

Les inondations d'avril 2012 à Ngazidja (Union des Comores)

-

Etat des lieux, diagnostic et perspectives



Direction des Affaires Européennes, Internationales et de la Culture de la Paix
Marie-Hélène Chambrin

Direction de l'Eau et de l'Assainissement
Thierry Braun
Ronan Quillien

SOMMAIRE

INTRODUCTION - CONTEXTE DE LA MISSION	5
I. ETAT DES LIEUX.....	6
A. LE CLIMAT TROPICAL DE LA GRANDE COMORE	6
1. UNE PLUVIOMETRIE IMPORTANTE SUR UNE PARTIE DE L'ANNEE	6
2. LES CYCLONES ET TEMPETES TROPICALES	6
B. LES SPECIFICITES D'UN VOLCAN AMENAGE	7
1. UNE ILE AU CŒUR D'UN ARCHIPEL VOLCANIQUE.....	7
2. UNE ACTIVITE VOLCANIQUE TOUJOURS IMPORTANTE	7
3. UN AMENAGEMENT PROGRESSIF DU VOLCAN.....	9
C. UNE HYDROGEOLOGIE CARACTERISTIQUE D'UNE ILE VOLCANIQUE	10
1. DES ZONES PLUS PARTICULIEREMENT INONDABLES	10
2. DES RUISSELLEMENTS IMPORTANTS ET LA FORMATION DE LAHARS	11
3. LA REMONTEE DU BISEAU SALE	13
4. L'INONDABILITE DE L'AEROPORT DE MORONI	13
5. LES REMONTEES DE MAREE, UN AUTRE TYPE D'INONDATION	14
D. DES INFRASTURES RUSTIQUES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES.....	15
1. LA MAITRISE DES RUISSELLEMENTS.....	15
2. UNE PRATIQUE DE RECUPERATION DES EAUX PLUVIALES	16
II. LES INONDATIONS D'AVRIL 2012	17
A. DES ZONES PARTICULIEREMENT SINISTREES	17
B. LES CONSEQUENCES SANITAIRES ET L'ORGANISATION DES SECOURS	18
III. LES PREMIERS ELEMENTS DE DIAGNOSTIC.....	19
A. LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES.....	19
1. LE RESEAU DE PLUVIOMETRES	19
2. LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES	19
B. LES BASSINS VERSANTS ACTUELS ET LEURS CARACTERISTIQUES.....	20
1. LE CALCUL DES BASSINS VERSANTS A L'AIDE D'UN MNT	20
2. DES BASSINS VERSANTS AU FONCTIONNEMENT COMPLEXE	21
IV. FOCUS SUR 4 SITES PARTICULIERS.....	22
A. VOUVOUNI, LA LOCALITE LA PLUS TOUCHEE SELON LE COSEP	22
1. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT.....	22
2. DEGATS OBSERVES ET RISQUES ASSOCIES	23
3. CAUSES PROBABLES.....	23
4. PREMIERS AMENAGEMENTS	23
B. TP5.....	24
1. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT.....	24
2. DEGATS OBSERVES ET RISQUES ASSOCIES	25
3. CAUSES PROBABLES.....	27
4. PREMIERS AMENAGEMENTS	27
C. STATION KAFOUNI	28
1. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT.....	28
2. DEGATS OBSERVES ET RISQUES ASSOCIES	29
3. CAUSES PROBABLES.....	30

4. PREMIERS AMENAGEMENTS	32
D. MVOUNI	32
1. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT	32
2. DEGATS OBSERVES ET RISQUES ASSOCIES	33
3. CAUSES PROBABLES	34
4. PREMIERS AMENAGEMENTS	34
<u>V. LES PERSPECTIVES D’ACTIONS</u>	<u>35</u>
A. AMELIORER ET DIFFUSER LA CONNAISSANCE DU PHENOMENE « INONDATION »	35
1. DEVELOPPER LES CONNAISSANCES METROLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES	35
2. CARTOGRAPHIER LES ZONES D’ÉCOULEMENT ET IDENTIFIER LES ZONES SENSIBLES	35
3. DIFFUSER LA CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES	36
B. OPTIMISER LA GESTION DES RUISSELLEMENTS	36
1. GERER LES RUISSELLEMENTS : OUVRAGE D’ART ET EVACUATION	36
2. METTRE EN OEUVRE DES BONNES PRATIQUES : NETTOYAGE DES RAVINES	36
C. REDUIRE LA VULNERABILITE DU TERRITOIRE	36
1. METTRE EN PLACE DES REGLES DE CONSTRUCTION ET D’AMENAGEMENT	36
2. PENSER UNE APPROCHE EN «SITUATION DEGRADEE »	37
<u>CONCLUSION</u>	<u>38</u>
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>39</u>
<u>TABLES DES FIGURES</u>	<u>40</u>
<u>ANNEXES</u>	<u>41</u>
ANNEXE 1 – EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE LA GRANDE COMORE – REGIONS BAMBAAO ET HAMBOU	

INTRODUCTION - CONTEXTE DE LA MISSION

Depuis quelques années, les Comores, et notamment l'île de Ngazidja sont l'objet d'inondations très importantes, comme cela a été le cas en avril 2012.

Les dégâts matériels sont nombreux, avec près de 500 habitations totalement ou partiellement détruites. 1800 habitations ont été inondés et 4000 familles déplacées.

Des tonnes de pierres et de boues ont envahi les villages. Les routes, déjà en mauvaise état sont très difficilement praticables. Des zones agricoles ont été détruites.

Sur les 3 îles de L'Union des Comores, 65 000 personnes ont été directement affectés par les inondations, soit 8 % de la population et pour une majeure partie, à la Grande Comore, l'île la plus touchée.

Ainsi, suite à ces événements et dans cadre d'un protocole de coopération décentralisée signé par l'Association des Maires de Ngazidja, le gouvernorat de l'île et le Conseil Général de Seine-Saint-Denis, une mission composée d'agents du Département a eu lieu du 22 au 28 mai 2012 afin d'effectuer un état des lieux et un diagnostic de ces inondations. Le but étant d'étudier les causes de ces inondations et les raisons de la vulnérabilité particulière de certains équipements et localités. Durant la mission, de nombreuses rencontres et visites, notamment avec le COSEP (la Sécurité Civile) ont permis d'esquisser les raisons du caractère exceptionnel de ces événements et d'entamer la réflexion afin de limiter leur impact sur le territoire.

Suite à cette mission, un long travail de recueil de données complémentaires a été mené, en lien avec différents partenaires comoriens, rencontrés pour la plupart lors de la mission. Cela a permis de récupérer notamment des images satellites, un Modèle Numérique de Terrain et des données pluviométriques. C'est sur la base de ces données qu'il est proposé dans ce rapport un diagnostic préliminaire des causes des inondations.

Ce rapport a pour ambition de flécher des pistes de réflexion, sur la base d'un premier travail certainement à approfondir, quant aux causes éventuelles des inondations et des solutions à mettre en œuvre.

I. ETAT DES LIEUX

A. LE CLIMAT TROPICAL DE LA GRANDE COMORE

1. UNE PLUVIOMETRIE IMPORTANTE SUR UNE PARTIE DE L'ANNEE

Le climat des Comores est de type tropical maritime et présente des contrastes locaux marqués par des microclimats du fait de l'influence du relief. A la Grande-Comore, les précipitations dépassent 4000mm par an au niveau de la forêt du Karthala située sur le versant Ouest de l'île. La pluviométrie élevée de la Grande-Comore, par rapport aux autres îles de l'archipel, s'explique par son relief particulièrement marqué (plus de 2000 mètres) et par sa situation plus à l'ouest.

Les deux saisons ne se succèdent pas brutalement, elles sont séparées par des périodes de transition caractérisées par une évolution continue et relativement rapide de certains paramètres climatiques (température, humidité, pression...).

- la saison des pluies : de novembre à mai

Cette période se caractérise par une chaleur humide et des orages fréquents. En zone côtière, la température moyenne est de l'ordre de 27° C. Les maxima varient entre 31 et 35°C et les minima autour de 23° C.

- la saison sèche et fraîche : de juin à octobre

Elle se caractérise, par rapport à la saison des pluies, par une humidité moindre, des températures moins élevées et la quasi permanence de vents, alizés ou brises de mer. En zone côtière, les températures moyennes sont de 23 à 24 ° C. Les maxima se situent autour de 28° C et les minima entre 18 et 19° C.

2. LES CYCLONES ET TEMPETES TROPICALES

Pendant la saison des pluies, les Comores peuvent être le siège de cyclones tropicaux. Entre 1911 et 1961, l'archipel a connu 23 cyclones soit en moyenne un cyclone tous les deux ans.

La zone la plus touchée par les cyclones est l'est de l'île. Les cyclones proviennent essentiellement de Madagascar. Le relief de l'île étant très marqué, l'ouest reste protégé mais n'est pas pour autant épargné depuis peu, du fait d'une évolution des couloirs cycloniques. Des perturbations tropicales pourraient expliquer ce phénomène de modification de la trajectoire. Ce sont essentiellement les côtes de l'île qui sont touchées, les flans du volcan, dans une moindre mesure.



Figure 1 - Historique des cyclones à moins de 300 km de Mayotte (1976-2010)
Données CMRS

B. LES SPECIFICITES D'UN VOLCAN AMENAGE

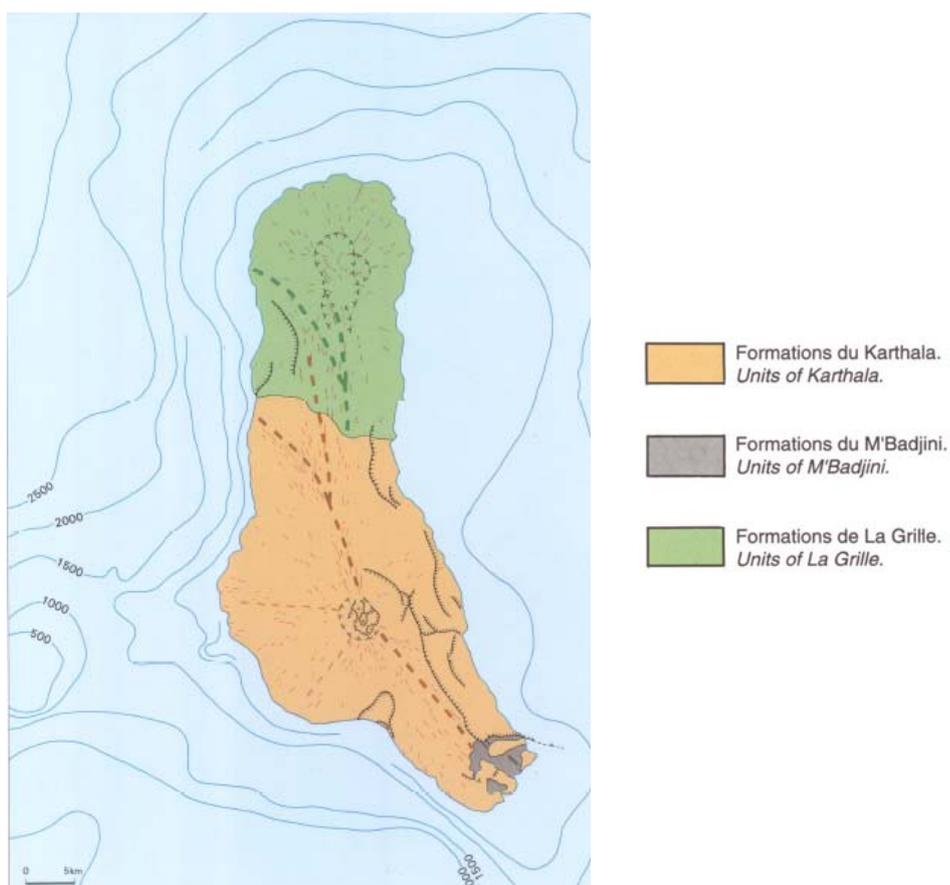
1. UNE ILE AU CŒUR D'UN ARCHIPEL VOLCANIQUE

Les Comores se sont créées à la suite de la formation du fossé d'effondrement (rift) qui a séparé Madagascar de l'Afrique, il y a 65 millions d'années (fin du Secondaire). L'archipel est issu d'un plateau sous-marin volcanique. Ces îles résultent d'une poussée de magma intervenue il y a 15 millions d'années. La première île fut Mayotte puis Anjouan et Mohéli émergeraient. Et enfin, il y a deux millions d'années, la Grande Comore.

L'action de l'érosion s'est exercée de façon continue sur ces îles, réduisant leurs altitudes. L'Archipel est constitué de roches volcaniques diversifiées. L'île de la Grande Comore est constituée par deux volcans : la Grille au Nord et le Karthala toujours en activité, occupant les deux tiers Sud de l'île.

Nous verrons plus loin que ce contexte volcanique a son importance dans l'interaction entre le sol et l'eau qu'il implique et les phénomènes hydrogéologiques induits. Remarquons par exemple, la présence de nombreux cônes volcaniques qui constituent autant de zones d'infiltration potentielles. Le relief est également intimement lié aux diverses coulées de lave dont les caractéristiques impactent l'hydrogéologie.

[Annexe 1 – Extrait de la carte géologique de la Grande Comore – Régions Bambao et Hambou]



2. UNE ACTIVITE VOLCANIQUE TOUJOURS IMPORTANTE

Les dernières éruptions du Karthala datent de 2005 (avril et novembre), 2006 et 2007. Les deux éruptions de 2005 sont, à elles-seules, à l'origine des retombées de cendres

importantes sur le sommet du volcan, retombées ayant conduit à une imperméabilisation des formations et à la formation de lahars¹ sur les flancs et jusque dans les villages du littoral.



Figure 3 - Le sommet du Karthala le 4 août 2002
Données NASA

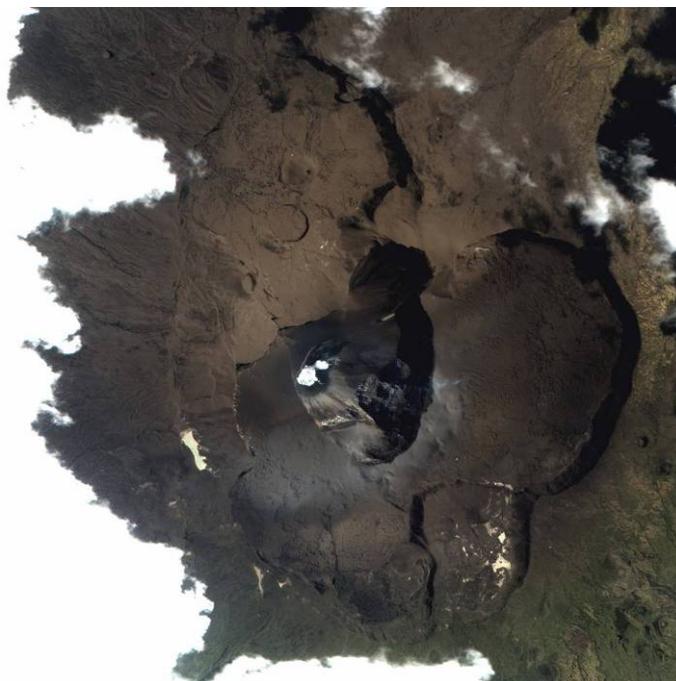


Figure 4 - Le sommet du Karthala le 19 avril 2005
Données NASA

La Figure 4 montre le sommet du volcan juste après la fin de l'éruption qui s'est déroulée du 16 au 20 avril 2005.

¹ Les lahars se forment généralement lorsque d'importantes pluies s'abattent sur des dépôts volcaniques

Ces deux illustrations ne font que confirmer que les éruptions ont effectivement apporté de grandes quantités de cendres.

L'hydrogéologie de l'île a été incontestablement fortement perturbée à la suite des deux éruptions explosives de 2005. Les retombées ont largement recouvert la zone haute et les flancs les plus élevés du Karthala avec une épaisseur de plusieurs dizaines de cm. Ces cendres, extrêmement fines, constituent un horizon imperméabilisant en surface et limitent très fortement l'infiltration en zone haute.

3. UN AMENAGEMENT PROGRESSIF DU VOLCAN

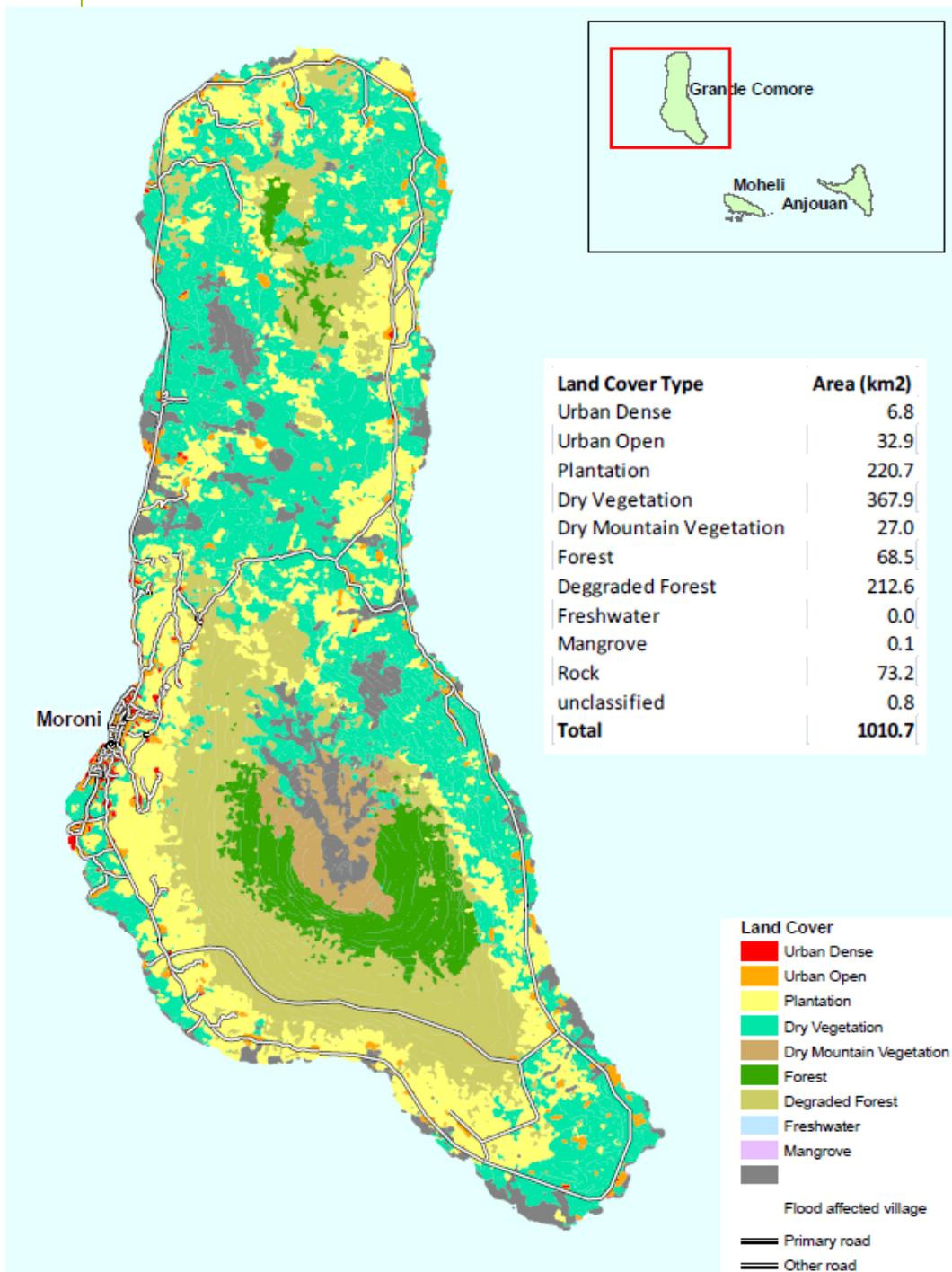


Figure 5 - Mode d'occupation du Sol
Données Map Action

On constate que les modifications des espaces naturels s'effectuent en partant du littoral vers le sommet du Karthala. Les espaces les plus artificialisés et donc le plus souvent imperméabilisés se trouvent sur le littoral. Plus on se dirige vers le sommet du Karthala moins les espaces sont modifiés par l'action de l'homme. Ainsi, on passe progressivement de zones urbaines, à des cultures relativement étendues puis à une forêt légèrement aménagée puis à une forêt vierge de tout aménagement. Le développement de l'île tend à poursuivre ces modifications en étendant progressivement les zones les plus modifiées vers les flans du volcan.

Cette évolution modifie progressivement, mais sur d'importantes surfaces, le fonctionnement des bassins versants et donc le phénomène de ruissellement. Les aménagements, selon leur nature vont :

- augmenter le ruissellement en imperméabilisant dans les zones urbaines par exemple
- empêcher l'évacuation en construisant différentes infrastructures
- accélérer leur évacuation en aménageant d'importantes ravines dans les zones agricoles
- modifier les talwegs et induire des débits importants dans des zones initialement « protégées ».

C. UNE HYDROGEOLOGIE CARACTERISTIQUE D'UNE ILE VOLCANIQUE

1. DES ZONES PLUS PARTICULIEREMENT INONDABLES

Selon les données fournies par le COSEP certains secteurs de l'île sont fréquemment inondés.

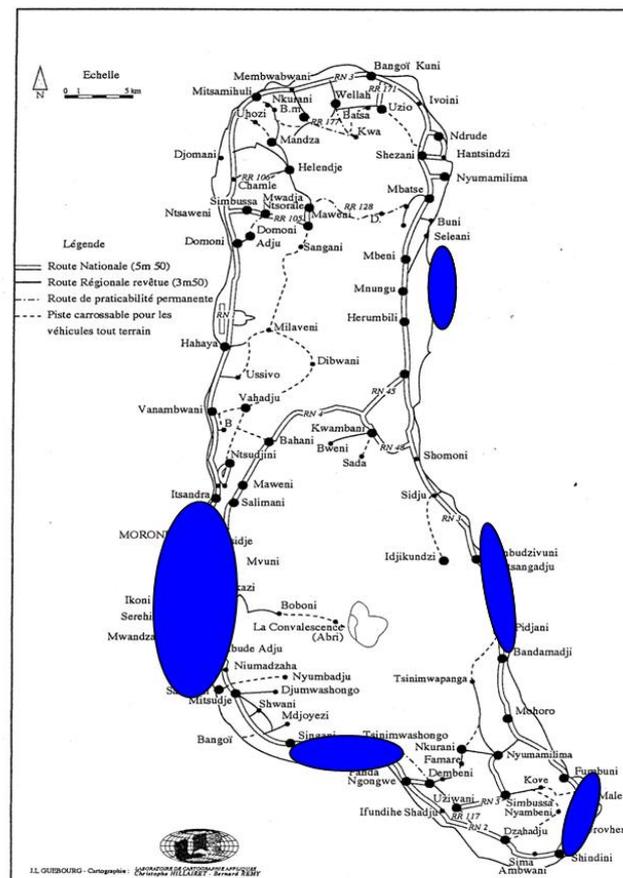


Figure 6 - Secteurs fortement inondables
Données COSEP

Les régions principalement touchées sont :

- Région de Bambao : de Moroni à Dzahadjou
- Sud-ouest de l'île : Zone de Malé
- Nord-est : de Mbéni à Heroumbili
- A l'est : de Foubudzivouni à Pidjani (Mbadjini Domba)



Figure 7 – Inondations antérieures à Avril 2012
Données COSEP (Archives)

2. DES RUISSELLEMENTS IMPORTANTS ET LA FORMATION DE LAHARS

Le contexte volcanique s'est traduit dès la fin des éruptions, et durant plusieurs années, par des écoulements importants. Ils ont mobilisé les dépôts et engendré des lahars importants transportant les cendres, via les ravines sur les flancs du volcan, vers la zone basse. Ceci a contribué à imperméabiliser le fond des ravines et à limiter, là encore, les infiltrations, conduisant à des débordements.



Figure 8 - Ravines et dégâts - Inondation d'avril 2012
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

Ces photographies, pour la plupart prises lors de la mission du Conseil Général de Seine-Saint-Denis en mai 2012, illustrent les dégâts occasionnés par d'importants transports solides dans les ravines lors des pluies d'avril 2012. Ces roches et sédiments se sont déposés sur des épaisseurs parfois importantes, jusqu'à près de deux mètres. Le contexte volcanique particulier a donc un impact sur les écoulements à plusieurs titres :

- les dépôts consécutifs aux éruptions volcaniques imperméabilisent les sols. Lors de fortes pluies le ruissellement est donc bien plus important, occasionnant des dégâts plus conséquents.
- les dépôts s'accumulent également en fond de ravines, réduisant ainsi les capacités d'évacuation en réduisant notablement la section du lit.
- les dépôts sont eux-mêmes charriés par les écoulements, formant des lahars. Ce transport solide augmente d'autant les dégâts.

3. LA REMONTEE DU BISEAU SALE

Outre l'augmentation du ruissellement, l'imperméabilisation du sol a également pour conséquence de réduire sensiblement l'infiltration. Ainsi, les nappes sont moins alimentées en eau douce.

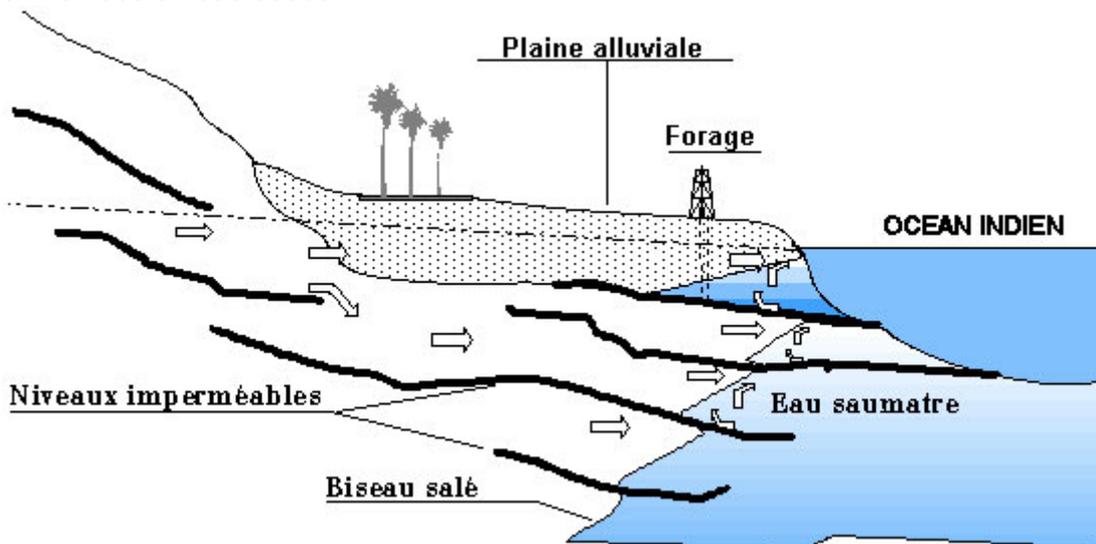


Figure 9 - Schéma du biseau salé
Données Office de l'Eau de la Réunion

Ainsi, l'équilibre entre eau douce et eau salée est perturbé occasionnant une remontée du biseau salée. Les puits d'alimentation en eau potable, en zone côtière, voient donc leur salinité augmenter. Ce phénomène peut donc rendre cette eau impropre à la consommation.

4. L'INONDABILITE DE L'AEROPORT DE MORONI

En 1974, une étude aurait déconseillé la construction de l'aéroport de Moroni. Cette information nous a été fournie par le Gouvernorat lors de notre mission. Malgré tout, nous n'avons pas été en mesure de nous procurer cette étude. Elle serait indéniablement intéressante à consulter.

D. DES INFRASTRUCTURES RUSTIQUES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

1. LA MAITRISE DES RUISSELLEMENTS

Sur Ngazidja, il n'y a pas ni rivière permanente ni réseau de collecte des eaux pluviales vraiment structuré.

Globalement, la collecte des eaux pluviales est assurée par des ravines dans les espaces ruraux et naturels et par ruissellement diffus (voiries, caniveau, talus...) dans le cas des espaces aménagés. Parfois, les eaux pluviales sont collectées par des caniveaux et des canalisations assurent le recueil d'une partie de ces eaux pour les rejeter vers le littoral.

Ainsi, la quantité et la qualité des eaux pluviales ne sont pas particulièrement maîtrisées. Les ouvrages de franchissement de voiries ou de collecte ne sont pas forcément dimensionnés en fonction des bassins versants d'apports et l'impact de la nature des surfaces de ruissellement sur la qualité des eaux a priori peu pris en compte.



Figure 12 - Ravines en milieu périurbain et rural
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis





Figure 13 - Ruissellements sur voirie
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

En milieu urbain, lors d'événements pluvieux importants, le ruissellement non accompagné par des caniveaux endommage les routes en s'infiltrant sous l'enrobés (parfois très fin), traverse les voiries en fonction du nivellement et stagne sur les bas-côtés. Ces ruissellements non maîtrisés créent donc de nombreux dégâts lors de pluies importantes et successives.

2. UNE PRATIQUE DE RECUPERATION DES EAUX PLUVIALES

La récupération des eaux pluviales est une pratique courante sur Ngazidja. De nombreux dispositifs sont observés, essentiellement dans les zones où l'adduction en eau potable est inexistante et/ou pas suffisamment performante. Ainsi, au-delà d'une certaine altitude ces dispositifs sont davantage répandus.



Figure 14 - Installations de récupération des eaux pluviales à la Grande Comore
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

II. LES INONDATIONS D'AVRIL 2012

A. DES ZONES PARTICULIEREMENT SINISTREES

A partir du 20 avril 2012, l'ensemble de l'archipel des Comores a été frappé par des pluies torrentielles qui ont provoqué des fortes inondations, des glissements de terrain et des éboulements. Les principales régions affectées sont : Bambao, Hambou et Mbadjini Est pour la Grande Comore.

Les premières évaluations rapides faites par la Direction Générale de la Protection Civile en partenariat avec les sauveteurs du Système des Nations Unies et du Croissant Rouge Comorien ont permis d'évaluer l'ampleur des dégâts causés par ces intempéries. Il en ressort qu'environ 9390 ménages ont été affectés. Pour l'ensemble de l'Union des Comores, on recense :

- 46139 personnes sinistrées au total
- dont 9228 personnes sans-abris



Les différentes rencontres que nous avons eu lors de notre mission ainsi que les documents collectés nous ont permis de recenser partiellement, les dégâts observés et donc les zones particulièrement concernées par les inondations de 2012.

Le COSEP, nous a précisé que la ville la plus touchée était Vouvouni. Notre visite sur place a confirmé l'importance des dégâts dans cette zone.

Selon les services du gouvernorat, rencontrés à notre arrivée le 22 mai, 1600 ha auraient été recouvert par de la boue, sur une épaisseur de 70cm à 1m.

B. LES CONSEQUENCES SANITAIRES ET L'ORGANISATION DES SECOURS

L'interruption de l'exploitation du puits TP05 est sans aucun doute une des conséquences les plus importantes des inondations. Il est en effet, le principal puits alimentant l'agglomération de Moroni et ses 80 000 habitants en eau potable.

Pour des mesures de sécurité, le pompage de l'eau avait été arrêté. Dès le 26 avril, les équipes de la MA'MWE appuyées par l'Administrateur chargé de l'eau et de l'Assainissement de l'UNICEF, Mohamed Maarouf débutent les opérations de pompage de l'eau.

Parallèlement, le Gouvernement, en collaboration avec les partenaires du développement, les organisations de la société civile et l'armée nationale, envoie des équipes sur les zones sinistrées pour assurer la prévention des maladies hydriques, assurer l'hygiène et l'assainissement des populations sinistrées et assurer un approvisionnement en eau potable aux familles affectées directement et indirectement. Pour ce faire, l'UNICEF a mis à la disposition du Gouvernement comorien, environ 3 000 kits d'hygiène et de purification de l'eau en vue de contribuer à la prévention des maladies hydriques et épidémiques.

Au moment de notre visite (fin-mai 2012) le puits est remis en service et la qualité de l'eau est déclarée comme propre à la consommation. Nous avons appris ensuite, qu'aucune analyse de l'eau ne permettait de l'attester.

III. LES PREMIERS ELEMENTS DE DIAGNOSTIC

Deux causes possibles des importantes inondations ressortent des différents entretiens menés lors de notre mission :

- la pluviométrie aurait été exceptionnelle
- les modifications récentes de la morphologie du Karthala suite aux dernières éruptions auraient entraînés une modification de l'hydrologie des flans du volcan (augmentation de l'imperméabilisation et évolution des BV)

Nous tâcherons de faire le point sur ces deux hypothèses afin d'évaluer la contribution éventuelles de ces deux paramètres sur le caractère exceptionnel des inondations d'avril 2012.

A. LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

1. LE RESEAU DE PLUVIOMETRES

Lors de notre mission, fin-mai 2012, nous avons rencontré Farid Hassane de l'ANACM¹ qui nous a apporté des informations sur le suivi métrologique de Ngazidja.

Le suivi de la pluviométrie sur la Grande Comore a été assuré entre 1960 et 2010 par un unique pluviomètre installé sur le site même de l'ANACM à Moroni.

Dès 2010, 45 pluviomètres ont été installés sur l'ensemble de l'île. Les données de ces pluviomètres sont de qualités inégales. Le vandalisme et l'usure ont rendu inopérants certains de ces dispositifs. Malgré tout, des données existent et permettent d'apporter des renseignements précieux sur la pluviométrie de l'île.

2. LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 1 400 et 5 900 mm (suivant l'exposition et l'altitude), et est concentrée pendant la saison des pluies.

Trois zones se distinguent, on remarque notamment les contrastes de pluviosité entre les façades au vent et sous le vent, et en fonction de l'altitude :

- une moyenne annuelle de 3 000 mm en saison humide et 2 600 en saison sèche au Sud- Ouest du Karthala,
- une moyenne de 1 100 mm en saison humide et 250 mm en saison sèche au Sud-est,
- une moyenne de 1 900 mm en saison humide et 700 mm en saison sèche sur les hauteurs de la Grille.

Selon Farid Hassane, les cumuls pour les mois d'avril 2009 et 2012 sont très comparables. La dynamique pluviométrique est identique depuis 2009. Il est constaté un déficit sur 9 mois puis surviennent des pluies exceptionnelles sur 3 mois. Spatialement, on remarque « plutôt » un excès dans la région de Moroni et un déficit dans le Nord (Mitsamiouli).

L'analyse des données fournies par le responsable de l'ANACM tend à confirmer les ordres de grandeurs (1835 mm d'après le tableau de données) pour 2009.

Il est à noter qu'un cumul de 277 mm est observé le 16 avril 2009.

¹ Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

	Avril 2009 Station de l'ANACM à Moroni	Avril 2012 Valeurs extrêmes de différentes stations de la région Hambou
Cumul mensuel (mm)	1835	1738 / 2284
Cumul maximum journalier (mm)	277	311 / 446

Figure 16 - Cumuls pluviométriques en avril 2009 et 2012
Données ANACM

Entre 1960 et 2009, deux des 10 plus importants cumuls journaliers ont été enregistrés en avril 2009¹.

date	RR
27/06/1972	921,2
23/06/1976	449,4
12/08/1971	378,0
09/05/1969	376,1
27/06/1978	310,8
01/06/1988	306,2
26/06/1978	295,2
25/04/1991	284,0
16/04/2009	277,4
23/04/2009	271,5

Figure 17 - 10 plus importants cumuls journaliers à Moroni
Données ANACM

Au regard de ces deux derniers tableaux, les cumuls journaliers les plus importants d'avril 2012 indiqueraient le caractère particulièrement exceptionnel des précipitations ce mois-là.

Remarques

Il apparaît essentiel, afin d'améliorer les connaissances, d'anticiper les événements et de prévenir des inondations de :

- renforcer et fiabiliser le réseau de pluviomètres de l'ANACM
- mettre en place une validation des données pluviométriques
- développer un réseau permettant de prévoir les événements les plus importants

B. LES BASSINS VERSANTS ACTUELS ET LEURS CARACTERISTIQUES

1. LE CALCUL DES BASSINS VERSANTS A L'AIDE D'UN MNT

Les éléments d'analyse hydrologique ont été établis à partir de deux outils qui donnent des résultats comparables mais qui peuvent différer en des points singuliers :

- Le logiciel libre GRASS (<http://grass.osgeo.org>),
- Le module Arc Hydro tournant sur la plateforme ArcEditor de la société ESRI.

Ces calculs ont été effectués sur la base d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 30m du site d'observation terrestre de la NASA (<http://earthdata.nasa.gov>)

¹ La validité de ces enregistrements est à vérifier. Notamment un cumul journalier de 921 mm enregistré le 27 juin 1972

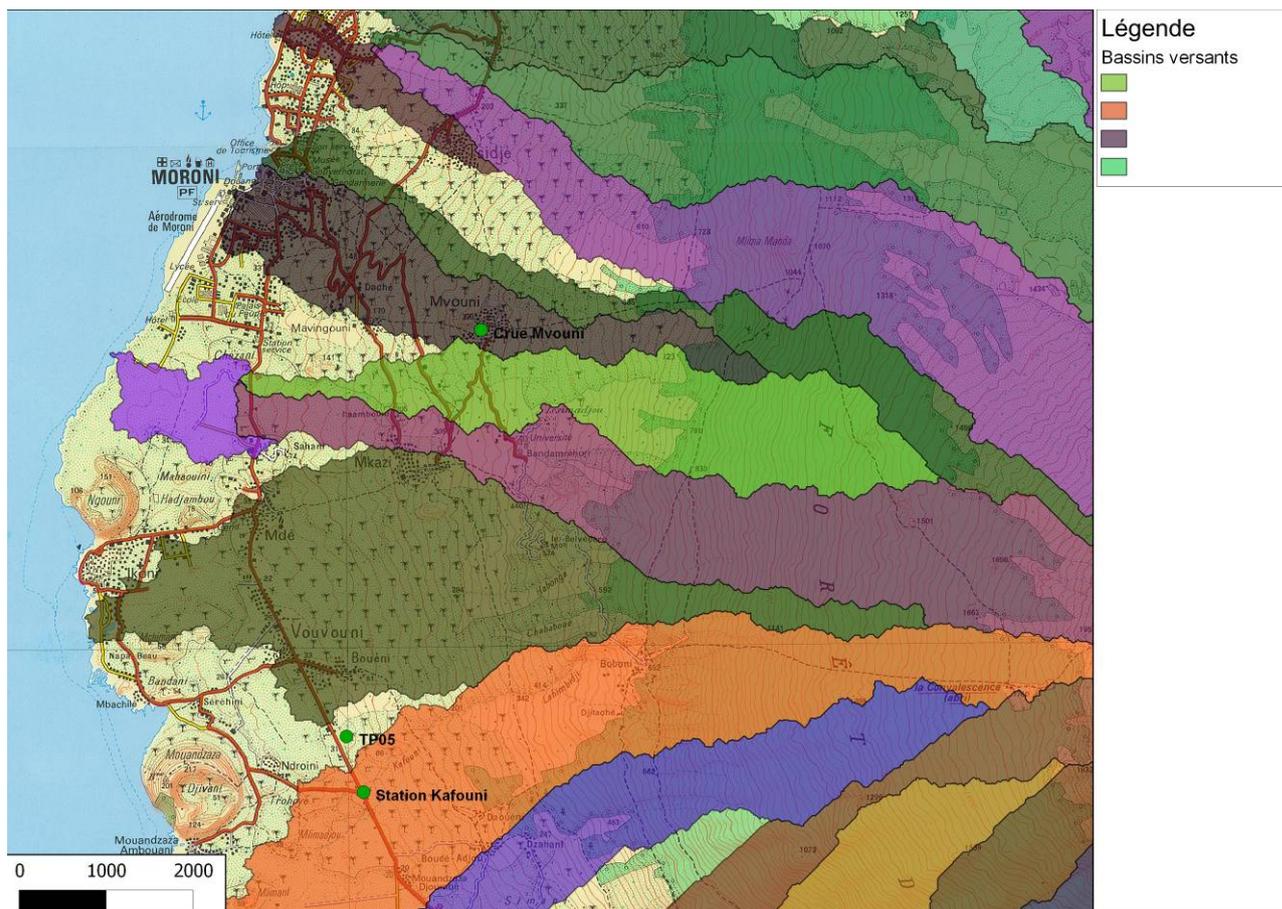


Figure 18 - Représentation des bassins versants calculés
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

2. DES BASSINS VERSANTS AU FONCTIONNEMENT COMPLEXE

Ces bassins versants ne correspondent pas à des rivières pérennes. Ces dernières sont d'ailleurs inexistantes sur l'île.

L'évacuation des ruissellements se fait donc par des talwegs, parfois aménagés en ravines dans les zones les plus modifiées par l'homme en dehors des villes (zones agricoles). Cette identification permet d'identifier les bassins versants et le cheminement « naturel » des eaux pluviales. Ainsi, il est possible d'apprécier l'importance relative des ruissellements produits et des « trajets » qu'ils emprunteront.

Du fait de la complexité du régime hydraulique de ces bassins versants, sans cesse modifiés, il est difficile d'en déduire les débits rencontrés dans les talwegs en fonction de la pluviométrie locale. Ce type de travaux est actuellement du niveau de la recherche en hydrologie et nécessite une connaissance précise des caractéristiques du sol, de son occupation et des régimes pluviométriques, données auxquelles nous n'avons pas eu accès. Notons à ce sujet le travail de thèse de Jean-Baptiste Charlier¹, réalisée en 2007 qui avait pour but de caractériser et de modéliser le fonctionnement hydrologique d'un petit bassin versant volcanique en climat tropical, dans un contexte cultivé en Guadeloupe. Ce type de travaux pourrait permettre dans des cas très précis d'étudier finement le fonctionnement d'un bassin versant donné.

¹ Fonctionnement et modélisation hydrologique d'un petit bassin versant cultivé en milieu volcanique tropical, Jean-Baptiste Charlier, CIRAD PERSYST, 2008

Il s'agira donc dans le cadre de ce rapport, non pas de chercher à déterminer précisément les caractéristiques précises de chaque bassin versant et les débits potentiels dans les talwegs, mais davantage d'approcher le phénomène d'inondation d'un point de vue pragmatique en cherchant à proposer une stratégie de « bon sens » et des aménagements techniquement simples à réaliser afin de réduire la vulnérabilité aux inondations d'un certain nombre de secteur.

IV. FOCUS SUR 4 SITES PARTICULIERS

A. VOUVOUNI, LA LOCALITE LA PLUS TOUCHEE SELON LE COSEP

1. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

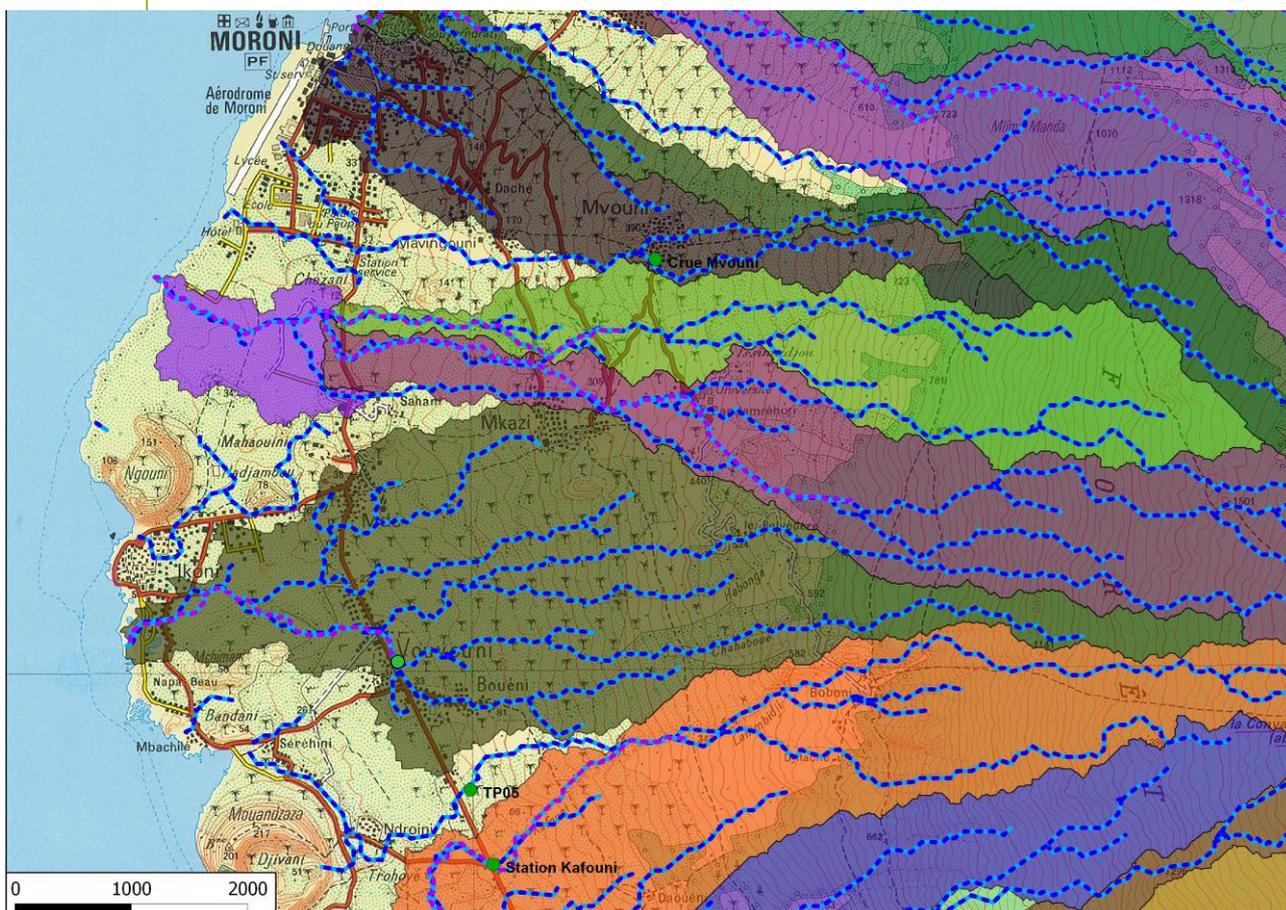


Figure 19 - Bassin versants et talwegs dans le secteur de Vouvouni
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

Lors de la mission, nous avons parcouru ce secteur et emprunté le lit de certaines rivières. La trace GPS de notre itinéraire ne correspondant pas toujours à des talwegs calculés par les logiciels. Néanmoins, les talwegs calculés ont été repérés sur le terrain. Trois explications possibles à cet écart.

- les ruissellements ont été tels que des talwegs « secondaires » (ceux que nous avons pour partie parcourus) sont apparus pour récupérer les eaux pluviales provenant des talwegs principaux saturés.
- la précision du Modèle Numérique de Terrain ne permet pas de rendre compte de certains phénomènes de ruissellement très locaux.
- la morphologie du terrain a été modifiée depuis l'établissement du MNT

2. DEGATS OBSERVES ET RISQUES ASSOCIES



Figure 20 - Ravines à Vouvouni
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

Lors des pluies d'avril 2012, la zone de Vouvouni a été fortement impactée. D'importantes quantités d'eau ruisselées ont emprunté les ravines existantes et en ont créé de nouvelles. L'intensité des événements a provoqué des glissements de terrain et de nombreux débordements. Comme pour les autres secteurs, le transport de roches et de sédiments est très important. Ainsi, de grandes surfaces agricoles ont été ravinées et recouvertes d'importantes quantités de ces matériaux transportés par le ruissellement.

3. CAUSES PROBABLES

Les calculs hydrauliques mettent en évidence que la zone de Vouvouni est contenue dans un unique bassin versant de 1280 ha. La topographie de cette zone crée de nombreux talwegs qui serpentent tous les terrains agricoles sur les hauteurs de la commune. Comme pour les autres secteurs, les lits des rivières n'ont pas suffi à évacuer les importants débits d'eaux pluviales produits. Ainsi, les nombreuses rivières sont sorties de leur lit multipliant les inondations de zones agricoles, d'habitations ou des routes.

4. PREMIERS AMENAGEMENTS

La particularité de ce bassin versant est qu'il est constitué d'un terrain très accidenté et complexe en termes de fonctionnement hydrologique. Les calculs nous permettent de

mettre en évidence un nombre très importants de talwegs auxquels s'ajoutent ce que nous avons pu observer sur le terrain. Ainsi, le ruissellement de cette zone revêt un caractère relativement imprévisible. Ainsi, deux actions pourraient permettre de maîtriser davantage le « risque inondation ».

Tout d'abord, il s'agit de maîtriser au mieux l'aléa de l'inondation pour éviter que chaque pluie crée des ruissellements et des débordements non maîtrisés. Une étude fine de terrain permettrait de confirmer les talwegs principaux, identifiés par les calculs morphologiques, et les points de débordement. Il s'agira alors :

- d'améliorer l'évacuation dans les talwegs principaux : nettoyer les ravines, s'assurer de l'existence d'exutoire notamment aux abords des infrastructures routières à franchir.
- de renforcer les points de débordements éventuels afin d'éviter des modifications trop importantes des ruissellements

Ensuite, il s'agira de limiter au maximum la vulnérabilité de cette zone. Il est donc conseillé d'éviter l'installation d'équipements, de bâtiments ou d'infrastructures sensibles aux inondations. En effet, les dégâts observés en mai 2012 et les calculs effectués depuis confirment que l'une des meilleures solutions pour maîtriser le « risque inondation » et d'éviter de trop aménager dans cette zone, dont l'aléa des inondations n'est pas aisément maîtrisable.

B. TP5

1. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

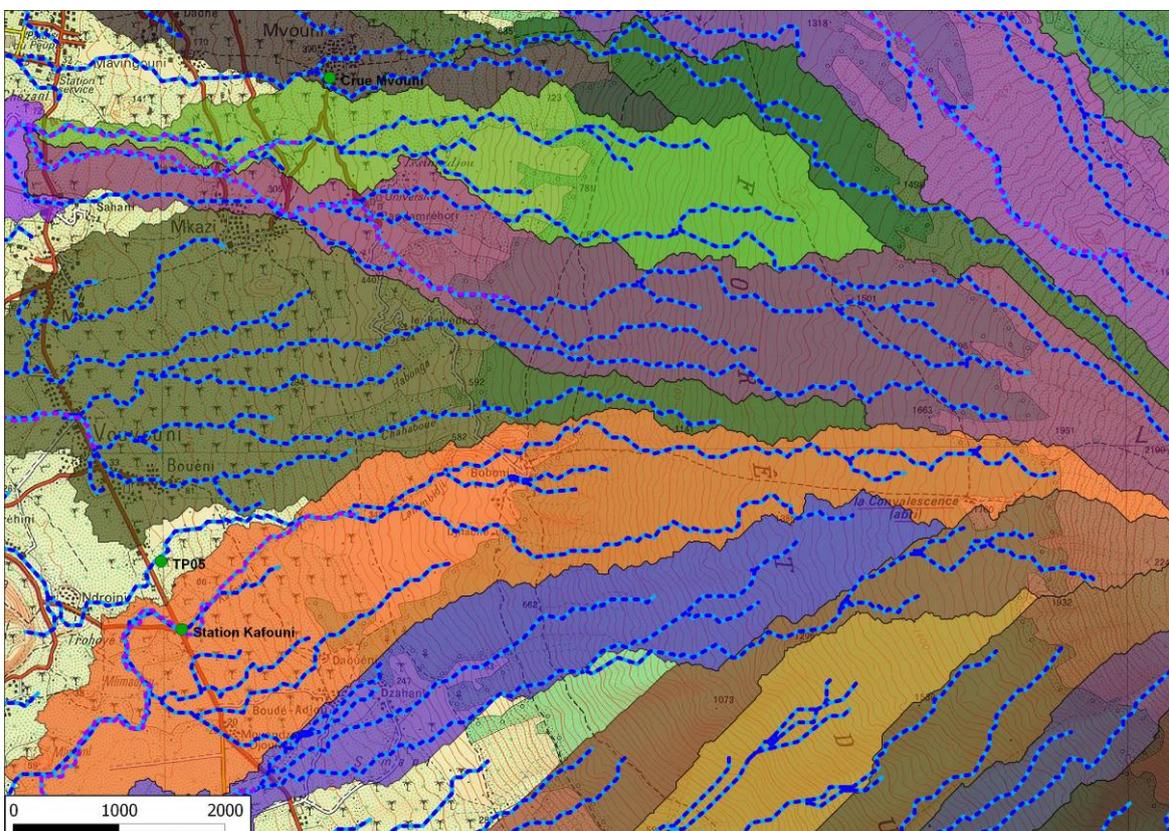


Figure 21 - Localisation du TP05 et représentation des talwegs
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

La détermination du bassin versant contenant le puits TP05 n'est pas évidente.

Deux possibilités sont envisagées :

- avec GRASS, le bassin versant ferait environ 48 ha
- avec ArcHydro, le bassin versant pourrait représenter une surface de ruissellement de plus de 700 ha.

La précision du Modèle Numérique de Terrain ne permet pas de « choisir » pour l'une ou l'autre des solutions.

Cependant, l'image satellite infrarouge semble mettre en évidence un talweg provenant du bassin versant en orange sur la Figure 21 qui expliquerait les très importantes quantités d'eau au niveau du puits TP05.

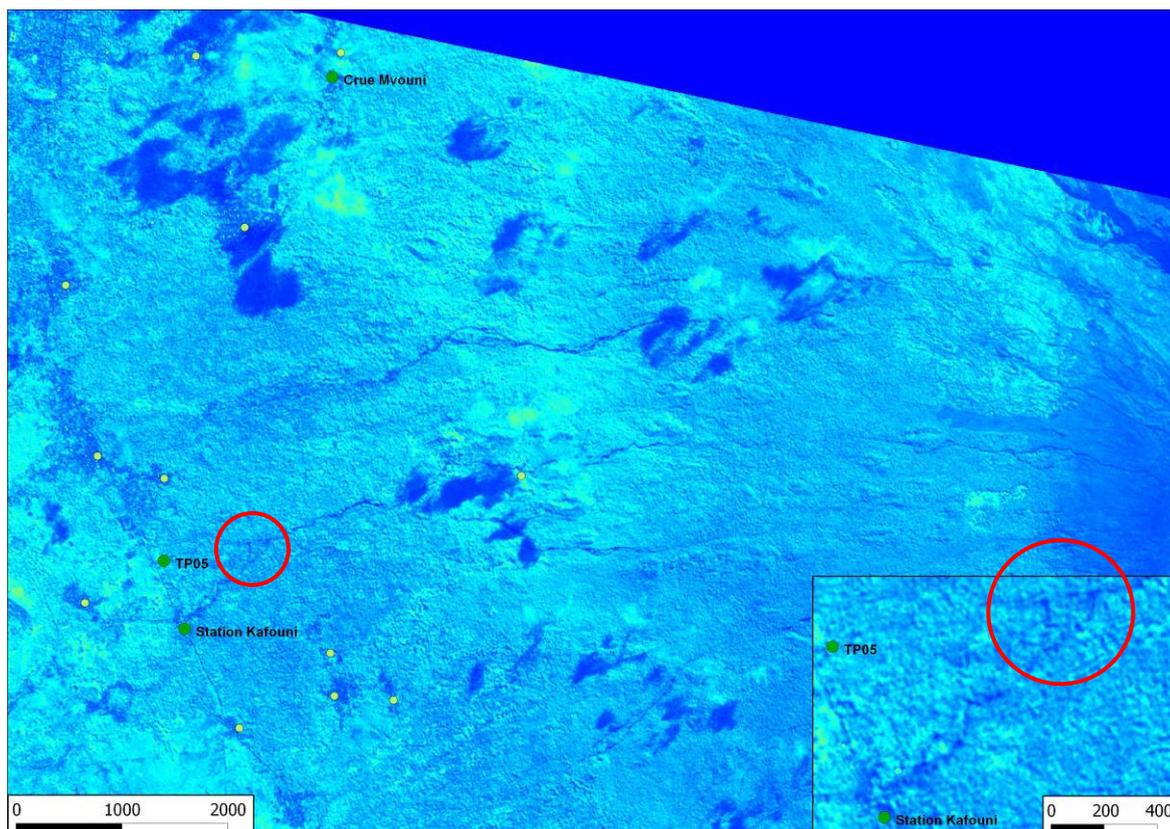


Figure 22 – Identification de talwegs à partir d'une image satellite infrarouge
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

Ainsi, les eaux pluviales du bassin versant en orange auraient, du moins pour partie, débordé vers le TP05, ce qui tendrait à confirmer le calcul ArcHydro (tiré bleu foncé et ciel sur la Figure 21). Cette hypothèse expliquerait l'importance des ruissellements au niveau du puits et donc les quantités importantes d'eau.

De plus, un second constat permet d'expliquer l'importance de l'inondation. Il semblerait que le puits situé en point bas ne dispose pas d'évacuation des eaux pluviales. En effet, les eaux pluviales n'ont pu être évacuées que par la création d'un canal (Figure 24).

2. DEGATS OBSERVES ET RISQUES ASSOCIES



Figure 23 - Site du TP05
Données du Conseil Général de Seine-Saint-Denis

D'une profondeur de 28m, ce puits alimente le réseau de la MA'MWE (réseau desservant Moroni et ses environs, soit 80 000 habitants directement concernés en 2009) soit près de 41 % de l'eau puisée à la Grande Comore (près de 2 900 000 m³ par an). Construit en 1975, cet équipement a été financé par le FED (Fonds Européen de Développement) et est actuellement géré par la Ma'Mwé.

L'inondation de ce site a entraîné une interruption de l'adduction en eau potable pendant plus d'un mois.

Sur les photos Figure 23, nous pouvons remarquer l'importance de l'inondation survenue au puits TP05. Sur la photographie en haut à droite, figurent en rouge les laisses de crues sur le local technique du puits. Plus de 2,5m d'eau ont inondé ce local, immergeant l'ensemble des tableaux électriques et de commande du puits (photographie en bas à

gauche). Le puits n'étant pas lui-même protégé contre de telles hauteurs d'eau (murs ajourés, porte non étanche) l'eau s'est massivement introduit dans le puits causant l'interruption de l'adduction en eau potable.

3. CAUSES PROBABLES

Lors des inondations du puits, il a été nécessaire de creuser un fossé afin d'évacuer les eaux de ruissellement accumulées dans ce qui semble être un point bas (Figure 24). Ainsi, il semblerait que cette zone ne bénéficie pas d'évacuation des eaux pluviales adaptées à la topographie.

Les inondations importantes de cette zone sont donc le résultat probable de deux principaux paramètres.

- les apports en eaux de ruissellement ont, semble-t-il, été très important du fait d'un « transfert » d'une part des écoulements d'un bassin versant très étendu.
- l'évacuation des eaux pluviales de cette zone sensible n'est pas assurée et la maîtrise des ruissellements inexistantes.



Figure 24 - Fossé créé pour évacuer les eaux de ruissellement du site du TP05
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

4. PREMIERS AMENAGEMENTS

Ainsi, plusieurs actions sont à envisager.

Tout d'abord, il serait pertinent de mettre en place un système de collecte et d'évacuation des eaux pluviales pour éviter que les eaux ne stagnent au droit de cet équipement sensible.

Ensuite, il pourrait être intéressant, après un repérage de terrain plus fin que les données que nous avons pu récupérer, d'étudier la possibilité d'éviter le transfert d'eaux de ruissellement d'un bassin versant à l'autre.

Enfin, il s'agirait de traiter la vulnérabilité même du puits et de ces équipements. Ainsi, il pourrait être judicieux de mettre en place :

- une margelle d'une hauteur minimum évitant l'intrusion d'eau de ruissellement dans le puits à chaque événement pluvieux. On peut imaginer que malgré les hauteurs importantes observées lors des inondations d'avril 2012, une margelle de

1m pourrait suffire dans le cas d'une meilleure évacuation des eaux de ruissellement sur le site. Ces hypothèses restent à valider lors d'une étude plus fine.

- un couvercle étanche amovible qui lors d'événements vraiment exceptionnels puissent permettre l'étanchéité totale du puits aux eaux de ruissellement
- un local technique (contenant le matériel électrique et de commande) hors d'eau.

C. STATION KAFOUNI

1. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

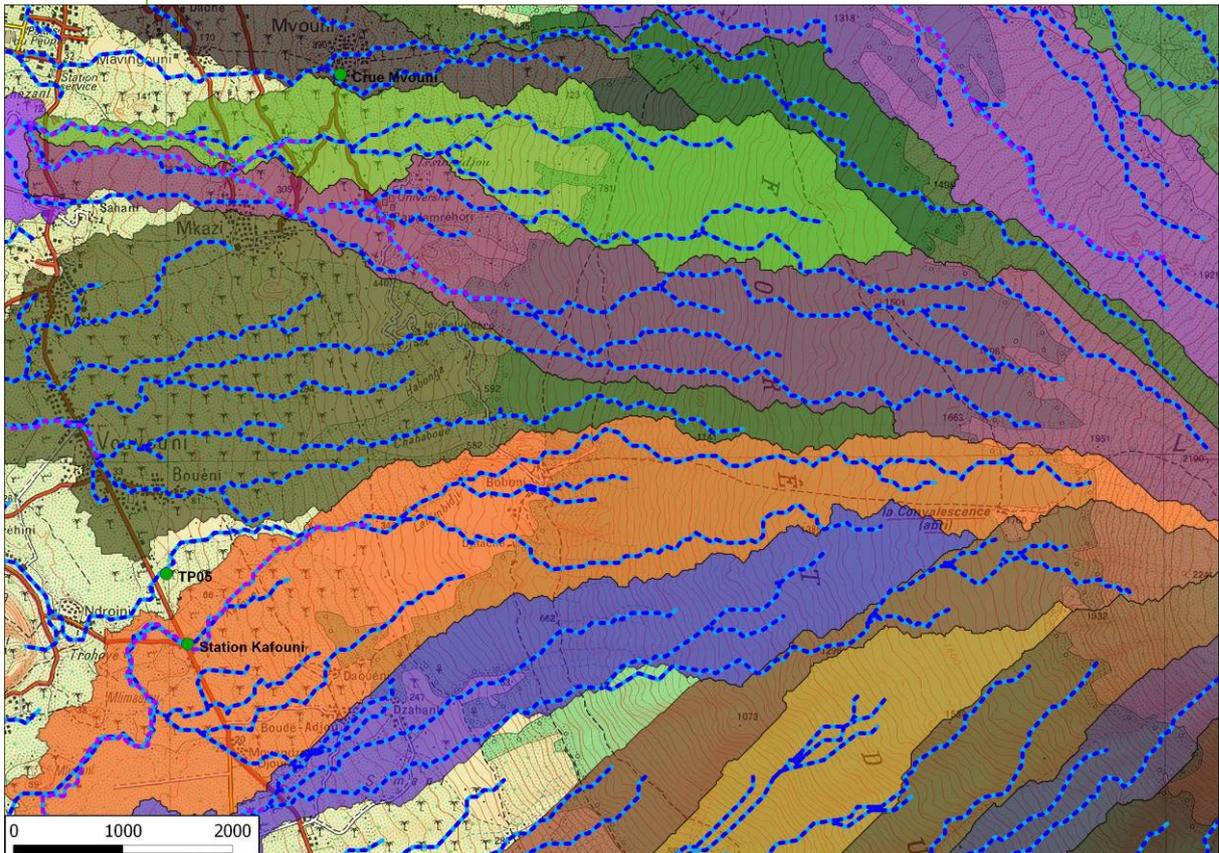


Figure 25 - Localisation de la station de Kafouni et représentation des talwegs
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

2. DEGATS OBSERVES ET RISQUES ASSOCIES



Figure 26 - Inondations et dégâts sur le site de la station de Kafouni
Données COSEP, Conseil Général de Seine-Saint-Denis

Comme on peut l'observer sur les photographies de la Figure 26, les premières pluies ont tout d'abord occasionné des ruissellements importants sur la plateforme de distribution d'essence. Les événements pluvieux, se succédant avec des intensités parfois exceptionnelles, ont fait s'accumuler au fur et à mesure des quantités très importantes de roches et de sédiments, sur une épaisseur d'environ 1,20 m occasionnant de lourds dégâts matériels sur les équipements de la station et des bâtiments environnants.

A notre connaissance, l'inondation et la destruction partielle des équipements de cette station n'ont pas engendré de pollution par les hydrocarbures (eau et sols...) ou de risques sanitaires particuliers.

Cependant, il est souhaitable de faire figurer comme prioritaire la protection de cet équipement dans un futur plan de prévention du risque inondation.

3. CAUSES PROBABLES

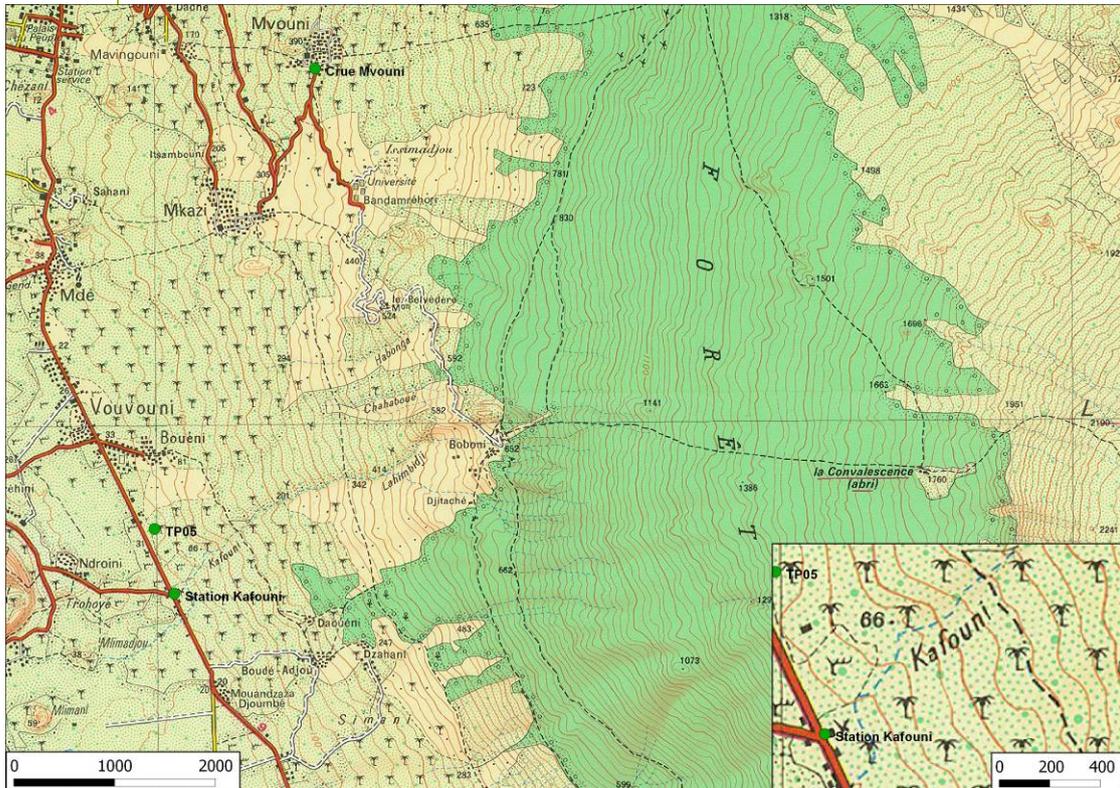


Figure 27 - Carte IGN du secteur de la station de Kafouni
Données IGN

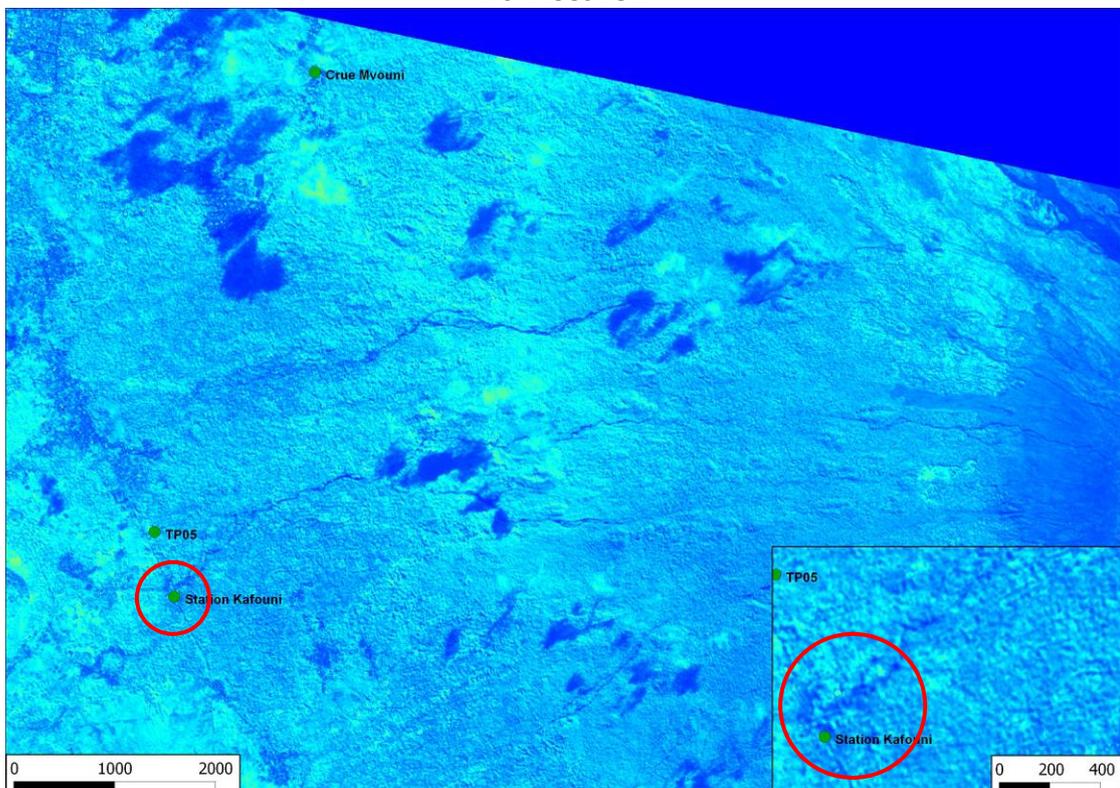


Figure 28 - Identification de talwegs à partir d'une image satellite infrarouge
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

Lorsque l'on compare la carte IGN, qui représente le tracé réel de la ravine aménagée pour l'évacuation des eaux pluviales, et l'image infrarouge d'après les inondations, il est évident que les eaux de ruissellement n'ont pas pris le tracé prévu (c'est-à-dire aménagé). Deux explications possibles à cela :

- les quantités d'eau ont été telles que toutes les eaux n'ont pu être évacuées par la ravine aménagée. D'autant plus que les apports solides ont progressivement obstrués la ravine aménagée comme on peut le remarquer sur les photographies suivantes
- l'aménagement de la ravine en « coude » n'est pas adapté à de tels écoulements. L'eau a été « tout droit ».



Figure 29 - Evacuation des apports solides à l'amont du franchissement de la route
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis



Figure 30 - Evacuation des apports solides au niveau du franchissement de la route
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

4. PREMIERS AMENAGEMENTS

Tout d'abord, il s'agira d'étudier la possibilité de supprimer le « coude » de la ravine afin de permettre aux ruissellements d'être évacués.

Ensuite, et afin de limiter la vulnérabilité, il serait souhaitable de déplacer la station essence de son emplacement actuel afin d'éviter de nouveaux dégâts lors d'inondations futures. Il sera également évalué les équipements, habitations ou infrastructures exposés à des éventuelles prochaines inondations et évité de nouvelles implantations dans le talweg naturel.

D. MVOUNI

1. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

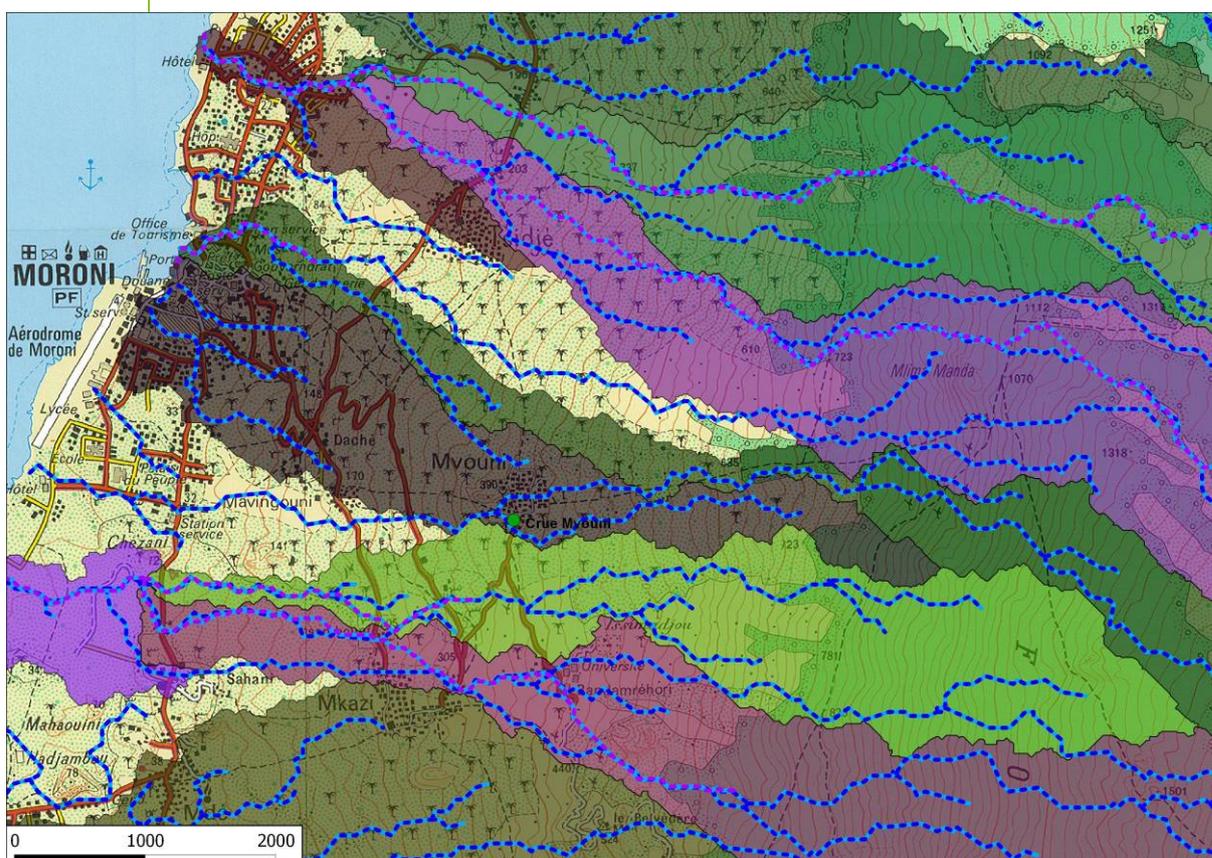


Figure 31 - Localisation de Mvouni et représentation des talwegs
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

2. DEGATS OBSERVES ET RISQUES ASSOCIES



Figure 32 - Laisse de crues et repérage des zones inondées à Mvouni
Données Conseil Général de Seine-Saint-Denis

A cet endroit, les eaux de ruissellement arrivent par une ravine canalisée dans le village. Après un linéaire à ciel ouvert, cette ravine est busée, occasionnant une réduction de section, pour pouvoir franchir la route (en haut à gauche). Une fois cet ouvrage franchi, les eaux circulent dans un ouvrage enterré qui passe sous le bâtiment à la rambarde verte pour ensuite s'écouler à nouveau à ciel ouvert. (Photographies en bas)

Lors des événements d'avril 2012, l'ouvrage figurant sur la photographie en haut à gauche a, à plusieurs reprises, été complètement saturé occasionnant un débordement très important et inondant les rues adjacentes ainsi que le parking situé sur la photographie en haut à droite.

De plus, lors d'écoulements très importants et notamment s'ils apportent des roches et sédiments, les fondations du bâtiment sont endommagées pouvant à terme provoquer son effondrement.

3. CAUSES PROBABLES

Il semblerait que la ravine soit saturée par fortes pluies au vue de documents vidéo visionnés lors de la mission.

Ainsi, les débordements sont fréquents du fait de la réduction de section de l'ouvrage de franchissement de la route. De plus, les calculs hydrauliques indiquent que cette ravine récupérerait une surface de ruissellement de 115 ha.

4. PREMIERS AMENAGEMENTS

A termes, les fondations du bâtiment ne résisteront pas aux ruissellements importants. De plus, la ravine aménagée ne permet pas une évacuation suffisante au regard des débits probables.

Ainsi, il serait souhaitable de faire s'écouler les eaux de ruissellement par une autre ravine, à la capacité d'évacuation plus importante.

Il pourrait être intéressant, après une étude sur le terrain de repérer les talwegs « naturels » qui pourraient être aménagés et qui contournent les zones habitées de Mvouni. Ces aménagements ne sont pas nécessairement importants. Il s'agirait de détourner le talweg existant à l'amont de Mvouni et de favoriser les écoulements dans des talwegs, hors de la ville.

Il s'agira également d'être vigilant à la nature des écoulements à l'aval de Mvouni. En effet, d'autres zones habitées sont situés dans le prolongement des talwegs traversant Mvouni.

V. LES PERSPECTIVES D' ACTIONS

Le risque résulte de la conjonction d'un aléa et des enjeux :

- L'aléa est la probabilité d'occurrence d'un phénomène donné: aléa volcanique, aléa sismique, aléa mouvement de terrain, aléa inondation
- Les enjeux sont les personnes, les biens, les équipements et l'environnement menacés par l'aléa, et susceptibles de subir des préjudices. Étroitement associée à la notion d'enjeux, la vulnérabilité mesure les conséquences de l'évènement sur les enjeux.

Ainsi, traiter la notion de risques c'est bien tenter de gérer l'aléa, c'est-à-dire en cas de fortes pluies, éviter l'inondation en permettant d'optimiser la maîtrise du ruissellement pour éviter les débordements.

Malgré tout, le caractère imprévisible des crues à Ngazidja est indéniable. La complexité de la répartition spatiale et temporelle de la pluviométrie, du relief particulièrement accidenté, de la forte pente, du contexte hydrogéologique sans cesse modifié par l'activité volcanique, sans compter l'incidence des transports solides, des éboulements imprévus, rendent très difficile la prévision des phénomènes d'inondations.

Ainsi, maîtriser le risque « inondation » c'est également maîtriser la vulnérabilité. Ainsi, il s'agit d'agir afin de limiter les incidences des inondations exceptionnelles et imprévisibles sur les biens et les personnes.

Finalement, maîtriser le risque « inondation » nous amène à 3 types d'actions :

- Améliorer et diffuser la connaissance du phénomène « inondation »
- Optimiser la gestion des ruissellements
- Réduire la vulnérabilité du territoire

A. AMELIORER ET DIFFUSER LA CONNAISSANCE DU PHENOMENE « INONDATION »

1. DEVELOPPER LES CONNAISSANCES METEOROLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES

Il apparaît essentiel, afin d'améliorer les connaissances, d'anticiper les événements et de prévenir des inondations de :

- renforcer et fiabiliser le réseau de pluviomètres de l'ANACM
- mettre en place une validation des données pluviométriques
- développer les liens avec des structures fournissant des prévisions météorologiques (Météo France, Université de la Réunion...)

2. CARTOGRAPHIER LES ZONES D'ECOULEMENT ET IDENTIFIER LES ZONES SENSIBLES

A l'aide de données numériques tels que les Modèles Numériques de Terrain (MNT), il est nécessaire de cartographier les talwegs principaux, lieux potentiels des écoulements torrentiels.

Du fait de la précision actuellement disponibles de ces modèles, la cartographie alors établie sera à confronter à la réalité du terrain en menant des campagnes d'identification des zones sensibles aux inondations et toutes modifications éventuelles des écoulements, notamment en zones urbanisées et au droit des points singuliers du relief pouvant modifier les écoulements.

Il pourrait être envisagé, lors des prochaines campagnes aéroportées d'identification de la ressource en eau, envisagées par l'AFD¹, de demander à obtenir un MNT à un pas bien plus précis.

3. DIFFUSER LA CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES

Une fois, cette identification et cartographie des zones sensibles aux inondations effectuées, il s'agira de largement diffuser cette information auprès des mairies et du gouvernorat afin d'amorcer une maîtrise de l'aménagement dans ces zones et surtout une prise de conscience de risque qu'encourt chaque logement et équipements et ainsi aménager le territoire en conséquence.

B. OPTIMISER LA GESTION DES RUISSELLEMENTS

1. GERER LES RUISSELLEMENTS : OUVRAGE D'ART ET EVACUATION

L'identification des écoulements permet également d'identifier les « besoins » d'évacuation. Cela s'entend dans le sens où, par exemple dans le cas du TP05, la route empêche l'évacuation « naturelle » du ruissellement et cause les inondations alors observées en avril 2012.

De plus, sur la base du diagnostic d'écoulement et d'identification des ravines, il pourrait être pertinent de mettre en place un programme d'endiguement des ravines afin de limiter les débordements et les « divagations » des écoulements pour une meilleure maîtrise du chemin hydraulique. Ce type de programme a déjà été mis en place à la Réunion² à la suite d'un diagnostic similaire.

2. METTRE EN OEUVRE DES BONNES PRATIQUES : NETTOYAGE DES RAVINES

Il apparaît important également de favoriser les écoulements dans les ravines en effectuant un entretien régulier de celles-ci afin d'optimiser les débits admissibles et donc de limiter les inondations par débordement.

Il s'agirait donc d'organiser ces entretiens, tout au long du linéaire de ravines après chaque événement pluvieux.

L'avantage de cette « bonne pratique » est que bien entretenue, ces ravines peuvent permettre à nouveau l'infiltration d'une partie des eaux pluviales dans le sol.

C. REDUIRE LA VULNERABILITE DU TERRITOIRE

1. METTRE EN PLACE DES REGLES DE CONSTRUCTION ET D'AMENAGEMENT

L'identification des zones sensibles aux inondations et l'appropriation par les communes de ces zones sensibles pourrait permettre d'élaborer des documents d'orientation voir même de prescription en matière d'aménagement. Ainsi, il serait fortement conseillé de ne pas implanter d'équipements sensibles (école, station service, commerce) et/ou des habitations en zone fortement soumise aux inondations alors qu'un stade ou un espace public pourrait être aménagé puisque moins vulnérable.

¹ Programme GECEAU, Note de Communication Publique d'Opération du projet

² Ce sont les Schémas techniques de protection contre les crues (STPC) qui ont été élaborés par les communes de la Réunion à l'instigation de la DDE.

2. PENSER UNE APPROCHE EN «SITUATION DEGRADEE »

De plus, ce travail préliminaire d'identification pourrait permettre d'identifier les infrastructures ou équipements sensibles et les zones où les inondations pourraient le plus fréquemment les atteindre.

Ainsi, il s'agira d'étudier la manière dont la remise en service de ces équipements pourra être effectuée après une inondation dans certain secteur inévitable.

Prenons l'exemple d'une route.

On peut imaginer que l'on identifie la zone où l'inondation est inévitable et où, par exemple l'apport de roches et de sédiments détruira partiellement la structure de la route. Egalement, est identifiée la zone où il est nécessaire de renforcer la route car ce tronçon est essentiel à l'arrivée des secours par exemple.

Ainsi, il peut être prévu de privilégier l'évacuation des eaux pluviales, en situation exceptionnelle, vers le tronçon le plus fragile (mais donc également le moins coûteux à « remettre en service »), en protégeant le tronçon a fort un enjeu pour les secours et donc beaucoup plus lourd et long à réhabiliter en cas de dégâts importants.

Cette approche permet, au-delà de la maîtrise totale des inondations, souvent impossible dans un tel contexte, de permettre une vulnérabilité et des conséquences pour les habitants moins importantes. Cela permet en effet, un « retour à la normal » moins coûteux et plus rapide.

CONCLUSION

L'objectif de la mission que le Conseil Général de Seine-Saint-Denis a effectuée en Mai 2012 avait pour double objectif de :

- identifier les causes de l'importance des dégâts survenus lors des inondations d'avril 2012
- étudier les solutions permettant de réduire la vulnérabilité de l'île, notamment de certains secteurs et infrastructures sensibles, vis-à-vis du risque « inondation ».

Ainsi, ce rapport propose concernant certains secteurs (les 4 focus), des aménagements techniquement simple à réaliser même si pour certains, un investissement certain est nécessaire. Il sera parfois nécessaire de faire une étude complémentaire à l'aide de données plus précises ou de confirmer les calculs effectués par un repérage de terrain afin de valider ou réadapter les solutions proposées.

Enfin, ce qui semble important de souligner c'est le caractère relativement imprévisible du phénomène d'inondation. Il est actuellement difficile de prévoir les événements pluvieux suffisamment précisément et d'évaluer l'intensité des inondations qu'ils pourraient engendrer. Ainsi, et afin de réduire la vulnérabilité du territoire, il s'agira de :

- développer la connaissance du phénomène « inondation » : hydrologie, hydrogéologie, pluviométrie...
- mettre en place un certain nombre de bonnes pratiques permettant de limiter les dégâts liés aux phénomènes exceptionnels incontournables : entretien et entigement des ravines...
- réduire la vulnérabilité du territoire en maîtrisant son développement au regard du risque d'inondation : identification des zones inondables, maîtrise de l'aménagement

Ce rapport ne constitue donc qu'une première approche de la prise en compte du risque d'inondation. Le sujet est vaste et les pistes de travaux encore nombreuses.

En conclusion, il nous semble intéressant de poursuivre cette démarche par un **approfondissement de l'étude du site du TP05**. En effet, ce site est intéressant et favorable à une étude complémentaire à plusieurs titres :

- l'inondation de ce site à un impact très important sur l'île puisque c'est le principal puits d'adduction d'eau potable de Moroni et son agglomération. Réduire le risque d'inondation constitue donc un enjeu très important.
- les aménagements, a priori, nécessaires ne sont pas trop importants et donc facilement et rapidement réalisables.
- dans le cadre de ce rapport, il a été fait une exploitation assez fine des données du Modèle Numérique de Terrain et des images satellites infrarouge sur ce site. Ce secteur constitue donc un cas favorable pour la « validation » de notre méthodologie d'identification des talwegs et des bassins versants. Une étude approfondie sur le terrain permettra de confirmer ou non le fonctionnement des bassins versants tels que les calculs l'ont montré.

BIBLIOGRAPHIE

- Etat des lieux des conditions d'accès à l'eau potable sur l'île de Grande Comore, Société du Canal de Provence, 2009
- Carte Géologique des Comores – Notice explicative de la carte volcano-tectonique de la Grande Comore – P. Bachèlery, J. Coudray, Département des Sciences de la Terre – Université de la Réunion, 1993
- Rapport national sur l'environnement marin et côtier, Union des Comores, Ministère de l'Agriculture de la Pêche et de l'Environnement
- Expertise relative à la prévention des inondations sur l'île de la Réunion et à la programmation des travaux de protection, P. Balland, D. Laurens, J.-P. Lalande, J.-L. Ravard, Y. Cassayre, R. Lazergues, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2006
- Endiguements et risques d'inondation en milieu tropical, l'exemple de l'île de la Réunion, D. Lorion, 2006

WEBGRAPHIE

- Site de l'ONG Map Action : <http://www.mapaction.org/>
- Site des observations terrestres de la NASA : <http://earthdata.nasa.gov>
- Site du Global Volcanism Program : <http://www.volcano.si.edu/>
- Site de l'Observatoire du Karthala : <http://volcano.ipgp.jussieu.fr/karthala/>
- Site de l'Office de l'Eau de l'île de la Réunion : <http://www.eaureunion.fr/>
- Site de l'Amabassade de France aux Comores : <http://ambafrance-km.org/>
- Site de l'AFD : <http://www.afd.fr/>

AUTRES DOCUMENTS

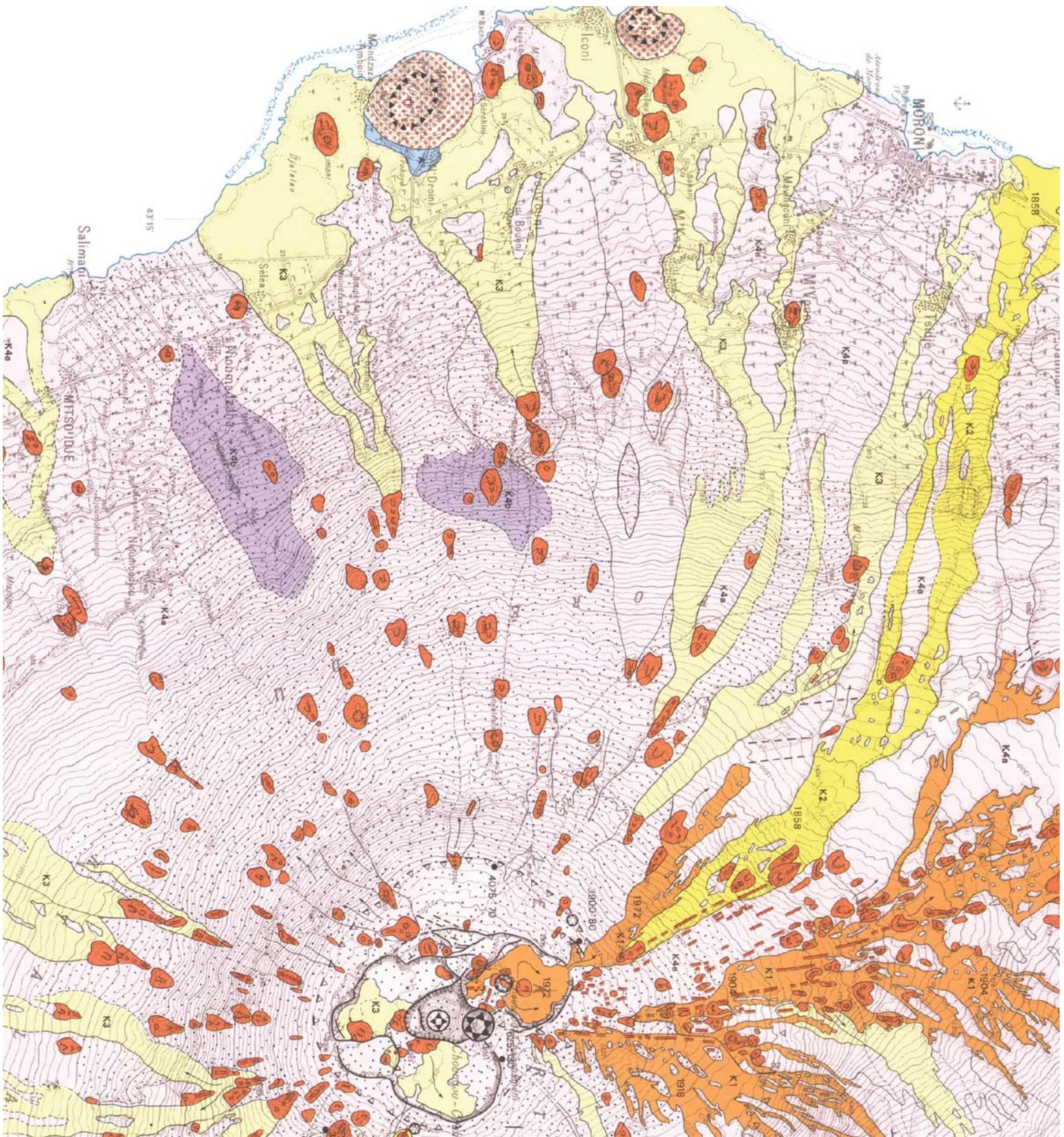
- Rapports quotidiens de situation sur les inondations d'avril 2012, COSEP, Direction Générale de la Sécurité Civile
- Photographies des Inondations, Documents d'archives, COSEP

TABLES DES FIGURES

Figure 1 - Historique des cyclones à moins de 300 km de Mayotte (1976-2010).....	6
Figure 2 - Schéma structural des volcans-boucliers de la Grande Comore	7
Figure 3 - Le sommet du Karthala le 4 aout 2002	8
Figure 4 - Le sommet du Karthala le 19 avril 2005.....	8
Figure 5 - Mode d'occupation du Sol	9
Figure 6 - Secteurs fortement inondables.....	10
Figure 7 – Inondations antérieures à Avril 2012	11
Figure 8 - Ravines et dégâts - Inondation d'avril 2012	12
Figure 9 - Schéma du biseau salé.....	13
Figure 10 - Secteur de remontée de marée.....	14
Figure 11 - Remontée de marée.....	14
Figure 12 - Ravines en milieu périurbain et rural.....	15
Figure 13 - Ruissellements sur voirie	16
Figure 14 - Installations de récupération des eaux pluviales à la Grande Comore	16
Figure 15 - Recensements des dégâts observés dans la région du Bambao	17
Figure 16 - Cumuls pluviométriques en avril 2009 et 2012	20
Figure 17 - 10 plus importants cumuls journaliers à Moroni	20
Figure 18 - Représentation des bassins versants calculés	21
Figure 19 - Bassin versants et talwegs dans le secteur de Vouvouni	22
Figure 20 - Ravines à Vouvouni	23
Figure 21 - Localisation du TP05 et représentation des talwegs.....	24
Figure 22 – Identification de talwegs à partir d'une image satellite infrarouge	25
Figure 23 - Site du TP05.....	26
Figure 24 - Fossé créé pour évacuer les eaux de ruissellement du site du TP05.....	27
Figure 25 - Localisation de la station de Kafouni et représentation des talwegs.....	28
Figure 26 - Inondations et dégâts sur le site de la station de Kafouni	29
Figure 27 - Carte IGN du secteur de la station de Kafouni.....	30
Figure 28 - Identification de talwegs à partir d'une image satellite infrarouge.....	30
Figure 29 - Evacuation des apports solides à l'amont du franchissement de la route.....	31
Figure 30 - Evacuation des apports solides au niveau du franchissement de la route.....	31
Figure 31 - Localisation de Mvouni et représentation des talwegs.....	32
Figure 32 - Laisse de crues et repérage des zones inondées à Mvouni	33

ANNEXES

ANNEXE 1 – EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE LA GRANDE COMORE –
REGIONS BAMBAO ET HAMBOU



**Formations volcaniques du Karthala.
Volcanic units of Karthala volcano.**

Volcanisme actuel
(basaltes aphyriques, basaltes à olivine, ankaramites, ocellines, hawaites, coulees de lave avec caracteres de surface "aa" et "pahoehoe" non ou peu modifiees, epaves de vigiles ou a l'etat couvert vigiles en zone semi-aride et en contexte alpin)

Present volcanism
(afhyric basalts, olivine basalts, ankaramites, ocellines, hawaites, and "pahoehoe" surfaces features little or not altered, without vegetation or with a small forest cover in summit zone and near the coast)

- Coulees emises au cours du 20^{eme} siecle
Lava flows emitted during the 20th century
- Coulees attribuees au 19^{eme} siecle
Lava flows assigned to the 19th century.
- Coulees non datées
Undated lava flows.

Volcanisme récent
(basaltes aphyriques, basaltes à olivine, ankaramites, ocellines, hawaites)

Recent volcanism
(afhyric basalts, olivine basalts, ankaramites, ocellines, hawaites)

- Unité sudorientale (coulees de lave avec caracteres de surface "aa" et "pahoehoe" conservees)
Upper unit (lava flows with preserved "aa" and "pahoehoe" surface features).
- Unité inférieure (coulees de lave avec caracteres de surface "aa" et "pahoehoe" (partiellement amodifiés))
Lower unit (lava flows with generally zoned "aa" and "pahoehoe" surface features).

Volcanisme ancien
(basaltes aphyriques, basaltes à olivine, basaltes à plagioclases, ankaramites, ocellines, hawaites, coulees de lave avec caracteres de surface "aa" et "pahoehoe" très amodifies ou effices et développement d'une alteration ferrugineuse)

Old volcanism
(afhyric basalts, olivine basalts, plagioclase-afhyric basalts, ankaramites, ocellines, hawaites, lava flows with smoothed or eroded "aa" and "pahoehoe" surface features, with ferruginous weathering)

- Unités du flanc est du Karthala
- Unités du Karthala east flank.
- Unités du massif du M'Badjini
- Units of M'Badjini massif.

**Symboles.
Symbols.**

- Coupe et fissure éruptive
Eruptive cone and fissure
- Annuaire de tephrocassites
Hydroclastic ring
- Cratère d'exposition préhistorique
Prehistoric exposure crater
- Apes 14^e sur trois canopées
petites ressemblances piroclastiques
14^e signs on woods canopied
by piroclastic deposits.
- Cratère d'effondrement
Pit crater
- Limite de caldeira
Caldera boundary.
- Rupture de pente
Changé in slope and landslide
- Soutiers
Sulfur.
- Pénigage
Dike
- Source
Spring.
- Dates
Dates
Dates des éruptions,
of the eruptions
- Front de coulée
Lava flow front.
- Sens d'écoulement des laves.
Lava flowng direction.
- Limite de coulée de lave.
Lava flow boundary.