



Liberté . Egalité . Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture de la Mayenne



Direction
Départementale
de l'Équipement
Mayenne

Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles d'Inondation

Communes de Montsûrs et Brée

Avril 2007



AMÉNAGEMENT & ENVIRONNEMENT

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du 2 JUIL. 2007

1 - NOTE DE PRESENTATION

Sommaire

1.	Démarche globale de gestion des inondations	1
1.1.	Aspect législatif	1
1.2.	Objectifs en matière de gestion des zones inondables	1
1.3.	Principes et moyens à mettre en œuvre	1
1.4.	Mise en œuvre du PPRI sur la Jouanne à Montsûrs et Brée	1
2.	Présentation du secteur d'étude	2
2.1.	Contexte géographique et administratif	2
2.2.	Caractéristiques générales du site d'étude	2
2.2.1.	Morphologie	2
2.2.2.	Ouvrages hydrauliques sur la Jouanne	2
3.	Méthodologie	5
3.1.	Démarche globale	5
3.2.	Recueil de données et terrain	5
3.3.	Hydrologie	6
3.4.	Modélisation hydraulique	6
3.5.	Principe de classification des zones d'inondation	6
3.6.	Cartographie de l'aléa hydraulique	7
3.7.	Cartographie de l'enjeu	7
3.8.	Cartographie du zonage réglementaire	7
4.	Synthèse hydrologique	8
4.1.	Bassin versant de la Jouanne	8
4.1.1.	Découpage des bassins versants	8
4.1.2.	Caractéristiques des bassins versants	8
4.1.3.	Choix des points de calcul hydrologique	8
4.2.	Calcul des débits de crue au droit de Forcé	9
4.2.1.	Stations hydrométriques	9
4.2.2.	Crues historiques	10
4.2.3.	Estimation du débit de crue centennale au droit de Forcé	12
4.3.	Extrapolation des débits de crue au droit des différents points de calcul	15
5.	Modélisation hydraulique	16
5.1.	Construction du modèle	16
5.1.1.	Topographie	16
5.1.2.	Ouvrages hydrauliques	16
5.1.3.	Conditions aux limites	16

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du - 2 JUIL. 2007

5.1.4.	Coefficients de perte de charge	17
5.1.5.	Repères de crue	17
5.2.	Calage et validation du modèle	17
5.2.1.	Calage du modèle : Simulation de la crue de 1996	17
5.2.2.	Validation du modèle : Simulation de la crue de 2001	17
5.3.	Modélisation de la crue centennale	18
5.3.1.	Simulation de la crue centennale	18
5.3.2.	Caractéristiques de la zone inondée par la crue centennale	18
5.3.3.	Précisions des évaluations hydrauliques	18
6.	Analyse de l'enjeu	19
6.1.	Axes structurants	19
6.1.1.	Desserte des communes de Montsûrs et Brée	19
6.1.2.	Traversée du centre-ville de Montsûrs	19
6.2.	Equipements publics	19
6.3.	Etablissements industriels	20
6.4.	Etablissements commerciaux	20
6.5.	Habitations	21
6.6.	Synthèse	21

Figures

Figure 1 :	Ajustement d'une loi de Gumbel sur les débits de crue journaliers au droit de la station de Forcé	9
Figure 2 :	Ajustement d'une loi de Gumbel sur les débits de crue instantanés au droit de la station de Forcé	9
Figure 3 :	Hydrogramme de la crue de février 1996 à Forcé	11
Figure 4 :	Hydrogramme de la crue de janvier 2001 à Forcé	11
Figure 5 :	Ajustements de Gumbel – Cumuls de pluie sur 2 jours	12
Figure 5 :	Ajustements de Gumbel – Cumuls de pluie sur 4 jours	13
Figure 6 :	Ajustement des pluies maximales à Entrammes par une loi de Gumbel	13

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du - 2 JUIL. 2007

Photographies

Photographie 1 : Ouvrage JOU20 – Pont de la Petite Beillardière 3

Photographie 2 : Ouvrage JOU21 – Passerelle piétonne du plan d'eau 3

Photographie 3 : Ouvrage JOU21b – Clapet mobile du plan d'eau 3

Photographie 4 : Ouvrage JOU22 : Pont de la RD24 3

Photographie 5 : Ouvrages JOU22b et JOU22c – Passerelle piétonne et clapet mobile de la Petite Poulie 4

Photographie 6 : Ouvrage JOU23 – Passerelle piétonne du lavoir 4

Photographie 7 : Ouvrage JOU23b – Clapet mobile du lavoir 4

Photographie 8 : Ouvrages JOU23c et JOU23d : Passerelle piétonne et clapet mobile du Moulin des Ifs 4

Photographie 9 : Ouvrage JOU24 – Pont-cadres du Moulin des Ifs 5

Tableaux

Tableau 1 : Contexte administratif de la zone d'étude 2

Tableau 2 : Synthèse des données recueillies 6

Tableau 3 : Débits de crue au droit de Forcé issus de la synthèse hydrologique 6

Tableau 4 : Grille de définition de l'aléa hydraulique 7

Tableau 5 : Grille d'élaboration de la carte de zonage réglementaire. 7

Tableau 6 : Caractéristiques des bassins versants 8

Tableau 7 : Caractéristiques des bassins versants en amont des points de calcul hydrologique 9

Tableau 8 : Débits caractéristiques de crue au droit de Forcé 10

Tableau 9 : Périodes de retour associées aux crues historiques 10

Tableau 10 : Données météorologiques sur la crue de février 1996 11

Tableau 11 : Données météorologiques sur la crue de janvier 2001 11

Tableau 12 : Gradex des pluies à Entrammes 13

Tableau 13 : Application de la méthode du Gradex avec la durée de crue SOCOSE 14

Tableau 14 : Application de la méthode du Gradex avec la durée de crue locale 14

Tableau 15 : Calcul du débit de pointe centennal au droit de Forcé 14

Tableau 16 : Estimation du coefficient de la formule de Myer 15

Tableau 17 : Extrapolation des débits de crue au droit des points de calcul hydrologique 15

Tableau 18 : Extrapolation des débits de crue au droit des points de calcul hydrologique 16

Tableau 19 : Calage du modèle 17

Tableau 20 : Validation du modèle 17

Tableau 21 : rues inondées dans le centre-ville de Montsûrs 19

Tableau 22 : Equipements publics inondés sur les communes de Montsûrs et Brée 19

Tableau 23 : Etablissements industriels inondés sur les communes de Montsûrs et Brée 20

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du - 2 JUIL. 2007

1. Démarche globale de gestion des inondations

1.1. Aspect législatif

La prévention des risques naturels, dont font partie les risques d'inondation, a été relancée par le Chapitre II, Titre VI, Livre 5 du Code de l'Environnement, relatif au renforcement de la protection de l'environnement. Ce chapitre reprend en partie et complète la loi "Barnier" n°95-101 du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement. Ce chapitre institue un document unique : le plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) qui remplace tous les plans ou périmètres existants précédemment (plans de surfaces submersibles, plans d'exposition aux risques naturels prévisibles). Ces nouveaux plans sont institués par les préfets de département, sont soumis à enquête publique et constituent une servitude d'utilité publique. Ce chapitre établit également un programme visant à ce que tous les secteurs soumis à des risques importants soient couverts par un PPR d'ici à 5 ans.

1.2. Objectifs en matière de gestion des zones inondables

La circulaire interministérielle du 24 janvier 1994 définit les objectifs arrêtés par le gouvernement en matière de gestion des zones inondables. Ces objectifs sont les suivants :

- arrêter les nouvelles implantations humaines dans les zones les plus dangereuses,
- préserver les capacités de stockage et d'écoulement des crues,
- sauvegarder l'équilibre et la qualité des milieux naturels.

1.3. Principes et moyens à mettre en œuvre

Une circulaire interministérielle plus récente (24 avril 1996) concerne les dispositions applicables au bâti et ouvrages existants en zones inondables. Elle rappelle la politique à mettre en œuvre qui consiste à appliquer les principes suivants :

- veiller à ce que soit interdite toute nouvelle construction dans les zones inondables soumises aux aléas les plus forts,
- contrôler strictement l'extension de l'urbanisation, c'est-à-dire la réalisation de nouvelles constructions, dans les zones d'expansion des crues,
- éviter tout endiguement ou remblai nouveau qui ne serait pas justifié par la protection de lieux fortement urbanisés.

Ceci implique notamment la délimitation :

- des zones d'expansion de crues à préserver, qui sont les secteurs non urbanisés ou peu urbanisés et peu aménagés où la crue peut stocker un volume d'eau important ;
- les zones d'aléas les plus forts, déterminées en fonctions des hauteurs d'eau atteintes par une crue de référence.

Cette circulaire précise également les dispositions applicables aux constructions existantes qui visent à réduire la vulnérabilité des biens et activités dans les zones exposées et à maintenir la capacité d'écoulement et d'expansion des crues. Les principales dispositions sont les suivantes :

- permettre les travaux et les aménagements du bâti et de ses accès ayant pour effet de réduire le risque d'inondation,
- interdire les aménagements nouveaux de locaux à usage d'habitation ou des extensions significatives à rez-de-chaussée,
- imposer les dispositifs visant à empêcher la dispersion d'objets ou de produits dangereux, polluants ou flottants,
- interdire, dans les zones d'aléa le plus fort, toute augmentation d'emprise au sol des bâtiments ainsi que les clôtures dont la conception constituerait un obstacle à la libre circulation des eaux.

Des adaptations peuvent être apportées à ces dispositions en fonction du contexte local afin de tenir compte des usages agricoles et de ceux directement liés à la voie d'eau ainsi que des centres urbains.

1.4. Mise en œuvre du PPRI sur la Jouanne à Montsûrs et Brée

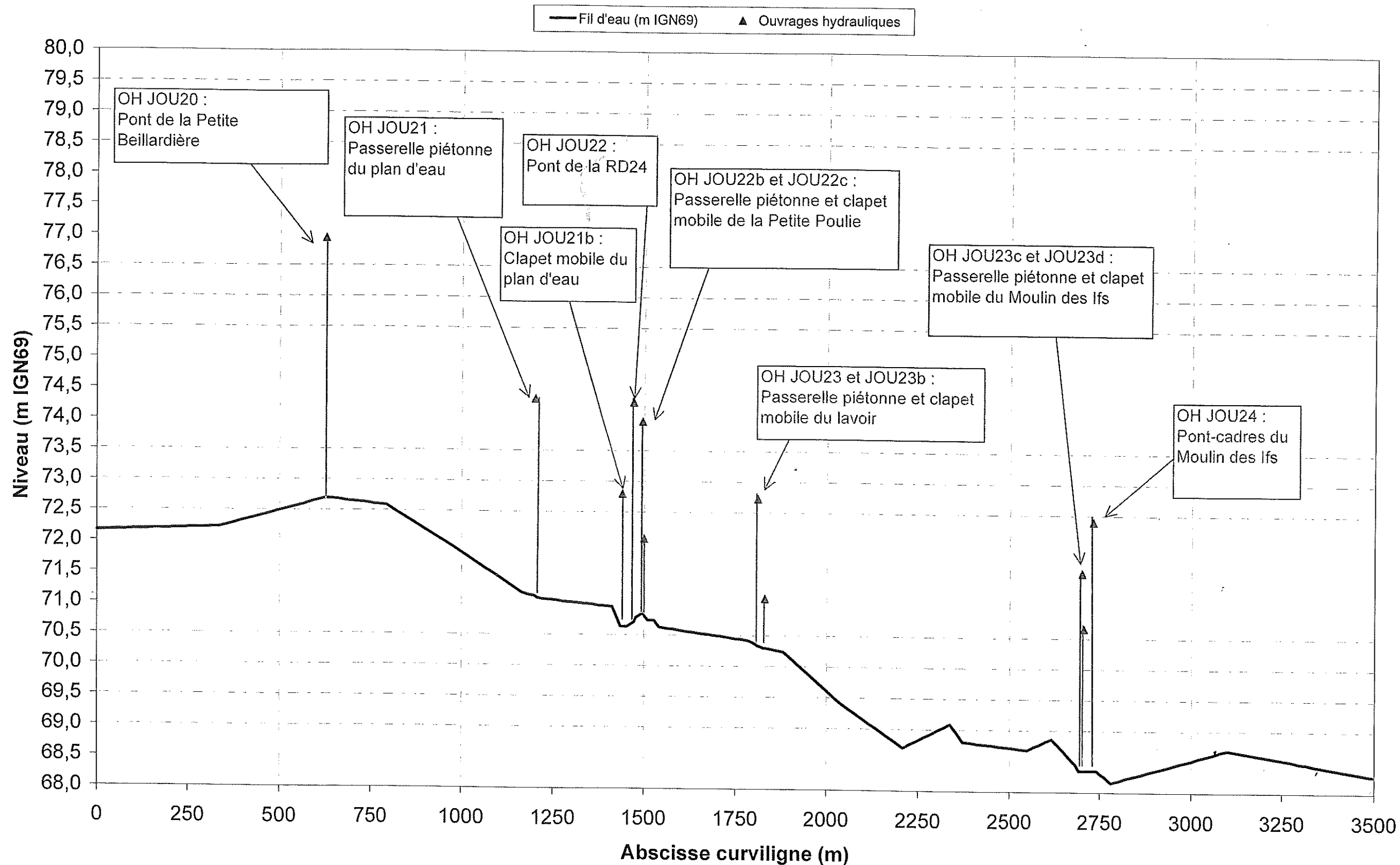
C'est dans le cadre législatif décrit précédemment (Chapitre II, Titre VI, Livre 5 du code de l'environnement) que s'inscrit le Plan de Prévention des Risques Inondation sur la Jouanne au droit des communes de Brée et Montsûrs.

Une synthèse hydrologique comprenant une analyse des débits de la Jouanne au droit des stations hydrométriques de Neau et Forcé a préalablement été réalisée et fait apparaître une période de retour inférieure à 100 ans pour les crues historiques observées depuis 1966.

Or, la méthodologie de mise en place des PPRI en France demande la prise en compte de la crue la plus forte observée ou de la crue centennale si la plus forte crue observée à une période de retour inférieure à 100 ans. C'est pourquoi le présent PPRI est élaboré sur la base d'une crue centennale de la Jouanne.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

Profil en long de la Jouanne au droit du secteur d'étude et ouvrages hydrauliques



2. Présentation du secteur d'étude

2.1. Contexte géographique et administratif

Le secteur d'étude concerne la rivière de la Jouanne au droit de sa traversée de l'agglomération de Montsûrs, dans le département de la Mayenne.

L'arrêté préfectoral de prescription du PPRI précise les limites de la zone d'étude :

- Limite amont : 500 mètres en amont de la station de pompage, c'est-à-dire au droit du lieu-dit « La Petite Beillardière » sur la commune de Brée ;
- Limite aval : 800 mètres à l'aval du franchissement de la Jouanne par le Pont à l'aplomb du lieu-dit « Le Moulin d'Ifs », au droit du lieu-dit « Les Elunais » sur la commune de Saint-Cénére.

Ainsi, le tronçon étudié représente un linéaire de l'ordre de **3.6 km** de la Jouanne, décomposé comme suit :

Tronçon	Linéaire (m)	Commune en rive gauche	Commune en rive droite
1	1115	Montsûrs	Brée
2	1360	Montsûrs	Montsûrs
3	315	Montsûrs	Gesnes
4	800	Montsûrs	Saint-Cénére

Tableau 1 : Contexte administratif de la zone d'étude

2.2. Caractéristiques générales du site d'étude

2.2.1. Morphologie

La rivière de la Jouanne prend sa source aux Collines du Maine.

Elle draine, au droit de la limite amont du secteur d'étude (lieu-dit « La Petite Beillardière »), un bassin versant d'une superficie de l'ordre de 170 km². A l'amont de cette limite, le relief peu marqué, est à l'origine de l'existence de larges champs d'expansion des crues qui sont à l'origine d'un écrêtement des hydrogrammes en période de crue.

Les principaux affluents sont, de l'amont vers l'aval du secteur d'étude :

- La rivière de la Deux Evailles, qui draine un bassin versant d'une superficie de 109 km², ce qui représente environ 68 % de la superficie du bassin versant de la Jouanne en amont de cette confluence. Cette rivière rejoint le lit de la Jouanne en amont immédiat de l'ouvrage JOU21 (passerelle piétons) ;
- Le ruisseau du Veinard, qui draine un bassin versant d'une superficie de 5.5 km² et qui rejoint le lit de la Jouanne en aval immédiat des ouvrages JOU22b et JOU22c (passerelle et seuil) ;
- Le ruisseau de la Jarraais, qui draine un bassin versant d'une superficie de 38 km² et qui rejoint le lit de la Jouanne en amont de l'ouvrage JOU23c, au droit de la station d'épuration.

2.2.2. Ouvrages hydrauliques sur la Jouanne

A partir de la limite amont « La Petite Beillardière », la Jouanne s'écoule sur environ 650 m puis franchit le chemin communal reliant le lieu-dit de la « Petite Beillardière » à la RD 32 au droit de la Station de Pompage (ouvrage JOU20).

Environ 650 m à l'aval de ce pont, c'est-à-dire en amont immédiat du centre ville de Montsûrs, le lit de la Jouanne est franchi par une passerelle piétonne (ouvrage JOU21) puis a été aménagé en plan d'eau (plan d'eau de Montsûrs) sur une longueur de 250 m. Ce plan d'eau est maintenu en eau grâce au barrage du plan d'eau (ouvrage JOU21b).

Ensuite, le lit de la Jouanne est franchi successivement par la RD 24 (ouvrage JOU22), une seconde passerelle piétonne équipée d'un seuil (ouvrages JOU22b et JOU22c) qui permet notamment l'accès à la rue de la Petite Poulie, puis une troisième passerelle piétonne au droit du terrain de Football (OH JOU23).

Immédiatement à l'aval de cette passerelle, au droit du lavoir, est implanté un clapet mobile (OH JOU23b). La Jouanne est ensuite franchie par une passerelle (OHJOU23c) équipée d'un clapet mobile (OH JOU23d) au droit du Moulin des Ifs, puis par un pont avec plusieurs travées cadres immédiatement en aval (OH JOU24).

Ces ouvrages sont localisés sur le profil en long ci-contre et leurs photographies sont fournies ci-après.

Les levers topographiques de ces ouvrages sont fournis en annexe 1 de la présente notice.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUL. 2007



Photographie 1 : Ouvrage JOU20 – Pont de la Petite Beillardière



Photographie 3 : Ouvrage JOU21b – Clapet mobile du plan d'eau



Photographie 2 : Ouvrage JOU21 – Passerelle piétonne du plan d'eau



Photographie 4 : Ouvrage JOU22 : Pont de la RD24

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du 2 JUL. 2007



Photographie 5 : Ouvrages JOU22b et JOU22c – Passerelle piétonne et clapet mobile de la Petite Poulie



Photographie 7 : Ouvrage JOU23b – Clapet mobile du lavoir



Photographie 6 : Ouvrage JOU23 – Passerelle piétonne du lavoir



Photographie 8 : Ouvrages JOU23c et JOU23d : Passerelle piétonne et clapet mobile du Moulin des Ifs

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du - 2 JUIL. 2007



Photographie 9 : Ouvrage JOU24 – Pont-cadres du Moulin des Ifs

3. Méthodologie

3.1. Démarche globale

L'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondation nécessite la réalisation des étapes suivantes :

- Une analyse hydrologique afin d'estimer les débits caractéristiques de crue (crues historiques et centennale) au droit des confluences principales de la zone d'étude ;
- Une cartographie de l'aléa hydraulique, c'est-à-dire un découpage de la zone inondée par la crue centennale en différentes classes (faible, moyen ou fort) en fonction de la profondeur de submersion (inférieure à 0.5 m, comprise entre 0.5 et 1 m, supérieure à 1 m) et de la vitesse d'écoulement ;
- Une cartographie de l'enjeu, c'est-à-dire un découpage de la zone inondée en différentes classes correspondant à des enjeux différents :
 - les zones d'expansion des crues (pâtures, boisements, ...) qui participent à l'écroulement des hydrogrammes de crue ;
 - les centres urbains denses (centre ville) ;
 - les autres secteurs urbanisés (résidences pavillonnaires, zones d'activités, ...) ;
- Une cartographie du Risque, par croisement des deux cartographies précédentes à l'aide de la grille de croisement figurant au §3.8 ;
- L'élaboration du Règlement relatif au zonage du Risque.

3.2. Recueil de données et terrain

Dans le processus devant mener à la réalisation du Plan de Prévention des Risques d'Inondation de la Jouanne sur les communes de Montsûrs et Brée, la première phase qui a été réalisée a consisté en un recueil des données existantes.

Le tableau ci-après présente un récapitulatif des données collectées dans le cadre de cette première phase.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUL. 2007

Type	Nature	Titre	Date du document	Auteur	Source
Etude	Documents brochés	Atlas des Zones Inondables de la Mayenne et de ses affluents	oct-00	SCE	SCE
Etude	Documents brochés	Etude hydrologique de la Maine	mars-99	CNR	DIREN et EPALA
Etude	Documents brochés	Etude d'inondabilité de la Jouanne	mai-98	BCEOM, DDAF	Syndicat de la Jouanne
Topographie	Profils en travers, semis de points et ouvrages	Topographie sur la Jouanne à Montsûrs	déc-01	FIT	FIT
Hydrologie	Graphes et fiches	Données hydrologiques	déc-99	DIREN Pays de Loire	DIREN Pays de Loire
Hydraulique	Archives	Documents sur les crues de 1966 et de 1974	/	DDE 53	DDE 53
Topo	Photos aériennes	Photographies aériennes	1996	DDE 53	DDE 53
Topo	Fond de plan informatique, CD ROM	SCAN25000			DDE 53
Topo	Fond de plan informatique, CD ROM	BD CARTO			DDE 53
Topo	Fond de plan informatique, CD ROM	SIG			DDE 53

Tableau 2 : Synthèse des données recueillies

La topographie a été réalisée par le cabinet FIT et a consisté en un levé de 25 profils en travers des lits mineur et majeur de la Jouanne répartis le long de la zone d'étude, des différents ouvrages hydrauliques (barrages, ponts, passerelles) et d'un semis de points (photogrammétrie) afin d'affiner la cartographie de l'aléa au droit de la zone sensible (centre ville de Montsûrs).

3.3. Hydrologie

La méthodologie de mise en place des PPRI en France exige la prise en compte de la crue la plus forte observée ou de la crue centennale si la crue la plus forte observée a une période de retour inférieure à 100 ans.

La crue la plus importante observée au droit de l'agglomération de Forcé est la crue de la Jouanne survenue en février 1996. Sa période de retour a été estimée à 15 ans environ. La synthèse hydrologique réalisée en partie 4 de la présente note présente la méthodologie utilisée pour l'estimation des débits de crue centennaux au droit de la zone d'étude.

Le débit de crue de calage et de validation et le débit de crue centennale ainsi déterminés au droit de la station hydrométrique de Forcé sont les suivants :

	Débit de crue en m³/s
Crue de février 1996	79.7
Crue de janvier 2001	78.5
Crue centennale	130.0

Tableau 3 : Débits de crue au droit de Forcé issus de la synthèse hydrologique

3.4. Modélisation hydraulique

A partir des levés topographiques réalisés sur les lits mineur et majeur de la rivière ainsi que les ouvrages hydrauliques, un modèle de la rivière a été construit à l'aide du logiciel HEC-RAS.

Dans un premier temps, le modèle est construit par assemblage de profils en travers de calculs (sections naturelles, ponts et seuils). Puis, le comportement hydraulique du modèle est adapté par calage des coefficients de pertes de charge afin de retrouver les conditions observées pour les crues historiques. Enfin, le débit centennal est injecté dans le modèle pour calculer les niveaux de référence.

Les détails de la modélisation réalisée sont fournis en parties 4 et 5 de la présente note.

3.5. Principe de classification des zones d'inondation

Le guide méthodologique des PPRI propose une classification des zones inondables basée sur la définition d'un aléa de dommage de crue (aléa très fort, fort, moyen ou faible). Cette définition tient compte de deux critères : la hauteur de submersion et la vitesse d'écoulement.

La hauteur d'eau est définie à partir de la ligne d'eau centennale calculée et des levés topographiques ayant servi à la construction du modèle. Le manque de données sur les vitesses d'écoulement ne permet de faire qu'une appréciation qualitative pour définir l'aléa. Le modèle hydraulique estime une vitesse moyenne sur le champ d'écoulement modélisé. La vitesse est considérée faible en dessous de 0.20 m/s, moyenne de 0.20 à 0.50 m/s et forte au-delà.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du - 2 JUIL. 2007

Le tableau ci-après, validé par la DIREN et la DDE, indique la qualification des aléas en fonction de ces deux critères :

		Vitesse		
		Faible (V < 0.2 m/s)	Moyenne (0.2 < V < 0.5 m/s)	Forte (V > 0.5 m/s)
Hauteur	H < ou = 0.50 m	Faible	Moyen	Fort
	0.50 m < H < ou = 1 m	Moyen	Moyen	Fort
	H > 1 m	Fort	Fort	Très fort

Tableau 4 : Grille de définition de l'aléa hydraulique

3.6. Cartographie de l'aléa hydraulique

A partir des données topographiques disponibles et des niveaux centennaux calculés, la zone inondable centennale est découpée en secteurs de différentes classes de hauteurs de submersion et de vitesses. Le croisement des deux paramètres suivant la grille d'évaluation définie précédemment permet ensuite de définir un niveau d'aléa hydraulique sur toute la zone d'étude.

Le report de ces zones est effectué sur fond de plan cadastral au 1 / 2 000.

La cartographie des aléas sert de base au règlement du PPRI.

3.7. Cartographie de l'enjeu

Afin de réaliser la cartographie du risque qui servira de support au règlement du Plan de Prévention des Risques d'Inondations, un découpage de l'enjeu a été réalisé. Ce découpage sert d'interface avec la carte d'aléa pour déterminer le plan de zonage réglementaire, préciser le contenu du règlement, et un certain nombre de recommandations sur les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

Les enjeux identifiés sont divisés en trois catégories :

- **Les zones d'expansion de crue à préserver** qui intègrent les boisements, les friches, les zones agricoles (cultures, prairies, bâtiments liés à l'exploitation), les terrains de sport et de camping ainsi que les aires de stationnement ;
- **Les centres urbains** qui sont constitués par les zones urbaines denses présentant une continuité du bâti et une mixité des usages ;
- **Les autres secteurs urbanisés** qui sont constitués par les zones urbaines périphériques à vocation résidentielle ou d'activité.

3.8. Cartographie du zonage réglementaire

Conformément aux dispositions de l'article L. 562-1 du Code de l'Environnement et de l'article 3, titre I du décret n°95.1089 du 5 octobre 1995, la zone inondée par la crue centennale est ensuite divisée en deux zones :

- une zone rouge correspondant à des secteurs fortement exposés,
- une zone bleue correspondant à des secteurs moyennement exposés.

Ce zonage réglementaire est réalisé à partir de la grille de croisement ci-après.

	Zones d'expansion des crues	Espaces urbanisées	
		Autres secteurs	Centres urbains
Aléa fort	Rouge	Rouge	Rouge
Aléa moyen	Rouge	Rouge	Bleue
Aléa faible	Rouge	Bleue	Bleue

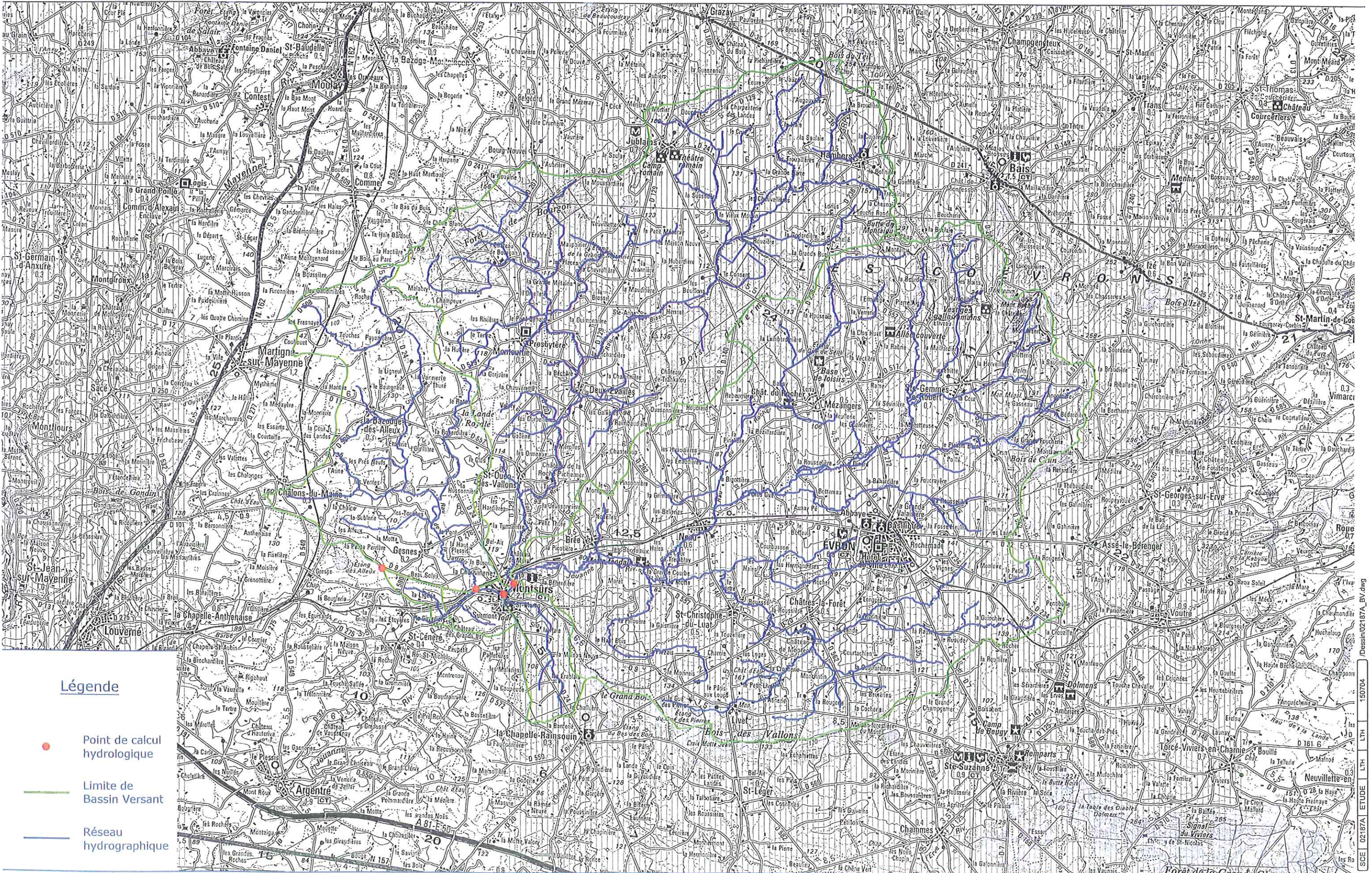
Tableau 5 : Grille d'élaboration de la carte de zonage réglementaire.

- A l'issue de ce croisement, le zonage obtenu est modifié à partir du principe d'amendement suivant :
- les bâtiments étant zonés partiellement en zone rouge et/ou en zone bleue sont zonés intégralement dans la zone présentant le risque le plus fort auquel il est soumis partiellement ;
 - les zonages bleus ou vides (non inondés) isolés au sein d'une zone de risque plus fort sont intégrés à cette dernière.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUL. 2007

PPRI de la Jouanne - communes de Montsûrs et Brée

Découpage des bassins versants et points de calcul hydrologique



Légende

- Point de calcul hydrologique
- Limite de Bassin Versant
- Réseau hydrographique

200 m Echelle : 1 / 100 000°

SCE - Juillet 2004

4. Synthèse hydrologique

4.1. Bassin versant de la Jouanne

Plusieurs études ont été réalisées sur le bassin de la Jouanne, dont les deux plus récentes sont :

- Etude d'inondabilité du bassin de la Jouanne, réalisée en 1998 par BCEOM pour le compte du Syndicat de la Jouanne ;
- Etude des crises hydrologiques du bassin de la Maine, réalisée en 1998 par la CNR pour le compte de l'EPALA.

Cependant, ces études datant toutes deux de 1998, il est apparu nécessaire d'actualiser les données hydrologiques disponibles dans ces deux études afin d'intégrer les dernières crues survenues, notamment celle de 2001 qui a été presque aussi importante que celle de 1996 en terme de débit au droit de Forcé.

4.1.1. Découpage des bassins versants

L'extrait de carte IGN au 1 / 100 000^{ème} ci-contre présente le découpage en bassin versant retenu dans le cadre de la présente étude.

Le bassin versant n°1 comprend les communes d'Evron, de Sainte-Gemmes, de Mézangers, de Châtres-la-Forêt, de Saint-Christophe-du-Luat, de Neau et Brée. Son exutoire se situe en amont immédiat de la confluence avec la rivière de la Deux Evailles.

Le bassin versant n°2 est le bassin d'alimentation de la rivière de la Deux Evailles. Son exutoire se situe en amont immédiat de sa confluence avec la Jouanne.

Le bassin versant n°3 est le bassin d'alimentation du ruisseau du Veinard. Son exutoire se situe en amont immédiat de sa confluence avec la Jouanne.

Le bassin versant n°4 est constitué de la moitié nord du centre ville de Montsûrs. Son exutoire se situe au droit de la confluence de la Jouanne avec le ruisseau de la Jarriais.

Le bassin versant n°5 est le bassin d'alimentation du ruisseau de la Jarriais. Son exutoire se situe en amont immédiat de sa confluence avec la Jouanne.

Le bassin versant n°6 est constitué de la partie sud-ouest du centre ville de Montsûrs et de Surmont. Son exutoire se situe au droit de la limite aval de la zone d'étude (lieu-dit « Les Elunais »).

4.1.2. Caractéristiques des bassins versants

Les bassins versants découpés aux paragraphes précédents ont les caractéristiques suivantes :

BV	Superficie (ha)	Longueur du plus long chemin hydraulique (m)	Dénivelée (m)	Pente	Temps de concentration (formule de Passini)
1	16080.0	19000	202.0	1.06%	914 min
2	10913.4	19000	182.9	0.96%	845 min
3	551.7	4600	53.2	1.16%	178 min
4	23.9	1800	20.0	1.11%	47 min
5	3809.2	10000	81.5	0.82%	522 min
6	228.0	2500	53.7	2.15%	79 min

Tableau 6 : Caractéristiques des bassins versants

4.1.3. Choix des points de calcul hydrologique

Les points de calculs hydrologiques sont choisis de telle manière à prendre en compte l'influence des affluents le long de la zone d'étude.

Ainsi, ces points sont, de l'amont vers l'aval :

- 1 : Limite amont de la zone d'étude (profil en travers n°1) ;
- 2 : Confluence de la Deux Evailles et de la Jouanne ;
- 3 : Confluence du ruisseau du Veinard et de la Jouanne ;
- 4 : Confluence du ruisseau de la Jarriais et de la Jouanne ;
- 5 : Limite aval de la zone d'étude (profil en travers n°25).

Les caractéristiques des bassins versants qui ont pour exutoires ces points de calcul sont résumées dans le tableau ci-après.

PFR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

BV	Point de calcul	Superficie (ha)	Longueur du plus long chemin hydraulique (m)	Dénivelée (m)	Pente	Temps caractéristique retenu (min)
1	1 : Pont de la Petite Beillardière	16080.0	19000	202	1.06%	914
1 et 2	2 : Confluence Jouanne - Deux Evailles	26993.4	20000	204	1.02%	1130
1 à 4	3 : Confluence Jouanne - Veinard	27568.9	20500	204	1.00%	1160
1 à 5	4 : Confluence Jouanne - Jarrais	31378.1	21500	206	0.96%	1254
1 à 6	5 : Limite aval de la zone d'étude	31606.1	22500	206	0.92%	1305

Tableau 7 : Caractéristiques des bassins versants en amont des points de calcul hydrologique

4.2. Calcul des débits de crue au droit de Forcé

Compte tenu de l'absence de station hydrométrique sur le secteur d'étude, les calculs de débits sont effectués ci-après au droit des stations de Forcé (principalement) et Neau pour être ensuite extrapolés (voir § 4.3.) au droit de chacun des points de calcul hydrologique identifiés ci-dessus.

4.2.1. Stations hydrométriques

Il existe deux stations hydrométriques sur la Jouanne.

La première, implantée à Neau, a été mise en service en 1996. Ainsi, seules 6 années d'observation sont disponibles, ce qui ne permet pas de réaliser un ajustement statistique avec des intervalles de confiance acceptables.

Par contre, la station de Forcé, implantée au droit du franchissement de la RD21 par la Jouanne à Forcé, a été mise en service le 01/10/1967. Les 35 années d'observation disponibles permettent de réaliser un ajustement statistique sur les débits de crue qui présente une intervalle de confiance raisonnable.

Les caractéristiques de cette station, issues de la banque Hydro, sont fournies en annexe 2 de la présente synthèse.

Un ajustement statistique sur les séries partielles des débits instantanés et des débits journaliers a été réalisé¹ et est représenté sur les graphiques ci-après.

¹ Source : Banque Hydro

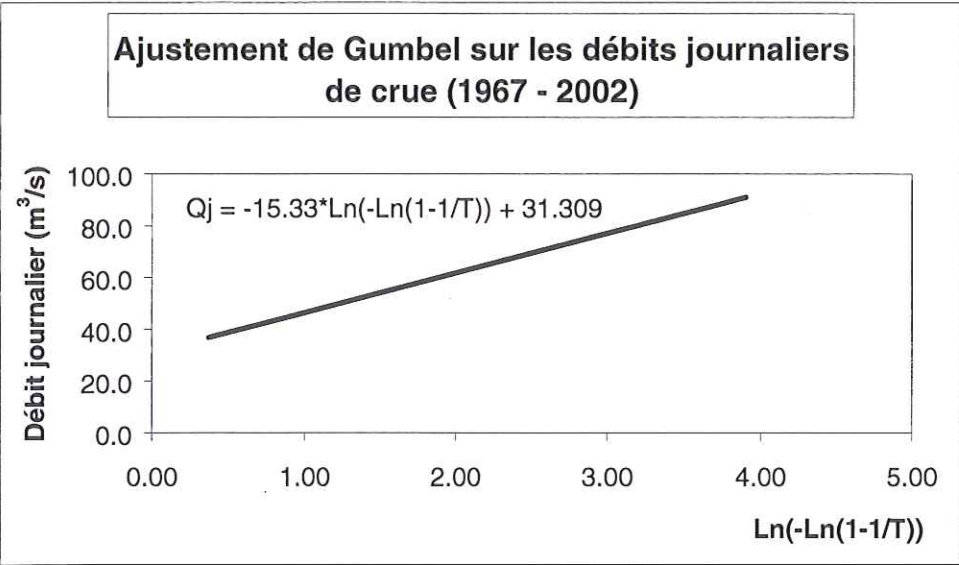


Figure 1 : Ajustement d'une loi de Gumbel sur les débits de crue journaliers au droit de la station de Forcé

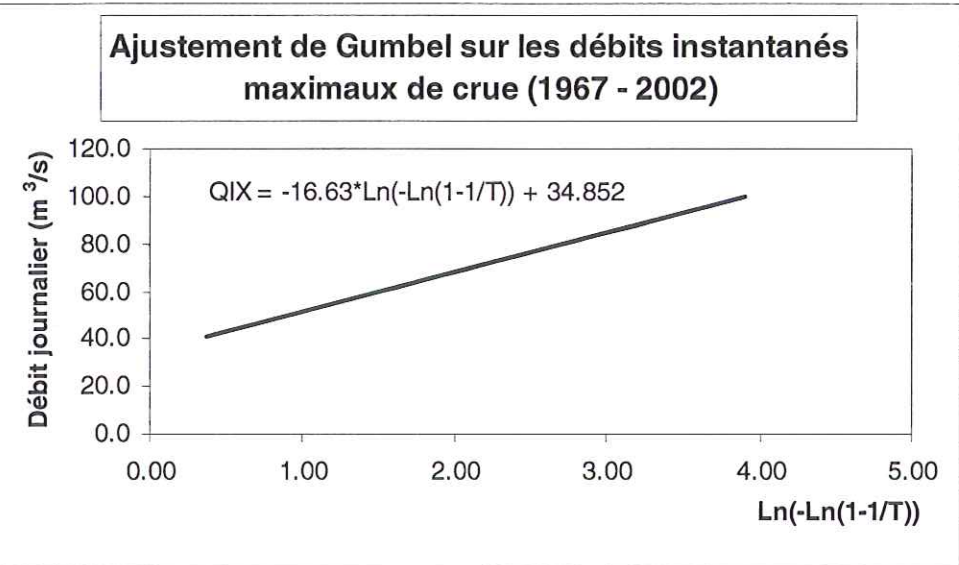


Figure 2 : Ajustement d'une loi de Gumbel sur les débits de crue instantanés au droit de la station de Forcé

PFR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

Les données concernant les débits de crues, les périodes de retour associées et les intervalles de confiance sont résumées dans le tableau suivant :

Période de retour (ans)	Débit journalier (m³/s)	Intervalle de confiance à 95%	Débit de pointe (m³/s)	Intervalle de confiance à 95%
2	37.0	32 - 43	41.0	36 - 47
5	54.0	48 - 66	60.0	53 - 73
10	66.0	57 - 82	72.0	63 - 90
20	77.0	66 - 97	84.0	73 - 110
50	91.0	78 - 120	100.0	86 - 130
Gradex	15.33		16.63	

Tableau 8 : Débits caractéristiques de crue au droit de Forcé

4.2.2. Crues historiques

4.2.2.1. Genèse des crues historiques

Les crues historiques connues sur le bassin versant de la Mayenne et donc de la Jouanne sont pour la plupart générées par des cumuls pluvieux importants établis pendant plusieurs mois suivis d'un événement plus intense sur quelques jours. Le cumul pluviométrique préalable engendre une saturation des sols très importante qui ne permet plus l'absorption des pluies lors de l'arrivée de l'événement plus intense. Les eaux drainées par le bassin versant rejoignent alors les cours d'eau rapidement pour y générer des débits importants.

Ce régime pluviométrique ainsi que les caractéristiques des bassins versants (faible pente, occupation des sols rurale,...) engendrent des hydrogrammes très "mous" présentant des durées de crues pouvant atteindre plusieurs jours. Ainsi, la plupart des crues exceptionnelles survenues au droit de la commune de Forcé présentaient des hydrogrammes de crue d'une durée supérieure à 4 jours.

4.2.2.2. Estimation des débits de pointe et des périodes de retour des crues historiques

Les huit plus grandes crues historiques connues, c'est à dire pour lesquelles des données sont disponibles, sont les suivantes :

- 16 et 17 novembre 1974 ;
- 21 février 1977 ;
- 20 et 21 décembre 1982 ;
- 12 et 13 janvier 1993 ;
- 25 au 29 janvier 1995 ;
- 25 au 27 février 1996 ;

- 25 et 26 février 1997 ;
- 05 au 07 janvier 2001.

De nombreuses informations sont disponibles sur ces crues, notamment dans le rapport d'étude d'inondabilité de la Jouanne² réalisée pour le syndicat de la Jouanne en mai 1998 (BCEOM). L'estimation du débit de pointe de période de retour centennale est réalisée à l'aide de l'ajustement de Gumbel (cf. 4.2.1) :

$$T = \frac{1}{1 - e^{-e^{\frac{34.852 - Q}{16.63}}}}$$

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Crue	Débit de pointe observé à la station de Forcé (m³/s)	Période de retour (ans)
16 et 17 novembre 1974	58	4.5
21 février 1977	56	4.0
20 et 21 décembre 1982	59	4.8
12 et 13 janvier 1993	63	6
25 au 29 janvier 1995	65.6	6.9
25 au 27 février 1996	79.7	15.3
25 et 26 février 1997	62.1	5.7
05 au 07 janvier 2001	78.5	14.3

Tableau 9 : Périodes de retour associées aux crues historiques

La **crue de février 1996** est la crue historique de plus grande ampleur sur la Jouanne et pour laquelle des données sont disponibles (données de débit et laisses de crue) et cohérentes avec l'état actuel en terme d'occupation du sol (urbanisation, ...) et de contexte hydrologique. **Cette crue servira donc au calage du modèle hydraulique.**

La **crue de janvier 2001**, bien que de moindre ampleur, est quant à elle la plus récente et est donc celle pour laquelle le plus grand nombre de laisses de crue sont identifiables. **Cette crue servira donc à la validation du modèle calé sur la crue de février 1996.**

4.2.2.3. Crue de février 1996

Le mois de février 1996 s'est distingué par un épisode pluvieux remarquable les 24 et 25 (record de pluviométrie depuis 30 ans à la station d'Entrammes) qui a succédé à de fortes chutes de neige. **Sa période de retour est de l'ordre de 15 ans.**

PFR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

² « Etude d'inondabilité du bassin de la Jouanne : Etude hydrologique et hydraulique », Syndicat de la Jouanne, mai 1998, BCEOM

Les données météorologiques ci-après (Source : Météo France) mettent en évidence ce contexte météorologique :

Station	M - 2	M - 1	J - 3	J - 2	J - 1	J	Cumul 24 h	Cumul 48 h	Neige	Température moyenne
Entrammes	63	40	1.2	1.6	19	42	42	61	7 j	3.8 °C
Evron	78	57	1.6	1.2	34.4	35.2	35.2	69.6	5 j	3.7 °C

Tableau 10 : Données météorologiques sur la crue de février 1996

L'hydrogramme de crue issu des données de hauteurs d'eau à la station de Forcé est représenté sur le graphe ci-après :

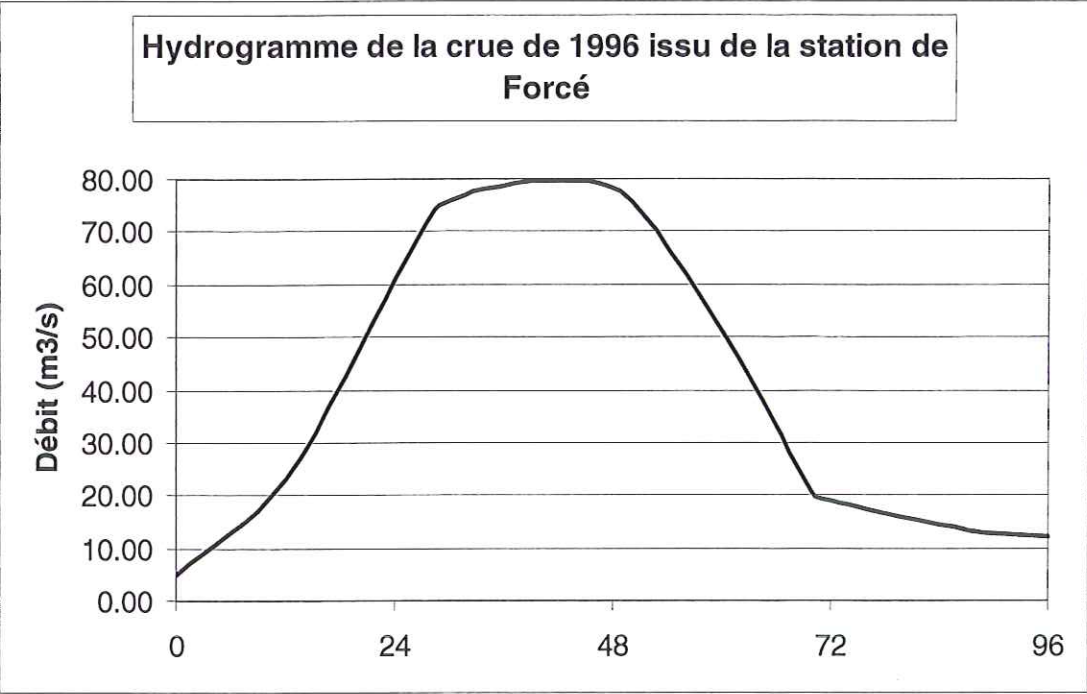


Figure 3 : Hydrogramme de la crue de février 1996 à Forcé

L'ensemble de la zone inondée par cette crue a été reportée sur la carte informative (plan n°0) en intégrant un sous-découpage par classes de hauteur d'eau (inférieure à 0.50 m, comprise entre 0.50 m et 1.00 m et supérieure à 1.00 m). Les laisses de crue correspondantes ont également été reportées sur cette carte.

4.2.2.4. Crue de janvier 2001

Cette crue, bien que de moindre ampleur que celle de février 1996, présente une période de retour de l'ordre de 14 années au droit de Forcé. Elle a pour origine les épisodes pluvieux prolongés et répétés durant la fin du mois de décembre et le début du mois de janvier, qui ont entraîné une saturation des sols, puis aux épisodes pluvieux remarquables des 04 et 05

janvier 2001. Les laisses de crue correspondantes ont été reportées sur la carte informative (plan n°0).

L'hydrogramme de la crue, issu des données de hauteurs d'eau à la station de Forcé (Source : Banque Hydro), est représenté sur le graphe ci-après.

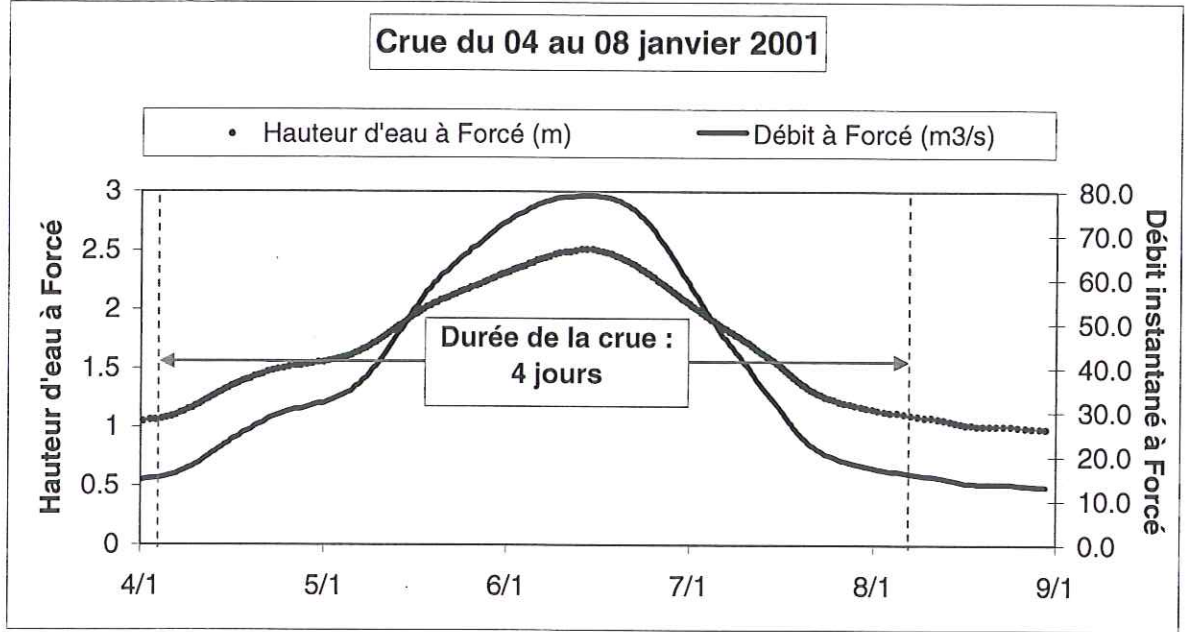


Figure 4 : Hydrogramme de la crue de janvier 2001 à Forcé

Ce graphe met en évidence que l'hydrogramme de la crue janvier 2001 est très semblable à celui de janvier 1996, tant du point de vue du débit de pointe (78.5 m³/s pour la crue de janvier 2001 contre 79.7 m³/s pour celle de février 1996) que du point de vue de la durée de crue (hauteur à Forcé supérieure à 1 m), de l'ordre de 4 jours.

Par contre, la même crue a produit à Neau un débit de pointe de 8.05 m³/s (source : Banque Hydro), soit pratiquement la moitié du débit de pointe au droit de la même station pour la crue de 1996 (16.3 m³/s). Cela s'explique par le fait que la pluviométrie précédant la crue de 2001 a été plus importante sur la partie aval du bassin versant de la Jouanne (données pluviométriques d'Entrammes), que sur la partie amont du même bassin versant (données pluviométriques d'Evron), entre Evron et Montsûrs, ce qui a pour effet d'augmenter la période de retour de la crue depuis l'amont vers l'aval de la Jouanne.

Ce phénomène est mis en évidence par les données météorologiques ci-après (Source : Météo-France).

Station	J - 3	J - 2	J - 1	J (06/01/01)	Cumul 24 h	Cumul 4 jours
Entrammes	18.5	26.2	7.9	0.2	0.2	52.8
Evron	15.4	17.8	11.8	6.5	6.5	51.5

Tableau 11 : Données météorologiques sur la crue de janvier 2001

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUL. 2007

Ces données sont relativement proches en cumul mais leur répartition est différente. En effet, la pluviométrie à Evron apparaît être étalée de façon relativement homogène sur les trois jours précédant la pointe de la crue tandis que celle à Entrammes est plus concentrée sur le jour J - 2, c'est-à-dire le 04/01/01.

4.2.3. Estimation du débit de crue centennale au droit de Forcé

Trois méthodes ont été employées pour le calcul du débit de crue centennale :

- Ajustement de Gumbel à partir de la station de Forcé ;
- Application au débit de pointe décennal du rapport Q_{100} / Q_{10} de stations voisines ;
- Méthode du Gradex.

4.2.3.1. Ajustement de Gumbel

L'estimation du débit de pointe de période de retour centennale est réalisé à l'aide de l'ajustement de Gumbel (cf. 4.2.1) :

$$Q(T) = -16.63 \times \ln(-\ln(1-1/T)) + 34.852$$

avec :

- T : période de retour en années ;
- $Q(T)$: Débit de pointe de période de retour T, en m^3/s .

Le débit de pointe centennal ainsi calculé est de $111.3 m^3/s$.

4.2.3.2. Application de ratios régionaux

Les ajustements statistiques réalisés à Nuillé-sur-Vicoin et à Ernée par des lois de Gumbel donnent des ratios Q_{100} / Q_{10} de respectivement 1.56 et 1.50. En retenant une valeur de 1.56, **le débit de pointe centennal calculé est de $112.3 m^3/s$.**

Ces débits servent par la suite à caler les coefficients caractéristiques des ouvrages hydrauliques à partir des données de niveaux en amont et/ou en aval de ces derniers et ainsi à en déduire les niveaux pour la crue centennale à partir des débits de projet issus des données hydrologiques recueillies.

4.2.3.3. Méthode du Gradex

La méthode du gradex, mise au point par MM. GUILLOT et DUBAND en 1968, part du principe que :

- La hauteur de pluie maximale sur un intervalle de temps dt, au cours d'une année, suit une loi de Gumbel (hypothèse probabiliste) ;

- Pour les périodes de retour élevées (supérieures à 10 voire 20 ans), le bassin versant est supposé saturé, ce qui a pour conséquence que toute augmentation de la quantité de pluie provoque une augmentation égale de l'écoulement (hypothèse déterministe).

Ainsi, la loi du volume maximal écoulé sur un intervalle de temps dt portée sur un papier de Gumbel (axe des abscisse : variable réduite $-\ln(-\ln(1-1/T))$) tend asymptotiquement à être parallèle à la loi de pluie dont la pente est le gradex.

Les données pluviométriques utilisées pour l'estimation du gradex des pluies proviennent de la station d'Entrammes sur la période d'observation 1940 – 2001 (Source Météo France). Ces données sont fournies en annexe 3 du présent document. Les données de pluies maximales sur 2 jours et 4 jours consécutifs ont fait l'objet d'un ajustement de Gumbel, synthétisé sur les deux graphes suivants :

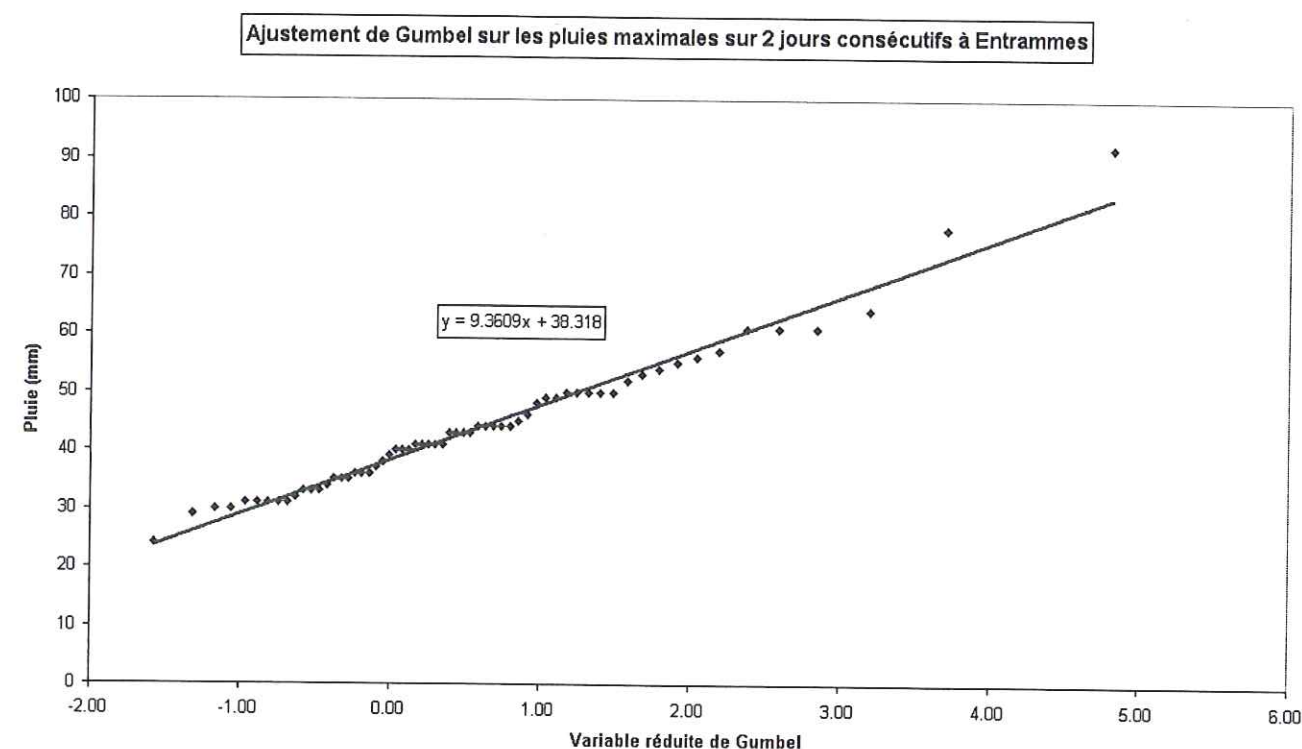


Figure 5 : Ajustements de Gumbel – Cumuls de pluie sur 2 jours

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du 2 JUIL. 2007

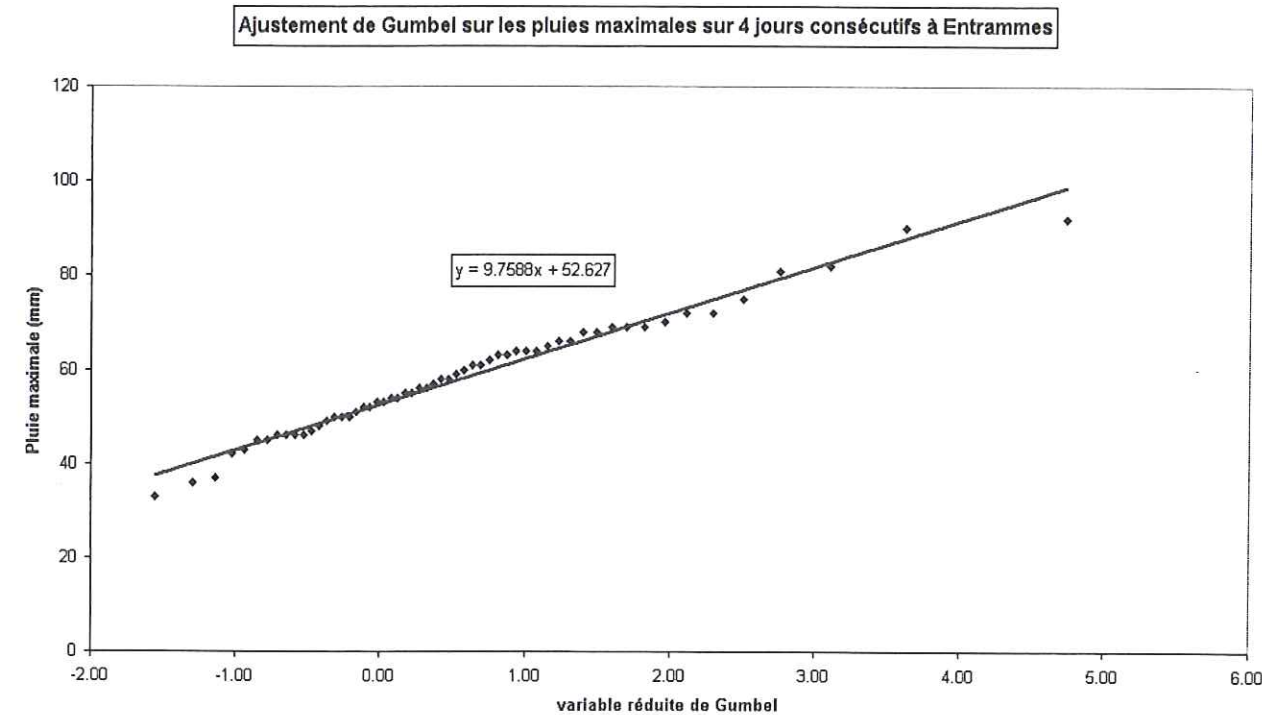


Figure 6 : Ajustements de Gumbel – Cumuls de pluie sur 4 jours

Figure 7 : Ajustement des pluies maximales à Entrammes par une loi de Gumbel

Ainsi, les gradex calculés, qui correspondent à la pente de la droite de régression, sont résumés dans le tableau suivant :

Durée de pluie	48 h	96 h
Gradex	9.361	9.759

Tableau 12 : Gradex des pluies à Entrammes

La durée de pluie à prendre en compte pour l'application de la méthode sur la Jouanne au droit de Forcé est égale à la durée caractéristique de crue du bassin versant de la Jouanne au droit de Forcé. Pourvu que la durée retenue soit réaliste, elle ne joue que très peu sur les valeurs de débit ainsi calculées. Cette durée peut être estimée à partir des hydrogrammes de crues historiques disponibles, notamment celui de la crue de 1996 qui constitue la crue historique maximale ayant affecté la Jouanne.

Deux définitions ont été retenues dans le cadre de la présente étude :

- La formulation développée dans le cadre de la méthode SOCOSE, qui la définit comme la durée pendant laquelle le débit est supérieur à la moitié du débit de pointe et donne les résultats suivants :
 - Crue de 1993 : 45 h ;
 - Crue de 1995 : 50 h ;
 - Crue de 1996 : 46 h ;
 - Crue de 1997 : 40 h ;
 - Crue de 2001 : 49 h ;
- La formulation locale, qui correspond à une hauteur d'eau à l'échelle de Forcé supérieure à 1 m, soit un débit supérieur à 13 m³/s environ et qui donne les résultats suivants :
 - Crue de 1993 : 86 h ;
 - Crue de 1995 : >120 h (deux pointes successives, la première ayant une durée de l'ordre de 80 h) ;
 - Crue de 1996 : 85 h ;
 - Crue de 1997 : 73 h ;
 - Crue de 2001 : 120 h ;

Finalement, les durées de crue retenues pour chacune des deux formulations sont les suivantes :

- Formulation SOCOSE : 2 jours (48 h) ;
- Formulation locale : 4 jours (96 h).

a) Calcul avec une durée de crue de 2 jours

Le gradex des pluies peut alors être calculé en appliquant la formule suivante :

$$G_Q = \frac{G_P \times S}{3.6 \times D}$$

avec :

- GP : Gradex des pluies de durée D, en mm ;
- GQ : Gradex des débits, en m³/s ;
- S : superficie du bassin versant, en km² ;
- D : Temps de base de l'hydrogramme de crue, en h.

Le calcul appliqué à la station de Forcé donne $G_Q = 22.21 \text{ m}^3/\text{s}$.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

La méthode du gradex s'applique ensuite au débit moyen sur la durée de crue considérée (méthode non adaptée aux débits de pointe) en appliquant la formule :

$$Q_{JT_2} = Q_{JT_1} + G_Q \times Ln \left(\frac{Ln \left(1 - \frac{1}{T_1} \right)}{Ln \left(1 - \frac{1}{T_2} \right)} \right)$$

Le rapport des débits moyens et des débits de pointe est estimé à partir de la crue de 1996, qui présentait un débit de pointe de 79.5 m³/s et un débit moyen sur 48 h de 67.2 m³/s, ce qui donne un rapport d'affinité de 1.187.

Le tableau ci-après présente les résultats ainsi obtenus :

Débit de pointe décennal (m³/s)	72.0
Débit moyen décennal sur 48 h (m³/s)	60.7
Gradex des débits	22.21
Débit moyen centennal sur la durée de crue (m³/s)	112.9
Débit de pointe centennal (m³/s)	133.9

Tableau 13 : Application de la méthode du Gradex avec la durée de crue SOCOSE

Le débit de pointe ainsi évalué est de 133.9 m³/s.

b) Calcul avec une durée de crue de 4 jours

Dans ce cas, les calculs donnent G_Q = 11.58 m³/s. Le rapport d'affinité pour le passage des valeurs moyennes aux valeurs maximales instantanées est dans cas de 1.890.

De la même manière que pour a), le tableau ci-après présente les résultats ainsi obtenus.

Débit de pointe décennal (m³/s)	72.0
Débit moyen décennal sur la durée de crue (m³/s)	38.1
Gradex des débits	11.58
Débit moyen centennal sur la durée de crue (m³/s)	65.3
Débit de pointe centennal (m³/s)	123.4

Tableau 14 : Application de la méthode du Gradex avec la durée de crue locale

Le débit de pointe ainsi évalué est de 123.4 m³/s.

c) Bilan de la méthode du Gradex

Les deux résultats étant très proches (écart relatif inférieur à 8%), le débit de pointe centennal retenu calculé à l'aide de la méthode du Gradex est de 130 m³/s (valeur médiane).

4.2.3.4. Bilan

Pour résumer, les débits de pointe centennaux calculés par les différentes méthodes sont résumés dans le tableau suivant :

Méthode	Gumbel	Ratios régionaux	Gradex	Débit de pointe centennal retenu
Débit calculé (m³/s)	111.3	112.3	130.0	130.0

Tableau 15 : Calcul du débit de pointe centennal au droit de Forcé

Finalement, le débit de pointe centennal retenu au droit de la station de Forcé dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondations par débordement de la Jouanne au droit de Montsûrs est de 130 m³/s.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

4.3. Extrapolation des débits de crue au droit des différents points de calcul

Les débits de crue calculés précédemment (crues historiques et crue centennale) sont ensuite extrapolés au droit des différents points de calcul à l'aide de la formule de Myer :

$$Q_{Pt} = Q_{forcé} \times \left(\frac{S_{Pt}}{S_{Forcé}} \right)^R$$

avec :

- $Q_{Forcé}$: Débit de pointe à Forcé, en m^3/s ;
- Q_{Pt} : Débit de pointe au droit du point de calcul, en m^3/s ;
- $S_{Forcé}$: Surface du bassin versant contrôlé par la station de Forcé, en km^2 ;
- S_{Pt} : Surface du bassin versant contrôlé par le point de calcul, en km^2 .

L'exposant R est estimé à partir de l'analyse des stations de Neau et Forcé. Le tableau suivant présente un récapitulatif de cette analyse pour les trois dernières crues les plus importantes :

Date de la crue	Débit instantané maximal à la station de Neau (m^3/s)	Débit instantané maximal à la station de Forcé (m^3/s)	Exposant R
26 février 1996	16.1	79.7	1.016
26 février 1997	15.1	62.1	0.899
06 janvier 2001	8.05	78.5	1.447

Tableau 16 : Estimation du coefficient de la formule de Myer

La valeur obtenue pour le 6 janvier 2001 n'est pas représentative de par l'hétérogénéité de la pluie à l'origine de cette crue. Cette valeur est donc écartée.

Les valeurs obtenues pour les crues de 1996 et 1997 étant proches, autour de 1, la valeur retenue par la suite est **R = 1**.

Dans le cas de la crue de janvier 2001, les données pluviométriques disponibles n'étant pas assez précises deux calculs ont été réalisés :

- Calcul à l'aide de la formule de Myer ($R=1$) en partant du débit de pointe à Neau ($8.05 m^3/s$) ;
- Calcul à l'aide de la formule de Myer ($R=1$) en partant du débit de pointe à Forcé ($78.5 m^3/s$) ;

Les résultats de ce calcul sont présentés dans le tableau ci-après :

Point de calcul	Remarque	N° de BV correspondant	Superficie (km^2)	Crue de janvier 2001 : Hypothèse 1	Crue de janvier 2001 : Hypothèse 2	Crue de janvier 2001 : Moyenne
1	Pont de la Petite Beillardière	1	161	15.2	30.8	23.0
2	Aval de la confluence avec le ruisseau des deux Evailles	1 et 2	270	25.6	51.7	38.6
3	Aval de la confluence avec le ruisseau du Veinard	1 à 4	276	26.1	52.8	39.4
4	Aval de la confluence avec le ruisseau de la Jarraais	1 à 5	314	29.7	60.1	44.9
5	Limite aval de la zone d'étude	1 à 6	316	29.9	60.5	45.2
Forcé	Station de jaugeage		410	78.5	78.5	78.5

Tableau 17 : Extrapolation des débits de crue au droit des points de calcul hydrologique

Les valeurs obtenues ont ensuite fait l'objet d'une moyenne arithmétique afin de retenir des valeurs médianes.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du

Le tableau ci-après présente un résumé de ces calculs au droit des différents points :

Point de calcul	Remarque	N° de BV correspondant	Superficie (km ²)	Crue de février 1996	Crue de janvier 2001	QIX10 (m ³ /s)	QIX100 (m ³ /s)
1	Pont de la Petite Beillardière	1	161	31.3	23.0	28.2	51.0
2	Aval de la confluence avec le ruisseau des deux Evailles	1 et 2	270	52.5	38.6	47.4	85.6
3	Aval de la confluence avec le ruisseau du Veinard	1 à 4	276	53.6	39.4	48.4	87.4
4	Aval de la confluence avec le ruisseau de la Jarriais	1 à 5	314	61.0	44.9	55.1	99.5
5	Limite aval de la zone d'étude	1 à 6	316	61.4	45.2	55.5	100.2
Forcé	Station de jaugeage		410	79.7	78.5	72	130

Tableau 18 : Extrapolation des débits de crue au droit des points de calcul hydrologique

Ces débits servent ensuite au calage (crue de février 1996) et à la validation (crue de janvier 2001) du modèle construit sous HEC-RAS 2.2 puis à la simulation de la crue centennale en vue de la cartographie de l'aléa hydraulique. Ces étapes font l'objet de la partie suivante.

5. Modélisation hydraulique

5.1. Construction du modèle

Le modèle hydraulique de la Jouanne à sa traversée de Brée et Montsûrs est construit à l'aide du logiciel Hec-Ras, dont la notice de présentation est fournie en annexe 4 du présent rapport. Ce logiciel permet la simulation des écoulements à surfaces libre en régime permanent et la modélisation des pertes de charge au droit des ouvrages hydrauliques (ponts, buses, seuils, ...).

Les différentes étapes de la construction du modèle sont résumées dans les paragraphes suivants.

5.1.1. Topographie

Tout d'abord, la topographie des lits mineur et majeur de la Jouanne au droit de la zone d'étude a été saisie à partir des levées de profils en travers réalisés préalablement à l'élaboration du PPRI par le cabinet de géomètres FIT.

Le logiciel HEC-RAS, à partir des profils en travers fournis et du profil en long de la Jouanne, permet d'interpoler des profils en travers supplémentaires qui permettent d'accroître la stabilité et la précision des calculs..

5.1.2. Ouvrages hydrauliques

Ensuite, les ouvrages hydrauliques ont été saisis à partir des levés topographiques réalisés par le cabinet de géomètres FIT.

Les ouvrages saisis sont récapitulés dans le paragraphe 2.2 de la présente notice (Caractéristiques générales du site d'études).

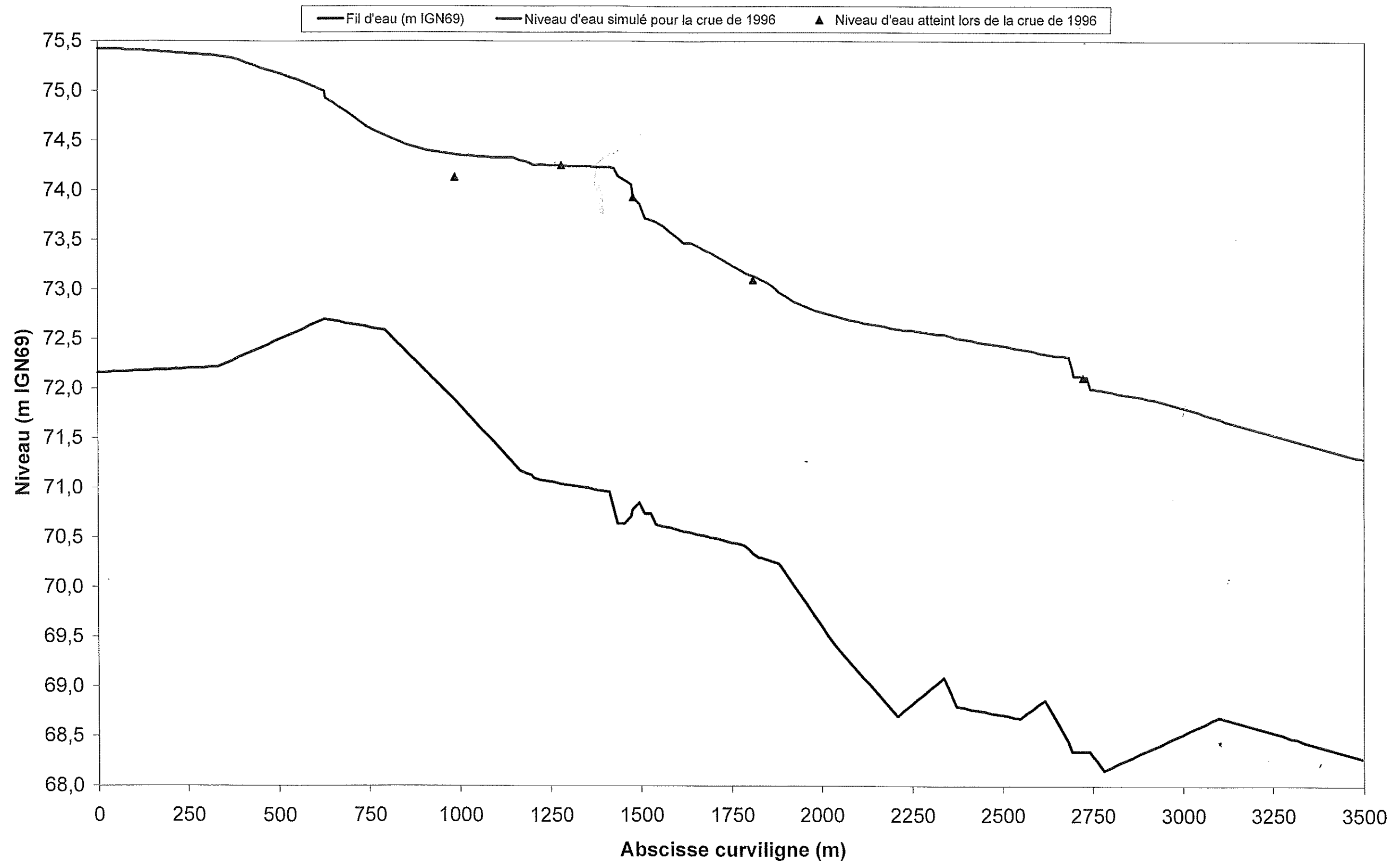
PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

5.1.3. Conditions aux limites

Le régime général de la Jouanne étant de type fluvial, excepté au droit des ruptures hydrauliques tels que les seuil et barrages, les conditions aux limites saisies sont :

- L'évolution du débit de pointe (pour les crues de 1996, de 2001 et centennale) le long du profil en long, évolution définie dans le cadre de la synthèse hydrologique et récapitulée dans le tableau n° 15 pour les trois crues considérées ;
- La pente hydraulique au droit du profil en travers aval de la zone d'étude, justifiée par le régime fluvial de la Jouanne et qui permet au logiciel, par application de la formule

Calage du modèle : Simulation de la crue de 1996



de Manning-Strickler, le calcul de la hauteur normale correspondante (la limite aval du secteur d'étude est adaptée à un tel calcul car elle ne présente pas d'influence aval notable).

5.1.4. Coefficients de perte de charge

Les coefficients de perte de charge saisis sont divisés en deux catégories :

- Les coefficient de Manning, qui permettent de traduire l'incidence du frottement sur le fond (pertes de charge régulières) ;
- Les coefficients de perte de charge singulières qui traduisent les variations brusques de conditions d'écoulement (entrée et sortie des ouvrages, variation brusque de section d'écoulement, ...).

Ces coefficients sont préalablement saisis à partir des valeurs typiques issues de la littérature³ et de l'expérience de SCE en matière d'hydraulique fluviale.

Ils permettent par la suite de caler et de valider le modèle sur les crues de 1996 et 2001.

5.1.5. Repères de crue

Les laisses de crue correspondant à l'événement de 1996 ont été recueillies à partir :

- De *l'Etude d'Inondabilité de la Jouanne*, réalisée en 1998 par BCEOM pour le Syndicat de la Jouanne ;
- De *l'Atlas des Zones Inondables de la Mayenne et de ses affluents*, réalisée en 2000 par SCE pour la D.D.E. de la Mayenne.

Les laisses de crue correspondant à l'événement de 2001 ont quant à elles été recueillies sur la base d'une enquête terrain réalisée en collaboration avec le Syndicat de la Jouanne. Ces laisses de crues sont détaillées en annexe 5 du présent rapport.

5.2. Calage et validation du modèle

5.2.1. Calage du modèle : Simulation de la crue de 1996

Le calage du modèle est réalisé sur la crue de 1996. Les débits mesurés et extrapolés de cette crue, issus de la synthèse hydrologique, ont été injectés dans le modèle.

Les coefficients de pertes de charge régulières et singulières ont été ajustés de telle manière à réduire au maximum l'écart entre les niveaux d'eau simulés et les laisses de crue identifiées. Le résultat de ce calage est représenté sur le graphe ci-contre. Le tableau ci-dessous permet d'apprécier le calage ainsi réalisé :

Niveau d'eau atteint lors de la crue de 1996	Niveau d'eau simulé lors de la crue de 1996	Ecart (cm)
74.13	74.36	23.00
74.25	74.25	0.00
73.93	73.93	0.00
73.10	73.10	0.00
72.11	72.12	1.00

Tableau 19 : Calage du modèle

Ainsi, il apparaît qu'excepté pour le premier repère de crue, qui est à priori peu fiable puisque inférieur au repère de crue situé immédiatement en aval de plus de 10 cm, le calage est tout à fait acceptable (écart de l'ordre de 1 cm au maximum).

5.2.2. Validation du modèle : Simulation de la crue de 2001

La validation du modèle est réalisée sur la crue de 2001. Les débits mesurés et extrapolés de cette crue, issus de la synthèse hydrologique, ont été injectés dans le modèle calé précédemment.

Le résultat de cette validation est représenté sur le graphe au verso de la présente page. Le tableau ci-dessous permet d'apprécier le calage ainsi réalisé :

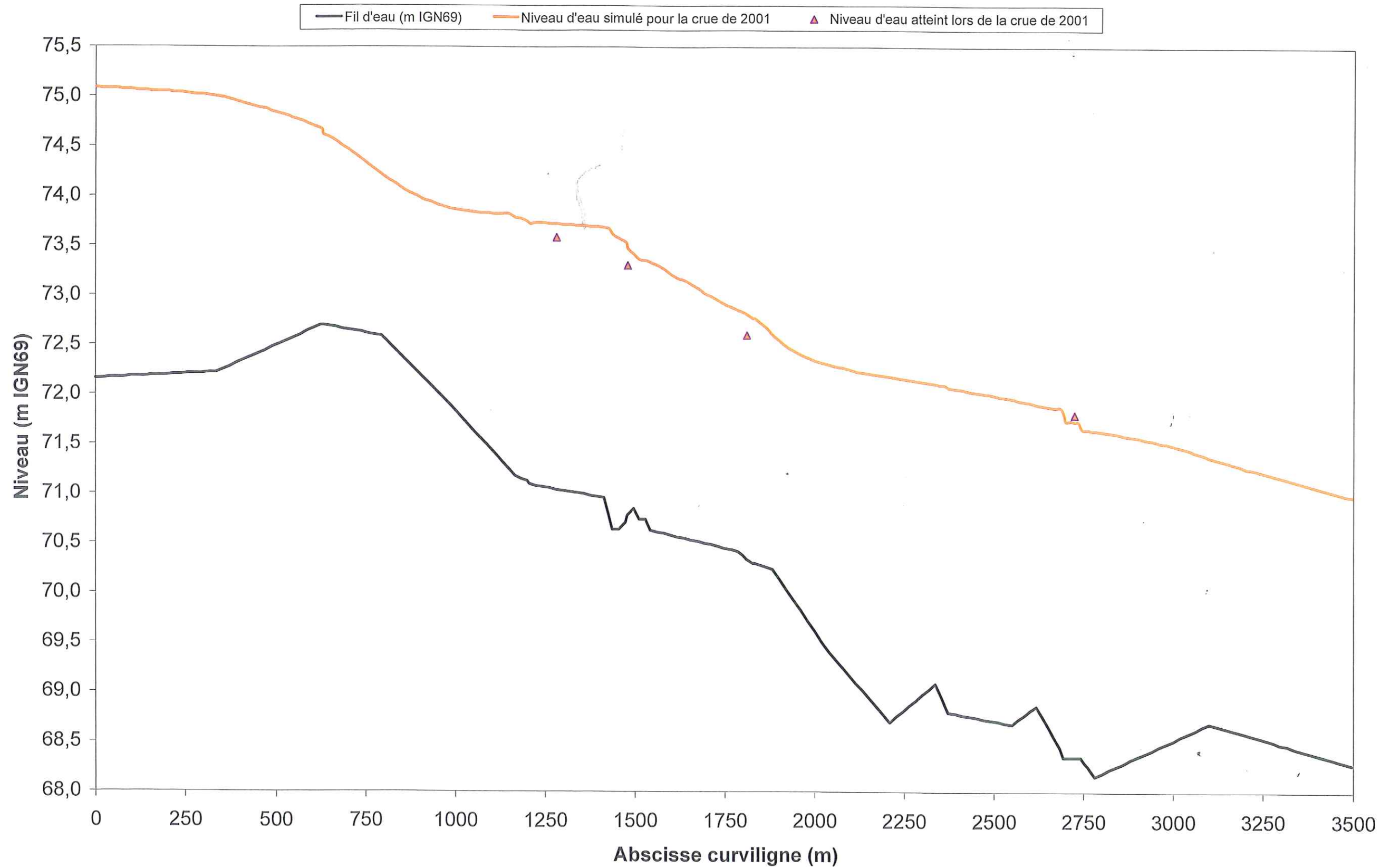
Niveau d'eau atteint lors de la crue de 2001	Niveau d'eau simulé lors de la crue de 2001	Ecart (cm)
73.58	73.72	14.00
73.30	73.47	17.00
72.60	72.77	17.00
71.80	71.73	-7.00

Tableau 20 : Validation du modèle

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

³ *Hydraulique générale et appliquée*, M. CARLIER

Validation du modèle : Simulation de la crue de 2001



Ainsi, l'écart moyen entre les laisses de crue de 2001 et les niveaux d'eau simulés pour la même crue est de l'ordre de 10 cm, ce qui apparaît suffisant au regard de la précision attendue du modèle de 0.50 m.

Le modèle construit est donc validé et va permettre de simuler la crue centennale puis de réaliser le zonage de l'aléa hydraulique à partir des niveaux d'eau et vitesses issus du modèle.

5.3. Modélisation de la crue centennale

5.3.1. Simulation de la crue centennale

Les niveaux de crue centennaux calculés sont supérieurs de 50 à 90 cm à ceux calculés pour la crue historique de février 1996.

Le graphique fourni en annexe 6 représente la ligne d'eau ainsi simulée pour la crue centennale.

5.3.2. Caractéristiques de la zone inondée par la crue centennale

La superficie totale de la commune de Montsûrs est de 1 085 ha. Or, la cartographie de la zone inondable pour la crue centennale fait apparaître que :

- La superficie du lit mineur sur la commune de Montsûrs est de 5.3 ha environ, ce qui représente 0.5 % de la superficie de la commune,
- La superficie totale de la zone inondable, lit mineur inclus, sur la commune de Montsûrs est de 46.4 ha environ, ce qui représente 4.3 % de la superficie de la commune.

Pour la commune de Brée, compte-tenu du faible linéaire dans la zone d'étude, il n'a pas été procédé au calcul de ratios similaires.

Le tronçon étudié peut être découpé en plusieurs zones suivant les caractéristiques de la zone inondable :

- Entre la limite amont (profil P1) et l'ouvrage JOU20 (profil P4), la zone inondée est limitée en rive droite par la ligne de chemin de fer de Paris à Brest, en remblai. Sa largeur diminue progressivement de l'amont à l'aval de 240 m à 65 m. La ligne d'eau est principalement contrôlée par l'ouvrage JOU20, qui n'est pas submergé ;
- Entre l'ouvrage JOU20 (profil P4) et l'amont de la confluence de la Jouanne avec la rivière des Deux Evailles (profil P6), la zone inondée s'élargit progressivement de 50 m à 200 m, principalement en rive droite ;
- Entre le profil P6 et le profil P15 : c'est le tronçon où la zone inondée est la plus vulnérable, du fait du nombre important d'habitations et de routes inondées. La largeur moyenne du champ d'inondation est de 230 m, principalement en rive droite de la

Jouanne. L'intégralité des ponts et passerelles sur ce secteur, à savoir les ouvrages JOU21 (Passerelle piétonne du Plan d'eau), JOU22 (Pont de la RD 24), JOU22b (Passerelle de la Petite Poulie) et JOU23 (passerelle piétonne du lavoir) sont submergés ;

- Entre les profils P15 et P17, la zone inondée s'élargit encore (largeur moyenne de 280 m). Elle est limitée en rive droite par la ligne de chemin de fer en remblai ;
- Entre le profil P17 et la limite aval de l'étude, la zone inondée est relativement restreinte, d'une largeur moyenne de 100 m. Les ouvrages JOU23c (Passerelle piétonne du Moulin des lfs) et JOU24 (Pont-cadres du Moulin des lfs) sont tous deux submergés.

5.3.3. Précisions des évaluations hydrauliques

Sur les secteurs les plus urbanisés ayant fait l'objet d'un relevé topographique par photogrammétrie, la précision altimétrique des cotes du terrain naturel est de l'ordre de 0.20 m.

Sur les secteurs moins sensibles où seuls des profils en travers terrestres tous les 300 m environ ont été levés, les zones de classes de hauteur ont été établies au droit des profils et ont été extrapolées entre ces profils.

Le calcul hydraulique permettant le calage de la zone inondable présente une incertitude de 0.15 m. En outre, le calcul de la cote de la crue centennale présente une incertitude de 0.05 m.

Compte-tenu de ces éléments, le niveau proposé pour la crue centennale s'entend avec un écart au plus égal à 0.20 m. Le zonage de l'aléa réalisé présente quant à lui une précision de l'ordre de 0.40 m du point de vue de l'élévation.

C'est donc cette valeur qui est retenue en tant que marge de sécurité applicable aux divers modes d'occupation du sol autorisés dans les zones rouges et bleues définies au document réglementaire.

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

6. Analyse de l'enjeu

La présente partie a pour objectif l'analyse du zonage réglementaire réalisé.

6.1. Axes structurants

6.1.1. Desserte des communes de Montsûrs et Brée

Les communes de Montsûrs et Brée sont situées le long de la RD32, axe structurant qui dessert principalement la commune de Laval via les communes de Saint-Cénére et d'Argentré vers l'ouest et la commune d'Evron vers l'est. Elle est soumise à un risque d'inondation fort sur un linéaire d'environ 300 m sur la commune de Brée au droit du lieu-dit « La Petite Beillardière ».

Ainsi, en cas de crue centennale, la liaison Montsûrs - Brée par la RD32 est bloquée. Cependant, cette liaison est réalisable via la RD129 puis la RD557 depuis le nord de Montsûrs et via la RD9 puis la RD20 jusqu'à Evron puis la RD 32 depuis le sud de Montsûrs.

Par contre, la RD24, qui dessert la commune de Mayenne vers le nord et permet l'accès à l'A81 vers le sud (liaison Paris – Le Mans – Rennes), n'est inondée qu'à proximité du pont et permet donc l'accès à Montsûrs par le nord comme par le sud. Il en est de même pour la RD129, qui dessert la commune de Saint-Ouen-des-Vallons et qui rejoint la RD24 à proximité de la Gare SNCF, et pour la RD9, qui dessert les communes de Gesnes, Châlons-du-Maine, Louverné puis Laval vers l'ouest et d'Evron vers l'est via la RD20.

Les différentes dessertes des communes environnantes depuis Montsûrs et Brée ont été reportées sur le zonage de l'enjeu fourni dans le Dossier de Plans (plan n°2).

6.1.2. Traversée du centre-ville de Montsûrs

Le pont principal de Montsûrs sur la Jouanne étant inondé (ouvrage JOU22), le centre-ville est coupé en deux en cas de crue centennale. Cependant, il est possible de traverser la Jouanne au droit de Saint-Cénére, qui est accessible depuis le nord de Montsûrs via la RD9 et depuis le sud via la RD32.

Le tableau ci-après récapitule les infrastructures routières soumises à un risque d'inondation, en explicitant le(s) tronçon(s) concerné(s), les routes départementales desservies et le risque d'inondation.

Infrastructure routière	Localisation du tronçon	Routes Départementales desservies	Risque d'inondation
Rue de Gesnes	Immédiatement avant la Place Crotigné sur 400 m	RD9	Faible
Rue de la Libération	Immédiatement avant la Place Crotigné sur 50 m	RD129 et RD24	Faible
Rue de la Gare	Immédiatement avant la Place Crotigné sur 100 m	RD32	Faible (50 m) puis Fort (50 m)
Rue de la Cité	Toute la rue	/	Faible (50 m) puis Fort (20 m)
Rue de la Jouanne	Toute la rue	/	Faible (100 m) puis Fort (230 m)
Rue de la Petite Poulie	Toute la rue	/	Fort
Rue du Pont	Toute la rue	Toutes (traversée de la Jouanne)	Fort (100 m) puis Faible (100 m)
Grande rue	Immédiatement avant la rue du Pont sur 50 m	RD9, RD24 et RD32	Faible

Tableau 21 : rues inondées dans le centre-ville de Montsûrs

Ces infrastructures ont été reportées sur le zonage de l'enjeu fourni dans le Dossier de Plans (plan n°2).

Ainsi, il apparaît qu'en cas de crue centennale, le centre-ville de Montsûrs est coupé en deux par la Jouanne, la rue du Pont étant soumise à un risque d'inondation faible puis fort. Il est tout de même possible de traverser la Jouanne au droit de la commune de Saint-Cénére, qui est accessible depuis le nord de Montsûrs via la RD9 et depuis le sud via la RD32.

6.2. Equipements publics

Les établissements publics inondés sont récapitulés dans le tableau ci-après, de l'amont vers l'aval et en explicitant le risque d'inondation maximal de la parcelle concernée.

Code	Equipement	Risque d'inondation maximal
1	Camping municipal	Fort
2	Bureau de Poste PTT	Faible
3	Ecole Sacré-cœur	Faible
4	Gymnase	Faible
5	Salle polyvalente	Faible
6	Office du tourisme, Syndicat d'Initiative et Médiathèque	Fort
7	Maison des Associations	Faible

Tableau 22 : Equipements publics inondés sur les communes de Montsûrs et Brée

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du - 2 JUIL. 2007

Ces établissements ont été reportés sur le zonage de l'enjeu fourni dans le Dossier de Plans (plan n°2) avec les codes mis en évidence dans le tableau ci-dessus.

Il est important de souligner que les crues de la Jouanne surviennent exclusivement en période hivernale, entre les mois de novembre (crue de 1974) et février (crue de 1996), ce qui est mis en évidence dans le cadre de l'analyse des crues historiques (cf. tableau 9 du paragraphe 4.2.2.2). Or, le camping municipal est fermé durant toute cette période. Ainsi, le risque d'inondation réel du Camping est relativement faible voire nul puisque bien que l'aléa d'inondation y soit très élevé, la vulnérabilité est presque nulle durant l'occurrence des crues de par cette fermeture.

6.3. Etablissements industriels

Les principaux établissements industriels inondés sont récapitulés dans le tableau ci-après, de l'amont vers l'aval et en explicitant le risque d'inondation maximal de la parcelle concernée.

Code	Etablissement	Risque d'inondation maximal
a	Laiterie	Fort
b	Mat Services	Fort

Tableau 23 : Etablissements industriels inondés sur les communes de Montsûrs et Brée

Ces établissements ont été reportés sur le zonage de l'enjeu fourni dans le Dossier de Plans (plan n°2) avec les codes mis en évidence dans le tableau ci-dessus.

L'évacuation de la Laiterie est réalisable via la rue de la Gare. La société Mat Service est quant à elle évacuée via la rue de Gesnes au nord du tronçon inondé.

6.4. Etablissements commerciaux

Les commerces et services soumis à un risque d'inondation sont les suivants :

- Rue de la Gare :
 - une partie de la salle « Le Pressoir » ;
 - un salon de coiffure ;
 - une boulangerie ;
- Place Crotigné :
 - le cabinet dentaire ;
 - le Presse-tabac et le bar PMU « Le Crotigné » ;

- le restaurant – bar - traiteur « La Boule d'or » ;
- « Lezard Graphic » ;
- Rue de la Libération :
 - le cabinet médical ;
- Rue de Gesnes :
 - le fleuriste « Symphonie Florale » ;
 - la banque « Crédit Mutuel » ;
 - le cinéma « Le Majestic » ;
 - la société « Transports Olivier » ;
- Rue de la Petite Poulie :
 - l'infirmerie ;
- Rue de la Jouanne :
 - le Supermarché « Proxi » ;
- Rue du Pont :
 - une boulangerie – pâtisserie ;
 - « Montsûrs Décors » (peinture, revêtements, ...)
 - un salon de coiffure ;
 - « Montsûrs Pressing » ;
 - « Création d'Habitats personnalisés » ;
 - « Ets Bouteloup » (électroménager, ...) ;
 - le bar « Le Danube » ;
 - la mercerie « Au dé agile » ;
- Grande Rue :
 - les assurances MMA ;
 - la droguerie – quincaillerie ;
 - une boucherie – charcuterie ;
 - Groupe « Flexoware » - ABR Cliché (reprographie, ...)

Ces commerces et services, au nombre de 26, sont facilement évacuables, via la rue de la Libération pour le secteur au nord de la Jouanne et la Grande Rue pour le secteur au sud de la Jouanne.

PFR approuvé par
arrêté préfectoral
du -2 JUIL. 2007

6.5. Habitations

Les habitations inondées sont principalement localisées dans le centre-ville de Montsûrs le long des rues et au droit des places suivantes :

- Rue de la Libération et rue de la Gare ;
- Place Crotigné (Bar PMU, ...) ;
- Rue de Gesnes ;
- Rue de la Jouanne ;
- Rue du Pont ;
- Place des Anciens Combattants ;
- Grande Rue ;
- Place d'Irsée.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, le nombre total de bâtiments menacés à vocation d'habitations est de l'ordre de 100, toutes situées sur la commune de Montsûrs.

Les habitations soumises à l'aléa d'inondation le plus fort sont celles situées dans la partie basse de la rue de la Petite Poulie, particulièrement au droit du n°6 de la rue. En effet, le seuil de cette maison est à la cote 72.50 m IGN69 et le niveau d'eau centennal au droit de cette maison est de 74.46, ce qui représente une hauteur d'eau de l'ordre de 2 m. Il est important de souligner que toutes les maisons de la rue de la Petite Poulie disposent d'un premier étage hors d'eau pour la crue centennale. De plus, les maisons au n°3 et au n°6 disposent respectivement d'un batardeau en briques d'une hauteur de 30 cm et d'une glissière métallique d'une hauteur de l'ordre de 50 cm au droit de leurs portes d'entrée qui permettent de maintenir la maison hors d'eau pour des crues fréquentes mais qui n'ont aucun impact pour la crue centennale. D'autres maisons ont des traces de mastic au droit de leur porte d'entrée qui témoignent de protections temporaires à l'aide de briques en période de crue.

En outre, en situation de crue centennale, la rue de la Petite Poulie est bloquée par la Jouanne au sud qui inonde la Passerelle piétonne de la Petite Poulie et la rue de Gesnes au nord qui est également inondée avec une hauteur d'eau supérieure à 1 m au droit de leur croisement.

Ainsi, cette rue constitue le secteur le plus délicat à évacuer et est donc prioritaire en terme d'intervention des secours en période de crue.

6.6. Synthèse

En résumé, le zonage réglementaire réalisé concerne :

- Huit (8) rues principalement localisées dans le centre-ville de Montsûrs ;
- Sept (7) équipements publics ;
- Deux (2) établissements industriels ;
- Vingt-six (26) commerces et services ;
- Cent (100) bâtiments à vocation d'habitation.

Bien que le centre-ville de Montsûrs soit coupé en deux par la Jouanne en cas de crue centennale, aucun secteur inondé et vulnérable (centre urbain ou autre secteur urbanisé) ne pose de problème en terme d'accès des secours et d'évacuation. En effet :

- L'ouvrage hydraulique de franchissement de la Jouanne JOU20 (pont de la Petite Beillardière) est utilisable car hors d'eau et permet donc une communication entre les deux rives de la Jouanne ;
- L'ensemble des routes départementales de desserte des communes de Montsûrs et Brée sont hors d'eau, excepté la RD32 entre Montsûrs et Brée qui est inondée sur une longueur de 100 m environ mais qui est tout de même contournable via la RD9 ;

Le secteur le plus délicat à évacuer et donc prioritaire en terme d'intervention des secours est la rue de la Petite Poulie (cf ; paragraphe 6.5 ci-dessus).

PPR approuvé par
arrêté préfectoral
du - 2 JUIL. 2007