MC1 - ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

ANNEXE 1 – ANNEXES DE L'ÉTUDE HYDRAULIQUE DE LA RIVIÈRE DES MARSOUINS

RRTG EST – AMÉNAGEMENT DE LA RN2 ENTRE L'ÉCHANGEUR BOURBIER ET LE GIRATOIRE DES PLAINES A SAINT-BENOIT

29 avril 2019

V1

Région Réunion

DGA GRANDS CHANTIERS TRANSPORTS ET DÉPLACEMENTS

Direction des Transports et des Déplacements

#RÉGIONRÉUNION

PILIER 2 ENGAGER

LA 2ÈME GÉNÉRATION DES GRANDS CHANTIERS

UNION EUROPEENNE

Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s)	CL-CC
Volume du document	MC1 – Étude préliminaire / Mémoire techniqueMémoire technique / Annexe 1 – Etude hydraulique de la rivière des Marsouins
Version	V1
Référence	EVT / VRU 17 0023 – MOe RRTG RN2 St-Benoît / MC1
Numéro CRM	RONL011
Chrono	1

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
Vx	xx-xx-2019	Nom	Nom	xx

DESTINATAIRES

Nom	Entité
Cédric MAULAVE	Région Réunion / DGCTD / DTD
Jean-Philippe DESBY	xx
Nom	xx

SOMMAIRE

5 - ANNEXES 5

5.1 - Annexe 1 – Annexes de l'étude hydraulique de la rivière des Marsouins 5

5.1.1 - Document 1 : Aménagements de protection contre les crues de la Rivière des Marsouins 5

5.1.1.1 - Phase 1 : Synthèse et analyse des données existantes 5

5.1.1.2 - Phase 2 : Étude de faisabilité des mesures de protection sur le secteur aval 6

5.1.1.3 - Phase 3 : Étude de faisabilité de la mise en place d'un système d'annonce de crues sur la Rivière des Marsouins 6

5.1.1.4 - Phase 4 : Conception et construction du modèle physique 7

5.1.1.5 - Phase 5 : Analyse des résultats des essais sur modèle physique 8

5.1.1.6 - Phase 6 : Synthèse et présentation des aménagements 11

5.1.2 - Documents 2 : Mission de maîtrise d'œuvre relative à la protection contre les crues de la Rivière des Marsouins (EGIS EAU / SAFEGE / CNR / YCP (2010)) 12

5.1.2.1 - Validation des études préliminaires (EP) : Diagnostic géomorphologique 12

5.1.2.2 - Note d'avancement sur le modèle Pluie-Débit : Constitution des hydrogrammes de crue 13

5.1.2.3 - Dispositif d'annonce de crue 13

5.1.2.4 - Étude de calage et de dimensionnement hydraulique 14

5.1.2.5 - Rapport de la phase projet 17

5.1.3 - Hydrogrammes de crue 18

5.1.4 - Données Banque Hydro 21

5.1.5 - Évolution des profils en travers entre 2009 et 2018 28

5.1.6 - Profils en long des différents essais réalisés en 2006 28

5.1.7 - Données granulométriques de la Rivière des Marsouins 30

RÉFÉRENCES

Figure 1 : DOCUMENT 1 - Aménagements de protection contre les crues de la Rivière des Marsouins 5

Figure 2 : Données hydrologiques et hydrauliques 7

Figure 3 : Valeurs des D50 et SDmoyen déterminées lors des prélèvements 8

Figure 4 : Description des essais 8

Figure 5 : Description des essais 9

Figure 6 : Valeurs des D50 et SDmoyen déterminées lors des prélèvements 9

Figure 7 : Résultats des trois premiers tests de calage 10

Figure 8 : DOCUMENT 2 – mission de maîtrise d'œuvre relative à la protection contre les crues de la rivière des Marsouins 12

Figure 9 : Récapitulatif du coût des travaux 14

Figure 10 : Débits de pointe RÉFÉRENCE calculés au pont Pompidou 15

Figure 11 : Variation des hydrogrammes entre l'étude BRL 2006 et Egis 2010 15

Figure 12 : Données topographiques disponibles 15

Figure 13 : Scénarios de modélisations hydrauliques 16

Figure 14 : Pour T = 10 ans 18

Figure 15 : Pour T = 20 ans 19

Figure 16 : Pour T = 50 ans 19

Figure 17 : Pour T = 100 ans 20

Figure 18 : Pour T = 1000 ans 20

Figure 19 : Pour T = 10 000 ans 21

Figure 20 : ÉVÈNEMENT 02/2009 21

Figure 21 : ÉVÈNEMENT 04/2009 21

Figure 22 : ÉVÈNEMENT 01/2010 22

Figure 23 : ÉVÈNEMENT 02/2010 22

Figure 24 : ÉVÈNEMENT 03/2010 22

Figure 25 : ÉVÈNEMENT 03/2010 22

Figure 26 : ÉVÈNEMENT 01/2011 23

Figure 27 : ÉVÈNEMENT 01/2013 23

Figure 28 : ÉVÈNEMENT 01/2013 23

Figure 29 : ÉVÈNEMENT 01/2013 23

Figure 30 : ÉVÈNEMENT 02/2013 24

Figure 31 : ÉVÈNEMENT 01/2014 24

Figure 32 : ÉVÈNEMENT 05/2014 24

Figure 33 : ÉVÈNEMENT 01/2015 24

Figure 34 : ÉVÈNEMENT 02/2015 25

Figure 35 : ÉVÈNEMENT 03/2015 25

Figure 36 : ÉVÈNEMENT 12/2015 25

Figure 37 : ÉVÈNEMENT 02/2016 25

Figure 38 : ÉVÈNEMENT 02/2017 26

Figure 39 : ÉVÈNEMENT 08/2017 26

Figure 40 : ÉVÈNEMENT 01/2018 26

Figure 41 : ÉVÈNEMENT 01/2018 27

Figure 42 : ÉVÈNEMENT 03/2018 27

Figure 43 : ÉVÈNEMENT 03/2018 27

Figure 44 : ÉVÈNEMENT 04/2018 27

Figure 45 : ÉVÈNEMENT 04/2018 28

Figure 46 : Essai n°8 : Crue Vicennale, débit solide de référence, océan calé à la cote+1 mNGR 28

Figure 47 : Essai n°9 : Crue cinquantennale, débit solide de référence, océan calé à la cote+1 m NGR 28

Figure 48 : Essai n°10 : Crue cinquantennale, débit solide de référence doublé, océan calé à la cote+1 m NGR29

Figure 49 : Essai n°16 : Crue vicennale, débit solide de référence, océan calé à la cote+4 m NGR 29

Figure 50 : Essai n°11 : Crue cinquantennale, débit solide de référence, océan calé à la cote+1 m NGR, fond fixe entre les 2 ponts 29

Figure 51 : Essai n°12 : Crue centennale, débit solide de référence, océan calé à la cote+1 m NGR 29

Figure 52 : Essai n°14 : Crue exceptionnelle, débit solide de référence, océan calé à la cote+2 m NGR 30

Figure 53 : Essai n°15 : Crue centennale, suralimentation en débit solide, océan calé à la cote+2 m NGR 30

Figure 54 : Granulométrie retenue pour le modèle 30

Figure 55 : Granulométrie de pavage – Mesures sur site 31

Figure 56 : Modèle ajusté 31

5 - ANNEXES

5.1 - Annexe 1 – Annexes de l'étude hydraulique de la rivière des Marsouins

5.1.1 - Document 1 : Aménagements de protection contre les crues de la Rivière des Marsouins

FIGURE 1 : DOCUMENT 1 - AMÉNAGEMENTS DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIÈRE DES MARSOUINS

Titre	Aménagements de protection contre les crues de la Rivière des Marsouins
Auteur	BRLi/CNR
Maître d'ouvrage	Commune de St Benoît
Année	2006
Type	Rapport format PDF
Contexte	Inondation/Ruissellement sur le secteur de la Rivière des Marsouins
Objectif	Proposition d'aménagement sur le secteur aval de la Rivière des Marsouins
Analyse critique	L'étude réalisée par le groupement BRLi-CNR très complète et précise est très intéressante pour l'étude. De nombreuses données seront utilisées.

Source : BRLi / CNR (2006)

5.1.1.1 - Phase 1 : Synthèse et analyse des données existantes

Recueil des données

Consultation de 14 documents datant de 1979 à 2006 (Page 2)

Entretiens avec 10 organismes différents (Page 3) : Compte rendus en annexe 2

Données topographiques de 1884 à 1999 (Page 3)

Aucune donnée granulométrique (Page 4)

Grosse variation des données hydrologiques recueillies dans les études antérieures (Page 4)

Recensement de 5 évènements météorologiques de 1991 à 1995 (Page 4)

Crue + Dégâts + Aménagements (Page 5)

Reconnaissance de terrain

Superficie du Bassin versant de la rivière des Marsouins : 114 km²

Exutoire : Océan Indien

Débit d'étiage supérieur à 4 m³/s

Aménagements hydroélectriques d'EDF (Takamaka I et II) n'ont pas d'impact sur le régime hydrologique de crue en aval

Reconnaissance de terrain (Pages 6 à 11)

Digue d'1 km en rive gauche (Page 7)

Cartographie « État des lieux » (Page 11)

Hydro géomorphologie

Comportement morphologique général (Pages 12 à 14) : Pour Q2 – Q10 – Q100

Partie aval de la rivière peut être soumise à l'influence du niveau de la mer (2 m possible)

Aucune relation hauteur-débit définie

Modifications morphologiques de la rivière à long terme (Page 15)

Vulnérabilité des zones inondables

En rive gauche : centre-ville de Saint Benoit ➔ présence de commerces, d'équipements publics, d'équipements médicaux et habitat

En rive droite : zone préservée de l'urbanisation

Aspects environnementaux

Présence de cascades et de vasques

Suivi qualitatif et biologique par l'Office de l'Eau de la Réunion

Présence d'espèces euryhalines

Embouchure : Grande diversité piscicole

Objectifs de protection fixés par le SDAGE de la Réunion (Page 21)

Carte des Znieffs (Page 22)

Séquences paysagères (Pages 23-24)

Activités d'eau vive + Exploitation halieutique intense + aménagements paysagers de loisir et de détente

Bilan des sensibilités et dispositions conceptuelles à prendre (Page 25)

Documents cadres et réglementaires

SDAGE approuvé en 2001 : objectifs (Page 26)

PPRI élaboré en 2004

Réglementation du PPRI (Pages 28 à 30)

Zonage du PPRI (Page 31)

SCOT approuvé en 2004 : principes (Page 32)

Guide Méthodologique pour les Études Préliminaires des Aménagements de Protection Contre les Inondations élaboré en octobre 2000 pour la période 2000-2006 (Pages 32-33)

Plan d'Occupation des Sols

5.1.1.2 - Phase 2 : Étude de faisabilité des mesures de protection sur le secteur aval

Hydrologie

Écarts importants des estimations des débits dans l'analyse des études antérieures ➔ Nouvelle analyse hydrologique

Comparaison de deux méthodes hydrologiques : la méthode rationnelle et le modèle pluie-débit SCS

Caractéristiques des sous bassins versants (Page 3)

Profil en long de la rivière des Marsouins (Page 3)

Carte des bassins versants (Page 4)

Utilisation de la formule de Kirpich pour le calcul des temps de concentration

Calcul des temps de concentration (Page 5)

Données pluviographiques sur le bassin des Marsouins (Page 7) : période courte mais ratio P100/P10 acceptable (autour 1.5)

Comparaison des pluies Duret et Cemagref (Page 7)

Coefficient de ruissellement fixé à 0.8 pour la crue centennale et 0.6 pour la crue décennale

Estimation du débit centennal par la formule rationnelle (Page 9)

Calage du modèle pluie-débit en fonction des 3 crues (1993, 1998 et 2000)

Ajustement pour la crue centennale :

- Avec les pluies du Cemagref : N = 50 / coefficient de ruissellement = 0.72
- Avec les pluies de DURET : N = 90 / coefficient de ruissellement = 0.95

Hydrogrammes (Q10, Q20, Q50, Q100) en annexe

Débits de pointe retenus : Q10 = 1355 m^3/s ; Q20 = 1630 m^3/s ; Q50 = 2053 m^3/s ; Q100 = 2610 m^3/s

Extrapolation des précipitations extrêmes par la loi Gumbel pour les périodes de retour 500 ans et 1000 ans

Ratio de 1.8 de la crue centennale pour l'estimation exceptionnelle ➔ Qexc = 4700 m^3/s

Hydraulique

Modélisation hydraulique sur le logiciel ISIS via un modèle filaire + à casier

32 profil en travers sur le lit mineur

Trois niveaux de PHE pour les crues 1987 et 1998 ➔ données insuffisantes pour le calage

Coefficients de rugosité retenus suivants :

- Lit mineur de la rivière des Marsouins (fond constitué de blocs et galets) : 25
- Lit majeur relativement dégagé : 10
- Lit majeur avec maisons isolés ou remblais routiers : 8
- Lit majeur en zone urbaine dense : 5

Crue décennale non débordante

Débordements observés à partir de l'occurrence 20 ans : description (Pages 17 à 19)

Propositions d'aménagements hydrauliques

Confortement des digues et travaux d'entretien

Principes d'aménagement soumis à la concertation :

- Rehaussement des digues existantes jusqu'au niveau permettant une protection totale de la crue centennale.
- Protection partielle du centre-ville par des travaux légers et gestion du risque résiduel sur les zones soumises aux inondations.
- Protection contre la crue centennale en favorisant l'évacuation par le bras de décharge de la rive droite et en complétant les endiguements existants.

Schéma hydraulique retenu sur le secteur aval :

- Création d'un véritable couloir de crue en rive droite incluant un déversoir latéral au niveau du Jardin Marie Ferrol, une nouvelle travée sous le pont du centre-ville et un couloir d'écoulement depuis le jardin Marie Ferrol jusqu'à l'embouchure (Pages 22-25)
- Homogénéisation des endiguements existants avec des rehausses localisées et un prolongement de la digue rive droite en aval du pont (création des digues rapprochées au niveau des habitations situées près de la rue du stade) (Pages 25 à 27)
- Réaménagement des remblais existants en rive droite en bordure du lit mineur pour constituer une digue basse intérieure cohérente permettant d'éviter l'inondation du secteur du stade par des crues courantes (< Q20).

Cartographie des propositions d'aménagements : protection du centre-ville (Page 23)

Cartographie du secteur aval –Tracé des endiguements (Page 24)

Description de l'état projet (Page 28)

Estimation des aménagements (Page 32)

Évaluation des dégâts évités par les aménagements (Pages 32 à 35) : Endommagements (Page 34)

Valeur de CMA évaluée à 158 000€ pour la commune de Saint Benoît

Aménagement paysager (Pages 37 à 47) : Plan des aménagements (Page 44) + Coupes (Pages 45-46) + Estimation des coûts (Page 47).

5.1.1.3 - Phase 3 : Étude de faisabilité de la mise en place d'un système d'annonce de crues sur la Rivière des Marsouins

Objectifs de l'annonce de crues

Sites exposes au risque des débordements de la rivière des Marsouins (Pages 2 à 4)

Cartographie des secteurs les plus exposés au risque des débordements (Page 4)

Sites exposés au risque de débordements des affluents (Bras MUSSARD + Bras CANOT)

Risque inondation pluviale fréquente sur le territoire de la commune de Saint Benoit

Réseaux de mesure hydrométéorologique existants

Présence de deux stations hydrométriques (Bethléem et centre-ville de Saint Benoît)

Présence de mesure de débit (Takamaka 1 et Takamaka 2)

Trois pluviographes à proximité du bassin des Marsouins (St Benoît, Bébour et Chemin de Ceinture)

Analyse sur la prévisibilité des crues et proposition des seuils d'alerte

Déclenchement d'alerte impossible avec les uniques informations de Takamaka 1

Déclenchement d'alerte impossible sur l'observation pluviométrique de Saint Benoit

Réseau pluviométrique insuffisant pour avoir des mesures fiables sur le bassin versant

Vitesse de montée de crues à Bethléem étudiée (Pages 20 à 22)

Niveau de l'océan n'a pas d'influence sur le niveau d'eau de la rivière sur les secteurs sensibles

Seuils d'alerte pour l'ilet Coco (Pages 23 à 25) : Conditions d'alerte (Page 25)

Seuils d'alerte pour le centre-ville de Saint Benoit (Page 25) : Conditions d'alerte (Page 25)

Analyse des scénarios

Alerte sur la pluviométrie :

- Principe explicité (Pages 27-28)
- Équipements (Pages 28 à 30)
- Fonctionnement (Pages 30-31)
- Estimation financière (Pages 31 à 32) : Tableaux récapitulatifs (Page 32)

Alerte sur la pluviométrie et la limnimétrie :

- Principe explicité (Page 33)
- Équipements (Pages 33-34)
- Estimation financière (Page 34) : Tableaux récapitulatifs (Page 34)

Alerte sur la pluviométrie et l'hydrométrie par deux stations :

- Principe explicité (Pages 34-35)
- Nouveau site hydrométrique (Pages 35 à 37) : Localisation (Page 37)
- Équipements (Page 38)
- Estimation financière (Page 38) : Tableaux récapitulatifs (Page 38)

Alerte sur la pluviométrie et l'hydrométrie par deux stations : scénario le plus performant (meilleure fiabilité et meilleur délai)

Recommandations

Politique de prévention et de protection contre les inondations (Page 40)

Définition du rôle de l'État et de la commune (Pages 40-41)

Organisation proposée pour la commune de Saint Benoit (Pages 41-42)

Étude hydraulique complémentaire sur l'Ilet Coco nécessaire (Page 42)

Élaboration du Plan Communal de Sauvegarde (Pages 43 à 46)

5.1.1.4 - Phase 4 : Conception et construction du modèle physique

Données disponibles

Données topographiques :

- Topographie de l'océan jusque 500 m en amont du pont de la RN2 - Cabinet Talibart 1999 : Topographie au 1/2000ème + Topographie au 1/400ème du lit mineur + 33 profils en travers de la rivière (lit mineur et lit majeur) ;
- Plan topographique du méandre de la rivière en rive droite en amont de la RN2 – Cabinet Mechy 1999 ;
- Plan topographique au 1/200ème de l'endiguement rive gauche entre le pont Pompidou et la sous-préfecture ;
- Plan de recollement du pont de la RN2 de 1973 ;
- Plan de recollement du pont de l'ancienne RN2 de 1884 (ancienne structure métallique changée depuis) ;
- Quatre levés complémentaires (avril 2005) de 350 m en amont du pont de la RN2 jusqu'aux stations de pompage de bras Canot ;
- Profil en long a également été réalisé entre le méandre en amont du pont de la RN2 et l'océan.

Données hydrologiques et hydrauliques :

FIGURE 2 : DONNÉES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

Crue caractéristique	Débit de pointe en m^3/s
Q10	1355
Q20	1630
Q50	2053
Q100	2610
Qexceptionnelle	4700

Source : BRLi / CNR (2006)

Condition limite aval : niveau de l'océan

Niveau moyen de l'océan : 0.10 m NGR

Lors des essais, niveau de l'océan : 3.8 m NGR

Données granulométriques :

Prélèvements réalisés par le Laboratoire Régional de La Réunion sur les 4 sites : amont îlet Coco, rive droite en amont du méandre, amont du pont de la RN2, rive droite en centre-ville à l'aval du pont Pompidou (Localisation en Annexe 2)

Deux courbes granulométriques utilisées pour les essais : une courbe représentative des matériaux charriés lors des crues (diamètre moyen de l'ordre de 6 cm) ; cette courbe a été établie à partir des mesures réalisées en centre-ville et une courbe représentative des matériaux de surface assez grossiers qui forment un pavage (diamètre moyen de l'ordre de 15 cm) (Graphes (Pages 7-8) + Données (Annexe 3))

Données historiques :

Plus Hautes eaux atteints par les crues de 1987 et 1998 :

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

Données de PHE imprécises et difficiles à vérifier

Analyse fluvio-morphologique

Morphologie du lit :

Secteur d'étude peut être scindé en 3 zones distinctes (Graph (Page 9)) :

- Une zone située en amont du pont de la RN2 (pente moyenne : 1.6% et pentes locales pouvant atteindre 4% + vitesses en crue élevées) ;
- Une zone médiane située entre le pont de la RN2 et le pont Pompidou (pente moyenne : 0.4% + vitesses en crue élevées) ;
- Une zone aval qui s'étend du pont Pompidou à l'océan (pente moyenne : 0.2% + zone de dépôts).

Granulométrie de la rivière :

Diamètre moyen entre 12 et 18 cm

Blocs pouvant avoir un 1m de diamètre

Valeurs des D50 et Dmoyen déterminés lors des prélèvements (Ensemble des données : Annexe 4)

FIGURE 3 : VALEURS DES D50 ET SDMOYEN DÉTERMINÉES LORS DES PRÉLÈVEMENTS

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

Source : BRLi / CNR (2006)

Lit assez stable : formation du pavage et limitation de l'évolution du lit

Description du modèle physique

Modélisation du linéaire de 2 km à partir de l'embouchure et une zone de 480 m de large

Échelle géométrique retenue pour l'étude est le 1/80ème

Ordre de grandeur du modèle :

- Le secteur modélisé mesure 25 m de long et 6 m de large ;
- Le débit de crue exceptionnel de 4 700 m^3/s sera représenté par un débit modèle de 82.1 L/s ;
- Une vitesse réelle de 1 m/s sera représentée par une vitesse modèle de 0.11 m/s
- Une heure réelle sera modélisée par 6 minutes 42 secondes sur le modèle.

Équipements du modèle (Page 17)

Description des essais

Étalonnage du modèle relation débit liquide – débit solide et pente du modèle (Page 18)

Étalonnage du modèle par rapport à la réalité

15 essais proposés :

FIGURE 4 : DESCRIPTION DES ESSAIS

Crue	Etat actuel	Scénario 1 déversoir latéral	Scénario 2 surélévation pont Pompidou	Scénario adopté	Problème étudié
Q croisant - Granulométrie de pavage	X				Stabilité du pavage
Q20 niveau océan normal (+ 0.1 m NGR)	X	X			Dépôt aval modèle
Q20 niveau océan surélevé (+3.7 m)	X	X	X		Dépôt aval modèle
Q50				X	Vérification solution
Q100	X	X	X		Débordement
Q100 avec suralimentation				X	Débordement
Qexceptionnelle				X	Vérification solution
Crue cyclonique multiple	X			X	Vérification solution
Q20 - Q50 - Q100				X	Submersibilité de la digue basse

X Essais en option

5.1.1.5 - Phase 5 : Analyse des résultats des essais sur modèle physique

Description d'un essai

En entrée : hydrogramme de débit liquide et débit solide calculé à l'aide de la formule de Lefort

Niveau de l'océan réglé à l'aide d'un volet déversant

Vérification de la topographie initiale des fonds

Granulométrie différente en fonction des essais

Mesure de la cote des fonds avec une précision de l'ordre de 0.5 cm sur le modèle (40 cm réel)

Essais réalisés

FIGURE 5 : DESCRIPTION DES ESSAIS

n° de l'essai	Type d'essai	Date	Remarques
1	Calage - Débit solide	20-sept	Débits Q_{20}, Q_{50}, Q_{100} par palier
2	Calage - Débit solide	26-sept	Débits Q_{20}, Q_{50}, Q_{100} par palier Débit solide de l'essai n° 1 divisé par 2
3	Calage - Débit solide	29-sept	Débits Q_{20}, Q_{50}, Q_{100} par palier 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 Fonds fixes entre les 2 ponts
12	Crue Q_{100}	21-nov	Débit solide de référence
13	Débit croissant jusqu'à 4 000 m^3/s	22-nov	Débit solide de référence
14	Débit croissant jusqu'à 4 000 m^3/s	24-nov	Débit solide de référence - Visite du modèle
15	Crue Q_{100}	30-nov	Suralimentation en débit solide
16	Crue Q_{20}	01-déc	Niveau de l'océan surélevé + 4 m NGR

FIGURE 6 : VALEURS DES D50 ET SDMOYEN DÉTERMINÉES LORS DES PRÉLÈVEMENTS

n° d'essai	pente en m/m	largeur en m	d_{90} en m	d_{30} en m	Dm en m	s	ν	Qo 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%								

Source : BRLi / CNR (2006)

Résultats des trois premiers tests de calage :

Paramètres pour le calcul du débit solide (formule de Lefort):

FIGURE 7 : RÉSULTATS DES TROIS PREMIERS TESTS DE CALAGE

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

Source : BRLi / CNR (2006)

Le débit solide du test n°2 retenu

Essais de diagnostic

Stabilité du pavage testé lors de l'essai n°5 ➔ Évolution des fonds d'origine entre Q20 et Q50 + Mise en vitesse de l'écoulement au droit des piles de ponts génère des affouillements à l'aval des deux ponts

Crue vicennale

La crue vicennale a été simulée lors de deux essais :

- 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.

Pour l'essai n°8 :

- Différences entre les lignes d'eau du modèle physique et du modèle numérique :
  - 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.

➔ Différence de calcul de la ligne d'eau (modèle numérique : fond fixe et modèle physique : fonds s'aggravent à l'amont du pont de la RN2 et à s'encaisser entre les ponts)

- Débordements sur la digue basse en droite à l'aval du pont du centre-ville
- Risque de débordement ponctuel sur le tablier du pont du centre-ville

Pour l'essai n°16 :

- Légère élévation des lignes d'eau par rapport à l'essai n°8 ➔ Niveau de l'océan surélevé
- Aggravation des débordements sur la digue basse en rive droite
- Dépôts plus conséquents sur le cône déjection
- Érosion moins importante entre les 2 ponts
- Limite de débordement de la rivière au niveau du jardin M. Ferrol
- Écoulement passe majoritairement à gauche de la pile du pont du centre-ville

Crue cinquantennale

La crue cinquantennale a été simulée lors de trois essais :

- 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).

Pour l'essai n°9 :

- Engravement des fonds en amont du pont de la RN2 ;
- Érosion des fonds entre les 2 ponts (2 m environ en pointe de crue) ;
- Engravement des fonds à l'aval du pont du centre-ville ;
- À l'amont du pont du centre-ville, en rive droite, léger débordement au droit du profil P16 ;
- À l'aval du pont du centre-ville, en rive droite, submersion de la digue basse sur sa quasi-totalité exceptée au droit du stade (entre les profils P7 et P9) ;
- Début de débordement à l'aval du pont, en rive gauche, du centre-ville entre le P10 et le P9.

Pour l'essai n°10 :

- Zones de débordement identiques que pour l'essai n°9 ;
- Érosion moins importante des fonds entre les ponts ➔ Aggravation des débordements ;
- Dépôt en amont du pont de la RN2 plus important ;
- À l'amont du pont du centre-ville, en rive droite, des débordements observés entre les profils P14 et P18;
- À l'aval du pont, en rive droite, submersion de la digue basse sur sa quasi-totalité exceptée au droit du stade (entre les profils P7 et P9) ;
- En rive gauche, des débordements observés à l'aval du pont du centre-ville entre le P10 et le P9.

Pour l'essai n°11 :

- Rehaussement de la ligne d'eau par rapport aux essais n°9 et n°10 ;
- À l'amont du pont du centre-ville, en rive droite, des débordements observés entre les profils P14 et P18;
- Submersion du jardin M. Ferrol
- Établissement d'un écoulement par l'évacuateur sous le pont du centre-ville
- Affouillement observés à l'aval du pont du centre-ville ➔ Abaissement de la ligne d'eau à l'aval du pont
- En rive gauche, débordements au droit de la maternité
- En rive gauche, débordements un peu en aval de la sous-préfecture
- Tirant d'air de l'ordre de 1 m sous le pont du centre-ville

Crue centennale

La crue centennale a été simulée lors de deux essais :

- 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.

Pour l'essai n°12 :

- En rive droite, à l'amont du pont du centre-ville, des débordements observés entre les profils P14 et P19 ;
- En rive droite, à l'aval du pont du centre-ville, submersion de la digue basse à partir du profil P6. Le secteur du Ludo parc et le stade sont toutefois totalement submergés par l'aval.
- 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. Une surélévation est générée de la même façon qu'une pile de pont résultant du transfert de l'énergie cinétique en énergie potentielle.
- En rive gauche, l'écoulement est en limite de débordement à l'aval de la sous-préfecture et l'aval du pont du centre-ville
- Érosion des fonds plus importante que pour la crue cinquantennale entre les profils P19 et P9
- Sous le pont du centre-ville, fosses de 4 à 5 m de profondeur
- Déstabilisation de la berge en rive gauche ➔ écoulement dissymétrique

Pour l'essai n°15 :

- Lignes d'eau légèrement plus hautes que l'essai n°12 ;
- Érosion moins importante entre les ponts et sous le pont du centre-ville ;
- Dépôt en aval plus important ;
- En rive droite, mêmes débordements que pour l'essai n°12 ;
- En rive gauche, débordement à l'aval du pont du centre-ville plus important que pour l'essai n°12 ;
- Risque de débordement sur le tablier du pont du centre-ville.

Crue exceptionnelle

La crue exceptionnelle a été simulée avec le débit solide de référence, océan calé à la cote +2 m NGR.

Pour l'essai :

- À l'amont du pont du centre-ville, en rive droite, des débordements observés entre les profils P13 et P20 ;
- À l'aval du pont du centre-ville, en rive droite, submersion quasi généralisée de la digue basse ;
- À l'amont du pont de la RN2, en rive droite, débordement dans l'intérieur du méandre ;
- En rive gauche, débordement au droit de la maternité ;
- En rive gauche, débordement un peu en aval de la sous-préfecture ;
- En rive gauche, débordement à l'aval du pont du centre-ville
- Pont de la RN2 est pratiquement en charge
- Tirant d'air du pont du centre-ville : 70 cm

Conclusion des essais de diagnostic (Pages 37 à 40)

Aménagements proposés

Secteur amont

- Suivi topographique du secteur afin de connaître l'évolution de la plage de dépôt (engravement, équilibre) ;
- Évaluation 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.

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 ;
- Construction d'un déversoir latéral au droit du jardin M. Ferrol pas nécessaire compte tenu des résultats des essais. L'efficacité d'un tel ouvrage serait très limitée.

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 Ludo parc contre la crue vicennale ;
- Suivi de l'évolution de la plage de dépôt sur le cône de déjection et curage éventuels.

Résultats des essais

Simulation de la crue exceptionnelle :

- Efficacité de la digue basse e, rive droite à l'aval du pont du centre-ville ;
- Faible rendement du déversoir latéral en rive droite en amont du pont du centre-ville ;
- Efficacité de la rehausse des digues en rive gauche pour protéger le centre-ville pour une crue centennale ;
- Efficacité du mur digue en rive droite dans le méandre en amont du pont de la RN2 ;
- Mise en place d'un mur digue de hauteur de 2 m autour du bâtiment CNR ➔ Crue cinquantennale.

5.1.1.6 - Phase 6 : Synthèse et présentation des aménagements

Aménagements retenus

Endiguement en rive gauche :

- Aménagements entre les deux ponts contre la crue centennale :
  - Rehausse de la digue au niveau des points bas ;
  - Mise en œuvre d'un nouveau mur au droit de la Maternité.
- Aménagements entre le pont Pompidou et l'embouchure :
  - Rehaussement de la digue au niveau des points bas ;
  - Reprise de l'endiguement en partie effondré au niveau de l'embouchure ;
  - Renforcement en pied de digue.

Mise en place de couche filtre en pied de berge

Construction d'un déversoir latéral au droit du jardin Ferrol en tant qu'ouvrage de sécurité :

- Dimensionné pour un débit de 160 m^3/s ;

- Longueur du déversoir : 32 ml entre P15 et P14
- Cote de la crête du déversoir : +7.00 m NGR
- Vitesse sur le déversoir : 4.8 m/s

Ouvrage sous le pont Pompidou : Agrandissement de l'ouvrage de décharge (cote du radier : 5 m NGR ; cote du sous poutre du pont : 7 m NGR ; largeur de l'ouverture : 33 m)

Couloir de crue en rive droite, entre le pont Pompidou et l'Océan

Endiguement en rive droite, en aval du pont Pompidou

Aménagement d'une digue basse en rive droite calculée contre la crue vicennale

Protection du CNR (Conservatoire National de Région) ➔ Mur de clôture pour résister à une crue cinquantennale

Endiguement en rive droite, entre les deux ponts

Protection en pied de la falaise en amont de la RN

Aménagements paysagers (Pages 24 à 25)

Coût des travaux (Page 26)

5.1.2 - Documents 2 : Mission de maîtrise d'œuvre relative à la protection contre les crues de la Rivière des Marsouins (EGIS EAU / SAFEGE / CNR / YCP (2010))

FIGURE 8 : DOCUMENT 2 – MISSION DE MAÎTRISE D'ŒUVRE RELATIVE À LA PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIÈRE DES MARSOUINS

Titre	Aménagements de protection contre les crues de la Rivière des Marsouins
Auteur	BRLi/CNR
Maître d'ouvrage	Commune de St Benoît
Année	2006
Type	Rapport format PDF
Contexte	Inondation/Ruissellement sur le secteur de la Rivière des Marsouins
Objectif	Proposition d'aménagement sur le secteur aval de la Rivière des Marsouins
Analyse critique	L'étude réalisée par le groupement BRLi-CNR très complète et précise est très intéressante pour l'étude. De nombreuses données seront utilisées.

Source : Egis Eau / SAFEGE / CNR / YCP (2010)

5.1.2.1 - Validation des études préliminaires (EP) : Diagnostic géomorphologique

Localisation

Superficie du bassin versant : 114 km²

Point haut du bassin : 2800 m d'altitude

Pente moyenne du lit variable

Localisation du bassin versant (Page 4)

Contexte géologique

Diversité géologique : coulées de lave très récente de la série de La plaine des Cafres ; coulées de lave anciennes du massif du Cratère de la série des Océanites du Piton des Neiges ; coulées de lave récentes du massif du Piton des Neiges appartenant à la Série différenciée ; alluvions anciennes et alluvions récentes

Carte géologique (Page 6)

Morphologie

Pente de la rivière décroissante de 1.4 % à 0.7 %

Largeur du lit majeur atteint 570 ml

Largeur du lit majeur au droit du pont de la RN 2 : 100 m

Diminution de l'encaissement d'amont en aval : 70 m à Bethléem et moins de 10 m au droit de la RN 2

Plusieurs changements de direction du cours d'eau

Géologie du cours d'eau en aval de la rivière

Brèche anciennes argileuses brunes rougeâtres : berge rive gauche au droit du pont de la RN 2 et en amont du pont en rive droite

Coulées de basalte : en rive droite et aval du pont de la RN 2 et en rive gauche et amont du pont

Alluvions en terrasse depuis le pont de la RN 2 jusqu'à 1.5 km en amont de Bethléem

Alluvions récentes des basses terrasses : lit vif de la rivière

Zones d'érosion du cours aval de la rivière des Marsouins :

- Dans le coude rive droite en amont du pont de la RN 2 ;
- En rive gauche, sous le pont de la RN 2 ;
- En rive gauche, entre les 2 ponts routiers ;
- En rive gauche, en aval du pont de la rue Pompidou.

Affouillement du cours aval :

- Sur sa rive gauche en face de l'Ilet Coco ;
- En rive droite vers Bras Canot, en contrebas de la RD 54 ;
- En rive gauche en face de l'Ilet Le Conardel ;
- En rive droite, en aval de l'Ilet Le Conardel.

Zone de dépôts du cours d'eau

- Au niveau de la plage de dépôt naturelle à 100 m en amont du pont de la RN 2 ;
- En rive droite, sous le pont de la RN 2 ;
- En rive gauche entre les 2 ponts, au droit de la sous-préfecture ;
- À l'embouchure, entre le pont de la rue Pompidou et la mer.

Évolution de la plage de dépôts naturelle

Localisation des remblais en amont de la RN 2 (Page 22)

5.1.2.2 - Note d'avancement sur le modèle Pluie-Débit : Constitution des hydrogrammes de crue

Bassin versant de la rivière des Marsouins

Caractéristiques du bassin versant (Page 2)

Superficie du bassin versant : 111 km²

Profil en long de la rivière (Page 3)

Altitude médiane : 1310 m NGR

Courbe hypsométrique du bassin versant (Page 4)

Caractéristiques des affluents (Page 4)

Localisation des principaux affluents (Page 5)

Stations de mesure

4 stations pluviométriques sur le secteur d'étude : caractéristiques + localisation (Page 6)

5 stations limnimétriques sur la rivière des Marsouins : Caractéristiques (Pages 7 à 9)

Influence de l'altitude sur la pluviométrie

Étude de 19 pluies journalières correspondant à 9 évènements extrêmes

Dans 47 % des cas, pluviométrie augmente avec l'altitude

➔ Disparité spatiale de la pluie

Modélisation Pluie Débit

7 évènements choisis pour le calage du modèle Pluie-Débit : caractéristiques (Pages 13 à 19)

Fonction de production utilisée : modèle GR3 (Paramètre 1 : Capacité du réservoir sol (mm), Paramètre2 : Capacité du réservoir eau gravitaire (mm), Paramètre 3 : Paramètre de temps des hydrogrammes unitaires (h))

Construction du modèle à partir du logiciel AGYR

- 19 points de calcul : caractéristiques (Page 20) ;
- 10 biefs de propagation : caractéristiques (Page 21) ;
- 11 sous-bassins versants : caractéristiques (Page 21) ;
- 5 stations de mesure de débit introduites ;
- Répartition spatiale de la pluie représentée via une interpolation linéaire entre les altitudes.

Calage du modèle à reprendre après obtention de courbes de tarage fiable sur les sites de Pompidou et de Bethléem (Annexe 1)

Hydrogrammes de crue pour le modèle Telemac

Pluies de projet de type Keifer (Chicago)

Hyétogrammes (Annexe 2)

Construction des pluies de projet à St Benoit à l'aide des courbes IDF fournies par Météo France à la station de St Benoit (de 1994 à 2008) pour les périodes de retour 10, 20, 50, 100, 1000 et 10000 ans

Construction des pluies de projet pour la station de Piton Tortue (de 1968 à 1980) pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 ans et 1000 et 10000 par extrapolation de la loi de Gumbel.

Lames d'eau calculées par interpolation linéaire des pluies de projet

Méthode du Gradex utilisée pour évaluer le débit de pointe de 1000 et 10000 ans

Hydrogrammes de crue (Annexe 3)

5.1.2.3 - Dispositif d'annonce de crue

Hydrologie

Localisation + caractéristiques du bassin versant (Page 4)

Profil en long (Page 4)

Altitude médiane du bassin versant : 1310 m NGR

Courbe hypsométrique (Page 5)

Caractéristiques des affluents (Page 5)

Localisation des principaux affluents (Page 6)

Stations de mesure

4 stations pluviométriques sur le secteur d'étude : caractéristiques + localisation (Page 7)

5 stations limnimétriques sur la rivière des Marsouins : Caractéristiques (Pages 8 à 10)

Influence de l'altitude sur la pluviométrie

Étude de 19 pluies journalières correspondant à 9 évènements extrêmes

Dans 47 % des cas, pluviométrie augmente avec l'altitude

➔ Disparité spatiale de la pluie

Modélisation Pluie-Débit

7 évènements choisis pour le calage du modèle Pluie-Débit : caractéristiques (Pages 14 à 20)

Fonction de production utilisée : modèle GR3 (Paramètre 1 : Capacité du réservoir sol (mm), Paramètre2 : Capacité du réservoir eau gravitaire (mm), Paramètre 3 : Paramètre de temps des hydrogrammes unitaires (h))

Construction du modèle à partir du logiciel AGYR

- 19 points de calcul : caractéristiques (Page 21) ;
- 10 biefs de propagation : caractéristiques (Page 22) ;
- 11 sous-bassins versants : caractéristiques (Page 22) ;
- 5 stations de mesure de débit introduites ;
- Répartition spatiale de la pluie représentée via une interpolation linéaire entre les altitudes.

Calage du modèle à reprendre après obtention de courbes de tarage fiable sur les sites de Pompidou et de Bethléem (Annexe 1)

Mise en place d'un système d'alerte

Réalisé par la DDE de la Réunion

Dispositif en place (Pages 27-28)

Installation d'une nouvelle station pluviométrique sur le secteur de la forêt de Bébour

Proposition de déporter la station actuelle de Takamaka une centaine de mètres en aval

Intégration des radars pluviométriques au système d'alerte : radar du Colorado et implantation d'un nouveau radar météorologique

Intégration d'un modèle pluie-débit

Sécurisation des transmissions

Définition des seuils d'alerte

Sites à enjeux : Ilet Coco et centre urbain de Saint Benoit (Pages 37 à 38)

Seuils d'alerte :

- 500 m^3/s : début d'inondation du stade,
- 1300 m^3/s : début d'inondation aval pont RD et Jardins Ferréol ;
- 2000 m^3/s : submersion totale de la rive droite, débordement au droit de la maternité ;
- 3600 m^3/s : mise en charge du pont de la RN2.

Travaux envisagés

Récapitulatif des coûts des travaux :

FIGURE 9 : RÉCAPITULATIF DU COÛT DES TRAVAUX

Travaux	Montant HT	Montant TTC
Installation d'une station pluviographique sur le secteur de la forêt de Bébour	42000	45570
Modification station de Takamaka	60000	65100
Nouvelle station au droit du pont de la RN2	30000	32550
Etablissement d'une courbe de tarage au droit du pont de la RN2	8000	8680
Etablissement d'une courbe de tarage au droit de la station de Takamaka	12000	13020
Etablissement d'une courbe de tarage au droit de la station de Bethléem	28000	30380
Sécurisation des transmissions	40000	43400
Total	**220000**	238700

Source : BRLi / CNR (2006)

5.1.2.4 - Étude de calage et de dimensionnement hydraulique

Données de référence

Débits de pointe référence calculés au pont Pompidou :

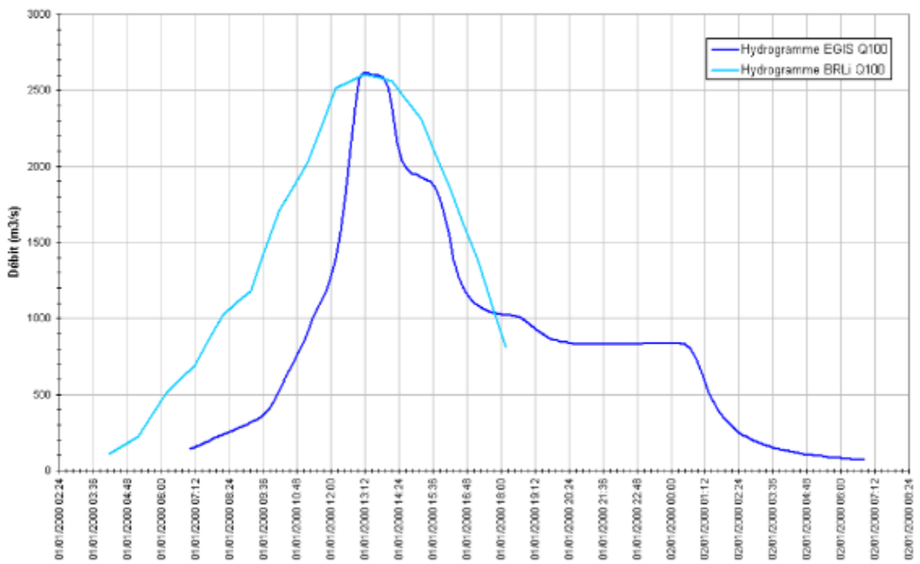
FIGURE 10 : DÉBITS DE POINTE RÉFÉRENCE CALCULÉS AU PONT POMPIDOU

Période de retour	Q (m^3/s)
10 ans	**1355**
20 ans	**1630**
50 ans	**2053**
100 ans	**2610**
1 000 ans	**3950**
10 000 ans	**5300**

Source : BRLi / CNR (2006)

Variation des hydrogrammes entre l'étude BRL 2006 et EGIS 2010

FIGURE 11 : VARIATION DES HYDROGRAMMES ENTRE L'ÉTUDE BRL 2006 ET EGIS 2010



Source : BRLi / CNR (2006)

Données hydrologiques sur les niveaux marins selon les différents états météorologiques et retours d'expériences (REX Blayais et Xynthia) utiles à la réalisation du modèle hydraulique

Données topographiques disponibles :

FIGURE 12 : DONNÉES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES

Type de structure hydraulique	**Type de données utilisées**	**Précision Z**
Lits majeurs	LIDAR Litto-3D complété par photogrammétrie GuidOI 2005 1/2000ème et TALIBART 1999 1/2000ème sur voiries	1/2000ème max (20 cm pour Litto-3D)
Lit mineur	- **36 profils en travers** sur 2050 ml sur rivière des Marsouins (soit moyenne de 1 PT/60ml) - **5 profils en travers** sur 350 ml sur Bras Canot - **3,5 ha de levé de détail 1/500ème** de la zone de dépôt	cm
Ouvrages hydrauliques	- **pont RN2** (RN2 PR 43+060) - **pont RN2002** (RN2 PR 42+630) - **décharge pont RN2002**	cm
Ouvrages linéaires (endiguement / berges)[2]	- **1600 ml de profil en long** des crêtes de digues entre pont RN2 et la mer (dont 300 ml d'enrochements en rive droite) - **700 ml de profil en long** des crêtes de berges entre pont RN2 et la mer	cm

Source : BRLi / CNR (2006)

MNT de référence (Page 12)

Modification du fond du lit mineur pour les crues supérieures à 50 ans.

Utilisation des profils en long d'érosion issue du modèle CNR

Modélisation avec deux types de bathymétrie :

- Fond fixe sur la base de la topographie actuelle ;
- Fond érodé sur la base des résultats de modélisation CNR.

Construction du modèle hydraulique

Modélisation hydraulique via TELEMAC 2D

Emprise du modèle (Page 20)

Maillage de 94 888 nœuds et 181 666 éléments

Agrégation du bâti

Conditions limites : rivière des Marsouins, bras Canot et mer.

Calibration hydrologique du modèle pluie-débit sur la base d'évènements historiques

Relation Q/h au pont Georges Pompidou (Pages 24 à 27)

Le pont Pompidou n'est pas en charge pour un débit maximum de 2000 m³/s

Sensibilité du coefficient de rugosité et de la condition aval

Scénarios de modélisations hydrauliques

FIGURE 13 : SCÉNARIOS DE MODÉLISATIONS HYDRAULIQUES

Crue	Type de bathymétrie	Condition marine	Commentaires
T20	fixe	+ 1 m NGR	Crue faiblement débordante
T50	fixe	+ 1 m NGR	Hypothèse de non dépavage du lit mineur
T100	mobile	+ 1 m NGR	Hypothèse de dépavage du lit mineur
T1 000	mobile	+ 1 m NGR	Étude des débordements pour crue supérieure à la crue dimensionnante.
T10 000	mobile	+ 1 m NGR	

État initial

Crue vicennale :

- OH décharge 34 m3/s max. avec H = 1,6 m ;
- Capacité lit mineur max. d'environ 1000 m³/s (sauf entre P1 et P3) ;
- Inondation effective Jardin Ferréol et aval pont RD à partir de 1300 m³/s ;
- Légères surverses en aval immédiat du pont Pompidou rive gauche ;
- Non mise en charge du pont Pompidou (tirant d'air rive gauche de 85 cm) ;
- Surcote locale au droit de la pile de pont.

Crue cinquantennale :

- OH décharge 50 m³/s max. avec H = 2 m – inondation par l'aval ;
- Capacité lit mineur max. d'environ 1000 m³/s ;
- Inondation effective Jardin Ferréol et aval pont RD à partir de 1300 m³/s ;
- Légères surverses en aval immédiat du pont Pompidou rive gauche ;
- Non mise en charge du pont Pompidou (tirant d'air rive gauche de 50 cm) ;
- Submersion quasi totale de la berge rive droite sauf au niveau du stade (très précoce entre P1 et P3 à partir de 500 m³/s) ;
- Hauteur libre de 1,5 m minimum au niveau du méandre en amont du pont RN2 ;
- Inondation par porte Jardin Ferréol à 1700 m3/s – fonctionnement en double sens (utile au ressuyage) ;
- Débordement au droit de la maternité et affleurement de la crête de digue entre P21 et P18.

Crue centennale :

- OH décharge 7 m³/s max. avec H = 70 cm – inondation par l'aval ;
- Capacité lit mineur max. d'environ 1800 m³/s (sauf entre P1 et P3) ;
- Inondation effective Jardin Ferréol et aval pont RD à partir de 2500 m³/s ;
- Non mise en charge du pont Pompidou (tirant d'air rive gauche de 1,30 m) ;
- Submersion quasi totale de la berge rive droite sauf au niveau du stade (très précoce entre P1 et P3 à partir de 700 m3/s) ;
- Surcote de + 2 m au droit de la pile de pont Pompidou (face amont) ;
- Affleurement de la crête au niveau du méandre en amont du pont RN2 (cote de 17 m NGR) ;
- Débordement au droit de la maternité et affleurement de la crête de digue entre P21 et P18.

Débit croissant jusqu'à 5300 m³/s

- Mise en charge du pont RN2 à environ 3600 m³/s – début de débordement en sommet de falaise ;
- Hauteur de 2,5 m dans la buse ARMCO avec débit max. 160 m3/s – mise en charge du pont Pompidou ;
- À 5300 m³/s :
    - Tous les ouvrages en charge ;
    - Submersion totale remblais rive droite pont Pompidou ;
    - Submersion de toutes les digues (sauf aval rive gauche pont Pompidou à la mer).

Cartographie de l'aléa pour la crue Q50 (Annexe)

État projet

Aménagements proposés :

- Protection au niveau du méandre amont par muret déporté au niveau de la RN2
- Protection par endiguements

Crue vicennale :

- Inondation précoce par seuil aval (P1-P3) ;
- OH décharge 15 m³/s max. avec H = 0,90 m ;
- Capacité lit mineur max. d'environ 1200 m³/s soit + 200 m³/s que l'état actuel – début de débordement ponctuel sur digue 1er rang rive droite aval pont Pompidou P9 au droit du stade ;
- Inondation effective Jardin Ferréol et aval pont RD à partir de 1200 m³/s soit - 100 m³/s que l'état actuel – l'ouvrage de décharge n'est plus inondé par l'aval.
- Non mise en charge du pont Pompidou (tirant d'air rive gauche de 100 cm soit + 25 cm par rapport à l'état initial).

Crue cinquantennale :

- La digue RG protège parfaitement le secteur urbain de Saint Benoit en lit majeur gauche ;
- OH décharge 60 m³/s max. avec H = 2,30 m en pointe ;
- Non mise en charge du pont Pompidou (tirant d'air rive gauche de 40 cm équivalent par rapport à l'état initial) ;
- Peu de revanche sur digue rive droite entre P15 et P16 (début jardin Ferréol) ;
- Secteurs de concentration des écoulements sur la digue de 1er rang RD : entre P9 et P11 (à hauteur de 2 m/s) et P7 à la connexion digue littorale ;
- Suppression submersion par porte du jardin Ferréol ;
- Estimation du volume en lit majeur rive droite (compris entre la digue de 1er et 2nd rang) : 70 000 m³.

Crue centennale :

- Suppression alimentation du bras de décharge par jardin Ferréol ;
- Capacité lit mineur max. d'environ 1800 m^3/s (sauf entre P1 et P3) ;
- Non mise en charge du pont Pompidou (tirant d'air rive gauche de 1,45 m) ;
- Submersion partielle de la digue de 1er rang rive droite au niveau du stade entre P9 et P11 ;
- Submersion du secteur ZALM uniquement par l'aval (très précoce entre P1 et P3 à partir de 700 m^3/s) ;
- Surcote de + 2 m au droit de la pile de pont Pompidou (face amont) ;
- Affleurement de la crête au niveau du méandre en amont du pont RN2 (cote de 17 m NGR).

Conception d'un 3ème pont : avec une cote sous tablier de 10.25 m NGR minimum avec une transparence hydraulique maximum

- Définition des ouvrages

Hypothèses de départ

Protection des inondations d'une crue d'occurrence à 100 ans

Crue cinquantennale à fond fixe : niveaux d'eau plus importants

➔ Crue de calage de la crête des digues

Débit de crue de chantier : 15 m^3/s

Propositions d'aménagements (Pages 10 à 25)

Rive Gauche :

- Amont RN 2 : Protection contre l'érosion en pied de falaise qui risque à terme de menacer la culée rive gauche du pont de la RN2 ;
- A-B : Protection contre l'érosion de la falaise au droit de la résidence Fragrance et création d'un cheminement piéton + cyclable en sommet de berge ;
- B-C : Préservation et valorisation du milieu naturel ;
- B-H : Continuité du cheminement piéton + cyclable et aménagement paysager ;
- C-G : Protection contre les débordements pour la crue de projet ;
- F : Protection contre les projections d'eau sur le pont sur le tablier au niveau de la culée ;
- F : Amélioration des écoulements au niveau de culée rive droite qui avance dans le lit mineur ;
- F-H : Réhabilitation et protection de l'ouvrage existant.

Rive Droite :

- Création d'une digue de premier rang contre déversements de la crue vicennale ;
- Aménagement d'un cheminement piéton depuis jardin Ferrol jusqu'au front de mer par la digue de 1er rang ;
- Protection de berge et pied de berge sur le tronçon bc' au droit du jardin Ferrol ;
- Aménagement d'un cheminement piéton et PMR sous le pont Pompidou pour relier le parking de la ZALM au jardin FERROL ;
- Protection contre les débordements de la crue de projet « Q50 fond fixe » ;
- Protection de berge et pied de berge au niveau des zones vulnérables et renforcement de l'ouvrage existant ;
- Aménagement d'un cheminement piéton entre l'emplacement du 3ieme pont projeté et le jardin Ferrol (Tranche conditionnelle) ;
- Protection en sommet de falaise à l'amont de la RN2.

Aménagement des exutoires des réseaux d'assainissement pluvial existants

Prise en compte du projet de 3ème pont

Suivi et entretien des ouvrages

Compétence du maître d'ouvrage

Entretien des ouvrages (Page 26-27)

Coût annuel estimé à 110 000 €/an

Digues principalement de classe B

Demande d'investigations complémentaires (Pages 28-29)

Estimation du montant des travaux

Coût total T.T.C : 12 698 948.50 €

5.1.2.5 - Rapport de la phase projet

Hypothèses de départ

Protection des inondations d'une crue d'occurrence à 100 ans

Mise en place d'une paroi clouée au droit de la résidence Fragrance pas nécessaire

Perméabilité des sols au niveau de la section de digue projetée en rive droite très importante

Crue de projet retenue pour le calage de la crête des digues est la crue cinquantennale à fond fixe avec une revanche minimum de 60 cm

Protection des berges et semelle anti-affouillement

Débit de crue de chantier de 50 m^3/s

Aménagements proposés (Pages 9 à 26)

Travaux préparatoires (Pages 27 à 29)

Digues :

- Confortement
- Rehaussement
- Digue poids ouvrage neuf (Annexe 3)
- Écran anti renardage
- Semelle anti-affouillement
- Reprise des sous-cavages

Génie Civil (Page 33)

Voiries (Pages 34 à 37)

Réseaux (Pages 38 à 40)

Aménagements paysagers (Page 41)

Travaux divers (Page 42)

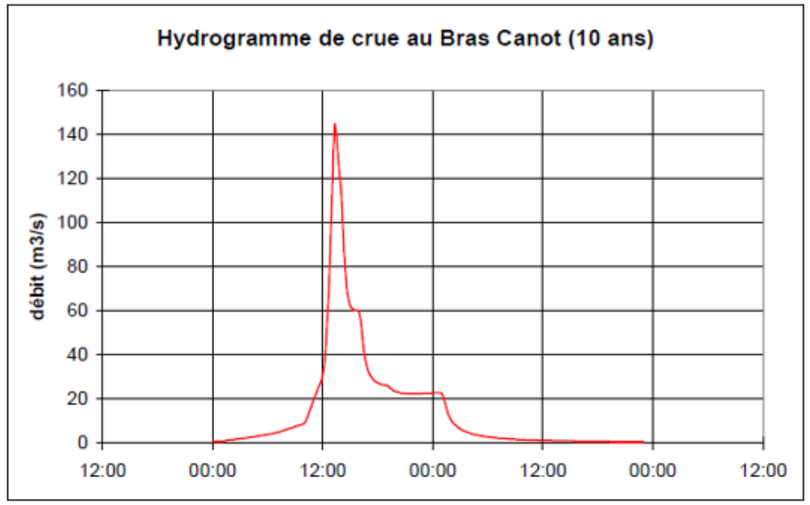
Suivi et entretien des ouvrages (Pages 43 à 45)

Coût des travaux TTC : 11 991 854 €

5.1.3 - Hydrogrammes de crue

FIGURE 14 : POUR T = 10 ANS

Pour T = 10 ans



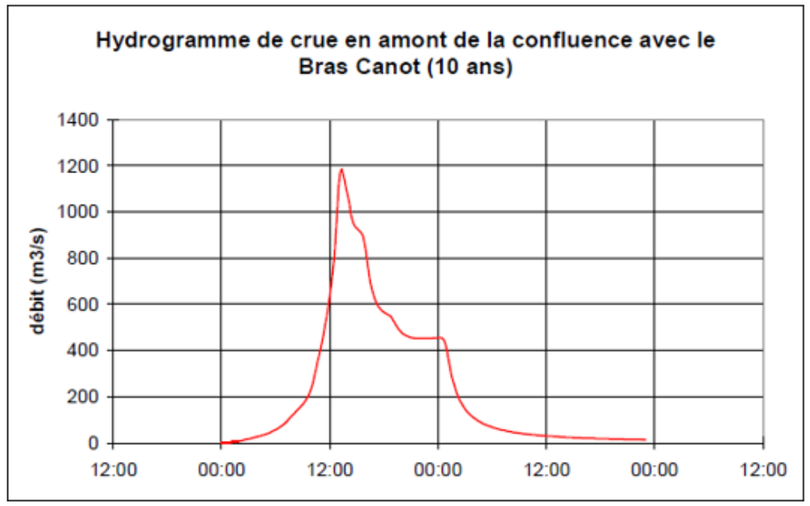
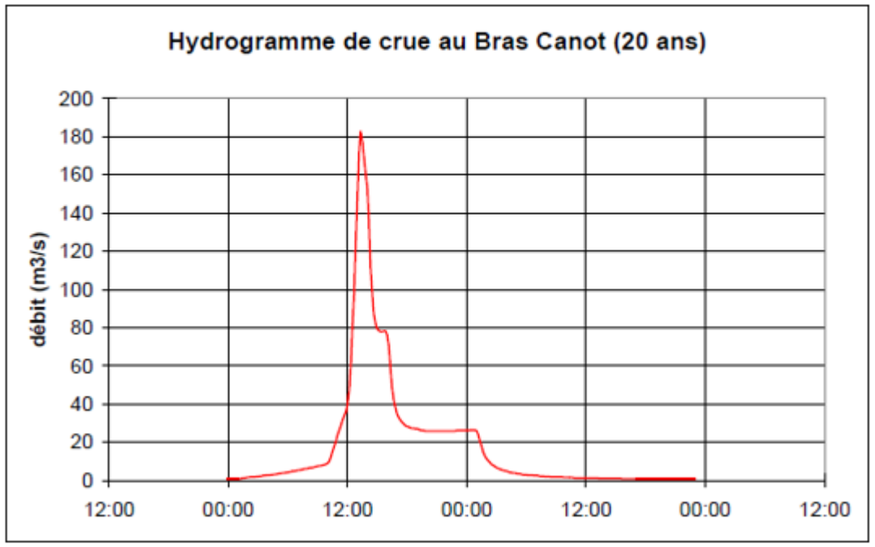


FIGURE 15 : POUR T = 20 ANS

Pour T = 20 ans



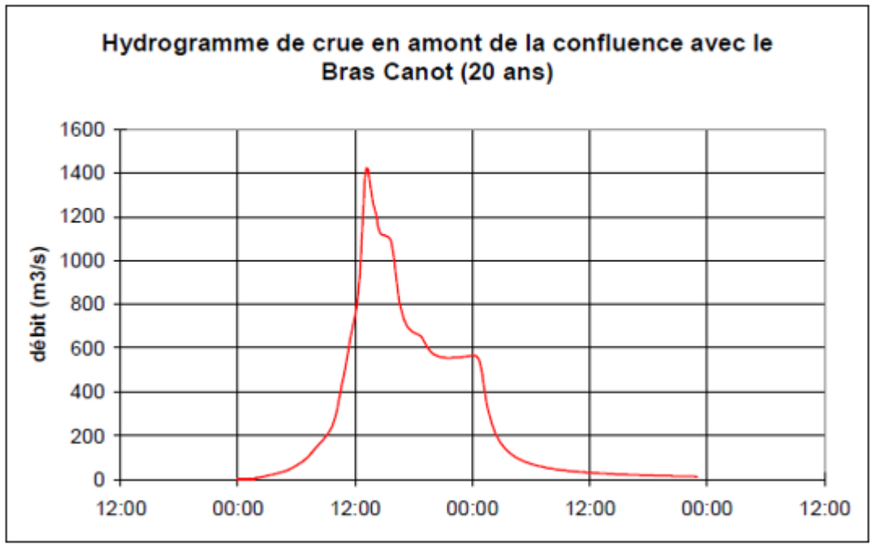
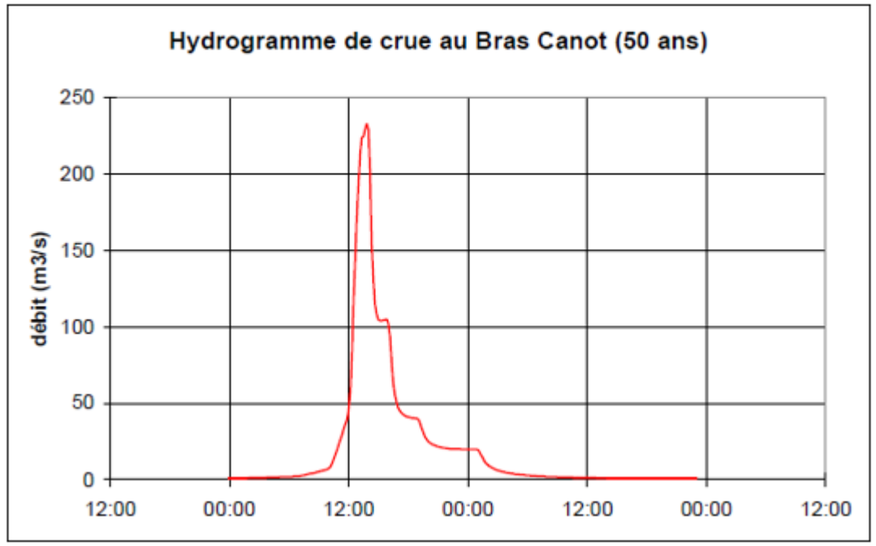


FIGURE 16 : POUR T = 50 ANS

Pour T = 50 ans



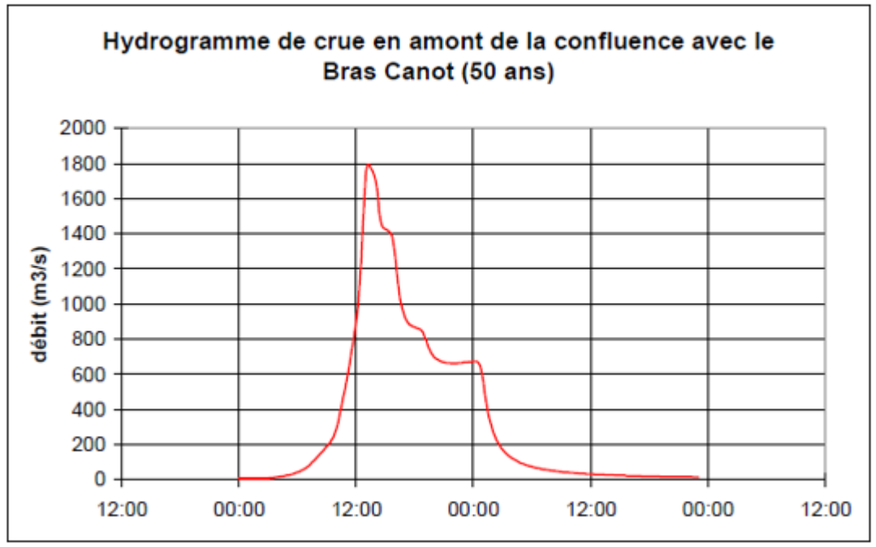
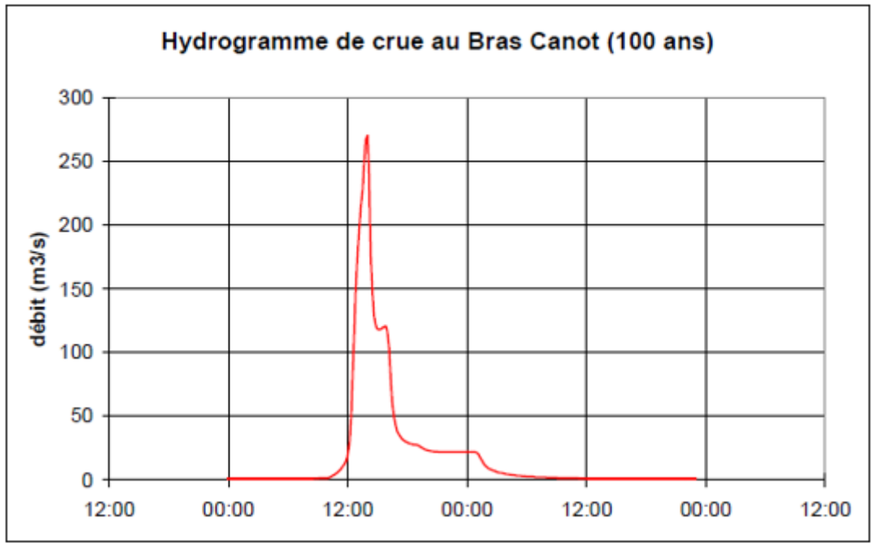


FIGURE 17 : POUR T = 100 ANS

Pour T = 100 ans



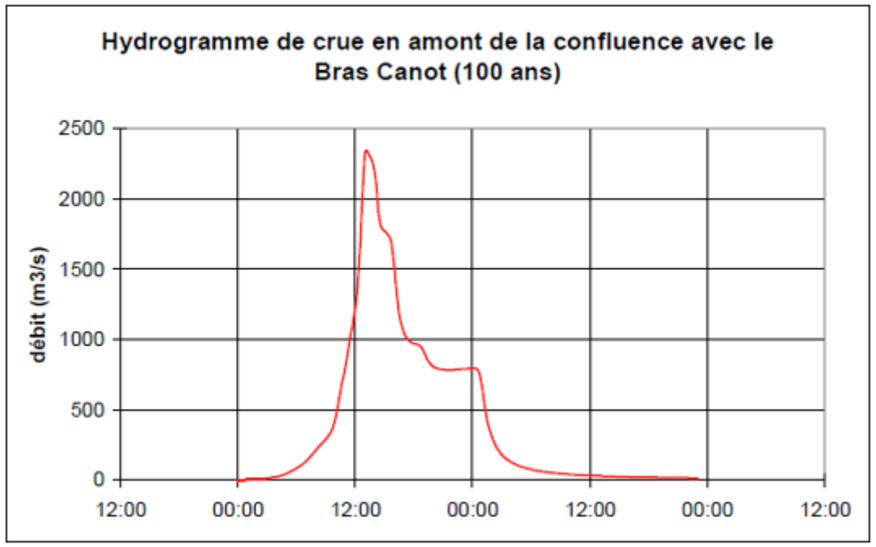
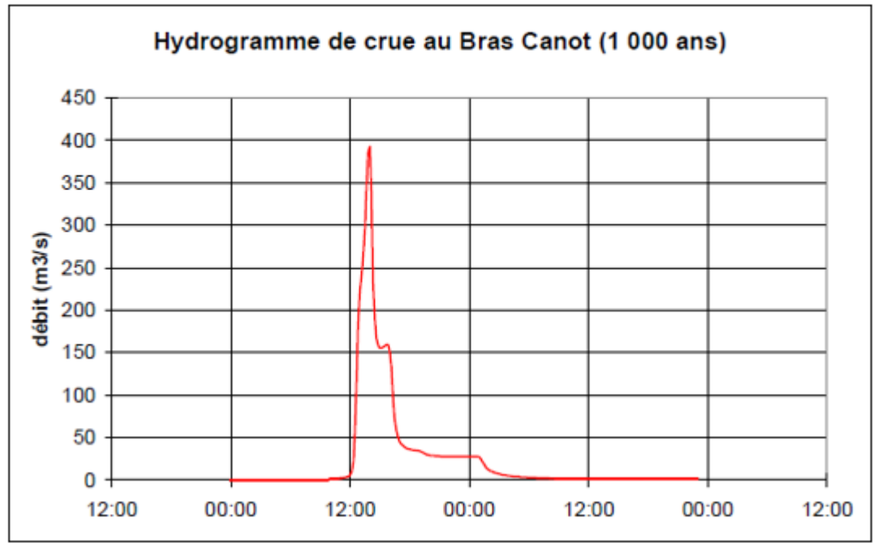


FIGURE 18 : POUR T = 1000 ANS

Pour T = 1 000 ans



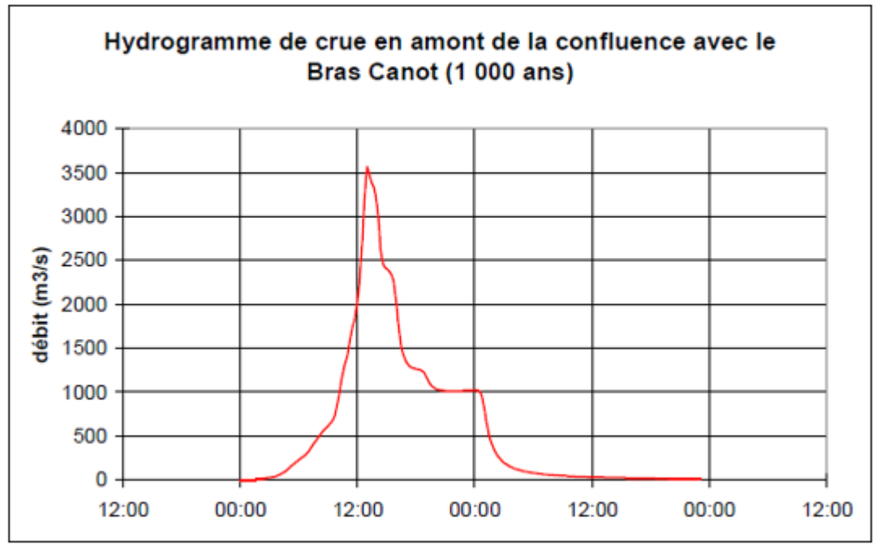
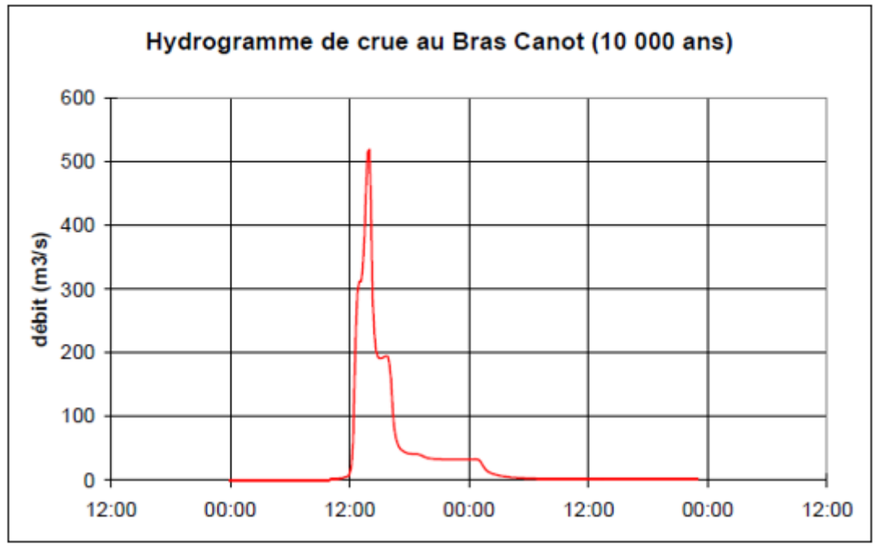
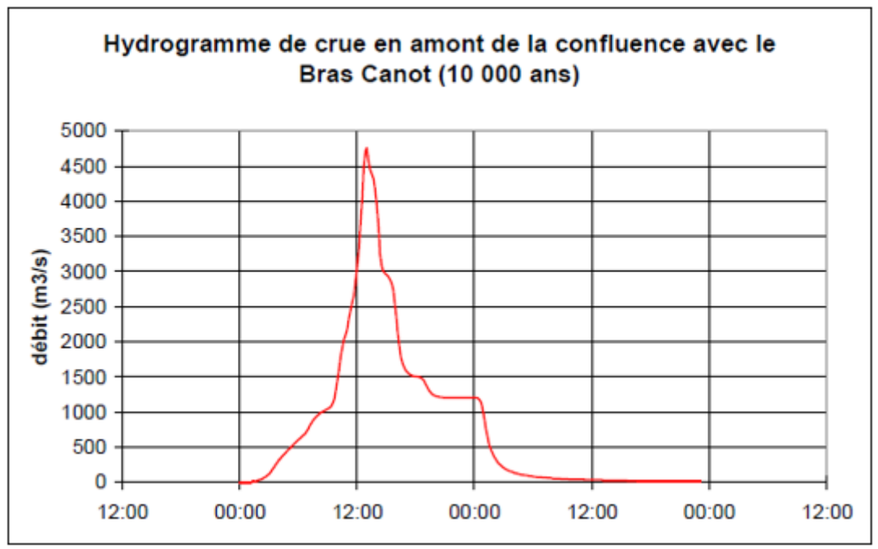


FIGURE 19 : POUR T = 10 000 ANS

Pour T = 10 000 ans





5.1.4 - Données Banque Hydro

FIGURE 20 : ÉVÈNEMENT 02/2009

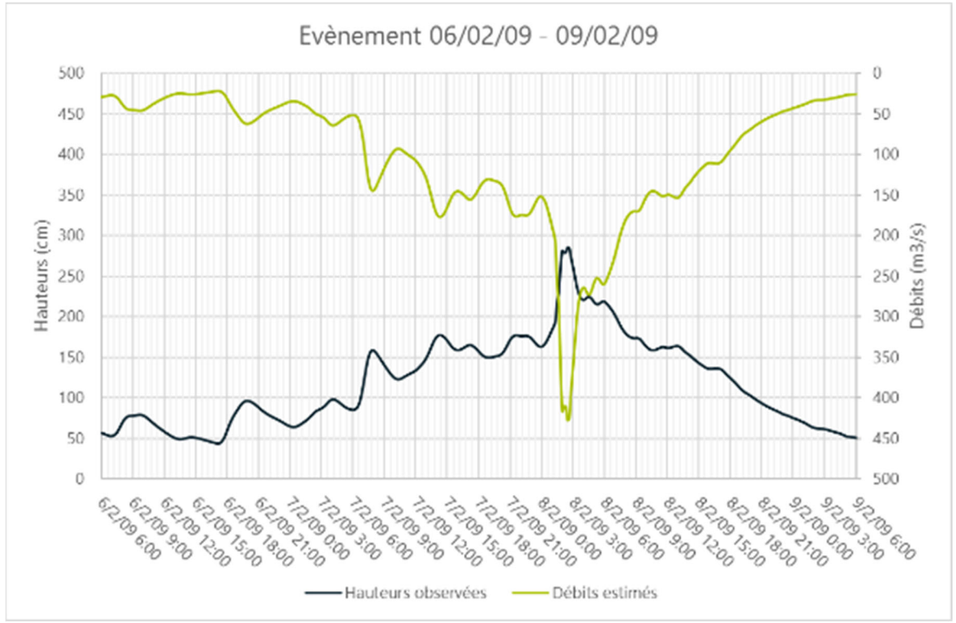


FIGURE 21 : ÉVÈNEMENT 04/2009

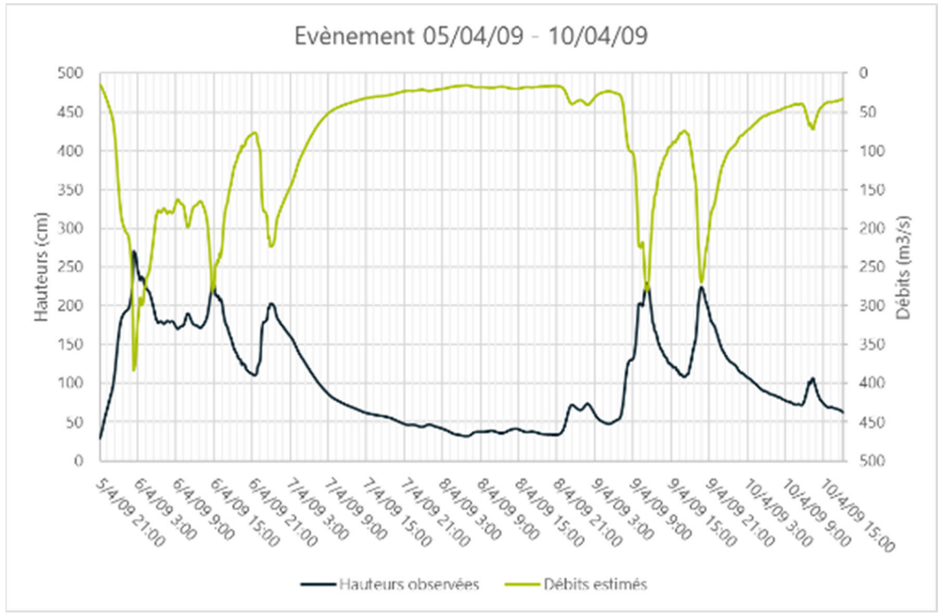


FIGURE 22 : ÉVÈNEMENT 01/2010

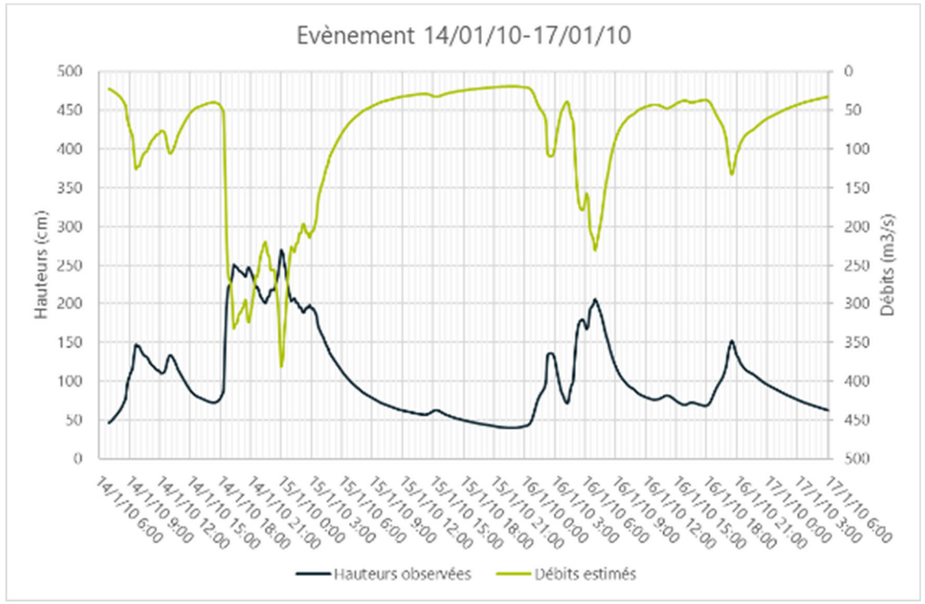


FIGURE 23 : ÉVÈNEMENT 02/2010

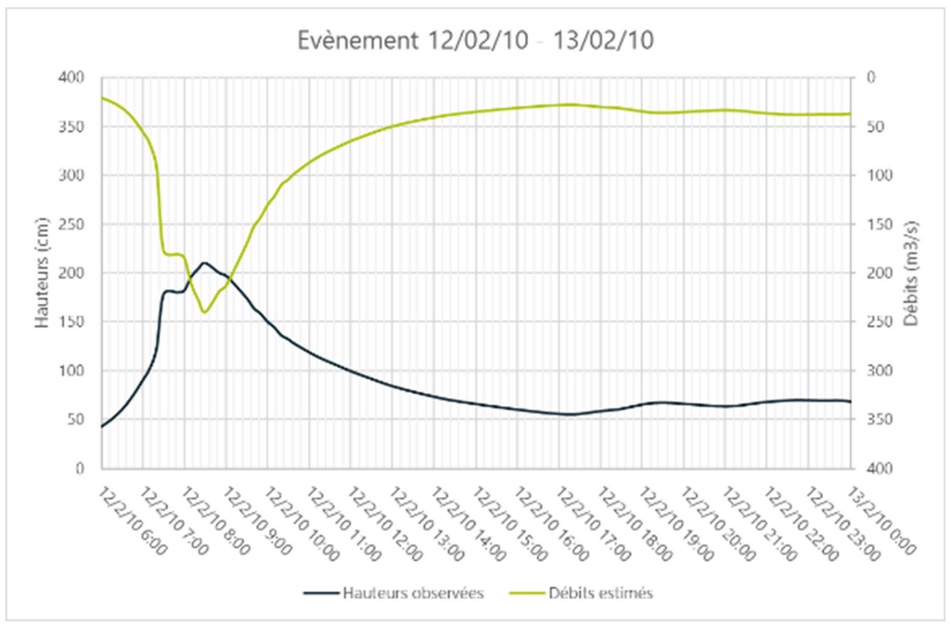


FIGURE 24 : ÉVÈNEMENT 03/2010

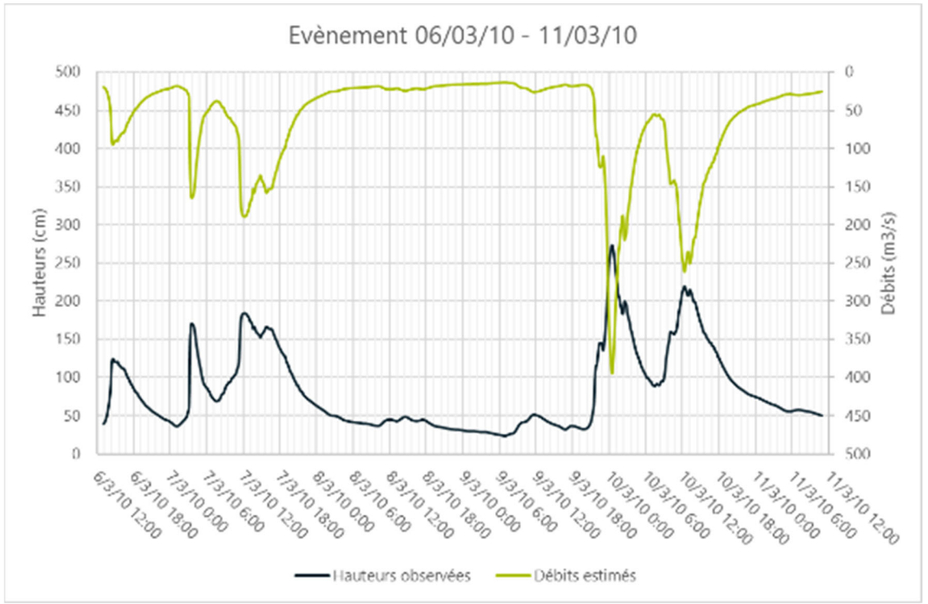


FIGURE 25 : ÉVÈNEMENT 03/2010

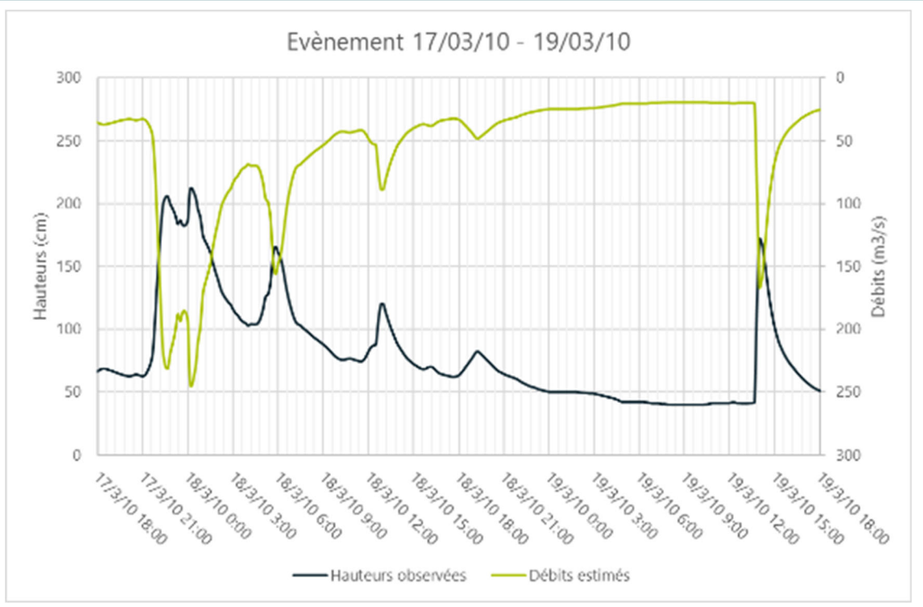


FIGURE 26 : ÉVÈNEMENT 01/2011

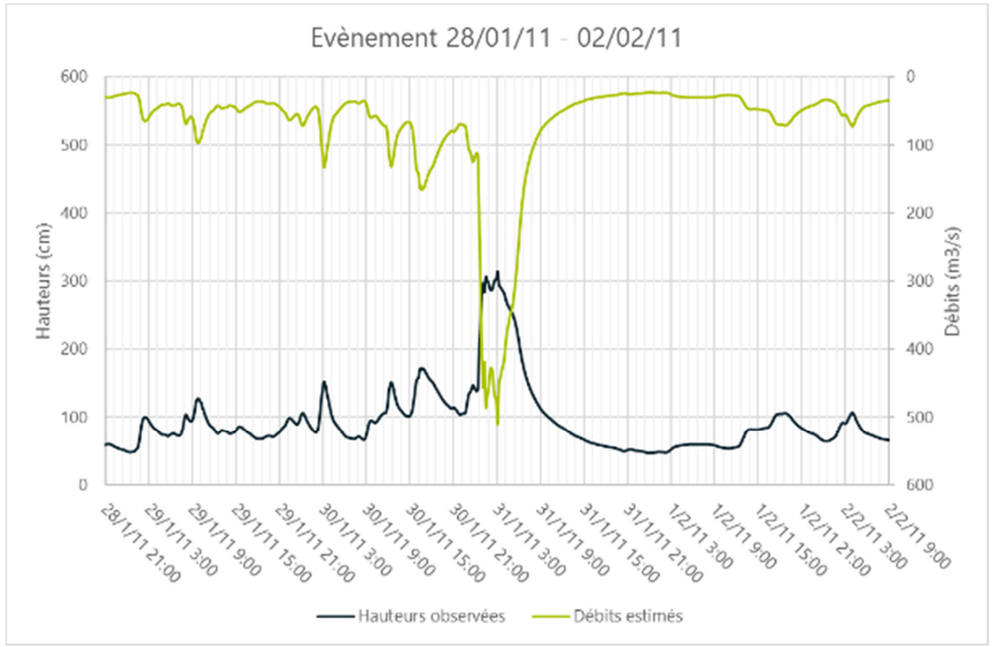


FIGURE 27 : ÉVÈNEMENT 01/2013

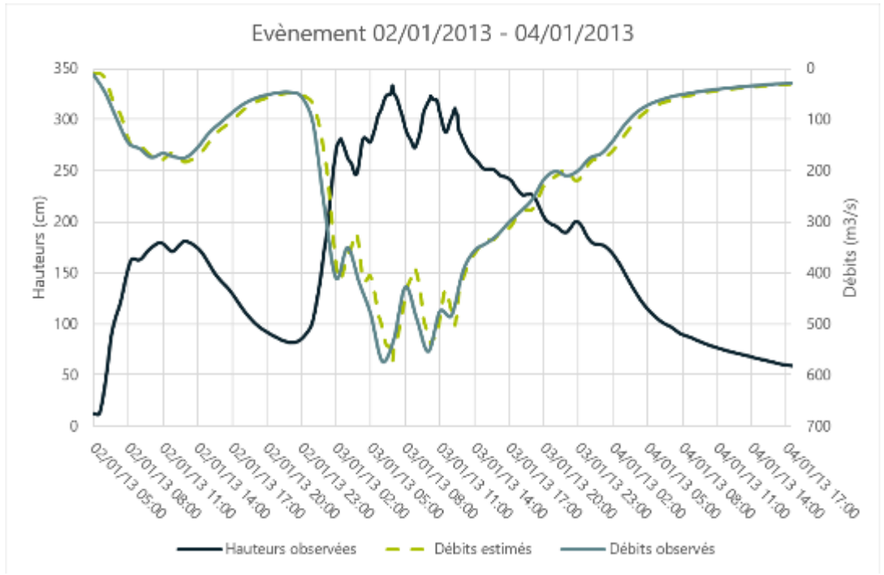


FIGURE 28 : ÉVÈNEMENT 01/2013

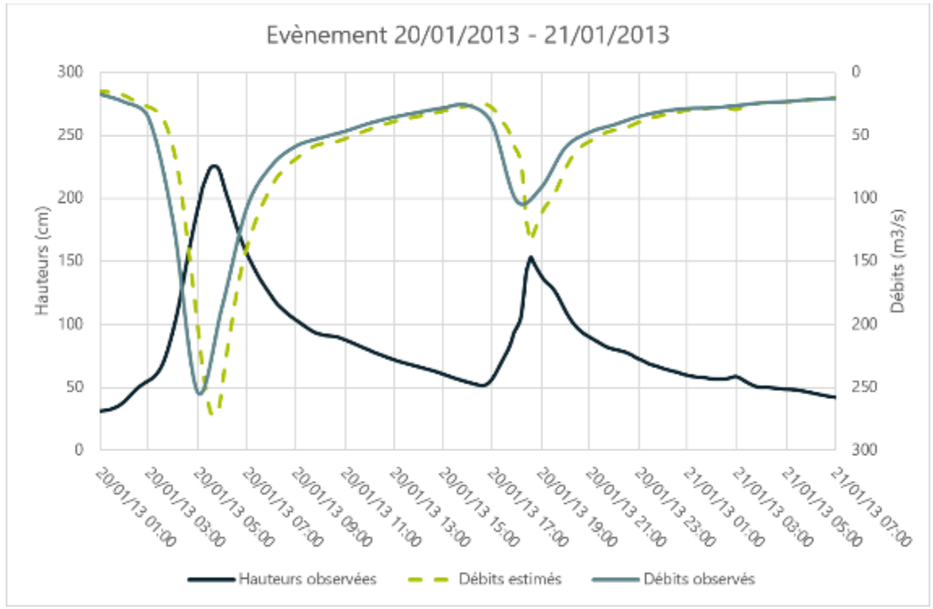


FIGURE 29 : ÉVÈNEMENT 01/2013

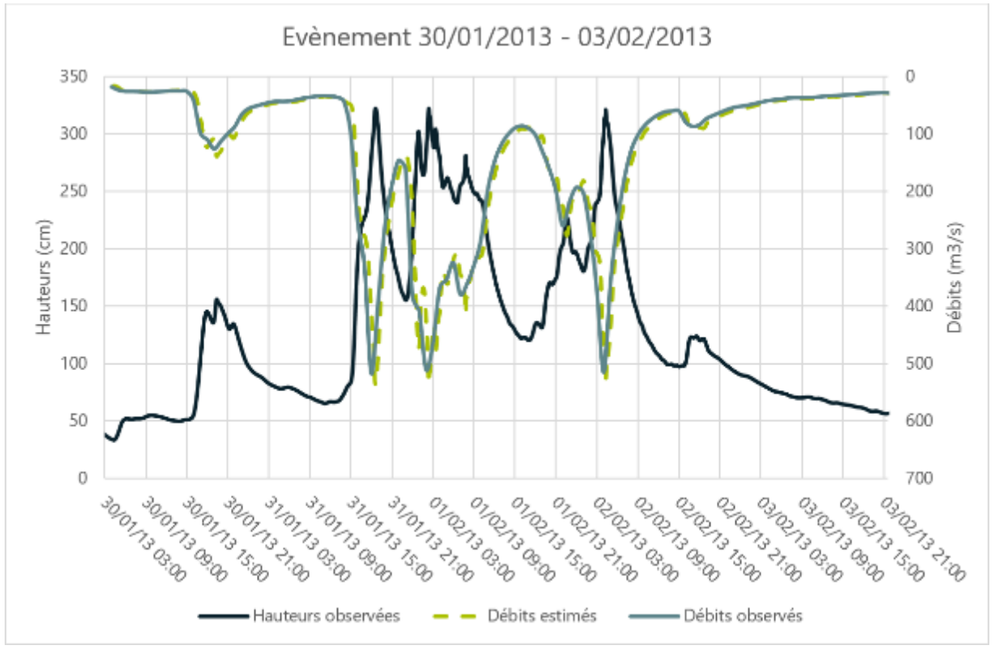


FIGURE 30 : ÉVÈNEMENT 02/2013

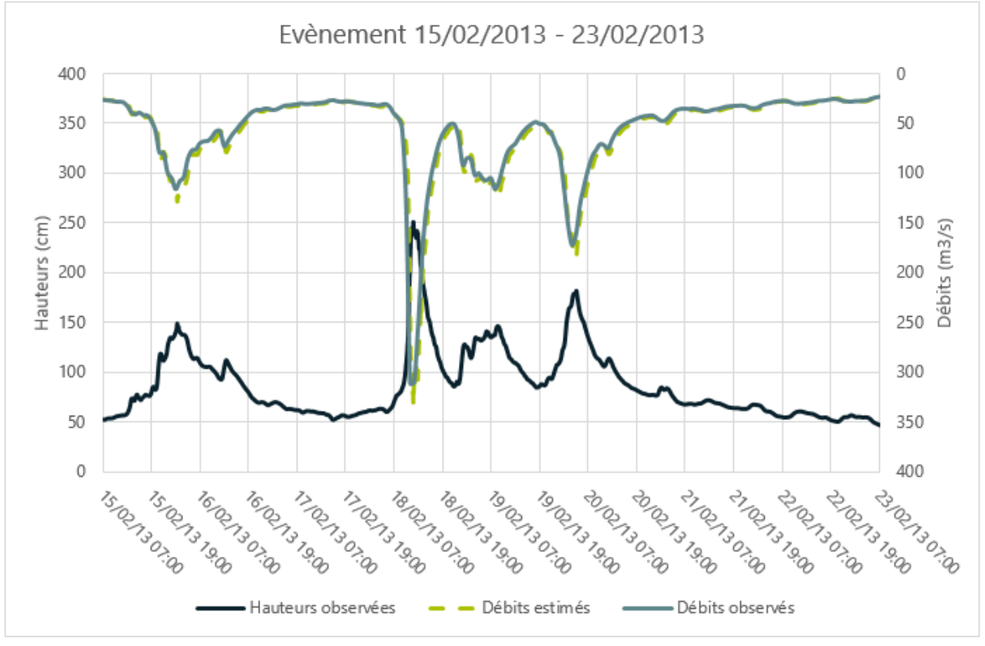


FIGURE 31 : ÉVÈNEMENT 01/2014

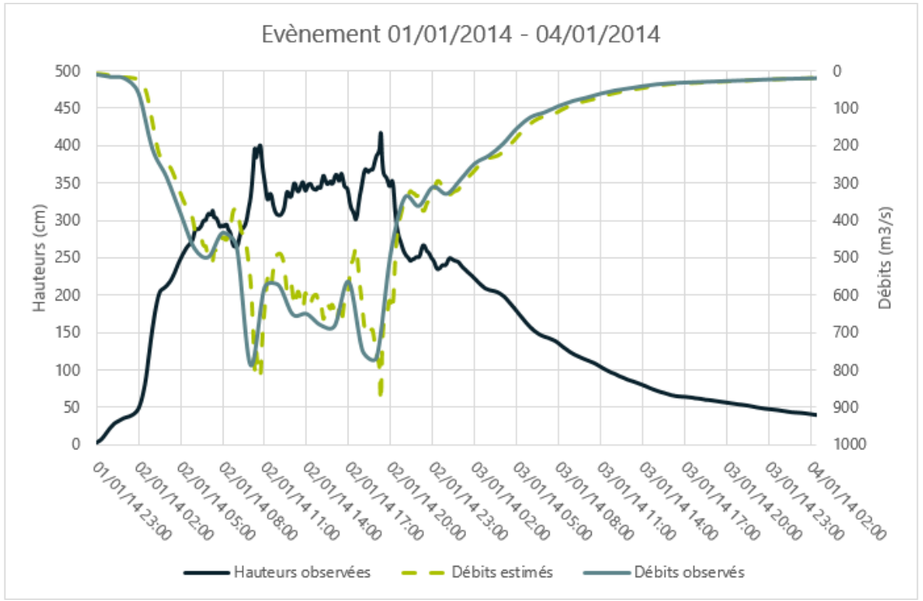


FIGURE 32 : ÉVÈNEMENT 05/2014

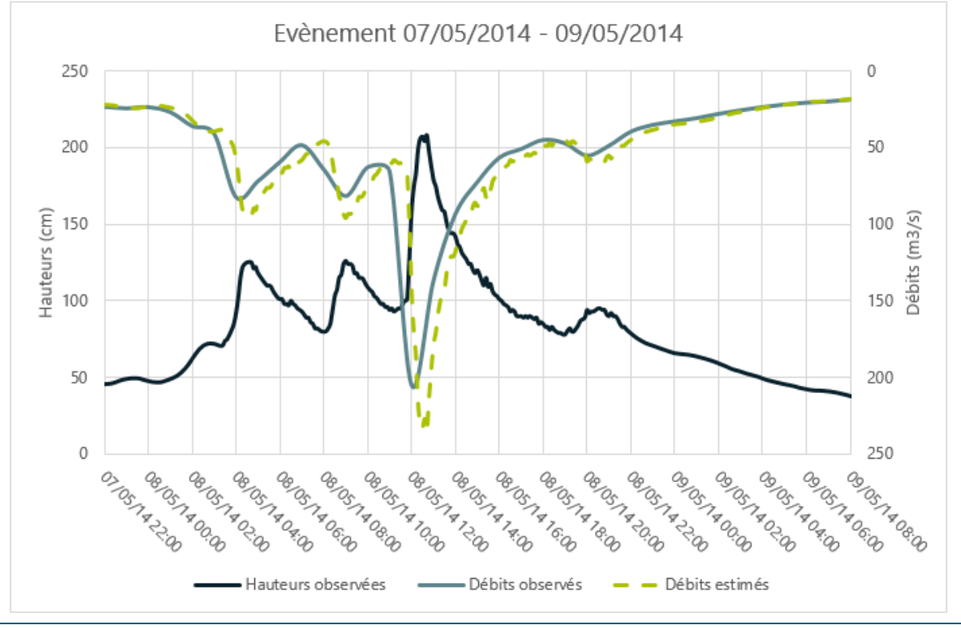


FIGURE 33 : ÉVÈNEMENT 01/2015

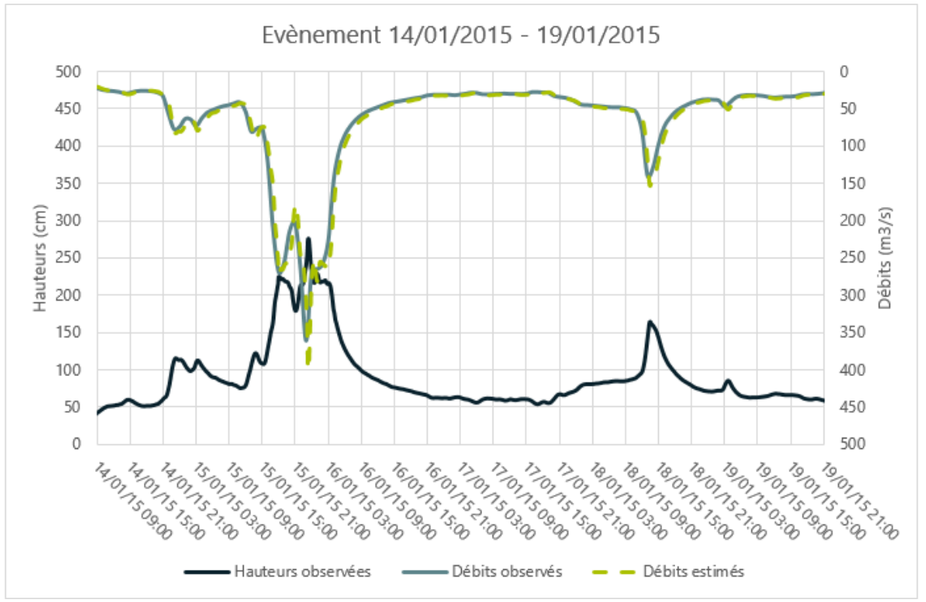


FIGURE 34 : ÉVÈNEMENT 02/2015

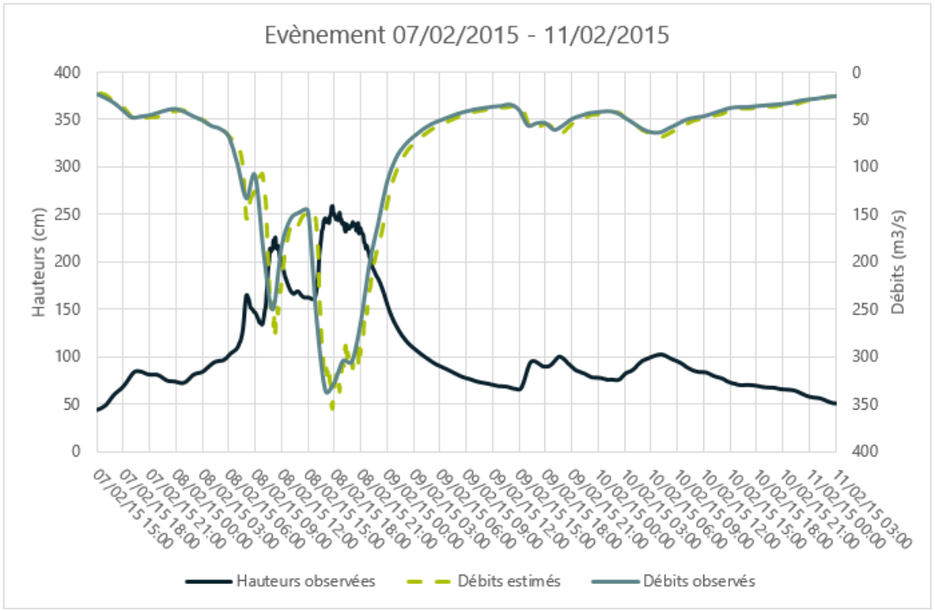


FIGURE 35 : ÉVÈNEMENT 03/2015

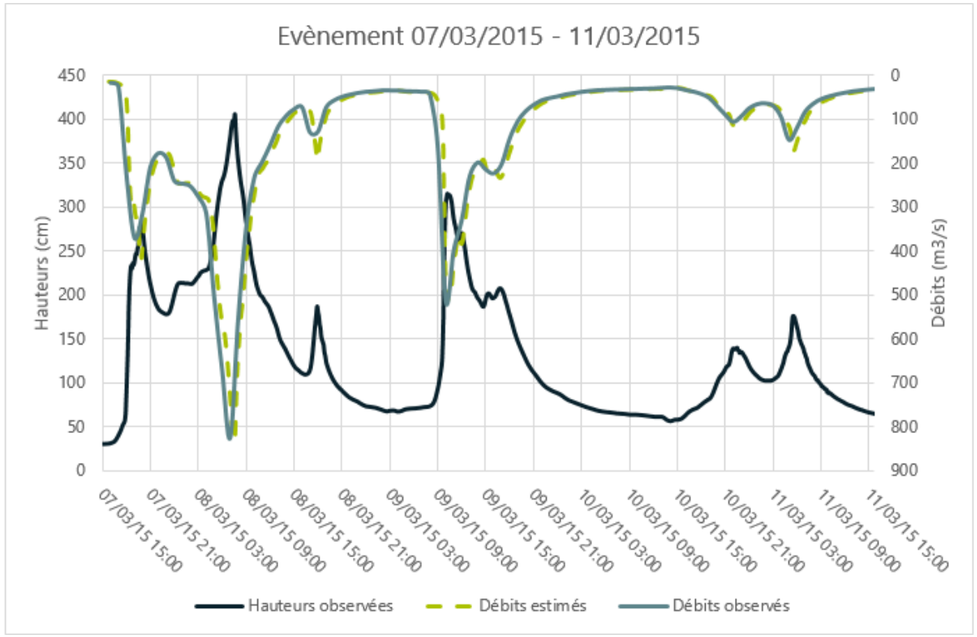


FIGURE 36 : ÉVÈNEMENT 12/2015

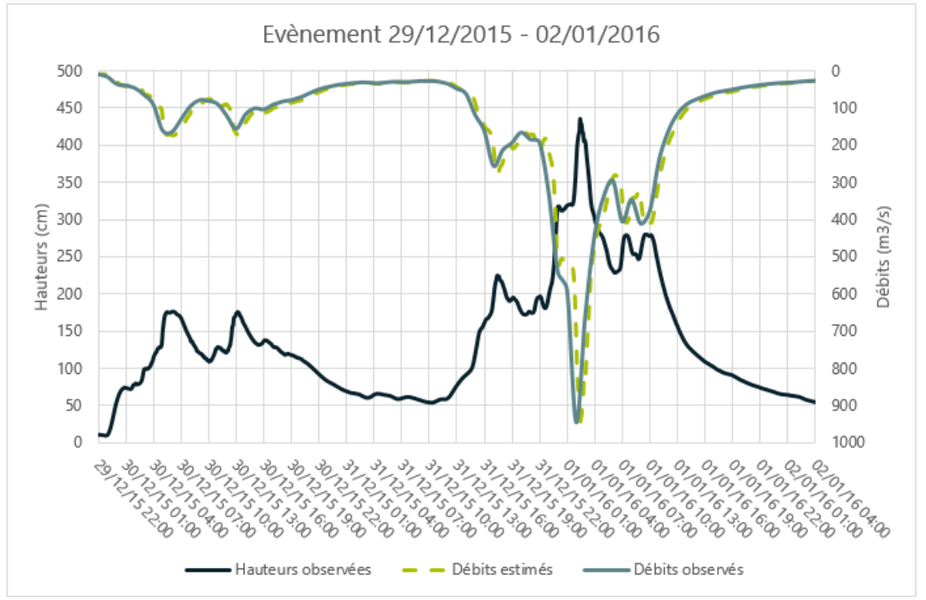


FIGURE 37 : ÉVÈNEMENT 02/2016

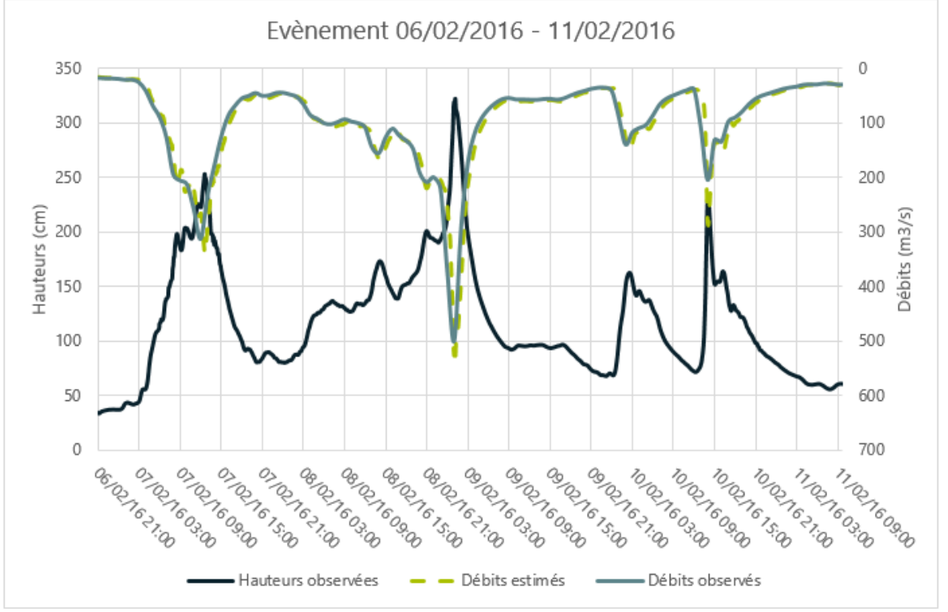


FIGURE 38 : ÉVÈNEMENT 02/2017

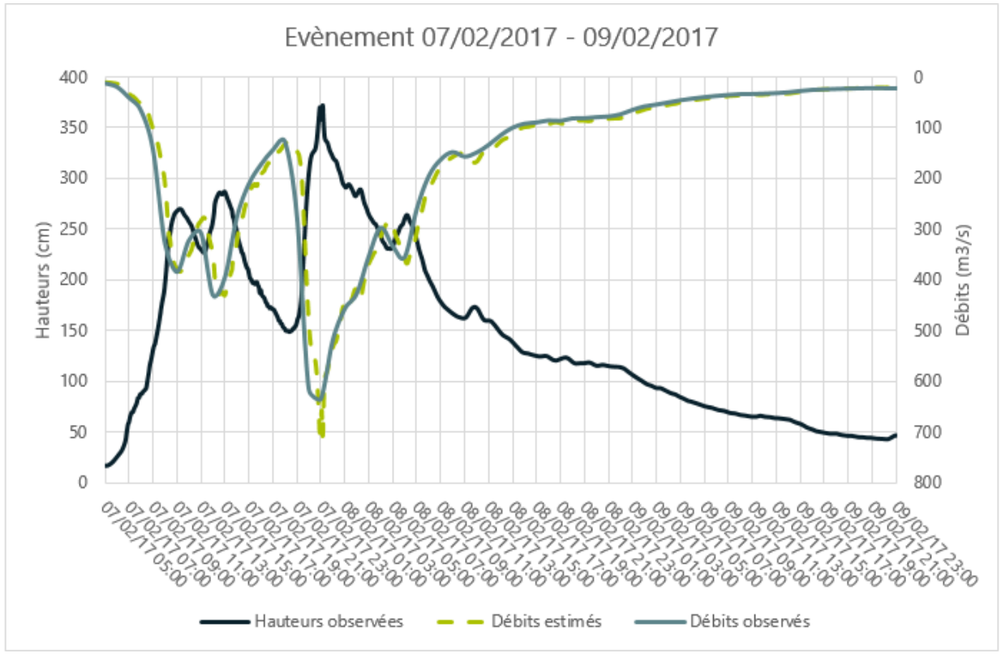


FIGURE 39 : ÉVÈNEMENT 08/2017

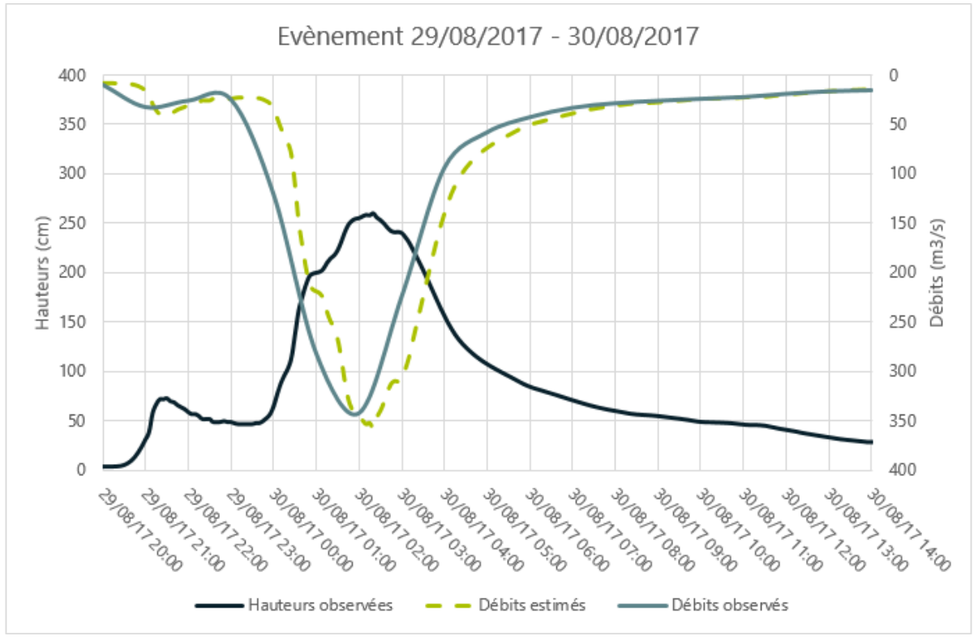


FIGURE 40 : ÉVÈNEMENT 01/2018

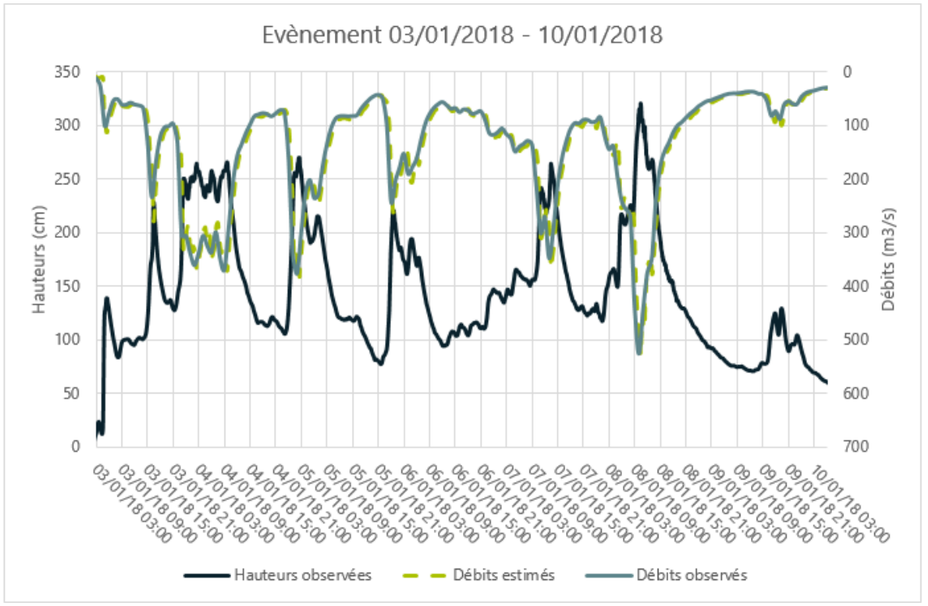


FIGURE 41 : ÉVÈNEMENT 01/2018

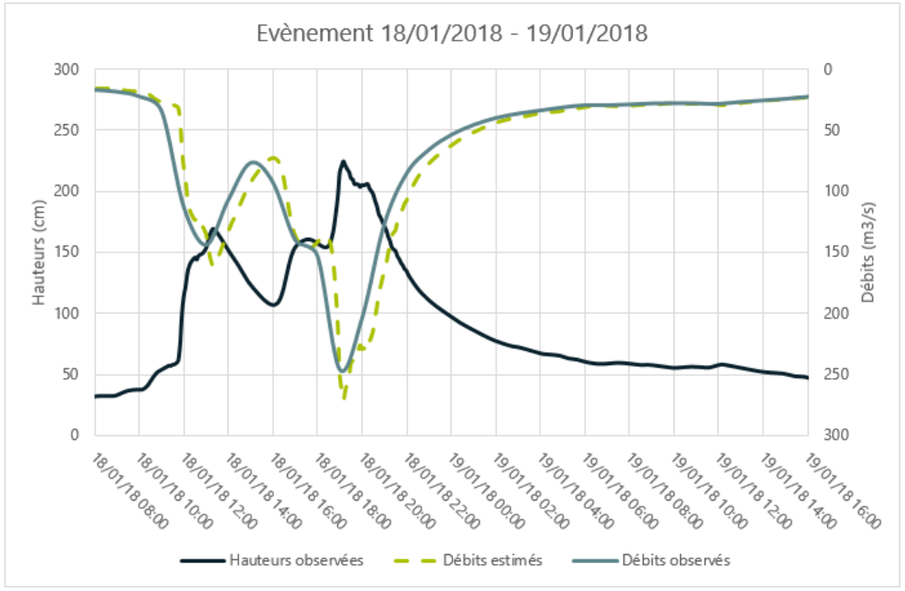


FIGURE 42 : ÉVÈNEMENT 03/2018

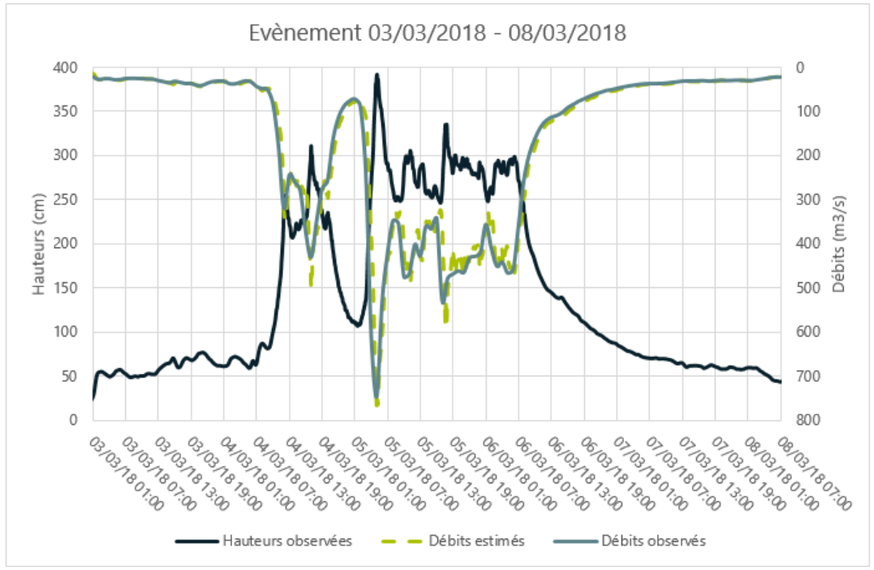


FIGURE 43 : ÉVÈNEMENT 03/2018

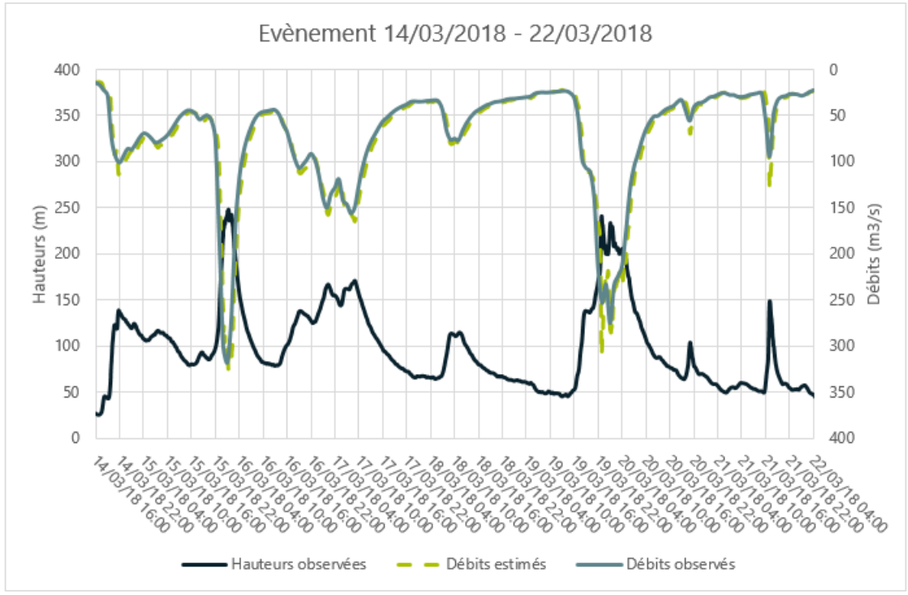


FIGURE 44 : ÉVÈNEMENT 04/2018

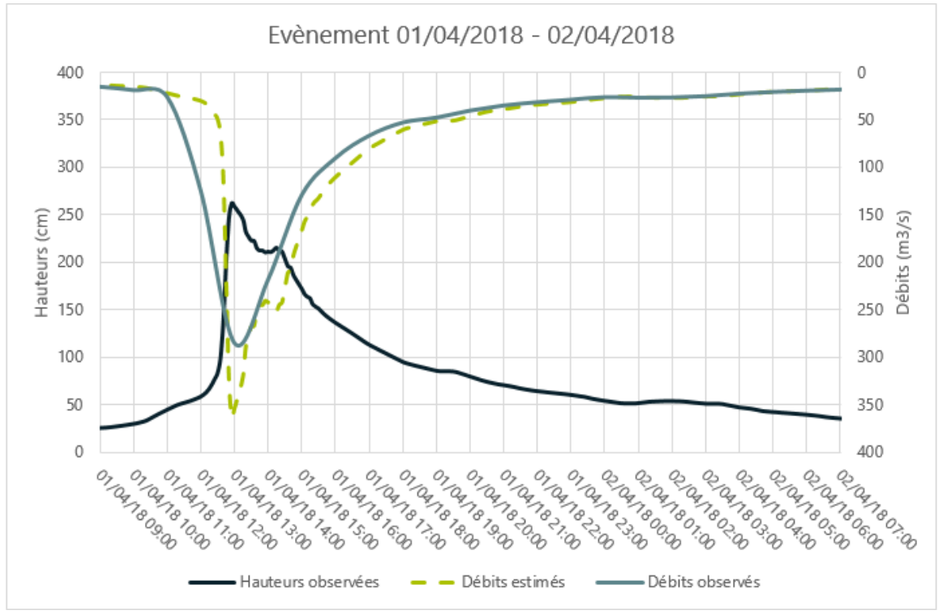
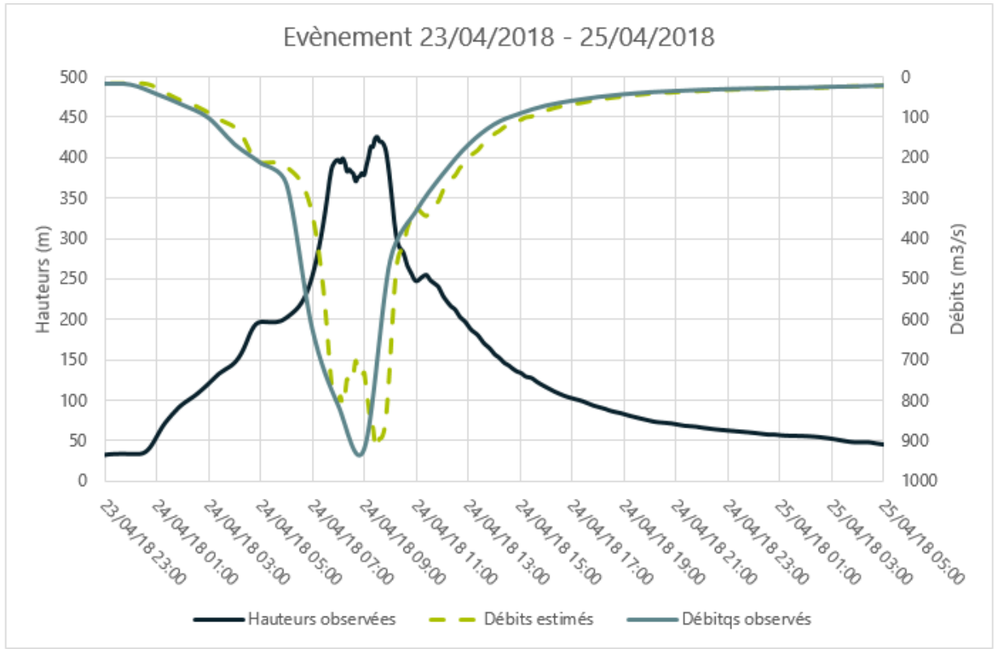


FIGURE 45 : ÉVÈNEMENT 04/2018



5.1.5 - Évolution des profils en travers entre 2009 et 2018

5.1.6 - Profils en long des différents essais réalisés en 2006

FIGURE 46 : ESSAI N°8 : CRUE VICENNALE, DÉBIT SOLIDE DE RÉFÉRENCE, OCÉAN CALÉ À LA COTE+1 MNGR

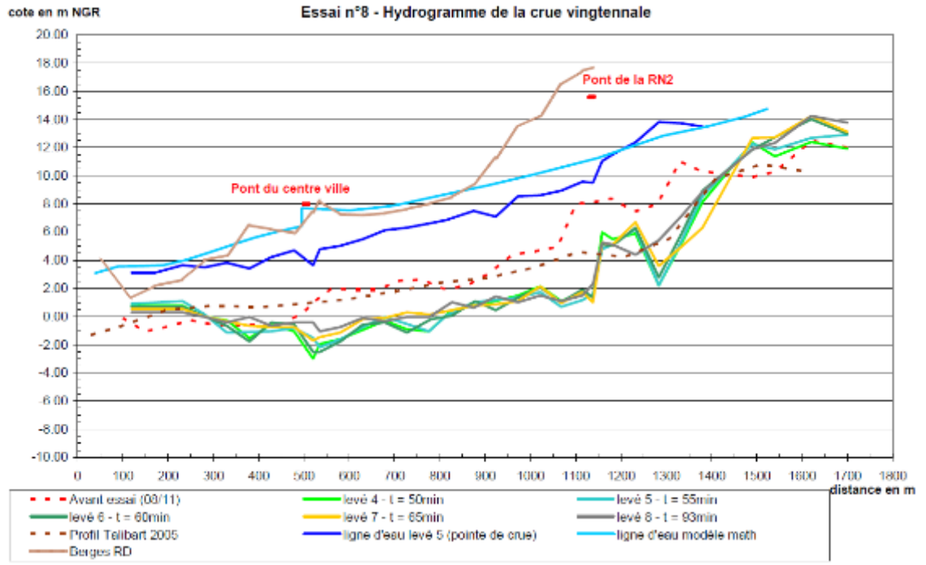


FIGURE 47 : ESSAI N°9 : CRUE CINQUANTENNALE, DÉBIT SOLIDE DE RÉFÉRENCE, OCÉAN CALÉ À LA COTE+1 M NGR

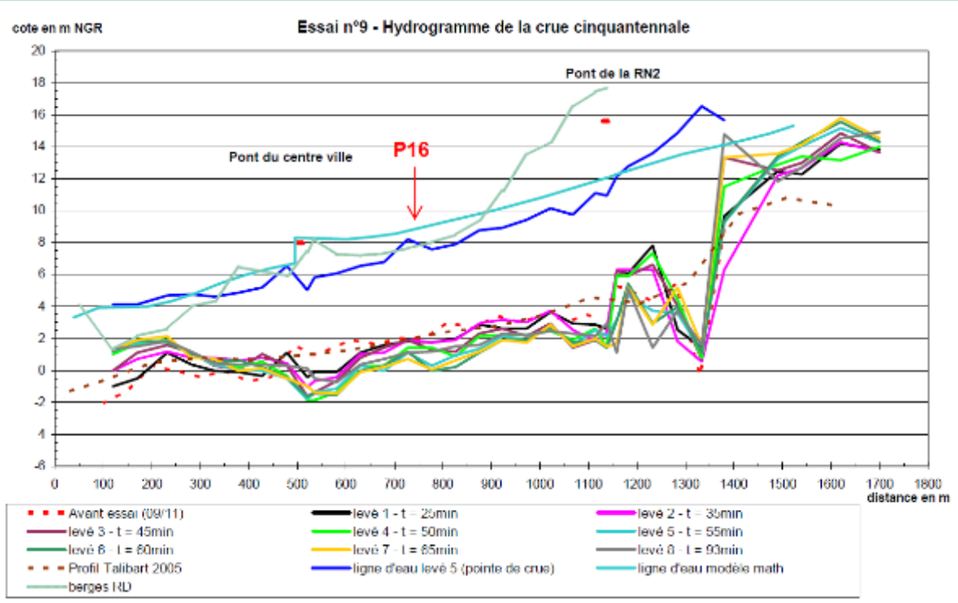


FIGURE 48 : ESSAI N°10 : CRUE CINQUANTENNALE, DÉBIT SOLIDE DE RÉFÉRENCE DOUBLÉ, OCÉAN CALÉ À LA COTE+1 M NGR

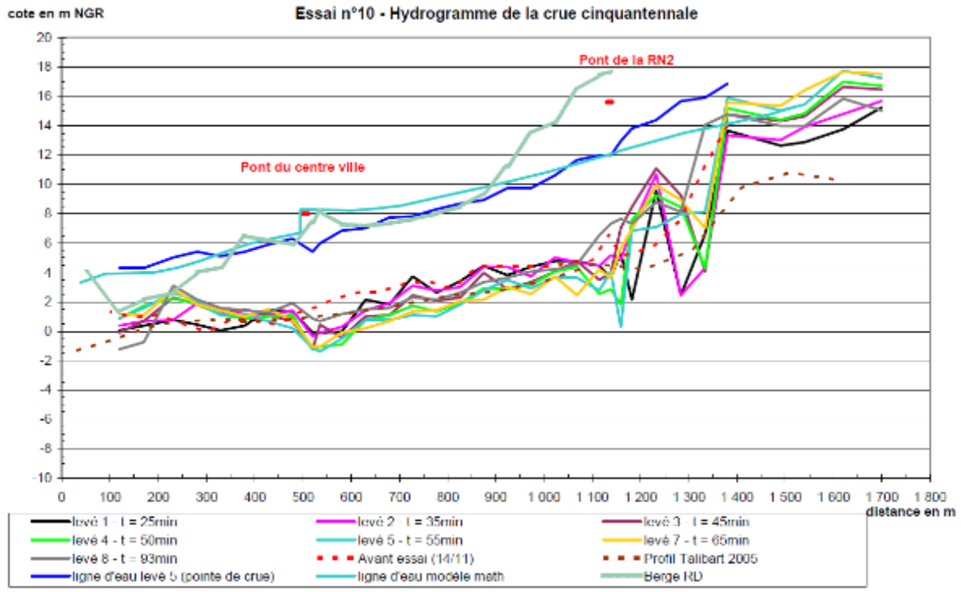


FIGURE 50 : ESSAI N°11 : CRUE CINQUANTENNALE, DÉBIT SOLIDE DE RÉFÉRENCE, OCÉAN CALÉ À LA COTE+1 M NGR, FOND FIXE ENTRE LES 2 PONTS

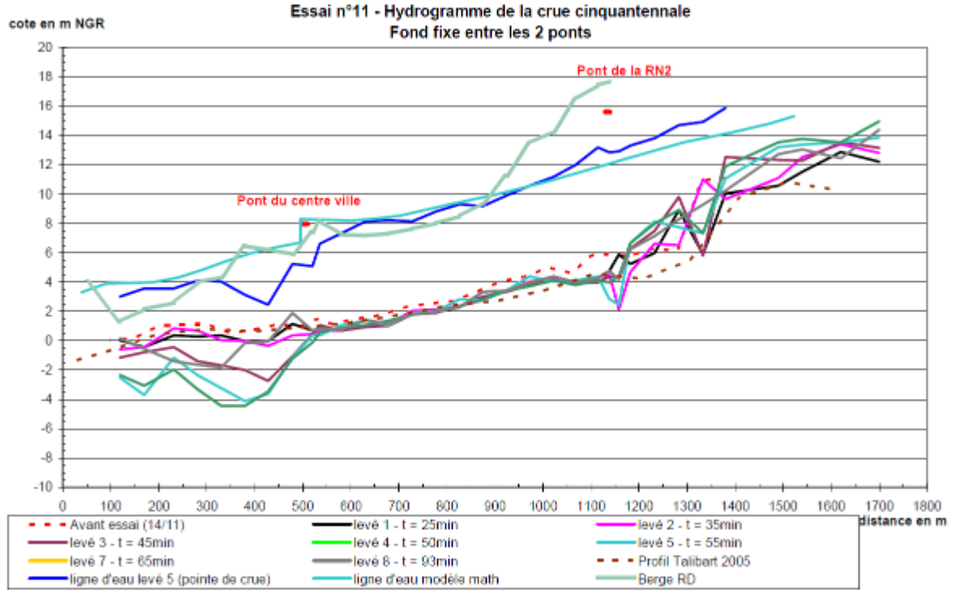


FIGURE 49 : ESSAI N°16 : CRUE VICENNALE, DÉBIT SOLIDE DE RÉFÉRENCE, OCÉAN CALÉ À LA COTE+4 M NGR

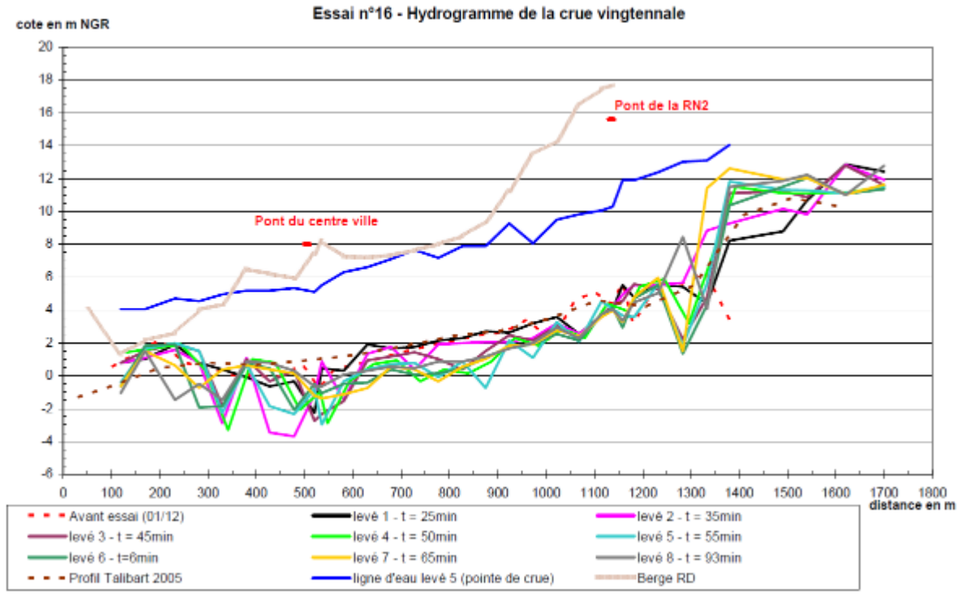


FIGURE 51 : ESSAI N°12 : CRUE CENTENNALE, DÉBIT SOLIDE DE RÉFÉRENCE, OCÉAN CALÉ À LA COTE+1 M NGR

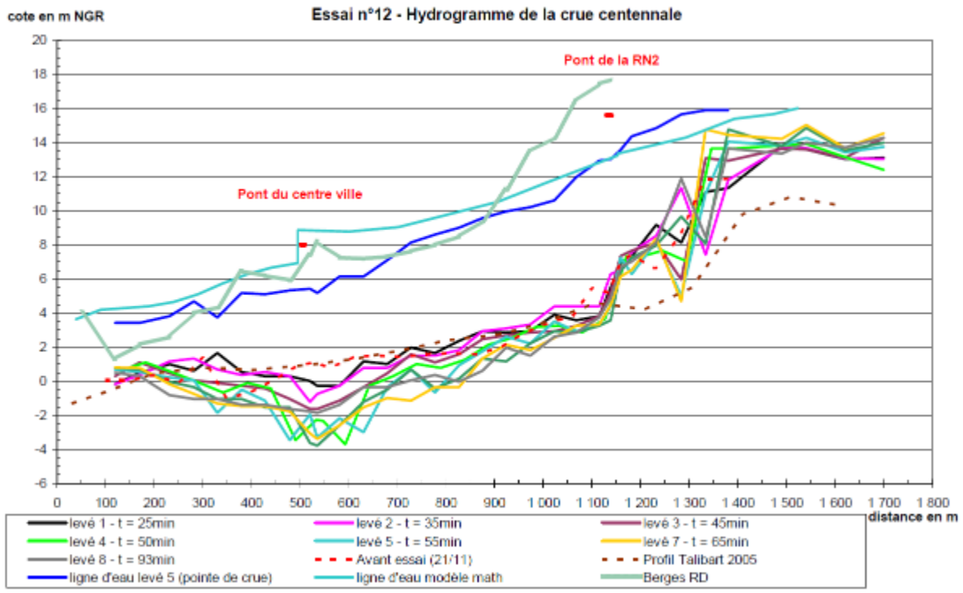


FIGURE 52 : ESSAI N°14 : CRUE EXCEPTIONNELLE, DÉBIT SOLIDE DE RÉFÉRENCE, OCÉAN CALÉ À LA COTE+2 M NGR

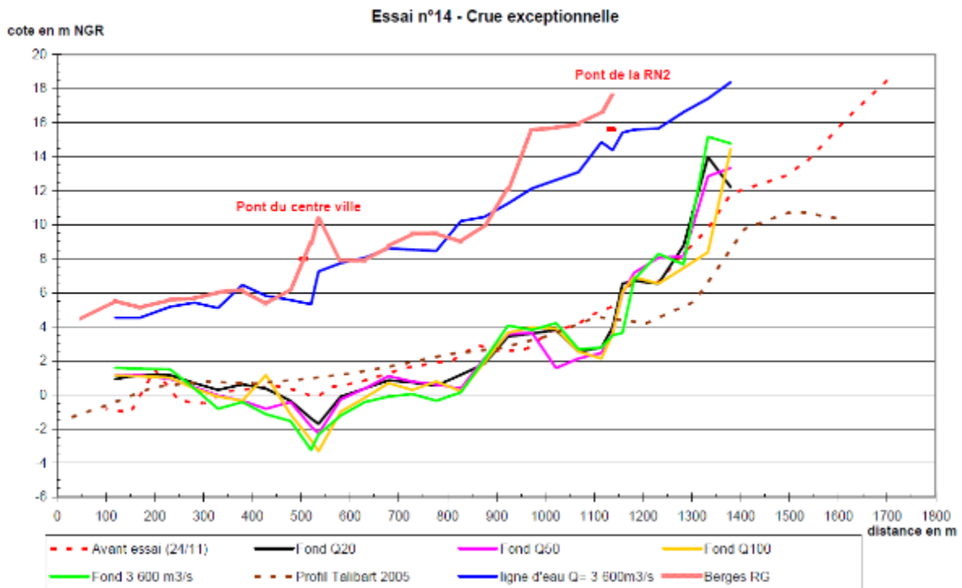
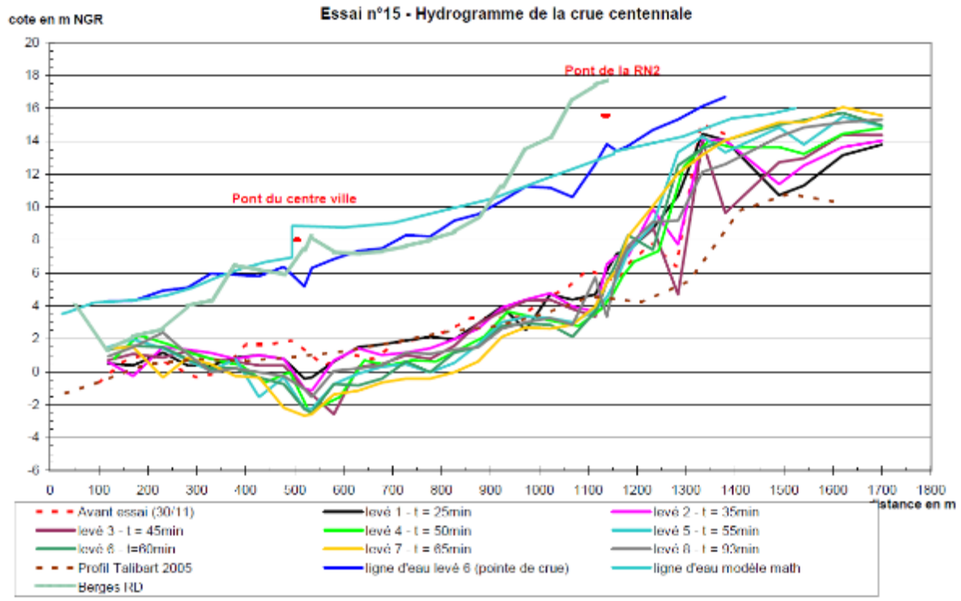


FIGURE 53 : ESSAI N°15 : CRUE CENTENNALE, SURALIMENTATION EN DÉBIT SOLIDE, OCÉAN CALÉ À LA COTE+2 M NGR



5.1.7 - Données granulométriques de la Rivière des Marsouins

FIGURE 54 : GRANULOMÉTRIE RETENUE POUR LE MODÈLE

Granulométrie retenue pour le modèle

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

FIGURE 55 : GRANULOMÉTRIE DE PAVAGE – MESURES SUR SITE

Granulométrie de pavage

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

FIGURE 56 : MODÈLE AJUSTÉ

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

egis

GROUPE Caisse des Dépôts