

# **ILE DE LA REUNION - COMMUNE DE ST BENOIT**

## **AMENAGEMENTS DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES MARSOUINS**

### **PHASE 5 – ANALYSE DES RESULTATS DES ESSAIS SUR MODELE PHYSIQUE**

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....                  | 3  |
| RESUME DES RESULTATS OBTENUS SUR MODELE PHYSIQUE ..... | 5  |
| 1- DESCRIPTION D'UN ESSAI.....                         | 9  |
| 1.1 Données d'entrée                                   | 9  |
| 1.2 Mesures réalisées en cours d'essai                 | 10 |
| 2- ESSAIS REALISES.....                                | 12 |
| 2.1 Essais de calage                                   | 13 |
| 2.2 Essais de diagnostic                               | 15 |
| 3- CONCLUSION DES ESSAIS DE DIAGNOSTIC.....            | 37 |
| 3.1 Secteur amont du pont de la RN2                    | 37 |
| 3.2 Secteur médian entre les 2 ponts                   | 38 |
| 3.3 Secteur aval du pont du centre ville               | 40 |
| 4- AMENAGEMENTS PROPOSES.....                          | 41 |
| 5- AMENAGEMENTS REALISES SUR LE MODELE .....           | 42 |
| 6- RESULTATS DES ESSAIS APRES AMENAGEMENT.....         | 46 |

|                  |    |
|------------------|----|
| 7- ANNEXES ..... | 55 |
|------------------|----|

## 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.

A la différence des modèles mathématiques à fonds fixes, le modèle physique simule la mobilité des fonds de la rivière, érosions et dépôts locaux ou généralisés, et rend donc ainsi mieux compte du comportement réel de la rivière des Marsouins.

En plus de l'étude des protections 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.

Un modèle physique à l'échelle 1/80<sup>ème</sup> 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.

Ce rapport d'étape concerne la phase 5 du projet, il présente les essais menés pour la configuration actuelle de la rivière des Marsouins ainsi que les résultats obtenus. Il établit un diagnostic des phénomènes observés et propose les solutions d'aménagements devant être testées lors des prochains essais.

## RESUME DES RESULTATS OBTENUS SUR MODELE PHYSIQUE

### **Diagnostic avant essais**

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 avaient 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- Et/ou 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.

Les visites de terrains et les renseignements collectés avant l'étude sur modèle ont conduit à émettre quelques doutes sur le risque d'engrèvement 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 s'érode,
- 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.
- Les fonds marins sont vite très profonds ce qui ne favorise pas les dépôts dans le cône de déjection

### **Résultats des essais avant aménagement**

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 donc au risque maximum de débordements,
- les essais à fond non pavé (en cas de rupture du pavage lors d'une crue majeure) qui correspondent au risque maximum d'érosion en pied des digues et ouvrages.

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. La mise en place d'une plage de dépôt est une solution fréquemment envisagée pour favoriser l'engrèvement en amont des secteurs à risques, pour une fois la nature fait donc bien les choses !

Concernant le risque de mise en charge du pont, celle-ci n'a jamais observée sur le modèle même, avec des débits extrêmes ( $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ) ou avec un fond fixe (fond du modèle en béton pour un essai).

En conclusion, même si on ne peut pas totalement exclure la mise en charge du pont pour des débits supérieurs ou à cause d'embâcles par exemple, on peut affirmer que le risque de mise en charge et des débordements associés est faible.

Les différences constatées entre essais sur modèle physique et calculs réalisés par modèle mathématiques ne sont pas contradictoires et s'expliquent par la prise en compte de la mobilité des fonds par le modèle physique.

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 / résistance matériaux à l'érosion / 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.

### ***Aménagements proposés***

#### ***- Déversoir latéral au droit du jardin M. Ferrol***

Le déversoir latéral à l'amont immédiat du pont Pompidou destiné à soulager le débit passant sous le pont Pompidou, avait été envisagé initialement. Il s'avère en fait **sans utilité** dans la mesure où la probabilité de mise en charge du pont est quasi nulle. Un test de ce déversoir sur le modèle physique l'a confirmé. On évite ainsi de réaliser un aménagement qui s'avérerait inefficace bien que très coûteux.

#### ***- Secteur situé entre les 2 ponts***

**A part quelques reprises de digues ponctuelles** pour éviter les débordements intempestifs (voir détails dans le rapport) il est préférable dans l'état actuel pour de **ne pas envisager de travaux lourds**. Le système actuel est en équilibre: plage de dépôt amont, lit pavé assez stable entre les deux ponts. La reprise de l'ensemble des protections de berges serait un travail colossal et coûteux, avec des risques pendant les travaux.

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*

Il faut à notre avis ne rien modifier à l'amont du pont RN2. En particulier il n'est pas souhaitable de construire un épi déflecteur pour limiter l'attaque de la falaise 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).

Cette plage de dépôt est à surveiller par des levés topographiques 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 environ des crues vingtennales.

**Résultats des essais après aménagement**

*- Déversoir latéral au droit du jardin M. Ferrol*

Le déversoir latéral à l'amont immédiat du pont Pompidou a été testé comme le souhaitait la mairie de St-Benoît. Il ne décharge que très légèrement le débit passant sous le pont Pompidou (de 1 à 5% selon le débit de la rivière) pour une cote de déversement calée à 7 m NGR. Ceci se traduit par un abaissement négligeable du niveau en crue de la rivière des Marsouins, donc sans aucun effet sur les inondations. Son fonctionnement créerait des dégâts à l'aval de l'ouvrage. Les essais confirment donc l'inutilité de cet ouvrage.

*- Secteur situé entre les 2 ponts*

Les rehausses ponctuelles réalisées sur les digues en rive gauche permettent d'assurer une protection du centre ville contre la crue centennale.

*- Secteur en amont du pont de la RN2*

La réalisation d'une digue basse (1.20 m de hauteur) protège efficacement la RN2 contre les débordements observés dans le méandre à partir de  $Q_{100}$ . Le remblai sauvage mis en place depuis plusieurs années en rive droite conduit à concentrer l'écoulement le long de la falaise en rive droite et favorise l'érosion de celle-ci lors des crues. Il n'est pas nécessaire d'enlever ce qui a déjà été déposé, les crues prochaines s'en chargeront. Il est en revanche nécessaire de faire stopper ce remblaiement.

La réalisation d'un épi destiné à protéger la falaise rive droite apparaît comme une solution risquée car modifiera le fonctionnement de la plage de dépôt et l'équilibre de tout l'ensemble de la rivière. Un épi en enrochement résistera difficilement aux crues (en témoignent les modifications importantes du secteur survenues après le passage de Diwa). Il est donc proposé de ne pas construire cet épi. Depuis Diwa, les chenaux se sont déplacés

et la falaise est moins sollicitée en crue. L'érosion de la falaise est un problème réel mais ne présente cependant pas de caractère urgent.

*- Secteur à l'aval du pont Pompidou*

La rehausse locale de la digue en rive gauche permet de protéger le secteur du marché couvert contre la crue centennale.

L'aménagement de la digue basse en rive gauche permet d'assurer une protection du secteur du Ludoparc contre la crue vingtennale sans isoler la rivière de la ville. Une promenade peut être aménagée sur cette digue.

Une protection totale avec une digue très haute est formellement déconseillée, car donnerait une fausse impression de sécurité et tendrait à augmenter la vulnérabilité par de nouvelles constructions, qui seraient soumises au risque de rupture de digue, avec alors dégâts très importants et même pertes en vie humaine. Il en résultera alors des conséquences pénales pour la mairie.

Il est donc souhaitable que la zone considérée reste inondable et connue comme telle, tout en réduisant la fréquence des inondations donc des dégâts.



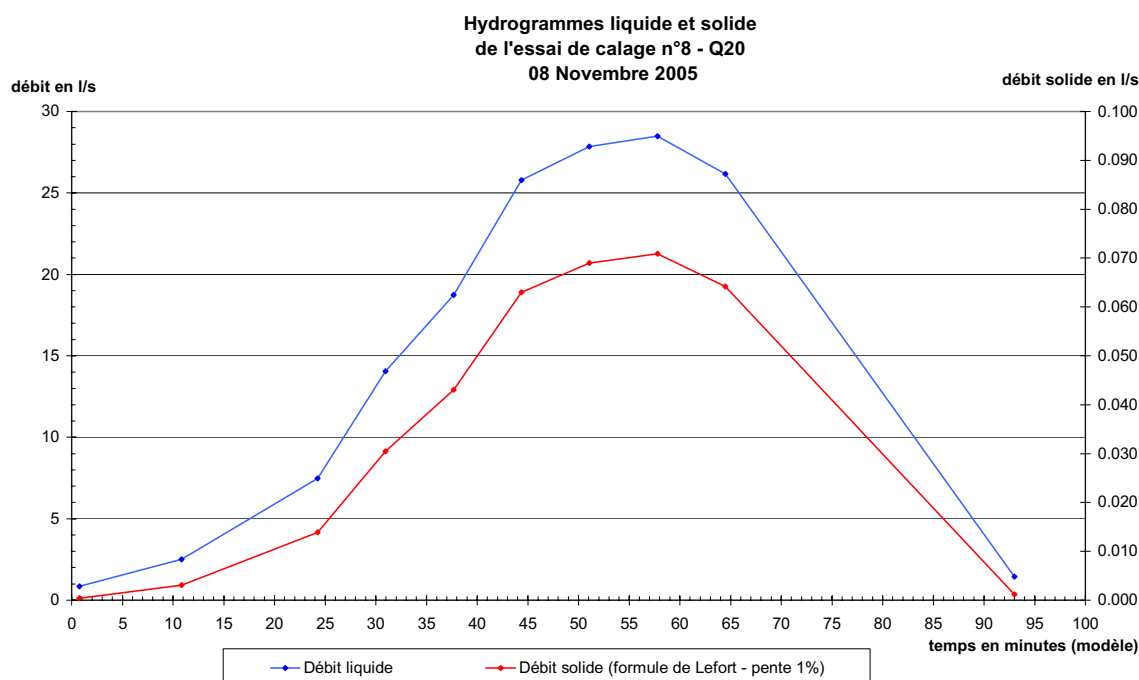
## 1- DESCRIPTION D'UN ESSAI

### 1.1 DONNEES D'ENTREE

#### ➤ Débits liquide et solide

Pour chacun des essais, il est nécessaire de rentrer dans les régulateurs un hydrogramme pour le débit liquide ainsi que le débit solide correspondant. Les hydrogrammes liquides ont été définis lors de l'étude hydrologique (phase 2) et les débits solides sont calculés à l'aide de la formule de Lefort.

Le graphique ci-dessous donne un exemple de données d'entrée.



#### ➤ Niveau aval

Le niveau de l'océan est réglé à l'aide d'un volet déversant. Il est contrôlé régulièrement en cours d'essai.

#### ➤ Topographie initiale des fonds

Un profil en long des fonds est réalisé avant chaque essai et les résultats sont comparés avec le profil levé par le cabinet Talibert en 2005. L'objectif étant de retrouver des conditions initiales similaires pour l'ensemble des essais réalisés.

#### ➤ Granulométrie des fonds de la rivière

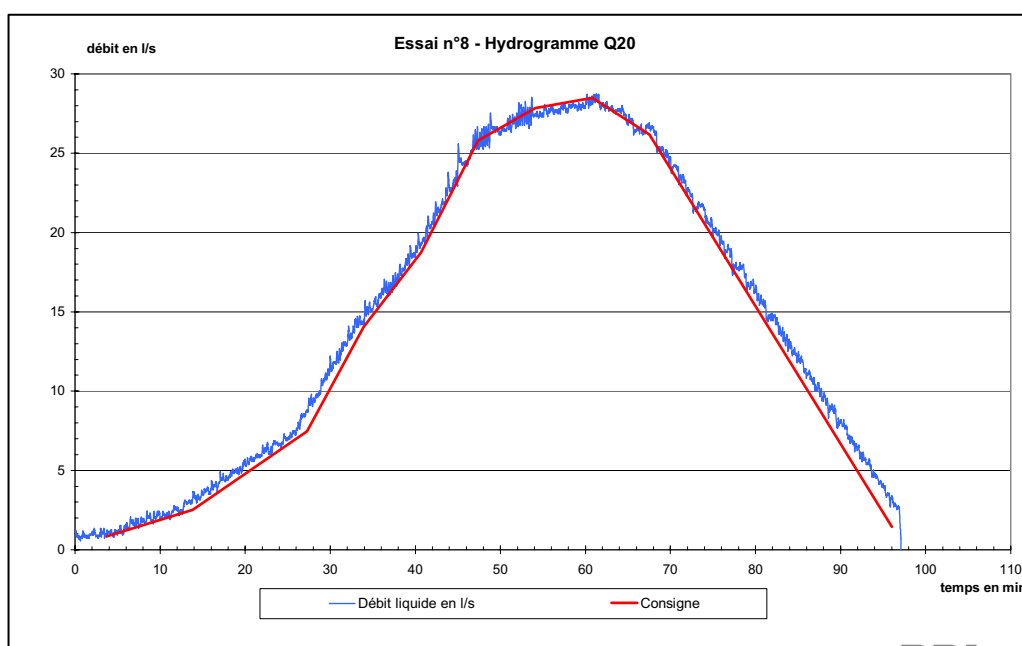
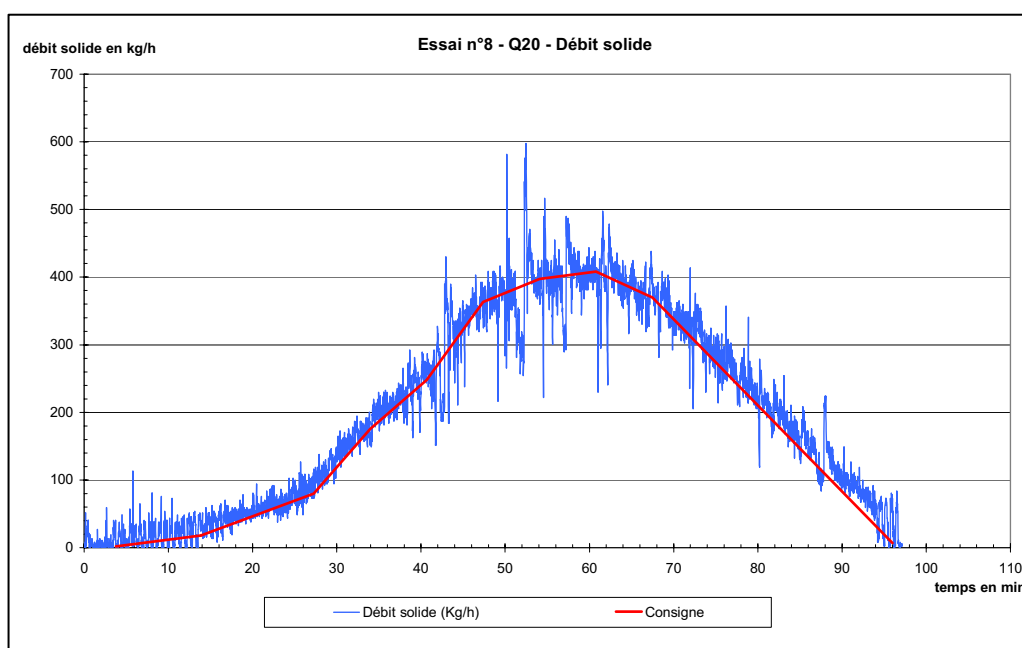
Deux granulométries peuvent être distinguées pour cette étude : la granulométrie des matériaux transportés lors des crues (diamètre moyen de 8 cm) et la granulométrie du lit actuel (diamètre moyen de 20 cm). Cette dernière est beaucoup plus grosse que la granulométrie de charriage, le lit de la rivière des Marsouins étant pavé. Elle protège donc le lit contre les érosions pour les crues mineures. La plupart des essais ont été

réalisés en tapissant le lit avec les matériaux de pavage et en injectant les matériaux de charriage dans l'écoulement en entrée du modèle. Toutefois, quelques essais ont été réalisés avec un fond initial non pavé afin d'observer l'évolution des fonds en cas de destruction du pavage.

## 1.2 MESURES REALISEES EN COURS D'ESSAI

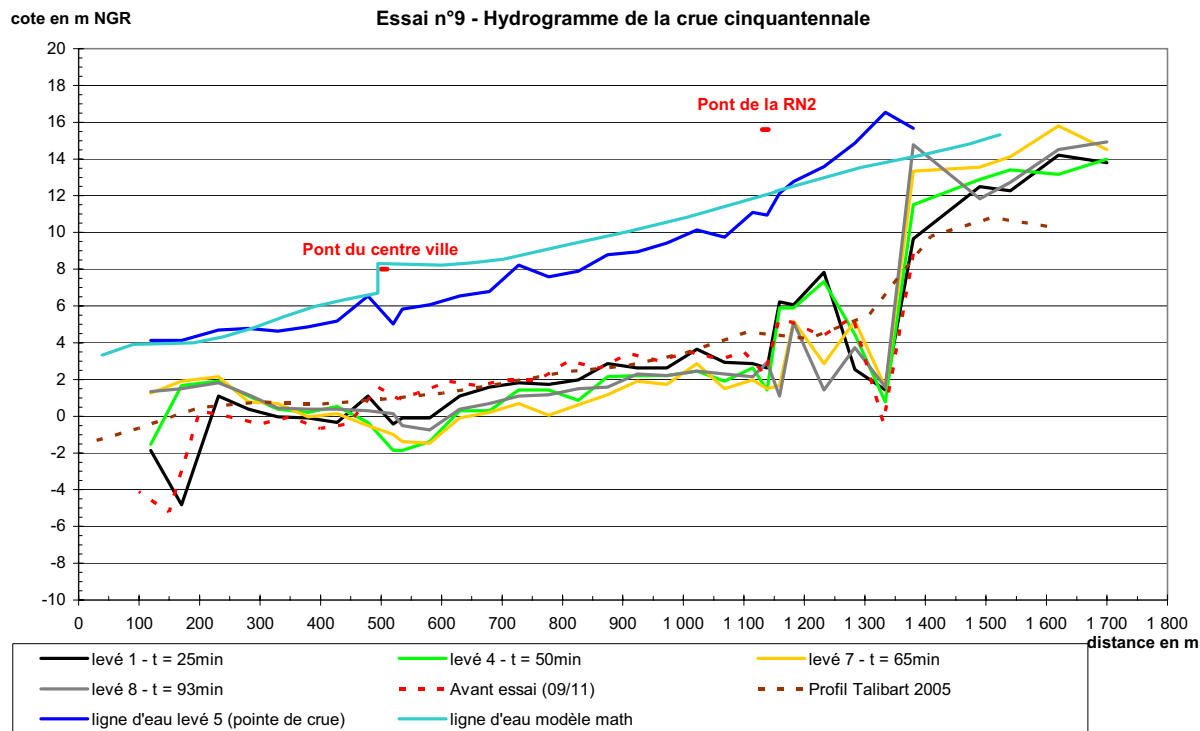
Les débits liquides et solides sont enregistrés avec une fréquence de 25 Hz durant les essais. Ces mesures sont comparées aux hydrogrammes « théoriques » rentrés dans les régulateurs afin de s'assurer que les débits injectés étaient corrects.

Les deux graphiques ci-dessous comparent les débits programmés et mesurés pour l'essai n°8 :



Un système de levé des fonds a été mis en place sur le modèle. Il permet de mesurer la cote des fonds pendant un essai avec une précision de l'ordre de 0.5 cm (40 cm réel). Ce système permet également de mesurer la cote de la ligne d'eau.

Un exemple des mesures réalisées en cours d'essai est présenté sur le graphe ci-dessous :



Ce système permet d'observer si des fosses d'affouillement apparaissent en cours d'essai car une comparaison des profils en long avant et après essais ne permet pas de conclure sur les risques en crue de ruine des ouvrages à la suite d'érosion en pied.

## 2- ESSAIS REALISES

Le tableau suivant présente l'ensemble des essais réalisés jusqu'à aujourd'hui :

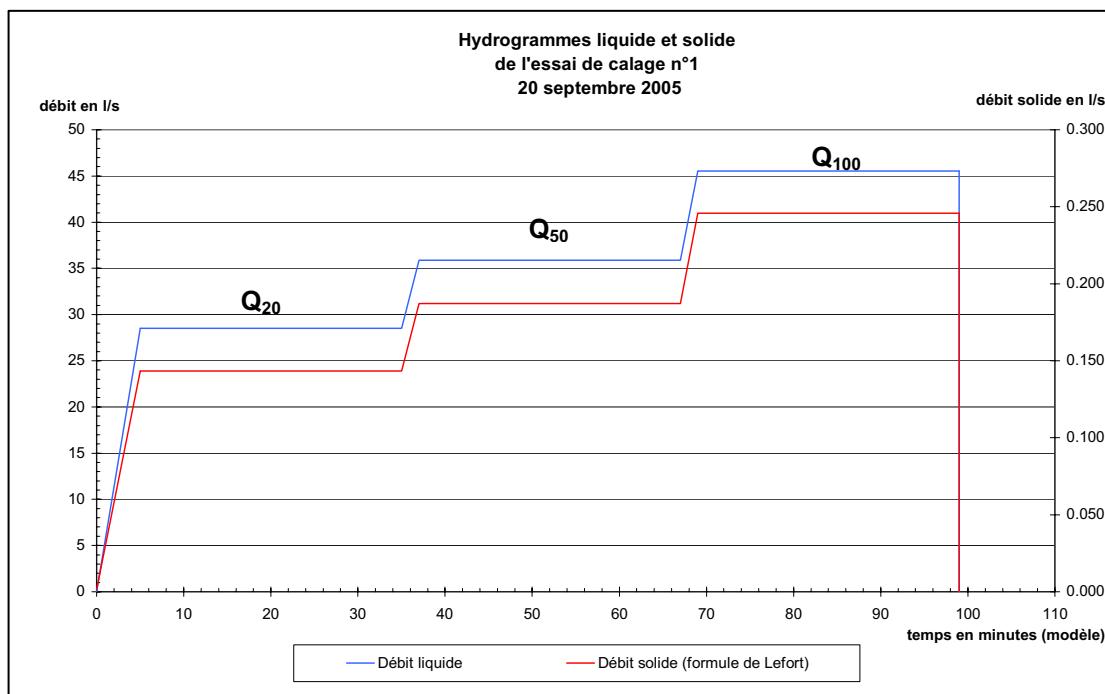
| n° de l'essai | Type d'essai                                    | Date    | Remarques                                                                                       |
|---------------|-------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Calage - Débit solide                           | 20-sept | Débites $Q_{20}$ , $Q_{50}$ , $Q_{100}$ par palier                                              |
| 2             | Calage - Débit solide                           | 26-sept | Débites $Q_{20}$ , $Q_{50}$ , $Q_{100}$ par palier<br>Débit solide de l'essai n° 1 divisé par 2 |
| 3             | Calage - Débit solide                           | 29-sept | Débites $Q_{20}$ , $Q_{50}$ , $Q_{100}$ par palier<br>Débit solide de l'essai n° 1 divisé par 4 |
| 4             | Calage - Bilan solide                           | 03-oct  | Palier à $Q_{50}$                                                                               |
| 5             | Stabilité du pavage                             | 12-oct  | Débit croissant - Pas de débit solide                                                           |
| 6             | Calage - Crue $Q_{20}$                          | 21-oct  | Débit solide de l'essai n° 2 (débit solide de référence)                                        |
| 7             | Calage - Crue $Q_{50}$                          | 03-nov  | Débit solide de l'essai n° 2 (débit solide de référence)                                        |
| 8             | Crue $Q_{20}$                                   | 08-nov  | idem essai n° 6 avec modification des conditions d'entrée dans le modèle                        |
| 9             | Crue $Q_{50}$                                   | 09-nov  | idem essai n° 7 avec modification des conditions d'entrée dans le modèle                        |
| 10            | Crue $Q_{50}$                                   | 14-nov  | Débit solide de référence doublé                                                                |
| 11            | Crue $Q_{50}$                                   | 18-nov  | Débit solide de référence<br>Fonds fixes entre les 2 ponts                                      |
| 12            | Crue $Q_{100}$                                  | 21-nov  | Débit solide de référence                                                                       |
| 13            | Débit croissant jusqu'à 4 000 m <sup>3</sup> /s | 22-nov  | Débit solide de référence                                                                       |
| 14            | Débit croissant jusqu'à 4 000 m <sup>3</sup> /s | 24-nov  | Débit solide de référence - Visite du modèle                                                    |
| 15            | Crue $Q_{100}$                                  | 30-nov  | Sur-alimentation en débit solide                                                                |
| 16            | Crue $Q_{20}$                                   | 01-déc  | Niveau de l'océan surélevé + 4 m NGR                                                            |

Les essais n° 1, 2, 3 et 4 sont ont été réalisés afin d'ajuster la quantité de matériaux injectée dans le modèle par rapport aux calculs théoriques.

Les essais de 5 à 16 ont permis d'établir un diagnostic des risques potentiels (inondation, affouillement) sur la rivière des Marsouins dans l'état actuel des choses.

## 2.1 ESSAIS DE CALAGE

Le programme des essais 1, 2 et 3 a consisté à enchaîner les 3 crues caractéristiques  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$  et  $Q_{100}$  par palier comme le montre le graphique suivant :



Les débits solides ont été calculés à l'aide de la formule de Lefort :

$$Q_s = 1.38 \left( \frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{\frac{1}{8}} \frac{J}{(s-1)^{\frac{4}{3}}} (Q - Q_0) \left( 1 + \log \left( \frac{Q}{Q_0} \right) \right) \left( 1 + \frac{9.1}{d^*} \right)$$

avec  $Q_0$  débit de début d'entraînement  
 $s$  densité relative du matériau ( $\rho_s/\rho$ )  
 $d^*$  diamètre sédimentologique adimensionnel

Les paramètres suivants ont été pris en compte pour le calcul du débit solide :

| n° d'essai | pente en m/m | largeur en m | $d_{90}$ en m | $d_{30}$ en m | Dm en m | s   | v        | $Q_0$ en $m^3/s$ | $d^*$ |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------|-----|----------|------------------|-------|
| 1          | 1.5%         | 40           | 0.250         | 0.035         | 0.082   | 2.8 | 0.000001 | 15.7             | 2 135 |
| 2          | 1.0%         |              |               |               |         |     |          |                  |       |
| 3          | 0.7%         |              |               |               |         |     |          |                  |       |

La réduction de la pente de 1.5 % à 1% puis à 0.7% réduit à chaque fois le débit solide de 50%.

Le tableau ci-dessous montre les évolutions des pentes moyennes sur 3 tronçons représentatifs du modèle :

- le tronçon amont situé en amont du pont de la RN2,
- le tronçon médian situé entre les 2 ponts,
- le tronçon aval situé à l'aval du pont du centre ville.

| essai | débit            | avant essai                  |        |      | pendant essai                |        |      |
|-------|------------------|------------------------------|--------|------|------------------------------|--------|------|
|       |                  | pente moyenne sur le tronçon |        |      | pente moyenne sur le tronçon |        |      |
|       |                  | amont                        | médian | aval | amont                        | médian | aval |
| 1     | Q <sub>20</sub>  | 1.7                          | 0.4    | 0.3  | 2.0                          | 1.0    | 0.3  |
|       | Q <sub>50</sub>  |                              |        |      | 2.3                          | 1.3    | -0.8 |
|       | Q <sub>100</sub> |                              |        |      | 1.9                          | 0.9    | -0.5 |
| 2     | Q <sub>20</sub>  | 1.8                          | 0.8    | 0.3  | 2.4                          | 0.5    | -0.3 |
|       | Q <sub>50</sub>  |                              |        |      | 2.3                          | 0.5    | -0.3 |
|       | Q <sub>100</sub> |                              |        |      | 2.4                          | 0.4    | -1.1 |
| 3     | Q <sub>20</sub>  | 1.6                          | 0.3    | -0.1 | 1.9                          | 0.4    | 0.0  |
|       | Q <sub>50</sub>  |                              |        |      | 2.2                          | 0.3    | -0.2 |
|       | Q <sub>100</sub> |                              |        |      | 2.3                          | 0.5    | -0.3 |

Les graphiques donnant les profils en long mesurés au cours de ces essais sont fournis en annexe 1.

Ces éléments permettent de constater :

Pour l'essai n°1

- une augmentation de la pente du tronçon amont résultant d'un remblai très important de ce secteur,
- une érosion très forte sur le tronçon médian (plusieurs mètres) ainsi qu'une augmentation notable de la pente moyenne,
- une érosion moins marquée sur le secteur aval et un basculement de pente résultant des dépôts qui se font sur le cône de déjection. Ces dépôts sont toutefois assez faibles et indique que peu de matériaux transitent à l'aval du pont de la RN2.

Pour l'essai n°2

- une augmentation de la pente du tronçon amont résultant d'un remblai de ce secteur,
- une érosion nettement moins importante que pour l'essai n°1 sur le tronçon médian. En outre, la pente est relativement stable,
- des dépôts plus conséquents que pour l'essai n°1 sur le secteur aval.

Pour l'essai n°3

- une augmentation de la pente du tronçon amont résultant d'un remblai de ce secteur,
- une érosion similaire à celle observée pour l'essai n°2 sur le tronçon médian, la pente étant également relativement stable,
- une stabilité du secteur aval (peu de dépôts ou de déblais).

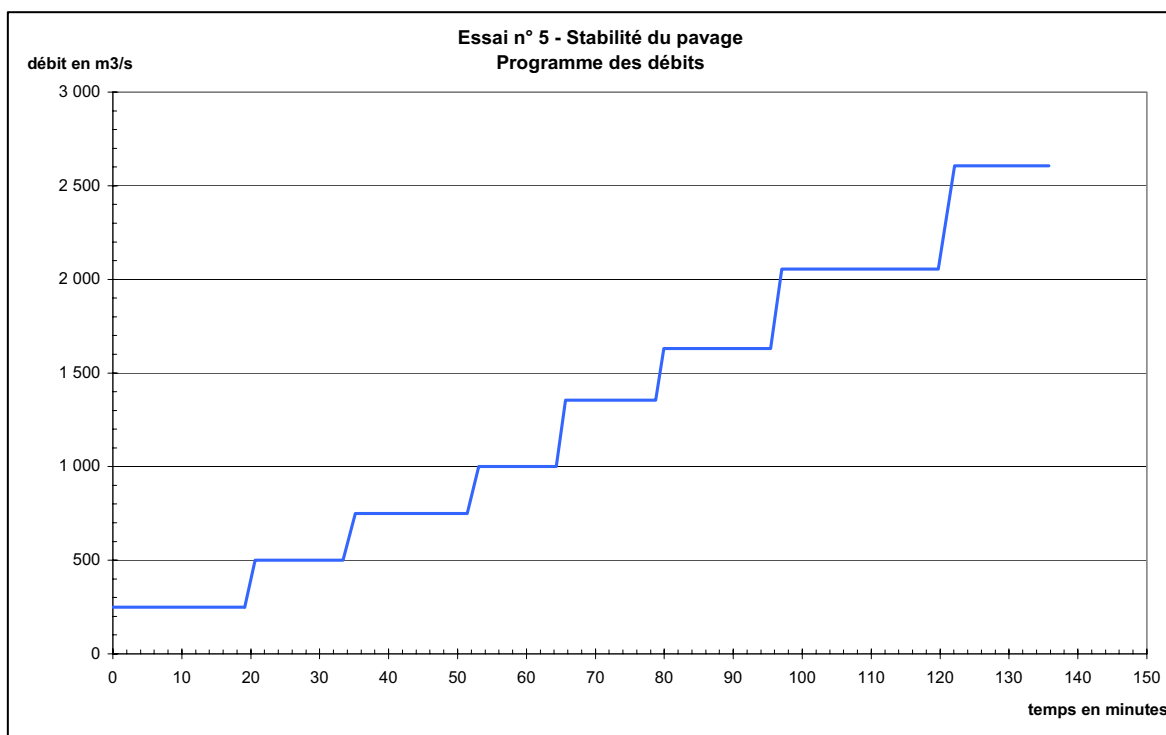
Dans tous les cas, on observe qu'une fraction importante des matériaux est stockée sur le secteur amont et que le tronçon médian est érodé.

D'après ces résultats et les observations de la morphologie de la rivière des Marsouins, on retiendra le débit solide de l'essai n°2 comme débit solide de référence.

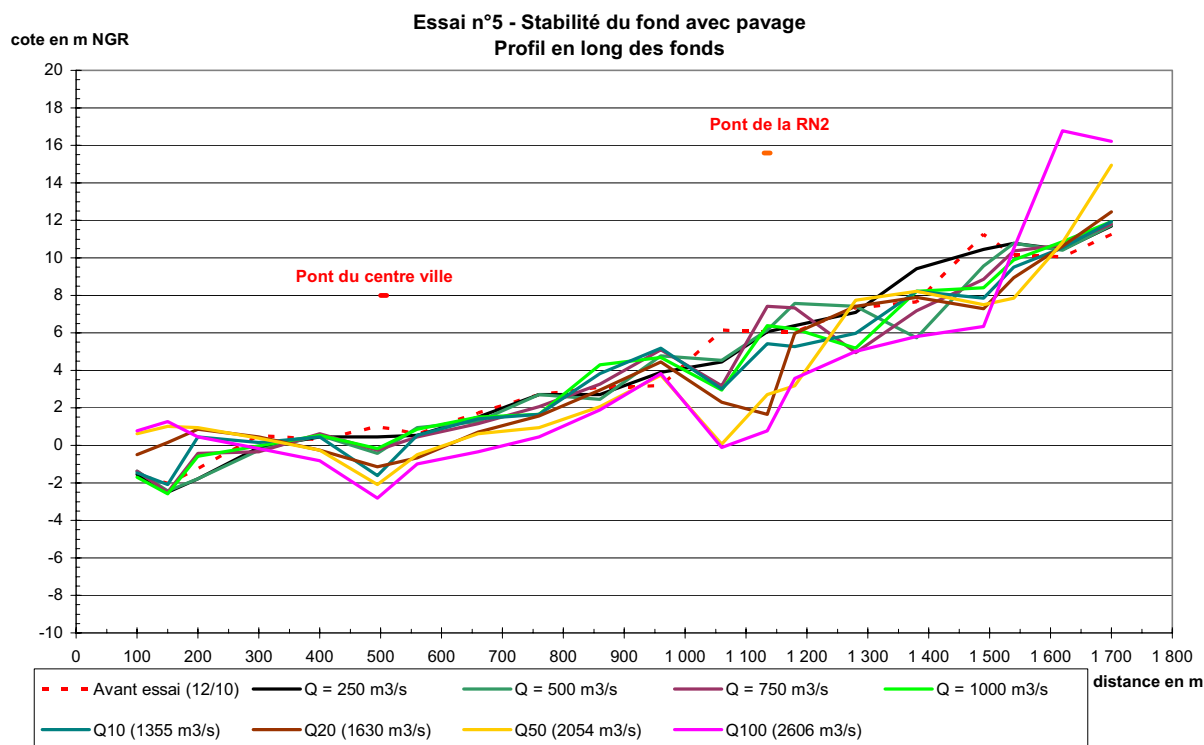
## 2.2 ESSAIS DE DIAGNOSTIC

### 2.2.1 Stabilité du pavage

La stabilité du pavage a été testée au cours de l'essai n°5. Le programme de débit est donné dans le graphique ci-dessous :



Le fond du lit de la rivière a été tapissé avec le matériau correspondant au pavage. Pour chaque palier de débit, un profil en long du fond a été effectué. Les résultats sont présentés sur le graphique suivant :



On constate que les fonds commencent à évoluer de façon notable par rapport aux fonds d'origine pour un débit compris entre  $Q_{20}$  ( $1\,630 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et  $Q_{50}$  ( $2\,050 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Pour des débits plus faibles, les fonds devraient être protégés contre les érosions.

Cependant, cette conclusion est valable dans le cas d'un pavage homogène sur l'ensemble du tronçon étudié. En réalité, le pavage est très net sur le tronçon amont, le méandre faisant office de plage de dépôt et arrêtant les plus gros éléments. Il est moins évident à observer sur l'aval, l'écoulement occupant toute la largeur du lit.

On note également que la mise en vitesse de l'écoulement au droit des piles de ponts génère des affouillements à l'aval des deux ponts dès  $Q_{20}$ .



### 2.2.2 Crue vingtennale

La crue vingtennale a été simulée lors de deux essais (essais n°8 et n°16) dans les conditions suivantes :

- essai n°8 : débit solide de référence, océan calé à la cote +1 m NGR,
- essai n°16 : débit solide de référence, océan calé à la cote +4 m NGR.

L'objectif de ce 2<sup>ème</sup> 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.

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, avec une crue moyenne mais associée à vent violent, dépression atmosphérique et forte marée)

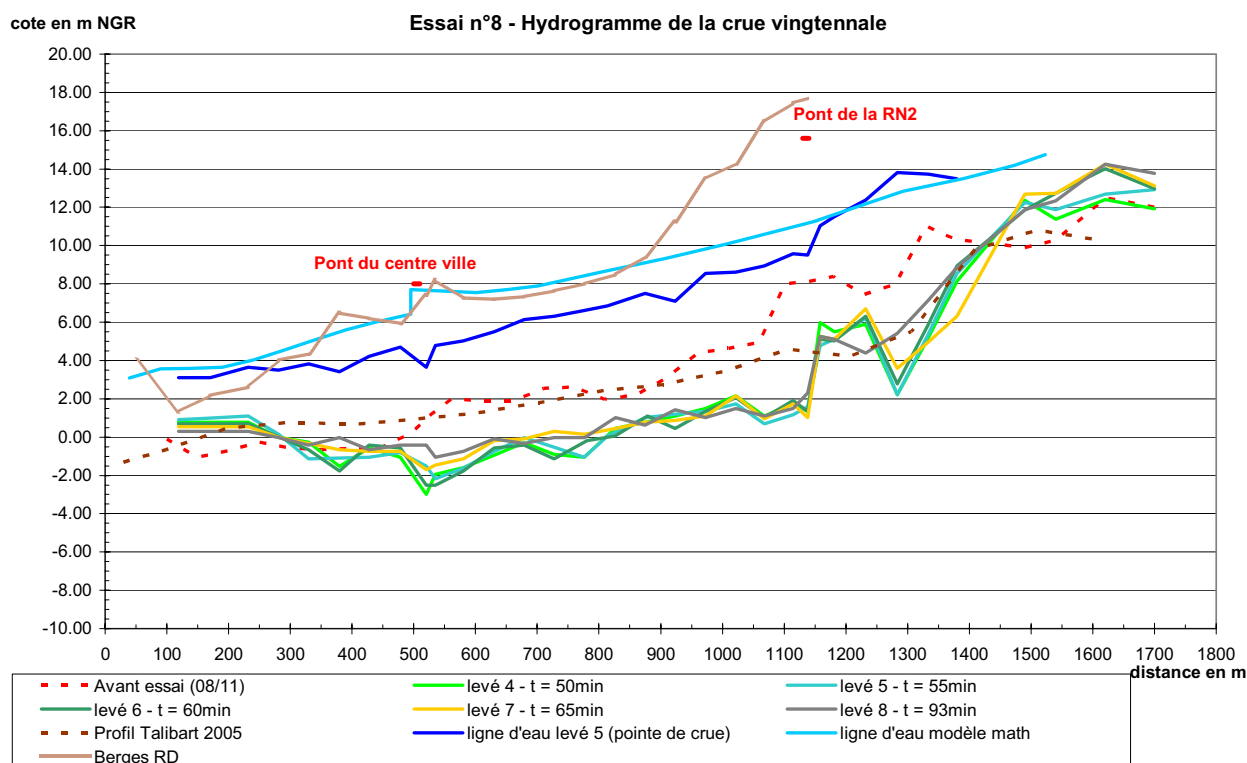
L'événement de projet classique étant :

« crue centennale de la rivière + niveau de la mer 'moyen' (un peu surélevé en crue par rapport au niveau moyen de la mer ) ».

On peut considérer que les deux événements de projet ainsi définis ont une probabilité équivalente.

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats des deux essais. Ils présentent également les cotes des berges en rive droite (données issues des levés Talibart 1999) et la ligne d'eau calculée à l'aide du modèle numérique.

#### Essai n°8



On constate quelques différences entre les lignes d'eau du modèle physique et du modèle numérique, en particulier :

- la pente de la ligne d'eau du modèle physique est plus raide que celle du modèle numérique,
- les niveaux observés sur modèle entre les 2 ponts sont plus bas que ceux calculés par le modèle numérique.

Ces différences s'expliquent par le fait que le modèle numérique calcule les lignes d'eau en considérant les fonds fixes. Or on remarque sur le graphique de l'essai n°8 que les fonds ont tendance à s'engraver à l'amont du pont de la RN2 et à s'engraissier entre les 2 ponts.

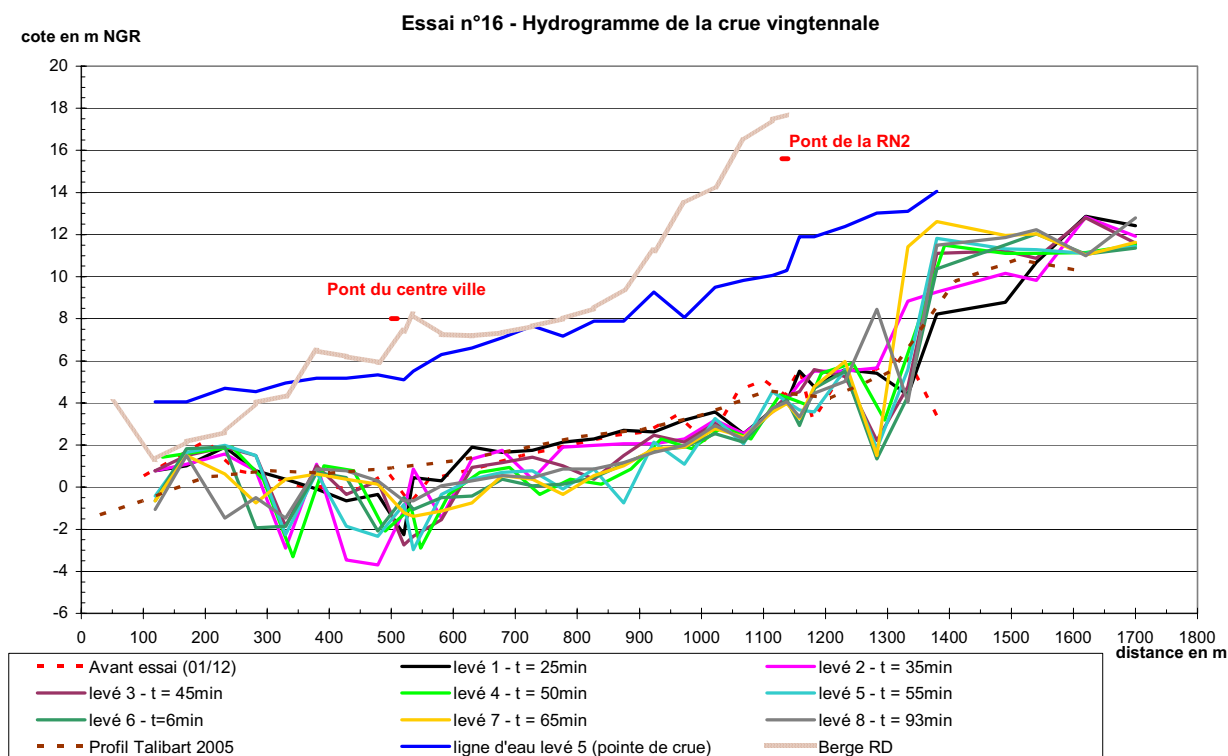
Les seuls débordements observés sur le modèle se produisent sur la digue basse en rive droite à l'aval du pont du centre ville.

Le pont du centre ville ne passe pas en charge pour une crue de type vingtennale. Toutefois, le risque de débordement ponctuel sur le tablier n'est pas exclu du fait du point d'arrêt que constitue la pile de pont pour l'écoulement.

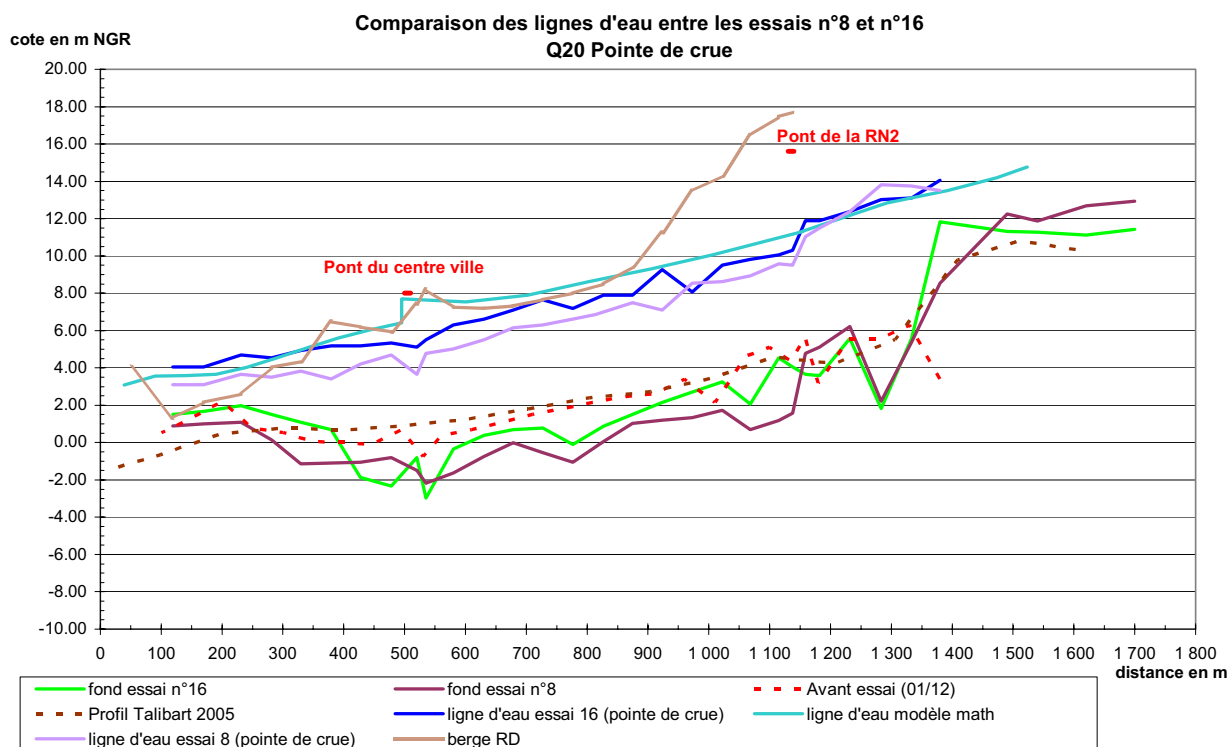
La photo ci-dessous montre l'écoulement sous le pont en pointe de crue ainsi que la surélévation générée par la pile de pont (flèche rouge).

On peut évaluer la hauteur de cette vague par le calcul suivant :  $H_{\text{vague}} = \frac{V^2}{2g}$ , soit pour une vitesse de l'ordre de 6 m/s,  $H \sim 1.80$  m.



**Essai n°16**

L'essai n°16 ( $Q_{20}$  et niveau de l'océan surélevé) montre une légère élévation des lignes d'eau par rapport à l'essai précédent. Le graphique suivant compare les 2 essais lors de la pointe de crue.



L'augmentation du niveau de l'océan aggrave nettement les débordements sur la digue basse en rive droite. Les dépôts sont plus conséquents sur le cône d'éjection.

On note également une érosion moins importante entre les 2 ponts, en conséquence le niveau d'eau est surélevé par rapport à l'essai n°8. La rivière est en limite de débordement au niveau du jardin M. Ferrol.



Écoulement au niveau du jardin M. Ferrol

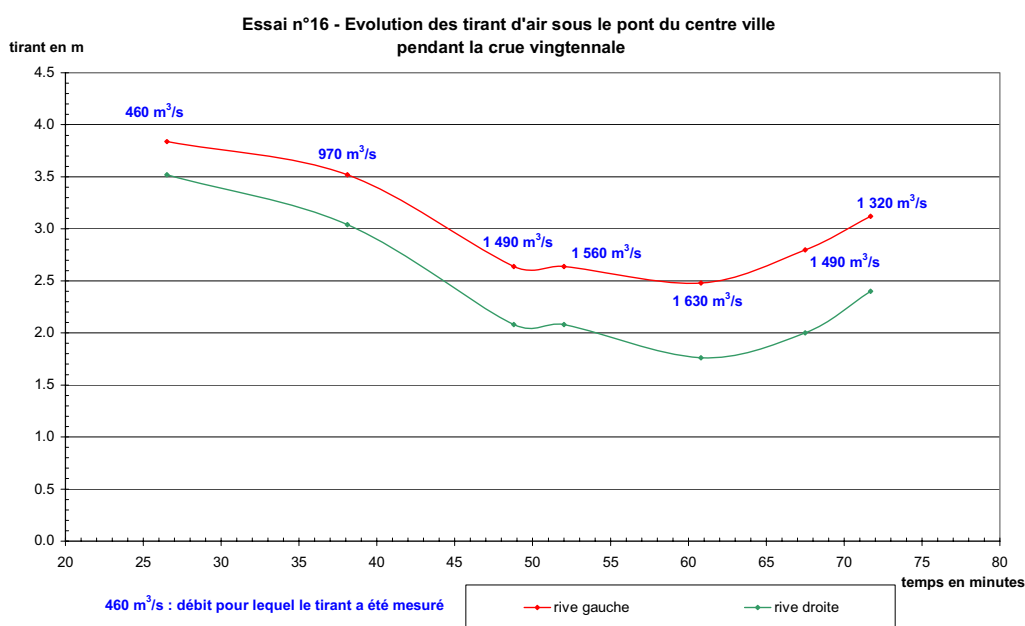


Écoulement sous le pont du centre ville

Enfin, le tirant d'air sous le pont du centre ville a été mesuré au cours de l'essai n°16 (il s'agit a priori de l'essai le plus critique vis-à-vis d'une possible mise en charge du pont pour la crue vingtennale).

Le tirant d'air est mesuré à droite et à gauche de la pile du pont, étant donné que l'écoulement n'est pas symétrique autour de celle-ci. En effet, l'écoulement passe majoritairement à gauche de la pile du pont et la mise en vitesse provoquée par la réduction de section conduit à un surcreusement du chenal coté gauche et donc à des niveaux d'eau plus bas.

Les résultats sont présentés sur le graphique ci-dessous :



### 2.2.3 Crue cinquantennale

La crue cinquantennale a été simulée lors de trois essais (essais n°9, n°10 et n°11) dans les conditions suivantes :

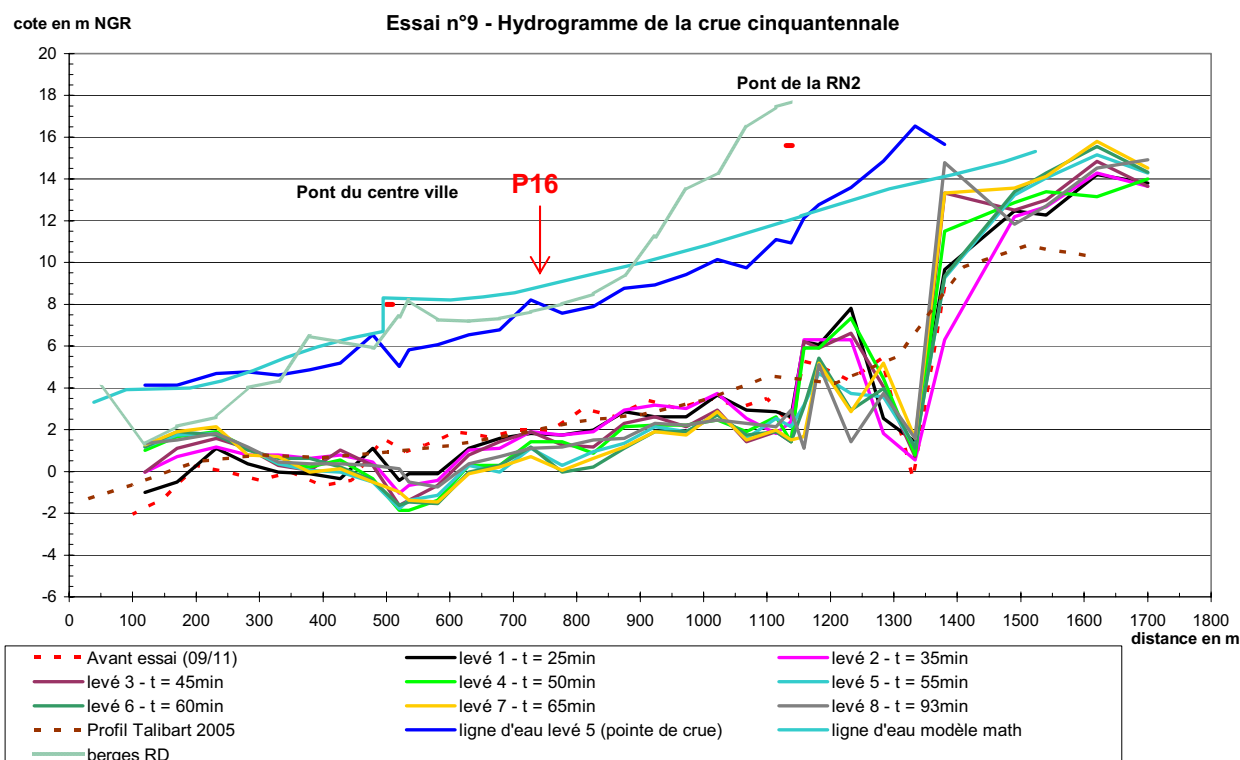
- essai n°9 : débit solide de référence, océan calé à la cote +1 m NGR ;
- essai n°10 : débit solide de référence doublé, océan calé à la cote +1 m NGR ;
- essai n°11 : débit solide de référence, océan calé à la cote +1 m NGR, fond fixe entre les 2 ponts (entre les profils P25 et P12).

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats des 3 essais. Ils présentent également les cotes des berges en rive droite et rive gauche (données issues des levés Talibart 1999) et la ligne d'eau calculée à l'aide du modèle numérique.

#### Essai n°9

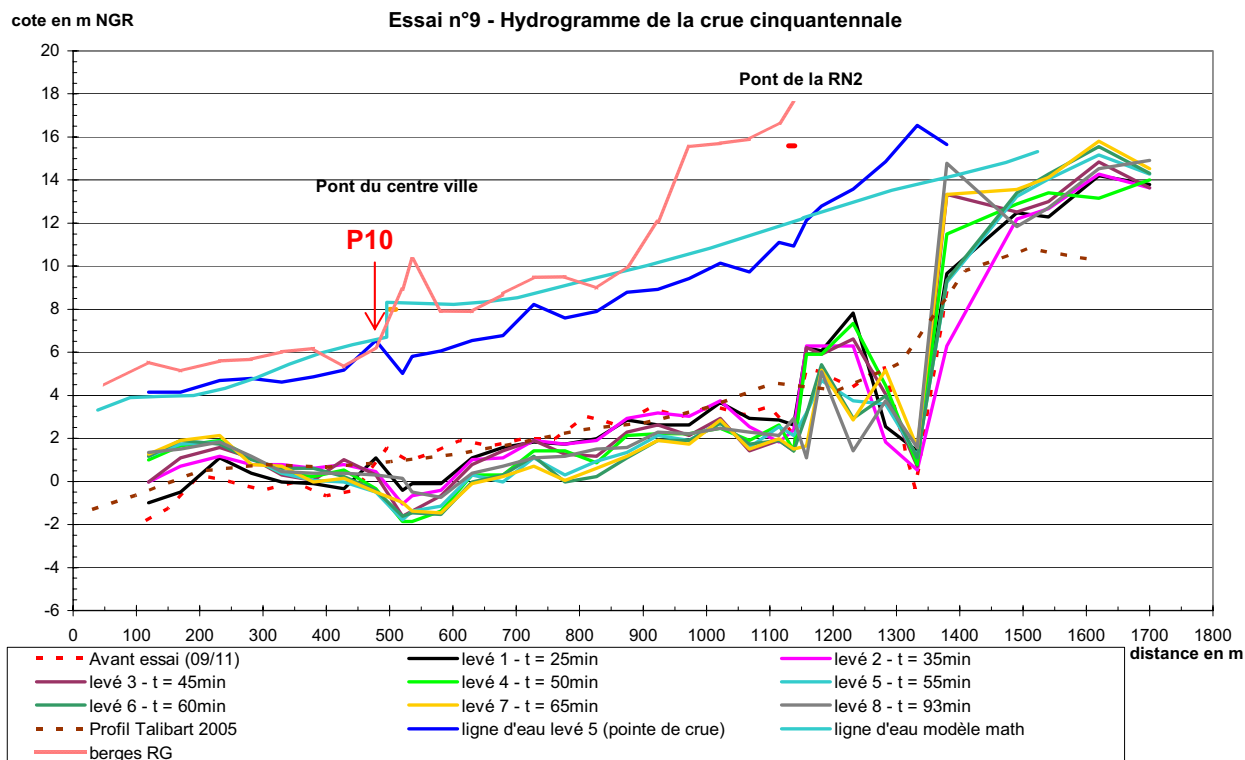
On observe la même évolution des fonds que pour la crue vingtennale, à savoir :

- un engravement des fonds en amont du pont de la RN2,
- une érosion des fonds entre les 2 ponts (2 m environ en pointe de crue),
- un engravement des fonds à l'aval du pont du centre ville.



Concernant la rive droite, on identifie les points de débordement suivants :

- à l'amont du pont du centre ville, léger débordement au droit du profil P16 ;
- à l'aval du pont, submersion de la digue basse sur sa quasi-totalité exceptée au droit du stade (entre les profils P7 et P9).



Concernant la rive gauche, on constate uniquement un début de débordement à l'aval du pont du centre ville entre le P10 et le P9.

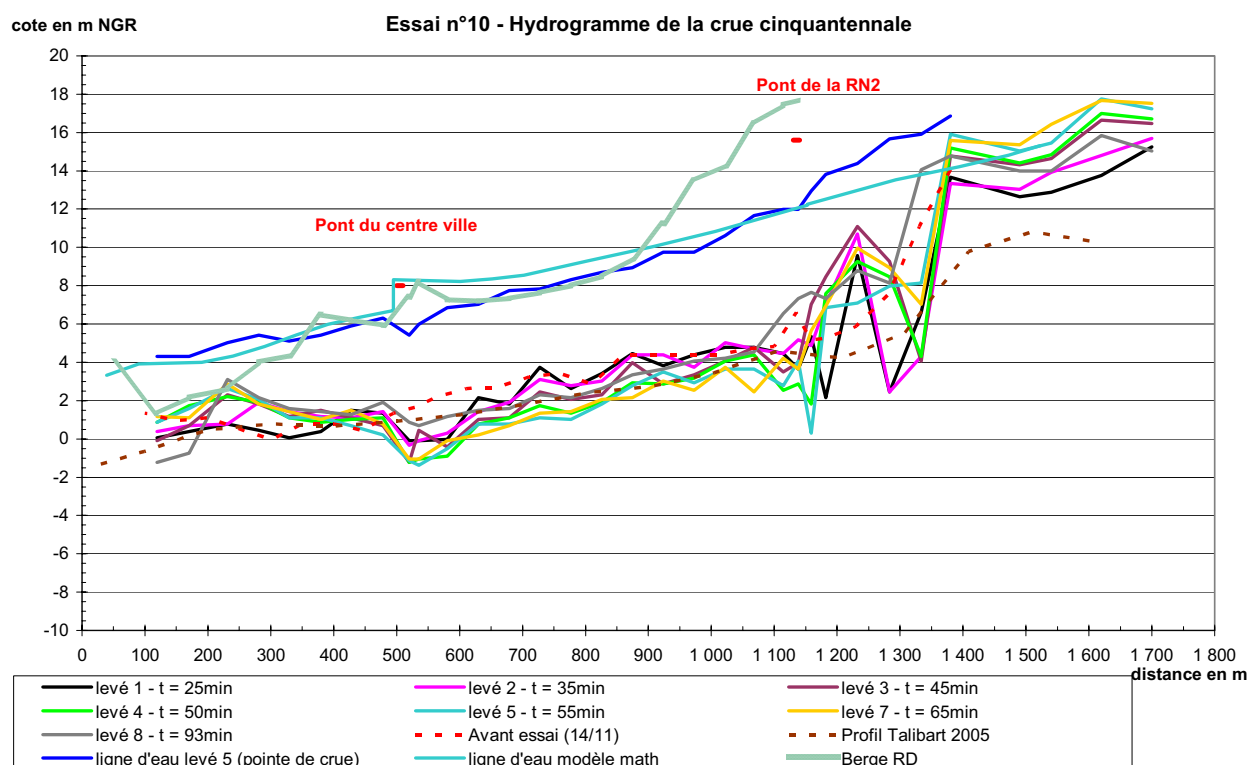
Le détail des débordements observés est fourni dans le dossier photo en annexe 2.

## Essai n° 10

Cet essai correspond au cas d'une suralimentation solide de la rivière (arrivée massive de matériaux suite à un éboulement dans le bassin versant par exemple, type rivière des Remparts).

Les zones de débordement sont les mêmes que pour l'essai n°9. Toutefois, on observe une érosion moins importante des fonds entre les ponts, ce qui aggrave légèrement les débordements. Le dépôt en amont du pont de la RN2 est aussi nettement plus important.

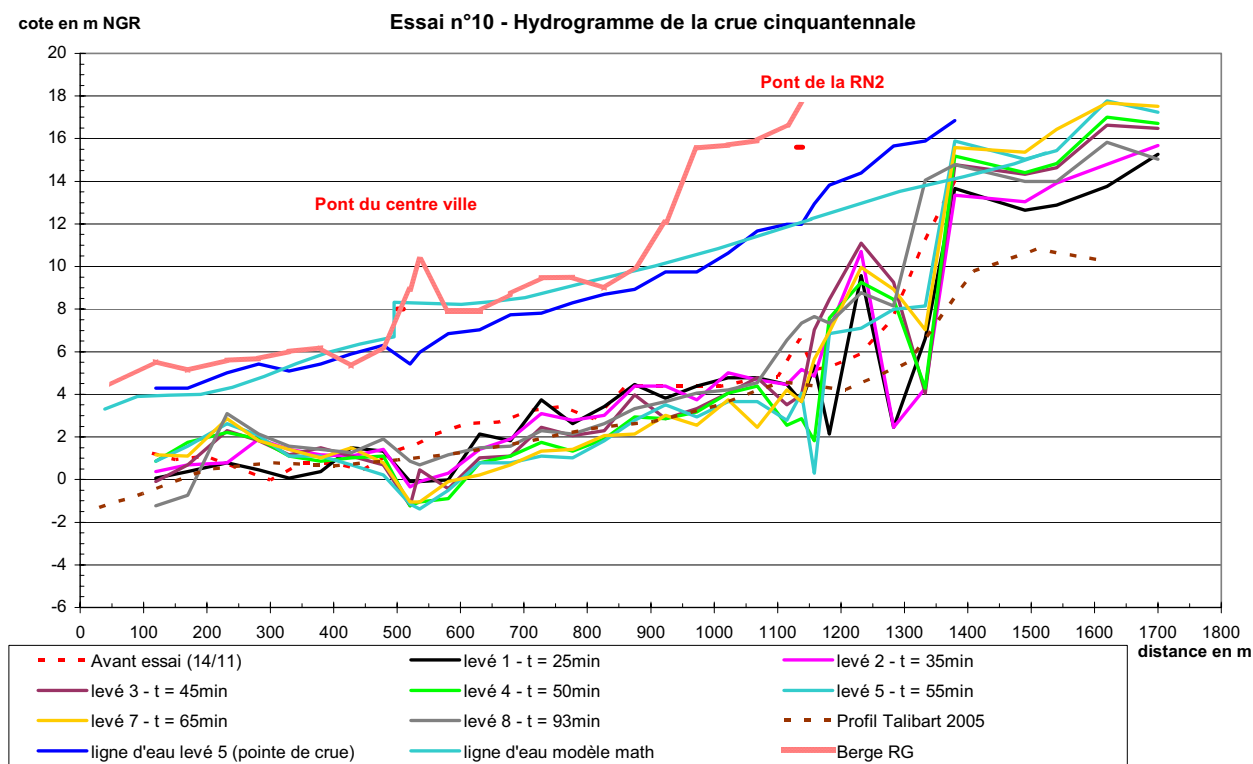
Les 2 graphiques ci-dessous présentent un profil en long de la ligne d'eau en pointe de crue par rapport aux berges en rive droite et en rive gauche.



Concernant la rive droite, on identifie les points de débordement suivants :

- à l'amont du pont du centre ville, débordements entre les profils P14 et P18;
- à l'aval du pont, submersion de la digue basse sur sa quasi-totalité exceptée au droit du stade (entre les profils P7 et P9).





Concernant la rive gauche, on le débordement à l'aval du pont du centre ville entre le P10 et le P9 est aggravé.

La suralimentation en débit solide limite donc les érosions entre les 2 ponts et contribue à rehausser légèrement les lignes d'eau dans le secteur.



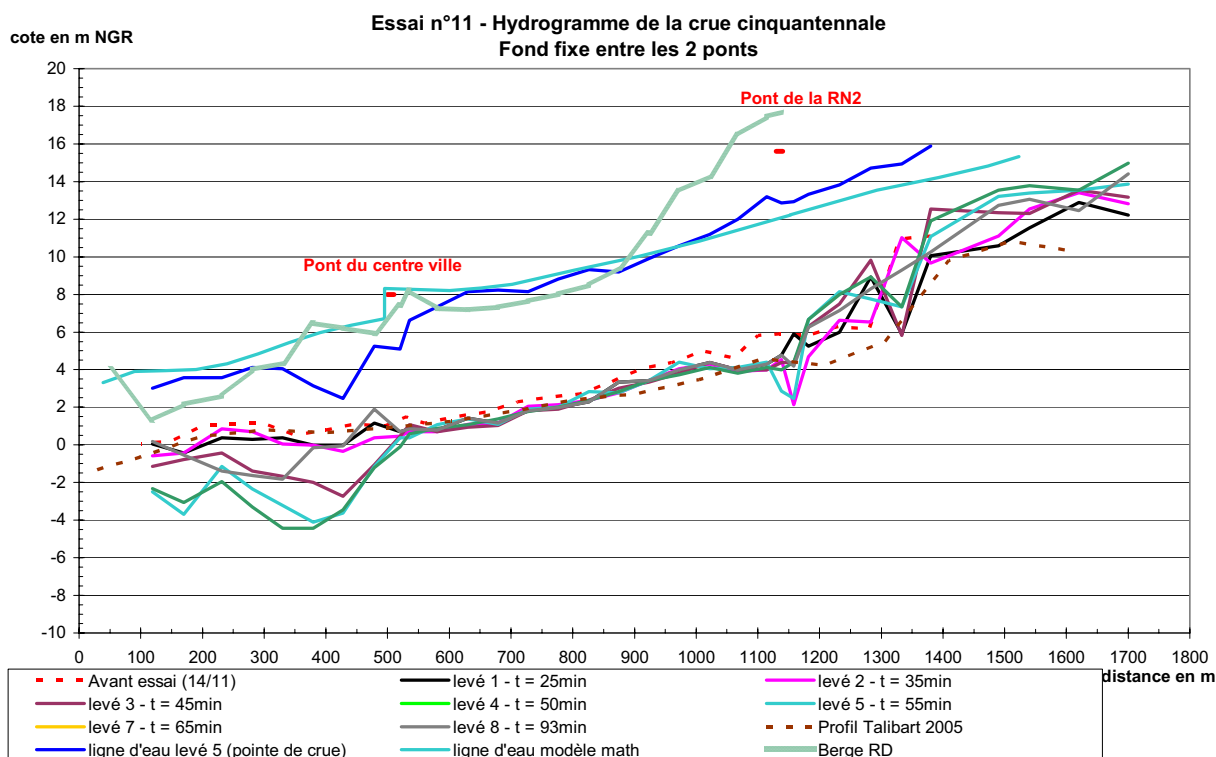
### Essai n°11

Pour la réalisation de cet essai, le secteur situé entre les 2 ponts (entre les profils P25 et P12) a été bétonné comme le montre la photo ci-dessous :



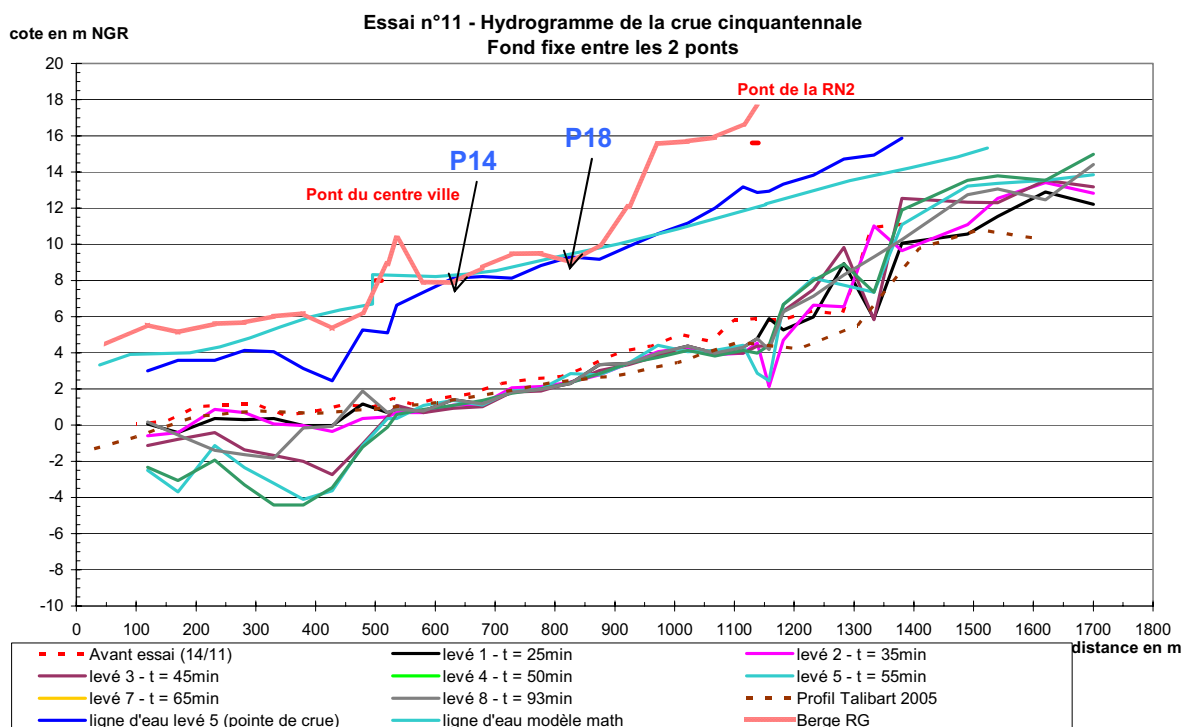
Mise en place du fond fixe  
entre les 2 ponts

Cet essai correspond à l'hypothèse d'un pavage encore en place au moment de la pointe de crue. Les fonds sont calés sur les fonds actuels et ne peuvent donc pas s'éroder. En conséquence, les lignes d'eau sont rehaussées par rapport aux essais 9 et 10 comme on peut le voir sur les graphiques suivants :



En rive droite, on retrouve les mêmes points de débordement que pour l'essai n°10 à savoir entre les profils P14 et P18. Le jardin M.Ferrol est submergé et un écoulement s'établit par l'évacuateur sous le pont du centre ville

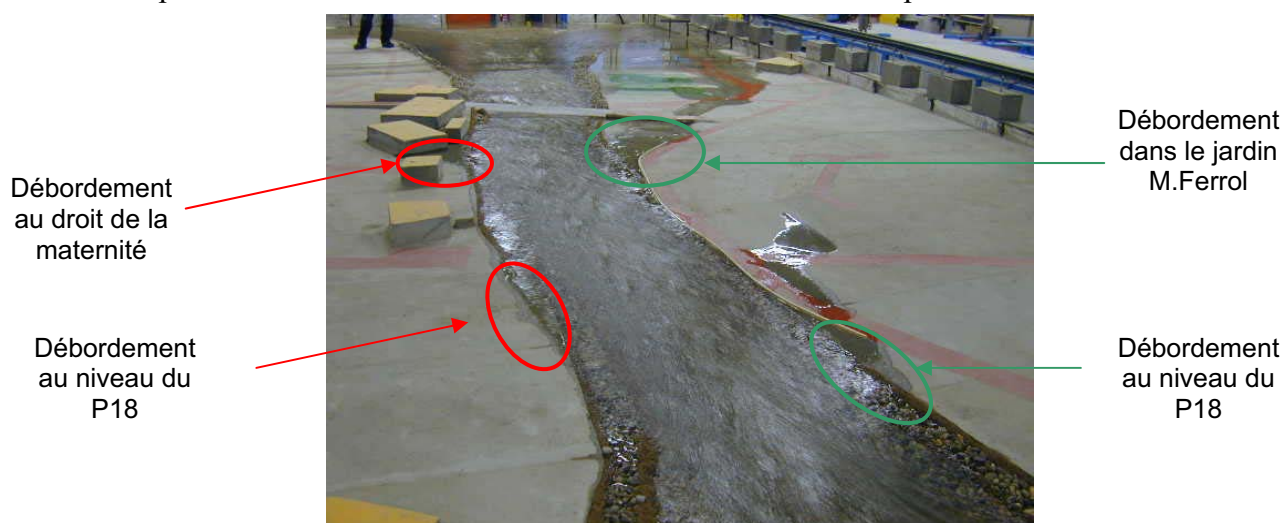
Les affouillements observés à l'aval du pont du centre ville sont le résultat de la transition entre le fond bétonné et le fond mobile. Ils contribuent à abaisser la ligne d'eau à l'aval du pont et on n'observe donc pas une submersion de la digue basse aussi importante que lors des essais 9 et 10. Toutefois, ces affouillements ne modifient pas la ligne d'eau en amont du pont, l'écoulement étant en régime torrentiel.



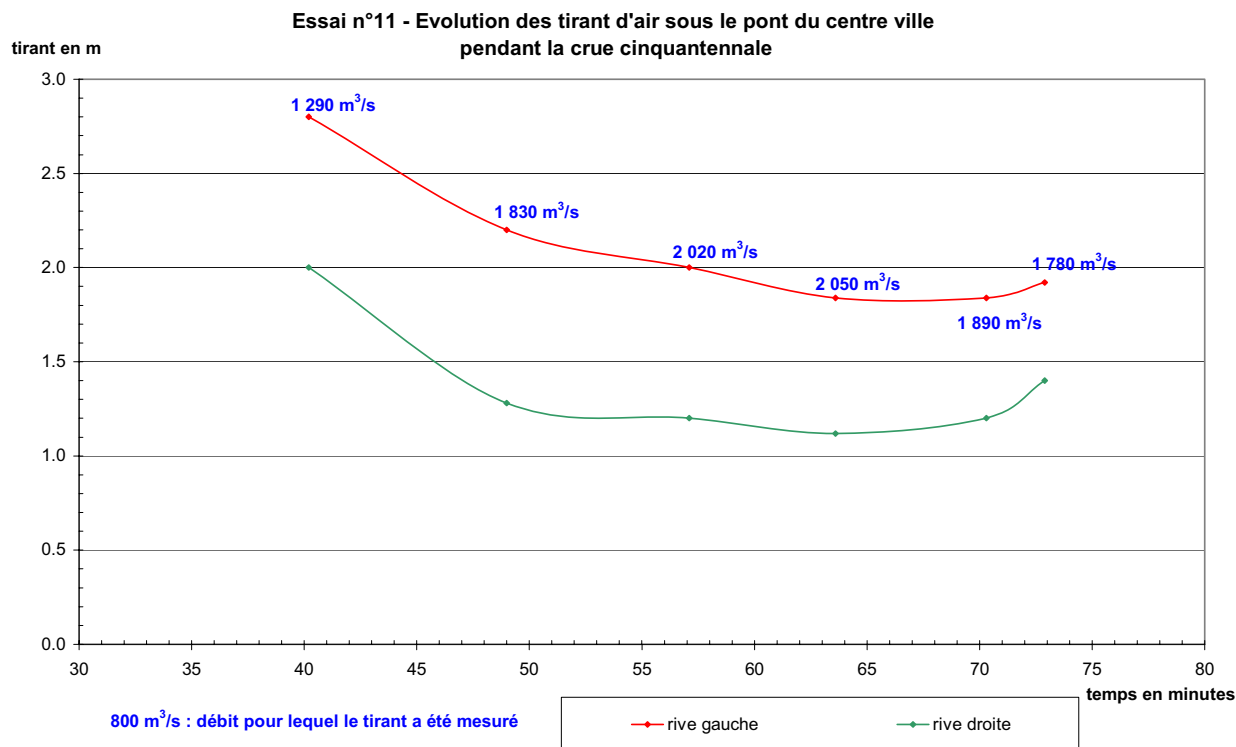
En rive gauche, on observe 2 points de débordements entre les 2 ponts:

- le premier au droit de la maternité (profil P14),
- le second un peu en aval de la sous-préfecture (profil P18) reste très limité.

La photo ci-dessous montre l'ensemble des débordements en pointe de crue :



Tout comme la crue vingtennale, le tirant d'air sous le pont du centre ville a été mesuré pour l'essai le plus critique par rapport au risque de mise en charge du pont, l'essai n°11. Les résultats sont présentés dans le graphique ci-dessous :



On constate donc que pour la pointe de crue, le tirant d'air est de l'ordre de 1m sous le pont du centre ville.

### 2.2.4 Crue centennale

La crue centennale est définie comme étant la crue de projet. Elle a été simulée lors de deux essais (essais n°12 et n°15) dans les conditions suivantes :

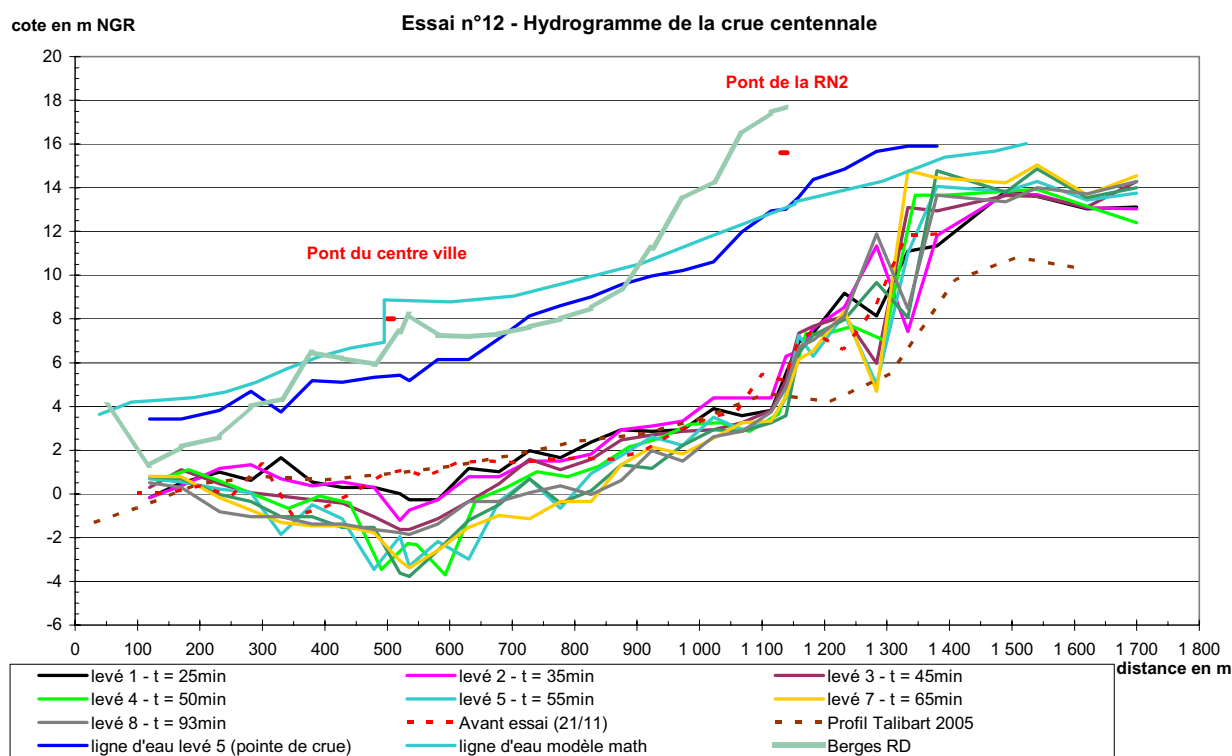
- essai n°12 : débit solide de référence, océan calé à la cote +1 m NGR ;
- essai n°15 : suralimentation en débit solide, océan calé à la cote +2 m NGR ;

Lors de l'essai n°15, le débit solide injecté en entrée du modèle était le débit solide de référence mais le méandre en amont du pont de la RN2 a été court-circuité afin de limiter les dépôts dans ce secteur et de permettre le transit d'un maximum de sédiments. Cette hypothèse peut se produire dans le cas d'une érosion massive du secteur du Conardel (remblai en rive gauche).

Cette configuration conduit à suralimenter le secteur du centre ville par rapport à l'essai n°12.

#### Essai n°12

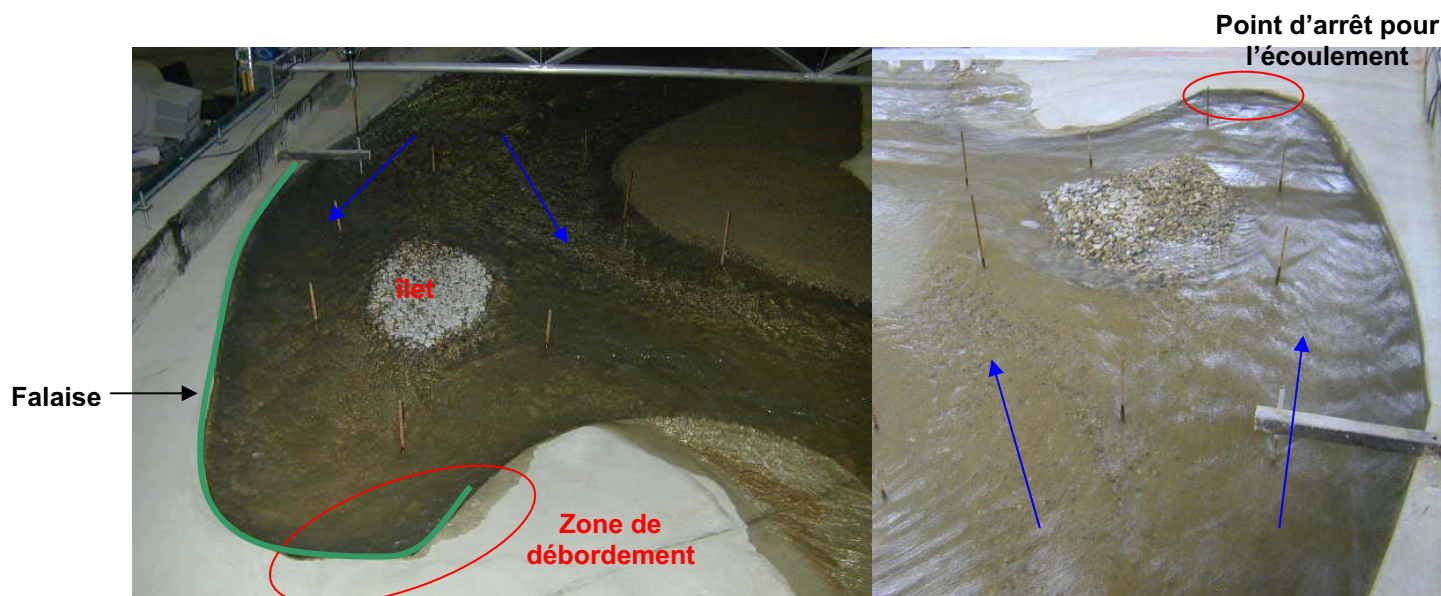
Les 2 graphiques ci-dessous présentent un profil en long de la ligne d'eau en pointe de crue par rapport aux berges en rive droite et en rive gauche.



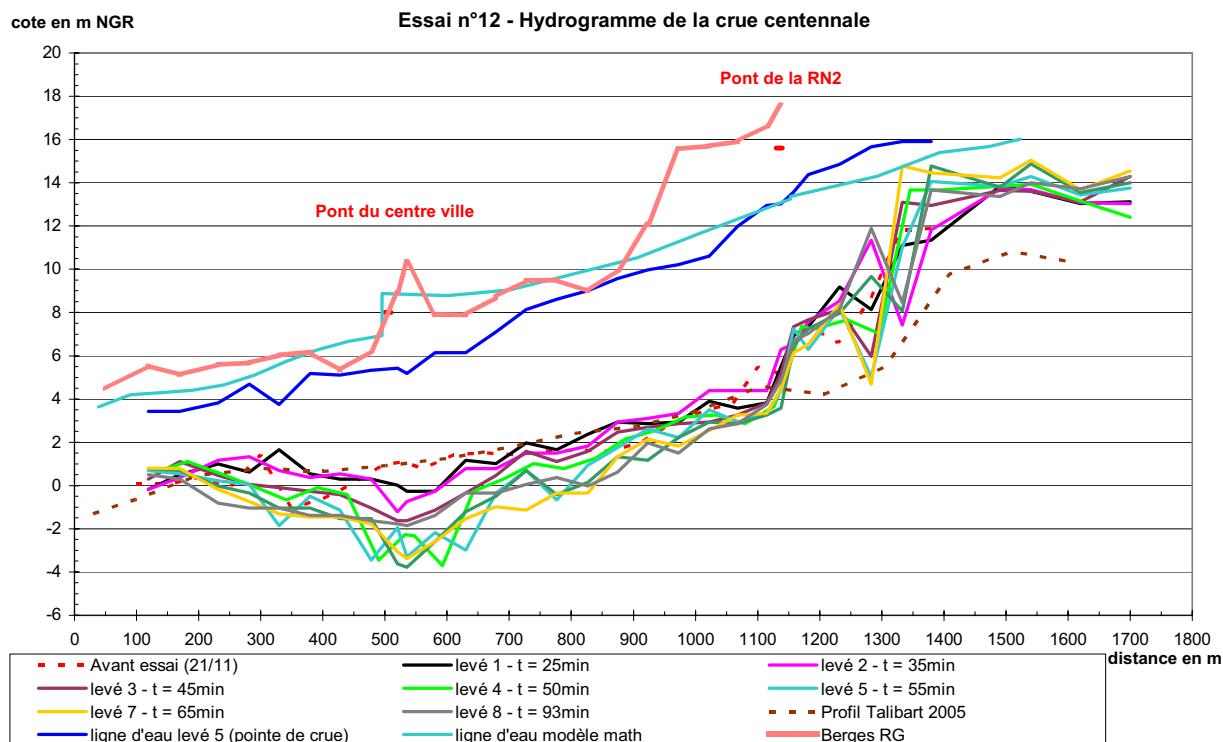
Concernant la rive droite, on identifie les points de débordement suivants :

- à l'amont du pont du centre ville, débordements entre les profils P14 et P19;
- à l'aval du pont, submersion de la digue basse à partir du profil P6. Le secteur du Ludoparc et le stade sont toutefois totalement submergés par l'aval.

En outre, le modèle montre un risque de débordement en rive droite dans le méandre en amont du pont de la RN2 (propriété de M.Martin). La forme du méandre constitue en effet un point d'arrêt pour l'écoulement qui passe à droite de l'îlet. Il génère ainsi une surélévation de la même façon qu'une pile de pont résultant du transfert de l'énergie cinétique en énergie potentielle. A titre d'exemple, un écoulement avec une vitesse de 5 m/s conduira à une surélévation de 1.30 m environ.



Lors de l'essai pour la crue de projet, le niveau d'eau observé atteint le haut de la falaise.

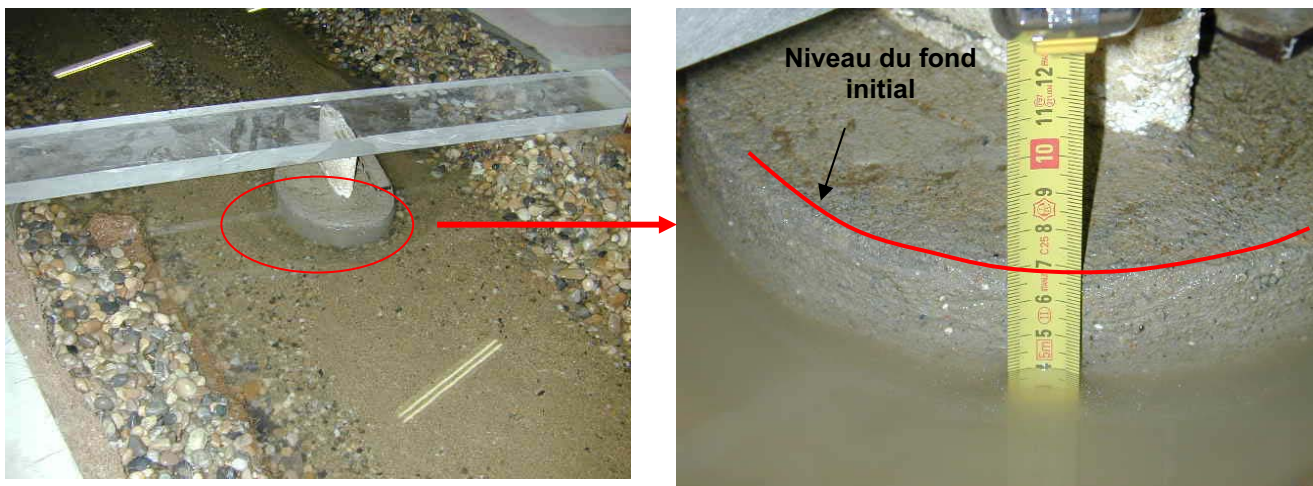




En rive gauche, l'écoulement est en limite de débordement au niveau des profils P18 (aval sous-préfecture) et P9 (aval pont du centre ville).

Toutefois, on constate une érosion des fonds plus importante que pour la crue cinquantennale, en particulier entre les profils P19 et P9.

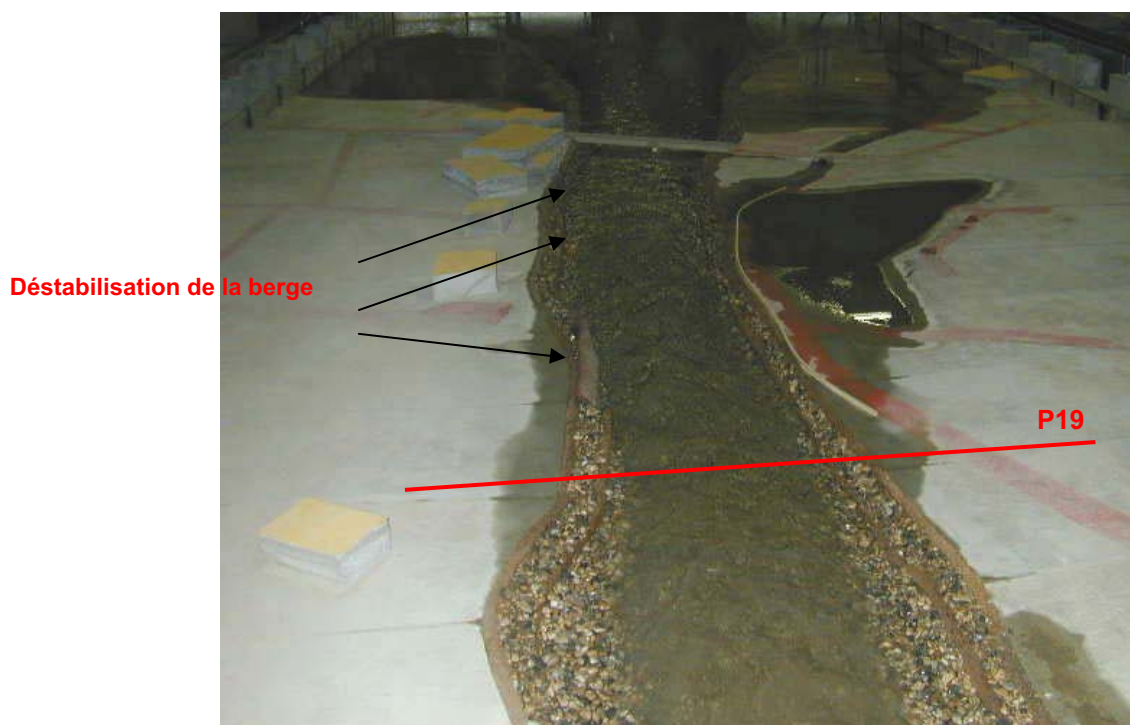
Sous le pont du centre ville, on relève des fosses de 4 à 5 m de profondeur.



Ces érosions contribuent à abaisser les lignes d'eau en centre ville et à limiter les débordements notamment en rive gauche.

Cependant elles déstabilisent fortement la berge en rive gauche, la berge en rive droite étant moins touchée car l'écoulement est dissymétrique pas rapport à l'axe de la rivière (influence du pont de la RN2). Les blocs de basalte posés en vrac le long des berges risquent d'être emportés et la stabilité du mur faisant office de digue peut être mise à mal.

Lors des essais, on a pu observer des dégâts importants sur la berge rive gauche.



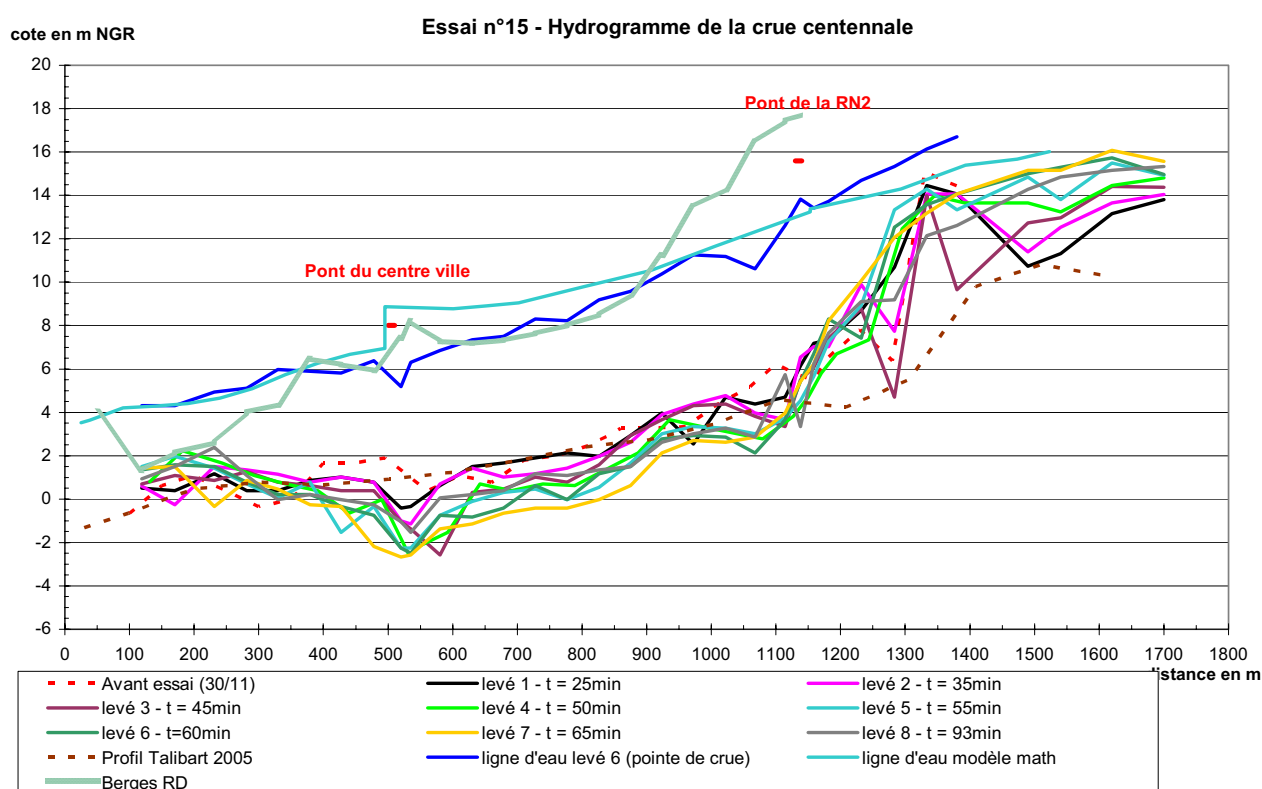
## Essai n°15

De manière générale et en comparant avec l'essai n°12, on observe pour l'essai n°15 :

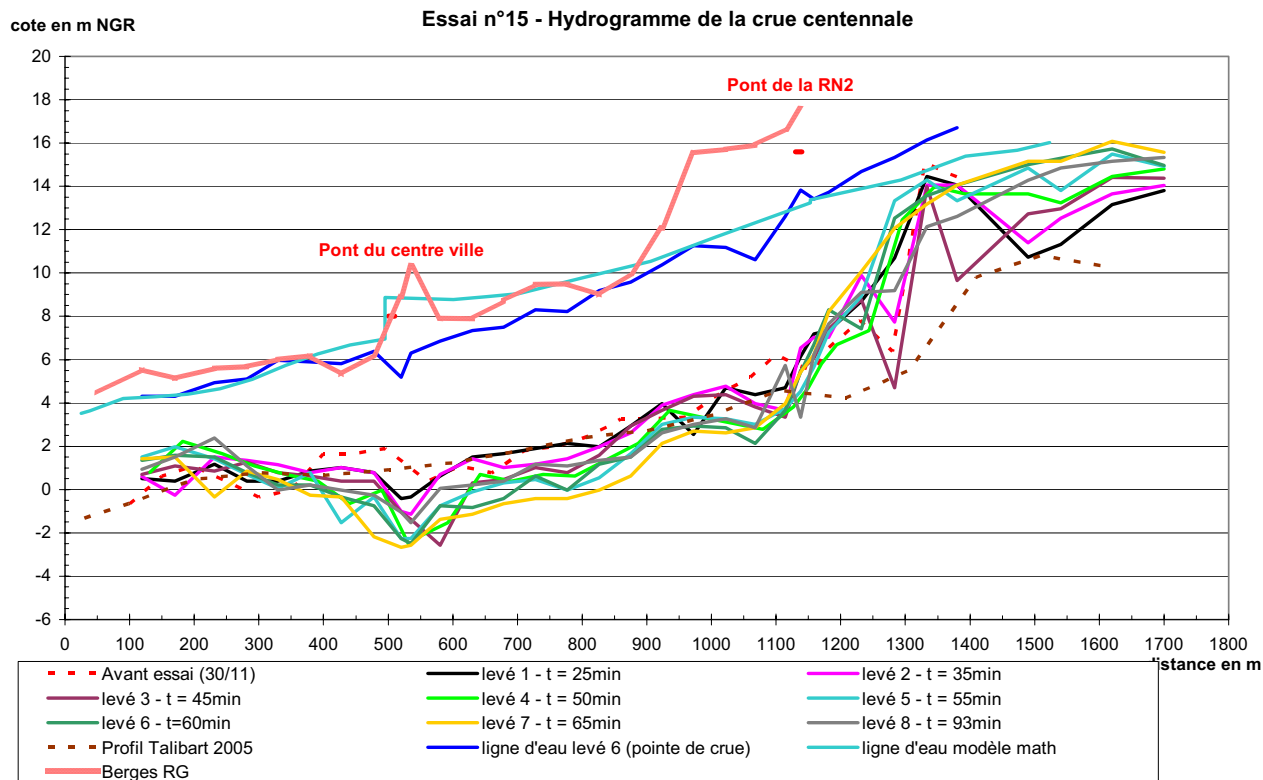
- des lignes d'eau légèrement plus hautes,
- des érosions moins importantes entre les deux ponts et sous le pont du centre ville,
- un dépôt aval plus important.

Ces observations sont cohérentes avec la suralimentation du secteur du centre ville en matériaux.

Les deux graphiques ci-dessous présentent un profil en long de la ligne d'eau en pointe de crue par rapport aux berges en rive droite et en rive gauche.



En rive droite, on observe les mêmes débordements que pour l'essai n°12.

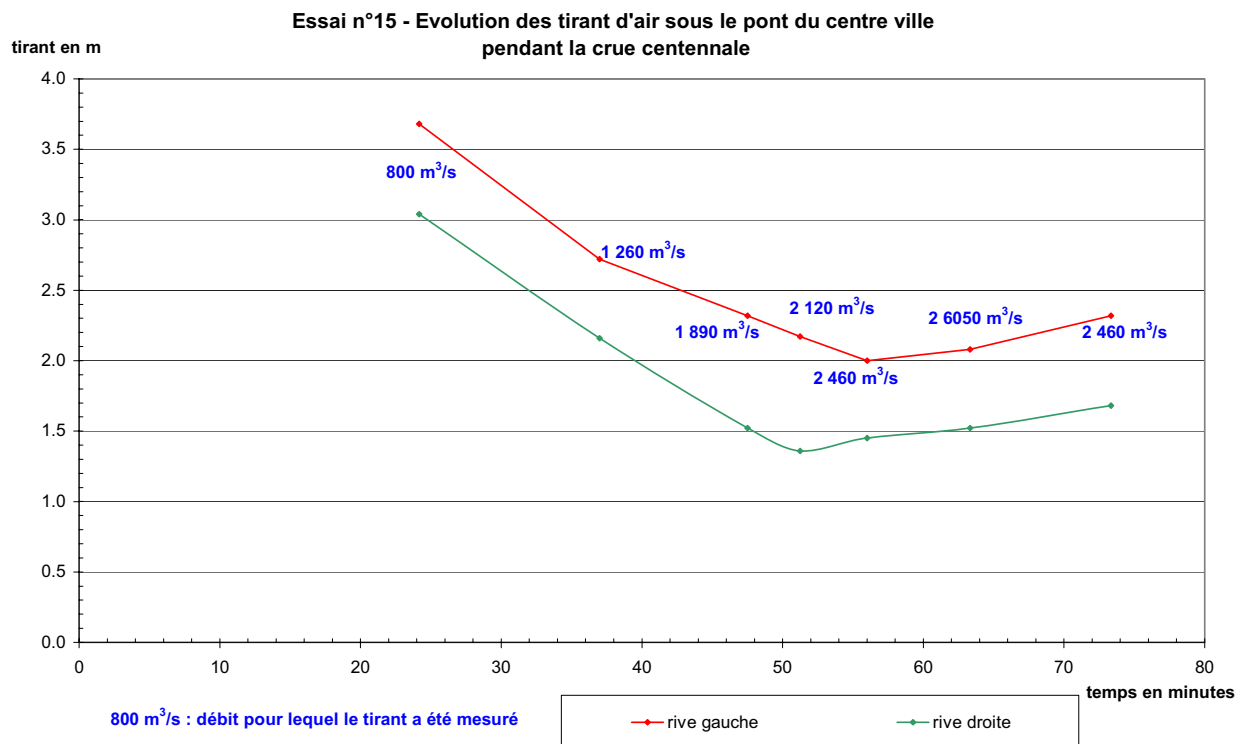


En rive gauche, le débordement à l'aval du pont du centre ville est plus important que pour l'essai n°12.





Enfin, le suivi de l'évolution des tirants d'air sous le pont du centre ville indique que ce dernier ne passe pas en charge dans les conditions d'essais de la crue de projet.



Le tirant d'air minimal est de l'ordre de 1,40 m à gauche de la pile du pont. Cependant, même si le pont du centre ville ne passe pas en charge, la surélévation générée par la pile du pont peut provoquer des débordements sur le tablier du pont comme on le voit sur la photo ci-dessous :



Débordement sur le tablier du pont du centre ville au droit de la pile

## 2.2.5 Crue exceptionnelle

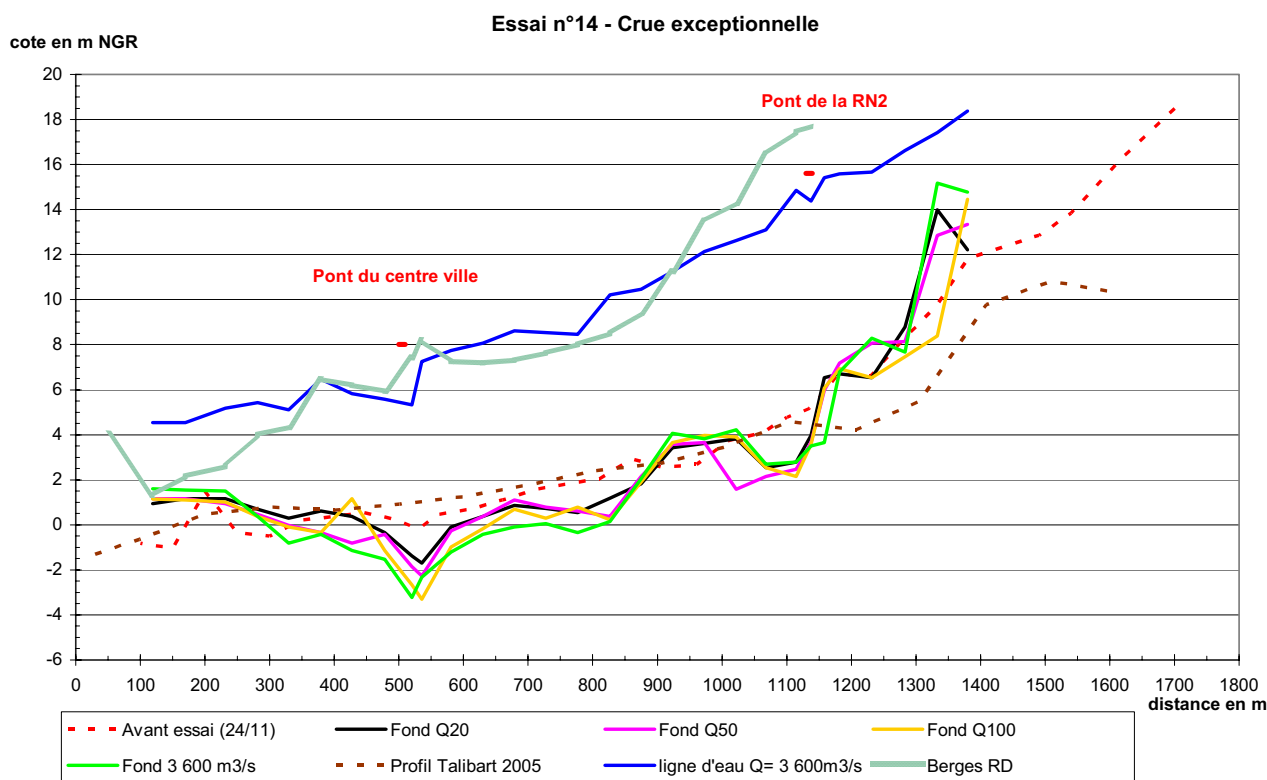
Les essais avec cette crue très peu probable constituent un test de sécurité.

Les essais n°13 et n°14 ont simulé une crue avec un débit maximum de 3 600 m<sup>3</sup>/s dans les conditions suivantes :

- débit solide de référence, océan calé à la cote +2 m NGR.

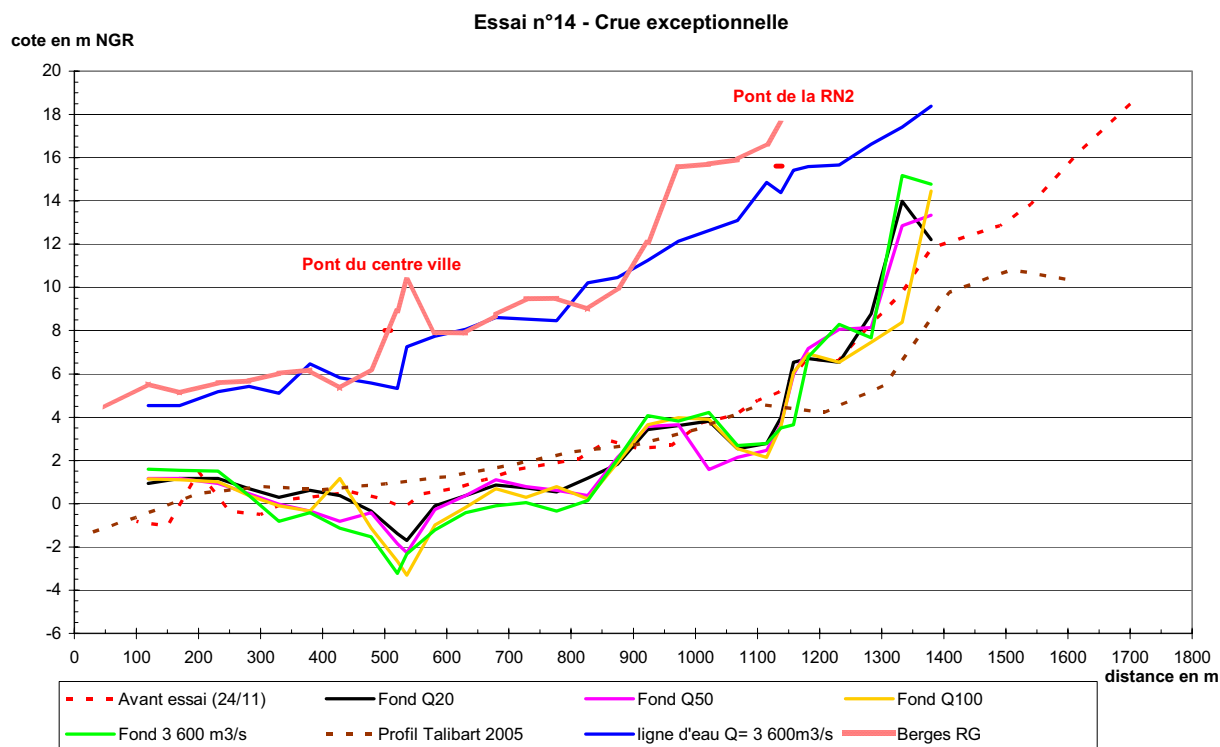
A cours de ces essais, seule la montée de crue a été simulée.

Les 2 graphiques ci-dessous présentent un profil en long de la ligne d'eau en pointe de crue par rapport aux berges en rive droite et en rive gauche.



Concernant la rive droite, on identifie les points de débordement suivants :

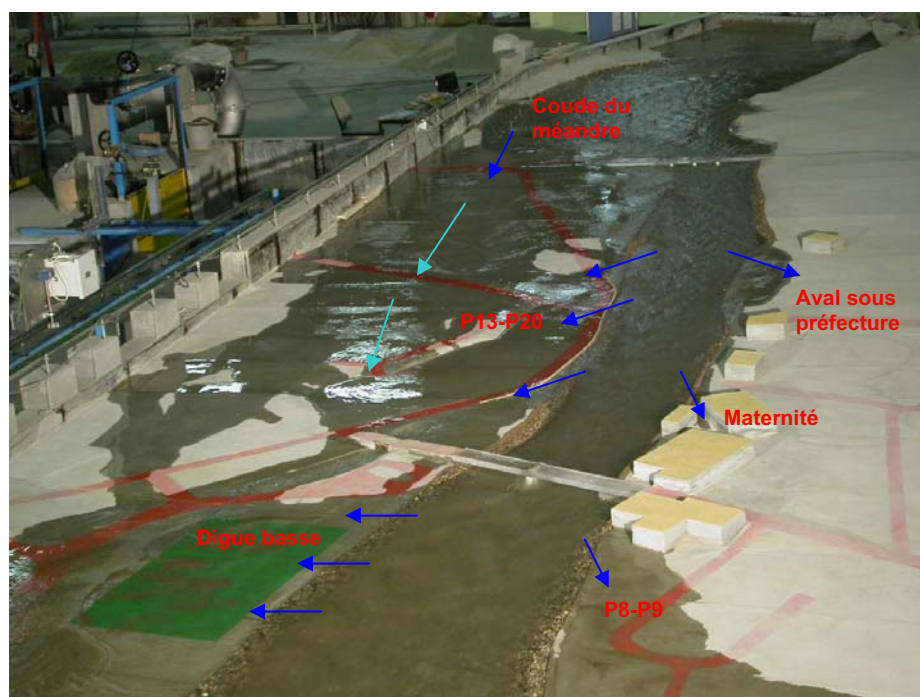
- à l'amont du pont du centre ville, débordements entre les profils P13 et P20;
- à l'aval du pont, submersion quasi généralisée de la digue basse.
- A l'amont du pont de la RN2, débordement dans l'intérieur du méandre.



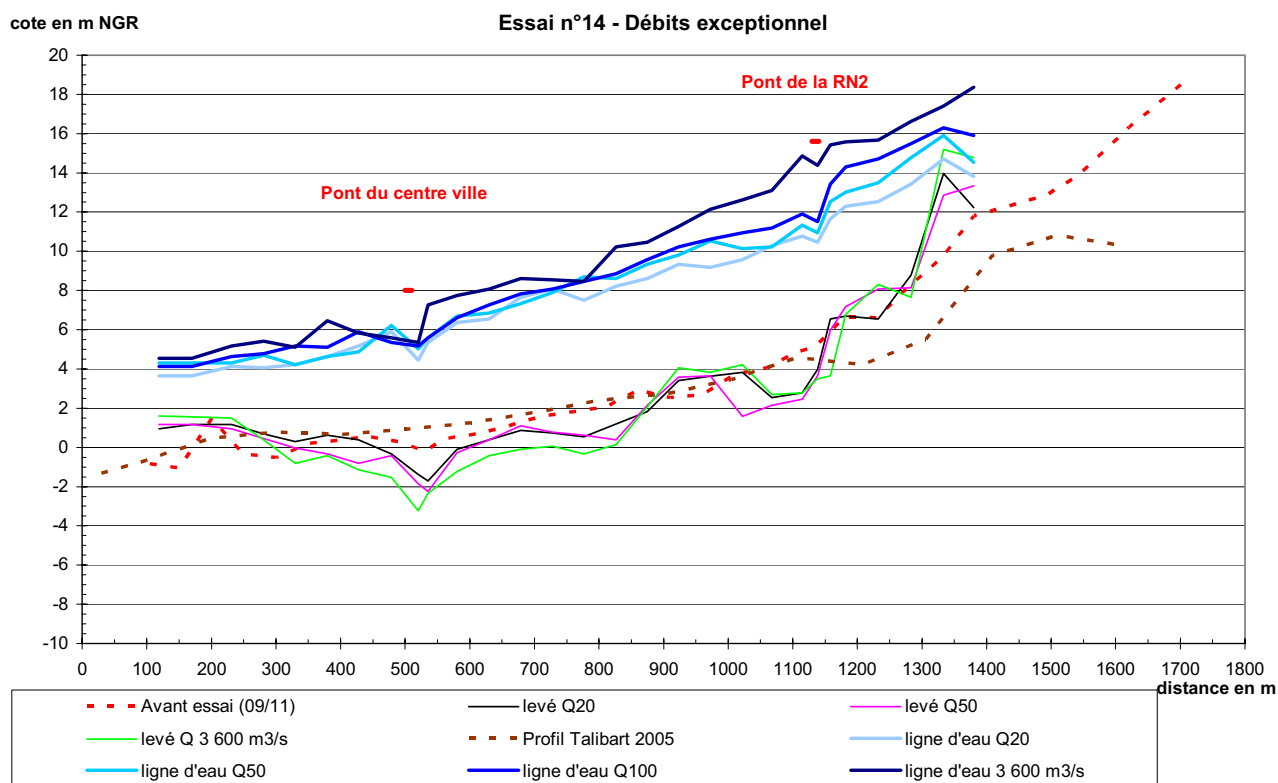
En rive gauche, on observe 3 points de débordements :

- le premier au droit de la maternité (profil P14),
- le second un peu en aval de la sous-préfecture (profil P18), ce dernier étant toutefois contenu par le talus de la rive,
- le troisième à l'aval du pont du centre ville entre les profils P8 et P9.

La photo suivante illustre ces graphiques et montre l'état de la rivière pour le débit de  $3\,600\text{ m}^3/\text{s}$  :



Le graphique suivant présente l'évolution des lignes d'eau au cours de l'essai :



On constate que le pont de la RN2 est pratiquement en charge pour le débit de 3 600 m³/s alors que le tirant d'air sous le pont du centre ville est d'environ 70 cm.

En conclusion, les essais effectués avec la crue exceptionnelle ne permettent pas de mettre en évidence des comportements très différents par rapport aux autres débits étudiés.



### 3- CONCLUSION DES ESSAIS DE DIAGNOSTIC

#### 3.1 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. On peut d'ailleurs observer ces dépôts sur la vue aérienne du secteur :



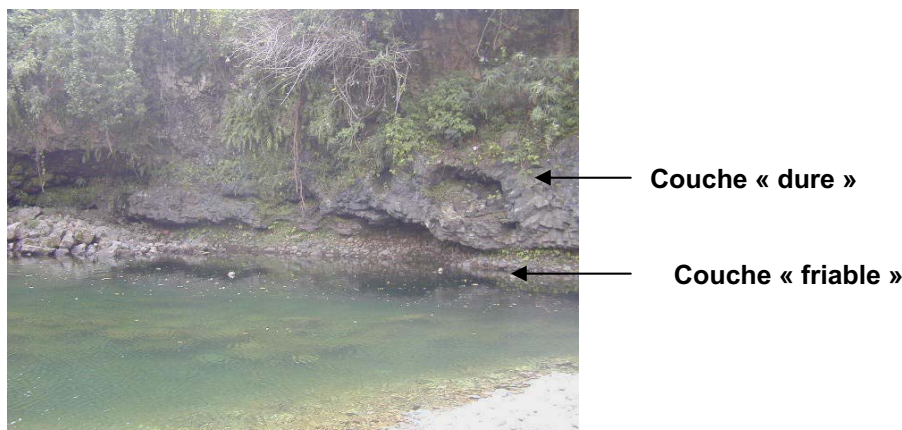
Les éléments les plus fins sont ensuite remobilisés par les crues faibles.

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 combleront généralement au cours de la décrue lorsque les vitesses de l'écoulement chutent.



Les visites de terrains montrent notamment une falaise dans laquelle alterne des couches dures et des couches apparemment plus friables comme le montre la photo ci-dessous. Il est conseillé à la mairie de réaliser une expertise géologique afin de mieux connaître la résistance des matériaux en place.



Couche « dure »

Couche « friable »

- **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 m<sup>3</sup>/s. Elle peut aggraver les débordements en rive droite et générer des débordements en rive gauche.

### 3.2 SECTEUR MEDIAN ENTRE LES 2 PONTS

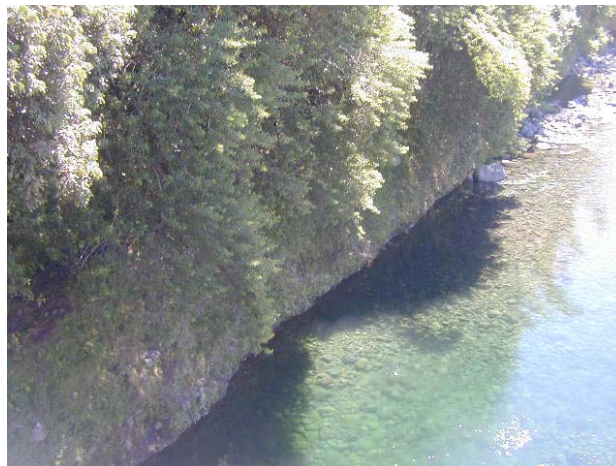
Les vitesses de l'écoulement entre les 2 ponts sont très élevées (jusqu'à 8 m/s) et provoquent localement des érosions importantes. Ces vitesses permettent le charriage des plus gros matériaux. On n'observe pas de dépôt dans ce secteur. On identifie en particulier les risques suivants :

- **Erosion en rive gauche sous le pont de la RN2.**





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.



Vue de la berge en rive gauche à l'aval direct du pont de la RN2

Il est conseillé à la mairie de réaliser une expertise géologique afin de mieux connaître la résistance des matériaux en place sous le pont et sur le talus en rive gauche.

- **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 comblent 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 conséquent. Une légère rehausse des digues permettra 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 permettra 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 d'inondation. C'est en effet le type même d'établissement ou l'évacuation en urgence est problématique.
- **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.

### 3.3 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 les 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.

Un dossier photo présentant les débordements observés en fonction du débit est fourni en *annexe 2*.

## 4- AMENAGEMENTS PROPOSES

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 éventuelle 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.

## 5- AMENAGEMENTS REALISES SUR LE MODELE

Dans son courrier en date du 12 juin 2006 (voir *annexe 3*), la mairie de St-Benoît précise les aménagements qu'elle souhaite voir testés 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.

Une analyse des lignes d'eau enregistrées pour le débit de crue centennale a permis de définir la cote requise des digues pour assurer la protection du centre ville. Une revanche de 80 cm a été ajoutée à la ligne d'eau maximale. Le tableau ci-dessous détaille les cotes des berges aux droits des profils du modèle :

| Profils | Abscisse linéaire en m | Cote eau maxi en m NGR | Cote requise des digues en RG en m NGR | Cote des digues existantes en RG en m NGR |
|---------|------------------------|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| P25     | 1 138                  | 14.46                  | 15.26                                  | 17.57                                     |
| P24     | 1 115                  | 13.18                  | 13.98                                  | 16.65                                     |
| P23     | 1 068                  | 12.38                  | 13.18                                  | 15.91                                     |
| P22     | 1 022                  | 11.26                  | 12.06                                  | 15.70                                     |
| P21     | 973                    | 11.26                  | 12.06                                  | 15.56                                     |
| P20     | 923                    | 10.94                  | 11.74                                  | 12.06                                     |
| P19     | 875                    | 9.97                   | 10.77                                  | 9.98                                      |
| P18     | 826                    | 9.58                   | 10.38                                  | 8.99                                      |
| P17     | 777                    | 8.62                   | 9.42                                   | 9.50                                      |
| P16     | 727                    | 8.38                   | 9.18                                   | 9.48                                      |
| P15     | 679                    | 7.90                   | 8.70                                   | 8.72                                      |
| P14     | 630                    | 7.66                   | 8.46                                   | 7.90                                      |
| P13     | 581                    | 7.34                   | 8.14                                   | 7.91                                      |
| P12     | 535                    | 6.30                   | 7.10                                   | 10.32                                     |
| P11     | 520                    | 5.42                   | 6.22                                   | 8.92                                      |
| P10     | 478                    | 6.94                   | 7.74                                   | 6.23                                      |
| P9      | 428                    | 6.06                   | 6.86                                   | 5.33                                      |
| P8      | 379                    | 5.90                   | 6.70                                   | 6.18                                      |
| P7      | 330                    | 5.98                   | 6.78                                   | 6.02                                      |
| P6      | 281                    | 5.34                   | 6.14                                   | 5.68                                      |
| P5      | 232                    | 5.18                   | 5.98                                   | 5.60                                      |
| P4      | 170                    | 4.46                   | 5.26                                   | 5.13                                      |
| P3      | 119                    | 4.46                   | 5.26                                   | 5.54                                      |

*Cotes de la berge en RG requises pour protéger le centre ville contre la crue centennale*

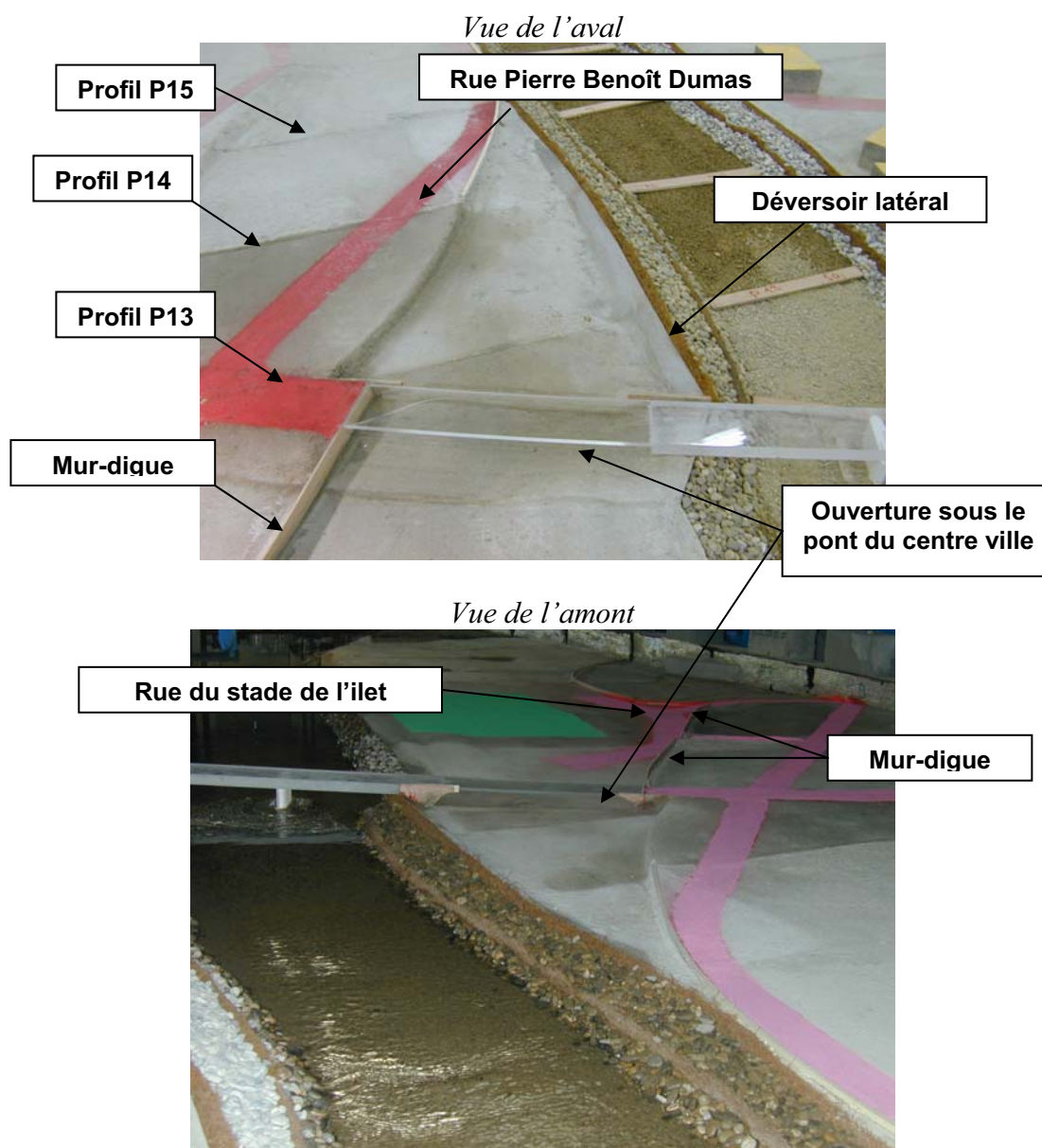
Les profils pour lesquels une mise à niveau des berges est nécessaire pour assurer la protection contre la crue centennale ont été surlignés. Toutes les données relatives au dimensionnement de cette digue sont fournies en *annexe 4*.

➤ **Mise en place de couche filtre en pied de berge.**

Les protections des pieds de berges mises en place sur le modèle sont constituées d'un mélange de graviers roulés de 1 à 2 cm de diamètre (soit de 0.80 à 1.60 m réel). Ceci ne constitue pas une couche filtre au sens propre mais permet d'assurer une meilleure stabilité des berges que pour les essais précédents (pour lesquels les matériaux utilisés en pieds de berges étaient plus grossiers)

➤ **Construction d'un déversoir latéral au droit du jardin M. Ferrol.**

Cet aménagement a été réalisé à partir des coupes longitudinales fournies dans le rapport de phase 2 : « Etude de faisabilité des moyens de protection sur le secteur aval ». Il comprend un seuil déversant calé à la cote +7 m NGR entre les profils P15 et P12 (amont pond du centre ville), une ouverture de 185 m<sup>2</sup> sous le pont, un couloir de crue qui longe la rue du Stade de l'îlet bordé par un mur guide destiné à protéger les habitations coté droit. Les photos ci-dessous présentent l'aménagement réalisé :



## 2- Secteur aval

### ➤ Rehausse de la digue en rive gauche pour protéger le centre ville contre la crue centennale.

Une analyse des lignes d'eau enregistrées pour le débit de crue centennale a permis de définir la cote requise des digues pour assurer la protection du centre ville. Une revanche de 80 cm a été ajoutée à la ligne d'eau maximale. Les rehausses à effectuer sont présentées dans le tableau intitulé : « Cotes de la berge en RG requises pour protéger le centre ville contre la crue centennale » en début de chapitre.

### ➤ 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.

Une analyse des lignes d'eau enregistrées pour le débit de crue vingtennale a permis de définir la cote requise des digues pour assurer la protection du secteur du Ludoparc. Une revanche de 30 cm a été ajoutée à la ligne d'eau maximale. Le tableau ci-dessous détaille les cotes des berges aux droits des profils du modèle :

| Profils | Abscisse en m | Cote eau maxi en m NGR | Cote requise des digues en RD en m NGR | Cote des digues existantes en RD en m NGR |
|---------|---------------|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| P11     | 520           | 4.94                   | 5.24                                   | 7.42                                      |
| P10     | 478           | 5.90                   | 6.20                                   | 5.93                                      |
| P9      | 428           | 5.18                   | 5.48                                   | 6.20                                      |
| P8      | 379           | 4.62                   | 4.92                                   | 6.47                                      |
| P7      | 330           | 4.21                   | 4.51                                   | 4.34                                      |
| P6      | 281           | 4.06                   | 4.36                                   | 4.02                                      |
| P5      | 232           | 4.14                   | 4.44                                   | 2.60                                      |
| P4      | 170           | 3.66                   | 3.96                                   | 2.16                                      |
| P3      | 119           | 3.66                   | 3.96                                   | 1.32                                      |

*Cotes de la berge en RD requises pour protéger le secteur du Ludoparc contre une crue vingtennale*



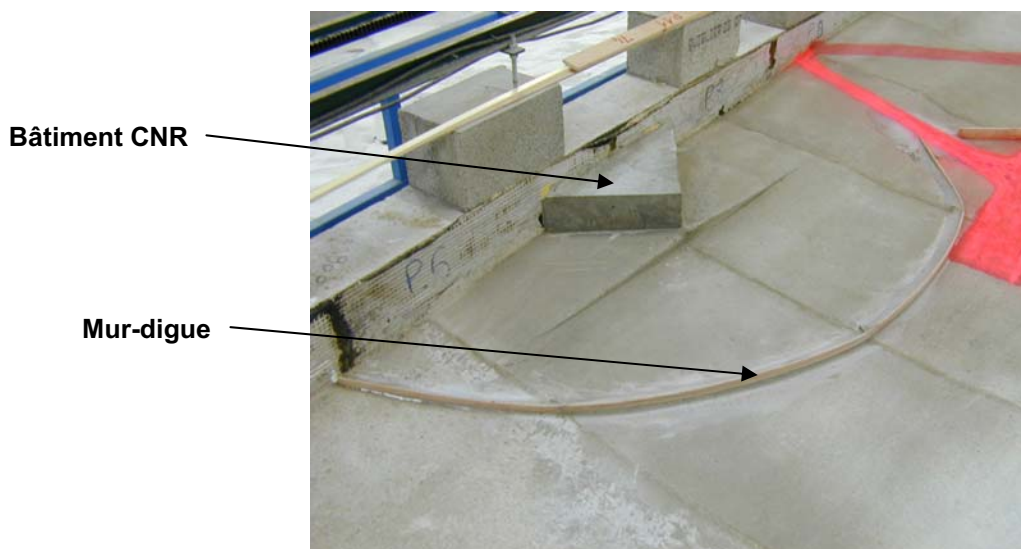
**Mise à niveau de la digue basse entre les profils P10 et P3**



Les profils pour lesquels une mise à niveau des berges est nécessaire pour assurer la protection contre la crue vingtennale ont été surlignés. Toutes les données relatives au dimensionnement de cette digue sont fournies en *annexe 5*.

➤ **Mise en place d'un mur-digue de 2 m autour du bâtiment CNR.  
(Conservatoire National de Région)**

En complément de ces aménagements, un muret de 1.20 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.





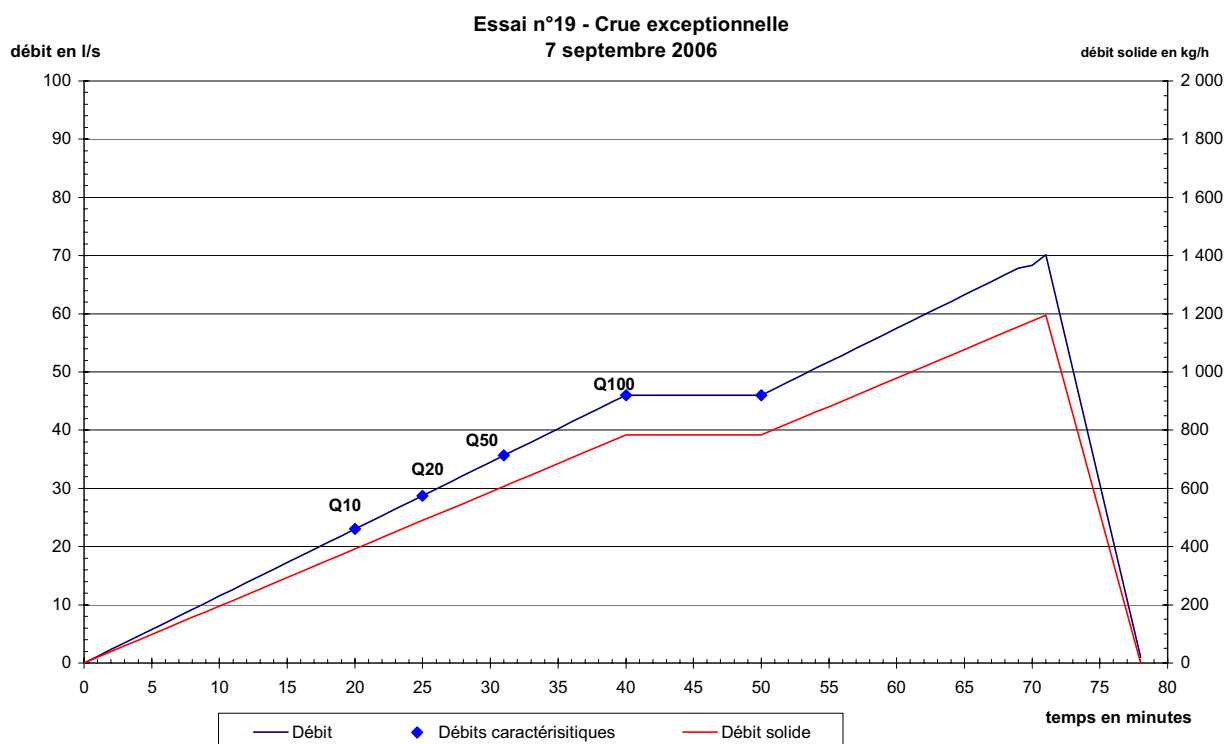
## 6- RESULTATS DES ESSAIS APRES AMENAGEMENT

L'essai °19 a simulé une crue avec un débit maximum de 3 600 m<sup>3</sup>/s dans les conditions suivantes :

- débit solide de référence, océan calé à la cote +2 m NGR.

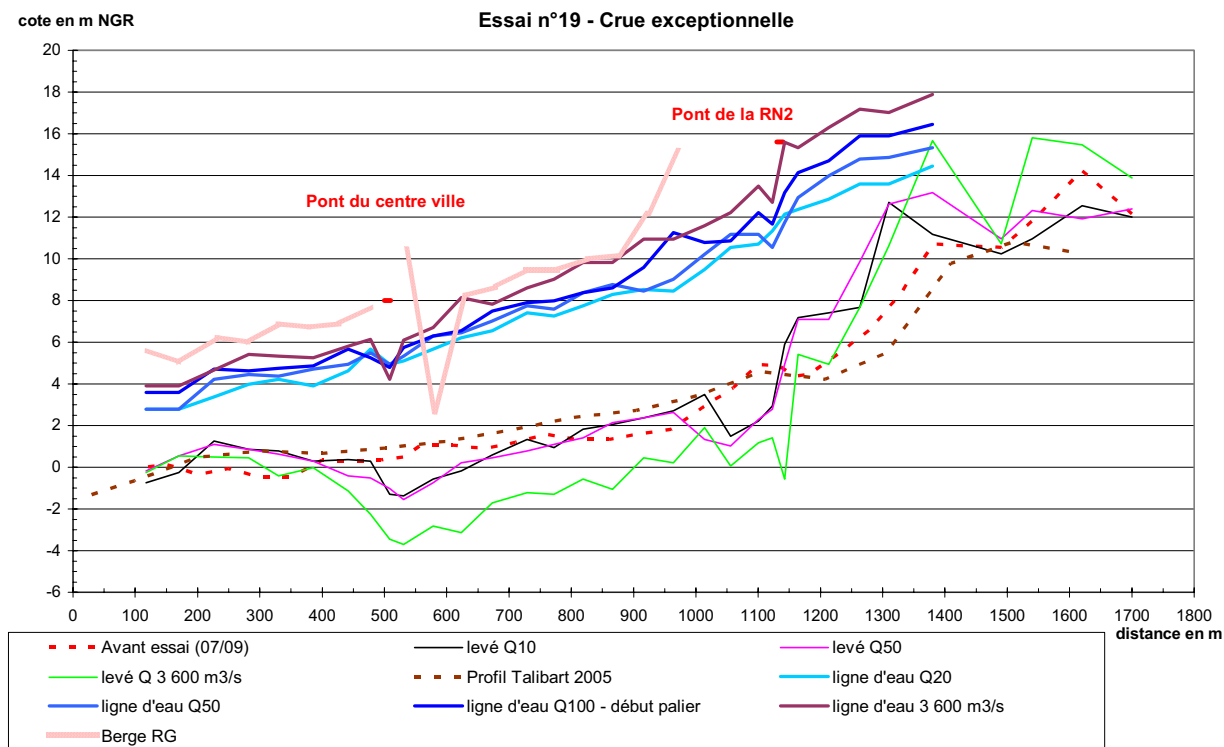
A cours de cet essai, seule la montée de crue a été simulée. Un palier de 10 minutes a été effectué pour le débit de crue centennale afin de vérifier le comportement des aménagements pour ce débit.

Le graphique ci-dessous présente les hydrogrammes liquides et solides définis pour l'essai :

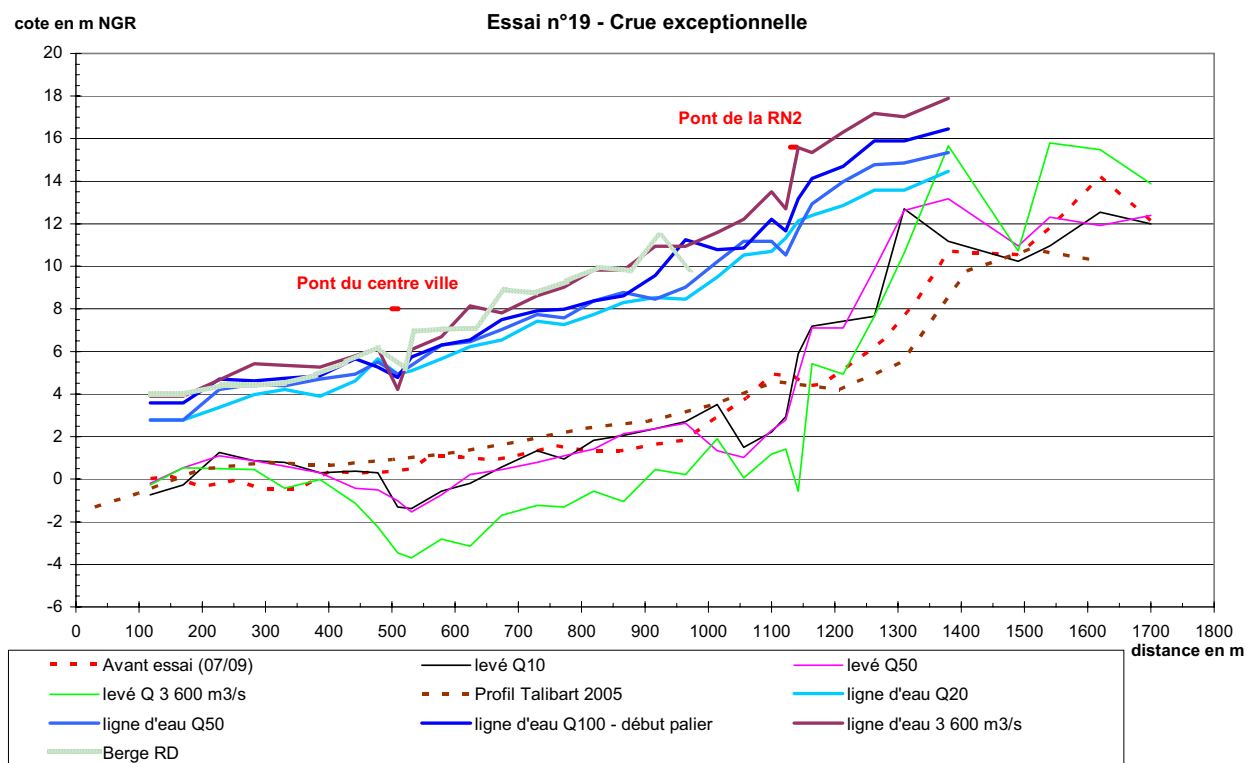


L'objet de cet essai est de tester l'efficacité et la pertinence des aménagements réalisés. Il doit notamment permettre de valider les cotes des digues en rive gauche et en rive droite, respectivement dimensionnées pour protéger les secteurs concernés pour une crue centennale et une crue vingtennale.

Les 2 graphiques ci-dessous présentent un profil en long de la ligne d'eau en pointe de crue par rapport aux berges en rive droite et en rive gauche :



*Visualisation des lignes d'eau par rapport aux berges en rive gauche*



*Visualisation des lignes d'eau par rapport aux berges en rive droite*

Le déroulement de l'essai révèle les points suivants :

➤ **Efficacité de la digue basse en rive droite à l'aval du pont du centre ville**

Le secteur du Ludoparc est protégé par la digue basse jusqu'à la crue vingtennale soit  $Q = 1\,630 \text{ m}^3/\text{s}$ . La digue commence à être submergée pour un débit de l'ordre de  $1\,800 \text{ m}^3/\text{s}$  comme l'illustre la photo ci-dessous :



Ce débordement se généralise pour inonder complètement le secteur avec l'augmentation du débit :



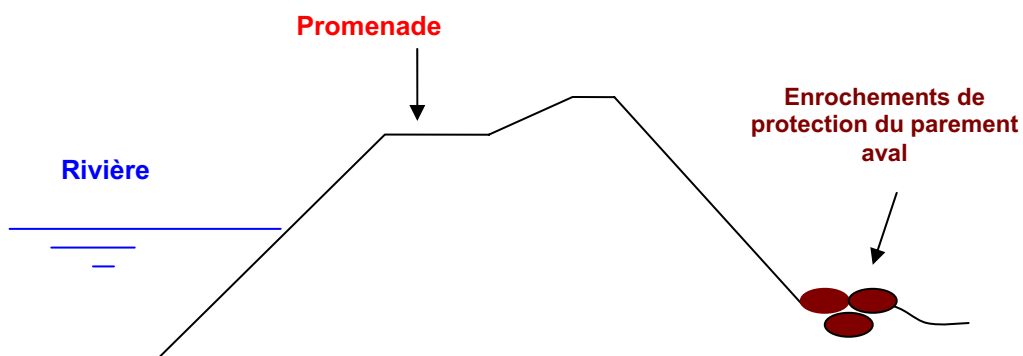
*Débordement sur le secteur du Ludoparc pour  $Q_{50}$*



*Débordement sur le secteur du Ludoparc pour Q100*

Cette digue remplit donc son rôle jusqu'à la crue vingtennale. Les débordements observés par la suite permettent de former un matelas d'eau dans le couloir de crue et limiter ainsi les dégâts causés par l'écoulement venant du déversoir en amont du pont.

La digue peut être aménagée avec une banquette et former ainsi un chemin le long de la rivière comme le montre le schéma ci-dessous :



Cette digue devra être dimensionnée comme une digue submersible, des protections devront notamment être mises en place en pied du parement aval afin de résister aux écoulements lors des débordements.

➤ **Fonctionnement du déversoir latéral en rive droite en amont du pont du centre ville**

La cote du déversoir a été calée à la cote + 7 m NGR. Les premiers débordements sont observés à partir du débit de crue cinquantennale ( $Q_{50} = 2\,050 \text{ m}^3/\text{s}$ ).



*Début de débordement sur le déversoir latéral*

Une estimation du débit évacué par le déversoir a été réalisée à partir des mesures de la hauteur d'eau sous le pont et de la vitesse de l'écoulement (Cf. photo ci-dessus). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

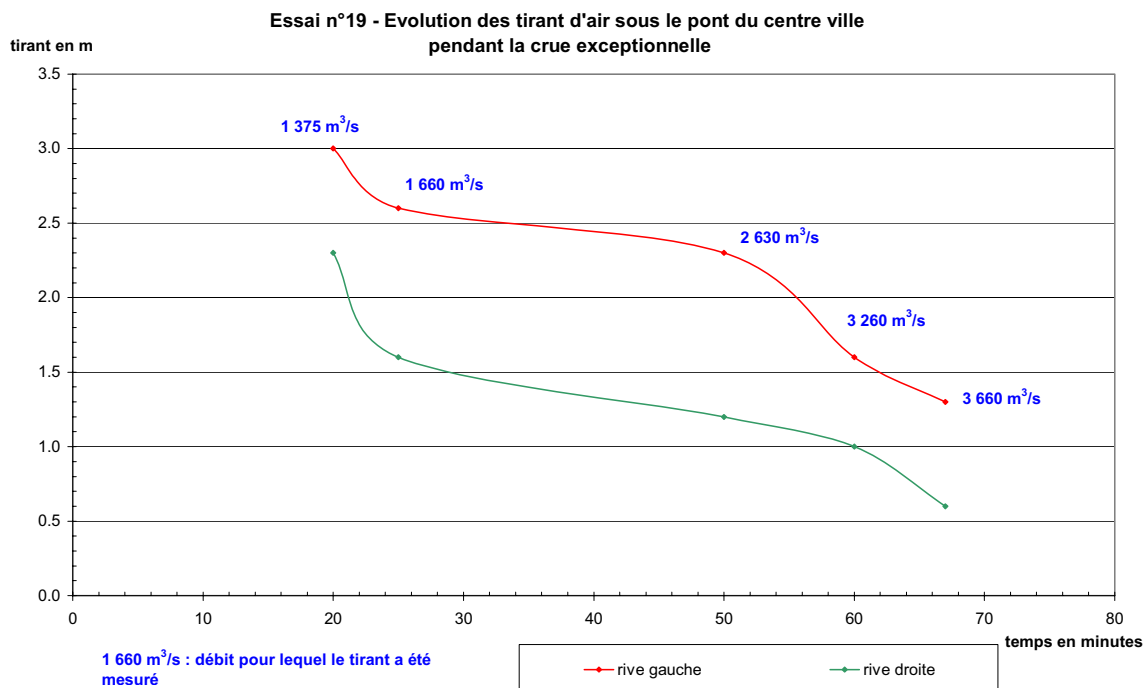
| Débit rivière<br>en $\text{m}^3/\text{s}$ | hauteur d'eau<br>en m | largeur de<br>l'écoulement en m | vitesse en<br>m/s | Débit évacué en<br>$\text{m}^3/\text{s}$ | % du débit<br>rivière |
|-------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------------------------|-----------------------|
| 2 050<br>( $Q_{50}$ )                     | non mesurable         |                                 |                   |                                          |                       |
| 2 580<br>( $Q_{100}$ )                    | 0.56                  | 24                              | 1.2               | 15                                       | 0.6                   |
| 2 900                                     | 0.64                  | 32                              | 2.4               | 50                                       | 1.7                   |
| 3 500                                     | 1.04                  | 32                              | 4.8               | 160                                      | 4.6                   |

Les résultats montrent le faible rendement du déversoir latéral qui n'intercepte qu'une faible partie du débit de la rivière.

D'autre part, la section de  $185 \text{ m}^2$  de l'ouverture prévue sous le pont paraît surdimensionnée par rapport au débit évacué.



Les tirants d'air ont été mesurés sous le pont du centre ville, coté droit et coté gauche de la pile centrale. Les résultats sont présentés sur le graphe ci-dessous :



On n'observe pas de mise en charge du pont même pour le débit de 3 600 m³/s.

### ➤ Tenue des berges

Les matériaux utilisés pour modéliser les protections de berges ont permis une meilleure tenue de celles-ci lors de l'essai n°19 que lors des essais précédents :

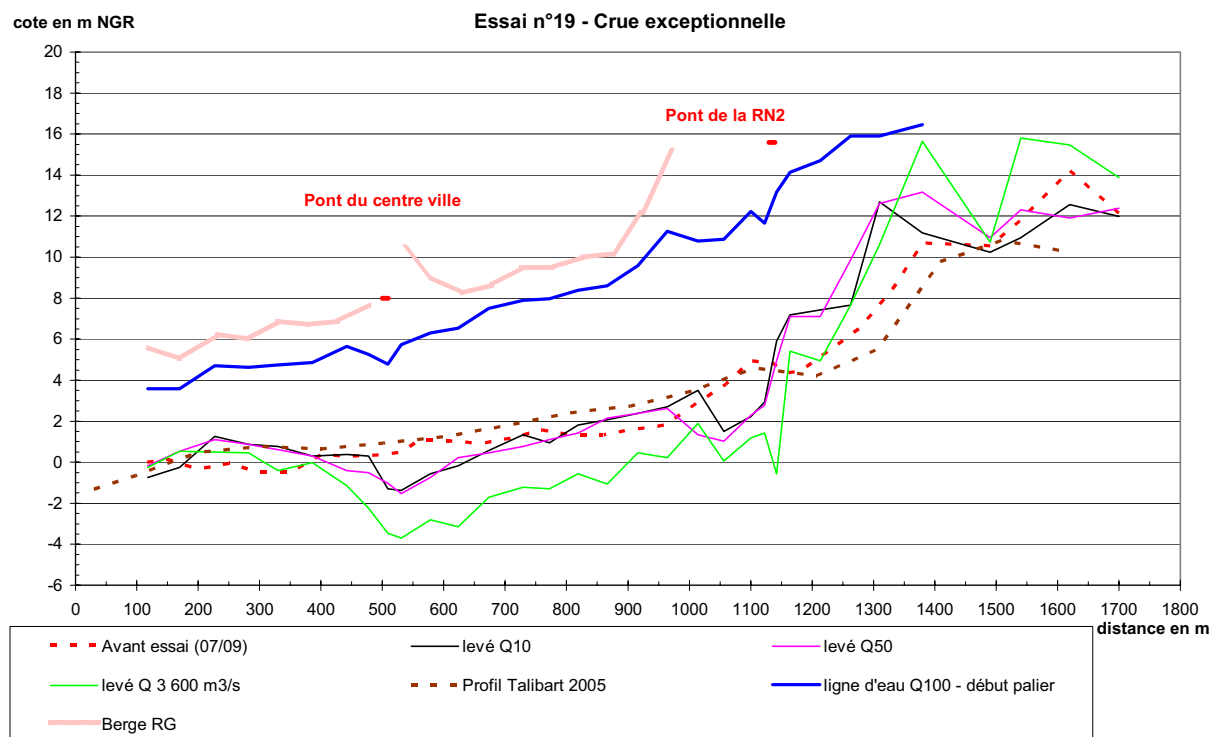


Il semble que les matériaux actuellement en place sur les berges de la rivière entre les 2 ponts sont constitués d'un mélange de blocs grossiers et d'éléments plus fins qui confère une bonne stabilité aux berges (aucun dommage n'a été constaté après le passage de Diwa). En conséquence, il n'est pas nécessaire de mettre en place des couches filtre pour le moment.



➤ **Rehausse des digues en rive gauche pour protéger le centre ville pour une crue centennale**

Le graphique ci-dessous présente la ligne d'eau mesurée sur le modèle pour le débit de crue centennale ( $Q_{100} = 2\,605\text{ m}^3/\text{s}$ ) ainsi que les berges après rehausse.



Le débordement observé pour ce même débit, avant aménagement, à l'aval du pont du centre ville n'a plus lieu. Les deux photos ci-dessous comparent les situations avant et après aménagement :



*Avant rehausse des digues*



*Après rehausse des digues*

Une légère rehausse a également été réalisée au droit de l'Impasse Leconte de Lisle ainsi que des profils P13 et P14 (au droit de la maternité) où l'écoulement arrivait en limite de débordement lors des essais précédents.

➤ **Mise en place d'un mur-digue en rive droite dans le méandre en amont du pont de la RN2**

Un mur-digue de 1.20 m de haut a été placé le long de la falaise en rive droite afin de contenir des débordements observés lors des essais précédents pour des débits supérieurs à  $Q_{100}$ .



Ce mur protège efficacement la RN2 d'être submergés, contrairement à ce qui était auparavant.

➤ **Mise en place d'un mur-digue autour du bâtiment CNR**

Un mur d'une hauteur de 2 m a été mis en place autour du bâtiment CNR comme le montre la photo ci-dessous :



Cette protection permet de maintenir le bâtiment hors d'eau jusqu'à la crue cinquantiennale.

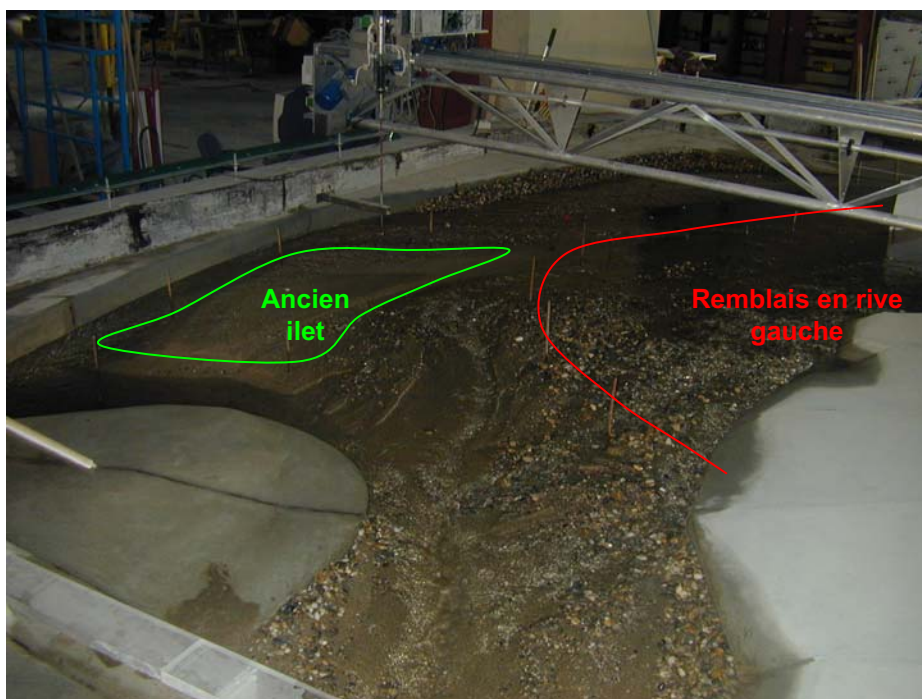
Un dossier photo illustre les éléments marquants observés lors de l'essai en *annexe 6*.

En ce qui concerne le secteur en amont du pont de la RN2 (plage de dépôt), les résultats sur le modèle présentent une forte similitude avec les observations réalisées après la crue causée par le cyclone Diwa en mars 2006.

Les photos ci-dessous présentent une vue du secteur amont depuis le pont de la RN2 :



*Photo prise après Diwa depuis le pont de la RN2*



*Vue du secteur amont après l'essai n°19*

La présence du remblai en rive gauche concentre l'écoulement en rive droite lors des crues et favorise l'érosion de la falaise en rive droite.

On note d'ailleurs que l'îlet qui se tenait auparavant dans le méandre a quasiment disparu, ce qu'on observe également sur le modèle physique.

Afin d'éviter une érosion accélérée de la falaise en rive droite et de l'intérieur du méandre, il est nécessaire de ne plus remblayer la rive gauche et par conséquent le signifier clairement au(x) responsable(s) des faits.

Il n'est à notre avis pas nécessaire d'enlever les remblais existants, la rivière va éroder cette zone au cours des prochaines crues. On peut éventuellement nettoyer la végétation ayant poussé sur la plateforme (enlever en particulier les plus gros arbres).

La réalisation d'un épi pour protéger la falaise en rive droite est déconseillée car il risquerait de modifier le fonctionnement de la plage de dépôt. D'autre part cet ouvrage ne résisterait pas aux crues (les modifications de ce secteur suite au cyclone Diwa en sont une bonne illustration) et ne serait donc pas efficace.

La crue survenue lors de Diwa a par ailleurs fortement modifié ce secteur et le lit paraît plus rectiligne (attaque moins vive de la falaise en rive droite).

Une expertise géologique nous paraît très utile pour évaluer la résistance des matériaux constitutifs de la falaise. Des enrochements peuvent également être mis en place en pied de falaise pour limiter son érosion.

## 7- ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des essais de calage.

Annexe 2 : Dossier photo – Débordements observés en fonction du débit – Essais avant aménagement.

Annexe 3 : Définition des aménagements à étudier – Courrier de la mairie de St-Benoît.

Annexe 4 : Dimensionnement des digues en rive gauche.

Annexe 5 : Dimensionnement de la digue basse en rive droite.

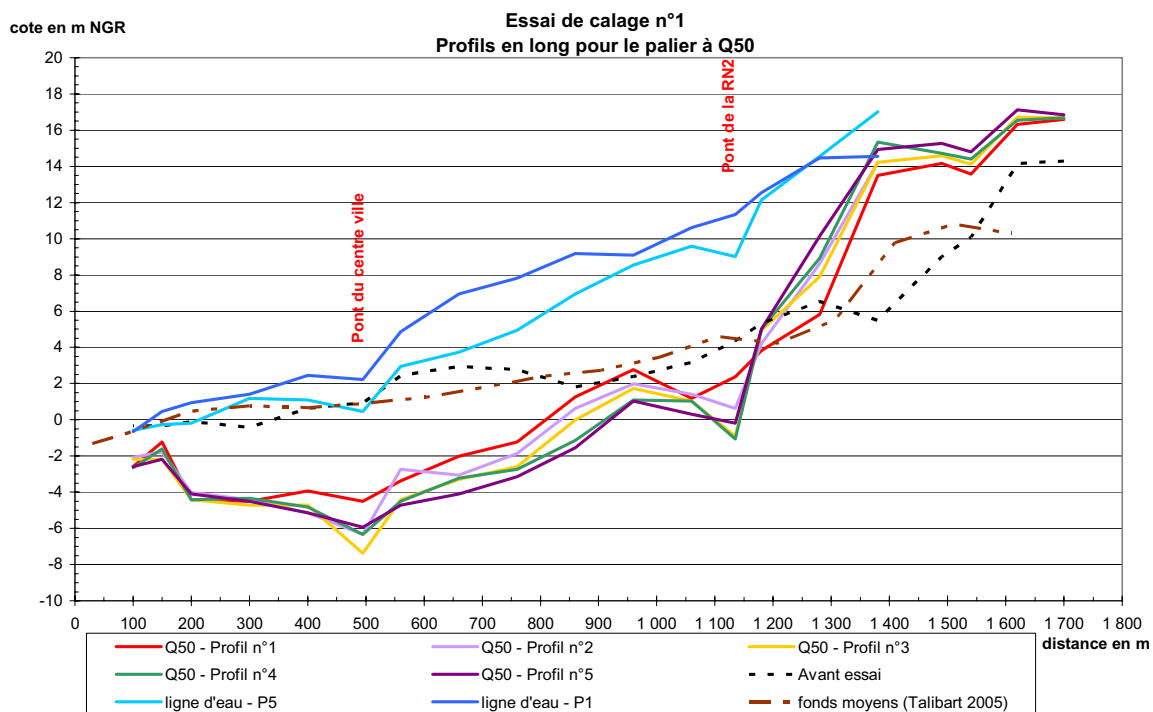
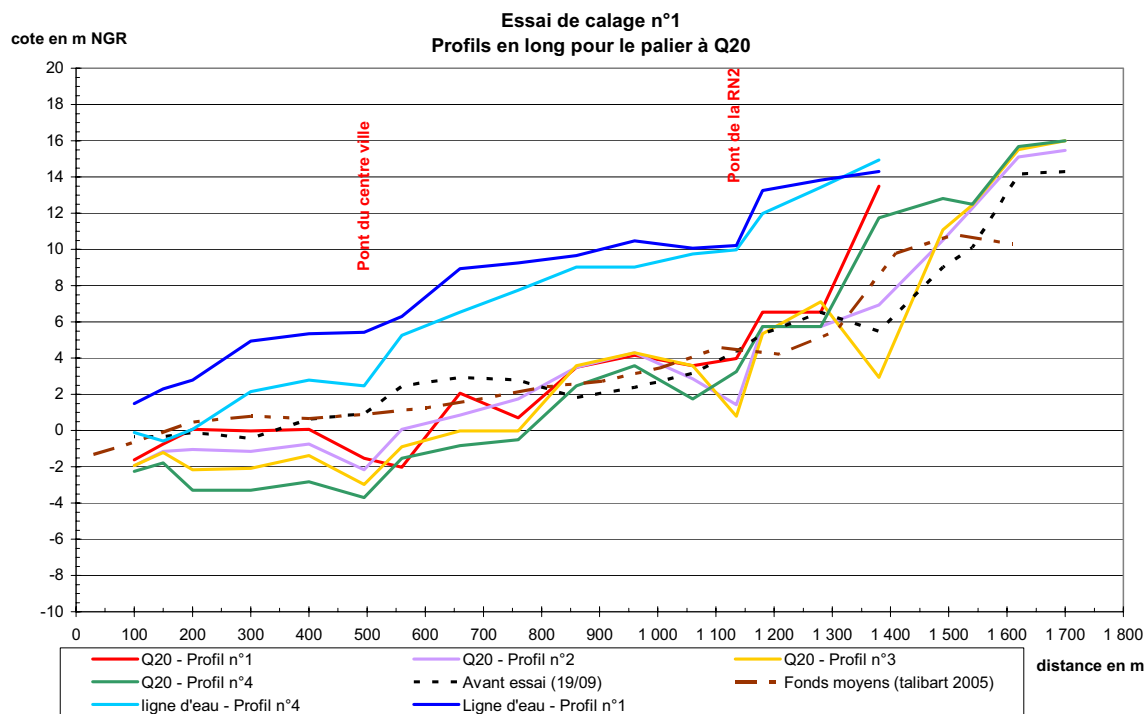
Annexe 6 : Dossier photo – Essai après aménagement.



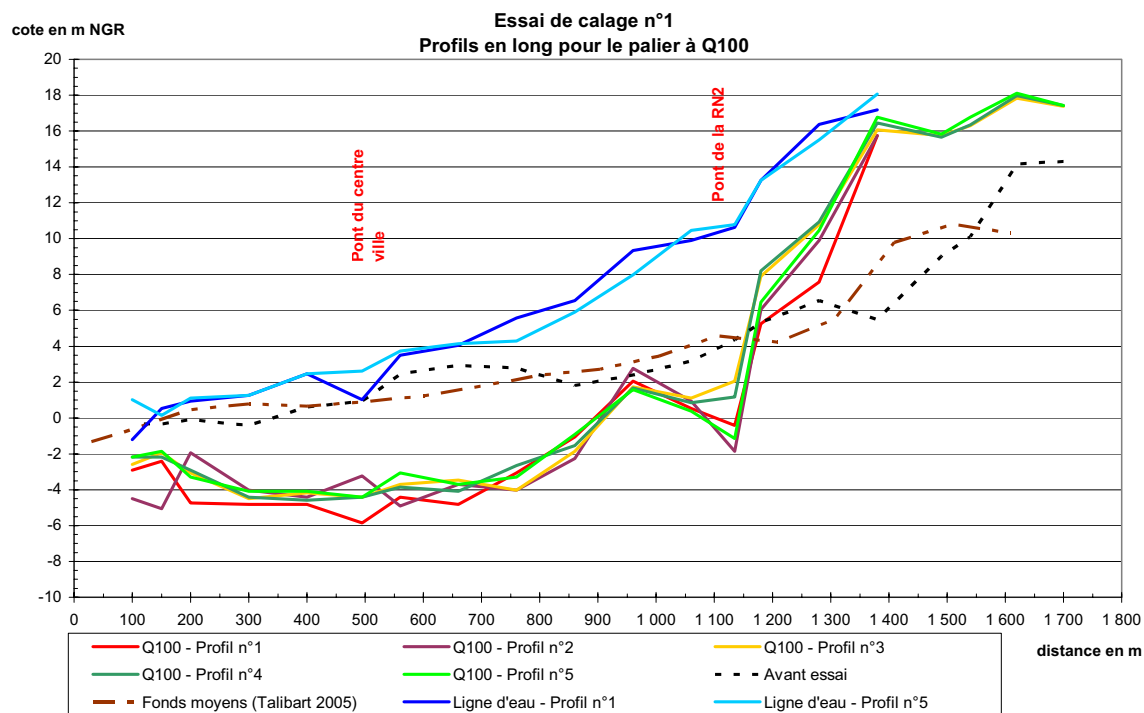
# **Annexe 1.**

## **Résultats des essais de calage**

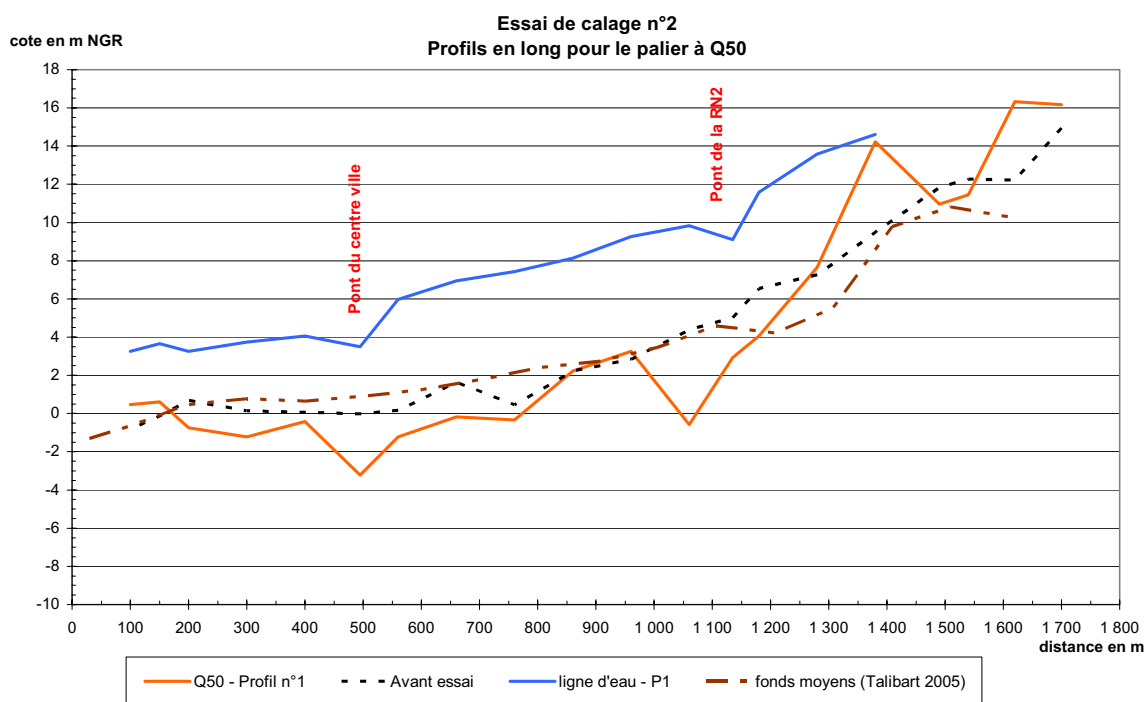
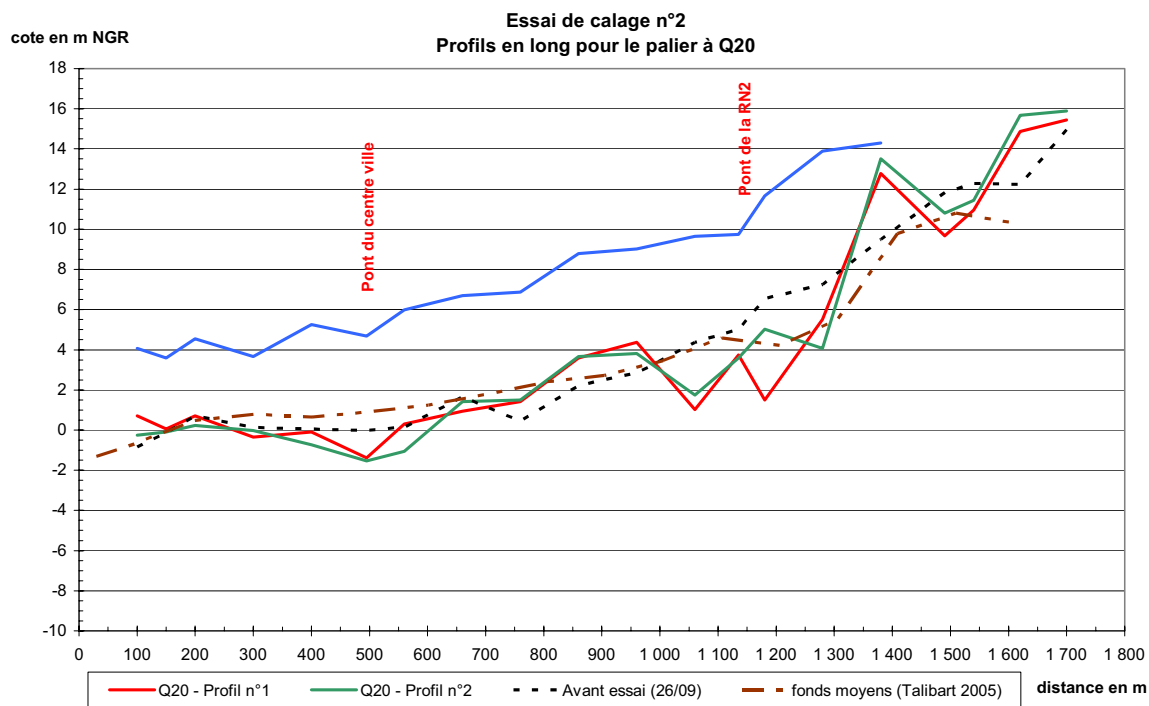
## Essai n°1

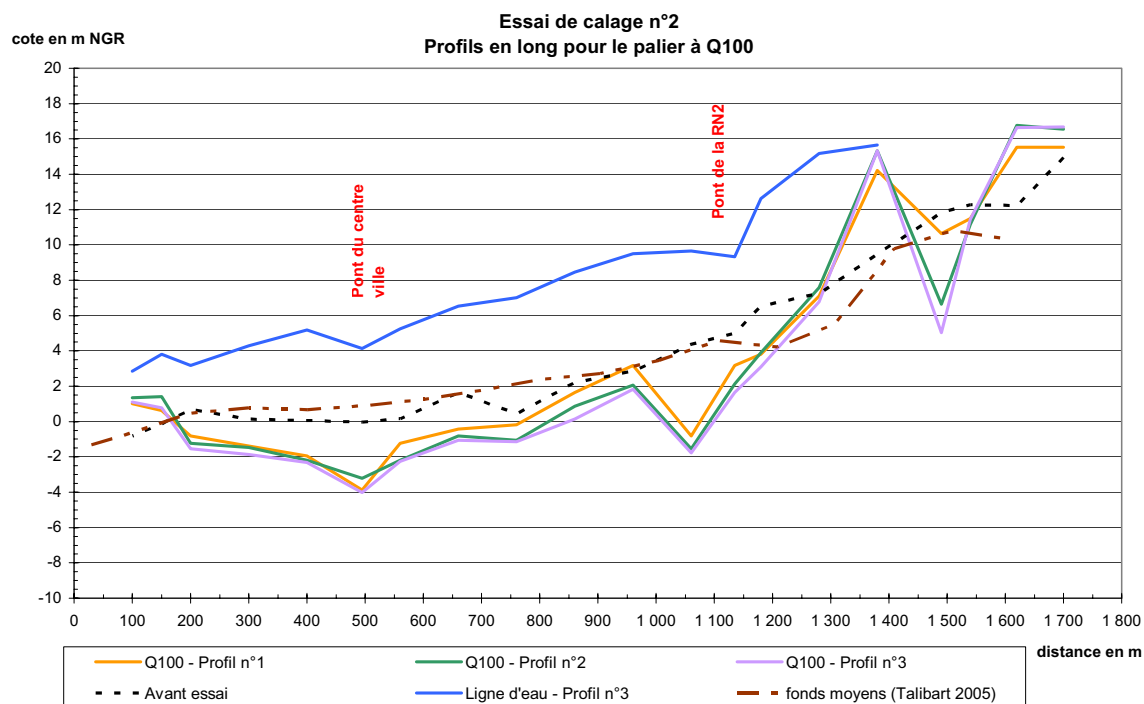




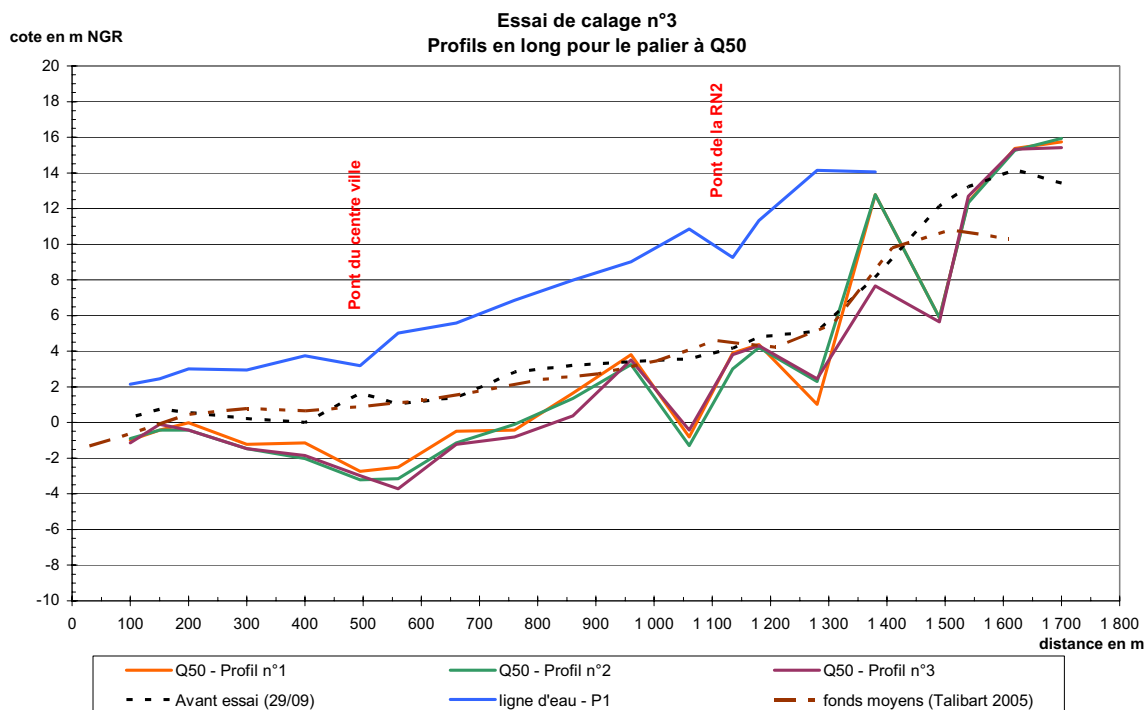
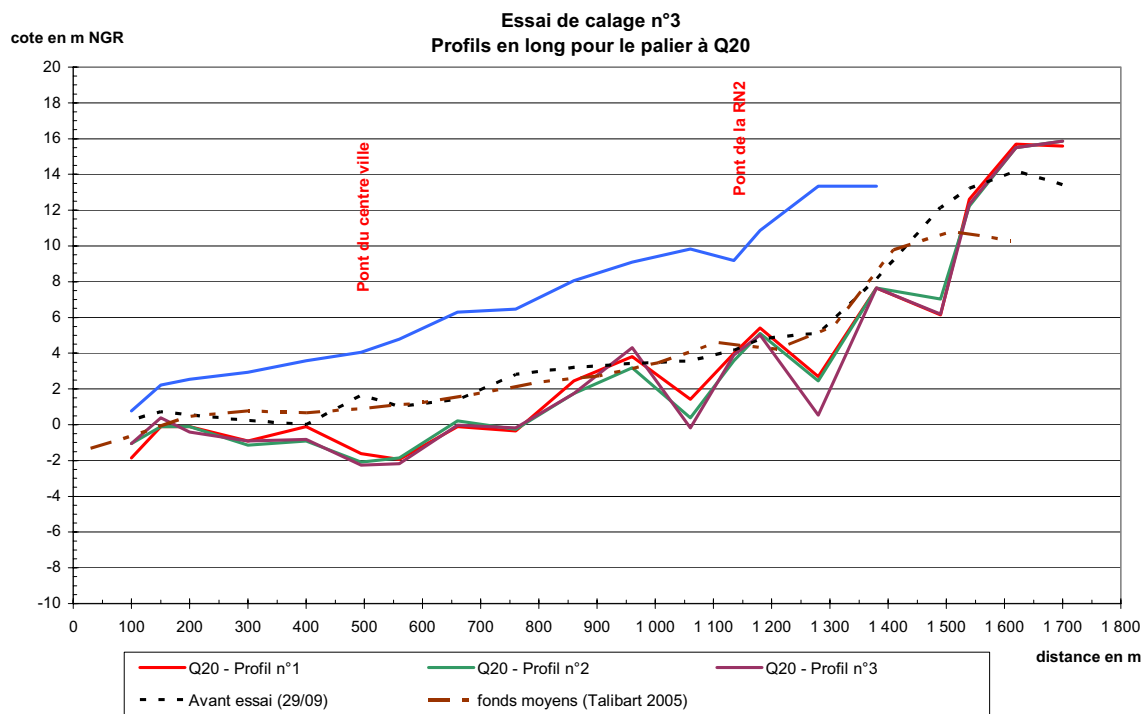


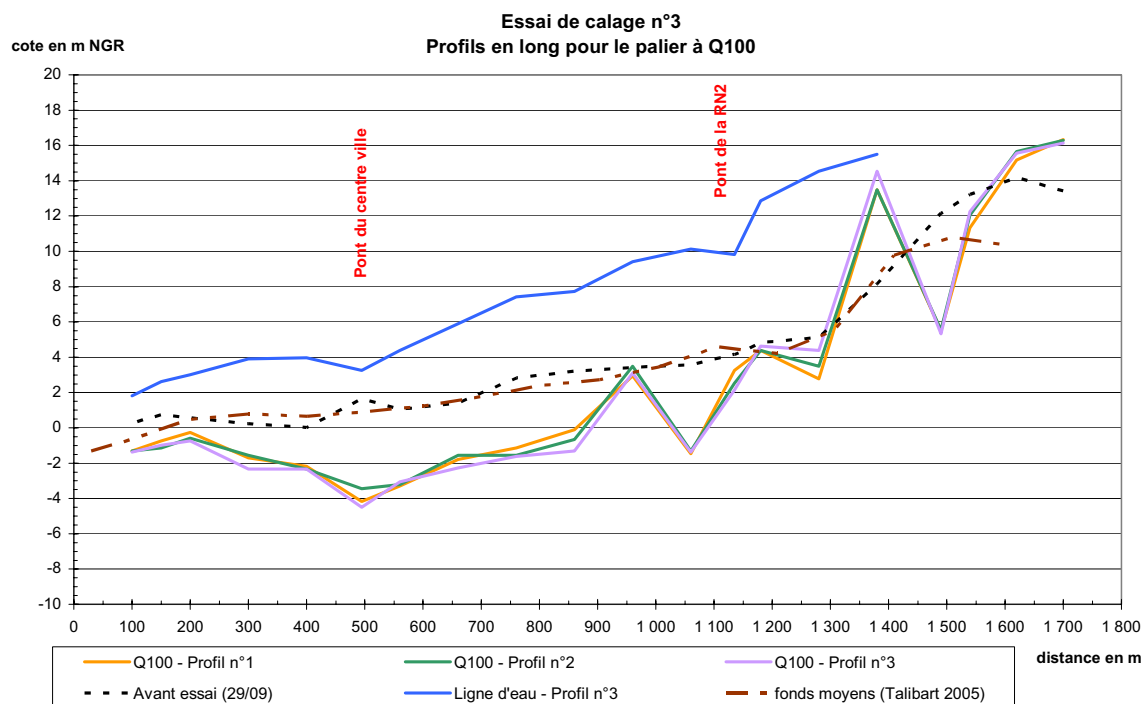
## Essai n°2





## Essai n°3



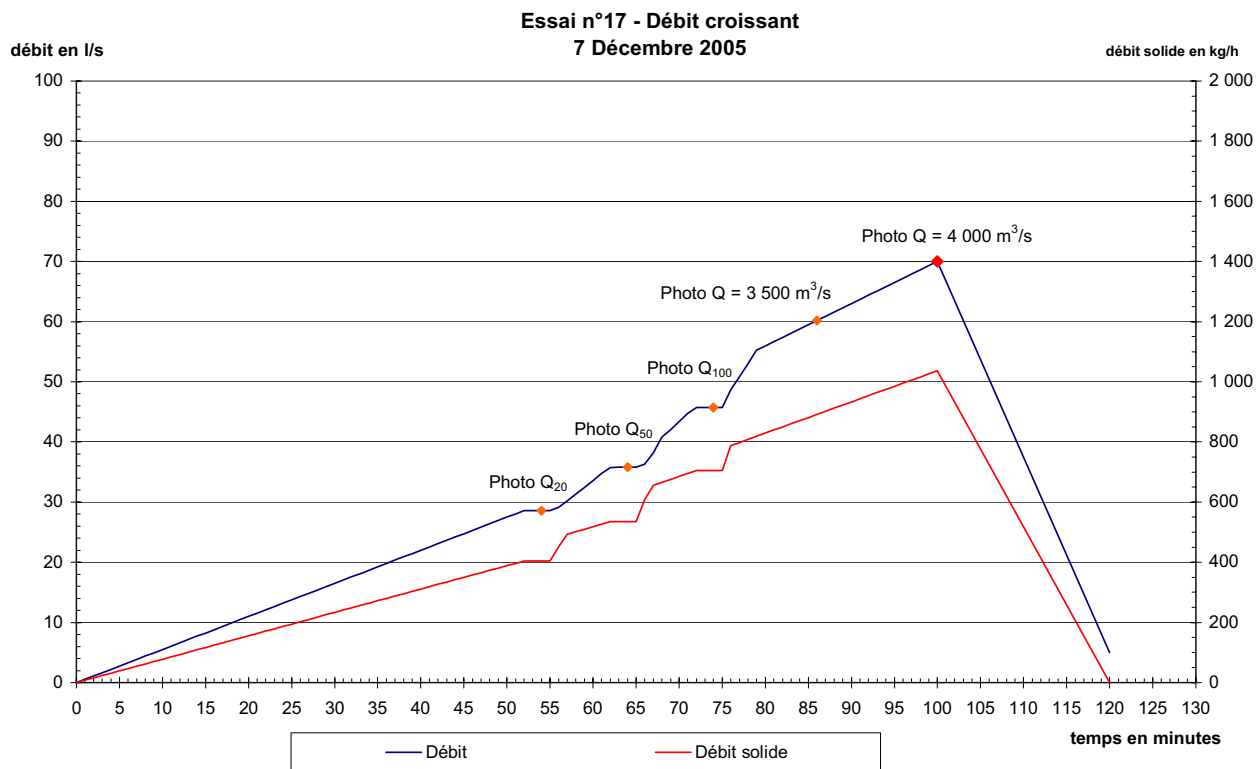


## **Annexe 2.**

# **Dossier photo – Débordements observés en fonction du débit – Essais avant aménagement**



Ce dossier présente des vues d'ensemble de la rivière des Marsouins dans le secteur du centre ville pour différentes crues caractéristiques. Le programme de l'essai réalisé est donné sur le graphe ci-dessous. Des points de repère indiquent les temps auxquelles ont été prises les photos présentées dans le rapport.

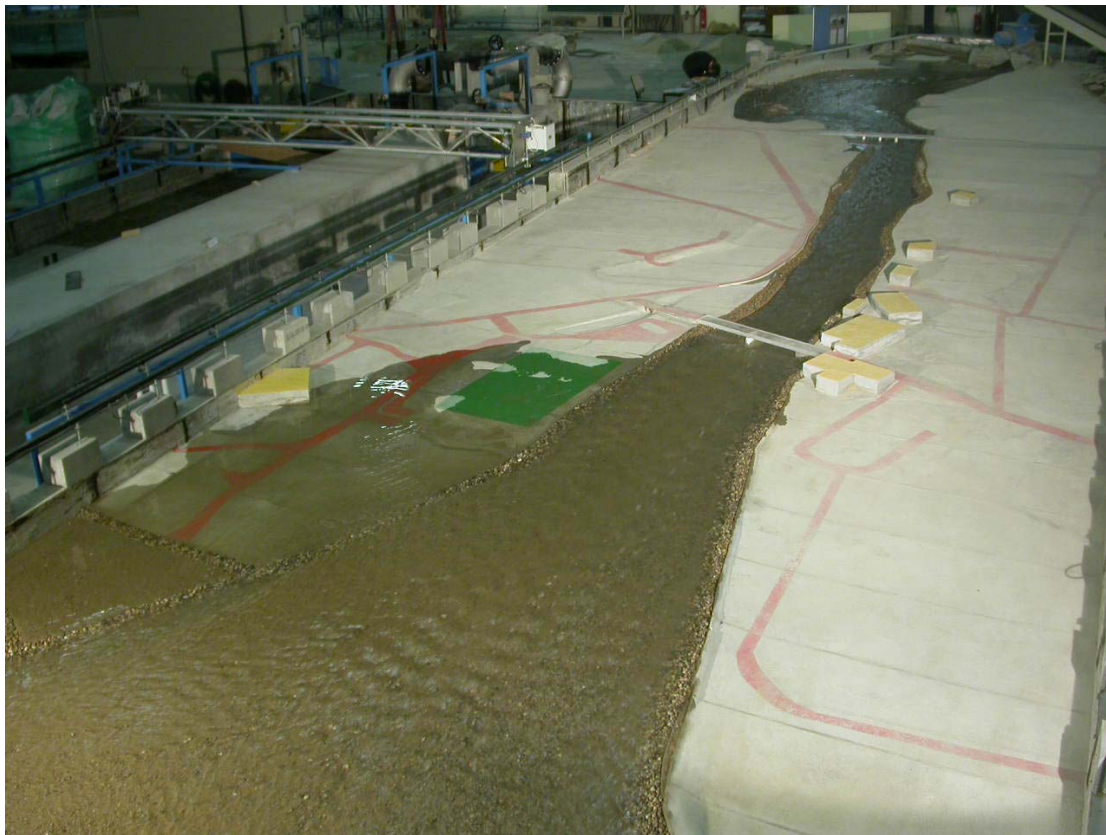


- $Q_{20} - 1\,630\text{ m}^3/\text{s}$



- Débordements sur la digue basse en RD à l'aval du stade ;
- Le conservatoire commence déjà à être touché par les eaux ;
- Limite de débordement en RD au niveau du jardin M. Ferrol.

•  $Q_{50} - 2\,055\text{ m}^3/\text{s}$



- Débordements généralisés sur la digue basse en RD à l'aval du pont du centre ville ;
- Début de débordement en RD au niveau du jardin M. Ferrol ;
- Début de débordement en RG à l'aval du pont du centre ville au droit du marché couvert (Cf. photo ci-dessous)





- $Q_{100} - 2\,605\text{ m}^3/\text{s}$



- Le secteur du Ludoparc ainsi que le stade sont totalement submergés ;
- Débordement en RD au niveau du jardin M. Ferrol ;
- Débordement en RD au niveau de la rue J. Hubert ;
- Débordement en RG à l'aval du pont du centre ville au droit du marché couvert ;
- Limite de débordement en RG entre la sous préfecture et la maternité ;
- Limite de débordement dans le méandre en RG en aval du pont de la RN2 (propriété de M. Martin).





- $Q = 3\,500\text{ m}^3/\text{s}$



- Le secteur du Ludoparc ainsi que le stade sont totalement submergés ;
- Débordement en RD au niveau du jardin M. Ferrol ;
- Débordement en RD au niveau de la rue J. Hubert ;
- Débordement en RG à l'aval du pont du centre ville au droit du marché couvert ;
- Débordement en RG entre la sous préfecture et la maternité ;
- Débordement dans le méandre en RG en aval du pont de la RN2 (propriété de M. Martin).



- $Q = 4\,000\text{ m}^3/\text{s}$



- Débordements importants dans le méandre en RG en aval du pont de la RN2;
- Le pont de la RN2 est pratiquement en charge.

## **Annexe 3.**

# **Définition des aménagements à étudier Courrier de la mairie de St-Benoît**



direction des services techniques

Monsieur le Directeur de BRL / CNR  
Résidence La Falaise  
87, rue de la caverne  
97460 SAINT-PAUL

A l'attention de MM. BOYER / ROUX

DIRECTION DE L'EAU ET DE L'ELECTRIFICATION RURALE

N / RÉF : 001056 /2006/MB/a/

OBJET : Avis sur les aménagements préconisés

Affaire suivie par M. Mickael BOYER

Saint-Benoît le 12 JUIN 2006

Monsieur le Directeur,

A l'issue de la phase 2, les éléments présentés lors de la modélisation mathématique nous avaient amené à retenir l'aménagement pour favoriser l'écoulement par le bras de décharge. Au vu des résultats de la modélisation physique, le pont Georges Pompidou n'étant pas mis en charge, il n'est plus nécessaire de préserver l'aménagement du déversoir latéral. Cependant et avec l'expérience du plan ORSEC, nous souhaitons malgré tout, préserver cet aménagement.

De plus, il n'est pas fait non plus mention de la digue protégeant le CNR, cet aménagement est également à maintenir.

Enfin, concernant le secteur entre les 2 ponts et le retour aval, nous sommes d'accord pour les aménagements mentionnés.

Entre les 2 ponts :

- rehausse et uniformisation des digues en rive gauche pour protéger le centre ville contre l'aléa centennal,
- mise en place de couche filtre en pied de berge.

Pour le secteur aval :

- rehausse de la digue en rive gauche pour protéger la ville contre la crue centennale,
- mise en place d'une digue pour protéger le ludoparc contre un aléa vingtenale.

En prenant compte toutes ces indications, nous souhaiterions que vous fassiez les tests avec ces aménagements de façon à compléter le film de présentation.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes sincères salutations.

Bertho AUDIFAX  
Député Maire



Rue Georges Pompidou - BP 61 - 97470 Saint-Benoît - Ile de La Réunion  
Tél. 02 62 50 98 50 - Télécopie 02 62 50 98 01



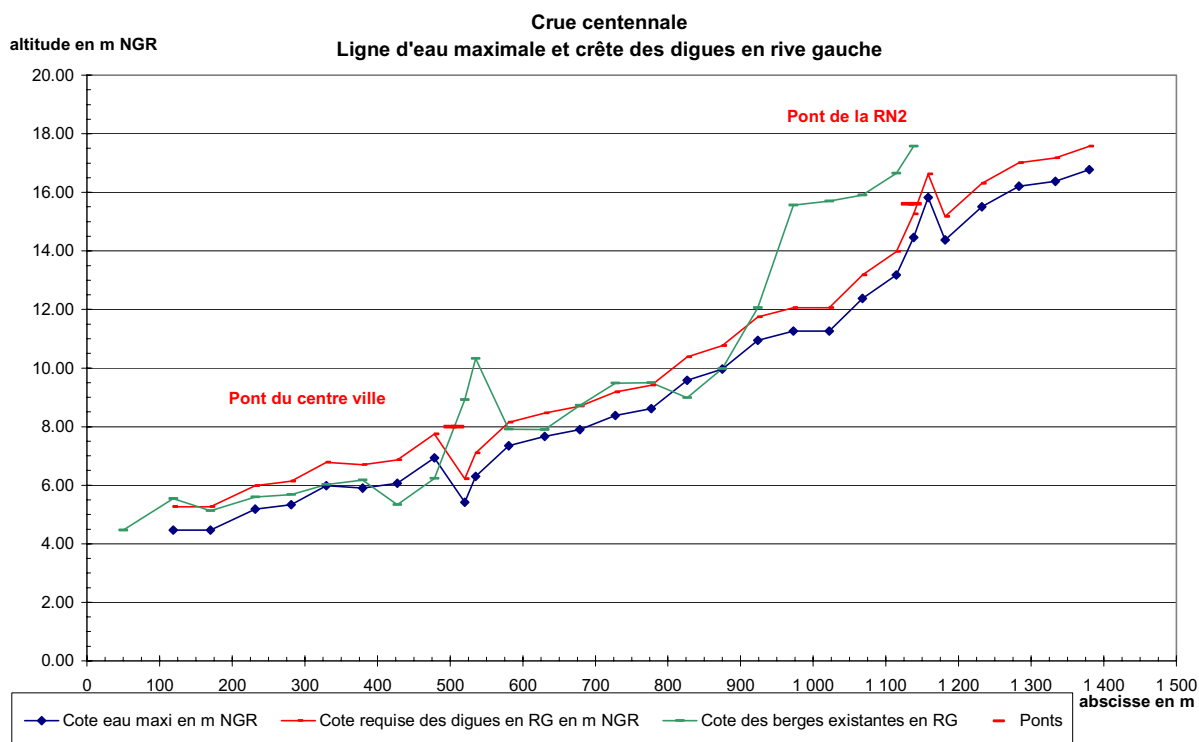


## **Annexe 4.**

# **Dimensionnement des digues en rive gauche**

| Profils | Abscisse<br>linéaire en m | Numéro<br>du Point | Distance<br>(m) | Essai 5<br>Cote eau<br>(m NGR) | Essai 12<br>Cote eau<br>(m NGR) | Essai 15<br>Cote eau<br>(m NGR) | Essai 13<br>Cote eau<br>(m NGR) | Essai 14<br>Cote eau<br>(m NGR) | Cote eau<br>maxi en m<br>NGR | Cote requise des<br>digues en RG en<br>m NGR | Cote des digues<br>existantes en RG<br>en m NGR |
|---------|---------------------------|--------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| P35     | 1 700                     |                    |                 |                                |                                 |                                 |                                 |                                 |                              | revanche en m:                               |                                                 |
| P34     | 1 620                     |                    |                 |                                |                                 |                                 |                                 |                                 |                              | 0.80                                         |                                                 |
| P33     | 1 540                     |                    |                 |                                |                                 |                                 |                                 |                                 |                              |                                              |                                                 |
| P32     | 1 490                     |                    |                 |                                |                                 |                                 |                                 |                                 |                              |                                              |                                                 |
| P31     | 1 380                     | 1                  | 0               | 14.54                          | 16.78                           | 16.70                           | 16.06                           | 15.90                           | 16.78                        | 17.58                                        |                                                 |
| P30     | 1 333                     | 2                  | 46.7            |                                | 16.06                           | 16.14                           | 16.37                           | 16.29                           | 16.37                        | 17.17                                        |                                                 |
| P29     | 1 283                     | 3                  | 96.67           | 15.02                          | 16.21                           | 15.34                           | 16.21                           | 15.50                           | 16.21                        | 17.01                                        |                                                 |
| P28     | 1 232                     | 4                  | 147.9           |                                | 15.50                           | 14.70                           | 15.10                           | 14.70                           | 15.50                        | 16.30                                        |                                                 |
| P27     | 1 182                     | 5                  | 198.38          | 12.78                          | 14.38                           | 14.14                           | 14.30                           | 14.30                           | 14.38                        | 15.18                                        |                                                 |
| P26     | 1 158                     | 6                  | 221.6           |                                | 14.06                           | 13.74                           | 15.82                           | 13.42                           | 15.82                        | 16.62                                        |                                                 |
| P25     | 1 138                     | 7                  | 241.99          | 11.18                          | 14.46                           | 13.82                           | 13.34                           | 11.50                           | 14.46                        | 15.26                                        | 17.57                                           |
| P24     | 1 115                     | 8                  | 265.48          |                                | 13.18                           | 12.62                           | 13.02                           | 11.90                           | 13.18                        | 13.98                                        | 16.65                                           |
| P23     | 1 068                     | 9                  | 312.23          | 11.82                          | 11.98                           | 11.18                           | 12.38                           | 11.18                           | 12.38                        | 13.18                                        | 15.91                                           |
| P22     | 1 022                     | 10                 | 357.95          |                                | 11.02                           | 11.18                           | 11.26                           | 10.94                           | 11.26                        | 12.06                                        | 15.70                                           |
| P21     | 973                       | 11                 | 407.37          | 10.46                          | 10.30                           | 11.26                           | 10.62                           | 10.62                           | 11.26                        | 12.06                                        | 15.56                                           |
| P20     | 923                       | 12                 | 456.57          |                                | 9.97                            | 10.94                           | 9.58                            | 10.22                           | 10.94                        | 11.74                                        | 12.06                                           |
| P19     | 875                       | 13                 | 505.2           | 9.26                           | 9.58                            | 9.97                            | 9.74                            | 9.58                            | 9.97                         | 10.77                                        | 9.98                                            |
| P18     | 826                       | 14                 | 553.6           |                                | 9.02                            | 9.58                            | 8.06                            | 8.85                            | 9.58                         | 10.38                                        | 8.99                                            |
| P17     | 777                       | 15                 | 603.15          | 8.30                           | 8.62                            | 8.38                            | 8.22                            | 8.46                            | 8.62                         | 9.42                                         | 9.50                                            |
| P16     | 727                       | 16                 | 652.52          |                                | 8.22                            | 8.30                            | 8.38                            | 8.06                            | 8.38                         | 9.18                                         | 9.48                                            |
| P15     | 679                       | 17                 | 701.26          | 7.50                           | 7.82                            | 7.90                            | 7.58                            | 7.82                            | 7.90                         | 8.70                                         | 8.72                                            |
| P14     | 630                       | 18                 | 749.73          |                                | 7.34                            | 7.66                            | 7.10                            | 7.26                            | 7.66                         | 8.46                                         | 7.90                                            |
| P13     | 581                       | 19                 | 799.5           | 7.18                           | 6.30                            | 7.34                            | 6.86                            | 6.62                            | 7.34                         | 8.14                                         | 7.91                                            |
| P12     | 535                       | 20                 | 844.74          |                                | 5.98                            | 6.30                            | 5.18                            | 5.58                            | 6.30                         | 7.10                                         | 10.32                                           |
| P11     | 520                       | 21                 | 859.68          | 4.62                           | 5.42                            | 5.26                            | 5.34                            | 5.18                            | 5.42                         | 6.22                                         | 8.92                                            |
| P10     | 478                       | 22                 | 901.74          |                                | 6.30                            | 6.94                            | 5.26                            | 5.34                            | 6.94                         | 7.74                                         | 6.23                                            |
| P9      | 428                       | 23                 | 952.49          | 5.26                           | 5.42                            | 6.06                            | 5.34                            | 5.90                            | 6.06                         | 6.86                                         | 5.33                                            |
| P8      | 379                       | 24                 | 1000.51         |                                | 5.26                            | 5.90                            | 4.30                            | 5.10                            | 5.90                         | 6.70                                         | 6.18                                            |
| P7      | 330                       | 25                 | 1050.41         | 4.86                           | 4.78                            | 5.98                            | 4.54                            | 5.18                            | 5.98                         | 6.78                                         | 6.02                                            |
| P6      | 281                       | 26                 | 1098.81         |                                | 4.69                            | 5.34                            | 4.30                            | 4.78                            | 5.34                         | 6.14                                         | 5.68                                            |
| P5      | 232                       | 27                 | 1148.47         | 4.14                           | 4.30                            | 5.18                            | 4.14                            | 4.62                            | 5.18                         | 5.98                                         | 5.60                                            |
| P4      | 170                       | 28                 | 1210.01         | 3.34                           | 3.66                            | 4.46                            | 3.58                            | 4.14                            | 4.46                         | 5.26                                         | 5.13                                            |
| P3      | 119                       | 29                 | 1260.84         | 3.34                           | 3.66                            | 4.46                            | 3.58                            | 4.14                            | 4.46                         | 5.26                                         | 5.54                                            |

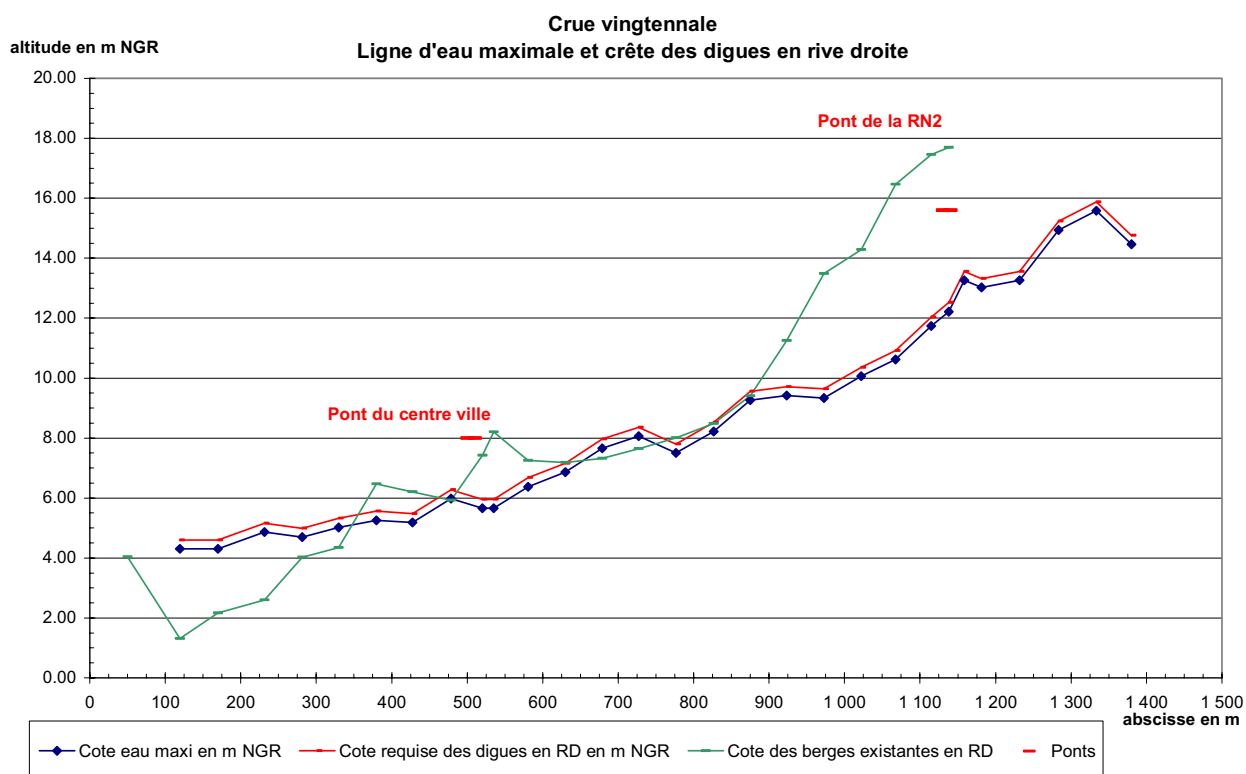




# **Annexe 5.**

## **Dimensionnement de la digue basse en rive droite**

| Profils | Abscisse en m | Numéro du Point | Distance (m) | Essai 5<br>Cote eau (m NGR) | Essai 8<br>Cote eau (m NGR) | Essai 13<br>Cote eau (m NGR) | Essai 14<br>Cote eau (m NGR) | Cote eau maxi en m NGR | Cote requise des digues en RD en m NGR | Cote des digues existantes en RD en m NGR |
|---------|---------------|-----------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| P35     | 1 700         |                 |              |                             |                             |                              |                              |                        | revanche en m:                         |                                           |
| P34     | 1 620         |                 |              |                             |                             |                              |                              |                        | 0.30                                   |                                           |
| P33     | 1 540         |                 |              |                             |                             |                              |                              |                        |                                        |                                           |
| P32     | 1 490         |                 |              |                             |                             |                              |                              |                        |                                        |                                           |
| P31     | 1 380         | 1               | 0            |                             | 13.58                       | 14.38                        | 13.82                        | 14.38                  | 14.68                                  |                                           |
| P30     | 1 333         | 2               | 46.7         |                             | 13.74                       | 15.58                        | 14.70                        | 15.58                  | 15.88                                  |                                           |
| P29     | 1 283         | 3               | 96.67        |                             | 14.94                       | 13.74                        | 13.42                        | 14.94                  | 15.24                                  |                                           |
| P28     | 1 232         | 4               | 147.9        |                             | 12.46                       | 13.26                        | 12.54                        | 13.26                  | 13.56                                  |                                           |
| P27     | 1 182         | 5               | 198.38       |                             | 11.50                       | 13.02                        | 12.30                        | 13.02                  | 13.32                                  |                                           |
| P26     | 1 158         | 6               | 221.6        |                             | 11.02                       | 13.02                        | 11.66                        | 13.02                  | 13.32                                  |                                           |
| P25     | 1 138         | 7               | 241.99       |                             | 9.50                        | 12.22                        | 10.46                        | 12.22                  | 12.52                                  |                                           |
| P24     | 1 115         | 8               | 265.48       |                             | 9.66                        | 11.74                        | 10.78                        | 11.74                  | 12.04                                  |                                           |
| P23     | 1 068         | 9               | 312.23       |                             | 9.02                        | 10.62                        | 10.30                        | 10.62                  | 10.92                                  |                                           |
| P22     | 1 022         | 10              | 357.95       |                             | 8.62                        | 10.06                        | 9.58                         | 10.06                  | 10.36                                  |                                           |
| P21     | 973           | 11              | 407.37       |                             | 8.54                        | 9.34                         | 9.18                         | 9.34                   | 9.64                                   |                                           |
| P20     | 923           | 12              | 456.57       |                             | 7.34                        | 9.42                         | 9.34                         | 9.42                   | 9.72                                   |                                           |
| P19     | 875           | 13              | 505.2        |                             | 7.82                        | 9.26                         | 8.62                         | 9.26                   | 9.56                                   |                                           |
| P18     | 826           | 14              | 553.6        |                             | 7.18                        | 8.06                         | 8.22                         | 8.22                   | 8.52                                   |                                           |
| P17     | 777           | 15              | 603.15       |                             | 7.02                        | 7.34                         | 7.50                         | 7.50                   | 7.80                                   |                                           |
| P16     | 727           | 16              | 652.52       |                             | 6.38                        | 7.18                         | 8.06                         | 8.06                   | 8.36                                   |                                           |
| P15     | 679           | 17              | 701.26       |                             | 6.94                        | 6.54                         | 7.66                         | 7.66                   | 7.96                                   |                                           |
| P14     | 630           | 18              | 749.73       |                             | 5.66                        | 6.54                         | 6.54                         | 6.54                   | 6.84                                   |                                           |
| P13     | 581           | 19              | 799.5        |                             | 5.18                        | 5.58                         | 6.38                         | 6.38                   | 6.68                                   |                                           |
| P12     | 535           | 20              | 844.74       |                             | 5.10                        | 5.10                         | 5.34                         | 5.34                   | 5.64                                   |                                           |
| P11     | 520           | 21              | 859.68       |                             | 3.82                        | 4.94                         | 4.46                         | 4.94                   | 5.24                                   | 7.42                                      |
| P10     | 478           | 22              | 901.74       |                             | 4.94                        | 5.74                         | 5.90                         | 5.90                   | 6.20                                   | 5.93                                      |
| P9      | 428           | 23              | 952.49       |                             | 4.21                        | 4.46                         | 5.18                         | 5.18                   | 5.48                                   | 6.20                                      |
| P8      | 379           | 24              | 1000.51      |                             | 4.30                        | 3.66                         | 4.62                         | 4.62                   | 4.92                                   | 6.47                                      |
| P7      | 330           | 25              | 1050.41      |                             | 3.82                        | 3.34                         | 4.21                         | 4.21                   | 4.51                                   | 4.34                                      |
| P6      | 281           | 26              | 1098.81      |                             | 3.58                        | 3.18                         | 4.06                         | 4.06                   | 4.36                                   | 4.02                                      |
| P5      | 232           | 27              | 1148.47      |                             | 3.82                        | 2.94                         | 4.14                         | 4.14                   | 4.44                                   | 2.60                                      |
| P4      | 170           | 28              | 1210.01      |                             | 3.18                        | 2.78                         | 3.66                         | 3.66                   | 3.96                                   | 2.16                                      |
| P3      | 119           | 29              | 1260.84      |                             | 3.18                        | 2.78                         | 3.66                         | 3.66                   | 3.96                                   | 1.32                                      |



## **Annexe 6.**

# **Dossier photo - Essai après aménagements**

- $Q_{20} - 1\,630\text{ m}^3/\text{s}$



- Aucun débordement sur la digue basse en RD à l'aval du stade, celui-ci s'amorce pour un débit de l'ordre de  $1\,800\text{ m}^3/\text{s}$  comme on peut le voir sur la photo ci-dessous :



- $Q_{50} - 2\,055\text{ m}^3/\text{s}$

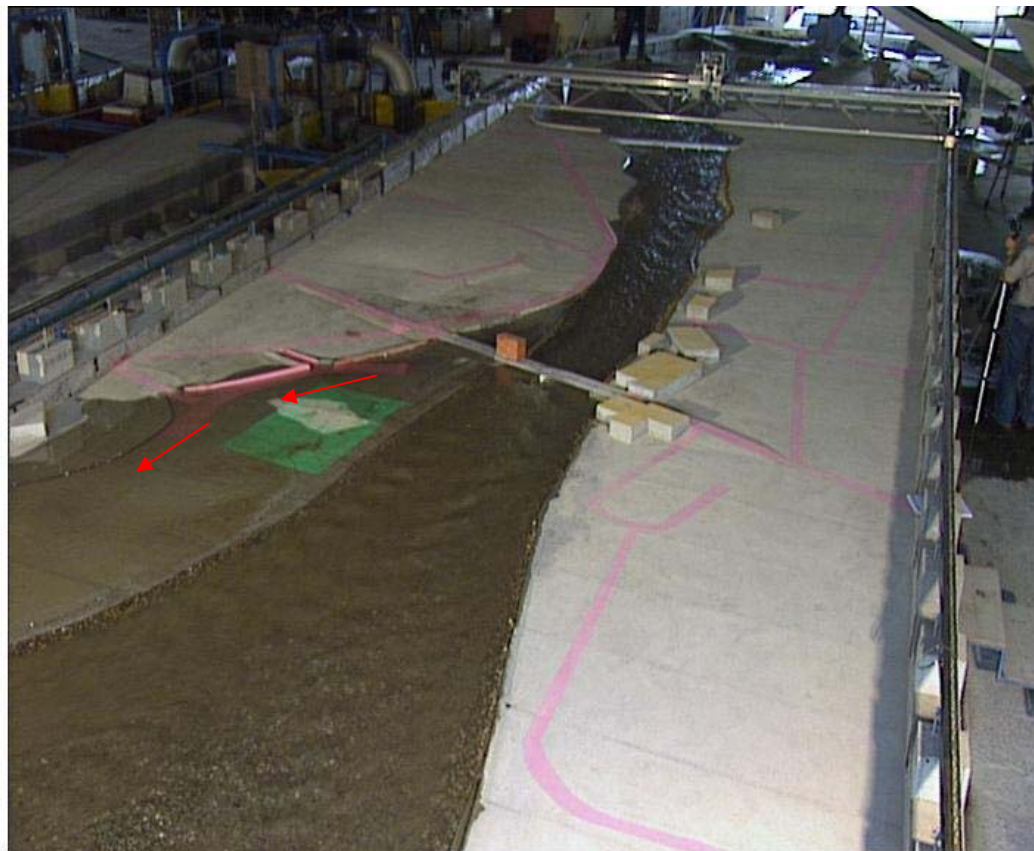


- Débordements en plusieurs points sur la digue basse en RD à l'aval du pont du centre ville ;
- Début de débordement en RD au niveau du jardin M. Ferrol ;





- $Q_{100} - 2\,605\text{ m}^3/\text{s}$



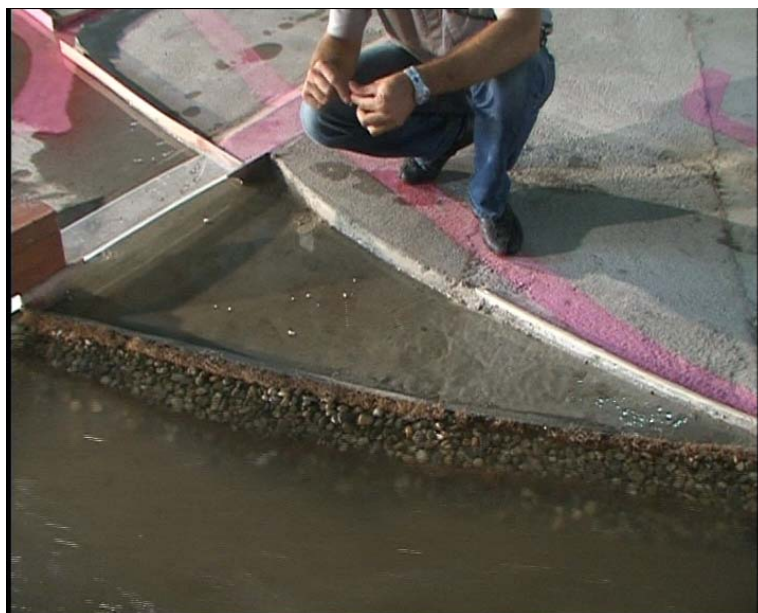
- Le secteur du Ludoparc est totalement submergés ;
- Débordement en RD au niveau du jardin M. Ferrol et écoulement par le couloir de crue ;
- Aucun débordement observé en RG à l'aval du pont du centre ville au droit du marché couvert ;
- Limite de débordement dans le méandre en RG en aval du pont de la RN2 (propriété de M. Martin).



- Déversement sur la digue basse et sur le déversoir latéral :



- Estimation des vitesses dans le couloir de crue :





- $Q = 3\,200 \text{ à } 3\,600 \text{ m}^3/\text{s}$



- Le secteur du Ludoparc ainsi que le stade sont totalement submergés ;
- Débordement en RD au niveau du jardin M. Ferrol ;
- Débordement en RD au niveau de la rue J. Hubert ;
- Légers débordements en RG à l'aval du pont du centre ville au droit du marché couvert ;
- Légers débordements en RG entre la sous préfecture et la maternité ;
- Débordement dans le méandre en RG en aval du pont de la RN2 (propriété de M. Martin).

