

*Document public*



## Rapport d'expertise :

# Précision de l'aléa mouvements de terrain et inondation pour un projet d'extension du collège de M'tsangamouji

**BRGM/RP-61169-FR**

Mai, 2012

### Cadre de l'expertise :

Appuis aux administrations

Appuis à la police de l'eau

Date de réalisation de l'expertise : 14/05/2012

Localisation géographique du sujet de l'expertise :  
Chembényoumba (Mayotte)

Auteurs BRGM : D. Tardy

Demandeur : DEAL

1.89 3740.46 -625.5



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

L'original du rapport muni des signatures des Vérificateurs et Approbateurs est disponible aux Archives du BRGM.

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

Ce rapport est le produit d'une expertise institutionnelle qui engage la responsabilité civile du BRGM.

Ce document a été vérifié et approuvé par :

<b>Approbateur :</b> Nom : P. Puvilland Date : 07/06/2012
<b>Vérificateur :</b> Nom : A. Rey Date : 23/05/2012

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

**Mots clés :** expertise – appuis aux administrations– aléas – inondation – mouvements de terrain – Chembényoumba - M'tsangamouji – Mayotte

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

D. Tardy (2012) – Précision de l'aléa mouvements de terrain et inondation pour un projet d'extension du collège de M'tsangamouji, Rapport final. Rapport BRGM/RP-61169-FR.18 p., 12 fig.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

### Contexte :

Date de la formulation de la demande d'expertise au BRGM : 18 avril 2012

Demandeur : DEAL de Mayotte

Nature de l'expertise : Précision de la cartographie des aléas mouvements de terrain et inondation

Situation du sujet : Collège de Chembényoumba sur la commune de M'tsangamouji à Mayotte

Nature de l'intervention du BRGM : visite de terrain le 14/05/2012 en présence de S. Poirier (DEAL) et D. Tardy (BRGM).

### Faits constatés / dossier examiné :

Dans le cadre d'un projet d'extension du collège de M'tsangamouji, la DEAL a sollicité le BRGM pour une précision de l'aléa mouvements de terrain et inondation.

La zone de projet est concernée par un aléa moyen glissements de terrain accompagnés de chutes de blocs et d'un aléa fort inondation par débordement de cours d'eau ou ravine.

### Diagnostic du BRGM :

L'analyse du MNT et les observations de terrain (pente et géologie) ont permis de modifier la cartographie de l'aléa mouvements de terrain pour la partie Est du secteur d'étude.

Deux ravines ont été identifiées à partir du MNT. La ravine Est a été recalée à partir des courbes topographiques. L'amont de la ravine Ouest a été déclassé puisqu'elle a été comblée, que des canalisations ont été mises en place le long des voiries et que les eaux se concentreraient plus en aval, au niveau d'un dalot à l'entrée de l'établissement scolaire.

Au niveau de cet établissement scolaire, un système de canalisation souterrain, correctement entretenu le jour de la visite, gère l'acheminement des eaux pluviales. L'estimation des débits pour des crues décennale et centennale a mis en évidence un bon dimensionnement du dalot pour la période de référence retenue dans l'approche de cartographie des aléas (événement centennal). Un aléa faible inondation a été cartographié au droit du collège pour tenir compte du risque de débordement en cas d'un apport important de matériaux (végétaux par exemple) à l'embouchure du dalot ou au niveau des exutoires des canalisations. Les limites de cet aléa ont été établies en fonction des dépressions topographiques observées.

### Recommandations du BRGM :

Afin que le système d'évacuation des eaux pluviales et de ruissellement soit efficace, il est recommandé un entretien régulier des ouvrages évacuant les eaux pluviales (curage), notamment à l'entrée du dispositif souterrain et à l'exutoire.

## Sommaire

<b>1. Contexte de l'étude .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Situation du site .....</b>	<b>5</b>
2.1 LOCALISATION DU SITE .....	5
2.2 SYNTHESE GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE DU SITE .....	6
2.2.1 Contexte morphologique .....	6
2.2.2 Contexte géologique.....	7
<b>3. Zonage actuel des aléas .....</b>	<b>7</b>
3.1 MOUVEMENTS DE TERRAIN .....	7
3.2 INONDATION.....	7
<b>4. Précision des zonages d'aléas d'après le présent avis .....</b>	<b>8</b>
4.1 METHODOLOGIE .....	8
4.2 ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN - OBSERVATIONS .....	8
4.3 ALEA INONDATION - OBSERVATIONS .....	9
4.3.1 Ravine Ouest.....	9
4.3.2 Ravine Est.....	10
4.3.3 Calcul de débit décennal et centennal pour ravine Ouest .....	11
4.3.4 Dimensionnement des ouvrages souterrains.....	13
4.4 PRECISIONS DES ALEAS.....	14
<b>5. Conclusion et recommandations .....</b>	<b>16</b>

## 1. Contexte de l'étude

Dans le cadre d'un projet d'extension du collège de Chembényoumba à M'tsangamouji (cf. Figure 1), la DEAL a sollicité le BRGM pour une précision de l'aléa mouvements de terrain et inondation. La visite de terrain a été effectuée le 14/05/2012 en présence de D. Tardy (BRGM) et S. Poirier (DEAL).



Figure 1 – Vue sur le collège de Chembényoumba

## 2. Situation du site

### 2.1 LOCALISATION DU SITE

Le secteur d'étude est localisé au Nord de Chembényoumba, commune de M'tsangamouji, qui se situe au Nord-Est de l'île de Mayotte (cf. Figure 2). La zone d'étude présente une superficie de 3,3 ha, ses altitudes minimales et maximales sont respectivement de 65 et 80 m avec une pente moyenne de 10°.

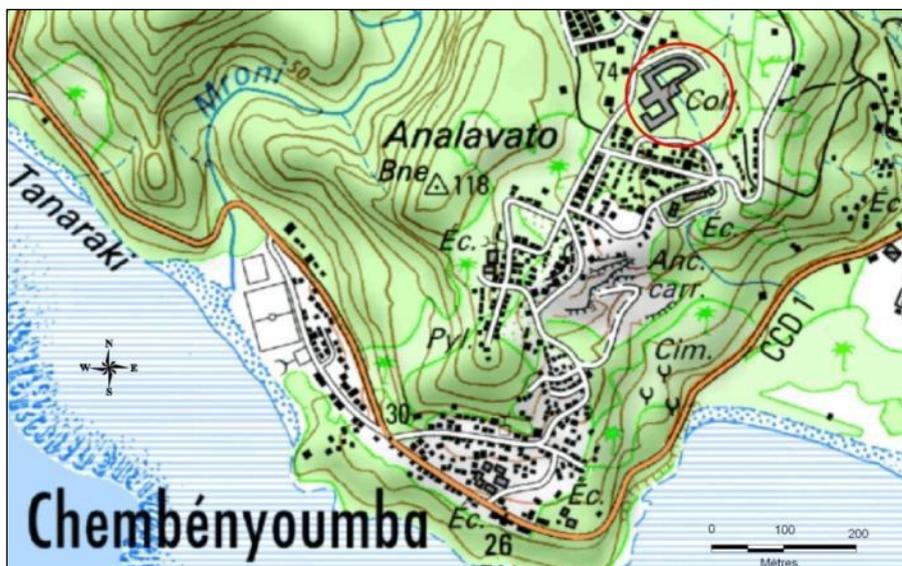


Figure 2 – Localisation de la zone d'étude (en rouge). Extrait du Scan 25 de l'IGN.

## 2.2 SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE DU SITE

### 2.2.1 Contexte morphologique

Le secteur d'étude se situe dans une zone de faible relief à l'Est du sommet Analavato s'élevant à une altitude de 118 m (cf. Figure 2). La pente moyenne du secteur est de 10°. Celle-ci augmente en se dirigeant vers le Sud et atteint 20°. Deux axes de ravinement, de direction Nord-Sud, sont distingués suivant la morphologie du site (cf. Figure 3). La ravine Est est plus évasée que la ravine Ouest (cf. Figure 4). Cette première traverse l'enceinte du collège.

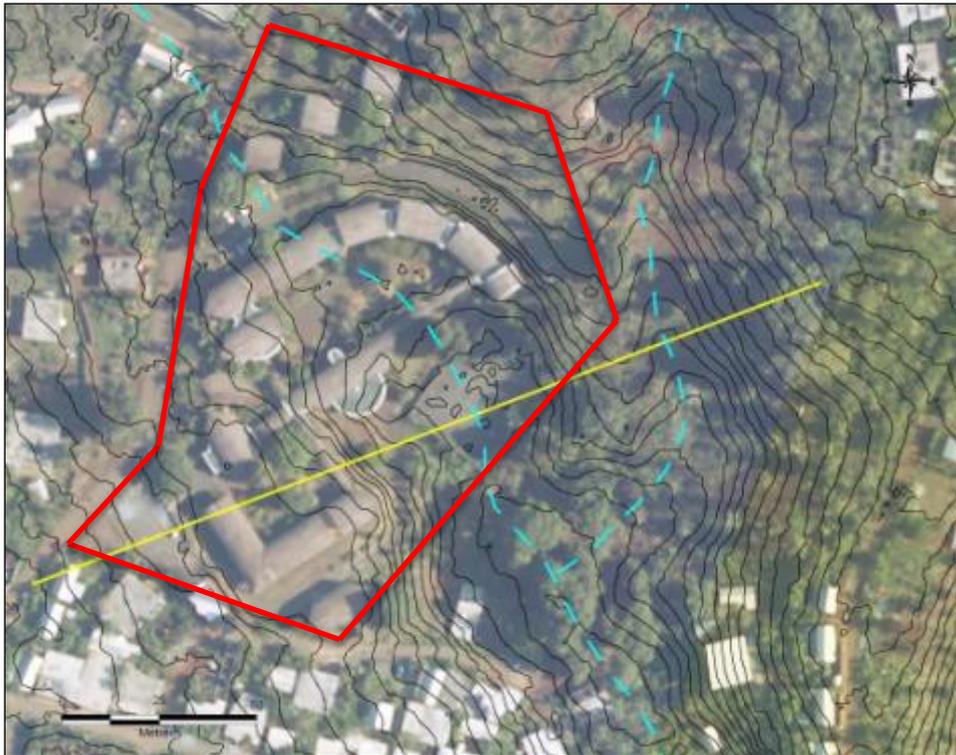


Figure 3 – Topographie (courbes de niveau – équidistance 1 m) d'après traitement MNT 2008 © IGN et occupation du sol au droit de la zone d'étude. En jaune, profil topographique présenté à la Figure 4. En bleu, axe des ravinements d'après la topographie. Fond : Orthophotos 2008 © IGN.

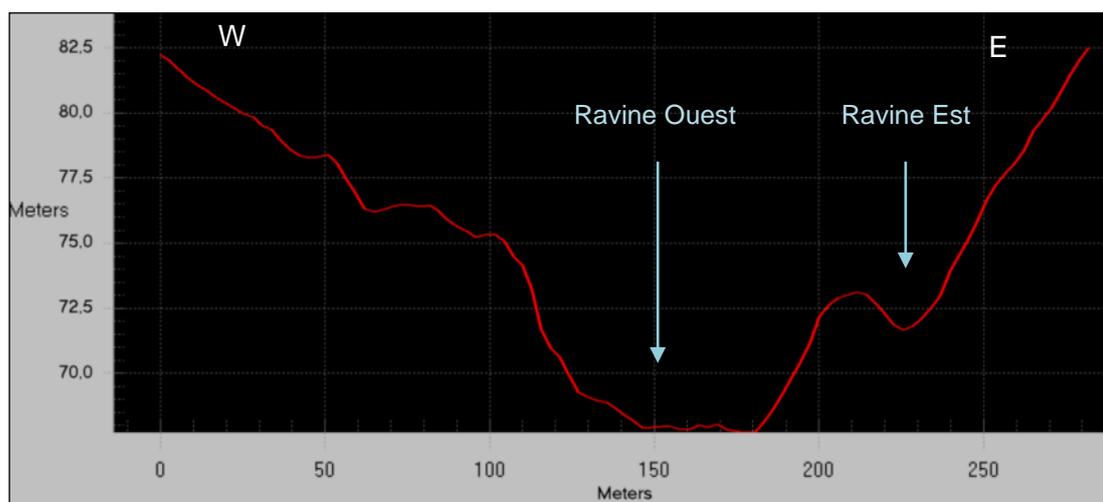


Figure 4 – Profil topographique du segment jaune de la Figure 3.

### 2.2.2 Contexte géologique

Les formations géologiques ont été observées au niveau des talwegs. Il s'agit de saprolite (cf. Figure 5), la structure de la roche mère est légèrement conservée, la roche a une couleur brun rougeâtre. La matrice est fine, l'altération en boule n'a pas été observée, le degré d'altération semble assez élevé et homogène sur l'ensemble du secteur. Ces roches sont issues de l'altération de roche volcanique sous un climat tropical.

Au niveau des ravines, des faciès fins à composante limoneuse ont été observés. Cette formation contient des éléments millimétriques de roches volcaniques. Il s'agit d'alluvions fines.



Figure 5 –A gauche, affleurement de saprolite de niveau d'altération élevé. A droite, dépôt fins de cours d'eau, faciès limoneux avec des éléments millimétriques.

## 3. Zonage actuel des aléas

### 3.1 MOUVEMENTS DE TERRAIN

La carte de l'aléa mouvements de terrain en vigueur sur le territoire de la commune de M'tsangamouji est celle de l'Atlas des aléas, qui date de 2004 (cf. Figure 12), qui fait état pour la zone d'étude :

- d'un aléa **moyen** mouvements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs à la limite Ouest de la zone d'étude.
- le reste du secteur d'étude n'est pas concerné par un aléa mouvements de terrain

### 3.2 INONDATION

Le zonage de l'aléa inondation par débordement de cours d'eau ou de ravine établi à l'échelle du 1/10 000 dans le cadre de l'atlas des aléas de la commune de M'tsangamouji fait état pour la zone d'étude (cf. Figure 12) :

- d'un aléa fort inondation par débordement de cours d'eau ou de ravine au droit des deux axes d'écoulement identifiés.

La bande d'aléa fort de 20 m de large (10 m de part et d'autre de l'axe) correspond à une bande forfaitaire représentant le lit mineur du cours d'eau et les zones de débordement éventuelles.

## 4. Précision des zonages d'aléas d'après le présent avis

### 4.1 METHODOLOGIE

La méthodologie utilisée dans la cartographie des aléas (mouvements de terrain et inondation par débordement de cours d'eau ou de ravine) lors d'une expertise sur site correspond à celle employée dans le cadre de l'élaboration des atlas des aléas et plus récemment pour l'élaboration des cartes d'aléas des premiers PPR de l'île de Mayotte. La démarche employée pour évaluer les aléas, à l'échelle du 1/10 000 en zones à enjeux, consiste **en une approche naturaliste de type expertise** excluant le recours à des investigations lourdes (sondages, essais de laboratoire, etc.) ainsi qu'à des modélisations spécifiques (trajectographique, hydraulique, etc.).

Les reconnaissances de terrain permettent à partir d'une approche hydrogéomorphologique, d'identifier les indices relatifs aux aléas (indices favorables ou non à leur déclenchement) et d'apporter une précision dans le positionnement des limites du zonage des aléas (notamment le positionnement effectif des axes d'écoulement et des zones potentielles de débordement).

La période de référence retenue dans la qualification des aléas est le **siècle**.

### 4.2 ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN - OBSERVATIONS

Le talus à l'Est du secteur a une pente moyenne de 10° avec un maximum à 20°. Son versant Ouest a une largeur de 70 m. A son sommet est localisée une zone de replat de 30 m de large.

Ce talus est peu urbanisé, quelques maisons se situent sur la zone de replat, et d'autres à l'extrémité Sud du flanc Ouest. Une voirie traverse la zone de replat dans sa longueur.

Nos observations de terrain ne montrent pas ou peu d'indices favorables au développement d'instabilité de type mouvements de terrain :

- Forte végétation jouant un rôle favorable à la lutte contre l'érosion ;
- Les versants ne présentent pas de trace de ravinement, il ne semble pas y avoir d'arrivée importante d'eau non contrôlée sur les pentes du talus Est (pas de trace de ravinement observée sur les flancs). Par ailleurs, les eaux en amont du talus Est sont dirigées par des caniveaux le long de la route située au sommet ou redirigées vers la ravine par l'intermédiaire de caniveaux.
- Les pentes observées sur le terrain et par le MNT sont relativement faibles (de l'ordre de 10° en moyenne et 20° au maximum). De plus, les pentes sont recouvertes d'une végétation dense qui limite les phénomènes érosifs et permettent d'améliorer la stabilité superficielle du talus.

Ces observations confirment d'une manière générale le zonage actuel de l'aléa mouvements de terrain et permettent de le préciser à l'Est du secteur (cf. Figure 12), avec un déclassement de l'aléa moyen au profit de l'aléa nul.

## 4.3 ALEA INONDATION - OBSERVATIONS

### 4.3.1 Ravine Ouest



Figure 6 – Localisation des points d'observation au droit du projet.

La ravine Ouest a été comblée dans sa partie amont d'après les observations et les témoignages recueillis sur le terrain. Des caniveaux mis en place sur les bas-côtés des routes permettent une récupération des eaux pluviales et de ruissellement pour ce secteur amont. Ces eaux sont alors dirigées vers l'embouchure d'un dalot, localisée en A (cf. Figure 6).



Figure 7 - A gauche, dalot récoltant les eaux en amont et les dirigeants dans les canalisations souterraines du collège (point A de la Figure 5). A droite, première bouche d'évacuation des eaux du collège (point B de la Figure 6).

La ravine localisée par sur les cartes IGN au sein de l'établissement scolaire a été canalisée par des ouvrages souterrains qui permettent de gérer les eaux pluviales et récupèrent les eaux provenant du dalot à l'amont. Les dimensions de ce système n'ont pas pu être mesurées sur le terrain par un manque d'accès, en revanche, son entretien, le jour de la visite de terrain, était réalisé correctement. Ces eaux sont évacuées au niveau des points B et C (cf. Figure 6). L'évacuation au point C présentait des eaux stagnantes ne permettant pas une bonne observation

de l'ouverture du conduit. Il est indispensable qu'elle soit correctement entretenue pour limiter le risque d'obstruction (curage régulier des dépôts à faire régulièrement pour permettre le libre écoulement des eaux).



Figure 8 – A gauche, traces de ravinement produites par les eaux évacuées du collège. A droite, deuxième bouche d'évacuation des eaux du collège (point C de la Figure 6).

#### 4.3.2 Ravine Est

La végétation dense de la ravine Est (cf. Figure 9) n'a pas permis de mettre en évidence des traces de ravinement. Cela indiquerait que la dynamique du cours d'eau est relativement faible. Le positionnement de l'axe d'écoulement a été obtenu à partir du MNT.



Figure 9 – Point D de la Figure 6. Vue vers l'amont de la ravine Est.

### 4.3.3 Calcul de débit décennal et centennal pour ravine Ouest

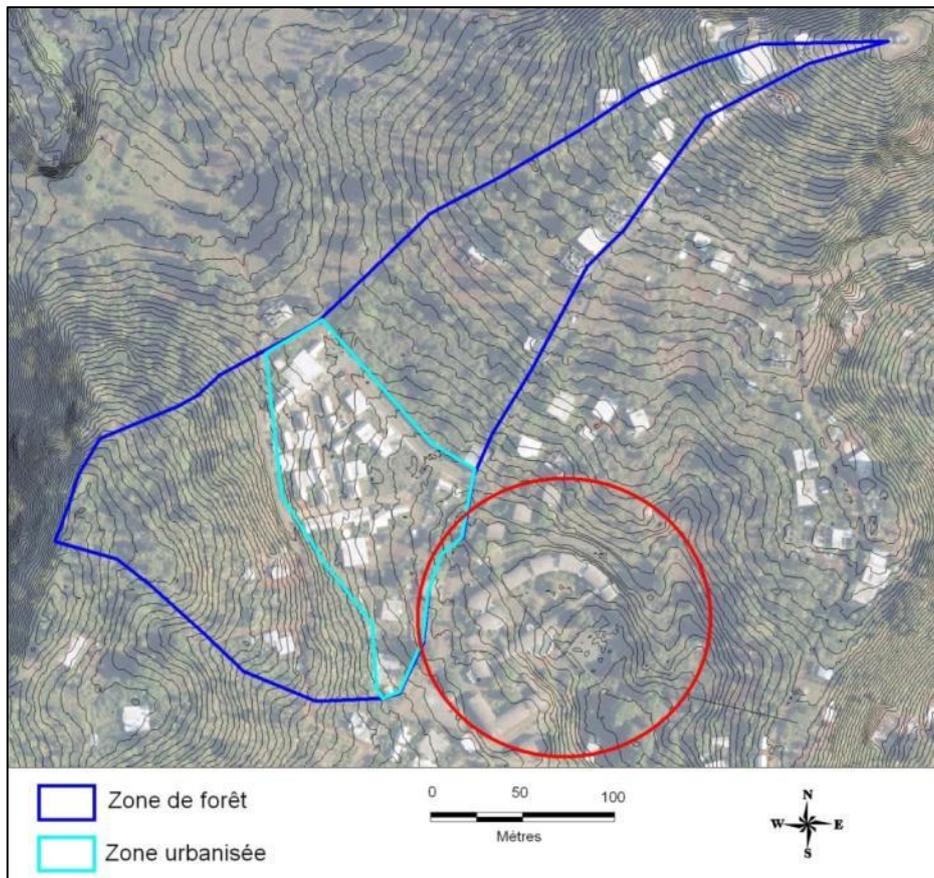


Figure 10 – Délimitation du bassin versant de la ravine Ouest avec la distinction de la couverture de sol. L'exutoire correspond au point A de la Figure 6.

Afin de vérifier le bon dimensionnement des ouvrages souterrains au droit de l'établissement scolaire, les débits de crues décennale et centennale ont été estimés.

#### ➤ Débit décennal

La méthode employée est la méthode dite rationnelle puisque le bassin versant a une aire de 8,3 ha. Elle est basée sur l'hypothèse que la pluie est constante et uniforme sur l'ensemble du bassin versant, que le débit de pointe est atteint au bout du temps de concentration et que la durée de la pluie est égale à ce temps de concentration. La formule de la méthode rationnelle s'exprime de la manière suivante :

$$Q_{(T)} = \frac{C \times A \times i_{(T,t_c)}}{3,6}$$

C : coefficient de ruissellement pondéré, sans dimension

$i_{(T,t_c)}$  : intensité de la pluie moyenne journalière pour la période de retour T et pour un temps de concentration  $t_c$ , en mm/h

A : surface du bassin versant en km<sup>2</sup>

Le coefficient de ruissellement (C) dépend de la couverture végétale, de la nature du sol et de la pente. Afin de prendre en compte au mieux les caractéristiques du bassin versant du secteur étudié, celui-ci est divisé en deux sous-parties (cf. Figure 10). La couverture végétale a été déterminée à l'aide des orthophotos de l'IGN. Deux classes ont été distinguées, les espaces

boisés et les zones urbanisées ayant respectivement une aire de 6,0 et 2,3 ha. D'après l'étude BRGM/RP-52089-FR, le coefficient de ruissellement décennal pour les bassins versants naturels est fixé à 0,4 selon une analyse statistique des crues observées à deux stations, Bouyouni et Mouala. Le coefficient pour les zones urbanisées a été pris égal à 0,85 selon les tables de coefficients de ruissellement indiqué dans cette même étude.

$$C = \frac{\sum_i^n [A_i \times C_i]}{\sum_i^n A_i}$$

Ai : surface (km<sup>2</sup>)

Ci : coefficient selon nature du sol, végétation et pente

$$C = \frac{0,40 \times 0,060 + 0,85 \times 0,023}{0,083} = 0,52$$

- Temps de concentrations (min) :

L'intensité de la pluie est déterminée selon les courbes Intensités Durée Fréquence (IDF) provenant du rapport BRGM/RP-56881-FR (cf. Figure 11). Cette étude est spécifique à Mayotte.

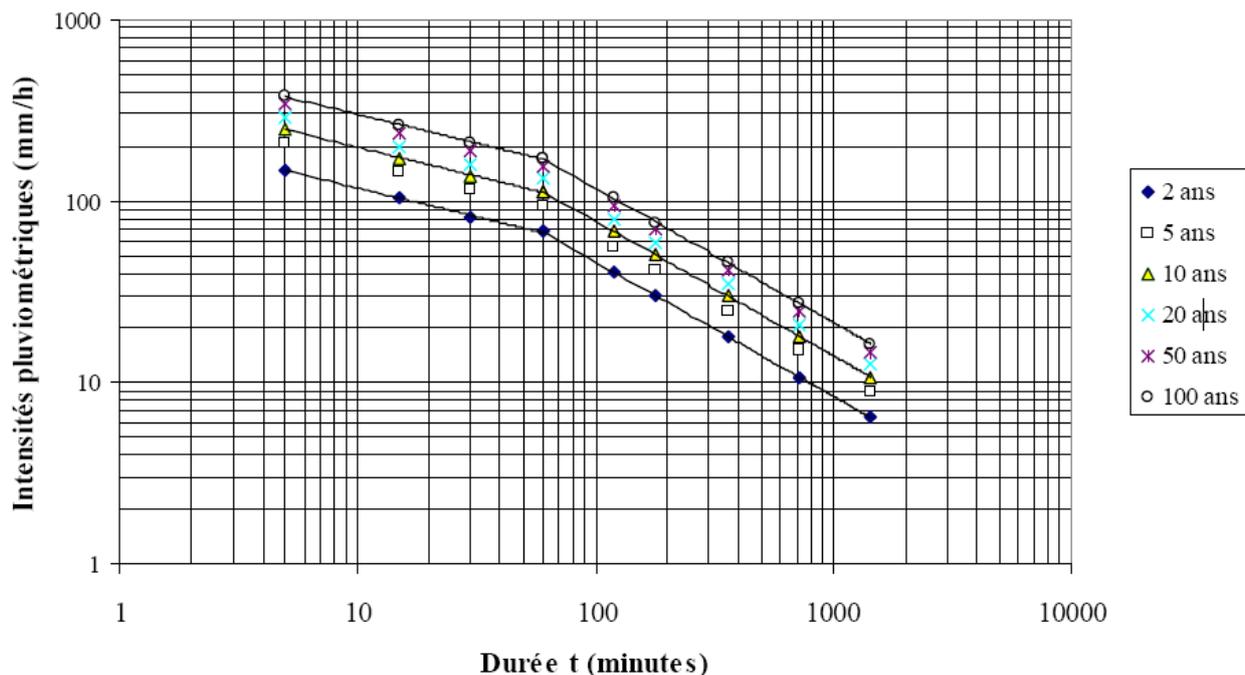


Figure 11 – Courbes intensités pluviométriques – durée par fréquence. BRGM/RP-56881-FR

Les temps de concentrations (en min) nécessaires pour obtenir  $i(T,tc)$  ont été déterminés à partir de quatre formules :

- Passini :  $tc = 0.14 * [(A.L)^{1/3}]/[i^{0.5}]$  →  $tc = 4,5$  min
- Giandotti:  $tc = 60*[0.4*A^{0.5} + 0.0015*L]/[0.8*(i*L)^{0.5}]$  →  $tc = 21,7$  min
- Kirpich :  $tc = 0.0195*(L/i^{0.5})^{0.77}$  →  $tc = 2,4$  min
- Ventura :  $tc = 60*0.127* \sqrt{(A * 100)/i}$  →  $tc = 6,1$  min

Avec A : superficie du bassin versant (ha)

L : longueur du thalweg principal (en m)

i : pente moyenne du thalweg principal (m/m)

L'application de la formule de Giandotti à un tel bassin versant, court et pentu, ne semble pas adaptée et s'écarte des résultats des 3 autres formules. Une moyenne des autres valeurs sera utilisée pour la suite du calcul, donnant une valeur de  $t_c$  de 4,3 min.

L'intensité de la pluie obtenue d'après la courbe IDF et un  $t_c$  de 4,3 min est de 250 et 400 mm/h respectivement pour Q10 et Q100.

**Les débits de pointe pour les périodes de retour de 10, après application de la formule rationnelle, est de 3,1 m<sup>3</sup>/s.**

➤ Débit centennal

Les débits de crue centennale sont déterminés en considérant qu'à partir d'une pluie de fréquence décennal, la totalité de la lame d'eau tombée ruisselle (il n'y a plus d'infiltration dans le sol), c'est-à-dire que cette pluie participe entièrement à la genèse de la crue. Le débit centennal est estimé en utilisant la relation suivant :

$$Q_{100} = Q_{10} + \frac{A \cdot (I_{100,t_c} - I_{10,t_c})}{3,6}$$

**Le débit centennal obtenu est de 6,6 m<sup>3</sup>/s.**

#### 4.3.4 Dimensionnement des ouvrages souterrains

Afin d'évaluer si les ouvrages souterrains sont correctement dimensionnés pour palier le risque d'inondation pour une crue d'occurrence centennale, la formule de Manning-Strickler a été employée. Cette formule permet de calculer le débit sortant d'un caniveau dont les caractéristiques sont connues :

$$Q = S \cdot h^{2/3} \cdot K \cdot I^{0,5}$$

Q : débit en m<sup>3</sup>/s

S : surface en m<sup>2</sup>

H : rayon hydraulique en m, il s'agit du rapport entre la surface mouillée et le périmètre mouillé

I : pente du caniveau (m/m)

Dans le cas de cette étude, le débit est connu pour une crue centennale (Q100 = 6,6 m<sup>3</sup>/s), la dimension du rayon du caniveau nécessaire pour accueillir ce débit est déduit de cette formule. Il a été considéré une section plein, ce qui entend que la capacité maximale du caniveau est exploitée. Le côté minimum s'exprime alors de la manière suivante :

$$c = \left( \frac{4^{2/3} \cdot Q}{K \cdot I^{0,5}} \right)^{3/8}$$

Le coefficient de rugosité utilisé est de 70, correspondant à du béton, la pente du caniveau a été considérée comme la pente du terrain naturel au niveau du collège, qui est de 5° soit de 9 %.

**Après application, il en résulte que le caniveau doit avoir un côté minimum de 92 cm pour pouvoir gérer une crue centennale, ce qui correspond à une aire de 0,85 m<sup>2</sup>.**

**Le dalot au droit du collège a une dimension de 1 m de large et 1,5 m de haut (ces dimensions ont été fournies par la DEAL de Mayotte), soit une section de 1,5 m<sup>2</sup>. La section du dalot est supérieure à la section préconisée pour un Q100. Par conséquent, son dimensionnement permet de gérer un évènement centennal.**

#### **4.4 PRECISIONS DES ALEAS**

Aux vues des pentes du talus (moyenne de 10°), de la topographie extraite du MNT et des formations géologiques le composant (saprolite), la limite de l'aléa mouvement de terrain pour la partie Est du secteur a été modifiée afin de prendre en compte ces observations.

Une largeur de 10 m (zone tampon) pour l'aléa inondation par débordement de cours d'eau a été appliquée pour les deux ravines, au lieu des 20 m initiaux, afin de tenir compte des observations de terrain qui n'indiquent pas de signes d'inondation sur de telles distances.

La ravine Est, ne présentant pas de système de gestion des eaux, a été repositionnée selon la topographie issue du MTN de l'IGN 2008.

La ravine Ouest a été comblée, un système de canalisation souterrain au droit du collège permet de gérer les eaux issues du bassin versant en amont. L'aléa fort inondation pour l'amont de la ravine a été levé, puisque la ravine est dorénavant inexistante et que d'après la visite de terrain le risque d'inondation se localise en aval de l'embouchure du dalot (cf. Figure 6) où les eaux se concentrent.

D'après les estimations de débits permettant de dimensionner les caniveaux pouvant recevoir une crue décennale et centennale, il a été conclu que le système de canalisation au droit du collège ne permet de gérer un évènement centennal (période de référence retenue en cartographie des aléas dans le cadre de projet de PPR notamment). L'aléa fort inondation a été modifié en aléa faible au droit du collège afin de prendre en compte un risque de débordement en cas d'obstruction de l'embouchure du dalot ou des exutoires. Ses limites ont été positionnées sur les points bas d'après la topographie issue du MNT.

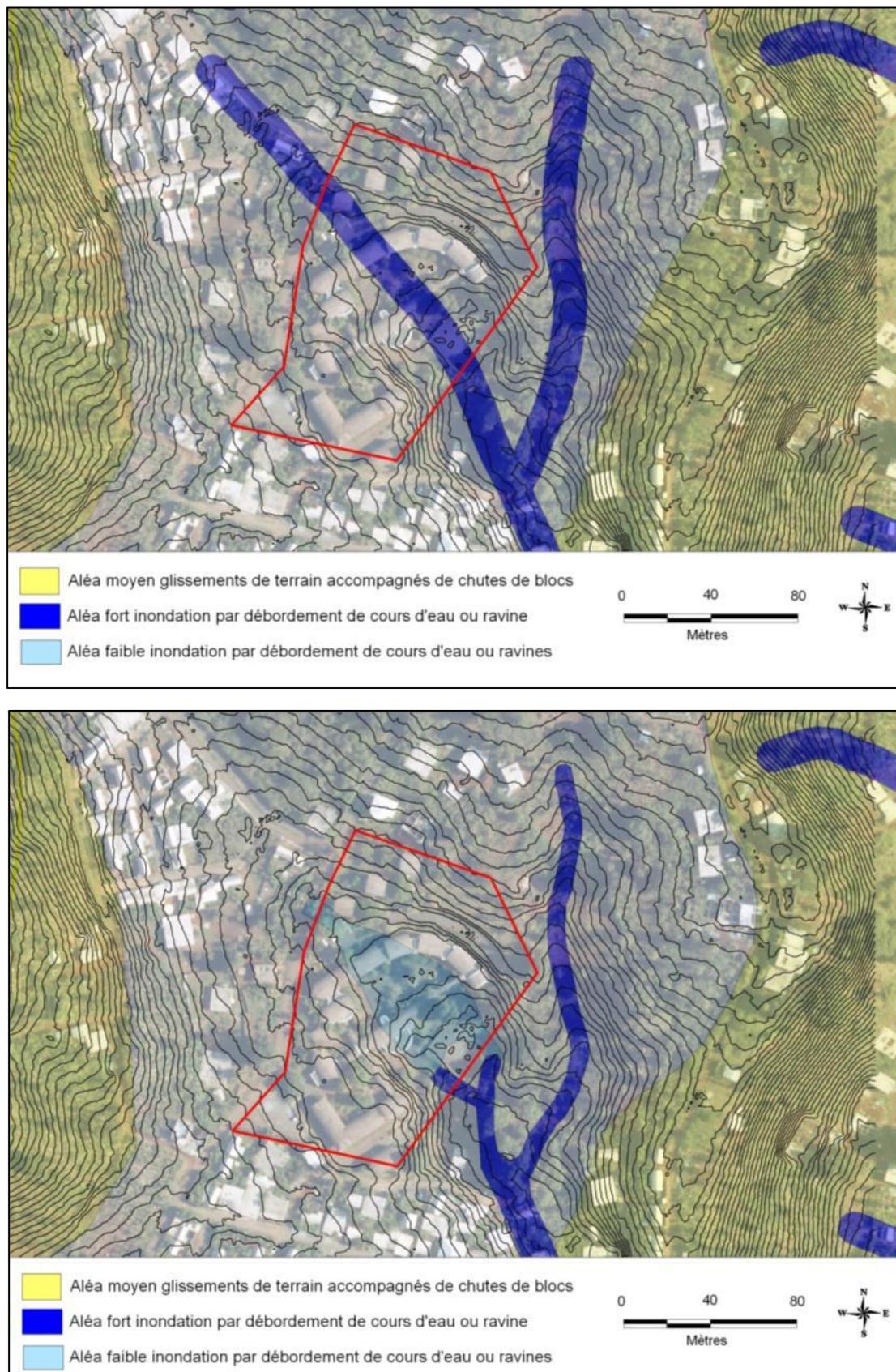


Figure 12 – En haut, extrait de la cartographie de l'atlas des aléas de M'tsangamouji. En bas, cartographie des aléas d'après le présent avis. Font MNT IGN 2008 – Courbes de niveau 1 m.

## 5. Conclusion et recommandations

Le diagnostic effectué par le BRGM au droit du collège de Chembényoumba sur la commune de M'tsangamouji, a permis de réévaluer les aléas mouvements de terrain et inondation (cf. Figure 12) suivant ces observations :

- déclassement de l'aléa moyen mouvements de terrain à l'Est du secteur d'étude en fonction de la topographie observée et de la géologie (saprolite).
- repositionnement de l'aléa inondation de la ravine Est en fonction des courbes de niveau issues du MNT ;
- déclassement de l'aléa fort inondation de l'amont de la ravine Ouest, la ravine a été comblée et des canalisations ont été installées le long des voiries ;
- déclassement de l'aléa fort inondation au droit du collège en aléa faible inondation, un système de canalisation souterrain bien entretenu a été mis en place et correctement dimensionné pour recevoir une crue d'occurrence centennale. Un aléa faible inondation est maintenu afin de prendre en considération les débordements éventuels en cas d'obstruction des exutoires ou du dalot.

Afin de limiter les risques d'inondation au droit du projet, il est recommandé :

1. d'entretenir régulièrement les réseaux d'eaux pluviales du site avec la réalisation de fréquents curages de l'ensemble des dépôts afin de garantir la capacité hydraulique des réseaux.





Centre scientifique et technique    Service Géologique Régional de Mayotte  
3, avenue Claude-Guillemain    9, centre Amatoula, Z.I. de Kawéni  
BP 36009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France    BP 363 – 97600 – Mamoudzou – France  
Tel. 02 38 64 34 34    Tél. : 02 69 61 28 13