



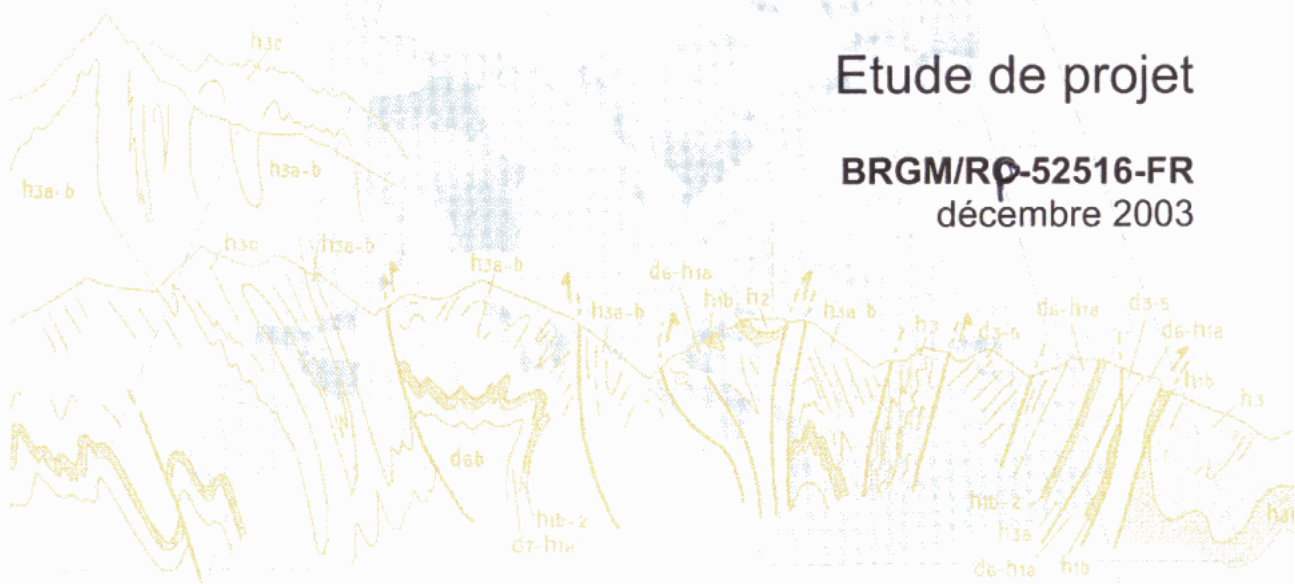
R
3

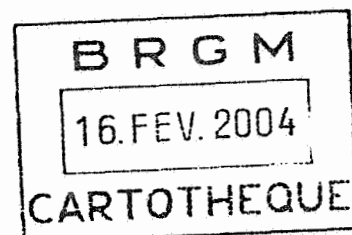
Rp-52516

Etude hydrologique et hydraulique de la rivière Bouyouni, commune de Bandraboua (Mayotte)

Etude de projet

BRGM/RP-52516-FR
décembre 2003





Mots clés : Erosion de berges, Hydrologie, Hydraulique, Inondations, Ravine, Mayotte.

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

Jossot O., Mouron R., Pouget R. - Étude hydrologique et hydraulique de la rivière Bouyouni, commune de Bandraboua (Mayotte). Rapport BRGM/RC-52516-FR, 25 p., 2 fig., 6 tab., 4 ann.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La Direction de l'Equipement de Mayotte a demandé au BRGM de réaliser une étude hydrologique et hydraulique de la rivière Bouyouni, commune de Bandraboua (Mayotte).

L'objectif est de dimensionner des aménagements de lutte et de prévention des risques d'inondations et d'érosion de berges. Ceci nécessite en premier lieu, une connaissance précise du fonctionnement hydrologique du bassin versant de la rivière Bouyouni, et deuxièmement une modélisation mathématique des écoulements en période de crue. Les résultats de l'étude hydrologique menée sur la rivière Bouyouni sont :

	La BOUYOUNI
superficie du bassin versant (en ha)	966
débit de pointe décennal (en m ³ /s)	95
débit de pointe centennal (en m ³ /s)	214
temps de base moyen (en h)	3.3
condition limite avale (m NGM)	3.56

La modélisation mathématique des écoulements de crue a été confiée au cabinet HYDRETTUES. Le dimensionnement des ouvrages a été réalisé sur la base d'un débit centennal. Le diagnostic de l'étude a révélé de nombreux points critiques vis-à-vis de la sécurité des personnes et des biens dans le village de Bouyouni.

Les aménagements proposés ont pour objectif de maîtriser les écoulements de crue, en limitant les débordements et inondations des zones habitées par la mise en place de merlons de protection. En outre, les extrados des méandres seront protégés par mise en place de gabions. Enfin, la dynamique des crues sera améliorée au niveau de la chute, en amont du village et du pont de la RN1. Les aménagements proposés sont les suivants :

- déroctage de la chute rocheuse en amont à l'entrée du village ;
- fouille en déblais des matériaux apportés en urgence entre le pont et la cascade à l'entrée du village ;
- protection des berges en rive droite par digue de remblais compactés (0.3 à 0.7 m de hauteur) ;
- protection des berges en rive gauche zone avale, digue de remblais compactés et murets en béton (hauteur moyenne 1 m) ;
- protection des berges en extrados par mise en place de gabions ;
- protection de berge en rive gauche en amont du pont par épis déflecteur.

L'ouvrage de franchissement de la RN1 sera également refait par la Direction de l'Equipement suivant les recommandations du cabinet HYDRETTUES.

Sommaire

Synthèse	3
Sommaire.....	4
Liste des tableaux et figures	5
Liste des annexes.....	5
Liste des annexes.....	5
1. Introduction	6
2. Contextes topographique et géologique	7
3. Contextes météorologique et hydrologique	10
3.1 DONNEES DISPONIBLES	10
3.2 DONNEES DE DEBIT ET PARAMETRES DE CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI	10
4. Développement urbain	11
5. Evaluation de l'aléa inondation et des risques liés aux érosions de berges	12
5.1 DEFINITION DES RISQUES LIES A L'EXCAVATION DES BERGES	12
5.2 DEFINITION DES RISQUES LIES AUX INONDATIONS.....	12
5.3 SYNTHESE DES ENQUETES DE TERRAIN.....	12
6. Calcul des débits de projet.....	14
6.1 CHOIX DU RISQUE RETENU.....	14
6.2 METHODOLOGIE DU CALCUL	14
6.3 SYNTHESE DES ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE CRUE	14
7. Modélisation mathématique des écoulements en situation actuelle.....	16
7.1 PRESENTATION GENERALE DU MODELE.....	16
7.2 PRESENTATION DES RESULTATS DE L'ETUDE HYDRAULIQUE	18
7.3 VALIDITE DU MODELE ~ PRECISION DES RESULTATS	18
7.4 ANALYSE DES RESULTATS.....	19
8. Proposition d'aménagements.....	21
8.1 PRINCIPE D'AMENAGEMENT	21
8.2 DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES	21
9. Conclusions.....	25
10. Bibliographie.....	26

Liste des tableaux et figures

Figure 1 – Localisation de la zone d'étude	7
Figure 2 – Hydrographie du bassin versant de la rivière Bouyouni.....	9
Tableau 1 – Caractéristiques des hydrogrammes de crue de la rivière Bouyouni	10
Tableau 2 - Synthèse des éléments d'hydrologie de crue	15
Tableau 3 – Coefficients de Strickler choisis.....	16
Tableau 4 – Ouvrage linéaire de protection du secteur aval RN1	23
Tableau 5 – Caractéristiques techniques des moëllons pour les murets en maçonnerie ...	23
Tableau 6 – Caractéristiques générales des protections en gabion	24

Liste des annexes

Annexe I " Eléments de localisation et d'introduction "	
Annexe II " Eléments d'hydrologie "	
Annexe III " Eléments d'hydraulique et propositions d'aménagement "	
Annexe IV " Eléments visuels "	

1. Introduction

La rivière Bouyouni se situe sur la commune de Bandraboua, et traverse le village de Bouyouni avant de se jeter dans l'océan Indien. Une partie du village, particulièrement en amont du pont et en aval au niveau du lotissement SIM, est soumis à des phénomènes d'inondations et d'érosion de berges. Face à cette problématique, la Direction de l'Equipement de Mayotte a demandé au BRGM de réaliser une étude hydrologique et hydraulique de la rivière Bouyouni.

Cette étude a pour objectif le dimensionnement d'aménagements de lutte et de prévention des risques d'inondations et d'érosion de berges. Ceci nécessite, premièrement, une connaissance précise du fonctionnement hydrologique du bassin versant de la rivière Bouyouni, et deuxièmement, une modélisation mathématique des écoulements en période de crue.

Conformément à la proposition technique et financière faite au Maître d'Ouvrage Délégué (Direction de l'Equipement) en février 2003, l'étude se décompose en 5 phases :

1. analyse hydrologique du bassin versant, dans le but d'estimer les débits de crue dans la zone d'étude / enquêtes de terrain visant à évaluer les risques relatifs aux inondations et aux érosions de berges ;
2. modélisation mathématique des écoulements de crue par le cabinet spécialisé HYDRETUDES, et propositions d'aménagements (**APS**) ;
3. dimensionnement précis et estimations du coût des ouvrages de protection à réaliser, correspondant à l'Etude de Projet (**APD**) ;
4. montage du Dossier de Consultation des Entreprises (**DCE**) ;
5. maîtrise d'œuvre des travaux.

Le présent rapport constitue l'**Etude de Projet (APD)**. L'objectif est d'explicitier la démarche scientifique mise en œuvre et d'argumenter le choix des aménagements proposés. Incluse dans le sous-dossier 2 du Dossier de Consultation des Entreprises, ce rapport informe également l'entrepreneur chargé de la réalisation des travaux, des principaux résultats de l'étude.

2. Contextes topographique et géologique

Le village de Bouyouni est situé dans la partie Nord de la grande Terre de Mayotte et dépend de la commune de Bandraboua (Figure 1).

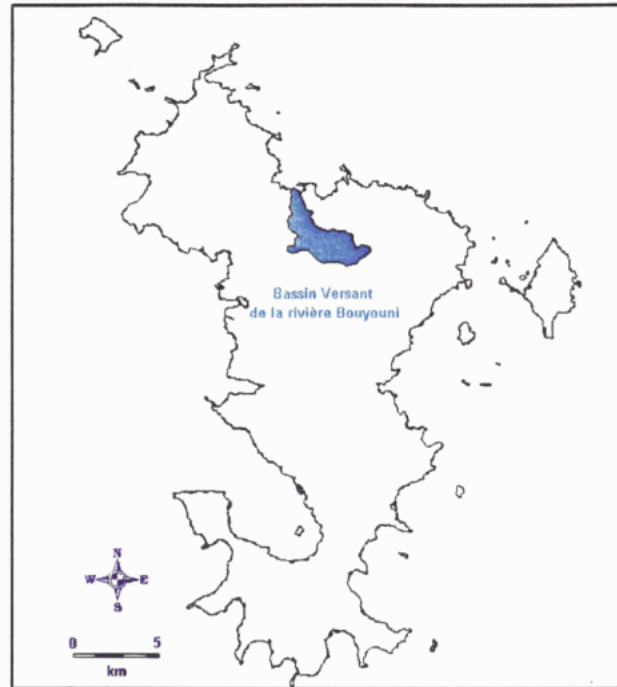


Figure 1 – Localisation de la zone d'étude

La rivière de la Bouyouni (Mro oua Bouyouni) draine, au droit de la RN1, un bassin versant d'environ 966 ha dont le point culminant se situe à une altitude proche de 570 m (Figure 2). Le thalweg principal, d'une longueur de 8.7 km, est relativement encaissé dans sa partie amont.

La traversée du village de Bouyouni délimite la zone d'étude. Le lit mineur y est marqué par des berges pentues d'une hauteur moyenne de 3 m. Le lit majeur est entièrement urbanisé en rive droite, en amont du pont et en rive gauche, en aval du pont.

Le Mro oua Bouyouni franchit la RN1 à une altitude d'environ 4 m NGM.

Son exutoire, légèrement en aval de la zone d'étude, est une mangrove. La pente moyenne du thalweg dans la zone d'étude est de 0.6 % et diminue sensiblement de l'amont vers l'aval.

Le seul ouvrage hydraulique conséquent dans le village de Bouyouni est l'ouvrage de franchissement de la RN1, dont les parois et le fond sont constitués de béton ancien et rugueux. Les dimensions de cet ouvrage sont de 2.7 m de hauteur pour une largeur de 11.2 m.

Des ouvrages de protection des berges et des talus (murs en gabion) sont visibles en aval immédiat du pont et à la sortie du virage de la RN1, sur une portion rectiligne du cours d'eau.

D'après la carte géologique de Mayotte au 1/50 000 (L. Stieltjes, 1998), et le rapport BRGM/RP-51498 concernant l'implantation de forages de reconnaissance d'eaux souterraines dans la vallée de la Bouyouni, la géologie du bassin versant est principalement constituée de :

- laves différenciées de fond de vallée issues du massif du M'TSaperé ;
- projections de cendres en couverture des formations géologiques du substratum, de plusieurs mètres d'épaisseur ;
- de dépôts fluviatiles ou de mangrove.

A l'entrée de la zone d'étude, les laves précitées affleurent, formant une cascade. En contrebas, les berges de la rivière sont constituées de matériaux meubles et argileux qui correspondent probablement à un mélange de dépôts alluvionnaires anciens et d'altérites.

Le lit mineur est composé de galets de taille décimétrique, avec, par endroits, des dépôts de matériaux fins issus de l'érosion des berges.



Figure 2 – Hydrographie du bassin versant de la rivière Bouyouni

3. Contextes météorologique et hydrologique

3.1 DONNEES DISPONIBLES

Les données météorologiques disponibles sur la région d'étude proviennent des stations météorologiques du Lima Digo et de la Convalescence (Annexe I).

Deux stations hydrométriques mises en service en 1998, Bouyouni haut et Bouyouni bas (Annexe I), fournissent des renseignements qualitatifs intéressants sur les paramètres de crue de la rivière (temps de réponse aux pluies, temps de montée, etc.). Dimensionnés pour suivre le débit moyen du cours d'eau, ces deux seuils ne permettent pas de mesurer les débits de pointe.

Une analyse des crues tirée du Rapport BRGM/RP-52089-FR " Etude hydrologique et hydraulique de la ravine Massakini Mamoudzou (Mayotte) " est présentée en Annexe II. Des tableaux synthétisant les paramètres des crues observées sur le bassin versant de la rivière Bouyouni y sont présentés, ainsi qu'un ajustement statistique de la transformation pluie/débit sur ce bassin versant.

3.2 DONNEES DE DEBIT ET PARAMETRES DE CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI

L'estimation du débit moyen d'un cours d'eau nécessite un traitement statistique se basant sur des séries de mesure longues. Compte tenu des valeurs disponibles à Mayotte, les résultats obtenus analyse statistique ne seraient pas représentatifs. Une analyse sommaire des débits moyens annuels fournis par la DAF/SER permet d'évaluer le débit moyen de la rivière Bouyouni (station Bouyouni Bas) à **44.71 l/s**

L'analyse des données de crues sur la rivière Bouyouni effectuée dans le rapport BRGM /RC-52089 a mis en évidence les caractéristiques suivantes :

temps de base moyen des crues ¹ (h)	3.3
temps de pluie efficace moyen (h)	2

Tableau 1 – Caractéristiques des hydrogrammes de crue de la rivière Bouyouni

Depuis 1998, le débit maximum observé au seuil de Bouyouni haut, est de 60 m³/s. D'après les données transmises par la DAF/SER, le débit au seuil de Bouyouni Bas lors de la crue du 06/02/2003 a atteint 70 m³/s (Annexe I).

¹ Le temps de base des crues est défini par le temps entre le début de la crue et la fin du ruissellement rapide.

4. Développement urbain

Dans le cadre de l'étude hydrologique et hydraulique sur la rivière Bouyouni, les développements urbains actuels et futurs sont à prendre en considération puisque les aménagements imperméabilisent le sol et donc se traduisent par une modification importante du fonctionnement hydrologique du cours d'eau.

Pour estimer la vulnérabilité aux inondations et aux glissements de terrain (dues aux excavations de berges), un inventaire des lieux publics et des habitations à risques a été réalisé sur la zone d'étude.

Concernant les bâtiments publics, l'école (en bordure de la RN1 dans la partie aval) et la mosquée en construction (lotissement en sortie immédiate du pont) sont fortement exposés à l'aléa inondation.

De nombreuses habitations privées sont dans des zones à aléa fort de glissement de terrain (Annexe I. 5). Certaines sont, en effet, à moins de 3 m des du lit mineur.

L'ensemble des habitations voisines de la rivière dans la zone amont du pont, est soumis à un risque d'inondation important car elles sont construites dans le lit majeur du cours d'eau.

Un réseau d'assainissement pluvial existe sur la zone d'étude. Ce réseau a été repéré sur le terrain de manière à être intégré dans les solutions d'aménagement proposées.

Des développements urbains importants (construction d'un lotissement SIM) sont constatés sur la zone 1NA, en aval du pont (Annexe I. 4). Le réseau d'assainissement pluvial y est en cours de construction. Il n'est, pour l'instant, pas opérationnel, ce qui augmente les risques d'inondations sur cette parcelle.

A l'horizon 2015, il est probable que l'ensemble de la zone 1NA sera urbanisée et que les zones urbanisées actuelles seront réhabilitées. Les zones agricoles resteront vierges de construction (jusqu'à révision du PLU), ce qui constitue un élément intéressant en terme de gestion des crues.

5. Evaluation de l'aléa inondation et des risques liés aux érosions de berges

5.1 DEFINITION DES RISQUES LIES A L'EXCAVATION DES BERGES

L'excavation des berges est un processus d'érosion qui résulte d'un déséquilibre en faveur des forces érosives aux dépens de la stabilité géomorphologique du sol et des berges.

D'après les témoignages recueillis sur le terrain, l'hydrodynamique de la rivière de Bouyouni a été modifiée par les activités humaines, le lit mineur s'étant rapproché des habitations en rive droite. Ainsi, les berges en rive droite du cours d'eau ont été progressivement érodées, jusqu'à menacer la stabilité de l'ensemble des berges (Annexe I.5 et Annexe IV).

En saison humide, les berges sont relativement stables du fait de leur haute teneur en eau. Après vidange des terrains superficiels, des fissures apparaissent et peuvent engendrer des glissements de terrain le long de ces plans de rupture.

5.2 DEFINITION DES RISQUES LIES AUX INONDATIONS

Les différents types d'inondations susceptibles d'affecter le village de Bouyouni sont :

- les **inondations rapides** par concentration du ruissellement ;
- les **inondations lentes** par stagnation d'eau pluviale conjuguée à des coefficients de marée élevés.

Les inondations induites par le ruissellement des eaux de pluie en milieu urbain sont limitées à la zone en construction en aval du pont, le réseau d'évacuation des eaux de pluies n'étant pas achevé.

Comme l'ont montré les récentes inondations de février 2003, les dégâts les plus importants sont dues à des inondations de type rapide survenant en fin de saison des pluies. En effet, les terrains sont saturés en eau, la hauteur d'eau dans la rivière est élevée, et toute pluie supplémentaire ruisselle, entraînant une élévation rapide du niveau de l'eau dans la rivière. A titre d'exemple, les enregistrements effectués par la DAF/SER (Annexe I) montrent que la hauteur d'eau est passée de 1.5 m à 3 m en moins de 2 heures au seuil de Bouyouni-Bas.

D'une manière plus générale tout ce qui fait obstacle à l'écoulement des eaux est un facteur aggravant des risques d'inondations.

5.3 SYNTHESE DES ENQUETES DE TERRAIN

Des visites de terrain ont été réalisées par le BRGM le 08.02.2003, et le 18.02.2003 et le 06.03.2003.

Ces visites ont permis de :

- dresser une carte des berges fortement excavées ;
- dresser une carte sommaire des zones fréquemment inondées ;
- relever des laisses de crue ;
- relever les embâcles ;
- faire un diagnostic de l'état des ouvrages existants.

Dans le village, le lit mineur est bien marqué, mais des développements urbains conséquents sont visibles en lit majeur, ce qui amoindrit les capacités hydrauliques de la rivière et met en danger les habitants en cas de crue.

Sur l'ensemble du bassin versant, il n'existe que peu ou pas de zones de stockage temporaire des eaux de pluie. Cela se traduit par des temps de concentration homogènes et rapides, et donc par des débits de pointe élevés.

Les berges excavées constituent des zones de risque fort vis à vis des glissements de terrain.

Les laisses de crues récentes observées sont repérées sur la carte présentée en Annexe I.5 et donnent une première estimation de la hauteur d'eau atteinte par la rivière en certains endroits. Elles confirment que l'eau a atteint les habitations durant la dernière saison des pluies dans la zone urbaine située en amont du pont.

Selon divers témoignages, la zone la plus soumise aux inondations est la zone urbanisée en amont du pont (Annexe I. 5).

Des embâcles de nature diverses (ordures, branchages et débris de toutes sortes) ont été repérés en amont immédiat de l'ouvrage de franchissement de la RN1, et en aval, à l'entrée du lotissement SIM (sortie de buse partiellement obstruée).

L'ouvrage de franchissement de la RN1 est en mauvais état ; il présente des fissures importantes sur les parois en rive gauche ; les berges immédiatement en aval en rive gauche sont fortement érodées et le "plancher" du pont y est détérioré.

En conclusion de nos enquêtes, la stabilité d'ensemble des berges est localement mise en défaut par les phénomènes d'érosion. La sécurité des personnes habitant sur ces terrains n'est plus assurée.

Le bassin versant naturel en amont de la zone d'étude n'offre pas de possibilités de stockage temporaire des eaux de pluie.

Les risques liés aux inondations peuvent être qualifiés de très forts sur l'ensemble de la zone d'étude, et en cas de crue, la sécurité des biens et des personnes n'est plus assurée.

6. Calcul des débits de projet

6.1 CHOIX DU RISQUE RETENU

A défaut d'études locales de diagnostic concernant les crues torrentielles, ce sont les directives de la circulaire du 24 Janvier 1994 concernant les crues de plaines qui ont été retenues (circulaire INT 77.284 (J.O du 22/77) du ministère de l'intérieur, de l'équipement, de la santé et de la qualité de la vie). Cette circulaire définit « *une crue de référence qui est la plus forte crue connue ou, si cette crue est plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière* ».

La plus forte crue observée au droit de la station hydrométrique de Bouyouni-Haut est la crue du 14.02.02 qui a atteint un débit de $60 \text{ m}^3/\text{s}$. L'analyse hydrologique du bassin versant de la rivière Bouyouni, réalisée dans le cadre de l' "étude hydrologique et hydraulique de la rivière Massakini" met en évidence que le débit de crue décennale au droit de la station de Bouyouni-Haut est de l'ordre de $78 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui est supérieur au débit maximum observé à ce point.

Conformément à la législation en vigueur et compte tenu des risques encourus par la population, les travaux d'aménagement de la rivière Bouyouni seront dimensionnés sur la base d'un **débit centennal**.

6.2 METHODOLOGIE DU CALCUL

La démarche mise en œuvre tient compte des recommandations du rapport BRGM/RC-52089-FR ; seuls les points principaux sont rappelés ici.

Par suite des pentes importantes et du caractère naturel du bassin versant d'étude, les débits de projet sont calculés en utilisant la méthode rationnelle (Annexe II) :

- en utilisant un **coefficient de ruissellement C** de 0.4 pour le bassin versant naturel dans le cas d'une crue décennale, ce coefficient de ruissellement sera pris égal à 0.6 pour le calcul associé à la fréquence centennale²;
- un **temps de concentration** basé sur les formules de Kirpich/ Giandotti/ Passini. Pour le bassin d'étude nous prendrons la moyenne des trois résultats obtenus conformément aux recommandations du rapport BRGM/RC-52089 ;
- la **pluviométrie** pour les pluies de durée égale au temps de concentration du bassin versant selon les résultats du rapport BRGM/RC-52089.

² L'intensité des pluies survenant à Mayotte doit aboutir à saturer tous les sols bien avant une fréquence décennale ; les débits de projet centennaux ont été calculés à partir de la crue décennale en considérant que toute l'augmentation de la pluie contribue au ruissellement. *In fine* le coefficient de ruissellement retenu pour la crue centennale est 0.6.

6.3 SYNTHÈSE DES ÉLÉMENTS D'HYDROLOGIE DE CRUE

Les débits caractéristiques de crue ont été déterminés en appliquant la méthodologie précitée. Les calculs intermédiaires, les formules utilisées, et le choix de la condition limite avale sont explicités en annexe II.

Le tableau ci-après récapitule les principales caractéristiques hydrologiques du site d'étude :

	La BOUYOUNI
superficie du bassin versant (en ha)	966
débit de pointe décennal (en m ³ /s)	95
débit de pointe centennal (en m ³ /s)	214
temps de base moyen (en h)	3.3
condition limite avale (m NGM)	3.56

Tableau 2 - Synthèse des éléments d'hydrologie de crue

7. Modélisation mathématique des écoulements en situation actuelle

7.1 PRESENTATION GENERALE DU MODELE

Pour modéliser les écoulements de crue de la rivière Bouyouni, HYDRETUDES a utilisé le logiciel de calcul ISIS-FLOW de HALCROW & HR Wallingford : logiciel de calcul des lignes d'eau en réseau linéaire, ramifié ou maillé, en régime permanent ou transitoire, écoulement fluvial ou torrentiel.

La modélisation ne prend pas en compte les phénomènes de charriage et de transport de corps flottants ainsi que les phénomènes de vague inévitables.

7.1.1. Modélisation du lit mineur

La rivière est découpée en sections hydrauliques correspondant à des profils en travers du lit, aux ouvrages hydrauliques présents (ponts, seuils), reliées en abscisses (X,Y,Z).

⇒ Le modèle a été construit à partir de 55 profils en travers sur la rivière Bouyouni relevés lors de la campagne topographique terrestre effectuée par le cabinet de géomètres TEMA Sarl, en avril 2002 et complétée en juin 2003. La densité moyenne des profils est de un profil tous les 25 m.

Outre les caractéristiques citées précédemment, le modèle intègre dans la limite des données topographiques disponibles les éléments suivants :

- pertes de charge dues aux convergences ou divergences trop brutales ;
- pondération qui permet de tenir compte partiellement de l'effet des courbures ;
- rugosité hydraulique, qui définit la résistance du lit à l'écoulement (coefficient de Strickler). Les valeurs adoptées pour ce coefficient, variables tout au long du cours d'eau selon sa nature physique sont :

	Coefficient de Strickler
lit mineur	K = 18 à 30
berges naturelles	K = 15 à 20
berges érodées nues de toute végétation	K = 25 à 30
gabions	K = 25

Tableau 3 – Coefficients de Strickler choisis

7.1.2. Modélisation des écoulements en zones d'inondation

Le logiciel ISIS-Flow est capable de modéliser les plaines d'inondation par :

- extension des profils en travers sur la totalité de la vallée (modèle filaire mono-dimensionnel) ;

ISIS peut différencier sur un même profil en travers, des sous-sections hydrauliquement distinctes par l'intermédiaire de labels. Ainsi, le calcul des vitesses et des débits transitant, peut être réalisé distinctement sur une même section suivant le lit mineur, le lit majeur ou des zones de stockage.

- zones de stockage des eaux à restitution différée (modélisation à « casiers ») ;

Le lit mineur (portion géométrique comprise entre les deux sommets de digue rive droite et rive gauche) est connecté à la plaine d'inondation de la rivière Bouyouni (modélisée sous forme de réservoir ou bien de rivière parallèle dans le cas où des chenaux d'écoulement de crue préférentiels seraient caractérisés) par l'intermédiaire de « spills » latéraux (liaisons lit mineur – lit majeur avec des lois de déversement latéral avec orientation des débits aussi bien entrant que sortant selon les caractéristiques des écoulements de crue sur le secteur). Ces réservoirs seront également reliés entre eux sur chaque rive afin d'intégrer les débits qui évoluent en permanence sur le lit majeur.

- rivières parallèles (modèle pseudo-bidimensionnel).

7.1.3. Calage du modèle

Le calage est effectué autant que possible sur les relevés des crues du 6 février 2003 : les témoignages correspondants à ces événements pourront ainsi éventuellement permettre de retoucher les estimations de pertes de charge du modèle. Mais à défaut de calage précis du modèle, on se propose de retenir les coefficients de Manning-Strickler sur la base de nos expériences passées, de la granulométrie constatée et des valeurs usuelles admises.

7.1.4. Conditions aux limites

La section aval est située au début du delta de la rivière Bouyouni et est donc fortement influencée par le niveau de la mer. Le BRGM propose de choisir un niveau des Plus Hautes Eaux en aval de la zone d'étude de la rivière Bouyouni correspondant aux marées de vives eaux exceptionnelles et à une surcote cyclonique de 1,14 m qui est la surcote maximale survenue à Mayotte. Ceci correspond à : **2.42 + 1.14 = 3.56 m NGM** (Annexe II).

7.1.5. Débits modélisés

Les simulations hydrauliques ont été réalisées sur la base de l'étude hydrologique réalisée par le BRGM dans le cadre de ce présent travail :

- ☞ $Q_{10} = 95 \text{ m}^3/\text{s}$
- ☞ $Q_{100} = 214 \text{ m}^3/\text{s}$

7.1.6. Simulations réalisées

Elles ont été de 2 types :

- en régime permanent du lit mineur, ceci permettant de mettre en exergue les points de submersion des berges ;
- en régime permanent avec casier avec intégration de la topographie en lit majeur.

Dans un premier temps, la modélisation est effectuée en régime permanent. Suivant ses résultats, les points de débordement qu'elle laisse présager (niveau au dessus des berges) et les zones de stockage présentes sur les rives aux points de débordement, on détermine si la modélisation en régime permanent par casier s'avère profitable pour affiner les résultats. Afin de définir le fonctionnement de ces zones et leurs effets, nous avons produit une modélisation en régime permanent par casier avec introduction du débit maximum sur la rivière Bouyouni. A constatation d'un débordement et par analyse de la topographie, nous avons définis les possibilités de stockage avec création de réservoir.

Rappel : les réservoirs sont reliés tout au long du lit mineur par des lois de déversement latérales avec orientation des débits aussi bien entrant que sortant selon les caractéristiques des écoulements de crue sur le secteur.

7.2 PRESENTATION DES RESULTATS DE L'ETUDE HYDRAULIQUE

Listing des calculs (Annexe III)

Il y est indiqué :

- la désignation des sections de calcul (profil) ;
- le débit transitant dans la section ;
- le niveau N.G.M. atteint par l'écoulement dans la section ;
- la vitesse moyenne dans la section ;
- le niveau N.G.M. du fond du lit dans la section ;
- le niveau N.G.M. de la charge totale.

Profil de chaque section

Les niveaux d'eau atteints par les crues décennales et centennales, ainsi que les vitesses moyennes en lit mineur y ont été reportés, permettant d'apprécier localement les débordements et l'allure du lit.

7.3 VALIDITE DU MODELE – PRECISION DES RESULTATS

Les écoulements ont un caractère fluvial sur l'ensemble du linéaire.

Par rapport aux données introduites dans le programme, la précision des calculs est inférieure au centimètre. Par contre, les résultats dépendent fortement de ces données introduites, principalement topographiques. Ainsi, la discrétisation du lit dans sa longueur par des profils distants de plusieurs dizaines de mètres schématise les formes réelles du lit naturel.

Il faut en tenir compte lors de l'exploitation des résultats, en particulier en ce qui concerne les effets de verrou et rivière parallèles dont la morphologie très singulière ne peut être reproduite dans le modèle.

D'autre part, il convient d'indiquer que les écoulements réels sont susceptibles de variations non négligeables par rapport aux valeurs calculées, essentiellement dues :

- aux obstacles ponctuels (débris, corps flottants.. ..) obstruant le lit qui peuvent affecter les niveaux ;
- aux instabilités transitoires tels les ressauts hydrauliques (phénomènes particulièrement actifs au verrou,...) ou les fluctuations du fond (basculement de banc, engravements ponctuels, affouillements...) ;
- au transport solide qui n'est pas intégré dans le modèle et qui peut rehausser la ligne d'eau.

La topographie particulière de la rivière Bouyouni (présence de nombreuses contre-pentes dans le lit mineur de la rivière) induit des instabilités dans le calcul de la dynamique des écoulements de crue (résolution des équations de Saint-Venant faisant intervenir la pente moyenne), avec notamment des ressauts de la ligne d'eau.

Bien que ne remettant pas en cause la cohérence des résultats, l'ensemble de ces approximations justifie la prise en compte du **niveau de charge totale** pour la réalisation des aménagements lorsque les enjeux sont d'ordre économique ou humain.

7.4 ANALYSE DES RESULTATS

Les conditions d'écoulement de crue décennale et centennale sont analysés d'amont en aval.

- **Amont du pont de la RN1 (P1 à P19)**

La crue de temps de retour 10 ans ne déborde pas du lit mineur de la rivière avant le profil P13. De légers débordements se produisent en rive droite entre les profils P13 et P15 mais leur expansion est limitée à moins de quelques mètres et ne touchent aucune habitation. Le débit de crue décennale sur ce tronçon correspond à peu près au débit de plein bord.

Pour la crue centennale, des débordements sont observés en rive droite dès le profil P6 sur le lotissement situé entre le lit de la rivière et la RN1. Entre les profils P6 et P11, c'est environ 30,5 m³/s qui transitent sur le lit majeur rive droite entre les habitations. Une partie de ces écoulements rejoint le lit mineur de la rivière entre les profils P12 et P14.

Entre les profils P15 et P19, un débit maximum instantané de près de $74,5 \text{ m}^3/\text{s}$ déborde à nouveau en rive droite de la rivière Bouyouni sur ce même lotissement. **Le lotissement est submergé par près de 80 cm d'eau sans grande vitesse. Près de $61 \text{ m}^3/\text{s}$ submergent la RN1** sous une lame d'eau de 10 à 50 cm et s'écoulent dans les terrains en arrière avant de rejoindre le lit de la rivière plus en aval. **En rive gauche, des débordements se produisent pour la crue centennale** ; ceux-ci sont canalisés par le talus d'un chemin de terre jusqu'au profil P17, à partir duquel, les débordements rejoignent un lotissement, submergé sous quelques 80 cm d'eau avec des vitesses moyennes de l'ordre de 20 cm/s.

- **Ouvrage de franchissement de la RN1 (P20-P21)**

L'ouvrage de franchissement de la RN1 est suffisant pour la crue décennale et offre un tirant d'air de 74 cm par rapport au niveau en Q_{10} . La perte de charge induite par l'ouvrage est de 1,42 m.

Par contre, **l'ouvrage est en charge et submergé en Q_{100} sous près de 1 m**, le débit maximum transitant par-dessus l'ouvrage, sur la RN1 est de $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette mise en charge est due notamment au fait que l'ouvrage est noyé par le niveau aval dans le lit de la rivière.

- **Aval du pont de la RN1 (P22 à P57)**

Entre les profils P21 et P42, le lit de la rivière Bouyouni est suffisant pour faire transiter la crue décennale, à l'exception du méandre compris entre les profils P25 et P30, où des débordements sont localisés en rive gauche, coupant ainsi le méandre. Les vitesses en lit mineur sont de l'ordre de 1 à 1,5 m/s. Au niveau des profils P42, P43 et P44, des débordements se produisent en rive droite au niveau d'un thalweg peu marqué atteignant la rive droite de la rivière (débit de pointe de $16,5 \text{ m}^3/\text{s}$). La rive droite, constituée de cultures de manioc, est sous quelques centimètres d'eau en crue décennale. En aval, à partir des profils P51 et P52, des débordements sont également observés en rive droite ; les cultures sont submergées par une lame d'eau de l'ordre de 50 à 80 cm d'eau.

Par contre, **la crue centennale est fortement débordante** sur ce tronçon de la rivière Bouyouni. Les débordements importants localisés en amont du pont de la RN1 en rive gauche et droite s'écoulent en lit majeur avant de rejoindre en partie le lit mineur de la rivière Bouyouni au niveau des profils P27 et P28. Les vitesses en lit mineur sont comprises entre 1,5 et 3 m/s, leur conférant un pouvoir érosif certain, notamment dans les extrados de méandre (certains devront d'ailleurs être traités à l'aide de protections en gabions au niveau d'enjeux locaux forts). Entre les profils P28 et P38, la crue centennale est contenue dans le lit mineur de la Bouyouni, avec parfois des revanches entre la ligne d'eau et les sommets de berge relativement faible.

Dès le profil P39, des débordements se produisent en rive gauche, touchant les habitations situées entre le lit de la rivière et la RN1 (celle-ci est même submergée en partie aval par 80 cm d'eau). Toute la rive gauche est submergée par une lame d'eau variant de 50 cm à plus de 1,50 m avec des vitesses négligeables. Des enjeux forts sont d'ailleurs recensés comme l'Ecole maternelle (sous 70 cm d'eau).

D'importants débordements sont également observés en rive droite dès le profil P42 (comme pour la crue décennale) avec un débit maximum débordant de l'ordre de $57 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette zone inondable, sans enjeu majeur à l'exception de cultures, devra sans doute être optimisée en terme de stockage d'eau, afin de favoriser les débordements en rive droite et protéger ainsi la rive gauche dont l'occupation du sol et le niveau de risque justifient des mesures de protection fortes.

8. Proposition d'aménagements

8.1 PRINCIPE D'AMENAGEMENT

Le diagnostic précédent a révélé de nombreux points critiques vis-à-vis de la sécurité des personnes et des biens dans le village de Bouyouni. Les aménagements proposés ont pour objectif de maîtriser les écoulements de crues, en limitant les débordements et inondations sur les zones habitées par la mise en place de merlons de protection. En outre les extrados des méandres seront protégés par mise en place de gabions. Enfin, la dynamique des crues sera améliorée au niveau de la chute en amont du village et du pont de la RN1.

Le dimensionnement des ouvrages a été effectué pour un débit de projet centennal, à partir du levé topographique fourni par le Maître d'ouvrage. Il est évident que ce levé donne une modélisation du terrain qui est imparfaite, notamment pour les berges, ce qui impliquera lors de la réalisation des travaux d'adapter si besoin les indications fournies, ceci étant principalement valable pour l'implantation des merlons de protection.

Les cotes de merlons sont fournies en annexe au niveau de chaque profil en travers, avec une revanche de 25 cm par rapport à la ligne d'énergie totale calculée. Entre chaque profil les cotes doivent être interpolées linéairement. Les hauteurs de merlons indiquées sont indicatives à cause de la discrétisation du terrain réel par le levé topographique. Les merlons de terre auront une largeur minimale en crête de 1 m, avec des pentes de talus de 1V/2H au maximum. Leur mise en place devra être accompagnée d'un compactage des matériaux et de leur végétalisation (ensemencement, plantations).

En outre, les extrados de méandres à l'arrière desquels les enjeux le justifient, seront protégés par pose de gabions.

L'ouvrage de traversée de la RN1 sera remplacé et rendu « hydrauliquement transparent ». Pour ce faire, il sera réalisé un ouvrage à une seule travée, sans appui en lit mineur, de portée 35 m. Le gabarit « naturel » de la ravine lui sera ainsi rendu au niveau de l'ouvrage (sans rétrécissement du lit).

Enfin, un déroctage de la chute au niveau du profil P2 sera réalisé afin d'augmenter la section d'écoulement et limiter ainsi les débordements rive droite en amont de la chute.

8.2 DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES

● Secteur amont RN1

Pour protéger la zone urbanisée en rive droite de la ravine Bouyouni, HYDRETUDES préconise le déroctage de la chute rocheuse en amont de l'entrée du village, afin de donner au lit de la ravine un gabarit plus important et éviter des débordements en rive droite, en amont de la chute. Devant l'importance du volume à dérocter, HYDRETUDES a proposé, sur demande du Maître d'Ouvrage Délégué, trois solutions de déroctage avec possibilité de construire un muret de protection en rive droite pour limiter le volume à dérocter. Ces propositions sont détaillées en annexe III.4.

La mise hors d'eau du lotissement situé en rive droite de la rivière Bouyouni sera également assurée par la remise au gabarit de l'ouvrage de traversée de la RN1, rendu « hydrauliquement transparent » (voir paragraphe 4.2.2) ainsi que par la construction d'une digue en remblai compacté d'une hauteur variant de 30 cm à 1,70 m.

Ce merlon constitué par les matériaux issus des terrassements en déblai de la zone aval, de 365 mètres de linéaire, sera végétalisé (mise en place d'une couche de terre végétale et ensemencement des surfaces travaillées).

- **Ouvrage de traversée de la RN1**

L'ouvrage actuel forme un verrou au niveau du lit mineur de la rivière Bouyouni et sa mise en charge provoque par contrôle aval des écoulements, une remontée de la ligne d'eau centennale, provoquant des débordements sur les lotissements en rive gauche et droite. C'est pourquoi, il est nécessaire de refaire cet ouvrage, afin de le rendre « hydrauliquement transparent » au débit de crue centennale. Pour ce faire, on fera entièrement l'ouvrage suivant les caractéristiques suivantes³ :

- reprise du lit de la rivière Bouyouni afin de faire « sauter » le verrou et éviter ce rétrécissement de la section du lit mineur ;
- appuis ou culées hors lit mineur ;
- cote sous-poutre : 7.81 m NGM (Charge totale) + 0.50 (revanche de sécurité) = 8.31 m NGM ;
- reprise de la berge rive droite en enrochements maçonnés.

En outre, la berge rive gauche en extrados du coude formé à l'amont du pont sera protégée par la mise en place d'un épi déflecteur, en enrochements libres (blocs 1.5 à 2 T) d'un volume d'environ 190 m³.

Secteur aval RN1

La mise hors d'eau du lotissement situé en aval de l'ouvrage de traversée de la RN1, en rive gauche de la rivière Bouyouni, sera assurée par la construction d'un cordon constitué de tronçons de digue et muret. D'amont en aval, cet ouvrage linéaire sera constitué :

- ✓ d'un merlon végétalisé (talus à 2h/1v, largeur en crête de 1m) long d'environ 70 ml, d'une hauteur comprise entre 25 et 75 cm ;
- ✓ d'un muret en béton armé (ou pierre de taille) de 16.5 m de long, d'une hauteur moyenne de 70 cm environ, raccordé sur la digue amont et aval ;
- ✓ d'une merlon végétalisé (talus à 2h/1v, largeur en crête de 1m) long d'environ 70 ml, d'une hauteur comprise entre 40 et 65 cm ;

³ Les caractéristiques du futur pont sont données à titre indicative ; en effet, les travaux de réalisation du pont ainsi que son intégration au dispositif de lutte et de protection contre les inondations et les érosions de berges seront réalisées par la Direction de l'Equipement et ne rentrent pas dans le cadre du présent marché.

- ✓ d'un muret en béton armé (ou pierre de taille) ceinturant un thalweg rejoignant le lit de la rivière droite, de 42 m de long, d'une hauteur moyenne de 60 cm environ, raccordé sur la digue amont et aval ;
- ✓ d'une merlon végétalisé (talus à 2h/1v, largeur en crête de 1m) long d'environ 325 ml, d'une hauteur comprise entre 90 et 120 cm, raccordé sur la RN1 rehaussée par la mise en place d'un ouvrage type ralentisseur, évitant le retour des débordements et le contournement de la digue par l'aval.

longueur totale de digue (merlon ou muret maçonnés en m)	465
volume total de remblai (m ³)	4500
longueur total de mur (m)	60

Tableau 4 – Ouvrage linéaire de protection du secteur aval RN1

• **Prescriptions techniques concernant le muret en maçonnerie de moëllons :**

Dans le cas où l'emprise au sol ne permet pas de construire des merlons de protection en terre compactée, il est envisageable de construire un muret de protection en maçonnerie de moëllons. La cote de ces ouvrages sera égale à celle indiquée pour les merlons de protection en annexe III.

Les moëllons seront bruts au sens de l'article 5 du fascicule 64 du C.C.T.G., notamment : « les moëllons auront au moins 15 cm dans leur plus petite dimension sur 20 cm de queue pour les massifs et 30 cm de queue pour les parements. Les moellons employés en parement sont choisis et dégrossis de manière à ne pas présenter de saillie ni de flache de plus de 3 cm par rapport au plan du parement de l'ouvrage et de façon à présenter un retour d'équerre de 3 cm au moins ».

Les moellons seront issus de matériaux alluvionnaires dont les caractéristiques techniques sont définies dans le tableau 5 :

masse volumique (T/m ³)	2.7
non fissurés	
porosité (%)	< 3
résistance à la compression	≥ 40 Mpa
essai Deval	≥ 5

Tableau 5 – Caractéristiques techniques des moëllons pour les murets en maçonnerie

• **Protection des extrados des méandres « à enjeux » par mise en œuvre de gabions**

Différentes zones d'instabilité de berge ont été recensées au niveau d'enjeux pour la sécurité des personnes et des biens, notamment au niveau des extrados de méandre de la rivière. Afin de créer un point d'appui « dur » et éviter à terme la déstabilisation de toute la berge, des protections locales en gabions seront mises en place au niveau de ces méandres.

On aura recours pour le remplissage des gabions à des matériaux durs, insensibles à l'eau, sains, non évolutifs, non gélifs et non friables ayant la plus haute masse spécifique possible (au minimum 2200 kg/m³). Ce matériau devra être propre, avoir une forme homogène dans ses trois dimensions et être constitué de galets ou de concassé de qualité.

La granulométrie conseillée sera comprise entre 80 et 250 mm pour les gabions. Il faudra éviter les trop gros éléments (aucun granulat ne devra dépasser dans sa plus grande dimension, 0.5 fois l'épaisseur du gabion).

Le grillage constitutif du gabion sera à maille hexagonale double torsion de type 80 (maille 80 x 100 conformément à la norme EN 10223-3) en fil métallique revêtu de GALFAN® et plastifié de 2.70 / 3.70 mm (âme acier 2,70 mm) de diamètre avec fils de renforts longitudinaux et de lisière sur le pourtour et sur toutes les arêtes de la structure.

longueur totale de protection de berges en gabions (m)	176
hauteur moyenne (m)	4
volume total de gabions (m ³)	1600

Tableau 6 – Caractéristiques générales des protections en gabion

9. Conclusions

Suite aux épisodes de crues du 6 février 2003, la Direction de l'Equipement de Mayotte a demandé au BRGM de réaliser une étude hydrologique et hydraulique de la rivière Bouyouni.

Cette étude a eu pour objectif le **dimensionnement d'aménagements de lutte et de prévention des risques d'inondations et d'érosion de berges**.

Les enquêtes de terrain menées par le BRGM en février 2003 ont mis en exergue les problèmes d'érosion de berges (phénomènes d'excavation) et d'inondation, en particulier dans la zone urbanisée en amont du pont, et dans la zone du lotissement (cases SIM), en aval du pont. En cas de forte pluie, la sécurité des personnes et des biens n'est plus assurée.

Etant donné les risques encourus par la population en cas d'inondation, et conformément à la législation en vigueur, il a été décidé de dimensionner les ouvrages de protection pour une **crue de période de retour 100 ans**.

L'étude hydrologique de la rivière Bouyouni a permis de déterminer les paramètres d'hydrologie de crue, et en particulier les débits de pointe centennaux ($Q_{100 \text{ ans}} = 214 \text{ m}^3/\text{s}$).

Une **modélisation mathématique** (logiciel de calcul ISIS-FLOW de HALCROW & HR Wallingford) des écoulements de crue a été réalisée par le cabinet HYDRETTUDES. Le diagnostic réalisé a révélé de nombreux points critiques vis-à-vis de la sécurité des personnes et des biens sur le village de Bouyouni, ce que confirmait les relevés de terrain.

Les aménagements proposés ont eu pour objectif de maîtriser les écoulements de crue, en limitant les débordements et inondations des zones habitées par la mise en place de merlons de protection, tout en assurant la stabilité des berges par protection des extrados des méandres par mise en place de gabions.

En outre, grâce à ces aménagements la dynamique des crues sera améliorée au niveau de la chute en amont du village et du pont de la RN1. De plus l'ouvrage de franchissement de la RN1 sera entièrement refait (vraisemblablement en 2004) suivant les prescriptions de l'étude hydraulique.

L'ensemble des calculs hydrologiques, hydrauliques et des aménagement proposés est détaillé dans le présent rapport et ses annexes.

10. Bibliographie

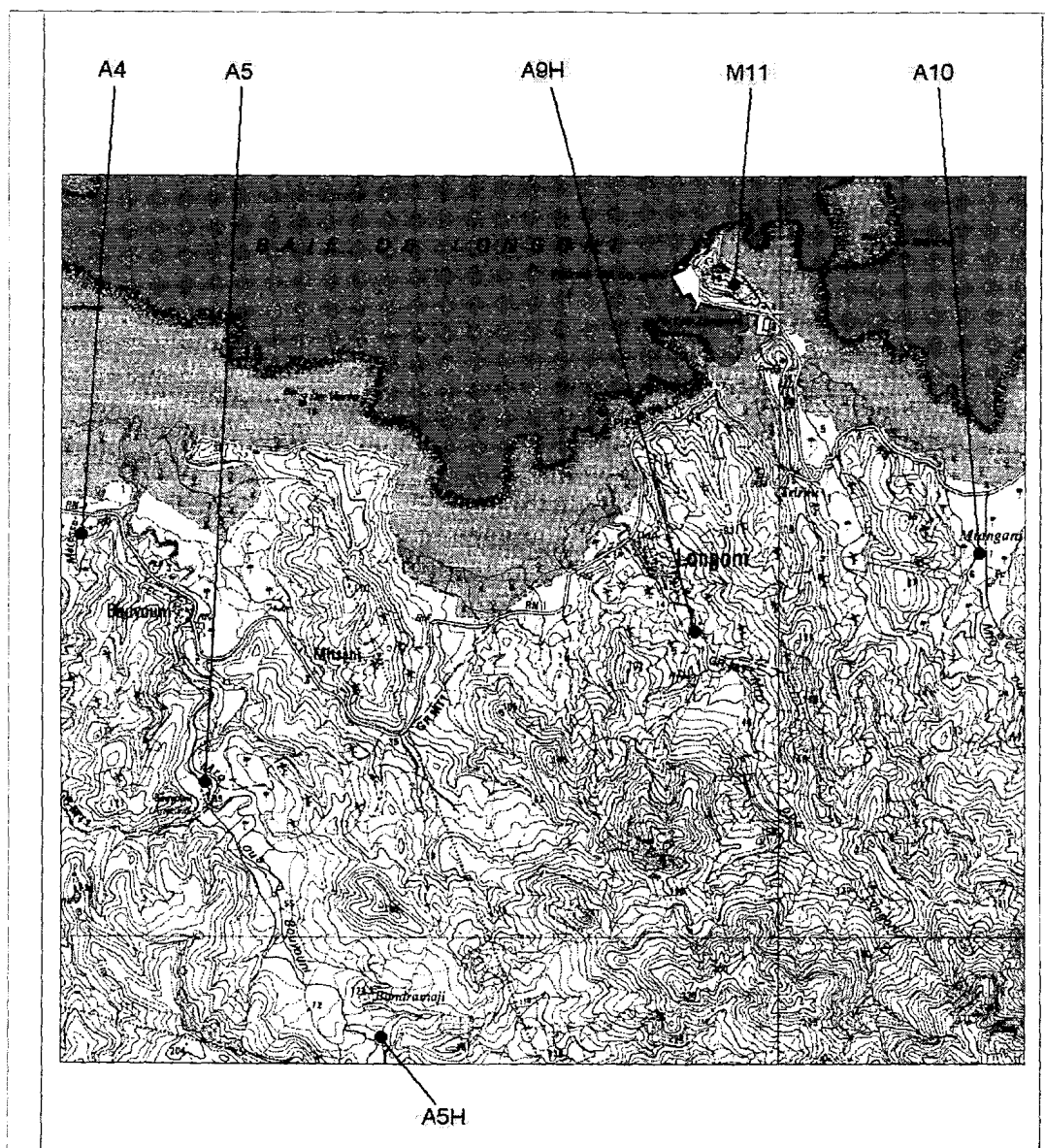
- Anonyme (1977) – Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations. Circulaire INT 77.284 (J.O du 22/77). Ministère de l'intérieur, de l'Equipement, de la Santé et de la Qualité de la Vie.
- BCEOM (2001) - Reconstruction du pont de Dembéli. Rapport A 01-01 / 10800 T, RN3.
- Bouttes F. (1987) - Aéroport de Mayotte, extension de la piste, note sur les houles et les surcotes de projet. STCPPMVN, Compiègne, 15 p.
- Direction de la Météorologie - Service météorologique régional de La Réunion (1984) – Rapport sur le cyclone tropical Kamisy, 3 au 16 Avril 1984.
- Direction de la Météorologie - Service de Mayotte (1985) – Rapport préliminaire sur la forte dépression tropicale Feliksa.
- Haugomat C. (2000) – Protection du littoral de Mayotte, approche du phénomène cyclonique et propositions d'investissement. Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Direction de l'Equipement de Mayotte. Travail de fin d'études, 54 p.
- Jourdain T., Lachassagne P., Lebon D, Miehe J.M, Mouron R. (2002) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte campagne 2001-2002 – Synthèse des résultats des reconnaissances géologiques, hydrogéologiques, géophysiques et radon – Propositions d'implantation des sondages de reconnaissance. Rapport BRGM/RP-51498-FR 2002 MAY 01, 33 fig, 6 tab, 4 ann, 115 p.
- Lencastre A. (2002) – Hydraulique générale. Editions Eyrolles.
- Météo-France, Division Prévision Marine et Océanographie (2003) - Surcotes liées au passage d'un cyclone à Mayotte.
- Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement – Ministère de l'Equipement des Transports et du Logement (1997) – Plans de prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) – Guide général.
- SHOM (2002) – Annuaire des marées ; tome 2 ; ports d'outre-mer, 233 p.
- Stieltjes L. (1988) - Carte géologique de Mayotte à 1/50 000 et sa notice. Ed. BRGM.
- Stollsteiner P., Pouget R., Maurillon N., avec la collaboration de J.C. Audru (2003) – Etude hydrologique et hydraulique de la ravine Massakini, commune de Mamoudzou (Mayotte). Rapport BRGM/RP-52089-FR, 18 fig, 34 tabl, 4 ann, 170 p.

ANNEXES

Annexe I " Eléments de localisation et d'introduction "

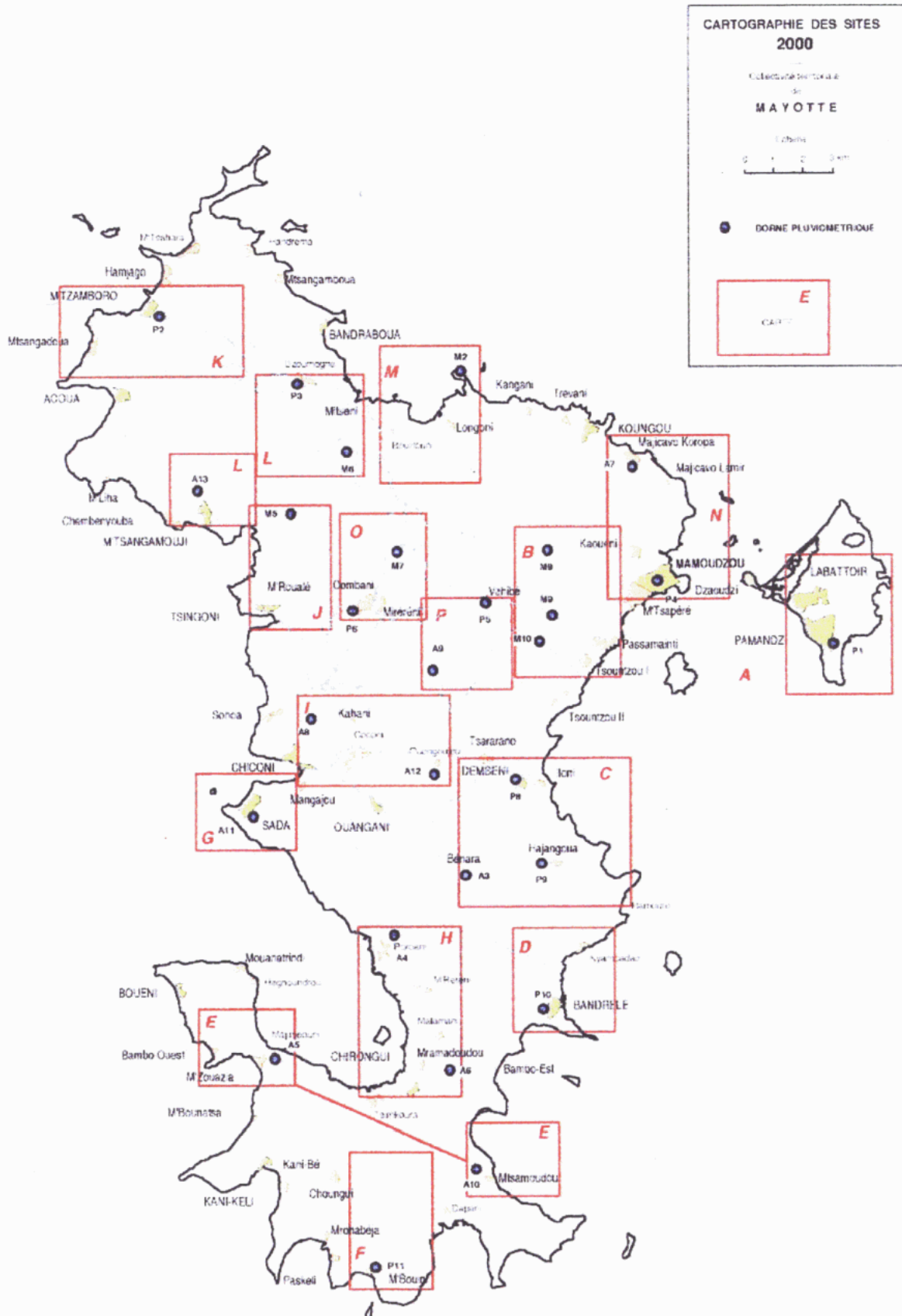
1. Localisation des stations hydrométriques sur la rivière Bouyouni
2. Localisation des stations pluviométriques de Mlima Digo et de la Convalescence
3. Reportage DAF/SER sur la crue du 06 Février 2003
4. Schéma d'aménagement de le commune de Bandraboua, village de Bouyouni
5. Carte de synthèse des relevés de terrain

Annexe I.1 Localisation des stations hydrométriques sur la rivière Bouyouni



A5 H station hydrométrique de Bouyouni Haut, équipée d'enregistreur automatique
A5 station hydrométrique de Bouyouni Bas, site de jaugeage hebdomadaire

Annexe I.2 Localisation des stations météorologiques DAF et Météo-France



Annexe I.3 Données transmises par la DAF/SER sur la crue du 06 Février 2003



**LA CRUE DE LA RIVIERE BOUYOUNI
DU 06 FEVRIER 2003**

Image satellite
Site Internet Allmetsat.com

Données Annuaire
DAF/SER

Enregistrements (en cours) des données de la crue
DAF/SER

Photos Stéphane Eienberger
Société Dubromer

Mamoudzou le 07 février 2003

L. Giorgi
Hydrogéologue DAF/SER

LA CRUE DE LA RIVIERE BOUYOUNI DU 06 FEVRIER 2003

DONNEES SATELLITAIRES

Image satellite du 06 février 2003-02-07 téléchargeable sur le site Allmetsat.com

PLUVIOMETRIE

Pluie enregistrée en amont du bassin versant de la Bouyouni
100 à 125 mm de pluie (vérification en cours avec Météo France)

Cette pluie n'est pas considérée comme une pluie exceptionnelle.

Saison des pluies 2002

A la station de Lima Digo en amont du bassin versant de la Bouyouni
14 février 2002 : la pluie de 228,5 mm (cumul sur 24 heures) n'a pas occasionné de débordement

A la station de Longoni représentatif de l'aval du bassin versant de la Bouyouni
14 février 2002 : la pluie de 109 mm (cumul sur 24 heures)

Saison des pluies 2001

A la station de Lima Digo en amont du bassin versant de la Bouyouni
En mars une pluie de 124 mm (cumul sur 24 heures)

Saison des pluies 2000

A la station de Lima Digo en amont du bassin versant de la Bouyouni
En janvier une pluie de 100,5 mm (cumul sur 24 heures)

Saison des pluies 1999

A la station de Lima Digo en amont du bassin versant de la Bouyouni
Pas de pluie de plus de 70 mm

Saison des pluies 1998

A la station de Lima Digo en amont du bassin versant de la Bouyouni

En janvier une pluie de 89 mm (cumul sur 24 heures)

Saison des pluies 1997

A la station de Lima Digo en amont du bassin versant de la Bouyouni

En janvier une pluie de 98 mm (cumul sur 24 heures)

LES SEUILS DE JAUGEAGE

SEUIL AMONT (interrogation à distance opérationnelle depuis 15 jours)

Données pour l'estimation ultérieure du débit calculé sur le **seuil de jaugeage amont**

La crue en tête de bassin versant s'est écoulée entre 13h30 et 16h25 (interrogation à distance de la hauteur d'eau dans la rivière par le service de la DAF/SER)

06/02/2003

La décrue s'est amorcée entre 14h30 et 15h00

(des vérifications seront faites sur les enregistrements DAF/SER)

12h00 hauteur d'eau dans la rivière :

13h30 hauteur d'eau dans la rivière :

14h15 hauteur d'eau dans la rivière : 1,40 m

15h05 hauteur d'eau dans la rivière : 0,99 m

15h30 hauteur d'eau dans la rivière : 0,80 m

16h25 hauteur d'eau dans la rivière : 0,69 m

18h00 hauteur d'eau dans la rivière : 0,50 m

07/02/2003

06h50 hauteur d'eau dans la rivière : 0,31 m

13h30 hauteur d'eau dans la rivière : 0,35 m

14h30 hauteur d'eau dans la rivière : 0,33 m

19h00 hauteur d'eau dans la rivière : 0,30 m

SEUIL AVAL (interrogation à distance en cours de finalisation – récupération de l'historique)

Données pour l'estimation ultérieure du débit calculé sur le **seuil de jaugeage aval**

(à côté de la nouvelle station de pompage de Bouyouni)

La crue en bas du bassin versant s'est écoulée (estimation) entre 13h45 et 17h00

(récupération des enregistrements sauvegardés en cours par le service de la DAF/SER)

La décrue s'est amorcée après 15h00 / 15h30

(des vérifications seront faites dès que possible sur les enregistrements disponibles)

06/02/2003

12h00 hauteur d'eau dans la rivière :

13h30 hauteur d'eau dans la rivière :

14h15 hauteur d'eau dans la rivière : 2,72 m test d'interrogation (se reporter aux photos)

14h30 hauteur d'eau dans la rivière : 3,00 m test d'interrogation (à vérifier et à compléter)

15h05 hauteur d'eau dans la rivière : perte de données probable - coupure de courant

15h30 hauteur d'eau dans la rivière : perte de données probable - coupure de courant

16h25 hauteur d'eau dans la rivière : perte de données probable - coupure de courant

18h00 hauteur d'eau dans la rivière : perte de données probable - coupure de courant

07/02/2003

06h50 hauteur d'eau dans la rivière :

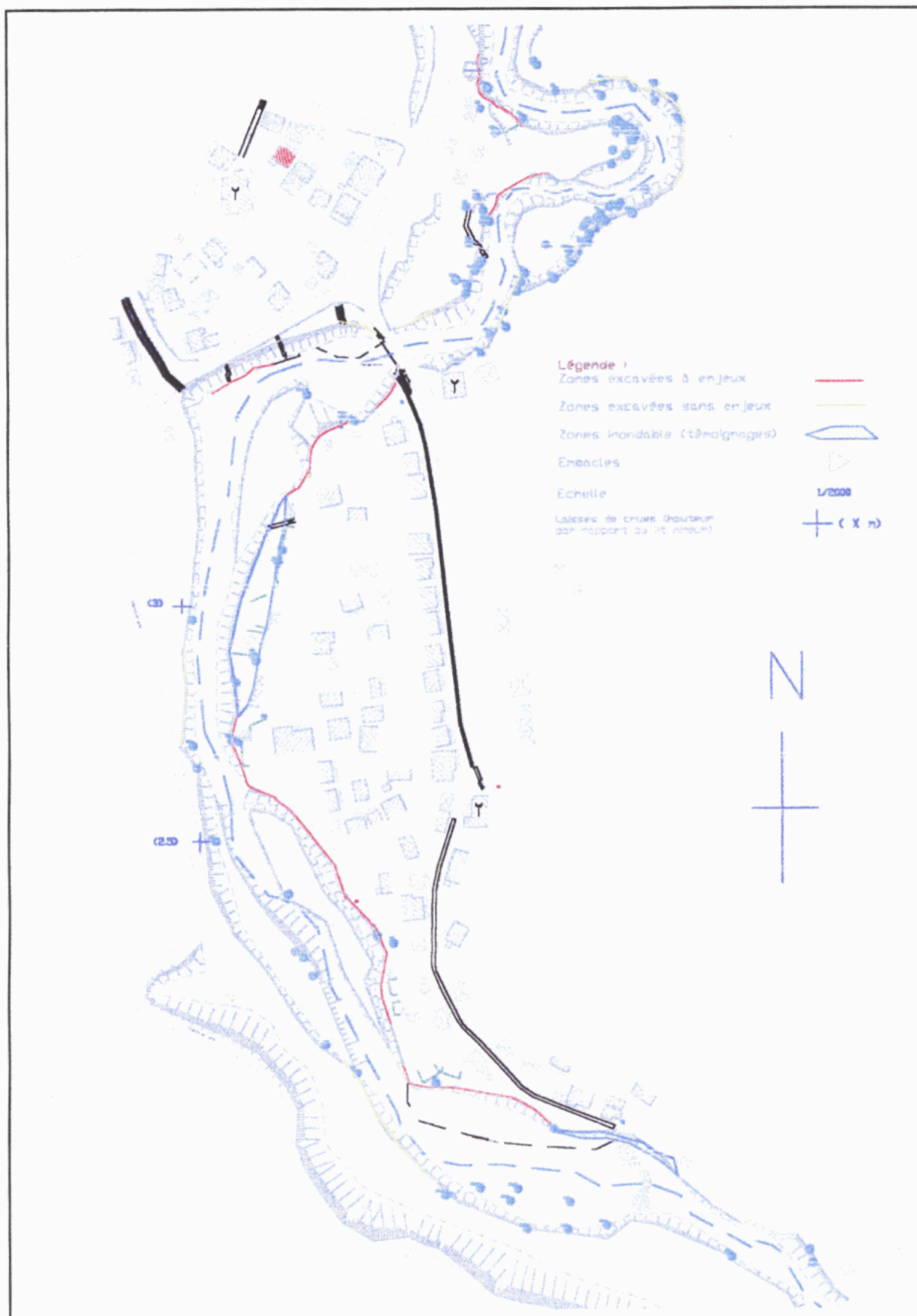
07h30 hauteur d'eau dans la rivière : 1,24 m

13h30 hauteur d'eau dans la rivière :

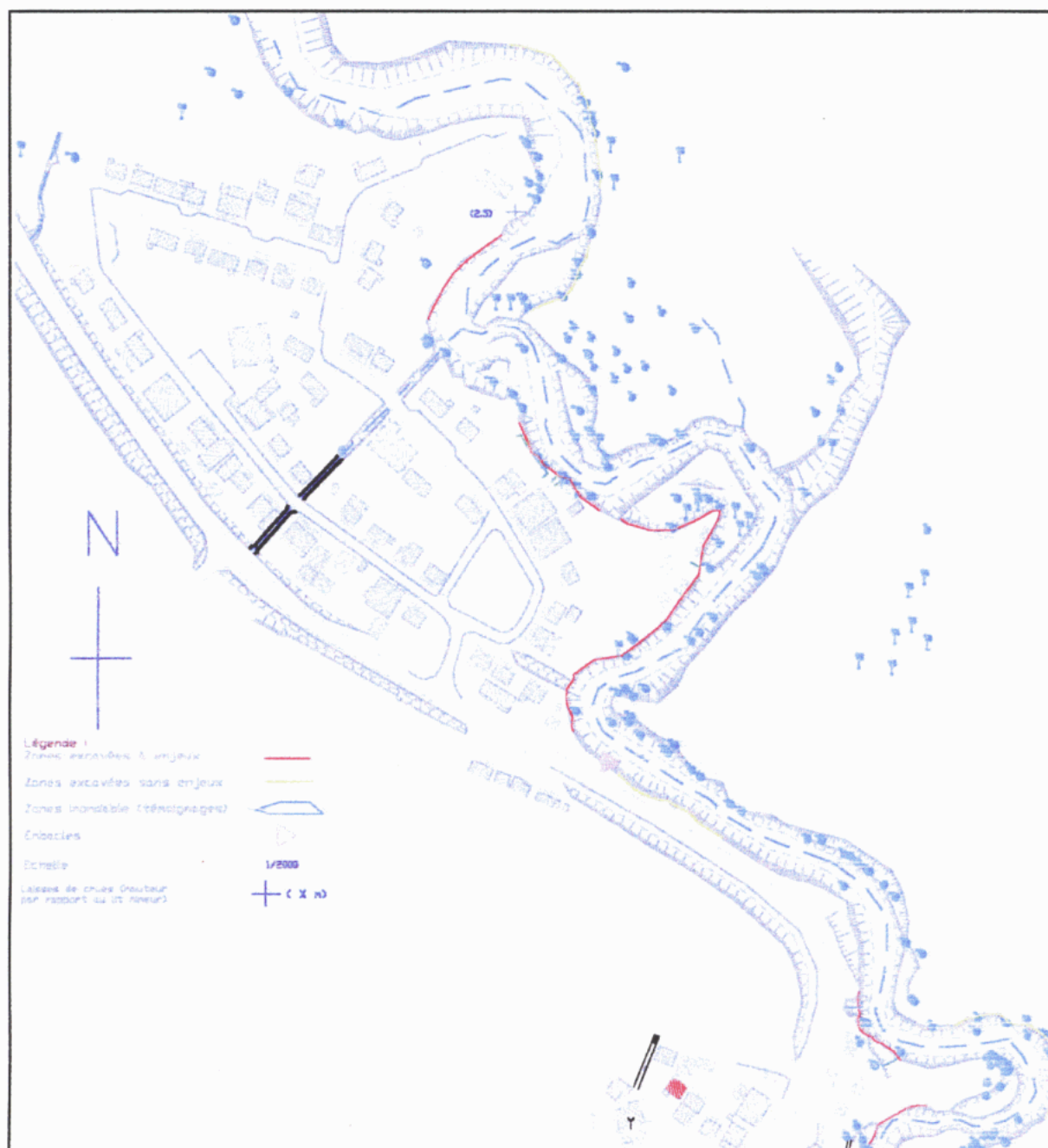
14h30 hauteur d'eau dans la rivière :

19h00 hauteur d'eau dans la rivière :

Annexe I.5 Carte de synthèse des relevés de terrain



Annexe I.5 Carte de synthèse des relevés de terrain

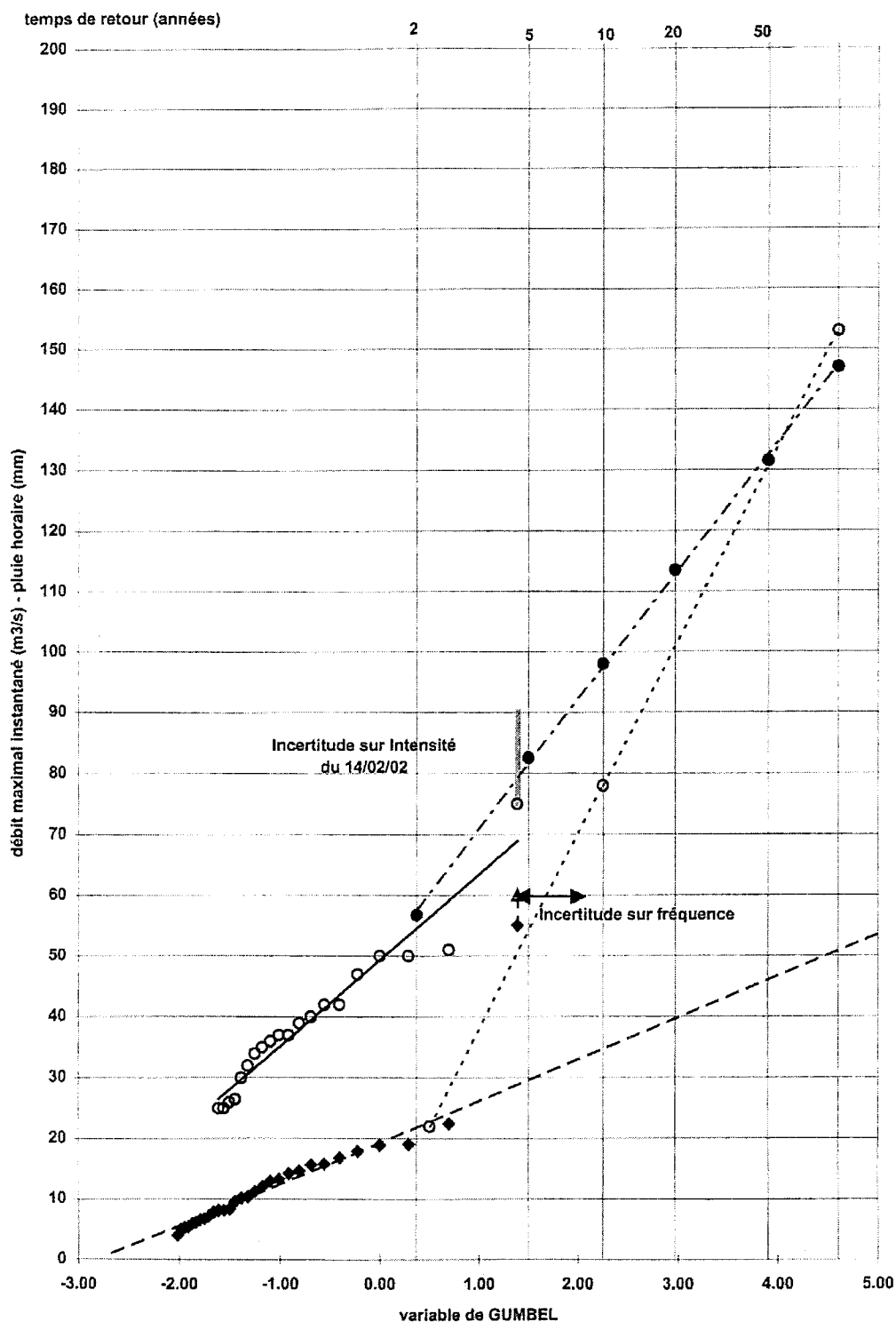


Annexe II " Eléments d'hydrologie "

1. Eléments d'analyse hydrologique à la station de Bouyouni-Haut (rapport BRGM /RC 52089-FR)
2. Formulaire de calcul
3. Calculs des débits de projet
4. Conditions océanographiques en aval de la zone d'étude

Annexe II.1

**Eléments d'analyse hydrologique à la station de Bouyouni-Haut
(rapport BRGM/RC 52089-FR)**



Station de Bouyouni : ajustements des débits maxima instantanés des crues supérieures à 4 m³/s et des pluies horaires associées.

PARAMETRES DES HYDROGRAMMES DES CRUES ENREGISTRES A BOUYOUNI HAUT EN 1999

	Crue du 12 janvier	Crue du 01 mars	Crue du 02 mars	Crue du 07 mars	Crue du 08 mars	Crue du 21 mars
Type	Simple	Simple	Multiple	Simple	Multiple	Simple
Débit au début de la crue	29 l/s	49,5 l/s	49,5 l/s	74 l/s	682 l/s	100 l/s
Hauteur d'eau au début de la crue	3 cm	4 cm	4 cm	5 cm	22 cm	6 cm
Débit de pointe	2,3 m3/s	4 m3/s	6 m3/s	6,6 m3/s	9,7 m3/s	8,2 m3/s
Débit spécifique	0,42 m3/s/km2	0,73 m3/s/km2	1,09 m3/s/km2	1,2 m3/s/km2	1,76 m3/s/km2	1,49 m3/s/km2
Hauteur d'eau maxi	49 cm	62 cm	73 cm	76 cm	89 cm	83 cm
Durée D de la crue	8 h 30	23 h	28 h	12 h 30	4 h 15	11 h 30
Volume sur la durée D de la crue	12 000 m3	32 500 m3	50 150 m3	48 800 m3	51 150 m3	47 900 m3
Débit moyen sur la durée D de la crue	0,39 m3/s	0,39 m3/s	0,50 m3/s	1,08 m3/s	3,35 m3/s	1,16 m3/s
Temps de montée significatif	45 mn	30 mn	45 mn	45 mn	15 mn	30 mn
Temps de descente au 2/3 du débit pointe	20 mn	20 mn	45 mn	20 mn	30 mn	20 mn
Temps de descente au 1/3 du débit pointe	50 mn	60 mn	1 h 10	50 mn	55 mn	40 mn
Pluie journalière à Lima Digo	68,5 mm	0 mm	57 mm	52,5 mm	11 mm	57 mm
Pluie journalière la veille	13,5 mm	0 mm	0 mm	0 mm	52,5 mm	1,5 mm
Pluie journalière à Convalescence	18,5 mm	10 mm	14 mm	25 mm	12 mm	50,5 mm
Pluie journalière la veille	1,5 mm	0 mm	10 mm	0,5 mm	25 mm	2,5 mm
Bassin versant	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2

PARAMETRES DES HYDROGRAMMES DES CRUES ENREGISTRES A BOUYOUNI HAUT EN 2000

	Crue du 26 mars	Crue du 03 avril
Type	Simple	Multiple
Débit au début de la crue	117 l/s	71 l/s
Hauteur d'eau au début de la crue	6,5 cm	4,9 cm
Débit de pointe	5,3 m3/s	6,8 m3/s
Débit spécifique	0,96 m3/s/km2	1,23 m3/s/km2
Hauteur d'eau maxi	69,5 cm	76,8 cm
Durée D de la crue	11h 30	53h
Volume sur la durée D de la crue	21 600 m3	73 800 m3
Débit moyen sur la durée D de la crue	0,52 m3/s	0,39 m3/s
Temps de montée significatif	30 mn	30 mn
Temps de descente au 2/3 du débit pointe	10 mn	17 mn
Temps de descente au 1/3 du débit pointe	20 mn	30 mn
Pluie journalière à Lima Digo	30,5 mm	47,5 mm
Pluie journalière la veille	2,5 mm	0 mm
Pluie journalière à Convalescence	0 mm	39 mm
Pluie journalière la veille	8 mm	0,5 mm
Bassin versant	5,51 km2	5,51 km2

PARAMETRES DES HYDROGRAMMES DES CRUES ENREGISTRES A BOUYOUNI HAUT EN 2000

	Crue du 10 février	Crue du 11 février	Crue du 15 février	Crue du 18 février	Crue du 05 mars	Crue du 17 mars
Type	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple
Débit au debut de la crue	74 l/s	296 l/s	207 l/s	346 l/s	207 l/s	105 l/s
Hauteur d'eau au debut de la crue	5 cm	11 cm	9 cm	12 cm	9 cm	6,1 cm
Débit de pointe	22,05 m3/s	14,2 m3/s	11,3 m3/s	13,3 m3/s	6,2 m3/s	13,1 m3/s
Débit spécifique	4 m3/s/km2	2,58 m3/s/km2	2,05 m3/s/km2	2,4 m3/s/km2	1,12 m3/s/km2	2,37 m3/s/km2
Hauteur d'eau maxi	128 cm	105 cm	95 cm	102 cm	74 cm	101,1 cm
Durée D de la crue	23h 15	22h	34h 15	17 h	8h 15	14h 30
Volume sur la durée D de la crue	107 000 m3	83 000 m3	76 500 m3	75 000 m3	30 100 m3	48 600 m3
Débit moyen sur la durée D de la crue	1,28 m3/s	1,05 m3/s	0,62 m3/s	1,22 m3/s	1,01 m3/s	0,93 m3/s
Temps de montée significatif	?	30 mn	15 mn	30 mn	30 mn	30 mn
Temps de descente au 2/3 du débit pointe	15 mn	20 mn	25 mn	25 mn	25 mn	15 mn
Temps de descente au 1/3 du débit pointe	40 mn	40 mn	50 mn	50 mn	45 mn	28 mn
Pluie journalière à Lima Digo	0 mm	5 mm	5,5 mm	27 mm	23 mm	33 mm
Pluie journalière la veille	21,5 mm	0 mm	0 mm	7 mm	7 mm	4,5 mm
Pluie journalière à Convalescence	56 mm	9,5 mm	46 mm	23 mm	39 mm	5 mm
Pluie journalière la veille	1 mm	56 mm	0 mm	6 mm	0,5 mm	8,5 mm
Bassin versant	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2

PARAMETRES DES HYDROGRAMMES DES CRUES ENREGISTRES A BOUYOUNI HAUT EN 2000

	Crue du 01 janvier	Crue du 02 janvier	Crue du 05 janvier	Crue du 26 janvier	Crue du 29 janvier	Crue du 03 fevrier
Type	Simple	Multiple	Simple	Simple	Multiple	Simple
Débit au debut de la crue	74 l/s	518 l/s	74 l/s	74 l/s	518 l/s	87 l/s
Hauteur d'eau au debut de la crue	5 cm	15 cm	5 cm	5 cm	15 cm	5,5 cm
Débit de pointe	8,5 m3/s	10,5 m3/s	15,8 m3/s	7,3 m3/s	16,8 m3/s	10,2 m3/s
Débit spécifique	1,55 m3/s/km2	1,9 m3/s:km2	2,87 m3/s/km2	1,32 m3/s/km2	3 m3/s/km2	1,85 m3/s/km2
Hauteur d'eau maxi	84 cm	92 cm	110 cm	79 cm	113 cm	91 cm
Durée D de la crue	6 h	15 h 45	8 h	9 h	9 h	20 h 30
Volume sur la durée D de la crue	40 000 m3	144 000 m3	63 700 m3	32 500 m3	116 700 m3	51 000 m3
Débit moyen sur la durée D de la crue	1,85 m3/s	2,54 m3/s	2,21 m3/s	1 m3/s	3,6 m3/s	0,69 m3/s
Temps de montée significatif	30 mn	30 mn	30 mn	30 mn	1 h 30	15 mn
Temps de descente au 2/3 du débit pointe	30 mn	50 mn	20 mn	35 mn	20 mn	20 mn
Temps de descente au 1/3 du débit pointe	50 mn	1 h 50	45 mn	50 mn	40 mn	45 mn
Pluie journalière à Lima Digo	86,5 mm	100,5 mm	44,5 mm	76,5 mm	82 mm	9,5 mm
Pluie journalière la veille	0 mm	86,5 mm	0,5 mm	13 mm	31,5 mm	0 mm
Pluie journalière à Convalescence	71 mm	105 mm	21 mm	46,5 mm	146 mm	70 mm
Pluie journalière la veille	0 mm	71 mm	0 mm	0 mm	15 mm	0 mm
Bassin versant	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2	5,51 km2

Annexe II.2 Formulaire de calcul

DÉTERMINATION DU TEMPS DE CONCENTRATION T_c

Définition : le temps de concentration T_c est défini comme le temps mis par l'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire (en durée d'écoulement) pour rejoindre ce dernier.

Le temps de concentration T_c , peut être estimé par différentes formules :

- **Formule de KIRPICH**

$$T_c = 0,0195 \cdot (L \cdot i^{0,5})^{0,77}$$

avec

T_c : temps de concentration du bassin versant (mn)
 L : longueur du thalweg principal (m)
 i : pente moyenne du thalweg principal (m/m)

Cette formule a été développée à partir des données du SCS pour sept bassins ruraux dans le Tennessee (États-Unis) avec un lit bien marqué et des pentes fortes (3 à 10 %).

- **Formule de GIANDOTTI**

$$T_c = 60 \cdot [0,4 \cdot A^{0,5} + 0,0015 \cdot L] / [0,8 \cdot (i \cdot L)^{0,5}]$$

avec

T_c : temps de concentration du bassin versant (mn)
 L : longueur du thalweg principal (m)
 i : pente moyenne du thalweg principal (m/m)
 A : superficie du bassin versant (ha)

- **Formule de VENTURA améliorée par PASSINI**

$$T_c = 0,14 \cdot [(A \cdot L)^{1/3}] / [(i)^{0,5}]$$

avec

T_c : temps de concentration du bassin versant (mn)
 L : longueur du thalweg principal (m)
 i : pente moyenne du thalweg principal (m/m)
 A : superficie du bassin versant (ha)

MÉTHODE RATIONNELLE

Cette méthode suppose :

- que l'intensité de l'averse est uniforme dans le temps et sur toute la superficie du bassin ;
- que le débit est maximum lorsque la superficie totale du bassin contribue à l'écoulement

$$Q_p(T) = k \cdot C(T) \cdot I(tc, T) \cdot A$$

où

$Q_p(T)$ est le débit de pointe de crue (en m³/s) de période de retour **T** ;

$C(T)$ est le coefficient de ruissellement pour la période de retour **T** ($0 < C < 1$) ;

$I(tc, T)$ est l'intensité d'une averse dont la durée est égale au temps de concentration **tc** du bassin pour la période de retour **T** ;

A est la superficie du bassin versant ;

k est un coefficient d'ajustement fonction des unités utilisées.

$$(k = 1/3.6, \text{ pour } A \text{ en km}^2 \text{ et } I \text{ en mm/h})$$

Domaine d'application :

- hydraulique urbaine ou cours d'eau naturel ($BV < 100 \text{ km}^2$) ;
- nécessite la connaissance :
 - des caractéristiques morphométriques du bassin versant ;
 - des courbes IDF.

Méthode à utiliser lorsqu'il y a peu ou pas de données hydrométriques.

Mise en application

- 1 – Déterminer les caractéristiques morphométriques du bassin versant : surface drainante, longueur et pente du plus long thalweg, répartition des différents types d'occupation des sols.
- 2 – Estimer le temps de concentration **tc** par plusieurs formules empiriques (cf. page précédente) et/ou à partir d'enregistrements pluviographiques et limnimétriques.
- 3 – Déterminer à partir de la courbe IDF l'intensité pluviométrique de durée **tc** et de période de retour **T**.
- 4 – Déterminer le coefficient de ruissellement **C**.

Pour un bassin versant rural, on retiendra, pour Mayotte, la valeur de 0,4 pour la crue décennale.

Pour un bassin versant urbanisé, on définit généralement des types d'urbanisation, définis par les Plans d'Occupation des Sols (POS), et on leur associe un coefficient

d'imperméabilisation (cf. tabl. p. 99). Le coefficient de ruissellement de chaque bassin est obtenu par pondération des superficies relatives à chaque type d'urbanisation.

5 – Calculer le débit instantané de pointe de crue.

Nota bene :

Dans le cadre de cette étude, le débit décennal instantané a été déterminé en suivant cette procédure. Le débit centennal a été déterminé en considérant que la totalité de l'accroissement pluviométrique entre la pluie décennale et la pluie centennale participait au ruissellement, c'est-à-dire :

$$Q_{100} = Q_{10} + k (P_{100}(tc) - P_{10}(tc)) \cdot A / tc$$

ou

$$Q_{100} = A \cdot K \cdot [C(10) \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ 1}}{I(tc, 10)} + C(I(tc, 100) - I(tc, 10))]$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{Q_{10}}$

$$Q_{100} = Q_{10} + A \cdot K \cdot (I(tc, 100) - I(tc, 10))$$

(avec $K = 1/3,6$ si A en km^2 et I en mm/h)

Annexe II.3 Calculs des débits de projet

Données morphologiques

Surface du bassin versant (ha)	966.1
Longueur du thalweg principal (m)	8682
Altitude NGM du point haut (m)	570
Altitude NGM du point bas (m)	3.0
Pente moyenne du thalweg I (m/m)	0.065
Typologie du bassin versant	naturel, boisé, végétation, zones agroforestières
Coefficient de ruissellement décennal	0.4
Coefficient de ruissellement centennal	0.6

Temps de concentration

Formules	Kirpich	Giandotti	Passini	Moyenne
Temps de concentration t_c (min)	60.1	80.2	111.3	83.9

Coefficients de Montana et intensité de pluie considérée

Coefficient de Montana a'	Coefficient de Montana b'	Ratio $R(t)$	Intensité de la pluie décennale $I(t_c, 10)$ en mm/h	Intensité de la pluie centennale $I(t_c, 100)$ en mm/h
0.5	0.698	0.65	88.6	132.9

Débits de projet

Débit de projet décennal Q_{10} en m ³ /s	Débit de projet centennal Q_{100} en m ³ /s	Coefficient de ruissellement centennal C
94.85	213.75	0.6

Annexe II.4 Conditions océanographiques en aval de la zone d'étude

Les fluctuations du niveau de la mer comprennent :

- la marée astronomique ;
- les surcotes liées aux conditions météorologiques (vents, pression atmosphérique) et océanographiques (vagues).

1. Marée astronomique

La cote marine (CM) est le zéro marin ; ce zéro est différent du zéro IGN ou NGM (Nivellement Général de Mayotte). La cote IGN est égale à la cote marine diminuée de 1.78 m.

Dénomination	Coefficient	Cote Marine CM	Cote IGN
Pleines mers de vives eaux exceptionnelles	120	4.20	2.42
Pleines mers de vives eaux moyennes	95	3.75	1.97
Niveau moyen		2.1	0.32
Basses mers vives eaux moyennes	95	0.45	-1.33
Basses mers vives eaux exceptionnelles	120	0	-1.78

Données tirées de l'annuaire des marées, SHOM (2002)

La concomitance entre un cyclone et une marée de vives eaux exceptionnelles est faible. Néanmoins dans des périodes proches des équinoxes, des marées de 4.0 CM et 4.15 CM sont fréquentes.

Dans le cadre de l'étude hydraulique de la rivière Bouyouni, le choix de la marée de référence est la **marée de vives eaux exceptionnelles (+ 2.42 m NGM)**, conformément aux recommandations de Haugomat (2000).

2. Surcotes

Deux cas sont à distinguer, les **surcotes liées aux vagues** et les **surcotes liées aux houles cycloniques**.

Dans la cadre de la présente étude les surcotes liées aux vagues sont négligeables dans la mesure où le lagon et la mangrove les amortissent fortement.

Les projets ayant pris en compte la houle cyclonique dans le dimensionnement d'ouvrages à Mayotte sont :

- la protection de l'aéroport de Petite Terre ;
- la route nationale RN2 (notamment l'étude hydraulique BCEOM (2000) relative à la reconstruction du pont de Dembeni ;
- la construction d'une canalisation d'adduction d'eau entre Petite Terre et Grande Terre (Haugomat 2000).

Les études hydrauliques de ces ouvrages se sont basées sur la note du STCPMVN sur les houles et les surcotes de projet, réalisée par F. Bouttes (1987) ; les trois cyclones de référence choisis sont les suivants :

- 1.5 m pour un cyclone de 980 hPa (cyclone moyen) ;
- 1.8 m pour un cyclone de 967 hPa (cyclone de projet, de période de retour associée 10 à 25 ans) ;
- 2.1 m pour un cyclone de 950 hPa (cyclone de projet, de période de retour associée 100 ans environ).

Les valeurs de surcote ont été déterminées à partir de l'échelle de Saffir Simpson, valable pour les Etats-Unis et réputée très défavorable (Bouttes, 1987).

Cette démarche très sécuritaire s'expliquait par l'importance des investissements et des risques inhérents au projet de l'aéroport. Cependant comme le suggère Haugomat (2000), cette démarche ne peut pas être appliquée aux ouvrages de protection de littoral et *a fortiori* aux ouvrages de protection de berges intéressant de nombreux villages de l'île de Mayotte. En conséquence la détermination de la surcote de référence se base sur l'historique des cyclones ayant touchés Mayotte et la surcote qu'ils ont réellement engendrée.

Onze cyclones ou dépressions tropicales intenses ont touché Mayotte depuis 1858 (Météo-France, 1984, 1985 et 2002). Les trois derniers sont le cyclone Kamisy en 1984 (pression de 985 hPa et vents de 120 km/h à 148 km/h en rafale), la dépression tropicale Feliksa en 1985 (pression de 994 hPa, vents de 97 km/h à 126 km/h en rafales, mais surtout des précipitations abondantes de 233 mm en 24 h dont 79,3 mm en une heure), et le cyclone Astrides en 2000.

Haugomat (2000) a considéré **le cyclone Kamisy comme cyclone de référence** auquel il a associé une surcote marine de 1 m.

Daniel (2003), dans une étude Météo-France sur les surcotes liées au passage d'un cyclone à Mayotte, a modélisé les surcotes liées au passage des cyclones Kamisy, Feliksa et Astride (2000). Les résultats de la modélisation sont en accord avec les recommandations de Haugomat puisque la surcote calculée pour le cyclone de Kamisy est de 0.96 m. Néanmoins, la **dépression cyclonique Feliksa** étant passée plus près de Mayotte, la surcote associée est supérieure et vaut 1.14 m.

Dans le cadre stricte de l'étude hydraulique de la rivière Bouyouni, le BRGM recommande donc de retenir **une surcote de houle cyclonique de 1.14 m** même si cette surcote n'est pas associée au cyclone de référence Kamisy.

3. Conclusion PHE Bouyouni

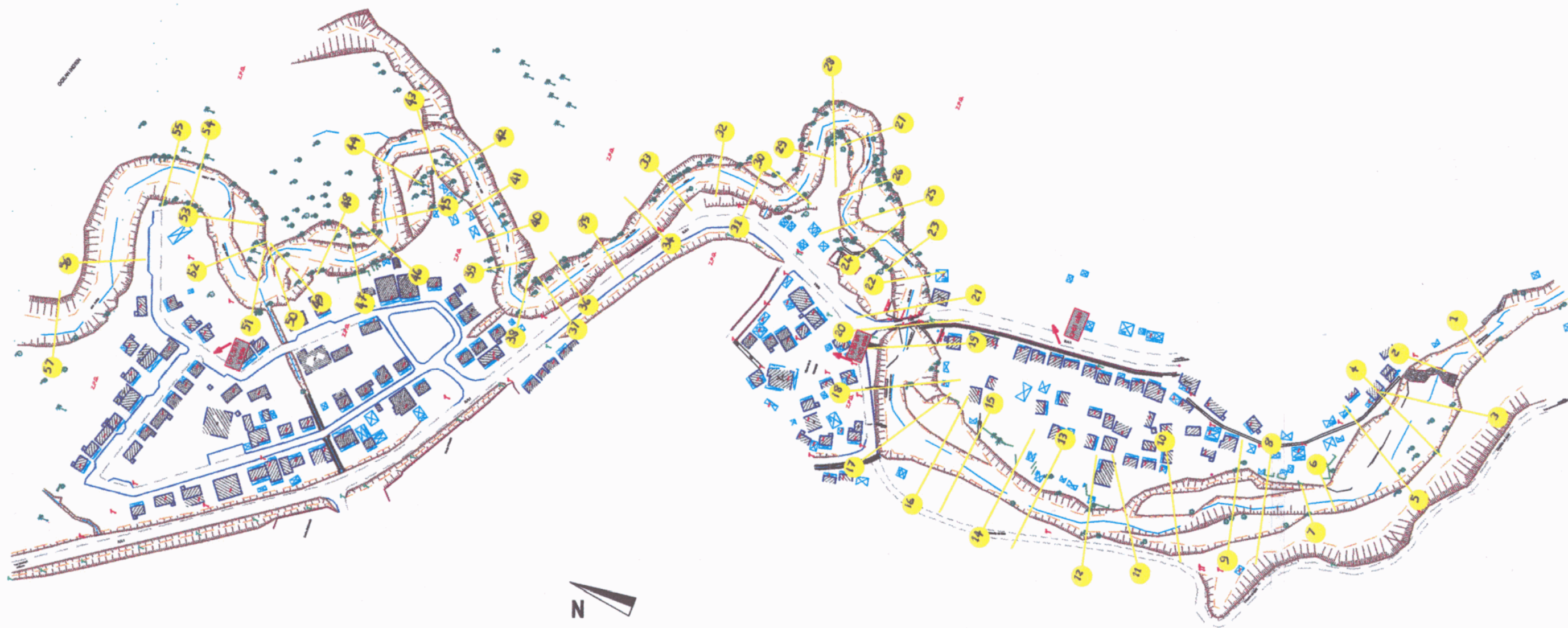
En conclusion le BRGM propose de choisir un niveau des Plus Hautes Eaux en aval de la zone d'étude de la rivière Bouyouni correspondant aux marées de vives eaux exceptionnelles et à une surcote cyclonique de 1.14 m qui est la surcote maximale observée à Mayotte. Ceci correspond à une valeur de : **$2.42 + 1.14 = 3.56$ m NGM.**

Le lagon et la mangrove amortissant la houle cyclonique, cette valeur peut être légèrement surestimée. Néanmoins, en l'absence de données chiffrées répondant à cette problématique, nous pensons qu'il est préférable de choisir une position sécuritaire.

A titre d'exemple, lors des événements de crue de la rivière Bouyouni le 06 février 2003, les hauteurs des pleines et basses mer étaient les suivantes:

	Heures h min	Hauteurs M (CM)
05.02.2003	0 23	0.65
	6 29	3.55
	12 44	0.55
	18 52	3.4
06.02.2003	0 53	0.75
	6 57	3.4
	13 10	0.7
	19 20	3.3
07.02.2003	1 24	0.95
	7 24	3.15
	13 36	0.85
	19 49	3.15

Sans être exceptionnel, le niveau
des plus hautes eaux a atteint
1.6 m NGM le 06.02.2003



Annexe III.2 Modélisation mathématique des écoulements de crue, état initial – Listing des résultats Q 10

label	flow (m3/s)	stage (mNGM)	froude	velocity (m/s)	umode	ustate	z (mNGM)	Charge totale (mNGM)
1	95.00	12.03	1.02	3.53	0.00	0.00	10.02	12.66
2	95.00	11.63	1.01	2.98	0.00	0.00	9.85	12.08
3	95.00	9.52	0.45	1.74	0.00	0.00	6.62	9.67
4	95.00	9.01	1.00	2.95	0.00	0.00	7.01	9.45
5	95.00	8.63	0.60	2.06	0.00	0.00	7.08	8.85
6	95.00	8.15	0.75	3.24	0.00	0.00	5.60	8.69
7	95.00	7.78	1.00	3.83	0.00	0.00	5.52	8.53
8	95.00	8.11	0.40	1.59	0.00	0.00	5.36	8.24
9	95.00	8.12	0.33	1.35	0.00	0.00	5.61	8.21
10	95.00	7.92	0.47	1.82	0.00	0.00	5.33	8.09
11	95.00	7.77	0.42	2.05	0.00	0.00	4.77	7.98
12	95.00	7.41	0.69	2.96	0.00	0.00	4.98	7.85
13	95.00	7.30	0.57	2.39	0.00	0.00	4.40	7.60
14	95.00	7.23	0.55	2.25	0.00	0.00	4.17	7.49
15	95.00	7.27	0.42	1.52	0.00	0.00	4.39	7.39
16	95.00	7.32	0.19	0.94	0.00	0.00	3.71	7.37
17	95.00	7.32	0.17	0.84	0.00	0.00	3.35	7.35
18	95.00	7.26	0.25	1.19	0.00	0.00	3.46	7.34
19	95.00	7.26	0.20	1.06	0.00	0.00	3.49	7.32
20	95.00	5.84	1.00	3.92	0.00	0.00	3.84	6.62
OA1am	95.00	5.84	0.00	0.00	0.00	0.00	3.84	5.84
sp1am	0.00	5.84	0.00	0.00	0.00	0.00	7.84	5.84
OA1av	95.00	5.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.81
sp1av	0.00	5.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.81
21	95.00	5.82	0.59	2.66	0.00	0.00	3.24	6.18
22	95.00	5.75	0.66	2.54	0.00	0.00	2.95	6.08
23	95.00	5.91	0.44	1.58	0.00	0.00	2.34	6.03
24	95.00	5.82	0.49	1.83	0.00	0.00	2.73	5.99
25	95.00	5.81	0.36	1.53	0.00	0.00	2.23	5.92
26	95.00	5.71	0.38	1.74	0.00	0.00	2.05	5.86
27	95.00	5.63	0.43	1.64	0.00	0.00	1.65	5.76
28	95.00	5.61	0.40	1.49	0.00	0.00	2.11	5.72
29	95.00	5.38	0.44	2.40	0.00	0.00	1.47	5.68
30	95.00	5.38	0.51	2.15	0.00	0.00	1.94	5.62
31	95.00	5.26	0.43	2.15	0.00	0.00	1.27	5.49
32	95.00	4.98	0.60	2.81	0.00	0.00	1.60	5.39
33	95.00	4.96	0.50	2.45	0.00	0.00	1.01	5.27
34	95.00	4.69	0.63	3.07	0.00	0.00	1.52	5.17
35	95.00	4.58	0.60	2.96	0.00	0.00	0.76	5.03
36	95.00	4.55	0.57	2.68	0.00	0.00	1.41	4.91
37	95.00	4.44	0.61	2.87	0.00	0.00	1.23	4.86
38	95.00	4.49	0.49	2.44	0.00	0.00	1.04	4.79
39	95.00	4.40	0.52	2.50	0.00	0.00	0.65	4.72
40	95.00	4.30	0.52	2.63	0.00	0.00	0.88	4.65
41	95.00	4.21	0.57	2.70	0.00	0.00	0.75	4.59
42	95.00	4.38	0.39	1.76	0.00	0.00	0.98	4.54
43	95.00	4.33	0.35	1.73	0.00	0.00	0.32	4.48
44	86.64	4.43	0.25	1.12	0.00	0.00	0.56	4.50
45	86.64	4.41	0.25	1.16	0.00	0.00	0.54	4.48
46	82.89	4.36	0.28	1.51	0.00	0.00	0.29	4.47
47	91.16	4.30	0.31	1.54	0.00	0.00	0.39	4.42
48	95.00	4.32	0.25	1.27	0.00	0.00	0.15	4.40
49	95.00	4.29	0.28	1.36	0.00	0.00	0.15	4.39
50	95.00	4.33	0.20	1.05	0.00	0.00	0.05	4.38
51	95.00	4.33	0.19	0.98	0.00	0.00	0.22	4.38
52	95.00	4.31	0.20	1.08	0.00	0.00	0.11	4.37
53	95.00	4.32	0.19	0.99	0.00	0.00	0.26	4.37
54	95.00	4.19	0.35	1.72	0.00	0.00	0.17	4.34
55	95.00	4.23	0.29	1.42	0.00	0.00	0.21	4.33
56	94.91	4.21	0.26	1.27	0.00	0.00	0.39	4.29
57	95.00	4.16	0.30	1.39	0.00	0.00	0.45	4.26

HYDRETTUES / Commune de BOUYOUNI / Etude hydraulique de protection des lotissements contre les crues de la Bouyouni
Modélisation mathématique des écoulements

Annexe III.2 Modélisation mathématique des écoulements de crue, état initial – Listing des résultats Q 100

label	flow (m3/s)	stage (mNGM)	froude	velocity (m/s)	umode	ustate	z (mNGM)	Charge totale (mNGM)
1	214.00	13.03	1.01	4.17	0.00	0.00	10.02	13.91
2	214.00	12.75	0.69	2.77	0.00	0.00	9.85	13.14
3	214.00	10.20	0.59	2.66	0.00	0.00	6.62	10.56
4	214.00	9.86	0.90	3.57	0.00	0.00	7.01	10.51
5	214.00	9.73	0.52	2.43	0.00	0.00	7.08	10.03
6	214.00	9.33	0.84	3.87	0.00	0.00	5.60	10.09
7	214.00	9.27	0.79	3.41	0.00	0.00	5.52	9.86
8	214.00	9.39	0.39	1.85	0.00	0.00	5.36	9.56
9	214.00	9.40	0.33	1.66	0.00	0.00	5.61	9.54
10	214.00	9.20	0.43	2.15	0.00	0.00	5.33	9.44
11	196.05	9.00	0.48	2.73	0.00	0.00	4.77	9.38
12	183.75	8.85	0.57	3.06	0.00	0.00	4.98	9.32
13	191.28	8.89	0.47	2.28	0.00	0.00	4.40	9.16
14	204.64	8.79	0.51	2.32	0.00	0.00	4.17	9.06
15	214.00	8.88	0.31	1.42	0.00	0.00	4.39	8.98
16	214.00	8.90	0.23	1.21	0.00	0.00	3.71	8.97
17	205.38	8.92	0.18	1.08	0.00	0.00	3.35	8.97
18	181.96	8.90	0.31	1.19	0.00	0.00	3.46	8.98
19	153.23	8.96	0.19	0.77	0.00	0.00	3.49	8.99
20	153.23	8.81	0.32	1.74	0.00	0.00	3.84	8.96
OA1am	119.79	8.81	0.00	0.00	0.00	0.00	3.84	8.81
sp1am	33.44	8.81	0.00	0.00	0.00	0.00	7.84	8.81
OA1av	119.79	7.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.81
sp1av	33.44	7.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.81
21	153.23	7.64	0.39	1.85	0.00	0.00	3.24	7.81
22	153.22	7.70	0.28	1.38	0.00	0.00	2.95	7.79
23	153.59	7.71	0.22	1.19	0.00	0.00	2.34	7.79
24	156.67	7.70	0.22	1.17	0.00	0.00	2.73	7.77
25	163.73	7.68	0.26	1.20	0.00	0.00	2.23	7.75
26	177.36	7.62	0.31	1.37	0.00	0.00	2.05	7.72
27	206.57	7.58	0.27	1.27	0.00	0.00	1.65	7.66
28	214.00	7.56	0.28	1.23	0.00	0.00	2.11	7.64
29	214.00	6.86	0.56	3.56	0.00	0.00	1.47	7.51
30	214.00	7.27	0.40	1.82	0.00	0.00	1.94	7.44
31	214.00	7.13	0.46	2.14	0.00	0.00	1.27	7.36
32	214.00	6.68	0.61	3.34	0.00	0.00	1.60	7.24
33	214.00	6.63	0.54	3.11	0.00	0.00	1.01	7.13
34	214.00	6.09	0.74	4.23	0.00	0.00	1.52	7.00
35	214.00	5.84	0.76	4.32	0.00	0.00	0.76	6.79
36	214.00	5.97	0.64	3.54	0.00	0.00	1.41	6.60
37	214.00	5.73	0.73	3.96	0.00	0.00	1.23	6.53
38	214.00	6.01	0.61	2.97	0.00	0.00	1.04	6.46
39	214.00	5.78	0.61	3.39	0.00	0.00	0.65	6.36
40	214.00	5.42	0.71	4.06	0.00	0.00	0.88	6.26
41	214.00	5.38	0.72	3.88	0.00	0.00	0.75	6.14
42	214.00	5.82	0.41	2.29	0.00	0.00	0.98	6.08
43	214.00	5.70	0.41	2.46	0.00	0.00	0.32	6.00
44	214.00	5.79	0.32	1.85	0.00	0.00	0.56	5.96
45	207.44	5.85	0.28	1.67	0.00	0.00	0.54	5.99
46	184.06	5.76	0.36	2.20	0.00	0.00	0.29	6.00
47	194.84	5.72	0.34	2.08	0.00	0.00	0.39	5.94
48	200.27	5.76	0.28	1.71	0.00	0.00	0.15	5.91
49	213.14	5.68	0.32	1.92	0.00	0.00	0.15	5.87
50	214.00	5.73	0.25	1.59	0.00	0.00	0.05	5.86
51	214.00	5.76	0.23	1.40	0.00	0.00	0.22	5.86
52	202.68	5.74	0.24	1.53	0.00	0.00	0.11	5.86
53	187.92	5.78	0.20	1.28	0.00	0.00	0.26	5.87
54	164.57	5.74	0.29	1.66	0.00	0.00	0.17	5.88
55	174.89	5.72	0.26	1.63	0.00	0.00	0.21	5.85
56	142.79	5.79	0.19	1.17	0.00	0.00	0.39	5.86
57	142.79	5.55	0.32	1.93	0.00	0.00	0.45	5.74

HYDRETUDES / Commune de BOUYOUNI / Etude hydraulique de protection des lotissements contre les crues de la Bouyouni
Modélisation mathématique des écoulements



Ref. 03-071 Juillet 2003

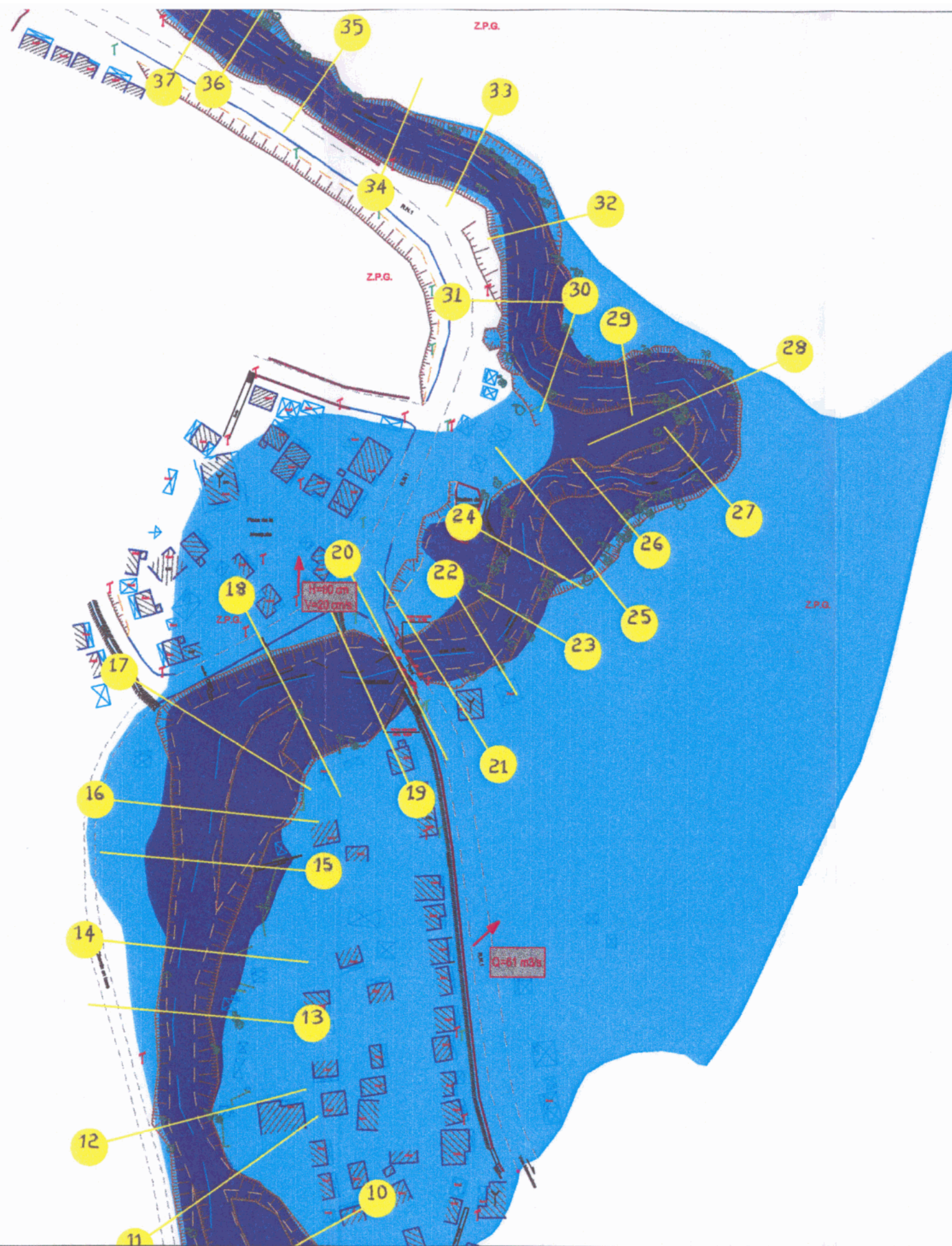

 815 Route Champs Farçon
 74 370 ARGONAY
 Téléphone : 04.50.27.17.26
 Ingénierie de l'eau Télécopie : 04.50.27.25.64

ETUDE HYDRAULIQUE DE PROTECTION DES LOTISSEMENTS
 CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI

Zones inondables Q10 Q100
 Vue en plan

PIECE 4.1

ECHELLE : 1/1500



Ref. 03-071 Juillet 2003

815 Route Champs Farçon
74 370 ARGONAY
HYDRETTUES Téléphone : 04.50.27.17.26
Ingénierie de l'eau Télécopie : 04.50.27.25.64

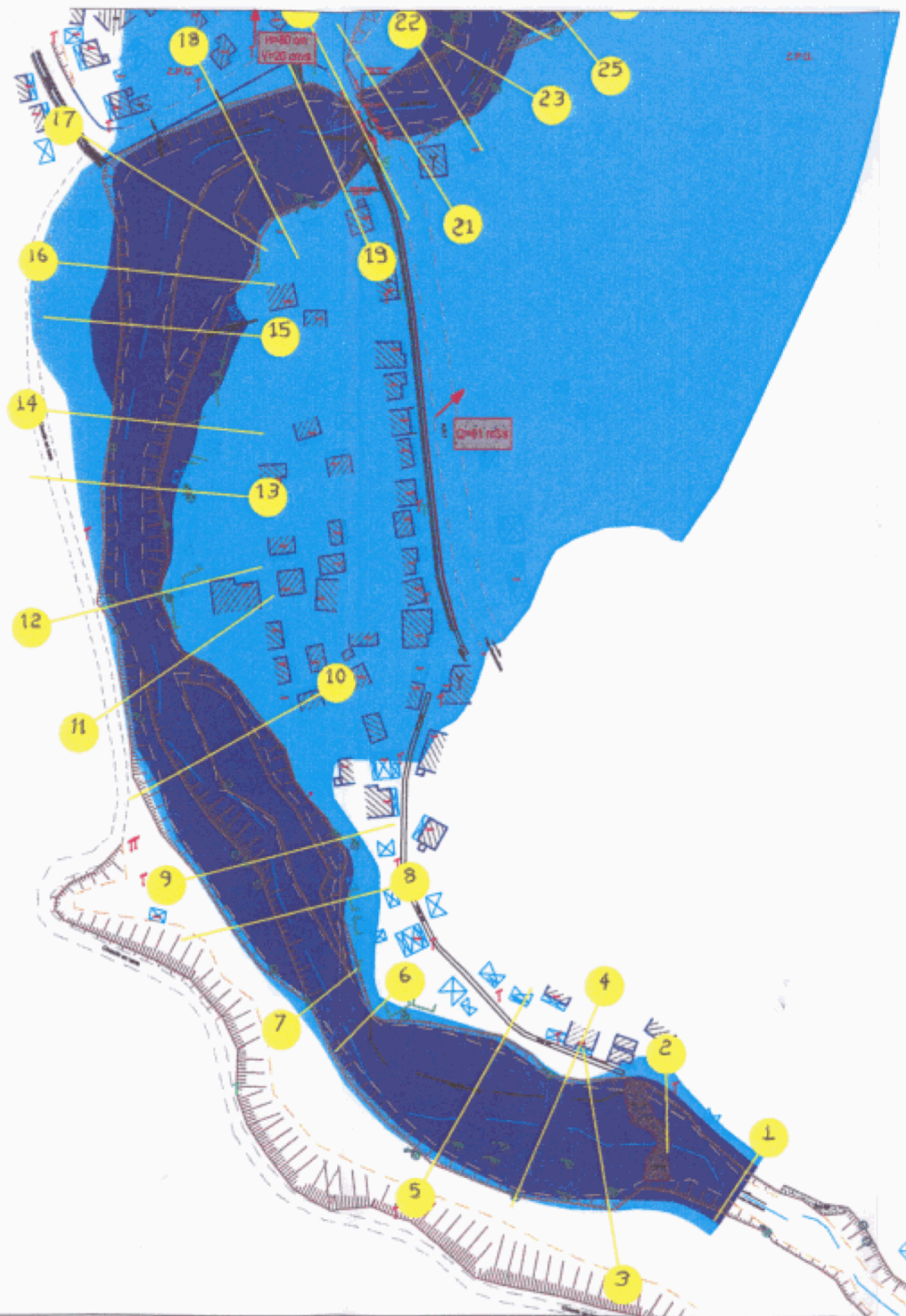
ETUDE HYDRAULIQUE DE PROTECTION DES LOTISSEMENTS CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI

Zones inondables Q10 Q100

Vue en plan

PIECE 4.2

ECHELLE : 1/1500



Ref. 03-071

Juillet 2003

815 Route Champs Farçon
74 370 ARGONAY
HYDRETTUES Téléphone : 04.50.27.17.26
ingénierie de l'eau Télécopie : 04.50.27.25.64

ETUDE HYDRAULIQUE DE PROTECTION DES LOTISSEMENTS
CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI

Zones inondables Q10 Q100

Vue en plan

PIECE 4.3

ECHELLE : 1/1500

Annexe III.4 Seuil en amont du village, proposition d'aménagements et hauteurs des digues de protection en rive droite.

Suite à la réunion du 2/12/2003 entre les services DAF/PEMA, DE/HEA, le BRGM, SMTPC, ETGM et HYDRETUDES, il est demandé à HYDRETUDES de donner des éléments complémentaires concernant le déroctage de la chute à l'amont de la traversée du village de Bouyouni, en étudiant l'influence d'une baisse du volume de déroctage sur la côte du muret en rive droite.

A la suite de cette réunion, nous avons modélisé plus finement le seuil à l'aide du modèle ISIS-FLOW de Halcrow et Wallingford. Deux nouvelles configurations ont été modélisées (solutions 2 & 3) et comparées aux scénarii déjà modélisés :

- ✓ Etat initial
- ✓ Etat aménagé sans déroctage
- ✓ Solution 1 : Déroctage de 80 cm maximum en retouchant la rive droite
- ✓ Solution 2 : Déroctage de 40 cm maximum en laissant intacte la rive droite
- ✓ Solution 3 : Déroctage de 60 cm maximum en laissant intacte la rive droite

Les profils en travers des déroctages projet sont reportés sur la coupe ci-après.

Les tableaux suivants présentent les résultats de ces scénarii :

	label	Flow (m3/s)	Cote d'eau (mNGM)	Frou de	Vitesse (m/s)	Cote fond (mNGM)	Charge totale (mNGM)	Cote mur (mNGM)	Cote berge RD (mNGM)	Hauteur mur (m)
Etat initial										
	1	214	12.83	1.16	4.6	10.02	13.56		10.87	
	2	214	12.61	0.77	3.0	9.85	12.91		11.18	
	3	214	10.34	0.54	2.5	6.62	10.55		10.54	
	4	214	9.83	0.84	3.4	7.01	10.22		10.21	
Etat aménagé sans déroctage										
	1	214	12.87	1.13	4.5	10.02	13.56		10.87	
	2	214	12.86	0.63	2.6	9.85	13.09	13.36	11.18	2.19
	3	214	10.33	0.54	2.5	6.62	10.54		10.54	
	4	214	9.75	0.91	3.6	7.01	10.18		10.21	
Etat aménagé - déroctage solution N°1										
	1	214	12.39	1.65	6.1	10.02	13.64		10.87	
	2	214	12.07	0.64	2.8	8.93	12.33	12.57	11.18	1.40
	3	214	10.33	0.54	2.5	6.62	10.54		10.54	
	4	214	9.75	0.91	3.6	7.01	10.18		10.21	

Etat aménagé - déroctage solution N°2									
1	214	12.60	1.39	5.4	10.02	13.56		10.87	
2	214	12.42	0.64	2.7	8.93	12.66	12.92	11.18	1.75
3	214	10.33	0.54	2.5	6.62	10.54		10.54	
4	214	9.75	0.91	3.6	7.01	10.18		10.21	
Etat aménagé - déroctage solution N°3									
1	214	12.56	1.43	5.5	10.02	13.57		10.87	
2	214	12.36	0.65	2.7	8.93	12.61	12.86	11.18	1.68
3	214	10.33	0.54	2.5	6.62	10.54		10.54	
4	214	9.75	0.91	3.6	7.01	10.18		10.21	

Les hauteurs du muret de protection au droit du seuil sont données avec 50 cm de revanche de sécurité par rapport à la ligne d'eau calculée.

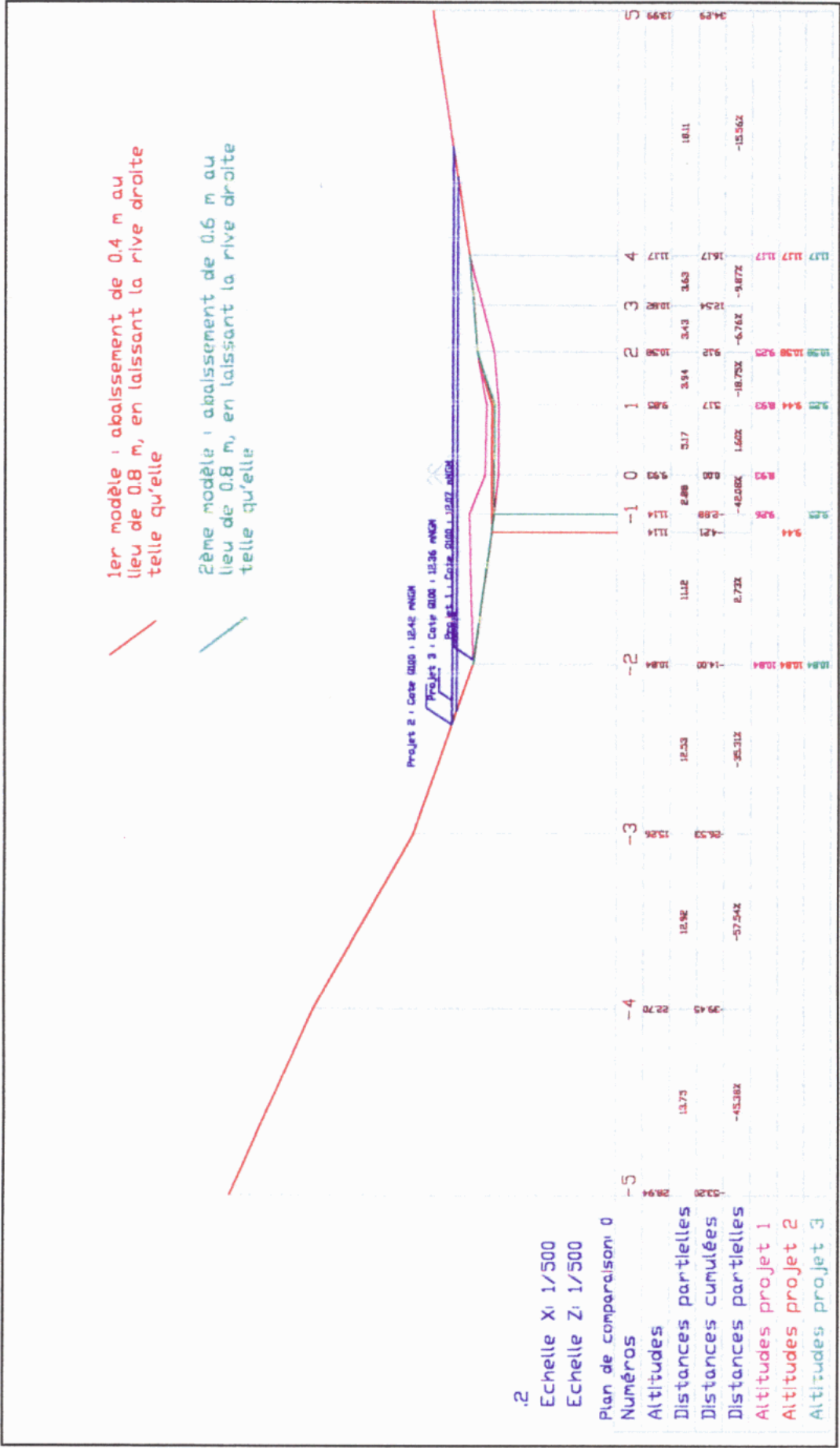
A l'aval du seuil, les côtes projet de digues et murets ont été calculés par rapport à la ligne de charge totale. Les côtes projet à l'aval du seuil sont donc les mêmes que précédemment.

Au droit d'un seuil, ce niveau de protection est trop élevé, car l'accélération des écoulements et l'effet de seuil empêchent la formation d'obstacles pouvant théoriquement rehausser la ligne d'eau jusqu'à la ligne de charge. La hauteur de charge totale représente en effet un terme d'énergie cinétique ajoutée à la hauteur de ligne d'eau (calculée sans obstacle à l'écoulement), enveloppe maximale de la ligne d'eau, atteinte théoriquement s'il y a un brusque ralentissement des écoulements.

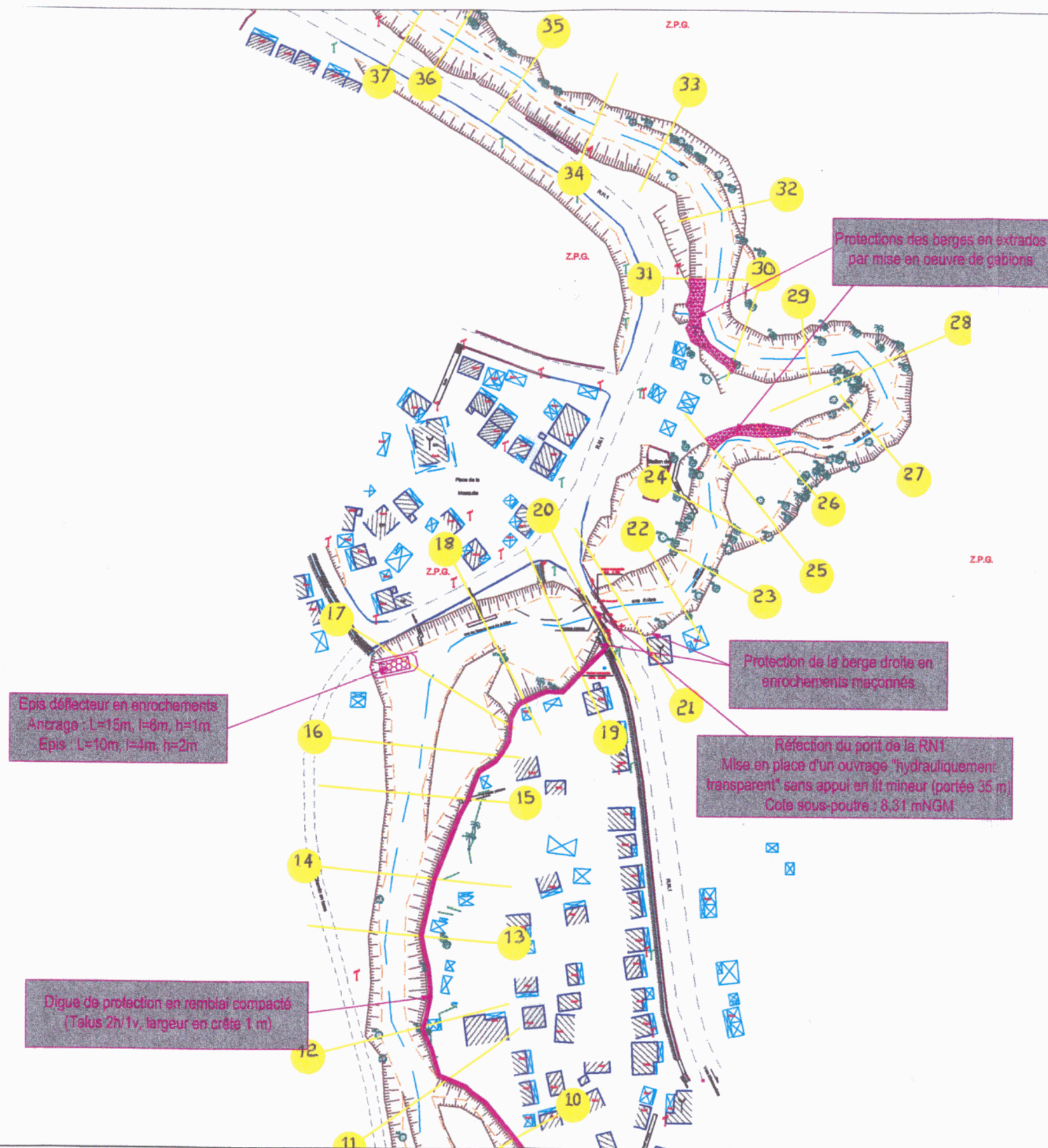
Dans ces conditions de dimensionnement, l'impact sur les lignes d'eau de la solution 2 (déroctage de 40 cm et rive droite intacte) par rapport au déroctage initialement prévu (80 cm) est un exhaussement de 35 cm au droit du seuil (profil 2), ce qui correspond à un muret de 1,75 m.

Pour la solution 3 (déroctage de 60 cm et rive droite intacte) l'exhaussement est d'environ 30 cm au droit du seuil, soit un muret de 1.70 m.

Annexe III.4 Seuil en amont du village, vue en coupe des solutions de déroctage







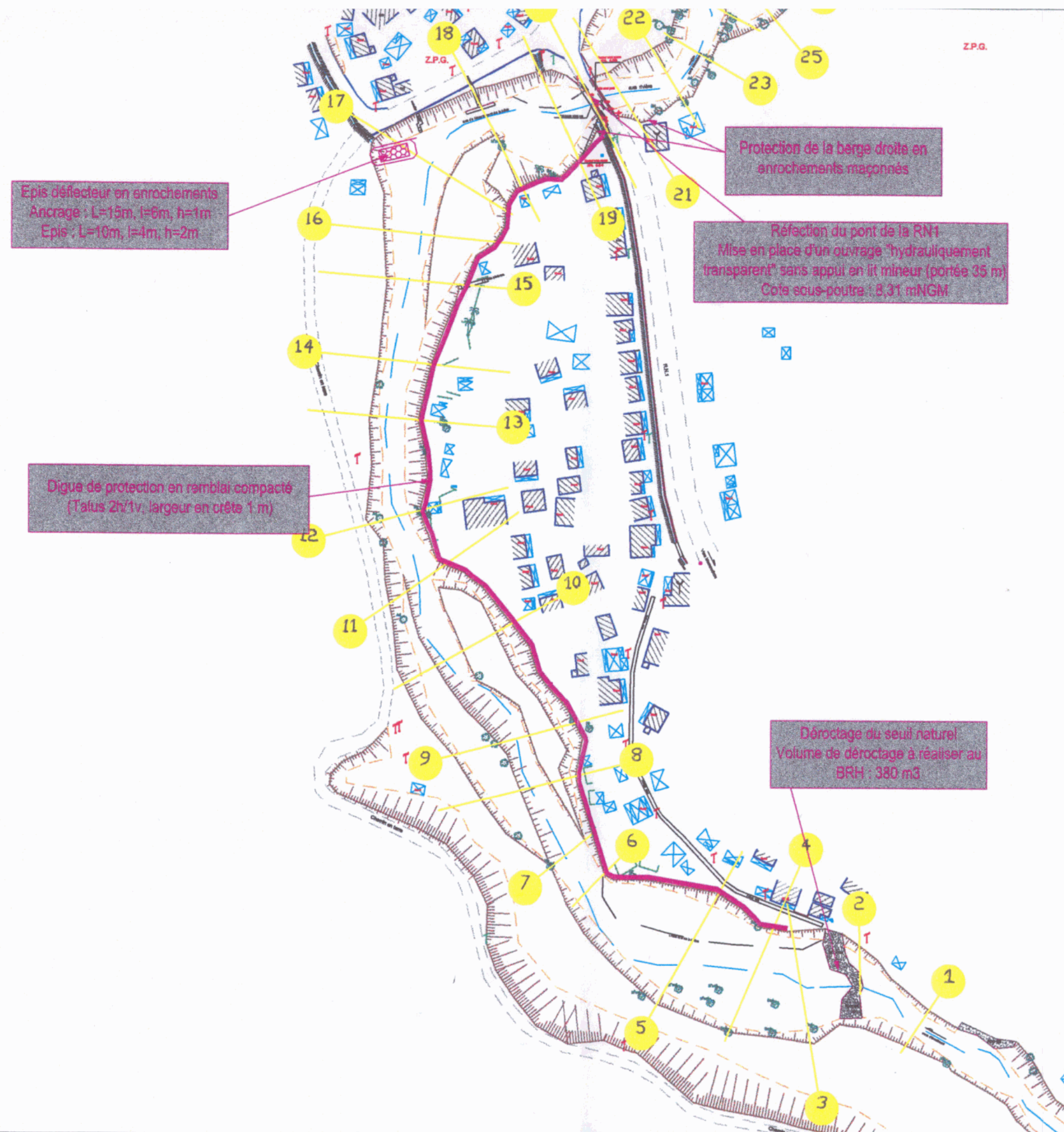
Ref. 03-071 Juillet 2003

815 Route Champs Farçon
74 370 ARGONAY
HYDRETTUDES Téléphone : 04.50.27.17.26
Ingénierie de l'eau Télécopie : 04.50.27.25.64

ETUDE HYDRAULIQUE DE PROTECTION DES LOTISSEMENTS
CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI
Schéma d'aménagement de la rivière BOUYOUNI
Vue en plan

PIECE 5.2

ECHELLE : 1/1500



Ref. 03-071 Juillet 2003

815 Route Champs Farçon
74 370 ARGONAY
HYDRETTUES Téléphone : 04.50.27.17.26
Ingénierie de l'eau Télécopie : 04.50.27.25.64

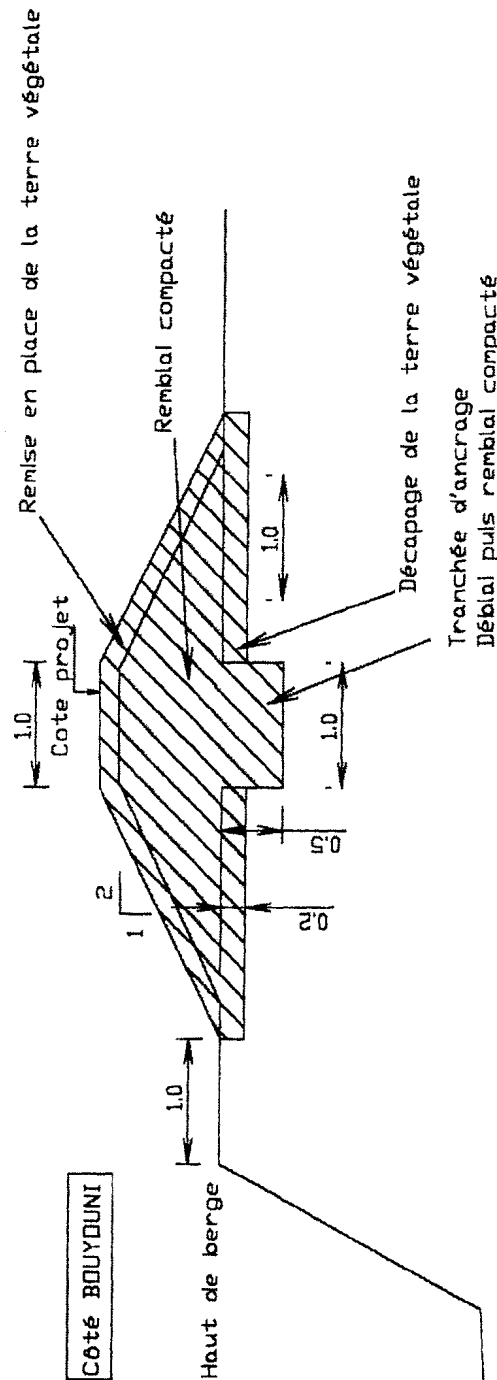
ETUDE HYDRAULIQUE DE PROTECTION DES LOTISSEMENTS
CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI
Schéma d'aménagement de la rivière BOUYOUNI
Vue en plan

PIECE 5.3

ECHELLE : 1/1500

Annexe III.6 Aménagement de la rivière Bouyouni, coupe-type des merlons de protection

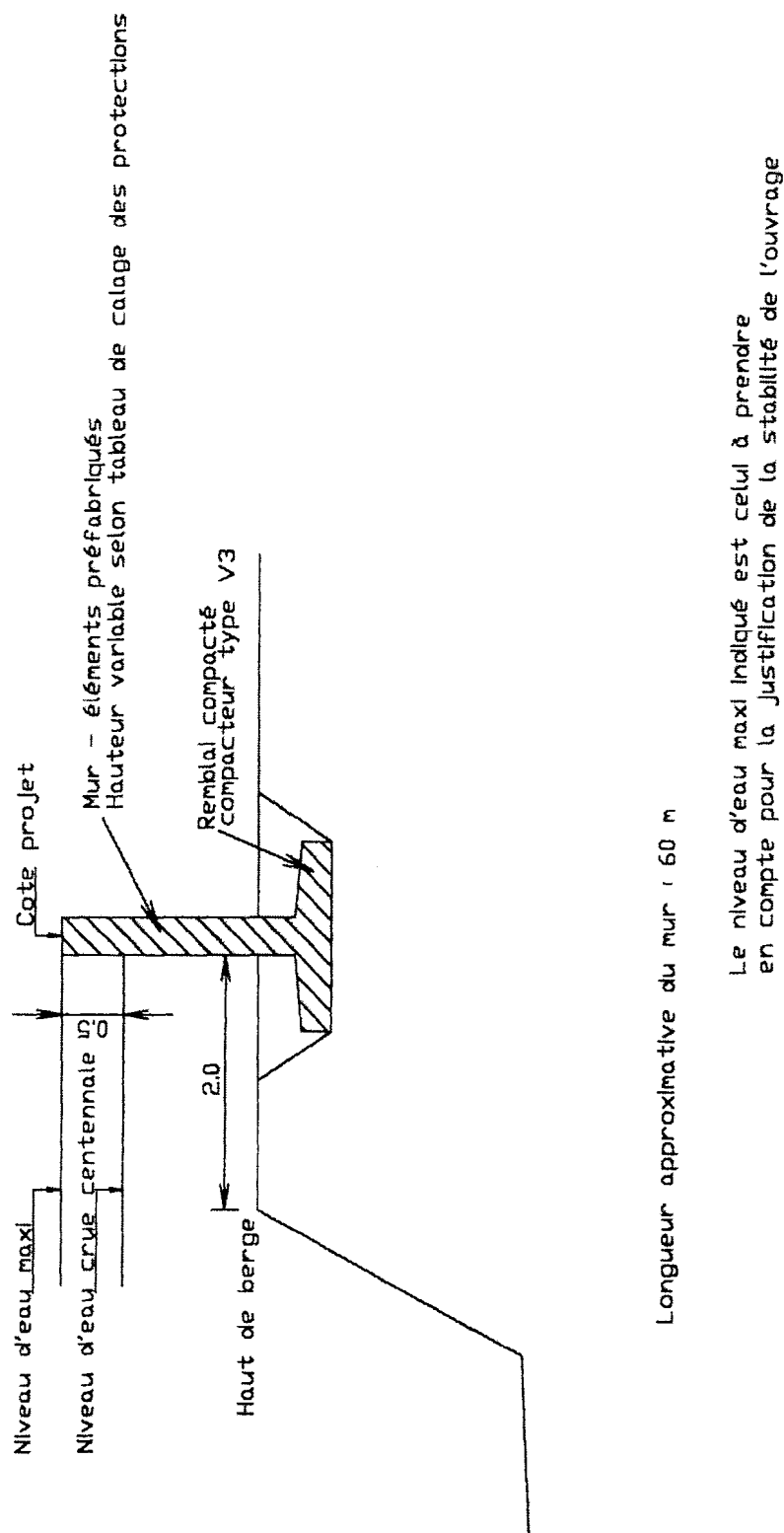
Cet ouvrage devra faire l'objet d'une étude d'exécution prenant en compte les caractéristiques des matériaux et la hauteur de l'ouvrage



Longueur approximative de merlons : 830 m

Ref. 03-071 Juillet 2003 815 Route Champs Farçon 74 370 ARGONAY HYDRETTUES Téléphone : 04.50.27.17.26 Ingénierie de l'eau Télécopie : 04.50.27.25.64	ETUDE HYDRAULIQUE DE PROTECTION DES LOTISSEMENTS CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI Digue de protection Coupe-type	PIECE 6.1 ECHELLE : 1/50
---	---	--

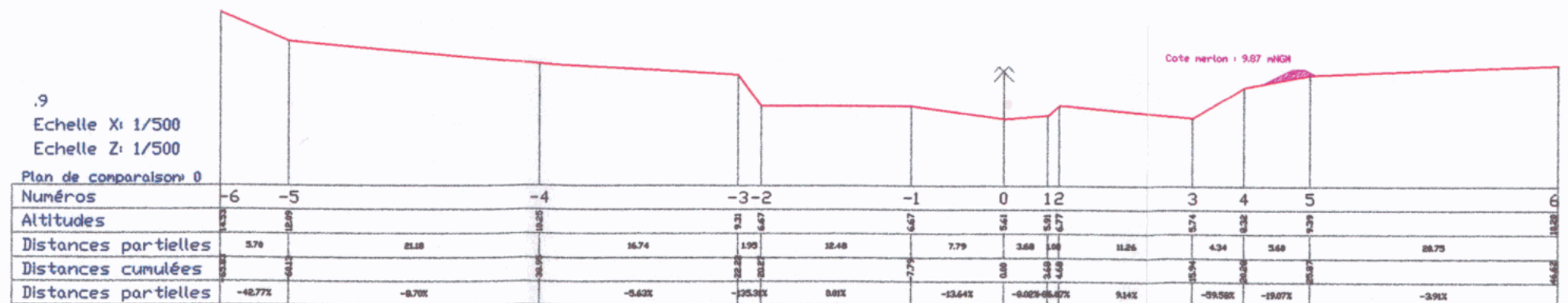
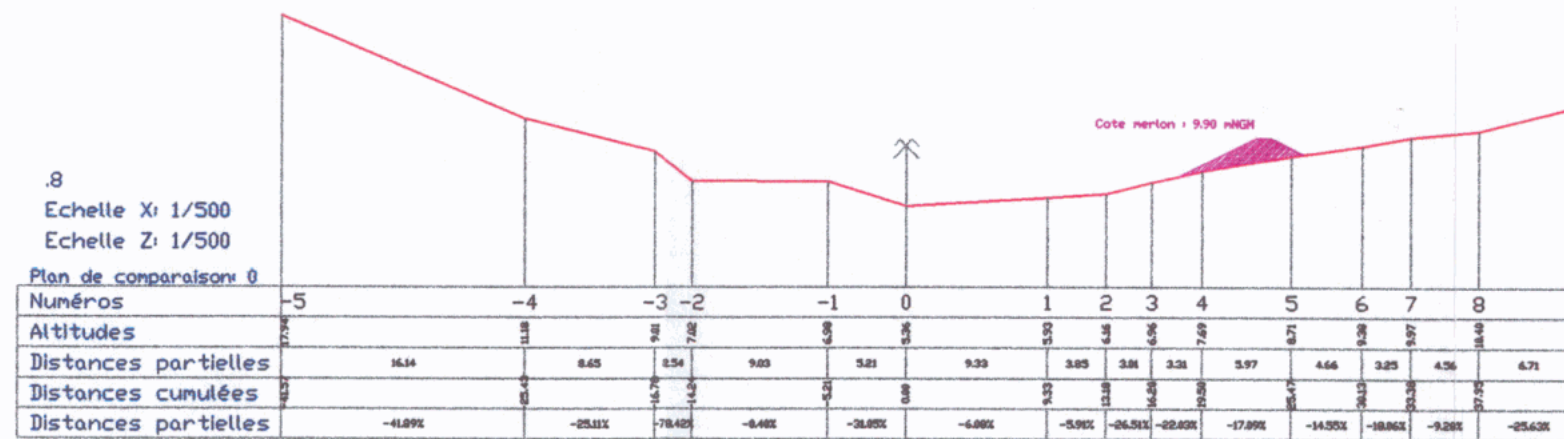
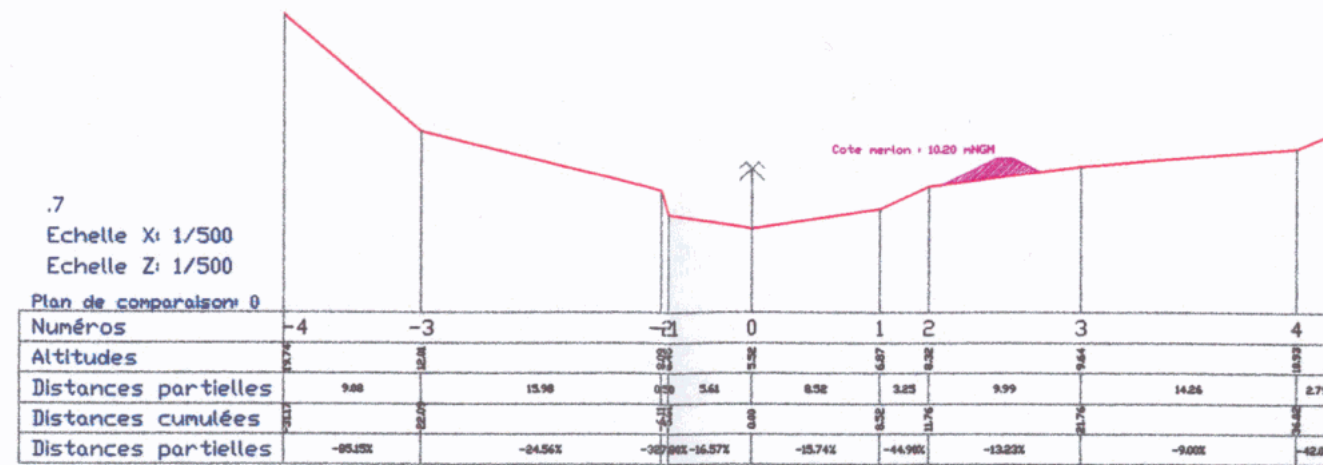
Annexe III.6 Aménagement de la rivière Bouyouni, coupe-type des murets maçonnés



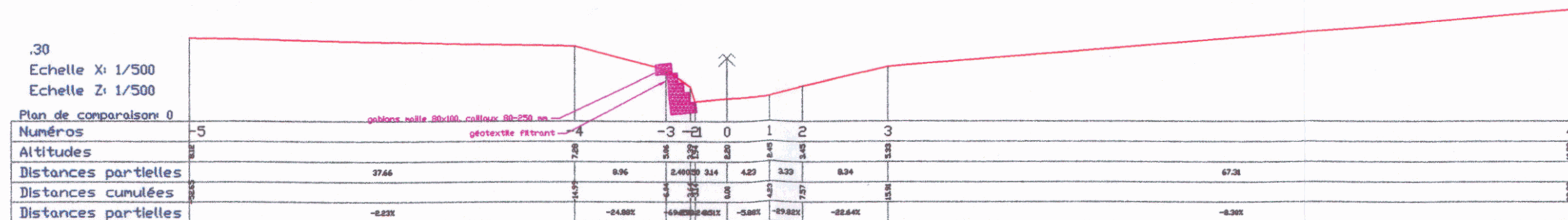
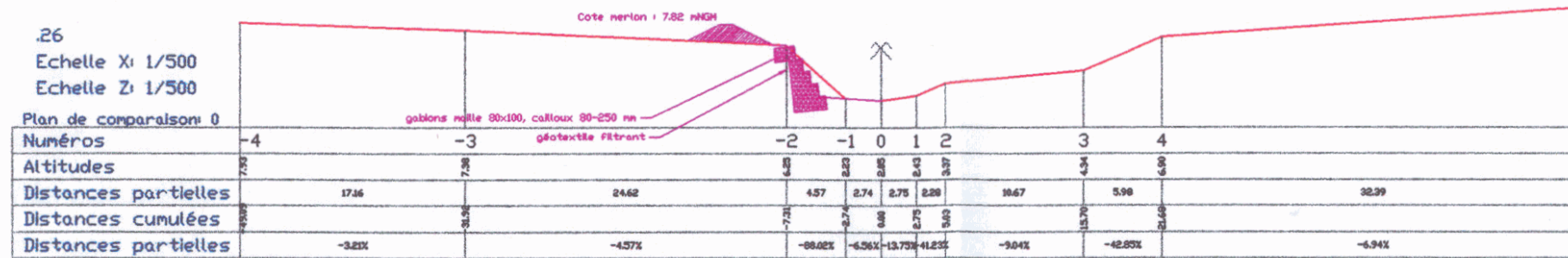
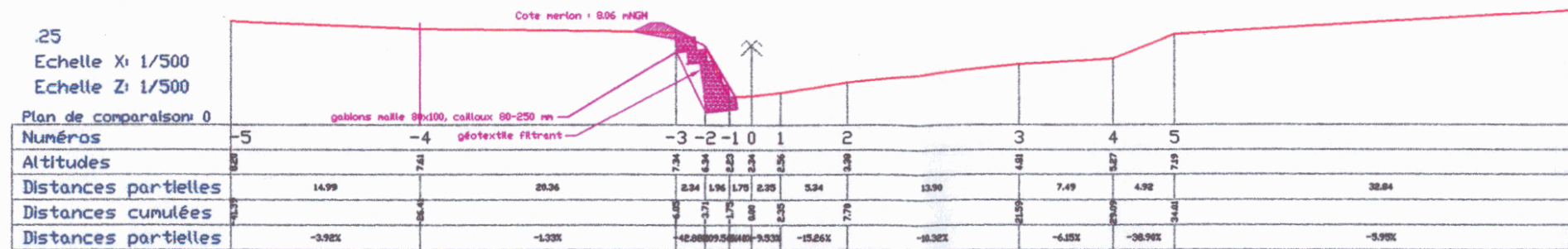
Ref. 03-071 Juillet 2003  815 Route Champs Farçon 74 370 ARGONAY Téléphone : 04.50.27.17.26 Ingénierie de l'eau Télécopie : 04.50.27.25.64	ETUDE HYDRAULIQUE DE PROTECTION DES LOTISSEMENTS CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE BOUYOUNI Digue de protection Coupe-type		PIÈCE 6.1 ÉCHELLE : 1/50
--	--	--	-----------------------------

Annexe III. 7 Modélisation mathématique des écoulements de crue, état après aménagements – Listing des résultats Q 100

label	flow (m3/s)	stage (mNGM)	froude	velocity (m/s)	umode	ustate	z (mNGM)	Charge totale (mNGM)	Cote digue (mNGM) Ztot.+25 cm (revanche)	Cote berge RD (mNGM)	Cote berge RG (mNGM)
1	214	13.08	0.97	4.05	0.00	0.00	10.02	13.92	14.17		
2	214	13.56	0.40	1.82	0.00	0.00	9.85	13.73	13.98		
3	214	10.33	0.54	2.50	0.00	0.00	6.62	10.65	10.90	10.54	
4	214	9.75	0.91	3.58	0.00	0.00	7.01	10.40	10.65	10.21	
5	214	10.05	0.43	2.11	0.00	0.00	7.08	10.28	10.53	10.77	
6	214	9.17	0.96	4.54	0.00	0.00	5.60	10.22	10.47	8.45	
7	214	9.00	1.02	4.32	0.00	0.00	5.52	9.95	10.20	8.32	
8	214	9.48	0.37	1.80	0.00	0.00	5.36	9.65	9.90	8.71	
9	214	9.49	0.33	1.62	0.00	0.00	5.61	9.62	9.87	9.39	
10	214	9.32	0.40	2.06	0.00	0.00	5.33	9.54	9.79	8.86	
11	214	8.97	0.53	3.03	0.00	0.00	4.77	9.44	9.69	8.04	
12	214	8.26	0.92	4.47	0.00	0.00	4.98	9.28	9.53	7.96	
13	214	7.90	0.87	3.97	0.00	0.00	4.40	8.71	8.96	7.98	
14	214	7.59	0.95	4.15	0.00	0.00	4.17	8.47	8.72	7.71	
15	214	7.68	0.68	2.55	0.00	0.00	4.39	8.01	8.26	7.77	
16	214	7.81	0.34	1.75	0.00	0.00	3.71	7.96	8.21	7.90	6.96
17	214	7.80	0.30	1.58	0.00	0.00	3.35	7.93	8.18	7.89	8.82
18	214	7.59	0.46	2.33	0.00	0.00	3.46	7.87	8.12	7.45	8.67
19	214	7.57	0.39	2.16	0.00	0.00	3.49	7.81	8.06	8.08	7.81
20	214	7.57	0.39	2.16	0.00	0.00	3.84	7.81	8.06	8.03	7.66
21	214	7.26	0.67	3.08	0.00	0.00	3.24	7.74	7.99		
22	214	7.45	0.45	2.15	0.00	0.00	2.95	7.68	7.93		
23	214	7.55	0.30	1.53	0.00	0.00	2.34	7.66	7.91		
24	214	7.49	0.34	1.73	0.00	0.00	2.73	7.81	8.06		
25	214	7.46	0.35	1.73	0.00	0.00	2.23	7.81	8.06		7.34
26	214	7.40	0.41	1.85	0.00	0.00	2.05	7.57	7.82		7.34
27	214	7.42	0.30	1.41	0.00	0.00	1.65	7.52	7.77		7.28
28	214	7.41	0.31	1.32	0.00	0.00	2.11	7.50	7.75		7.28
29	214	6.78	0.58	3.64	0.00	0.00	1.47	7.45	7.70		
30	214	7.20	0.42	1.87	0.00	0.00	1.94	7.38	7.63		
31	214	7.07	0.48	2.20	0.00	0.00	1.27	7.31	7.56		
32	214	6.62	0.62	3.40	0.00	0.00	1.60	7.21	7.46		
33	214	6.55	0.56	3.20	0.00	0.00	1.01	7.07	7.32		
34	214	5.93	0.79	4.44	0.00	0.00	1.52	6.93	7.18		
35	214	5.54	0.86	4.74	0.00	0.00	0.76	6.68	6.93		
36	214	5.78	0.69	3.76	0.00	0.00	1.41	6.50	6.75		
37	214	5.44	0.83	4.38	0.00	0.00	1.23	6.42	6.67		
38	214	5.78	0.67	3.25	0.00	0.00	1.04	6.32	6.57		
39	214	5.51	0.69	3.71	0.00	0.00	0.65	6.21	6.46		6.21
40	214	4.94	0.86	4.72	0.00	0.00	0.88	6.07	6.32		5.92
41	214	4.69	1.00	5.00	0.00	0.00	0.75	5.96	6.21		5.83
42	214	5.20	0.55	2.82	0.00	0.00	0.98	5.61	5.86		5.61
43	214	5.20	0.47	2.64	0.00	0.00	0.32	5.55	5.80		5.59
44	214	5.33	0.36	1.93	0.00	0.00	0.56	5.52	5.77		5.41
45	214	5.28	0.38	2.05	0.00	0.00	0.54	5.49	5.74		5.01
46	214	4.89	0.56	3.30	0.00	0.00	0.29	5.45	5.70		5.02
47	214	4.94	0.53	2.87	0.00	0.00	0.39	5.36	5.61		4.97
48	214	5.09	0.39	2.21	0.00	0.00	0.15	5.33	5.58		5.21
49	214	5.01	0.43	2.37	0.00	0.00	0.15	5.29	5.54		5.65
50	214	5.12	0.32	1.84	0.00	0.00	0.05	5.29	5.54		5.15
51	214	5.13	0.30	1.68	0.00	0.00	0.22	5.27	5.52		4.67
52	214	5.07	0.32	1.92	0.00	0.00	0.11	5.26	5.51		4.40
53	214	5.09	0.30	1.75	0.00	0.00	0.26	5.24	5.49		4.50
54	214	4.70	0.64	3.10	0.00	0.00	-0.17	5.19	5.44		4.31
55	214	4.97	0.42	1.91	0.00	0.00	-0.21	5.16	5.41		4.48
56	214	4.97	0.33	1.55	0.00	0.00	0.39	5.09	5.34		4.15
57	214	4.91	0.36	1.64	0.00	0.00	-0.45	5.04	5.29		4.10
57i	214	3.56	1.17	3.71	0.00	0.00	-0.45	4.26	4.51		



Protections de berges en gabions



Annexe IV Référentiel photographique



Photo 1 : Seuil de Bouyouni-Bas, le 06 février 2003.
Photo Stéphane Eienberger, Société Dubromer.



Photo 2: Seuil de Bouyouni-Bas en saison sèche, Juin 2003.
Photo Olivier Jossot, BRGM Mayotte



Photo 3 : Seuil de Bouyouni Bas, le 06 février 2003
Photo Stéphane Eienberger, Société Dubromer



Photo 4: Seuil de Bouyouni-Bas, juin 2003. Photo Olivier Jossot, BRGM Mayotte



Photo 5 : Seuil de Bouyouni Bas, le 06 février 2003 à 14 h 00. Compteur EDF. Photo Stéphane Eienberger, Société Dubromer.

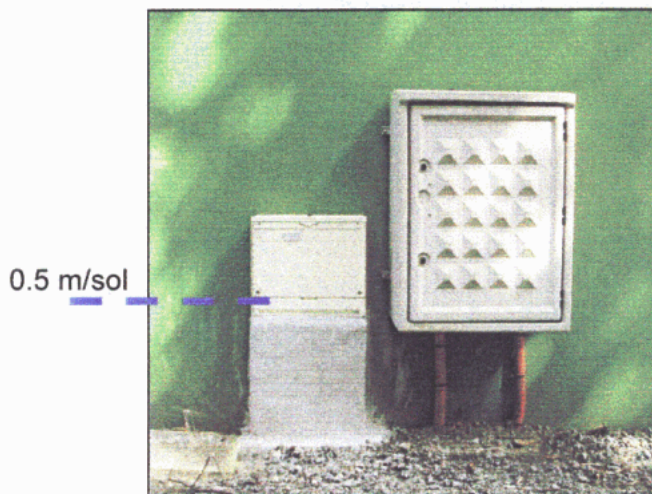


Photo 6 : Seuil de Bouyouni Bas, Compteur EDF, juin 2003. BRGM Mayotte.



Photo 7 : Seuil de Bouyouni-Bas, le 06 février 2003 à 14h 15, station de pompage. Photo Stéphane Eienberger, Société Dubromer



Photo 8 : Seuil de Bouyouni Bas, Juin 2003. Station de pompage. BRGM Mayotte



Photo 9 : Village de Bouyouni, zone amont pont, hauteur d'eau atteinte lors des événements de crue de février 2003. Photo Olivier Jossot, BRGM Mayotte, le 18 février 2003.



Photo 10 : Village de Bouyouni, zone amont pont. Exemple d'excavation de berges due à l'érosion. Photo Olivier Jossot, BRGM Mayotte, le 18 février 2003



Photo 11 : Village de Bouyouni, ouvrage de franchissement de la RN1. Embâcle en rive droite
Photo Olivier Jossot, BRGM Mayotte, le 18 février 2003.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France
Tel. – 02 38 64 34 34

Service géologique régional Réunion

Antenne de Mayotte
BP 1398
97600 – Mamoudzou – Mayotte
Tel. – 02.69.61.28.13