

ILE DE LA REUNION - COMMUNE DE ST BENOIT

AMENAGEMENTS DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES MARSOUINS

PHASE 4 – CONCEPTION ET CONSTRUCTION DU MODELE PHYSIQUE – RAPPORT DEFINITIF

1- OBJECTIFS DE L'ETUDE SUR MODELE PHYSIQUE.....	4
2- DONNEES DISPONIBLES.....	5
2.1 Données topographiques	5
2.2 Données hydrologiques et hydrauliques	6
2.4 Données historiques et autres	8
3- ANALYSE FLUVIO-MORPHOLOGIQUE	9
3.1 Morphologie du lit de la rivière	9
3.2 Granulométrie de la rivière des Marsouins	13
3.3 Conclusion	14
4- DESCRIPTION DU MODELE PHYSIQUE.....	15
4.1 Secteur modélise	15
4.2 Choix de l'échelle	16
4.3 Equipement du modèle	17
5- DESCRIPTION DES ESSAIS	18
5.1 Etalonnage du modèle	18
5.2 Simulations proposées	19

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

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 (synthèse)

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.

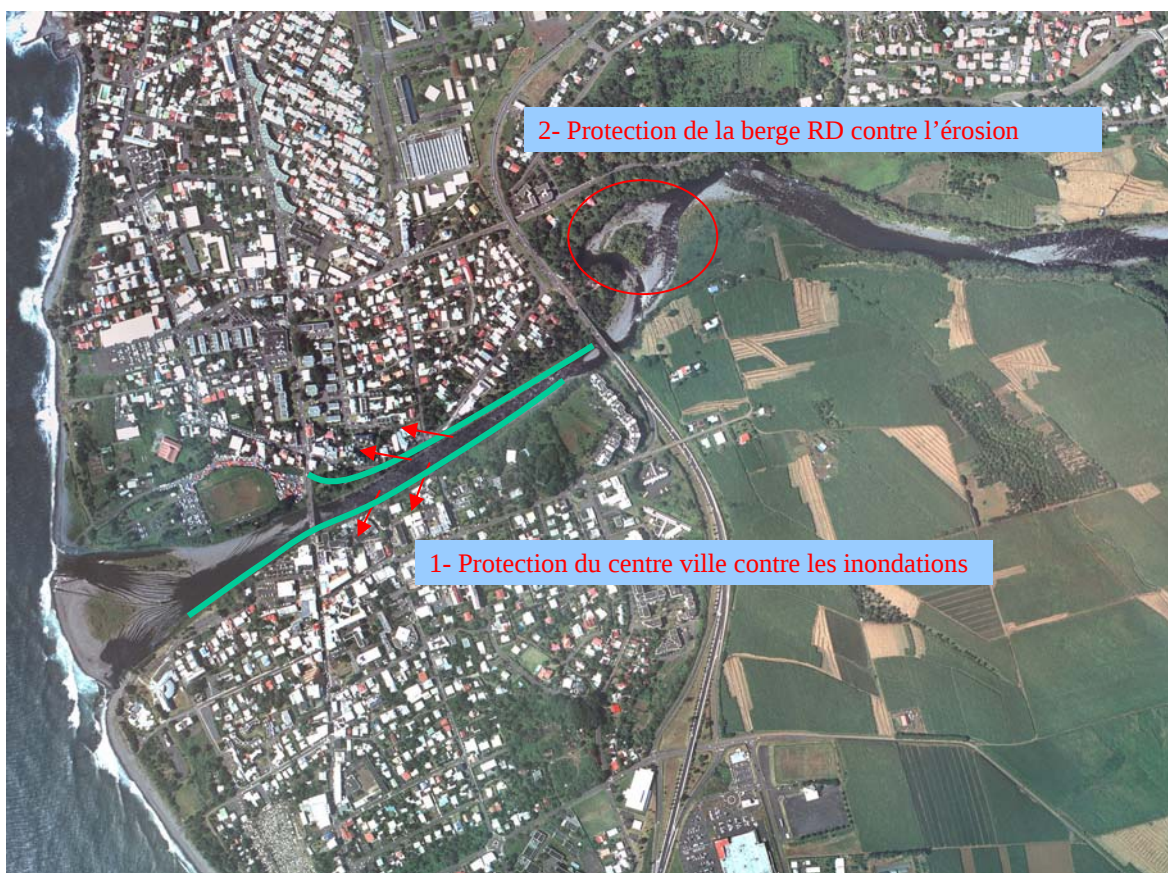
Ce rapport concerne la phase 4 du projet, il donne un descriptif du modèle et présente les hypothèses retenues pour la réalisation des essais. Ce rapport contient également une analyse fluvio-morphologique de la rivière des Marsouins.

1- OBJECTIFS DE L'ETUDE SUR MODELE PHYSIQUE

L'étude sur modèle physique doit permettre de tester les solutions d'aménagements proposés lors de la phase 2 afin de protéger l'ensemble du centre ville de St-Benoit contre les crues. Les essais sur modèle permettront de valider l'efficacité des solutions proposées en prenant en compte le transport solide de la rivière.

Le second objectif de l'étude consiste à étudier le phénomène d'érosion de la berge en rive droite à l'extrémité amont de la zone concernée. Des solutions d'aménagements seront testées pour stopper cette érosion, en particulier lors des crues.

La photo ci-dessous situe les principaux secteurs à étudier.



2- DONNEES DISPONIBLES

La construction du modèle physique et la réalisation de l'étude s'appuie sur :

- les données collectées au cours des visites de terrain réalisées au cours des phases précédentes ;
- les résultats des études hydrologiques et hydrauliques menées au cours de la phase 2 ;
- les documents issus des études de la rivière des Marsouins réalisée jusqu'à aujourd'hui.

Les données recueillies au démarrage de la phase de conception - construction du modèle sont décrites dans les paragraphes suivants.

2.1 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les données disponibles pour l'étude sont :

- Topographie de l'océan jusque 500 m en amont du pont de la RN2 - Cabinet Talibart 1999 :
 - Topographie au 1/2000^{ème} ;
 - Topographie au 1/400^{ème} du lit mineur ;
 - 33 profils en travers de la rivière (lit mineur et lit majeur).
- Plan topographique du méandre de la rivière en rive droite en amont de la RN2 – Cabinet Mechy 1999 ;
- Plan topographique au 1/200^{ème} de l'endiguement rive gauche entre le pont Pompidou et la sous préfecture – Année inconnue (19XX) ;
- Plan de recollement du pont de la RN2 de 1973 ;
- Plan de recollement du pont de l'ancienne RN2 de 1884 (ancienne structure métallique changée depuis).

Quatre levés complémentaires (avril 2005) ont été demandés afin de compléter les données topographiques du cabinet Talibart de 1999 et de juger de l'évolution de la pente de la rivière. Ces levés couvrent le secteur amont du modèle, soit de 350 m en amont du pont de la RN2 jusqu'aux stations de pompage de bras Canot.

Un profil en long a également été réalisé entre le méandre en amont du pont de la RN2 et l'océan.

2.2 DONNEES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

Un bilan hydrologique a été réalisé au cours de la phase 2 (voir le rapport de phase 2 pour plus de détails). Il a permis de déterminer les hydrogrammes des crues caractéristiques présentées dans le tableau ci-dessous :

Crue caractéristique	Débit de pointe en m ³ /s
Q ₁₀	1 355
Q ₂₀	1 630
Q ₅₀	2 053
Q ₁₀₀	2 610
Q _{exceptionnelle}	4 700

Ces hydrogrammes sont donnés en *annexe 1*.

Ces valeurs serviront de base de calcul pour déterminer le débit solide à injecter en entrée du modèle lors des essais.

Une analyse hydraulique a également été réalisée à l'aide du logiciel ISIS (modèle mathématique monodimensionnel à casier). La simulation des crues caractéristiques permet d'obtenir les lignes d'eau sur l'ensemble du secteur modélisé, les vitesses de l'écoulement sur les 32 profils du modèle ainsi que les hauteurs d'eau atteintes dans les casiers. Ces données seront comparées aux grandeurs mesurées sur le modèle physique. Un recalage éventuel du modèle mathématique pourra être envisagé à partir des essais sur le modèle physique.

Enfin, les variations possibles du niveau de l'océan ont été prises en compte en fonction des facteurs météorologiques (dépression, vent, cyclone). Ce niveau représente la condition limite aval du modèle.

Les données issues du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) indiquent que le niveau moyen de l'océan correspond à la cote +0.10 m NGR (le niveau zéro hydrographique étant situé 0.525 m sous le zéro NGR).

Dans le cas d'un cyclone, il est nécessaire de prendre en compte les surélévations dues à l'effet de la dépression atmosphérique et à la houle.

Le tableau suivant donne une estimation de la surélévation envisagée :

Elément	Surélévation en m	Commentaire
Niveau de la mer	+ 0.30	Niveau maxi de l'océan Marée forte de pleine mer
Dépression atmosphérique	+ 0.85	Surcote centennale (source DDE, subdivision Etudes et Travaux maritimes)
Vent	+ 2.00	A confirmer pour un vent de 200 km/h
Effet de serre	+ 0.50	Hypothèse

La surélévation totale prise en compte lors des essais sera d'environ 3.70 m au dessus du niveau moyen de l'océan, soit une cote de 3.80 m NGR. Cette valeur devra être confirmée avant la phase des essais.

2.3 DONNEES GRANULOMETRIQUES

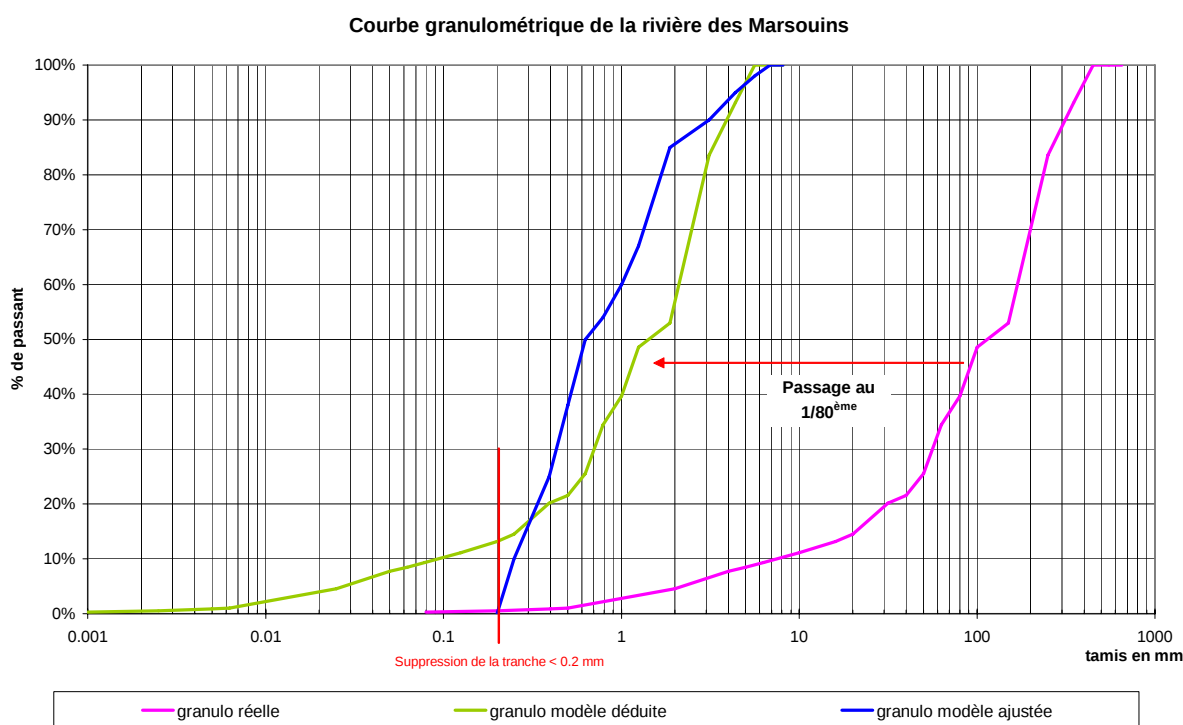
Il n'existait aucune donnée granulométrique sur la rivière des Marsouins au démarrage de l'étude.

Des prélèvements ont été réalisés par le Laboratoire Régional de La Réunion sur les 4 sites suivants : amont îlet Coco, rive droite en amont du méandre, amont du pont de la RN2, rive droite en centre ville à l'aval du pont Pompidou. La localisation des sites est fournie en annexe 2.

Les résultats de ces prélèvements ont été exploités pour mettre au point les courbes granulométriques de la rivière.

Deux courbes sont utilisées pour les essais sur modèle physique :

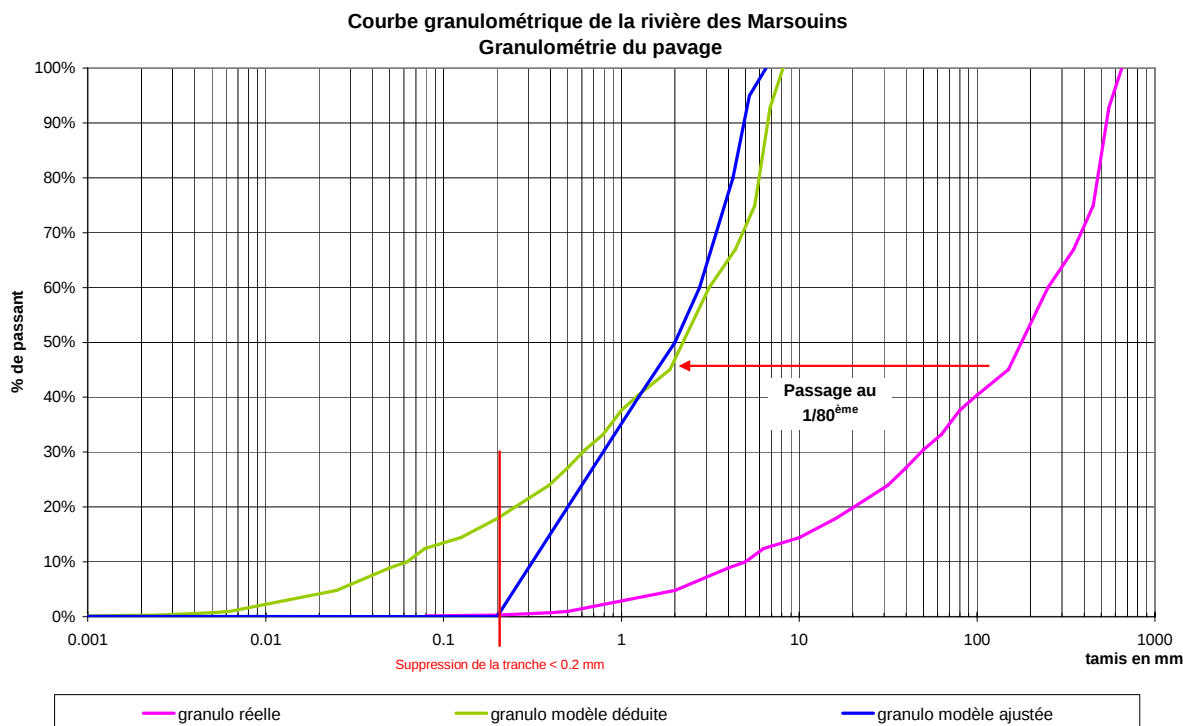
- une courbe représentative des matériaux charriés lors des crues (diamètre moyen de l'ordre de 6 cm) ; cette courbe a été établie à partir des mesures réalisées en centre ville.



La courbe utilisée sur le modèle est obtenue en réduisant la courbe réelle à l'échelle 1/80^{ème}. Les éléments de diamètre inférieur à 0.2 mm sont ensuite supprimés de la courbe modèle car ces petites particules deviennent cohésives entre elles et apportent un biais dans les résultats.

La courbe modèle est alors ajustée pour compenser l'élimination des fines (courbes bleue).

- une courbe représentative des matériaux de surface assez grossiers qui forment un pavage (diamètre moyen de l'ordre de 15 cm).



Les données correspondantes aux deux graphes sont données en *annexe 3*.

2.4 DONNEES HISTORIQUES ET AUTRES

On dispose de peu d'éléments historiques permettant de caler le modèle physique. 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 (débit estimé équivalent à la Q_{20}) :

- le niveau d'eau a été de 50 cm en dessous du tablier du Pont du centre ville ;
- le niveau d'eau a atteint la dernière marche de l'escalier de service de la Maternité ;
- une hauteur d'eau de 50 cm a été observée au niveau de l'habitation en RD à l'aval du stade.

Ces données sont toutefois très imprécises et difficiles à vérifier.

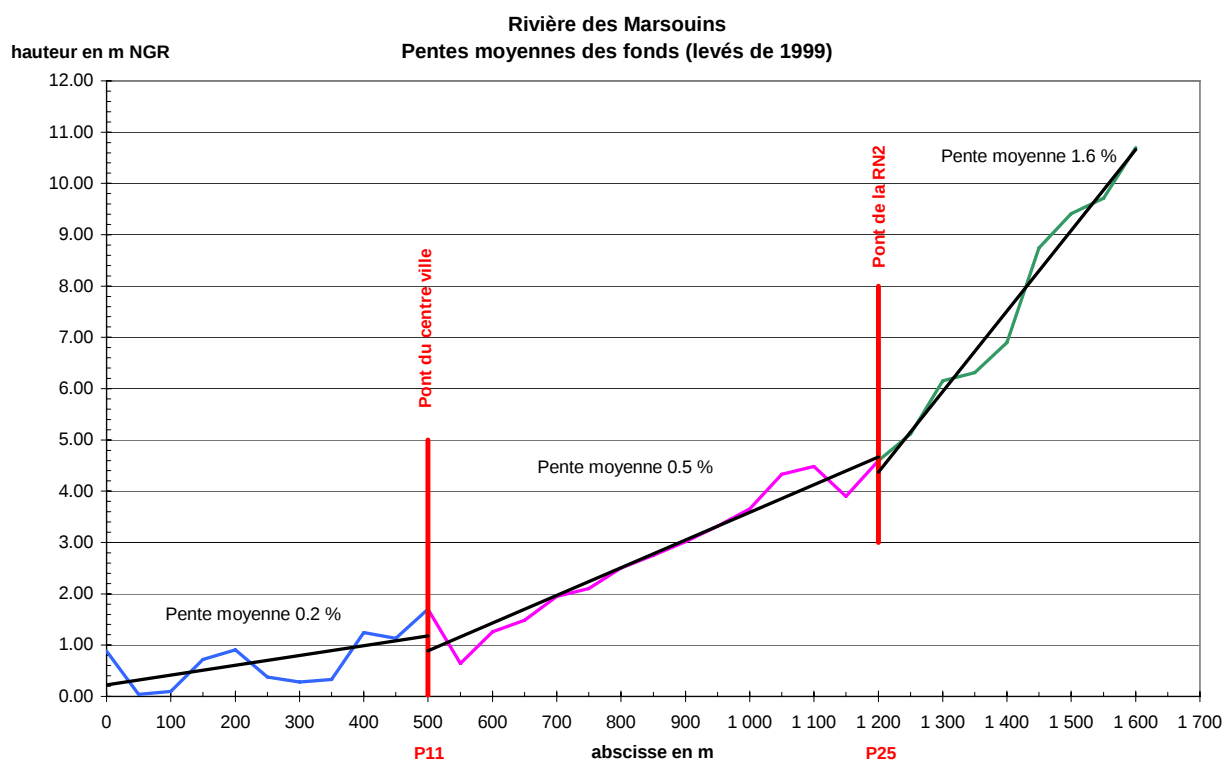
3- ANALYSE FLUVIO-MORPHOLOGIQUE

3.1 MORPHOLOGIE DU LIT DE LA RIVIERE

Le secteur d'étude de la rivière des Marsouins peut être scindé en 3 zones distinctes :

- Une zone située en amont du pont de la RN2 ;
- Une zone médiane située entre le pont de la RN2 et le pont Pompidou ;
- Une zone aval qui s'étend du pont Pompidou à l'océan.

L'exploitation des levés topographiques de 1999 (cabinet Talibart) a permis de définir les pentes moyennes des fonds sur le secteur modélisé.



Localement et en particulier sur le tronçon amont, les pentes peuvent atteindre 4%

Zone amont

Le secteur en amont du pont de la RN2 comporte un méandre avec un angle proche de 90°. Ce méandre est composé de deux bras scindés par un îlot végétalisé. Le bras situé en rive droite est protégé par un seuil naturel et n'est réellement actif que pendant les crues. Ce secteur comporte des alternances de seuils et de mouilles avec **une pente moyenne de 1.6 %** et **des pentes locales pouvant atteindre 4%** (pentes locales calculées sur un linéaire de 50 m environ).



Secteur amont – Vue amont du pont amont de la RN2

Les vitesses en crue atteintes dans le bras droit du méandre semblent relativement élevées (cf. photo ci-dessous) au vue des érosions observées en pied de falaise et des gros blocs présents dans le secteur.



Secteur amont – Vue du bras droit du méandre

Etant donnée la configuration du site, cette zone favorise les dépôts en fin de crue.

Zone médiane

Le secteur compris entre les 2 ponts est endigué sur les deux rives par des blocs entre 0.5 et 1 m de diamètre posés en vrac. L'écoulement occupe pratiquement toute la largeur du lit mineur même en période d'étiage. **La pente moyenne de cette partie est de 0.4 %** ; elle est assez uniforme.



Vue du secteur médian

Les vitesses en crues sont les plus fortes de celles observées sur l'ensemble du secteur modélisé. Par conséquent, on n'observe aucun dépôt dans cette zone (sauf quelques petits atterrissements à l'aval direct du pont de la RN2).

Zone aval

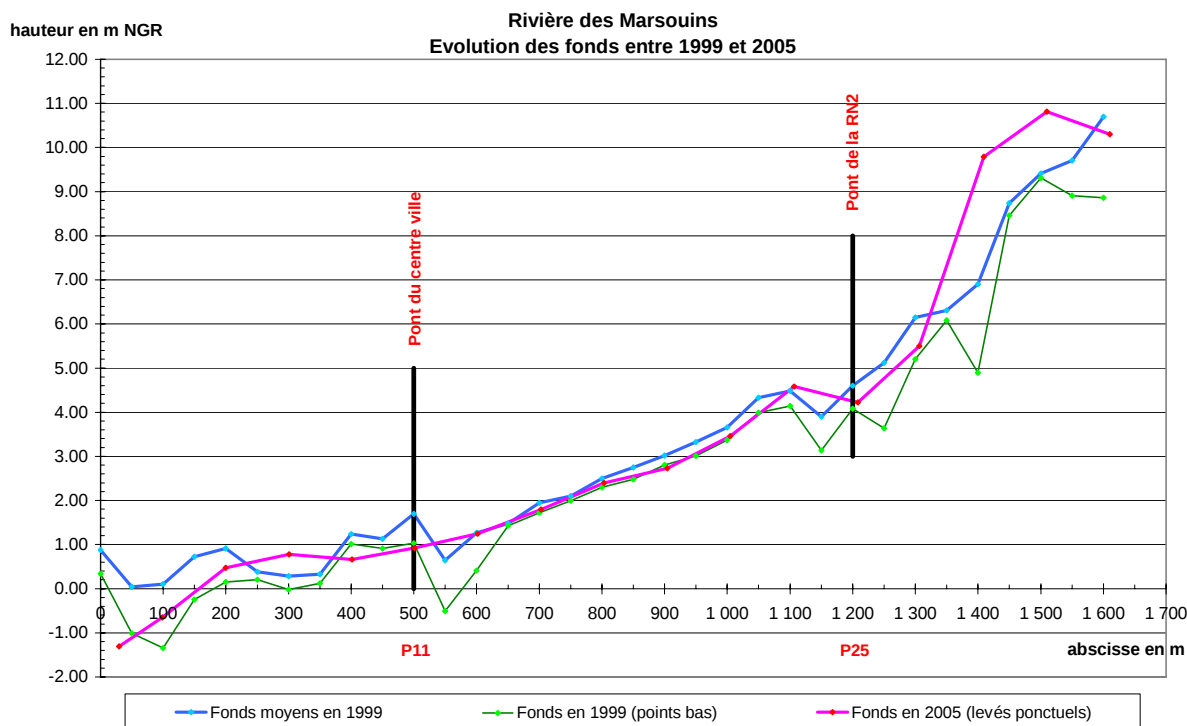
Il s'agit du cône de déjection de la rivière à l'embouchure avec l'océan. Ce secteur est modelé à la fois par les crues, par le transit littoral et par la houle. **La pente moyenne est de 0.2 %**. Il est limité par une digue basse submersible en rive droite et une digue insubmersible en rive gauche qui protège le centre ville.



Vue de l'embouchure de la rivière depuis le pont Pompidou

Les dépôts sont favorisés du fait de la diminution des vitesses (élargissement de la section et influence de l'océan).

La comparaison des mesures réalisées en 1999 et 2005 montre que les pentes moyennes des fonds ont peu évolué en 6 ans malgré la crue de décembre 2004. Le graphe ci-dessous compare la cote moyenne des fonds de 1999, les points bas de chaque profil en 1999 et les levés de 2005.



3.2 GRANULOMETRIE DE LA RIVIERE DES MARSOUINS

Les visites de terrain ont révélé une granulométrie très grossière en surface. La rivière des Marsouins est complètement pavée sur le secteur modélisé comme le montrent les photos ci-dessous :



Photo 1 - Atterrissement en amont du pont de la RN2



Photo 2 – Défluent des 2 bras en amont du méandre

Les mesures réalisées par le Laboratoire Régional indiquent que le diamètre moyen entre 12 et 18 cm. Les plus gros blocs ont un diamètre de l'ordre de 60 à 70 cm. Quelques blocs d'1m de diamètre sont également présents sur le secteur amont.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs des D_{50} et D_{moyen} sur le secteur du modèle physique :

Lieu du prélèvement	D_{50} en mm	D_{moyen} en mm
Centre ville – Prélèvement 1	150	144
Centre ville – Prélèvement 2	120	117
Pont RN2	180	203

L'ensemble des données sont fournies en *annexe 4*.

3.3 CONCLUSION

La rivière des Marsouin est caractérisée par un lit assez stable, avec une faible tendance à la divagation.

La stabilité du lit est cependant liée au pavage qui protège la sous couche composée d'éléments plus fins lors des crues faibles et moyennes. La formation d'un pavage conduit à une granulométrie de la rivière anormalement élevée par rapport aux pentes observées.

Il semble également que les apports solides venant de l'amont du bassin versant soient très réduits (pas de zone d'éboulis, bassin versant très végétalisé), ce qui a tendance à favoriser la formation du pavage et à limiter l'évolution du lit.

4- DESCRIPTION DU MODELE PHYSIQUE

4.1 SECTEUR MODELISE

Le secteur modélisé est représenté sur la carte IGN ci-dessous :



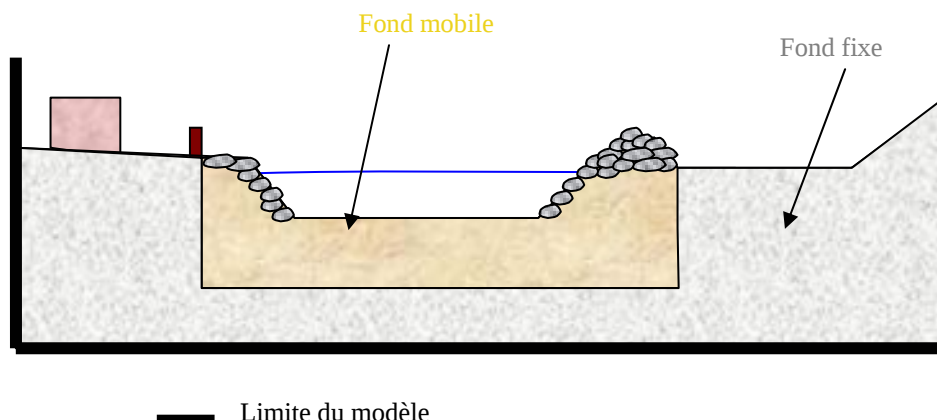
La rivière est représentée sur un linéaire de 2 km à partir de l'embouchure. Le modèle représente une zone de 480 m de large.

La photo suivante présente une vue du modèle en construction depuis l'aval :



Le centre ville et les berges sont construits avec un fond fixe (chape béton), les lits mineurs et majeurs sont constitués d'un mélange de sable représentatif de la granulométrie de la rivière au 1/80^{ème}. Ce fond mobile permet d'observer les évolutions du lit lors des crues, les fortes crues pouvant en effet conduire à des érosions/dépôts conséquents qui modifient l'écoulement et aggravent les risques d'inondations ou d'affouillement des ouvrages.

Le schéma suivant présente une coupe type d'un profil du modèle :



4.2 CHOIX DE L'ECHELLE

L'échelle géométrique retenue pour l'étude est le 1/80^{ème}.

La reproduction des écoulements à surface libre est garantie en respectant la similitude Froude (conservation du rapport entre la force d'inertie et la force de gravité sur le modèle et en réalité).

Les échelles déduites de cette loi de similitude sont alors:

Longueur : 1/80
 Hauteur : 1/80
 Débit : $(1/80)^{5/2} = 1/57\,243$
 Vitesse : $(1/80)^{1/2} = 1/8.9$
 Temps : $(1/80)^{1/2} = 1/8.9$

Ainsi, pour donner des ordres de grandeurs :

- le secteur modélisé mesure 25 m de long et 6 m de large ;
- le débit de crue exceptionnel de 4 700 m³/s sera représenté par un débit modèle de 82.1 l/s ;
- une vitesse réelle de 1 m/s sera représentée par une vitesse modèle de 0.11 m/s
- une heure réelle sera modélisée par 6 minutes 42 secondes sur le modèle.

4.3 EQUIPEMENT DU MODELE

Le modèle est équipé :

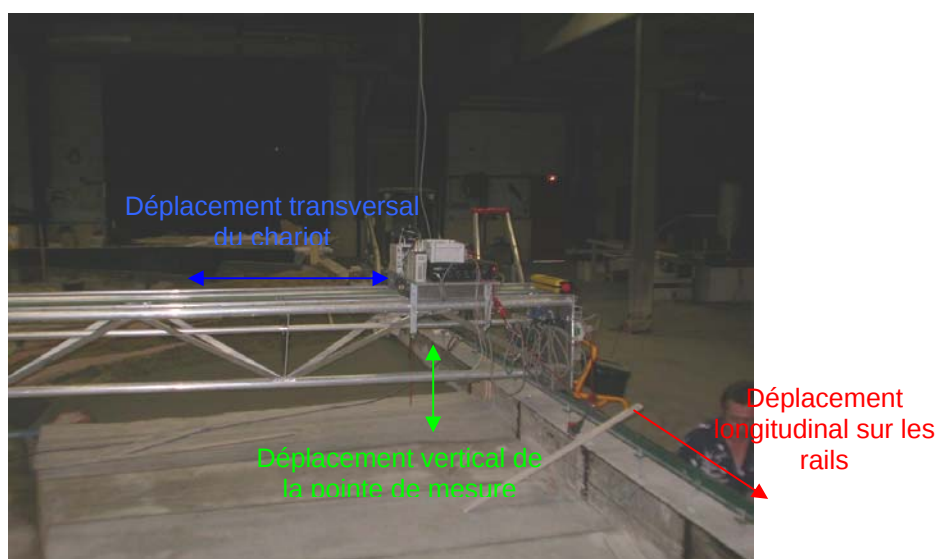
- d'un débitmètre électromagnétique en amont afin de mesurer et contrôler le débit liquide entrant ;
- d'un système d'alimentation en matériaux (Granumet) afin de contrôler le débit solide injecté en amont. L'alimentation en matériaux sera effectuée en circuit ouvert c'est-à-dire que les matériaux sortant du modèle ne seront pas réinjectés à l'amont ;
- d'un volet mobile à l'aval permettant de régler le niveau aval modèle (niveau de l'océan)



Système d'alimentation solide

Les mesures seront réalisées par :

- des micromoulinets pour les mesures de vitesse ;
- un système automatisé permettant l'acquisition de la cote de l'eau et la cote du fond avant, pendant et après les essais. Ce système est capable de se déplacer dans les 3 dimensions et couvre ainsi la totalité du modèle (Cf. photo ci-dessous) ;
- des pointes limnimétriques pour les mesures de hauteurs d'eau.



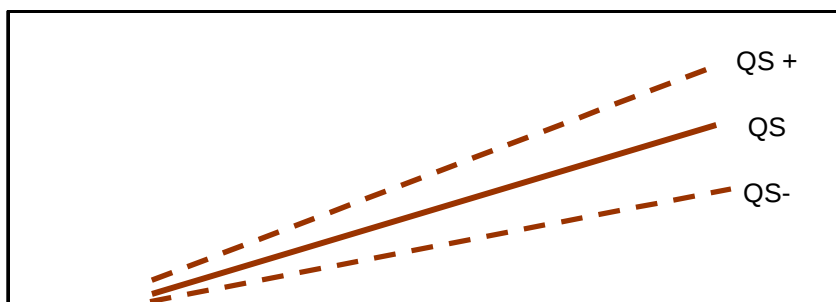
5- DESCRIPTION DES ESSAIS

5.1 ETALONNAGE DU MODELE

Dans la situation actuelle, avant mise en place d'aménagements, des essais seront entrepris pour vérifier la conformité du modèle à la réalité et son aptitude à reproduire le comportement de la rivière des Marsouins.

On vérifiera les points suivants :

- **Etalonnage relation débit liquide - débit solide et pente du modèle**



Pour un même débit liquide, l'introduction de plus ou moins de débit solide permet d'ajuster la pente du modèle à la pente réelle observée de la rivière. Ceci permet d'établir la relation débit liquide – débit solide.

Par ailleurs, on vérifiera si la granulométrie des matériaux est correcte avec observation d'un tri granulométrique éventuel. La courbe granulométrique peut être ajustée si nécessaire.

- **Etalonnage par rapport à la réalité**

Le modèle sera étalonné par rapport aux crues de 1987 et 1998 (équivalent au débit de crue vingtennale), seules données historiques disponibles à ce jour.

Les comparaisons seront faites par rapport aux niveaux de crue observés, en particulier au droit du pont Pompidou, et aux points de débordements.

Compte tenu de l'imprécision des données historiques (débit de crue, cotes observées), les résultats de ces essais devront faire l'objet d'attentions et de critiques particulières.

5.2 SIMULATIONS PROPOSEES

La proposition initiale prévoyait la réalisation des 13 essais suivants :

crue	état actuel - Etalonnage	scénario 1	scénario 2	scénario adopté	problème étudié
Q2	X			X	vérification solution
Q10	X	X	X		érosion en pied
Q10 avec sous-alimentation				X	érosion en pied
Q100	X	X	X		débordement
Q100 avec sur-alimentation				X	débordement
Q exceptionnel i. e. Q500				X	vérification solution
crue cyclonique multiple	X			X	vérification solution

Les visites de terrain, les analyses granulométriques et l'analyse fluvio-morphologique de la rivière ont conduit à revoir les types d'essais prévus initialement.

En effet, les essais avec Q₂, Q₁₀ et Q₁₀₀ avec suralimentation ont peu d'intérêt du fait du pavage du lit et des faibles apports solides venant de l'amont du bassin versant.

L'essai avec Q₂ était prévu pour tester la configuration « bras vif sur creusé avec forts angles d'attaque » or il s'avère que la rivière des Marsouins ne peut pas divaguer sur la partie étudiée à cause des endiguements en centre ville. Cet essai sera remplacé par un essai avec lit pavé et débit croissant afin d'étudier la stabilité du pavage en fonction du débit.

Les problèmes d'attaque en pied de berges étudiés pour les essais avec Q₁₀ devraient être limités du fait du pavage.

Ces essais seront remplacés par des essais avec Q₂₀ et un niveau surélevé de l'océan afin d'étudier les problèmes de dépôts à l'aval du pont Pompidou. L'objectif de cet essai est d'évaluer le risque d'aggravation des crues par mise en charge du pont à la suite d'un dépôt conséquent sur le secteur aval.

En effet, bien qu'il n'y ait pas d'influence de la condition limite aval sur les lignes d'eau dans le cas de surélévations assez faibles (de l'ordre d'1 m), une surélévation importante (4 m) risque de modifier le régime d'écoulement sur le tronçon aval (passage en fluvial) et de rehausser de ce fait les lignes d'eau.

N.B : cet essai correspond à un deuxième événement de projet qui est « niveau de l'océan centennal + crue moyenne sur la rivière des Marsouins » (retour d'expérience de l'inondation de la centrale nucléaire du Blayais sur la Gironde en décembre 1999), l'événement de projet classique étant « crue centennale de la rivière + niveau de la mer moyen (surélevé) ».

Les essais pour les débits extrêmes sont conservés afin de vérifier le comportement hydraulique des solutions proposées. L'essai avec Q₁₀₀ et sur alimentation a été supprimé car il est peu probable d'observer ce cas de figure sur la rivière des Marsouins compte tenu des faibles apports solide venant de l'amont. Toutefois, la possibilité d'une sur-alimentation en matériaux ne pouvant être complètement écartée (effondrement d'un

rempart sur le secteur amont par exemple), un essai complémentaire est proposé dans la liste ci-dessous.

Enfin, il pourrait également être intéressant d'étudier la période de retour de submersion de la digue basse sur le tronçon aval en rive droite dans le but d'évaluer les avantages économiques résultant de l'augmentation de la fréquence de submersion. Cet essai est également proposé en option dans la liste ci-dessous.

Les 15 essais proposés au final (13 essais contractuels et 2 en option) sont donc les suivants :

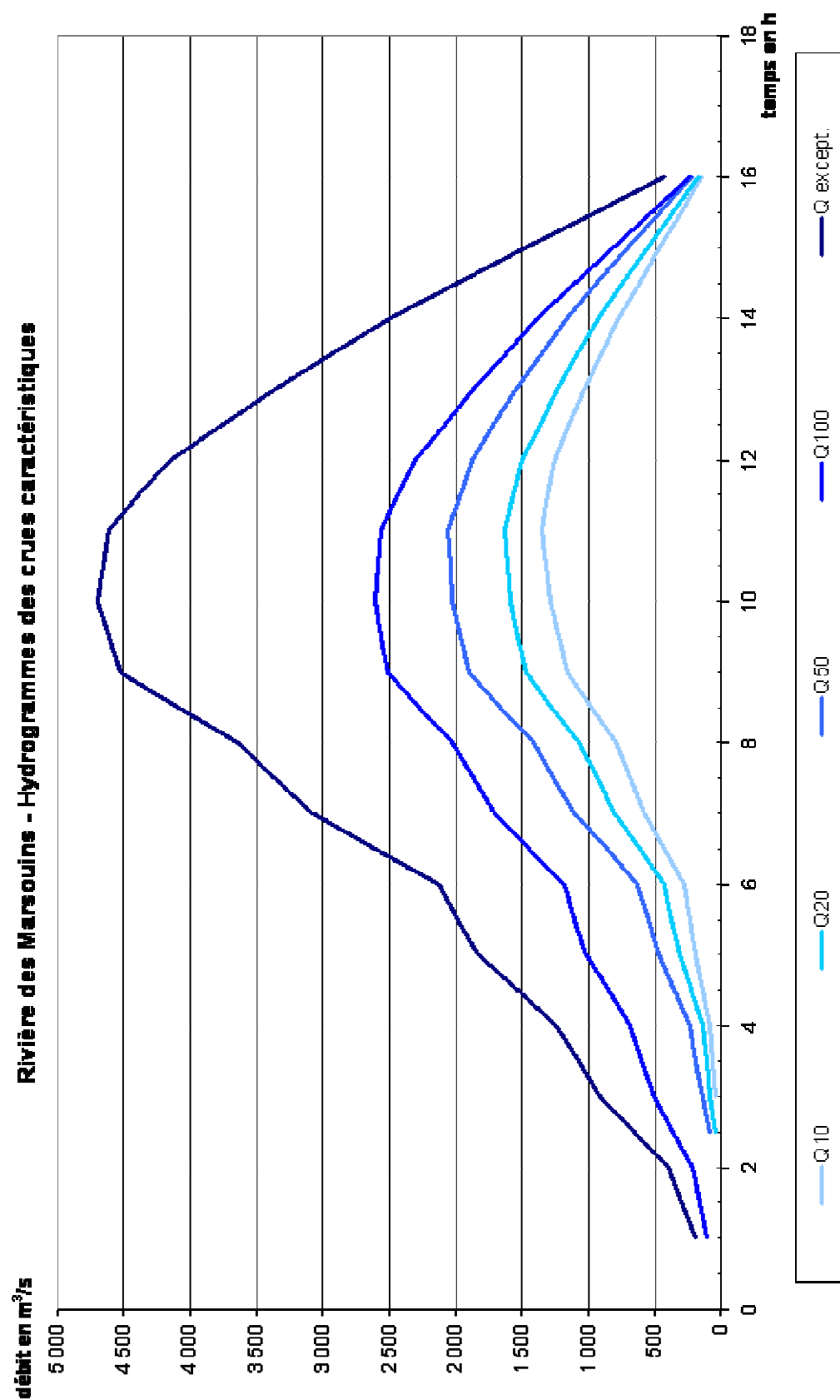
crue	état actuel	scénario 1 déversoir latéral	scénario 2 surélévation pont Pompidou	scénario adopté	problème étudié
Q croissant - Granulo de pavage	X				stabilité du pavage
Q20 niveau océan normal (+ 0.1 m NGR)	X	X			dépôt aval modèle
Q20 niveau océan surélevé (+3.7 m)	X	X	X		dépôt aval modèle
Q50				X	Vérification solution
Q100	X	X	X		débordement
Q100 avec sur-alimentation				X	
Qexceptionnelle				X	Vérification solution
Crue cyclonique multiple	X			X	Vérification solution
Q20 - Q50 - Q100				X	Submersibilité de la digue basse

X essais en option

ANNEXES

Annexe 1.

Hydrogrammes des crues caractéristiques



Annexe 2.

Localisation des sites des prélèvements granulométriques





Annexe 3.

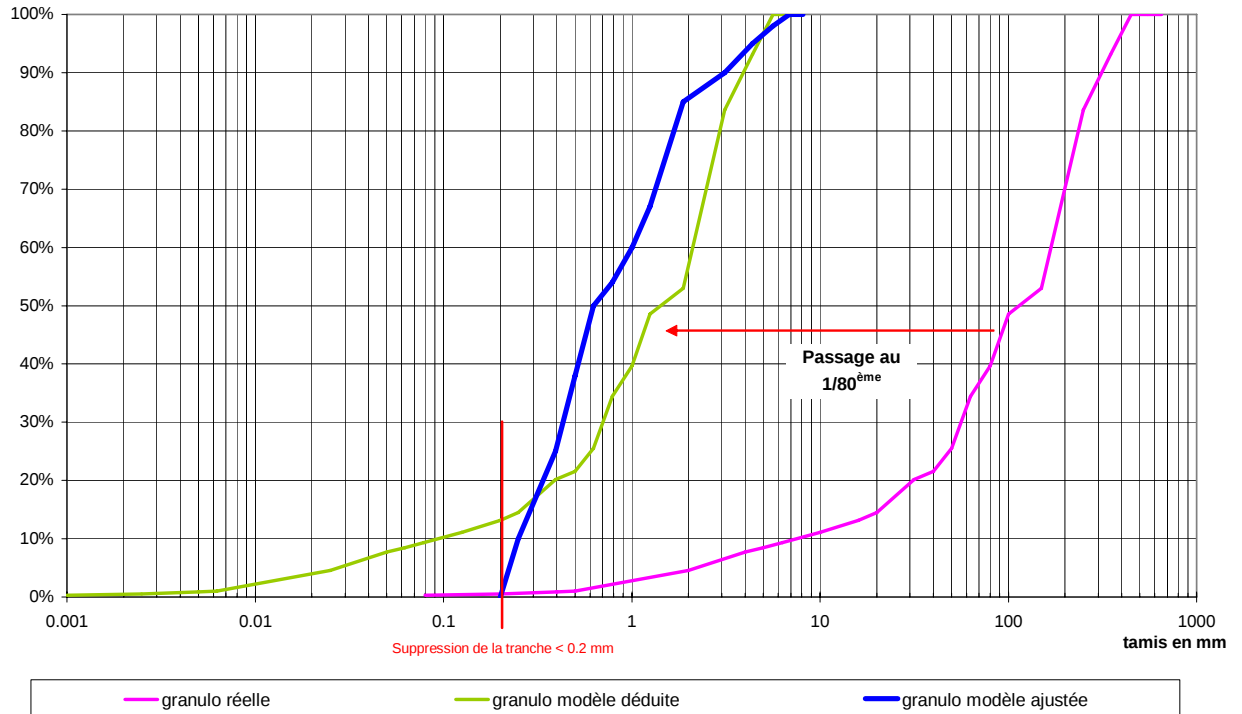
Données des courbes granulométriques « modèle »

Granulo retenue

tamis en mm	tamis en mm (échelle 1/80)	% passant en poids	fraction pi	pi x Di
650	8.1	100%	0%	0.00
550	6.9	100%	0%	0.00
450	5.6	98%	2%	9.00
350	4.4	95%	3%	10.50
250	3.1	90%	5%	12.50
150	1.9	85%	5%	7.50
100	1.3	67%	18%	18.00
80	1.0	60%	7%	5.60
63	0.8	54%	6%	3.78
50	0.6	50%	4%	2.00
40	0.5	38%	12%	4.80
31.5	0.4	25%	13%	4.10
20	0.3	10%	15%	3.00
16	0.2	0%	10%	1.60

% de passant

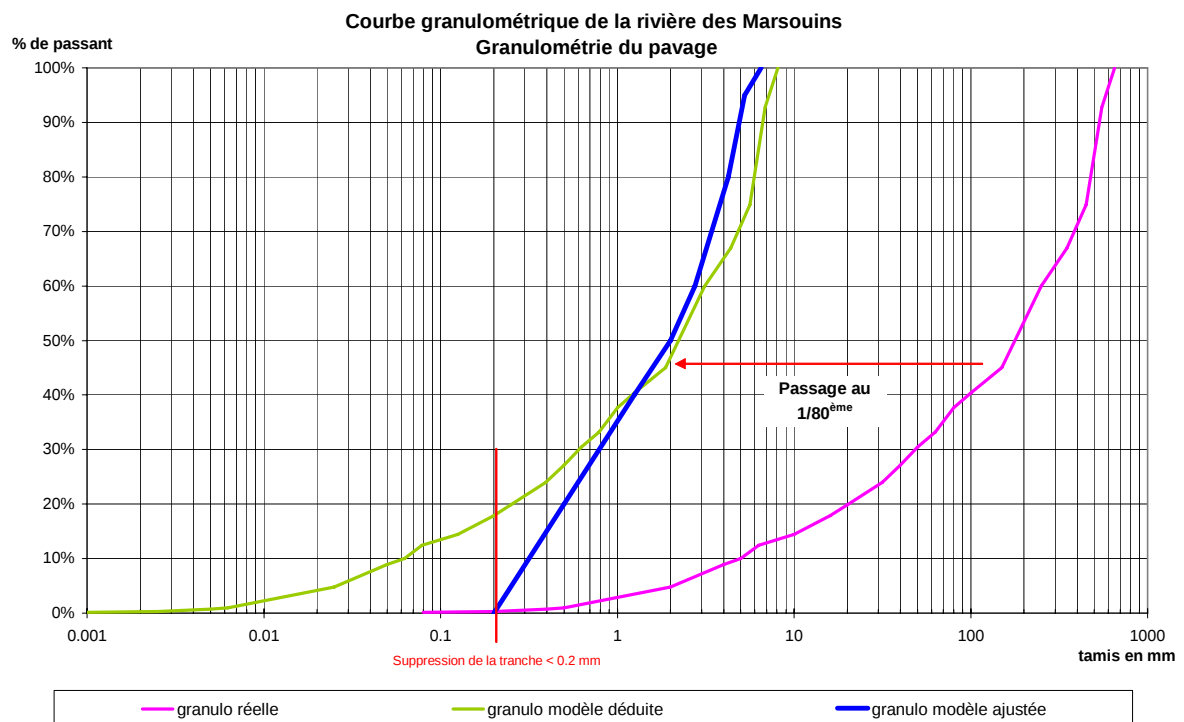
Courbe granulométrique de la rivière des Marsouins



Granulo de pavage

mesures sur site				
tamis en mm	tamis en mm (échelle 1/80)	% passant en poids	fraction pi	pi x Di
650	8.125	100%	0%	0.00
550	6.875	93%	7%	39.55
450	5.625	75%	18%	80.58
350	4.375	67%	8%	27.83
250	3.125	60%	7%	17.54
150	1.875	45%	15%	22.40
100	1.250	40%	5%	4.64
80	1.000	38%	3%	2.12
63	0.788	33%	5%	2.84
50	0.625	30%	3%	1.37
40	0.500	27%	3%	1.31
31.5	0.394	24%	3%	1.01
20	0.250	20%	4%	0.83
16	0.200	18%	2%	0.32
10	0.125	14%	3%	0.35
6.3	0.079	12%	2%	0.12
5	0.063	10%	2%	0.12
4	0.050	9%	1%	0.04
2	0.025	5%	4%	0.08
0.5	0.006	1%	4%	0.02
0.4	0.005	1%	0%	0.00
0.2	0.003	0%	0%	0.00
0.08	0.001	0%	0%	0.00

modèle ajusté			
tamis en mm (échelle 1/80)	% passant en poids	fraction pi	pi x Di
6.50	100%	0%	0.00
5.25	95%	5%	0.26
4.25	80%	15%	0.64
2.75	60%	20%	0.55
2.00	50%	10%	0.20
1.25	40%	10%	0.13
0.50	20%	20%	0.10
0.20	0%	20%	0.04
0.00	0%	0%	0.00



Annexe 4.

Résultats des prélèvements granulométriques

Centre Ville 1			
	Répartition surfacique	Répartition en poids	
> 150 mm	52%	52%	
< 150 mm	48%	48%	

tamis en mm	% passant en poids	fraction pi	pi x Di
650	100%	0%	0.00
550	100%	0%	0.00
450	100%	0%	0.00
350	87%	13%	44.02
250	69%	19%	47.18
150	48%	21%	30.82
100	42%	6%	6.29
80	33%	8%	6.60
63	27%	6%	3.96
50	22%	5%	2.59
40	19%	3%	1.25
31.5	18%	1%	0.35
20	16%	2%	0.36
16	15%	1%	0.13
10	13%	2%	0.18
6.3	12%	1%	0.09
5	11%	1%	0.04
4	11%	1%	0.02
2	7%	4%	0.07
0.5	6%	1%	0.00
0.4	1%	5%	0.02
0.2	1%	0%	0.00
0.08	0%	1%	0.00

Centre Ville 2			
	Répartition surfacique	Répartition en poids	
> 150 mm	47%	47%	
< 150 mm	53%	53%	

tamis en mm	% passant en poids	fraction pi	pi x Di
650	100%	0%	0.00
550	100%	0%	0.00
450	100%	0%	0.00
350	93%	7%	23.99
250	84%	10%	23.91
150	53%	31%	45.88
100	49%	4%	4.45
80	40%	9%	7.08
63	34%	5%	3.31
50	26%	9%	4.45
40	22%	4%	1.59
31.5	20%	1%	0.45
20	14%	6%	1.13
16	13%	1%	0.20
10	11%	2%	0.21
6.3	9%	2%	0.11
5	8%	1%	0.05
4	8%	1%	0.03
2	5%	3%	0.06
0.5	1%	4%	0.02
0.4	1%	0%	0.00
0.2	1%	0%	0.00
0.08	0%	0%	0.00

Pont de la RN2			
	Répartition surfacique	Répartition en poids	
> 150 mm	55%	55%	
< 150 mm	45%	45%	

tamis en mm	% passant en poids	fraction pi	pi x Di
650	100%	0%	0.00
550	93%	7%	39.55
450	75%	18%	80.58
350	67%	8%	27.83
250	60%	7%	17.54
150	45%	15%	22.40
100	40%	5%	4.64
80	38%	3%	2.12
63	33%	5%	2.84
50	30%	3%	1.37
40	27%	3%	1.31
31.5	24%	3%	1.01
20	20%	4%	0.83
16	18%	2%	0.32
10	14%	3%	0.35
6.3	12%	2%	0.12
5	10%	2%	0.12
4	9%	1%	0.04
2	5%	4%	0.08
0.5	1%	4%	0.02
0.4	1%	0%	0.00
0.2	0%	0%	0.00
0.08	0%	0%	0.00