs, en pied de versant et sur les flancs des ravines encaissées.

Conformément à la méthodologie employée pour la qualification de l'aléa mouvement de terrain dans le cadre des PPR, pour ce type de matériaux, la limite entre l'aléa moyen et fort se situe selon un seuil de valeur de pente moyenne de l'ordre de 30°. Outre les critères de morphologie et de lithologie, l'érosion régressive exercée par les ravines collectant les eaux pluviales constitue un facteur aggravant et favorable aux déstabilisations de versant. Ces matériaux sont très vulnérables aux effets du ravinement.

D'après ces éléments et les observations complémentaires de terrain, des modifications ont été apportées sur le zonage de l'aléa mouvement de terrain établi dans l'atlas des aléas de la commune de Chiconi.

On retiendra notamment les éléments suivants ayant conduit à la requalification de l'aléa au droit des deux zones d'études :

- En zone 1, la partie sommitale du versant montre des valeurs de pente faibles sans facteurs aggravants. L'aléa glissements de terrains dominants est donc considéré comme moyen.

- En zone 1 et 2, les flancs des ravines entaillant le versant sont relativement abrupts (cf. illustration 5) et sont vulnérables aux effets de l'érosion régressive engendrée par l'écoulement des eaux pluviales. L'aléa glissements de terrain dominants est considéré comme fort dans ces secteurs.

- En zone 1, les talus formés artificiellement pour l'installation d'habitations ou pour l'aménagement de la voirie sont très vulnérables à l'érosion et aux glissements de terrains lors d'épisodes pluvieux (cf. Illustration 6). L'aléa glissements de terrain dominants est considéré comme fort dans ces secteurs.

Illustration 6. Glissement de terrain ayant affecté un talus et un mur de soutènement artisanal au bord de la CCD7 suite à la tempête Fame de 2008. Localisation sur l’illustration 7. Photo BRGM

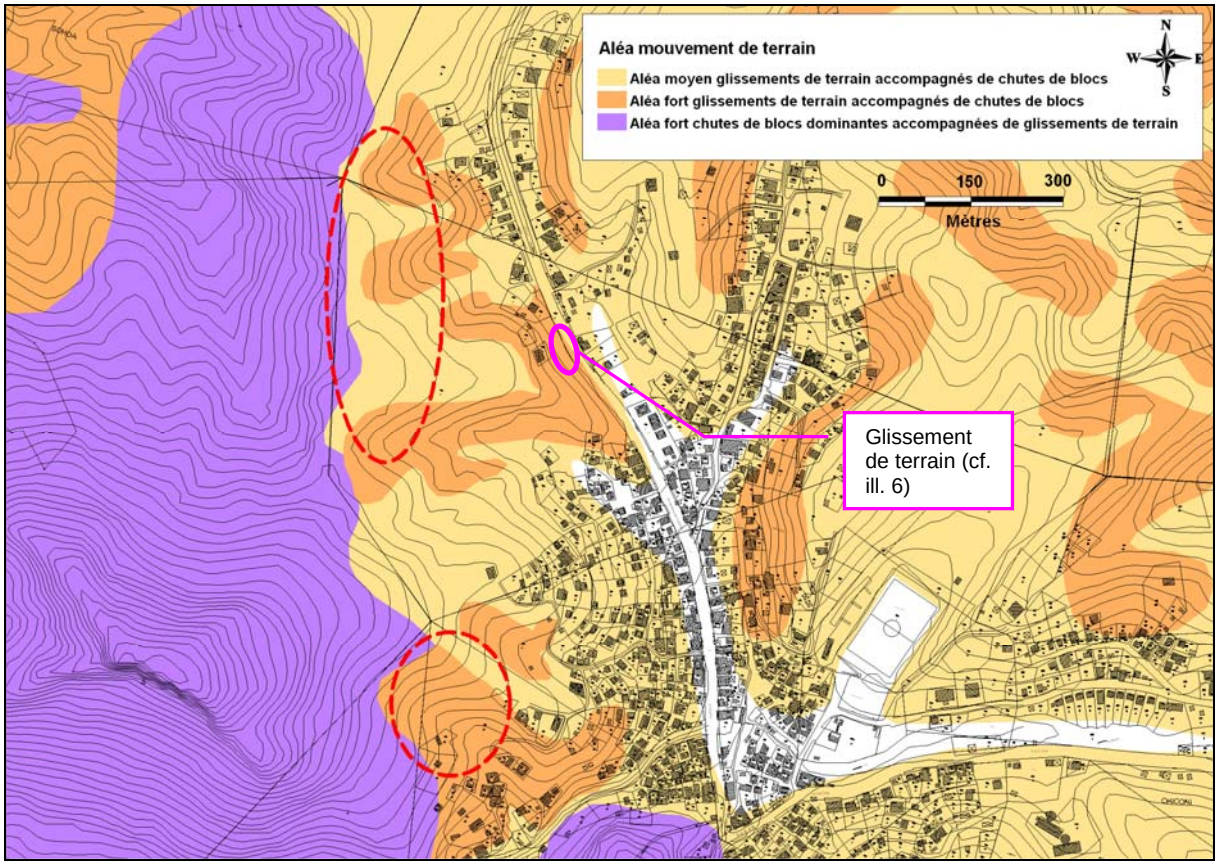


Illustration 7. Zonage de l'aléa mouvement de terrain modifié d'après le présent avis.

6. Précision du positionnement des ravines

Les relevés au GPS ainsi que l'interprétation du MNT ont permis d'affiner le positionnement des talwegs des ravines. Ces axes d'écoulement sont classés en aléa fort d'inondation par débordement de ravine.
En zone 2, la ravine ne figurait pas sur la cartographie initiale de l'aléa inondation établie dans le cadre de l'atlas des aléas de la commune de Chiconi. Elle a été cartographiée et intégrée au nouveau zonage découlant du présent avis (cf. Illustration 8).

Conclusions

Dans ces zones d'études prévues pour une extension de l'urbanisation, il est recommandé d'entreprendre des travaux géotechniques en fonction de la délimitation des bassins de risques proposée, afin d'évaluer de façon plus fine la stabilité des terrains face au risque de mouvements de terrain.

Par ailleurs, l'extension future de l'urbanisation dans ces zones, risque de ne pas être sans incidence pour l'aval du versant déjà urbanisé. En effet, les apports d'eau de l'amont, la dévégétalisation du versant et les coulées de boue potentielles pourraient

affecter le pied de versant. Par conséquent, une urbanisation du secteur en amont devra faire l'objet d'études afin de ne pas accentuer le risque en aval.

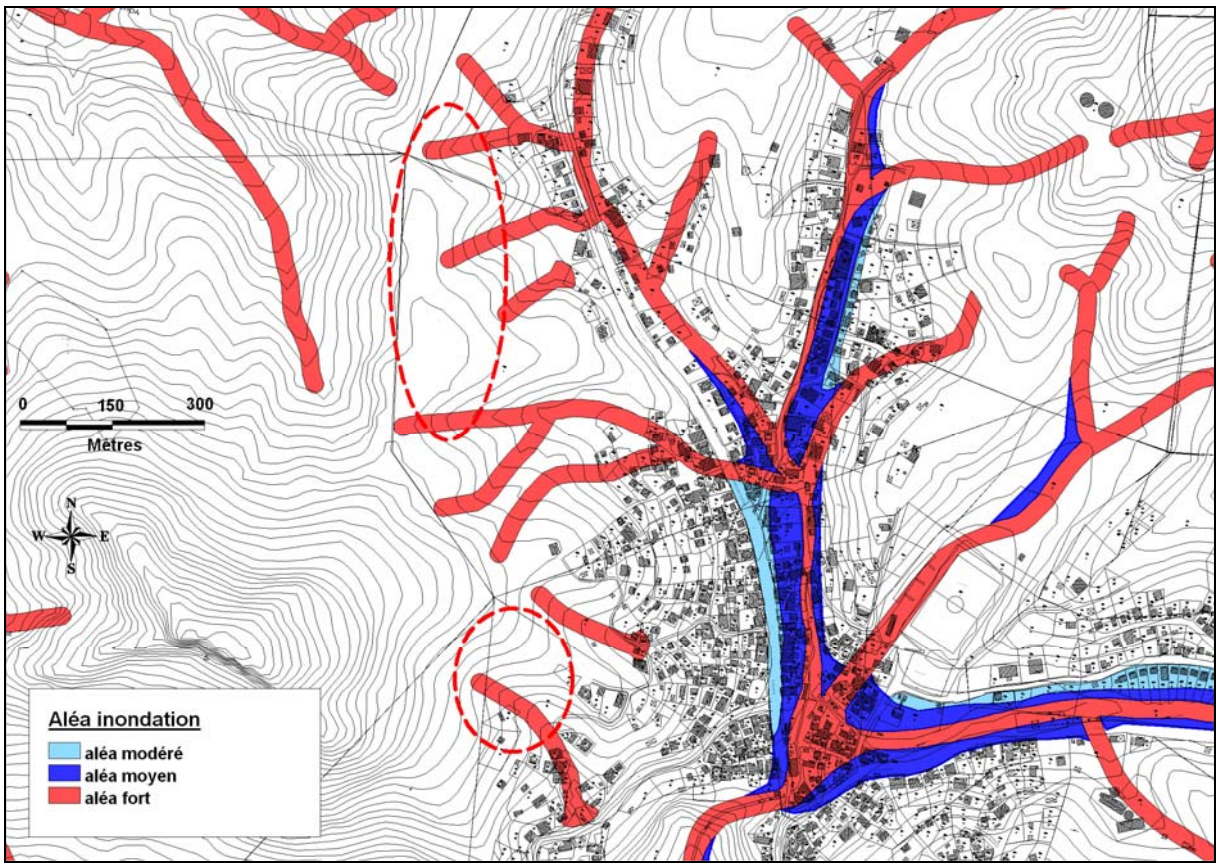


Illustration 8. Zonage de l'aléa inondation modifié d'après le présent avis.

14. Note 2009 SAR/MAYOTTE 13. Etude de bassin de risque au droit de la future zone d’activité à Koungou (Sud de *Pointe Koungou*

Direction de
l'Equipement de
Mayotte

Etude de bassin de risque au droit de la future zone d'activité à Koungou (Sud de *Pointe Koungou*).

Juin 2010

A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 13
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009-2010

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : 11/06/2010	**Site :** Sud de la *Pointe Koungou*
Commune : Koungou	
Participant(s) : A. Oppermann	
Objet : étude de bassin de risque	
Demandeur : DE/SEC/HEA (G.Lefèbvre)	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de l'intervention du BRGM

La Direction de l'Equipement, par l'intermédiaire de G. Lefèbvre (cellule Hydraulique Environnement et Assainissement), a sollicité le BRGM pour une précision des aléas naturels de type mouvement de terrain et inondation, au droit de la future zone d'activité de Koungou.

Pièces du dossier fournies par le demandeur au BRGM

La DE a transmis au BRGM un plan de délimitation de la zone d'étude.

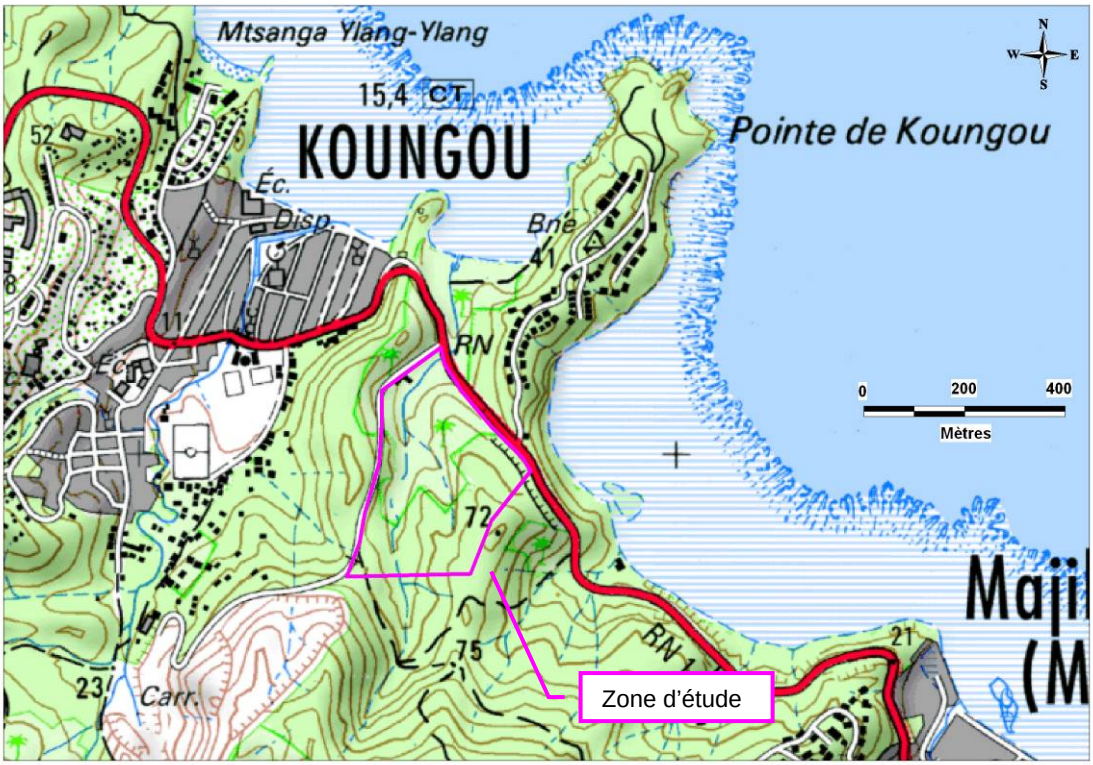


Illustration 1. Localisation des zones d'étude – extrait Scan25 IGN

La zone d'étude (cf. Illustration 1) est localisée en contrebas de la carrière ETPC de Koungou et en amont de la RN 1.

Observations ressortant des compétences du BRGM

Description générale du site

Données issues des travaux du BRGM

- Selon la cartographie de l'aléa mouvements de terrain du projet de Plan de Prévention des Risques de la commune de Koungou (cf. Illustration 2), la zone d'étude est concernée en majeure partie par un aléa glissements de terrain (phénomène dominant) accompagnés potentiellement de chutes de blocs, d'intensité forte et moyenne. Aussi, la zone est concernée par un aléa chutes de blocs (phénomène dominant) accompagnées potentiellement de glissements de terrain, d'intensité forte et moyenne en amont de la RN1 dans le secteur Est. Enfin, l'aléa modéré est aussi représenté au sein de la zone d'étude, sur le versant Nord-Est et au Nord en pied de versant.

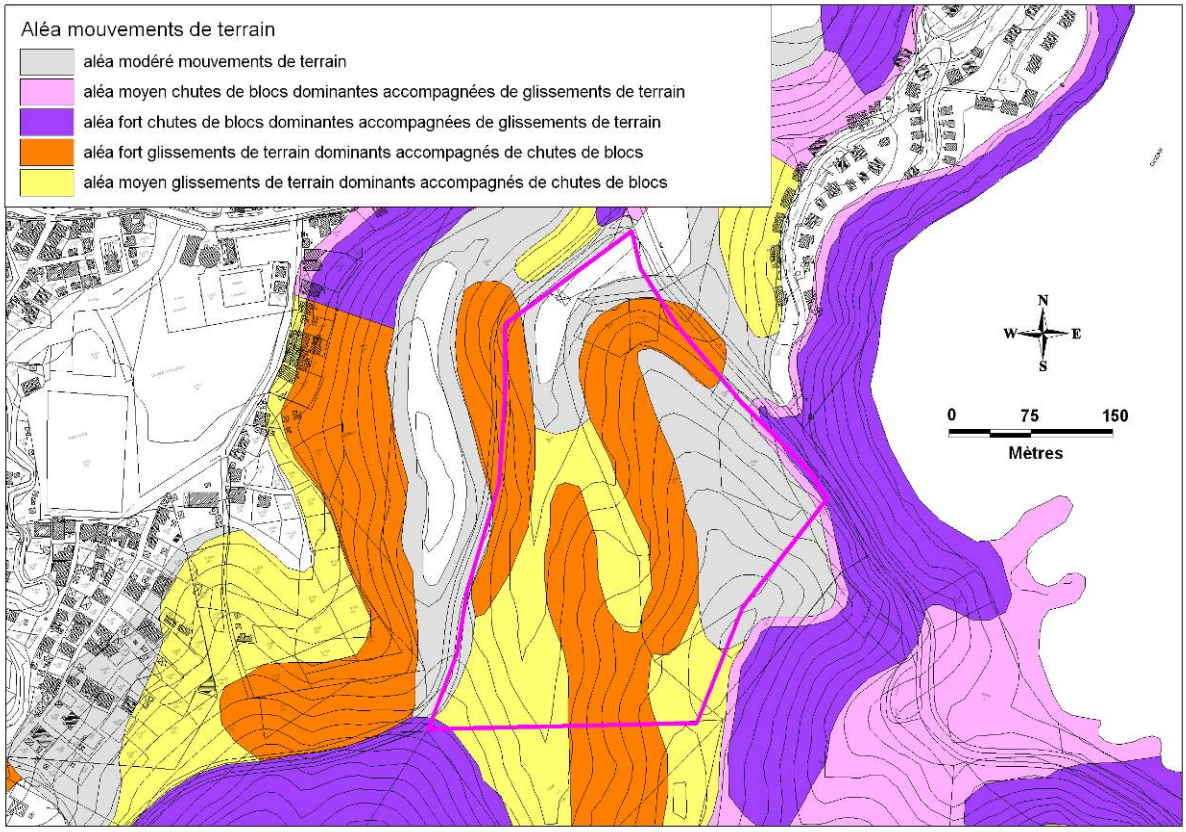


Illustration 2. Zonage de l'aléa mouvements de terrain extrait du projet de PPR de la commune de Koungou.

- D'un point de vue de l'aléa inondation, la zone d'étude comprends deux ravines d'axe Sud-Nord et dont l'exutoire commun se situe au niveau du carrefour entre la RN1 et la voie d'accès à la carrière en amont. D'après la méthodologie utilisée pour la qualification des aléas dans le cadre du PPR, les ravines sont représentées par un tampon d'aléa fort d'une largeur totale de 10 mètres.

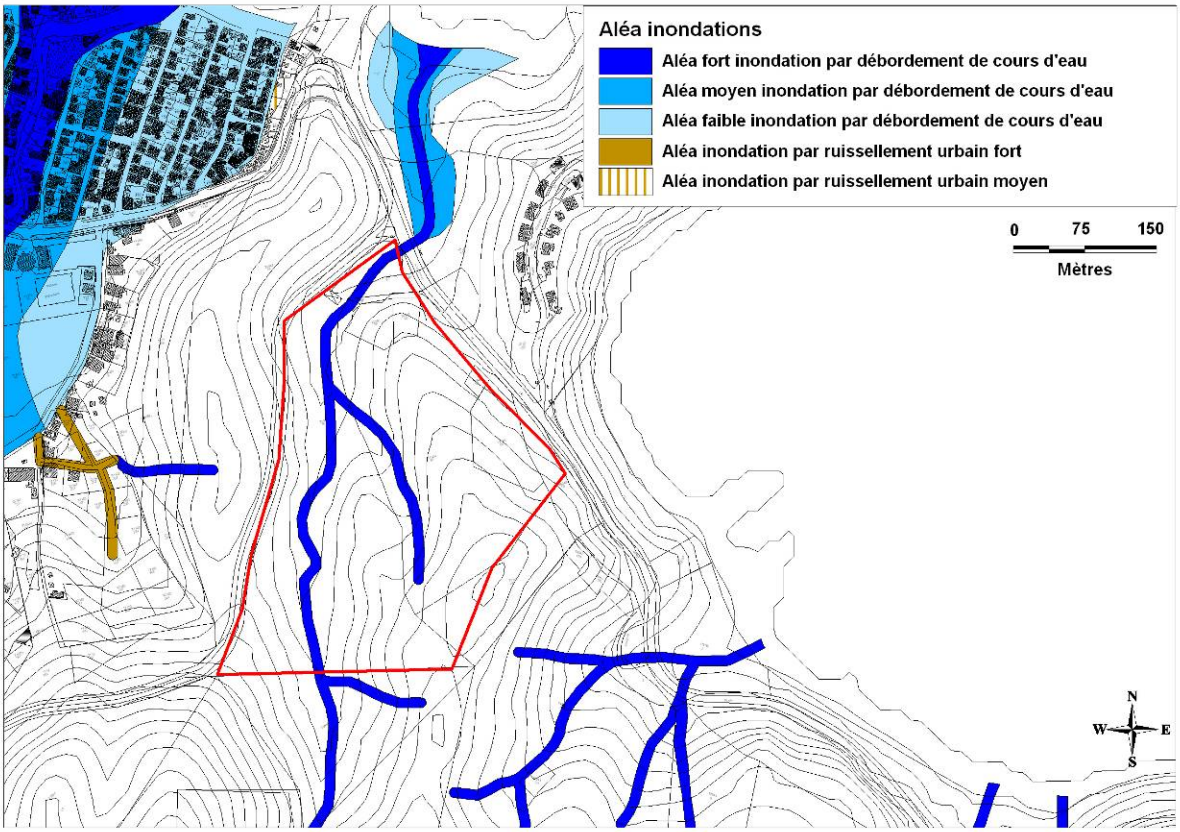


Illustration 3. Zonage de l'aléa inondations extrait du projet de PPR de la commune de Koungou.

Observations relatives à la visite de terrain

- Nature des matériaux

La zone d'étude s'inscrit dans une formation volcanique de type basaltique, apparue lors des épisodes du Pléistocène entre 1,4 et 1,8 MA, d'après la carte géologique de Stieltjes de 1981.

La visite de terrain a permis de mettre en évidence la nature des matériaux rencontrés en surface et sur environ 5 mètres de profondeur. La zone est constituée d'une couche plurimétrique d'altérites évoluées avec présence de blocs décimétriques à métriques au sein de la matrice argilo-sableuse. Ces blocs de basaltes altérés correspondent à des reliques d'anciennes laves altérées selon un profil d'altération typique. L'étude du régolite[20] sur le site pilote de Doujani en 2008 a permis de faire ressortir un profil-type d'altération entre la roche saine et l'allotérite qui correspond au stade ultime de l'altération des laves. Les terrassements et talus artificiels aménagés pour la mise en place d'habitations sommaires montrent une altération avancée sur une épaisseur de plusieurs mètres (cf. Illustration 4), mettant ainsi en évidence des matériaux aux caractéristiques mécaniques médiocres et très vulnérables à l'érosion. Les talus

[20] C. Cluzet, A. Oppermann, C. Mathon, JM. Baltassat, A. Bitri, B. François, E. Jaques (2009) - Projet Régolite : Phase de test sur le site urbanisable de Doujani (commune de Mamoudzou, Mayotte). Rapport – BRGM/RP-57275-FR

routiers apportent également des informations sur les matériaux composant le sol du site étudié.

Illustration 4. Talus de 2 mètres de hauteur mettant en évidence la couche d'altérites.

Illustration 5. Bloc de basalte altéré au sein de la matrice fine argilo-sableuse.

- Morphologie du site

Concernant la morphologie, le site est localisé sur une colline d'axe Sud-Est/Nord-Ouest et culminant à environ 70 m NGM, soit 55 m de dénivelé depuis le point le plus bas situé dans le talweg au niveau de l'exutoire dans la partie Nord-Ouest de la zone d'étude. Cette colline a été creusée par des cours d'eau dont les ravines encaissées d'orientation Sud-Nord témoignent aujourd'hui de cette érosion. La zone d'étude est bordée au 2/3 par des voiries (RN1 au Nord-Est, voie d'accès à la carrière au Nord et à l'Ouest) mises en place à l'aide de travaux de terrassements. Ces terrassements ont engendré des talus routiers particulièrement abrupts et sensibles aux mouvements de terrain du fait de la nature du sol et de l'action des eaux de pluie combinée à la force gravitaire. Cette instabilité est souvent accentuée par l'absence de végétation en amont de ces talus et dans la pente elle-même.

Les profils de pente présentés ci-dessous (cf. Illustration 8) ainsi que les courbes de niveau de l'illustration 6, montrent des valeurs de déclivité de l'ordre de 20° à 25°, valeurs relativement homogènes sur tous les versants de la zone d'étude, mis à part dans les zones de terrassements et en bordure de voirie. En effet, les talus routiers présentent des escarpements pouvant atteindre une dizaine de mètres de hauteur.

Le profil 4 montre que le versant Nord-Est en amont de la RN1 est légèrement moins penté que les autres. De plus, lors de la visite de terrain aucun terrassement n'a été constaté. A l'inverse, les autres versants sont « colonisés » par ces terrassements anarchiques contribuant à la déstabilisation du sol et à l'augmentation de l'érosion sur ces versants (cf. Illustration 7).

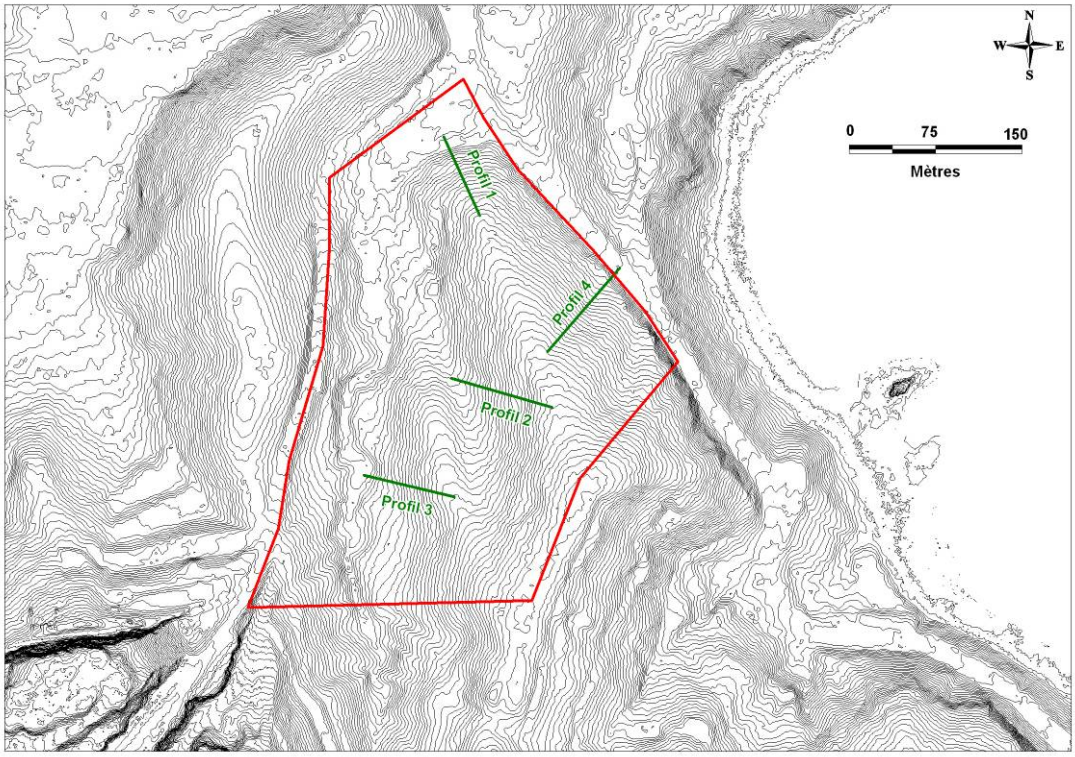


Illustration 6. Localisation des 4 profils de pente et topographie du versant d’après le Modèle Numérique de Terrain (MNT 2008) de l’IGN. Courbes de niveau de 1 m.

Illustration 7. Terrassement anarchiques mettant en évidence la couche d'altérites sur une partie du versant dont les valeurs de pentes sont proches de 25°. Les cultures maraîchères contribuent également à l'érosion du versant et au déclenchement d'instabilités sous l'effet des eaux de pluie.

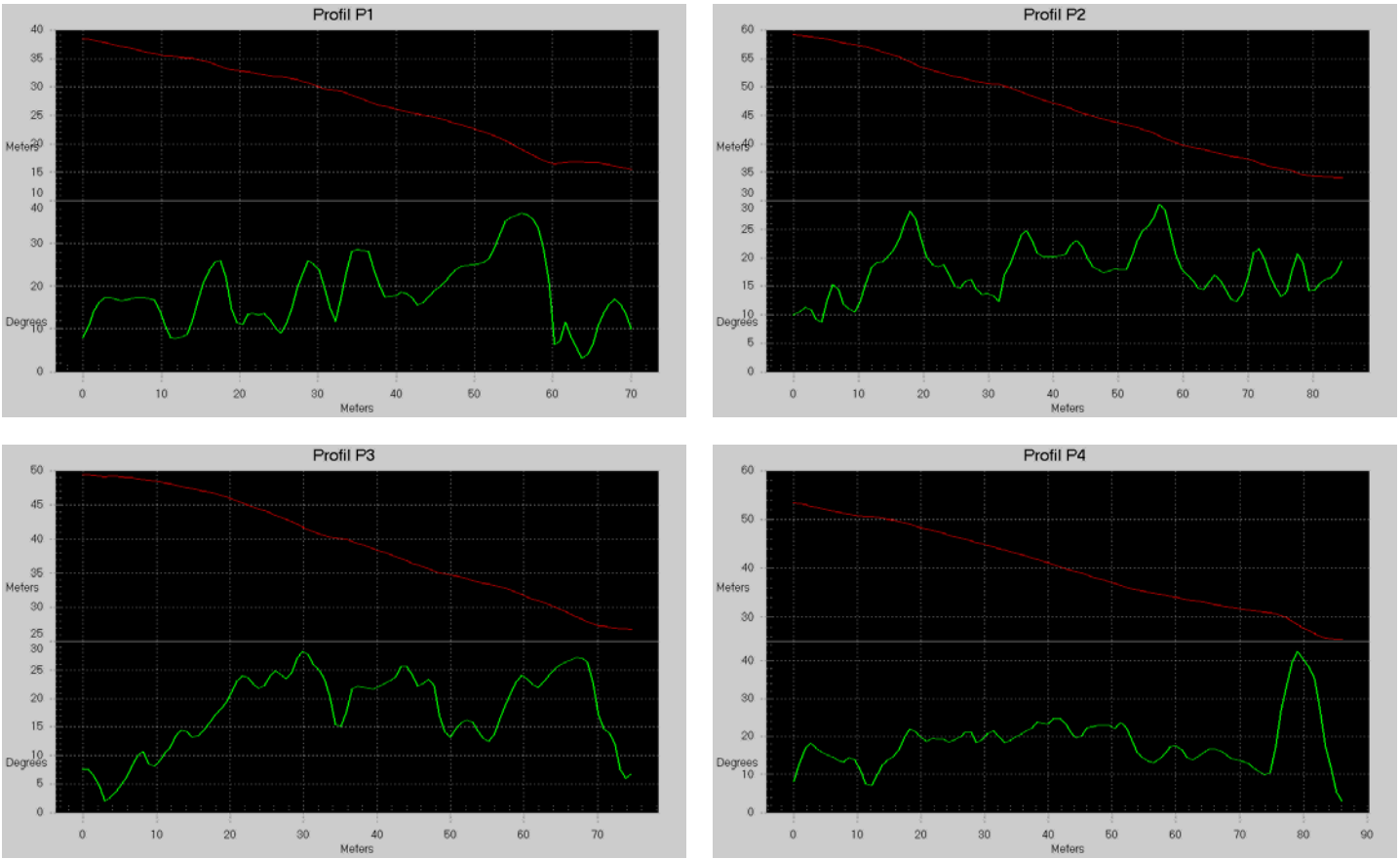


Illustration 8. Profils de pente P1 à P4 établis avec le logiciel Vertical Mapper – MapInfo

Précision de l’aléa mouvements de terrain

La méthodologie utilisée dans la cartographie de l’aléa mouvements de terrain correspond à celle employée dans le cadre du projet de Plan de Prévention des Risques de la commune de Koungou. La démarche utilisée pour évaluer l'aléa mouvements de terrain a consisté en une approche naturaliste du type expertise excluant le recours à des investigations lourdes (sondages, essais de laboratoire, etc.) ainsi qu’à des études spécifiques (modélisation trajectographique, etc.).

Les observations réalisées dans le cadre de cet avis (nature des matériaux, topographie du site, facteurs d’instabilité, occupation du sol), permettent de confirmer, de façon globale, le zonage de l’aléa établi précédemment.

Conformément à la méthodologie arrêtée dans le cadre du dossier PPR, les zones de fortes pentes (proches de 30°) au sein d’altérites évoluées, sur lesquelles des terrassements ont été effectués et constituant des facteurs d’instabilité au même titre que les cultures maraîchères, sont classées en aléa fort glissements de terrain dominants, accompagnés de chutes de blocs (cf. Illustration 7). Les talus formés suite à la mise en place des voiries sont également classés en aléa fort. L’aléa moyen glissements de terrain représente les zones des versants dont les pentes sont comprises entre 20° et 25° au sein des altérites, lorsqu’aucun indice d’activité significatif n’a été observé et en l’absence de facteur aggravant manifeste.

En bordure de RN1 à l’Est de la zone d’étude, le talus routier d’une dizaine de mètres de hauteur montre une couche d’altérites argilo-sableuse avec présence de blocs plus ou moins altérés et susceptibles de se libérer de leur matrice sous l’effet d’épisodes pluvieux intenses. C’est la raison pour laquelle la zone est concernée par un aléa fort chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain. L’aléa fort est surplombé par une bande d’aléa moyen correspondant à une zone de sécurité d’une dizaine de mètres de largeur, matérialisant notamment le risque d’évolution régressive (plus ou moins rapide) de la tête de talus

D’autre part, l’aléa modéré mouvements de terrain concerne le versant Nord-Est, largement végétalisé et dont les pentes moyennes se situent entre 15° et 20°. Sur ce versant, nous n’avons pas constaté, lors de la visite de terrain, de facteurs d’instabilités tels que ceux évoqués plus haut (terrassements, cultures maraichères, activité de ravinement/érosion).

Précision de l’aléa inondation

Les relevés au GPS ainsi que l’interprétation du MNT ont permis d’affiner le positionnement des axes d’écoulement des ravines traversant la zone d’étude. Ces talwegs sont classés en aléa fort d’inondation par débordement de ravine sur une largeur de 10 mètres, conformément aux règles adoptées dans le cadre de l’élaboration du PPR.

La visite de terrain a également permis d’identifier des zones potentiellement inondables (au regard du contexte morphologique) lors d’épisodes pluvieux exceptionnels, avec des hauteurs de submersion et des vitesses d’écoulement prévisibles faibles à moyennes..Ces zones ont été classées en aléa moyen, conformément à la méthodologie employée pour la qualification de l’aléa inondation

dans le cadre du projet de Plan de Prévention des Risques de la commune de Koungou.

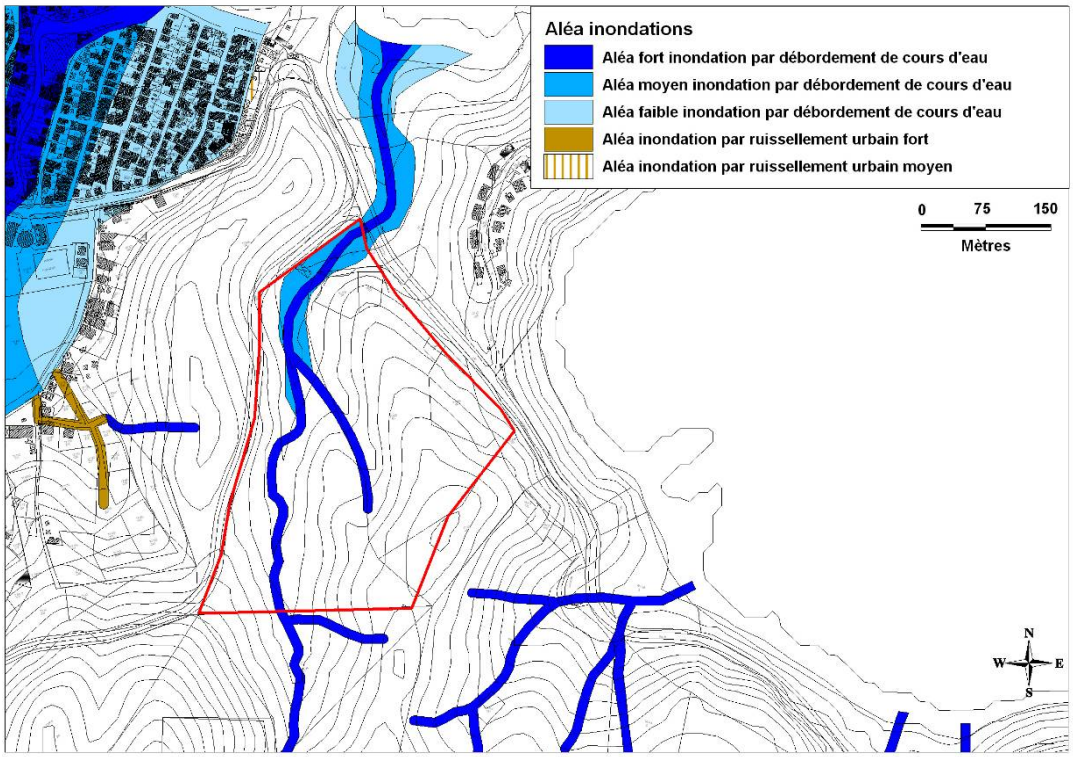


Illustration 9. Zonage de l'aléa inondation par débordement de ravine modifié d'après le présent avis

Conclusions

En résumé, on retiendra que le zonage de l'aléa mouvements de terrain établi dans le cadre du projet Plan de Prévention des Risques de la commune de Koungou est maintenu inchangé du fait notamment de la morphologie du site, de la nature des matériaux constituant le sol et des facteurs d'instabilité observés lors de la visite de terrain (terrassements, talus routier, cultures maraichères en amont).

Concernant l'aléa inondation par débordement de ravine, le positionnement des talwegs des deux ravines a été reprécisé et une zone d'aléa moyen instaurée, matérialisant les possibilités de divagations torrentielles en fond de thalweg lors de fortes crues (forme évasive au Nord-Ouest). Pour cette zone, le niveau d'aléa moyen est justifié notamment par la superficie relativement limitée du bassin versant, les caractéristiques des eaux divagantes restant de fait assez peu pénalisantes.

15. Note 2009 SAR/MAYOTTE 14. Avis complémentaire concernant le rapport SEGC n°1559 pour l’aménagement de la zone Nord-Ouest du village de Tsararano

Direction de
l'Equipement de Mayotte

Avis complémentaire concernant le rapport SEGC n°1559 pour l'aménagement de la zone Nord-Ouest du village de Tsararano

Août 2010

C. Garnier, A. Oppermann

Note 2009 SAR/MAYOTTE 14
Projet PSP09MAY16 – Appui DE 2009-2010

Service géologique régional de Mayotte
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13 – Fax : 02 69 61 28 15

Appui 2009/2010 à la Direction de l'Équipement de Mayotte	
Date de la visite : /	**Site :** Nord-Ouest Tsararano
Commune : Dembéni	
Participant(s) : /	
Objet : Analyse d'éléments d'étude complémentaire transmis par SEGC	
Demandeur : DE/SEC/HEA (G.Lefèbvre)	
Diffusion : DE/SEC/HEA et Antenne BRGM de Mayotte	

Circonstances de la mission du BRGM :

La Direction de l'Equipement, par l'intermédiaire de G. Lefèbvre (cellule Hydraulique Environnement et Assainissement), a sollicité le BRGM pour une expertise sur un rapport SEGC concernant une étude géotechnique de type G5 pour l'aménagement de la zone Nord-Ouest du village de Tsararano, commune de Dembéni (cf. Illustration 1).

Cette expertise avait donné lieu à la note BRGM 2009 SAR/MAYOTTE 11 datée de Juin 2010, qui avait conclue à la nécessité que des éléments d'études complémentaires soient produits par SEGC.

La présente note concerne l'analyse de ces éléments complémentaires adressés par SEGC.

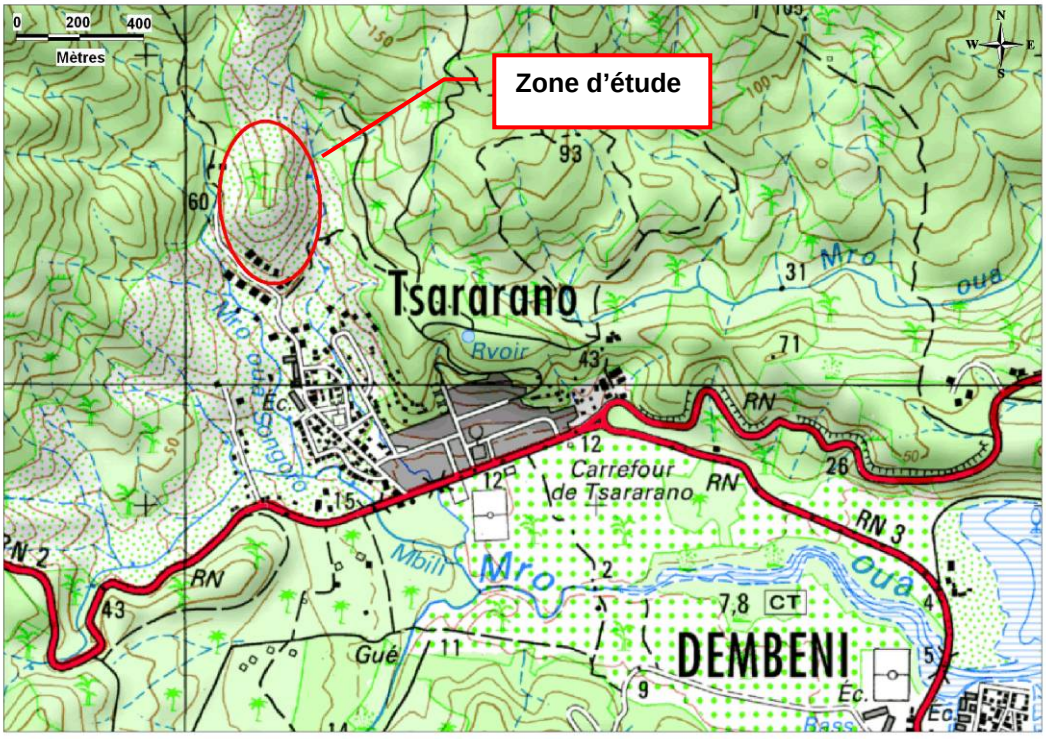


Illustration 1. Localisation de la zone d'étude. Extrait du Scan25 de l'IGN

Pièces analysées par le BRGM :

Document analysé dans le cadre du premier avis :

- rapport SEGC n°1559 datant de Janvier 2010 et intitulé « Aménagement de la zone Nord-Ouest du village de Tsararano » (document transmis par la DE au BRGM) ;

Documents complémentaires faisant l'objet du présent avis (transmis par mail en date du 09 Août 2010 par T. Razafinjaka - SEGC) :

- courrier SEGC référencé GEO/TR/09/2010, daté du 29 juillet 2010 ;
- résultats de calculs de stabilité Talren.

Observations relatives aux éléments complémentaires transmis par SEGC :

Les points évoqués ci-après correspondent aux éléments pour lesquels il avait été jugé nécessaire d'apporter des précisions ou des compléments d'étude lors de notre avis initial.

- en ce qui concerne les coefficients de sécurité partiels :

Les calculs de stabilité effectués à l'aide de Talren ont été repris avec des coefficients de sécurité partiels appliqués sur les caractéristiques des matériaux, permettant de simuler l'Etat Limite Ultime. Les valeurs retenues pour ces coefficients de pondération, répondant aux règles de l'art en la matière, n'appellent pas de remarque particulière de notre part à l'exclusion cependant du point suivant : concernant les profils destinés à justifier les dispositions constructives (figures 5 et 6), le BE semble **par erreur avoir interverti deux des coefficients de pondération appliqués** (pour la cohésion effective et l'angle de frottement effectif).

sol n°	1	2	3
γ	16	16	27
$\Gamma s1$	1	1	1
c	12	13	150
Γc	1.5	1.5	1.2
ϕ	26	35	0 ggg
$\Gamma\phi$	1.2	1.2	1.5

Unités : kN mètre et degré

Compte-tenu des valeurs de CS calculées relativement élevées, cette erreur ne devrait pas avoir d'incidence forte mais il conviendra cependant de s'en assurer.

- en ce qui concerne les valeurs de C' et Phi' prises en compte:

Nous avions mis en évidence, dans notre avis initial, un certain nombre d'erreurs ou d'incohérences entre les différentes valeurs de sols annoncées dans le rapport SEGC et celles « injectées » dans les calculs Talren figurant en annexes.

Le BE précise que les caractéristiques finalement prises en compte sont les suivantes :

	Sol 1(colluvions)	Sol 2 (altérites)
C'	12 kPa	13 kPa
φ'	26°	35°

Ces valeurs n'appellent pas d'objection majeure de notre part. Nous avions précédemment souligné que la cohésion des altérites nous semblait quelque peu surévaluée mais la valeur a été ramenée de 19 à 13 kPa par rapport au dossier initial. Il en était de même pour ce qui est des colluvions, mais on pourra considérer cette valeur comme « recevable » dans la mesure où elle résulte d'essais de laboratoire (essais de cisaillement).

On rappellera cependant que seuls deux prélèvements pour essais ont été réalisés, et dans le même secteur (flanc sud) de la zone d'étude. Compte-tenu des disparités spatiales potentiellement marquées pouvant être mises en évidence dans ces matériaux, la représentativité de ces valeurs reste sujette à caution, raison pour laquelle une valeur plus sécuritaire aurait été à notre sens souhaitable.

- en ce qui concerne les résultats des modélisations :

Conformément à notre demande exprimée dans l'avis initial, le BE a repris les calculs de stabilité en intégrant l'influence de conditions hydrogéologiques potentiellement défavorables (profils sans et avec nappe libre fictive). Même si, comme le souligne SEGC, aucune venue d'eau ou indice défavorable n'a été observé lors des reconnaissances de terrain (ni même connaissance historique allant dans ce sens selon le BE – on émettra tout de même des réserves quant à la fiabilité ou la portée d'une telle enquête « de voisinage »), on ne peut exclure, en conditions extrêmes, la formation de petites nappes dans les niveaux superficiels (minorant les caractéristiques des matériaux) ou le développement de pressions interstitielles dans certaines fissures.

Les nouveaux résultats des simulations sont les suivants :

Profils	Sans nappe	Avec nappe
P1	0,75	0,66
P2	1,02	0,89
P3(1)	1,05	1
P4(2)	0,43	0,35

Les éléments suivants peuvent être soulignés :

- Contrairement aux éléments initialement transmis, le profil P4 intègre dorénavant le talus subvertical présent en partie inférieure du versant ;

- Les simulations effectuées par SEGC mettent en évidence les conditions de stabilité précaires des différents versants du site. Le fait que même sans la prise en compte d'une hypothétique nappe, les calculs montrent que globalement la stabilité des versants n'est pas assurée sur les profils P1 et P4 (flancs est et ouest), et qu'elle est très « limite » pour les

deux autres profils (flanc sud), indiquent que les critères « géologie » et « topographie » sont ici prépondérants dans la tenue des pentes. Ce constat est cohérent avec la connaissance géologique du site qui découle des investigations mises en œuvre par le BE, à savoir la présence en surface de colluvions limono-argileuses à blocs sur une profondeur de l'ordre de 4 à 5 m. On rappellera que des indices d'activité ont été signalés par SEGC sur le versant est-sud-est, affectant des colluvions et ce alors même qu'il est souligné par le BE que le versant est sain « hydrogéologiquement » parlant. Même si les pentes sont plus marquées sur ce versant, cela traduit la sensibilité élevée de ces matériaux aux instabilités ;

- Notre expérience tant à la Réunion qu'à Mayotte souligne que les matériaux de colluvionnement sont par nature fortement sensibles aux variations de teneur en eau (les instabilités les plus prévisibles - ce que confirment les calculs Talren – consistant en une mise en mouvement des niveaux de colluvionnement, la mobilisation des niveaux altéritiques sous-jacents étant moins vraisemblable). On rejoindra SEGC sur le fait que d'évoquer la formation possible d'une nappe d'eau (au sens strict du terme) dans ces matériaux est impropre. Par contre leur imbibition (au moins sur la première tranche, métrique voire plus exceptionnellement plurimétrique) en conditions pluviométriques défavorables constitue un scénario tout à fait réaliste. Un tel scénario est de nature à provoquer une chute de cohésion suffisante de ces colluvions pour générer le déclenchement d'instabilités sur l'épaisseur saturée ;

- Le fait que les calculs Talren révèlent que les versants de la zone d'étude se situent, au mieux, dans un état d'équilibre limite, met d'autant plus en lumière les craintes qui peuvent être exprimées en cas d'aménagements anthropiques inappropriés (terrassements, modifications des écoulements naturels, accroissement des écoulements superficiels), voire même seulement sous l'action d'épisodes pluvieux pénalisants (pluies intenses et/ou prolongées). En conséquence, il est ici indispensable de prendre toutes les précautions dans le cadre du projet d'aménagement, notamment en ce qui concerne les conditions d'assainissement (gestion des EU / EP).

Synthèse :

Les éléments complémentaires transmis par SEGC conduisent à retenir les points suivants :

- hors conditions hydrogéologiques exceptionnelles, les calculs Talren trahissent la stabilité « limite » (CS très proche de 1) des flancs ouest et sud de la zone d'étude (à l'exception des talus anthropiques existants non stables en l'état), ainsi que le caractère instable des pentes à l'Est ;
- en conditions hydrogéologiques exceptionnelles (prise en compte de l'existence d'une « nappe fictive »), les calculs Talren montrent la non stabilité de la quasi-totalité des pentes étudiées (seul P3 met en évidence une stabilité « limite ») ;

Pour autant, le BE maintient la proposition de zonage modificatif émis dans son rapport initial :

- sur la base de simulations Talren (cf. figures 5 et 6 des résultats complémentaires), le BE considère les talus anthropiques subverticaux présents en partie inférieure des versants comme pouvant être sécurisés (zones dites « aléa fort de glissements de terrain dans l'état » potentiellement déclassables en aléa moyen). Il est proposé de modifié le zonage d'aléas actuel de façon à faire apparaître ces zones ponctuelles d'aléa fort. Le cas échéant, le déclassement de ces zones serait soumis à la vérification de la

réalisation, des ouvrages effectivement en place, en bonne conformité par rapport aux recommandations du BE ;

- sur le reste de la zone d'étude (à l'exception notamment du flanc oriental et d'une partie du flanc sud-ouest, maintenus en aléa fort), en dépit des calculs Talren, le BE propose un classement en aléa moyen de glissements de terrain avec mise en œuvre des dispositions constructives telles que proposées dans le rapport initial. Sur la base des usages actuels en matière de zonage, **il ne nous semble pas envisageable de déclasser en aléa moyen des terrains pour lesquels les simulations de stabilité réalisées sont globalement peu favorables** (la sensibilité aux instabilités de ces pentes étant étroitement liée à la présence sur une épaisseur relativement importante de matériaux de colluvionnement). Par ailleurs, on notera qu'aucun calcul de stabilité n'est apporté pour étayer la « validité » des mesures de sécurisation proposées.

Au final, il est proposé le zonage des aléas mouvements de terrain ci-dessous, qui intègre à la fois d'une part les éléments de stabilité issus des calculs Talren effectués par SEGC, et d'autre part les observations de terrain effectuées dans le cadre du premier avis (cf. note BRGM 2009 SAR/MAYOTTE 11).

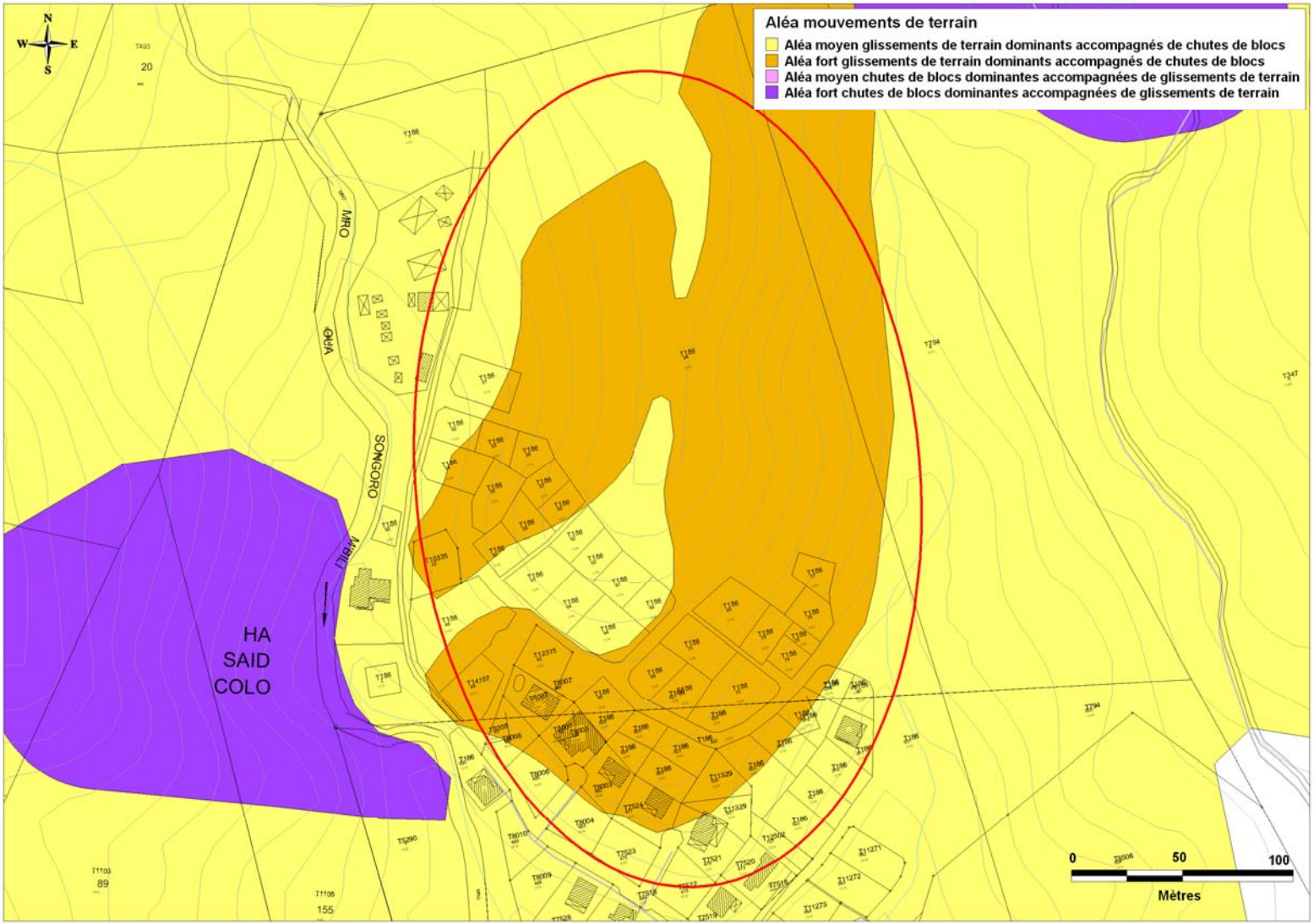
En comparaison avec le zonage initial on retiendra que :

- la nature de l'aléa a évoluée, passant d'un aléa chutes de blocs dominantes à un aléa glissements de terrain dominants ;

- des déclassements en aléa moyen on été effectué au niveau de la crête, sur le versant Sud-ouest et en rive gauche de la Mro Oua Songoro M'bili ;

- le versant Ouest a été surclassé en aléa fort au niveau de l'implantation du profil de stabilité du fait des résultats obtenus ;

- globalement, l'aléa fort est maintenu sur la majeure partie de la zone.


Aléa mouvements de terrain
Aléa moyen glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs
Aléa fort glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs
Aléa moyen chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain
Aléa fort chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain
N
W
E
S
MRO
VAHO
SONGORO
AMBOLI
HA
SAID
COLO
0
50
100
Mètres

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional de Mayotte”
9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni
BP 363
97600 – Mamoudzou France
Tél. : 02 69 61 28 13