

ILE DE LA REUNION - COMMUNE DE ST BENOIT

AMENAGEMENTS DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES MARSOUINS

PHASE 6 – SYNTHÈSE ET PRÉSENTATION DES AMENAGEMENTS

1. SYNTHÈSE	4
1.1 Hydrologie	4
1.2 Modélisations hydrauliques	5
1.3 Diagnostic de la situation hydraulique actuelle	7
Secteur médian entre les 2 ponts	9
1.4 Tests des solutions d'aménagement sur les modèles	11
1.5 Faisabilité de la mise en place d'un système d'annonce de crues sur la rivière des Marsouins	14
2. PRÉSENTATION DES AMENAGEMENTS RETENUS	17
Les caractéristiques détaillées des aménagements après exploitation des mesures sur le modèle physique sont présentées en annexe	18

Contexte et objectifs de l'étude

Une partie du territoire communal de Saint Benoît est exposée au risque d'inondation lié au débordement de la rivière des Marsouins, y compris des zones très vulnérables situées dans le centre-ville et sur l'Ilet Danclas (ou Ilet Coco).

Le bassin versant de ce cours d'eau a fait l'objet de plusieurs études hydrauliques liées à la protection contre les inondations, en particulier :

- Schéma Technique de Protection contre les Crues (STPC) de la commune de Saint Benoît, SEEE 1991 ;
- Etude de risques dans la partie aval de la rivière des Marsouins, Bceom 1994 ;
- Etude de l'endiguement de la rivière des Marsouins en centre-ville de Saint Benoît, ALC 2000.

Ces études ont mis en évidence la problématique d'inondation. Si les projets d'aménagement proposés par les différents bureaux d'étude sont tous focalisés sur le principe des endiguements avec un niveau de protection centennal, les dimensions des ouvrages préconisées sont assez différentes entre les études, en raison notamment de l'incertitude liée à l'estimation du débit de projet (Q_{100}).

La présente étude, confiée au groupement BRLi – CNR par la commune de Saint Benoît sous conduite de la DDE, a pour objectif de préciser les aménagements à réaliser sur le secteur aval de la rivière des Marsouins à l'aide des outils adaptés dont la mise en œuvre d'un modèle physique. Le but étant d'aider le maître d'ouvrage pour effectuer son choix et prendre les décisions adaptées au contexte. La construction d'un modèle physique permet de définir et d'optimiser les ouvrages de protection en tenant compte des phénomènes physiques complexes tels que les écoulements torrentiels, les écoulements tridimensionnels notamment au pied des ouvrages et le charriage de matériaux.

En plus de la protection du centre-ville par des aménagements, la ville de Saint Benoît a demandé au Groupement d'examiner la faisabilité de mettre en place un système d'annonce de crue sur le territoire communal, ce qui implique une analyse hydrologique sur l'ensemble du bassin versant.

L'étude comporte trois grandes étapes :

1. Etudes préalables à la mise en œuvre d'un modèle physique et d'un dispositif d'alerte sur la Rivière des Marsouins qui se décompose ainsi :
 - ◆ Phase 1 – Synthèse et analyse des données existantes **sur tout le secteur et le bassin versant.**
 - ◆ Phase 2 – Etude de faisabilité des mesures de protection contre les crues de la rivière des Marsouins **en centre ville.**
 - ◆ Phase 3 – Etude de faisabilité de la mise en place d'un système d'annonce de crues sur la rivière des Marsouins **sur tout le secteur de l'étude.**
2. Mise en œuvre d'une modélisation physique
 - ◆ Phase 4 – Conception et construction d'un modèle physique **en centre ville.**

◆ Phase 5 – Exploitation du modèle physique **en centre ville**.

3. Finalisation des études préliminaires (Phase 6 – synthèse et présentation des aménagements)

La réalisation de l'étude suit les orientations préconisées dans le « Guide méthodologique pour les études de faisabilité des aménagements de protection contre les inondations » élaboré en octobre 2000 par la DDE dans le cadre du Programme Pluriannuel d'Endiguement des Ravines (PPER) pour la période 2000-2006.

Ainsi dans la première phase de l'étude, un état des lieux a été établi sur la base d'une synthèse bibliographique, d'une reconnaissance de terrain et d'enquêtes menées auprès des différents organismes concernés, avec une analyse particulière sur les aspects environnementaux.

Dans la deuxième phase, une étude hydrologique a permis de déterminer les débits des crues caractéristiques et le diagnostic hydraulique de la rivière a été réalisé à l'aide d'un modèle mathématique unidimensionnel à casiers. Des propositions d'aménagements ont été faites à partir des éléments disponibles.

Un modèle physique à l'échelle 1/80^{ème} représentant la rivière sur un linéaire de 2 km environ a donc été construit. Un descriptif du modèle (conception et construction) est donné dans le rapport de phase 4. Ce rapport contient également une analyse fluvio-morphologique de la rivière des Marsouins. Les essais menés et les résultats obtenus sur le modèle physique ont été présentés dans le rapport de la phase 5.

Dans ce rapport d'étape concernant la phase 6 du projet, nous allons présenter la synthèse de l'étude et les aménagements retenus.

1. SYNTHÈSE

1.1 HYDROLOGIE

Le problème posé dans la phase 1 de l'étude consiste à déterminer les crues de projet, en particulier la crue centennale du bassin des Marsouins à l'exutoire (114 km²) pour le dimensionnement des ouvrages de protection.

La forte hétérogénéité de la pluviométrie a rendu l'analyse hydrologique particulièrement délicate. Les données pluviographiques disponibles sont peu nombreuses et limitées notamment sur la zone littorale.

Concernant les données hydrométriques de crue, des enregistrements ont été réalisés au niveau du barrage Takamaka I (EDF) et à la station de mesure de Bethléem (ORE). Ces données sont certes très intéressantes mais limitées à quelques événements historiques. Elles sont insuffisantes pour permettre une analyse statistique fiable.

Afin de valider au mieux les estimations de débit, plusieurs méthodes ont été appliquées en exploitant toutes les données hydrologiques disponibles :

- Un modèle pluie – débit du type SCS a été calé sur plusieurs événements pour lesquels nous disposons à la fois des données pluviographiques et limnigraphiques. Le résultat montre certaines incertitudes à cause notamment de l'insuffisance des données pluviographiques (1 ou 2 postes disponibles suivant l'événement). Cependant le calage du modèle a permis de valider les ordres de grandeur des paramètres hydrologiques importants (temps de concentration du bassin, conditions de ruissellement). Le débit et le volume des crues fréquentielles ont pu être estimés à l'aide du modèle.
- Les calages des modèles mathématique et physique sur des laisses de crue historiques ont permis d'estimer les ordres de grandeur du débit
- Le débit spécifique a été validé à partir des données expérimentales régionales tirées du rapport d'expertise de Bouvier (IRD).

Les débits fréquents retenus sont rappelés ci-après :

- ◆ Q10 : 1355 m³/s
- ◆ Q20 : 1630 m³/s
- ◆ Q50 : 2053 m³/s
- ◆ Q100 : 2610 m³/s
- ◆ Q exceptionnel (T ≈ 1000 ans) : 4700 m³/s.

1.2 MODELISATIONS HYDRAULIQUES

Un modèle mathématique a été construit à l'aide du logiciel ISIS qui permet de simuler l'écoulement des crues à surface libre en régime transitoire ou permanent sur la base de la résolution des équations de Barré Saint Venant. Il s'agit d'un modèle à casiers (pseudo – bidimensionnel) à fond fixe.

Le tronçon de rivière modélisé se compose des 1500 derniers mètres de cette rivière avant exutoire dans l'Océan Indien. Les données topographiques disponibles sont les plans levés par le cabinet Talibart (1/2000 pour le lit majeur et 1/400 pour le lit mineur), complétés par des plans d'ouvrage (pont RN et pont Pompidou) et des levés de profils en travers, ainsi qu'un levé détaillé de la digue en rive gauche (données SEMAC).

Les informations recueillies sur les crues historiques se limitent à trois niveaux approximatifs des Plus Hautes Eaux atteints par les crues de 1987 et 1998. Elles sont insuffisantes pour le calage du modèle en tous points notamment en amont du pont Pompidou. Ainsi l'évaluation de la rugosité a été affinée par des visites de terrain en fonction de l'occupation des sols. Le calage sur la perte de charge au niveau du pont Pompidou est douteux.

Le modèle mathématique couvrant l'ensemble des zones susceptibles d'être inondées a permis de simuler un grand nombre de situations (différentes crues combinées avec différents projets d'aménagement). Il a notamment été utilisé pour

- réaliser le diagnostic hydraulique de la situation actuelle
- déterminer les zones inondables par différents types de crue et quantifier les dégâts potentiels
- orienter les projets d'aménagement et fournir les éléments nécessaires afin que la commune puisse définir les projets à tester sur le modèle physique.

Après la modélisation mathématique un modèle physique a été mis en œuvre au laboratoire de la CNR au 1/80^{ème}. Contrairement au modèle mathématique le modèle physique est en fond mobile, il permet ainsi de tenir compte du phénomène du transport solide.

Les données topographiques et hydrologiques utilisées pour le modèle physique sont les mêmes que pour le modèle mathématique.

Concernant les caractéristiques des sédiments, des mesures granulométriques ont été effectuées par le Laboratoire Régional. Le diamètre médian des sédiments est de 12 mm à 18 cm suivant le point de prélèvement. Les plus gros blocs ont un diamètre de l'ordre de 60 à 70 cm. Quelques blocs d'un mètre de diamètre sont également présents sur le secteur.

Au total une vingtaine d'essais ont été effectués sur le modèle physique. Ils ont permis de finaliser les projets d'aménagement analysés dans un premier temps sur le modèle mathématique.

On notera la complémentarité des deux modèles :

- le modèle mathématique établi a permis de représenter des zones très vastes et de tester un grand nombre de situations
- Le modèle physique a permis de réaliser des simulations à fond mobile et d'obtenir des résultats plus précis notamment au niveau des singularités complexes (ponts).

1.3 DIAGNOSTIC DE LA SITUATION HYDRAULIQUE ACTUELLE

RISQUE D'INONDATION

La crue décennale n'est pas débordante, les écoulements s'effectuent uniquement dans le lit endigué, sauf en rive droite vers l'embouchure où la digue est quasiment inexistante. Le plan d'eau affleure le terrain du jardin Marie Ferrol (niveau du terrain : 7 à 7.2 mNGR). Partout ailleurs les murs de digue possèdent des hauteurs suffisantes avec des revanches supérieures à 50cm en général.

Pour la crue de 20 ans, le jardin Marie Ferrol est inondé avec des hauteurs d'eau pouvant atteindre 1.20m aux points bas. Le débit déversé dans le jardin, faible certes (quelques m³/s), peut traverser l'ouvrage de décharge sous le pont du centre-ville pour aller inonder les zones basses en aval sur le secteur du stade de « l'Ilet ». Le stade lui-même reste cependant hors d'eau. Des débordements se produisent également en rive droite près de l'embouchure. Parmi les zones vulnérables les inondations touchent notamment le Conservatoire près du stade « l'Ilet » et une maison près de la rue du stade avec des hauteurs d'eau proches de 0.50m. En rive gauche aucun débordement n'est observé sur le modèle ; à noter tout de même que la digue au niveau de la maternité a une revanche très réduite (30 cm) par rapport au niveau maximal de la crue.

Pour la crue de 50 ans, des débordements se produisent en amont et en aval du pont du centre-ville sur les deux rives. Les remblais au niveau du Ludoparc sont également débordés. Une grande partie du centre-ville est inondée. Les hauteurs de submersion dans les zones sensibles peuvent atteindre 1.5 à 2.0 m.

La crue centennale déborde largement des endiguements en amont et en aval de la rue G. Pompidou et en rive droite au niveau du Ludoparc. Sur le linéaire entre le pont de la R.N et la rue Leconte de Lisle les eaux sortent du lit mineur mais restent contenues sur une largeur très limitée en raison du relief naturel du secteur. Les zones inondables par une crue centennale sont très importantes : elles touchent notamment le cœur de la ville de Saint Benoît sur les parties urbaines les plus denses. Les hauteurs d'eau de submersion dans les zones sensibles sont les suivantes :

- Maternité et centre médical en amont du pont de la rue G. Pompidou (profil P320): environ 1.5 m (1.8 m aux points les plus bas situés derrière la maternité)
- Mairie (casier R105) : hauteurs a priori faibles (0 à 50 cm ?) mais impossibles à estimer par manque de donnée topographique suffisamment précise
- rue G. Pompidou en RG (casier R108) : environ 0.5 m
- Entre la rue du Canal et la rue Alexis de Villeneuve (casiers R109 et R110) : environ 2.0 m
- Cité Poivre – gendarmerie (casiers R107 et R111) : environ 0.8m aux points les plus bas
- IRTS (profils P430 et P431) : plus de 2.3m sur le point bas, l'institut lui-même n'est que faiblement touché.
- Centre de formation de la Chambre des Commerces RD (casier R205) : environ 2.0m

- Résidence « les Marsouins » (casiers R206 et R208) : environ 2.5m aux points bas
- Cité « Denis Robert » en aval du pont en rive droite (casier R209) : environ 0.90m au maximum
- Entre la rue du stade et la rue Amiral Bouvet (entre casiers R210 et R213) : 1.5m pour la dernière habitation vers l'aval
- Le Conservatoire (casier R213) : 1.0 m environ
- Le stade « l'Ilet » (casier R212): à la limite des inondations
- pont G. Pompidou : hors d'eau mais les routes d'accès inondées en RG comme en RD

EVALUATION DU COUT MOYEN ANNUEL DES INONDATIONS

Les principales zones d'aléa fort sont les suivantes :

- en rive gauche : centres médicaux – maternité – rue du canal – cité Poivre – rue G Pompidou
- en rive droite : Chambre de Commerces – résidence Marsouins – rue du stade – Conservatoire

Le nombre des biens concernés par les inondations a été estimé pour les crues Q20, Q50 et Q100 ans. Le dégât potentiel a été évalué en fonction du type du bien (habitat individuel ou collectif, commerce, hypermarché, bâtiment) et de la hauteur d'eau.

Le coût moyen annuel des inondations (CMA) est estimé à 158 000 euros pour le secteur des Marsouins, ce qui justifie la nécessité des aménagements.

OBSERVATIONS SUR LE MODELE PHYSIQUE

Secteur amont du pont de la RN2

Les essais réalisés montrent que ce secteur se comporte comme une plage de dépôt naturelle pendant les crues. Une part importante des matériaux venant de l'amont se dépose dans le méandre.

Les éléments les plus fins sont ensuite remobilisés par les crues faibles.

Les essais ont permis d'identifier les risques suivant sur ce secteur :

- érosion de la falaise en rive droite ; l'écoulement passant à droite de l'île attaque la falaise en pied et crée des fosses d'affouillement dans le coude du méandre. Ces fosses peuvent atteindre des profondeurs de 4 à 5 m pendant les crues les plus fortes contribuent à fragiliser le pied de falaise. Elles se comblent généralement au cours de la décrue lorsque les vitesses de l'écoulement chutent.
- Débordement dans le méandre ; ces débordements sont observés à partir de la crue centennale. Pour des débits plus élevés, on observe même un écoulement par-dessus la route nationale et le long de la rue Pierre Benoît Dumas.

- Mise en charge du pont de la RN2 ; la mise en charge du pont est observée pour des débits de l'ordre de 3 600 m³/s. Elle peut aggraver les débordements en rive droite et générer des débordements en rive gauche.

Secteur médian entre les 2 ponts

Les vitesses de l'écoulement entre les 2 ponts sont très élevées (jusqu'à 8 m/s) et provoquent localement des érosions importantes. Ces vitesses permettent le charriage des plus gros matériaux. On n'observe pas de dépôt dans ce secteur. On identifie en particulier les risques suivants :

Ces érosions risquent de découvrir les fondations du pont de la RN2 et de le déstabiliser. En outre, la nature des matériaux constitutifs de la berge en rive gauche est incertaine (roche dure ou tendre ?). Les survitesses générées par la pile du pont risquent de provoquer une érosion rapide de cette berge si les matériaux ne résistent pas.

- Erosion sous le pont du centre ville ; la formation de fosses pouvant atteindre 4 ou 5 m de profondeur a été observée au cours des essais. Les fosses les plus profondes apparaissent à droite de la pile du pont. Elles se combleraient partiellement ou totalement en fin de crue. Comme pour le pont de la RN2, ces affouillements risquent de découvrir les fondations du pont et de le déstabiliser. Aucune donnée concernant les profondeurs des soubassements du pont n'a pu être obtenue.
- Erosion en pied de berges en rive gauche ; les essais ont montré que les berges en rive gauche commencent à se détériorer (effondrement des blocs posés sur les berges) à la suite d'affouillement en pied dès que le pavage du lit est détruit (au-delà de la crue cinquantennale). La végétation qui recouvre ces berges devrait toutefois permettre de les stabiliser un peu.
- Débordement en rive gauche à l'aval de la sous-préfecture et au droit de la maternité ; ces débordements surviennent pour la crue centennale mais ne sont pas très conséquents. Une légère rehausse des digues pourrait permettre de les contenir toutefois, la digue en rive gauche entre la sous-préfecture et le pont du centre ville comporte de quelques points bas (au droit de la rue Montfleury par exemple) qui risquent de provoquer des débordements intempestifs. Un levé topographique précis de la berge en rive gauche permettrait de définir les travaux de rehausse à entreprendre. En outre, il semble judicieux à moyen terme de déplacer la maternité sur un secteur sans risque de débordement.
- Débordement en rive droite à l'amont du pont du centre ville ; le jardin M. Ferrol est inondé dès la crue cinquantennale et un écoulement s'établit alors par l'exutoire sous la rue G. Pompidou. Cet écoulement, même pour un faible débit, peut conduire à de fortes érosions dans ce secteur si un matelas d'eau n'est pas constitué au préalable.

Secteur aval du pont du centre ville

Ce secteur constitue le cône de déjection de la rivière des Marsouins. Les essais ne montrent pas la formation d'un dépôt régressif qui risquerait de rehausser les lignes d'eau

pendant les crues. Les matériaux du cône sont vraisemblablement repris par le transit littoral. On conseille toutefois la mise en place d'un suivi régulier des fonds et la réalisation de dragages en cas d'engravement important à la suite d'une crue.

Les essais ont également permis de mettre en évidence les 2 points suivants sur le secteur aval :

- débordement en rive gauche à l'aval du pont ; ce débordement survient entre le profils P8 et P9 dès la crue cinquantennale mais devient réellement conséquent pour la crue centennale.
- débordement en rive droite sur la digue basse ; la digue basse à l'aval du pont du centre ville est en fait constituée d'enrochement non arrangés et totalement recouvert par la végétation. Elle ne présente donc aucune continuité et n'assure pas la protection du secteur du Ludoparc même contre les faibles crues. On observe des débordements sur cette digue dès la crue vingtennale. Elle est quasiment submergée sur sa totalité lors de la crue centennale.

1.4 TESTS DES SOLUTIONS D'AMENAGEMENT SUR LES MODELES

ORIENTATIONS ET CONTRAINTES A L'ISSUE DU MODELE MATHEMATIQUE

Avant la réalisation de l'étude sur modèle physique, une des craintes principales concernant le risque d'inondation était la mise en charge du pont Pompidou à la suite de la formation d'un dépôt régressif à partir du cône de déjection. Les résultats de l'étude sur modèle mathématique (phase 2 du projet) montraient que cette mise en charge s'effectuait dès la crue cinquantennale et conduisait à une aggravation des débordements en centre ville de façon importante.

En conséquence, les deux propositions d'aménagements suivantes ont été faites pour éviter que le pont Pompidou se mette en charge :

- 1- Réalisation d'un déversoir latéral au droit du jardin M. Ferrol et augmentation de la section de l'évacuateur de crue sous la culée du pont Pompidou en rive droite ;
- 2- Surélévation du pont Pompidou.

Un des autres objectifs de l'étude était de prendre des dispositions pour limiter l'érosion de la falaise rive droite en amont pont RN2 par un ouvrage de type épi ou seuil.

Cependant les visites de terrains et les renseignements collectés avant l'étude sur modèle physique ont conduit à émettre quelques doutes sur le risque d'engravement du cône de déjection en mer :

- le transport solide de la rivière des Marsouins est manifestement faible, le pavage du lit en est un élément symptomatique,
- le bassin versant est peu érodé,
- le cône de déjection en aval du pont du centre ville ne fait pas l'objet de dragage d'entretien par la mairie de St-Benoit.

RESULTATS DES ESSAIS SUR LE MODELE PHYSIQUE

Compte tenu des observations réalisées sur le terrain, deux types d'essais ont été menés :

- les essais avec pavage (fond du modèle tapissé de matériaux assez gros) qui correspondent au risque maximum pour les débordements,
- les essais à fond non pavé (en cas de rupture du pavage lors d'une crue majeure) qui correspondent au risque maximum pour les érosions.

Les premiers essais d'étalonnage du transport solide (fond non pavé) ont été assez surprenants dans la mesure où des érosions systématiques sont apparues dans la partie chenalisée (entre les deux ponts) et sous le pont Pompidou, quel que soit le débit solide injecté à l'amont.

L'explication de ces observations est que le virage à l'amont du pont RN2 se comporte comme une plage de dépôt naturelle en stockant la majeure partie des matériaux qui arrivent de l'amont.

Concernant le risque de mise en charge du pont, le risque est faible même avec un débit très élevé ($4\,000\text{ m}^3/\text{s}$) ou avec un fond fixe (fond du modèle en béton pour un essai entre les deux ponts). En conclusion, même si on ne peut pas exclure la mise en charge du pont pour des débits supérieurs ou à cause d'embâcles par exemple, la probabilité de le voir est

faible. Les différences entre les essais sur modèle physique et les calculs réalisés avec le modèle mathématiques viennent du fait que les calculs numériques ont été menés sans prendre en compte une possible modification des fonds pendant les crues.

Dans le secteur compris entre les deux ponts y compris sous le pont Pompidou, les risques d'affouillement sont bien plus à craindre que les débordements. Ce secteur est soumis à de très fortes vitesses (de l'ordre de 7 à 8 m/s pour la crue centennale), toutefois le pavage en place semble avoir rempli son rôle de carapace protectrice contre les affouillements jusqu'à aujourd'hui.

Les essais ont mis en évidence quatre zones particulièrement sensibles aux risques d'affouillement :

- la pile du pont Pompidou ;
- la culée en rive gauche du pont RN2 ;
- les berges en rive gauche en amont du pont Pompidou ;
- l'intérieur du méandre en rive droite en amont du pont de la RN2.

Ces secteurs nécessiteraient une expertise conjointe géologie/matériaux/hydraulique pour évaluer plus précisément les risques.

Enfin, des débordements ont été observés à l'intérieur du méandre en rive droite en amont du pont de la RN2 à partir de la crue centennale. Pour des débits plus forts, le débordement génère un écoulement qui traverse la RN2 et suit la rue Pierre Benoît Dumas.

AMENAGEMENTS PROPOSES

- Déversoir latéral au droit du jardin M. Ferrol et l'agrandissement de l'ouverture sous le pont

Le déversoir latéral à l'amont immédiat du pont Pompidou destiné à soulager le débit passant sous le pont Pompidou ainsi que l'ouvrage de décharge sous le pont en RD ont été dimensionnés plus finement sur le modèle physique

- Secteur situé entre les 2 ponts

A part quelques reprises de digues ponctuelles pour éviter les débordements intempestifs (voir détails dans le rapport) il nous semble préférable de ne rien toucher, le lit pavé à l'air stable. La reprise de l'ensemble des protections de berges serait un travail colossal et coûteux pour un résultat aléatoire.

Il n'y a donc pas a priori de "solution aménagée lourde" mais des retouches ponctuelles. Un diagnostic de l'état des digues et murs qui protègent le centre ville en rive gauche serait très utile pour renforcer les points faibles.

- Secteur en amont du pont de la RN2

Ce secteur a été récemment modifié par la crue générée par DIWA (mars 2006). L'îlet a été partiellement remportée par la crue. Le chenal principal d'écoulement s'est déplacé vers la rive gauche. Le risque d'érosion du pied de la falaise en rive droite est ainsi réduit. Par conséquent il n'est plus urgent de construire d'un ouvrage pour protéger le bras de la rivière en rive droite de l'île qui supprimerait certes l'attaque de la falaise mais aussi la plage de dépôt (qui évite un engravement trop important du cône de déjection). La mise en place d'un barrage filtrant sur le bras de la rive droite faciliterait cependant l'évacuation du remblai présent en rive gauche dans le lit majeur.

Quoi qu'il en soit la plage de dépôt est à surveiller par des levés topo après les crues majeures et à entretenir par des curages si nécessaire.

Compte tenu des risques d'érosion de la falaise et de débordement en cas de crue majeure, il faudrait à terme exproprier la maison au sommet de la falaise en rive droite en amont du pont de la RN2 et mettre en place une digue basse pour éviter les débordements.

- Secteur à l'aval du pont Pompidou

Une reprise très locale de la digue en rive gauche semble nécessaire pour contenir des débordements observés dès la crue cinquantennale.

La digue basse en rive droite à l'aval du pont Pompidou devrait être aménagée afin de protéger le secteur du Ludoparc pour des crues vingtenale.

1.5 FAISABILITE DE LA MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'ANNONCE DE CRUES SUR LA RIVIERE DES MARSOUINS

La prévision de crue sur les cours d'eau de la Réunion est un véritable défi pour les hydrologues.

Le temps de réponse très court (2 à 4h au maximum pour les plus grands bassins tels que la rivière des Marsouins) est le principal facteur contraignant pour la prévision des crues torrentielles.

La mesure de débit est très difficile (manque de section de contrôle, accès difficile, transport solide, écoulement torrentiel...) et le jaugeage en fortes crues quasiment impossible, ce qui rend les données de débits incertaines, notamment pour les plus fortes crues, qui sont pourtant les plus importantes.

La pluviométrie sur le bassin versant est également difficile. L'influence de l'altitude et de l'exposition du versant (« au vent » ou « sous le vent ») est variable suivant le type d'événement météorologique. Il est par ailleurs difficile de trouver des sites accessibles sur le haut bassin pour l'implantation de stations pluviométriques et la télétransmission des données est encore moins imaginable.

Ces particularités géomorphologiques et hydrologiques compliquent fortement la mise en œuvre d'un système d'annonce de crue fiable.

1) LE BESOIN D'UN SYSTEME D'ANNONCE DE CRUE

Le besoin d'un système d'annonce de crue a été justifié par l'analyse de la vulnérabilité et du risque d'inondation, notamment au niveau de l'îlet Coco et du centre-ville.

2) LE RESEAU DE MESURE HYDRO-METEOROLOGIQUE EXISTANT ET LA PREVISIBILITE DES CRUES

Quatre points limnimétriques existent actuellement, ce qui est déjà considérable pour une rivière réunionnaise. Il s'agit des deux barrages EDF (Takamaka 2 et Takamaka 1), la station de Bethléem de l'ORE et la station très récente de la DDE installée au pont Pompidou.

Trois postes pluviographiques sont disponibles sur le bassin des Marsouins : Bébour (alt. 1337 m), Chemin de Ceinture (alt. 230m, poste appartenant à la Filière Canne de la Réunion) et Saint Benoît (alt. 40m).

Les données limnigraphiques et pluviographiques disponibles sont peu nombreuses et ne permettent pas une analyse fiable sur la relation pluie – débit ou débit – débit.

Cependant l'analyse hydrologique réalisée a pu montrer :

- qu'il n'existe pas de corrélation significative entre le débit mesuré au barrage de Takamaka 1 et le débit à Bethléem, du fait que le barrage ne contrôle que 30% environ du bassin versant à Bethléem.

- que les précipitations mesurées à Saint Benoît sont peu représentatives des pluies sur le bassin versant. Les données pluviométriques observées à Bébour disponibles sont insuffisantes pour une analyse corrélative significative entre la pluviométrie et le débit à Bethléem.

Il n'est donc pas envisageable d'effectuer l'annonce de crue à partir de la seule observation au barrage EDF

Une analyse très détaillée a été effectuée sur la crue de décembre 2004 survenue pendant l'étude ($Q = 409 \text{ m}^3/\text{s}$ mesurée à la station de Bethléem). Cinq postes pluviographiques disponibles sur ou à proximité du bassin versant ont été utilisés pour estimer les pluies moyennes sur le bassin. Il s'agit des postes de Menciol, Chemin de Ceinture, Plaine des Palmistes, Saint Benoît et Cambourg-les-Hauts. Malgré cela la relation entre la pluviométrie et le débit à Bethléem n'a pas pu être établie.

Comme évoqué précédemment la hétérogénéité de la pluviométrie sur le bassin rend l'estimation des pluies moyennes extrêmement difficiles, ce qui constitue un des principaux obstacles de la prévision de crues à la Réunion. Sur le bassin des Marsouins il faudrait un nombre très important de postes pluviographiques judicieusement répartis sur le bassin pour pouvoir mesurer correctement les précipitations.

3) SEUILS D'ALERTE

Des seuils de pré-alerte et d'alerte ont été proposés en tenant compte

- des limites de débordement,
- du temps nécessaire pour la sauvegarde de biens ou l'évacuation,
- de la vitesse de montée de crues,
- des incertitudes diverses.

Les valeurs proposées restent indicatives compte tenu des différentes incertitudes : imprécision topographique sur le secteur de l'îlet Coco, insuffisance des données hydro-météorologiques disponibles, incertitude des courbes de tarage etc. Les conditions d'alerte devront être adaptées en fonction des données qui seront acquises lors des événements réels et aux évolutions du système : progrès technologique, réduction de la vulnérabilité, travaux de protection, etc. ; une mise à jour régulière des seuils sera nécessaire.

4) ANALYSE DE SCENARIOS

Trois scénarii ont été proposés à l'issue de l'analyse hydrologique.

- Scénario n°1 : alerte sur la pluviométrie
- N°2 : alerte sur la pluviométrie et l'hydrométrie au niveau de Bethléem
- N°3 : implantation d'un système comportant deux nouvelles stations hydrométriques dont une à l'aval du barrage de Takamaka 1

Le scénario n°3 est plus complet et beaucoup plus performant, mais la réalisation est difficile notamment pour l'implantation de la station au niveau de Takamaka.

Pour chacun des trois scénarios les caractéristiques techniques ont été définies et les coûts des travaux et de l'entretien estimés. Une analyse comparative multi-critères a été effectuée afin de faciliter le choix par la commune.

2. PRESENTATION DES AMENAGEMENTS RETENUS

Suite aux conclusions précédentes, on propose de prendre les dispositions suivantes :

1. Secteur amont

- Suivi topographique du secteur afin de connaître l'évolution de la plage de dépôt (engravement, équilibre) ;
- Evaluation des risques d'écoulement par la rue Maurice Ferrol en cas de débordement dans le coude du méandre et mise en place de protections adaptées (digues basse, fossé d'écoulement des eaux) ;
- Mise en place d'enrochements au pied de la falaise dans le coude du méandre.

2. Secteur entre les 2 ponts

- Levé topographique de la berge en rive gauche entre la sous préfecture et le pont du centre ville afin de détecter les points bas ;
- Rehausse ou uniformisation des digues en rive gauche afin de protéger le centre ville contre la crue centennale.
- Diagnostic de la stabilité des enrochements en rive gauche et mise en place de couche filtre en pied de berge ;
- Entretien des berges pour éviter le développement d'une végétation trop dense qui risquerait de rehausser les niveaux d'eau lors des crues.

La construction d'un déversoir latéral au droit du jardin M. Ferrol ne semble pas nécessaire compte tenu des résultats des essais. L'efficacité d'un tel ouvrage serait très limitée vu les vitesses de l'écoulement à cet endroit.

3. Secteur aval

- Rehausse de la digue en rive gauche pour protéger le centre ville contre la crue centennale ;
- Aménagement de la berge en rive droite par la mise en place d'une digue base calée afin de protéger le secteur du Ludoparc contre la crue vingtennale.
- Suivi de l'évolution de la plage de dépôt sur le cône de déjection et curage éventuels.

Le détail des aménagements proposés est fourni en *annexe 3 (en cours de montage)*.

Suite aux premiers essais réalisés, la mairie de St-Benoît souhaite tester les aménagements suivant sur le modèle physique :

1- Secteur entre les 2 ponts

- Rehausse et uniformisation des digues en rive gauche afin de protéger le centre ville contre la crue centennale.
- Mise en place de couche filtre en pied de berge ;
- Construction d'un déversoir latéral au droit du jardin M. Ferrol tel que défini dans le rapport de phase 2 : « Etude de faisabilité des moyens de protection sur le secteur aval ».

2- Secteur aval

- Rehausse de la digue en rive gauche pour protéger le centre ville contre la crue centennale ;
- Aménagement de la berge en rive droite par la mise en place d'une digue base calée afin de protéger le secteur du Ludoparc contre la crue vingtennale ;
- Mise en place d'un mur-digue autour du bâtiment CNR.

En complément de ces aménagements, un muret de 1 m de haut a été mis en place au sommet de la paroi longeant la rivière en rive droite dans le méandre en amont du pont de la RN2 afin de contenir d'éventuels débordements sur la RN2 pour les fortes crues.

L'efficacité des aménagements a été testée sur les deux essais suivant :

- Crue de projet (Q_{100}) ;
- Crue exceptionnelle.

Les caractéristiques détaillées des aménagements après exploitation des mesures sur le modèle physique sont présentées en annexe.