

Eau  
Environnement



ETUDE DE L'ALEA INONDATION SUR  
L'AGGLOMERATION MANCELLE  
Rapport d'étude



DDT DE LA SARTHE

Rapport n° : 15F-124-RA-1

Révision n° : L

Date : 10/11/2016

[Votre contact :

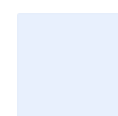
Julien BERTHELOT

berthelot@isl.fr

Rapport

ISL Ingénierie SAS – Agence d'Angers  
25-27 rue Lenepveu  
49100 ANGERS  
FRANCE  
Tel. : +33 2 41 36 01 77  
Fax : +33 2 41 36 10 55

[www.isl.fr](http://www.isl.fr)



**ISL**  
Ingénierie



# Visa

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	15/10/2015	JBE	JBE	OBA	Etat d'avancement
B	28/10/2015	JBE	JBE	ADB	Synthèse hydrologique + remarques DDT
C	30/10/2015	JBE	JBE	ADB	remarques DDT
D	20/11/2015	JBE	JBE	ADB	remarques DDT
E	22/12/2015	JBE	JBE	ADB	Hydrologie+ complément données LMM
F	11/01/2016	JBE	JBE	ADB	Corrections mineures et reprise cartes
G	14/03/2016	JBE	JBE	OBA	Calage modèle + enjeux
H	20/04/2016	JBE	JBE	OBA	Reprise calage + Q100
I	13/05/2016	JBE	JBE	OBA	Intégration remarque DDT et CEREMA
J	05/07/2016	JBE	JBE	OBA	Ajout aléa 1000 ans Détail population touchée
K	03/11/2016	JBE	JBE	OBA	Ajout population touchée Complément sur les digues
L	10/11/2016	JBE	JBE	OBA	Corrections diverses

[



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ET PERIMETRE DE L'ETUDE</b>	<b>11</b>
1.1	CONTEXTE	11
1.2	PERIMETRE DE L'ETUDE	11
1.3	OBJET DU RAPPORT	12
<b>2</b>	<b>COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES</b>	<b>13</b>
2.1	ETUDES HYDRAULIQUES ANALYSEES	13
2.1.1	ETUDE N°0 : ETUDE DES CRISES HYDROLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA MAINE	14
2.1.2	ETUDE N°1 : ATLAS DES ZONES INONDABLES PAR LA SARTHE AMONT	14
2.1.3	ETUDE N°2 : PPRI	14
2.1.4	ETUDE N°3 : ELABORATION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'IMPACT DES CRUES	14
2.1.5	ETUDE N°4 : ETUDE DES LEVEES TRANSVERSALES DE L'HUISNE	14
2.1.6	ETUDE N°5 : ETUDE POUR LA MODERNISATION DE 4 BARRAGES	14
2.1.7	ETUDE N°6 : ETUDE DES CRUES HISTORIQUES DE LA SARTHE	14
2.1.8	ETUDE N°7 : ETUDE POUR LA REALISATION D'UN DEVERSOIR A L'ILE AUX PLANCHES	16
2.1.9	ETUDE N°8 : ETUDE DE COHERENCE DU BASSIN DE LA MAINE	16
2.1.10	ETUDE N°9 : ETUDE DE PROTECTION DES QUARTIERS HEUZE ET AUSTRALIE	16
2.1.11	ETUDE N°10 : ETUDE DE PROTECTION DU QUARTIER CRETOIS	16
2.1.12	ETUDE N°11 : ETUDE DE RETABLISSEMENT DE LA CONTINUITE ECOLOGIQUE	16
2.1.13	ETUDE N°12 : ETUDE DE RALENTISSEMENT DYNAMIQUE SUR LA SARTHE AMONT	17
2.1.14	ETUDE N°13 : TRI	17
2.2	VISITE DE TERRAIN	17
2.3	DONNEES TOPOGRAPHIQUES	17
2.3.1	LEVE SURFACIQUE	18
2.3.1.1	Levé LIDAR	18
2.3.1.2	Topographie des digues	18
2.3.2	PROFIL EN TRAVERS	18
2.3.2.1	Profils existants	18
2.3.2.2	Profils levés dans le cadre de cette étude	19
2.3.3	OUVRAGES HYDRAULIQUES	20
2.4	ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES	21

2.4.1	CRUES ETUDIEES _____	21
2.4.2	CRUES DE 1930 ET 1966 _____	24
2.4.3	CRUE DE JANVIER 1995 _____	24
2.4.4	CRUE DE DECEMBRE 1999 _____	25
2.4.5	CRUE DE JANVIER 2001 _____	26
2.5	LAISSE DE CRUES _____	26
2.5.1	REPERES PONCTUELS _____	26
2.5.2	RELEVES COMPLEMENTAIRES _____	28
2.5.3	PRE- ANALYSE DES REPERES DE CRUE PONCTUELS _____	30
<b>3</b>	<b>CARACTERISATION DES BASSINS VERSANTS _____</b>	<b>33</b>
3.1	BASSINS VERSANTS CONCERNES PAR L'ETUDE _____	33
3.2	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES _____	33
3.2.1	TRACE ET PENTE _____	33
3.2.2	GEOLOGIE _____	33
3.3	PLUVIOMETRIE _____	34
<b>4</b>	<b>ANALYSE HYDROLOGIQUE DE LA SARTHE _____</b>	<b>35</b>
4.1	SYNTHESE HYDROLOGIQUE DES ETUDES PRECEDENTES _____	35
4.1.1	ETUDE N°0 : ETUDE DES CRISES HYDROLOGIQUES DU BASSIN DE LA MAINE _____	35
4.1.2	ETUDE N°2 : ETUDE HYDRAULIQUE DES PPRi _____	36
4.1.2.1	Calcul de débit aux stations _____	36
4.1.2.2	Calcul de débit au Mans _____	37
4.1.3	ETUDE N°3 : ELABORATION DE LA STRATEGIE DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION _____	37
4.1.4	ETUDE N°5 : ETUDE DE MODERNISATION DES BARRAGES _____	37
4.1.4.1	Calcul de débit aux stations _____	37
4.1.4.2	Débit au droit des barrages _____	38
4.1.5	ETUDE N°8 : ETUDE DE COHERENCE _____	39
4.1.5.1	Estimation des débits de crues aux stations de mesures _____	39
4.1.6	ETUDE N°9 ET 10 : EDD DE L'AGGLOMERATION MANCELLE _____	41
4.1.7	ETUDE N°13 : TRI _____	41
4.1.8	SYNTHESE _____	41
4.2	ACTUALISATION DES DONNEES AUX STATIONS DE MESURES _____	42
4.2.1	STATION DE MESURES ETUDIEES _____	42
4.2.2	AJUSTEMENT PAR LA LOI DE GUMBEL A CHAQUE STATION _____	43

4.3	APPLICATION DE LA METHODE DU GRADEX _____	45
4.3.1	PRINCIPE DE LA METHODE DU GRADEX _____	45
4.3.2	CALCUL DES TEMPS CARACTERISTIQUES _____	46
4.3.3	GRADEX DES PLUIES _____	47
4.3.4	AJUSTEMENT DES DEBITS SUR LES TEMPS CARACTERISTIQUES _____	47
4.3.5	CALCUL DU COEFFICIENT DE FORME _____	47
4.3.6	APPLICATION DE LA METHODE DU GRADEX _____	48
4.4	DONNEES SHYREG _____	48
4.4.1	PRINCIPE DE LA METHODE SHYREG _____	48
4.4.2	DONNEES FOURNIES _____	48
4.5	TRANSFERT DES DEBITS DES STATIONS AUX POINTS DE CALCUL_	49
4.6	SYNTHESE DES DEBITS RETENUS _____	50
4.6.1	SYNTHESE _____	50
4.6.2	COMPARAISON DES DEBITS CENTENNAUX AVEC LES PPRI ACTUELS ET LE TRI_	51
<b>5</b>	<b>SIMULATION DE L'ALEA _____</b>	<b>53</b>
5.1	CONSTRUCTION DU MODELE _____	53
5.1.1	STRUCTURE DU MAILLAGE _____	53
5.1.2	APPLICATION DE LA TOPOGRAPHIE _____	54
5.1.3	PRISE EN COMPTE DES OUVRAGES _____	54
5.1.4	PRISE EN COMPTE DES ZONES URBAINES _____	55
5.1.5	PRISE EN COMPTE DES TRAVAUX _____	56
5.2	SIMULATION REALISEES _____	57
5.3	CONDITIONS AUX LIMITES _____	57
5.4	CALAGE ET VALIDATION DU MODELE _____	58
5.4.1	CALAGE SUR LA CRUE DE 1995 _____	59
5.4.2	VALIDATION SUR LA CRUE DE 1999 _____	63
5.4.3	VALIDATION SUR LA CRUE DE 2001 _____	65
5.5	RESULTATS OBTENUS POUR LA CRUE CENTENNALE _____	67
5.5.1	SARTHE AMONT _____	67
5.5.2	HUISNE _____	68
5.5.3	SARTHE AVAL _____	69
5.6	ANALYSE DE SENSIBILITE _____	69
5.6.1	SENSIBILITE AU CONTROLE AVAL _____	69
5.6.2	SENSIBILITE AU DEBIT _____	70



5.6.3	SENSIBILITE AU COEFFICIENT DE RUGOSITE _____	71
5.6.4	CONCLUSION _____	72
5.7	COMPARAISON AVEC LES RESULTATS PRECEDENTS _____	73
5.7.1	COMPARAISON SUR LE CALAGE DE LA CRUE DE 1995 _____	73
5.7.1.1	Sarthe amont _____	73
5.7.1.2	Huisne _____	74
5.7.1.3	Sarthe aval _____	75
5.7.1.4	Conclusion _____	76
5.7.2	COMPARAISON DES RESULTATS DES ETUDES PRECEDENTES POUR LA CRUE CENTENNALE _____	76
5.7.3	COMPARAISON DES CRUES CENTENNALES _____	78
5.7.3.1	Sarthe amont _____	78
5.7.3.2	Huisne _____	79
5.7.3.3	Sarthe aval _____	80
5.7.3.4	Conclusion _____	80
5.8	SIMULATION COMPLEMENTAIRES DE LA CRUE DE PERIODE DE RETOUR DE 1000 ANS _____	81
5.8.1	DEBIT RETENUS _____	81
5.8.2	RESULTATS _____	81
5.9	ANALYSE DES RISQUES DANS LES ZONES PROTEGEES PAR LES DIGUES _____	82
5.9.1	CRETOIS _____	83
5.9.2	QUARTIER AUSTALIE _____	84
5.9.3	QUARTIER HEUZE _____	85
<b>6</b>	<b>ANALYSE DES ENJEUX _____</b>	<b>86</b>
6.1	OBJECTIF DE L'ANALYSE _____	86
6.2	DETERMINATION DE L'OCCUPATION DES SOLS _____	86
6.2.1	CATEGORIES TRAITEES _____	86
6.2.2	MODE DE DETERMINATION _____	87
6.2.3	TRAITEMENT DES CAS PARTICULIERS _____	93
6.3	IDENTIFICATION DES ENJEUX PONCTUELS _____	94
6.3.1	INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT _____	94
6.3.2	ENJEUX UTILES EN CAS DE CRISE _____	94
6.3.3	ENJEUX PATRIMONIAUX _____	94
6.4	TYPOLOGIE D'HABITAT _____	95

6.4.1	INTRODUCTION	95
6.4.2	LA CHAPELLE SAINT AUBIN	96
6.4.3	SAINT PAVACE	96
6.4.4	COULAINES	96
6.4.5	LE MANS	97
6.4.6	ALLONNES	97
6.4.7	ARNAGE	97
6.4.8	YVRE L'EVEQUE	98
<b>7</b>	<b>CROISEMENT ENJEUX ALEAS</b>	<b>99</b>
7.1	OBJECTIF DE L'ANALYSE	99
7.2	CLASSIFICATION DE L'ALEA ET DES ENJEUX	99
7.2.1	DEFINITION ALEA FORT MOYEN ET FAIBLE	99
7.2.2	DEFINITION ZONE URBAINE	99
7.3	BATIMENTS ET POPULATION EN ZONE INONDABLE	100
7.3.1	AJOUT D'INFORMATION SUR LES BATIMENTS	100
7.3.1.1	Définition du caractère inondable	100
7.3.1.2	Détail sur les données INSEE	101
7.3.1.3	Détail sur les données MAJIC	102
7.3.2	VALIDATION DE LA METHODE A L'AIDE DU TRI	102
7.3.3	ACTUALISATION SUR LA BASE DES NOUVEAUX ALEAS	103
7.3.3.1	Crue centennale	103
7.3.3.2	Crue de 1999 – scénario fréquent	104
7.3.3.3	Crue de période de retour de 1000 ans – scénario exceptionnel	105
7.3.3.4	Synthèse pour les trois aléas	105
7.3.4	COMPARAISON AVEC LES ETUDES PRECEDENTES	106
7.3.5	INCERTITUDES SUR LA METHODE	107
7.3.5.1	Incertitude sur le nombre de bâtiment touchés	107
7.3.5.2	Incertitude sur la population	109
7.3.5.3	Conclusions	109

## TABLE DES ANNEXES

### ANNEXE 1 CARTOGRAPHIE

### ANNEXE 2 EVOLUTION DU LIT DE LA SARTHE ET DE L'HUISNE

<b>ANNEXE 3</b>	<b>LISTE DES OUVRAGES</b>
<b>ANNEXE 4</b>	<b>LISTE DES REPERES DE CRUE</b>
<b>ANNEXE 5</b>	<b>NIVEAUX RELEVES PAR LA CUM SUR L'HUISNE</b>
<b>ANNEXE 6</b>	<b>AJUSTEMENT DE GUMBEL SUR LES MAXIMUMS INSTANTANES</b>
<b>ANNEXE 7</b>	<b>COMPARAISON DES DEBITS ESTIMES</b>
<b>ANNEXE 8</b>	<b>COTES CALCULEES AU DROIT DES REPERE DE CRUES</b>
<b>ANNEXE 9</b>	<b>PROFIL EN LONG DES CRUES DE 1999 ET 2001</b>

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de la zone d'étude	12
Figure 2 : Vue de l'Huisne au pont d'Arnage	17
Figure 3 : Hydrogrammes mesurés pour la crue de 1995	24
Figure 4 : Hydrogrammes mesurés pour la crue de 1999	25
Figure 5 : Hydrogrammes mesurés pour la crue de 2001	26
Figure 6 : Profil en long des laisses de crues sur la Sarthe	28
Figure 7 : Profil en long des laisses de crue sur l'Huisne	28
Figure 8 : Limnigramme à Ponlieue sur l'Huisne en Janvier 1995	29
Figure 9 : Limnigramme à Ponlieue sur l'Huisne en décembre 1999	29
Figure 10 : Limnigramme mesurés en janvier 2001	29
Figure 11 : Limnigramme de la CUM sur l'Huisne pour la crue de 1995	30
Figure 12 : Niveaux relevés sur la Sarthe	31
Figure 13 : Niveaux relevés sur L'Huisne	32
Figure 14 : Pluviométrie annuelle du bassin de la Maine (source : étude de Cohérence)	34
Figure 15 : Débits mesurés sur les affluents en décembre 1999	44
Figure 16 : Présentation de la méthode du Gradex (source : thèse de Y.Aubert)	46
Figure 17 : Relation surface-débit de la Sarthe et de l'Huisne	49
Figure 18 : Maillage du modèle hydraulique	53
Figure 19 : Exemple d'ouvrage (pont SNCF sur la Sarthe)	55
Figure 20 : Numérisation des voiries et sectorisation des coefficients de frottement	55

Figure 21 : Vue aérienne de la confluence Sarthe Huisne en 1994 et 2015 (source : Geoportail)	56
Figure 22 : Courbe de tarage retenue	57
Figure 23 : Profil en long de la Sarthe amont pour la crue de 1995	60
Figure 24 : Profil en long de l'Huisne pour la crue de 1995	61
Figure 25 : Evolution de la ligne d'eau à l'échelle de Pontlieue en 1995	61
Figure 26 : Profil en long de la Sarthe aval pour la crue de 1995	62
Figure 27 : Débit mesuré et simulé à la station de Spay en 1995	63
Figure 28 : Evolution de la ligne d'eau à l'échelle de Pontlieue en 1999	64
Figure 29 : Débit mesuré et simulé à la station de Spay en 1999	65
Figure 30 : Evolution de la ligne d'eau à l'échelle de Pontlieue en 2001	66
Figure 31 : Evolution de la ligne d'eau à l'échelle des Planches en 2001	66
Figure 32 : Débit mesuré et simulé à la station de Spay en 2001	67
Figure 33 : Profil en long de la Sarthe amont pour la crue centennale	67
Figure 34 : Profil en long de l'Huisne pour la crue centennale	68
Figure 35 : Profil en long de la Sarthe aval pour la crue centennale	69
Figure 36 : Profil en long de la Sarthe aval	70
Figure 37 : Impact de l'abaissement du coefficient de frottement de 10%	72
Figure 38 : Simulation de la crue de 1995 sur Saint Pavace-Coulaines	74
<b>Figure 39 : Simulation de la crue de 1995 sur la Sarthe amont</b>	<b>74</b>
Figure 40 : Simulation de la crue de 1995 sur l'Huisne	75
Figure 41 : Simulation de la crue de 1995 sur l'Huisne	75
Figure 42 : Simulation de la crue de 1995 sur la Sarthe aval	76
Figure 43 : Ligne d'eau simulée sur la Sarthe dans le PPRi actuel et dans l'étude du TRI	77
Figure 44 : Ligne d'eau simulée sur l'Huisne dans PPRi le actuel et dans l'étude du TRI	78
Figure 45 : Comparaison des crues centennales modélisées	79
Figure 46 : Comparaison des crues centennales modélisées sur l'Huisne	79
Figure 47 : Comparaison des crues centennales modélisées sur la Sarthe aval	80
Figure 48 : Simulation sur la Sarthe de la crue de période de 1000 ans	81
Figure 49 : Simulation sur l'Huisne de la crue de période de 1000 ans	82
Figure 50 : Profil en long en crue centennale autour de la digue du quartier Crétois	83
Figure 51 : Simulation de brèche sur l'amont du quartier crétois (source EDD de la digue)	83
Figure 52 : Profil en long en crue centennale autour de la digue du quartier Australie	84
Figure 53 : Carte de synthèse des aléas (source : EDD)	84
Figure 54 : Profil en long en crue centennale autour de la digue du quartier Heuzé	85
Figure 55 : Carte de synthèse des aléas (source : EDD)	85
Figure 56 : Exemple de découpage de zone d'habitat collectif (les Sablons au Mans)	87
Figure 57 : Exemple de zone d'habitat individuel dense (Heuzé au Mans)	88

Figure 58 : Exemple de découpage de zone d'habitat individuel pavillonnaire (Heuzé au Mans)	88
Figure 59 : Exemple de découpage de zone d'habitat (Arnage)	89
Figure 60 : Exemple de découpage de zone temporaire (Sud du barrage de Saint Georges)	90
Figure 61 : Exemple d'habitat isolé (Arnage)	90
Figure 62 : Exemple de zone industrielle (Zi Sud au Mans)	91
Figure 63 : Exemple de zone commerciale (Allonnes)	91
Figure 64 : Exemple de zone commerciale (Gare sud au Mans)	92
Figure 65 : Exemple de découpage à l'intérieur d'une parcelle (Yvré l'Evêque)	93
Figure 66 : Exemple de découpage des voiries (les Sablons au Mans)	94
Figure 67 : Exemple logements de plain-pied sans surélévation à Coulaines et Saint-Pavace	95
Figure 68 : Exemple de « maisons sur garage » – à gauche un escalier extérieur vers le 1 <sup>er</sup> niveau habitable, à droite l'entrée se fait au rez-de-chaussée	95
Figure 69 : Exemple de 4 maisons mitoyennes en zone inondable à Coulaines (rue Rabelais) – les 2 maisons au centre ont un 1 <sup>er</sup> niveau habitable sur garage – les autres maisons ont un premier niveau habitable au rez-de-chaussée	96
Figure 70 : Classification des aléas à partir des hauteurs et vitesses maximums	99
Figure 71 : Exemple de sélection des bâtiments inondables	100
Figure 72 : Découpage des ilots IRIS	101
Figure 73 : Répartition du nombre d'habitant par ilots IRIS	102
Figure 74 : Identification des bâtiments en zone inondable	108

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des études consultées	13
Tableau 2 : Nombre de profil par tronçon	19
Tableau 3 : Nombre de profil par tronçon après réalisation de levés complémentaires	20
Tableau 4 : Ouvrages à lever	21
Tableau 5 : Principales crues mesurées aux échelles du Mans	22
Tableau 6 : Principales crues depuis 1966 (source : étude de Cohérence)	23
Tableau 7 : Nombre de laisses de crue identifiée	27
Tableau 8 : Relevé de la CUM au pont du Mans	28
Tableau 9 : Surface de bassin versant	33
Tableau 10 : Débits retenus dans l'étude n°0	35
Tableau 11 : Analyse concomitance Huisne-Sarthe (source étude n°0)	35
Tableau 12 : Surface de bassin versant dans les études hydrauliques des PPRI	36
Tableau 13 : Débits retenus dans l'étude n°2	36

Tableau 14 : Débits retenus dans l'étude n°2.....	37
Tableau 15 : Débits retenus aux stations dans l'étude n°5.....	38
Tableau 16 : Débits retenus dans l'étude n°5.....	38
Tableau 17 : Synthèse des débits retenus aux stations dans l'étude n°5.....	38
Tableau 18 : Synthèse des débits statistiques retenus aux stations dans l'étude n°8.....	40
Tableau 19 : Synthèse des débits historiques aux stations dans l'étude n°8.....	40
Tableau 20 : Débits retenus dans les études n°9 et 10.....	41
Tableau 21 : Débits retenus aux stations dans l'étude n°13.....	41
Tableau 22 : Synthèse des débits pris en compte dans les études hydrologiques.....	42
Tableau 23 : Surface de bassin versant interceptée par les stations.....	43
Tableau 24 : Echantillons retenus sur les stations hydrométriques.....	43
Tableau 25 : Débit caractéristique obtenus par ajustement statistiques.....	44
Tableau 26 : durée de Socose.....	46
Tableau 27 : Débit statistiques sur 4 jours obtenus par ajustement statistiques.....	47
Tableau 28 : Coefficient de forme.....	47
Tableau 29 : Débit centennal instantané calculé par la méthode du gradex.....	48
Tableau 30 : Débits calculés par la méthode SHYREG.....	49
Tableau 31 : Débits calculés par la méthode du gradex progressif.....	50
Tableau 32 : Débits retenus.....	51
Tableau 33 : Comparaison avec les études précédentes (* débit de période de retour de 110).....	52
Tableau 34 : Simulations principales réalisées.....	57
Tableau 35 : Débits entrants utilisés dans le modèle.....	58
Tableau 36 : Coefficients de frottement retenus.....	59
Tableau 37 : Synthèse du calage sur la crue de 1995.....	59
Tableau 38 : Synthèse du calage sur la crue de 1999.....	64
Tableau 39 : Synthèse du calage sur la crue de 2001.....	65
Tableau 40 : Ecart simulé.....	70
Tableau 41 : Ecart simulés sur la crue de 1995.....	73
Tableau 42 : Comparaison des débits pris en compte dans les études précédentes.....	77
Tableau 43 : Débits entrants utilisés dans le modèle.....	81
Tableau 44 : Type d'occupation des sols potentiellement inondables.....	97
Tableau 45 : Actualisation de l'estimation des populations en zone inondable avec l'aléa du TRI.....	103
Tableau 46 : Nombre de bâtiments d'activité concernés par l'aléa issu du TRI.....	103
Tableau 47 : Détail des bâtiments en zone inondable centennale.....	104
Tableau 48 : Détail des bâtiments en zone inondable pour une crue similaire à la crue 1999.....	104
Tableau 49 : Détail des bâtiments en zone inondable pour une crue millénale.....	105

---

Tableau 50 : Synthèse des logements et population en zone inondable .....	106
Tableau 51 : Population dans les différentes simulations de l'aléa centennial.....	106
Tableau 52 : Population et logement en zone inondable centennale à Couaines .....	108
Tableau 53 : Incertitude sur la population touchée par les inondations. ....	109

]

[ ]

# 1 CONTEXTE ET PERIMETRE DE L'ETUDE

## 1.1 CONTEXTE

La commune du Mans et les communes limitrophes sont concernées depuis les années 2000 par un Plan de Prévention du Risque inondation. Ces PPRi faisaient suite à la crue de 1995 de période de retour de 15 à 40 ans sur la Sarthe et de 60 ans environ sur l'Huisne.

Depuis la réalisation de ces PPRi :

- La réglementation associée a évolué ;
- Des incohérences entre les différentes cartes d'aléa sont apparues. Ceci s'explique par la présence de 5 périmètres de PPRi (donc 5 études distinctes) sur l'ensemble de la zone ;
- Des aménagements ont été réalisés ce qui fait évoluer l'aléa et aussi les enjeux en présence ;
- Des incohérences avec les études postérieures ont été mises en évidence.

En conséquence, la DDT de la Sarthe souhaite analyser ces constatations et statuer sur l'opportunité d'une révision du PPRi.

## 1.2 PERIMETRE DE L'ETUDE

L'étude concerne 7 communes riveraines de l'Huisne ou de la Sarthe : la Chapelle Saint Aubin, Saint-Pavace, Coulaines, le Mans, Yvré-l'Evêque, Allonnes et Arnage.

Cette zone d'étude couvre un linéaire de 22.7 km sur la Sarthe et 17.7 km sur l'Huisne.

Pour les besoins de la modélisation hydraulique, la zone modélisée s'étendra jusqu'à la station de mesure de débit de Montreuil (commune de Neuville sur Sarthe) sur la Sarthe et jusqu'à la station de la Pécardière (commune de Montfort le Gesnois).



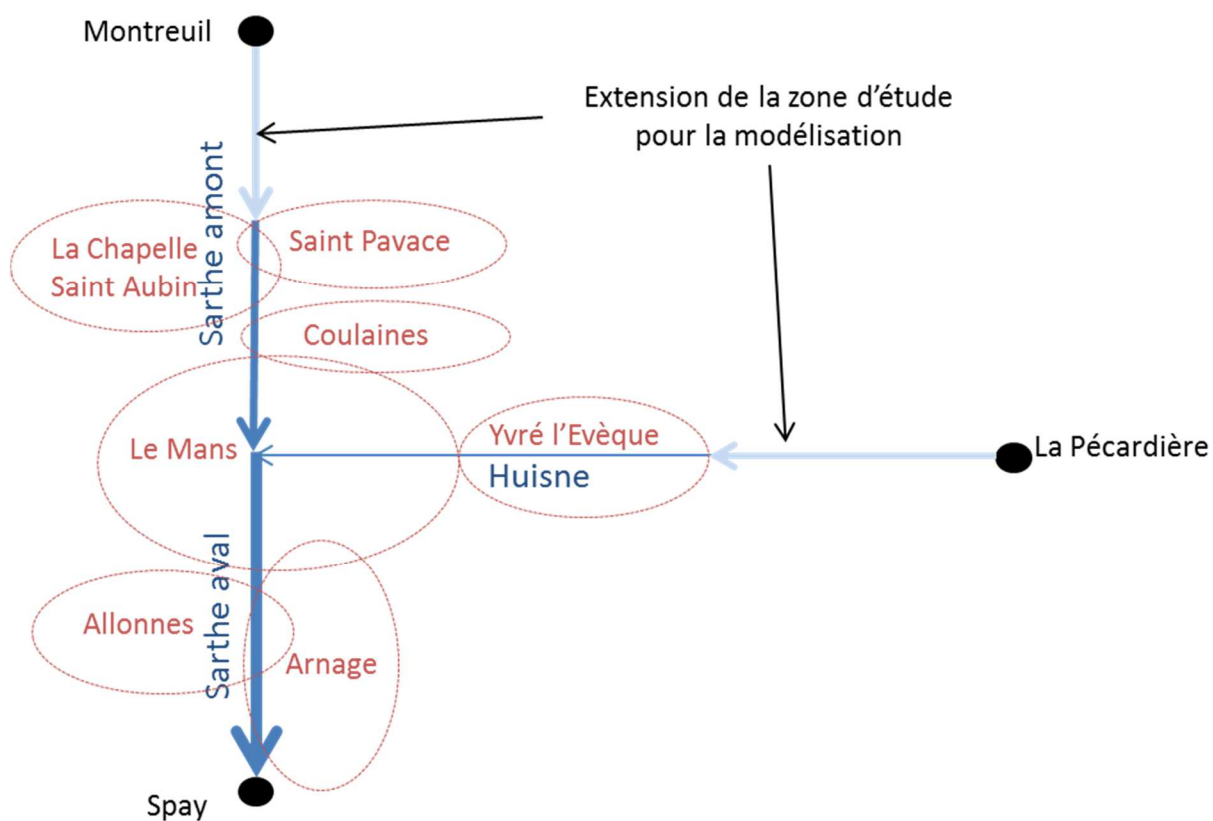


Figure 1 : Schéma de la zone d'étude

### 1.3 OBJET DU RAPPORT

Le présent rapport inclut:

- La phase 2 de l'étude, la réalisation des cartes informatives ;
- L'avancement de phase 3 avec l'étude hydrologique et hydraulique complète ainsi que l'étude des enjeux.

## 2 COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

### 2.1 ETUDES HYDRAULIQUES ANALYSEES

Le tableau ci-dessous indique les études consultées dans le cadre de l'étude. Elles sont classées par date de réalisation. Dans la suite du rapport, les études sont référencées à l'aide du numéro indiqué sur la colonne de gauche.

ID	Nom du rapport	Date	Maitre d'ouvrage
0	Etude des crises hydrologiques du bassin versant de la Maine	1999	EPALA- DREAL
1	Atlas des zones inondable par la Sarthe amont	2000	DDT
2	PPRI du Mans, d'Allonnes-Arnage, de Coulaines-la Chapelle Saint-Aubin, Saint Pavace et d'Yvré-l'Evêque	2000-2004	DDT
3	Elaboration d'une stratégie de réduction de l'impact des crues	2001	LMM
4	Etude des levées Transversales de l'Huisne	2003	SMPEI
5	Etude pour la modernisation de 4 barrages sur l'agglomération Mancelle	2005	Département de la Sarthe
6	Etude des crues historiques de la Sarthe	2006	DDT
7	Etude pour la réalisation d'un déversoir à l'île aux Planches	2006	LMM
8	Etude de cohérence du bassin de la Maine	2008	EP Loire
9	Etude de protection des quartiers Heuzè et Australie	2008	LMM
10	Etude de protection du quartier Crétois	2012	LMM
11	Etude de rétablissement de la continuité écologique sur 5 ouvrages hydrauliques	2012	Département de la Sarthe
12	Etude de ralentissement dynamique sur la Sarthe Amont	2014	SMPEI
13	Etude du Territoire à Risque inondation	2015	DDT

**Tableau 1 : Liste des études consultées**

Les paragraphes ci-après présentent brièvement les études et les méthodologies mises en place. Les éléments techniques sont présentés dans la suite du rapport au fur et à mesure des thèmes abordés. Par exemple, les analyses hydrologiques réalisées dans les études précédentes sont regroupées dans le chapitre 3 sur l'analyse hydrologique de la Sarthe et de l'Huisne.

### 2.1.1 ETUDE N°0 : ETUDE DES CRISES HYDROLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA MAINE

Cette étude globale fait suite à la crue de 1995 qui a été particulièrement dommageable sur le bassin versant de la Maine.

### 2.1.2 ETUDE N°1 : ATLAS DES ZONES INONDABLES PAR LA SARTHE AMONT

Cette étude contient une analyse des zones inondables sur la Sarthe amont à partir de données sur les crues historiques. Il a été extrait de cette étude une cartographie des zones inondées en 1995.

### 2.1.3 ETUDE N°2 : PPRI

Les documents consultés comprennent les notices, les règlements et les cartes de zonages des 5 PPRI couvrant les 7 communes concernées par l'étude. Les emprises des zones inondables ont été obtenues par modélisation à l'aide d'un modèle 1D.

### 2.1.4 ETUDE N°3 : ELABORATION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'IMPACT DES CRUES

Cette étude comprend trois phases:

- Un diagnostic des zones inondable sur le Mans avec des détails par quartier ;
- Des propositions d'actions pour réduire le risque inondable ;
- Une stratégie globale à l'échelle de la communauté d'agglomération.

Cette étude a servi de support pour la réalisation des aménagements de réduction du risque inondation sur la commune. Il est notamment défini dans cette étude le déversoir de l'île aux planches ainsi que les digues des quartiers Australie et Heuzé.

### 2.1.5 ETUDE N°4 : ETUDE DES LEVEES TRANSVERSALES DE L'HUISNE

Cette étude avait pour objectif de dimensionner des ouvrages favorisant le stockage d'eau dans la vallée de l'Huisne pour réduire les crues au Mans notamment. Elle a uniquement été utilisée pour récupérer les profils en travers réalisés préalablement à l'étude.

### 2.1.6 ETUDE N°5 : ETUDE POUR LA MODERNISATION DE 4 BARRAGES

Il est étudié les modalités d'aménagement des seuils sur la Sarthe pour limiter les remous qu'ils provoquent en crue. Les seuils étudiés sont : Gue de Maulny sur l'Huisne, Saint Georges, Chaoué et Enfer sur la Sarthe.

Les impacts hydrauliques sont modélisés à l'aide d'un modèle 1D casier.

### 2.1.7 ETUDE N°6 : ETUDE DES CRUES HISTORIQUES DE LA SARTHE

Cette étude contient une analyse des crues historiques. Les tableaux ci-après indiquent les niveaux maximum mesurés sur la Sarthe et l'Huisne.

Ces tableaux montrent que la crue de 1995, n'est pas la crue la plus forte mesurée sur la Sarthe.

## Niveaux maximaux observés en m NGF - IGN 69

Beaumont		Le Mans, les Planches		La Suze		Sablé / Sarthe	
<i>Crue</i>	<i>Cote</i>	<i>Crue</i>	<i>Cote</i>	<i>Crue</i>	<i>Cote</i>	<i>Crue</i>	<i>Cote</i>
<b>1930</b>	61.28	<b>1995</b>	45.7	<b>1881</b>	37.54	<b>1995</b>	25.72
<b>nov 1966</b>	61.17	<b>1846</b>	45,70 *	<b>1846</b>	37.51	<b>1930</b>	25.52
<b>1995</b>	61.00	<b>1930</b>	45.69	<b>1930</b>	37.43	<b>1881</b>	25.42
<b>2001</b>	61.00	<b>nov 1966</b>	45.61	<b>1995</b>	37.35	<b>1999</b>	25.26
<b>1999</b>	60.92	<b>1881</b>	45,59 *	<b>nov 1966</b>	37.07	<b>1931</b>	25.14
<b>1936</b>	60.72	<b>1999</b>	45.56	<b>1999</b>	36.94	<b>nov 1966</b>	25.12
<b>1910</b>	60.62	<b>2001</b>	45.49	<b>2001</b>	36.89	<b>jan 1966</b>	25.12
<b>1961</b>	60.32	<b>jan 1966</b>	45.45	<b>1931</b>	36.88	<b>2001</b>	25.05
		<b>1936</b>	45.27	<b>1910</b>	36.67	<b>1910</b>	25.00
		<b>1910</b>	45.19	<b>1961</b>	36.49	<b>1961</b>	24.88
		<b>1931</b>	45.16	<b>1936</b>	36.39	<b>1936</b>	24.84
		<b>1961</b>	45.07				

Connerré		Usine des eaux du Mans		Le Mans - Pontlieue	
<b>1930</b>	65.44	<b>1930</b>	47.93	<b>1889</b>	46.68
<b>1995</b>	65.04	<b>1910</b>	47.47	<b>1930</b>	46.68
<b>jan 1966</b>	65	<b>1931</b>	47.46	<b>jan 1966</b>	46.58
<b>1910</b>	64.9	<b>1995</b>	47.42	<b>1995</b>	46.23
<b>1961</b>	64.7	<b>1936</b>	47.25	<b>1910</b>	46.08
<b>1936</b>	64.58			<b>1961</b>	45.86
<b>1999</b>	64.58			<b>1931</b>	45.68
<b>2001</b>	64.38			<b>1999</b>	45.6
				<b>1936</b>	45.46
				<b>2001</b>	45.38

### 2.1.8 ETUDE N°7 : ETUDE POUR LA REALISATION D'UN DEVERSOIR A L'ILE AUX PLANCHES

Il est dimensionné dans cette étude le déversoir reliant le canal de l'île aux planches avec la Sarthe. Cet aménagement avait pour objectif d'abaisser les niveaux d'eau en crue en amont. Pour cette étude il est réalisé un modèle 2D local du système hydraulique du déversoir.

### 2.1.9 ETUDE N°8 : ETUDE DE COHERENCE DU BASSIN DE LA MAINE

Cette étude est la dernière étude globale sur le bassin versant de la Sarthe. Elle est souvent réutilisée pour ses résultats sur les débits de la Sarthe. Elle concerne tout le bassin versant de la Maine (Loir, Mayenne, Sarthe).

Cette étude est articulée en 5 phases :

- Phase 1 de collecte de données qui comprend notamment toutes les données topographiques ;
- Phase 2 d'étude hydrologique ;
- Phase 3 d'identification des projets d'aménagement en cours ;
- Phase 4 de modélisation hydraulique 1D casier ;
- Phase 5 d'étude d'impact des aménagements listés en phase 3.

### 2.1.10 ETUDE N°9 : ETUDE DE PROTECTION DES QUARTIERS HEUZE ET AUSTRALIE

Les éléments collectés comprennent l'étude de conception des ouvrages ainsi que l'étude de dangers.

Dans l'étude de dangers, les conséquences d'une rupture des digues sont calculées à l'aide d'un modèle 1D casier. Ce modèle a priori identique au modèle utilisé pour les PPRI actuels a été actualisé pour prendre en compte les aménagements réalisés depuis.

La propagation de l'hydrogramme de rupture dans la zone protégée est calculée avec un modèle 2D (TELEMAC 2D).

### 2.1.11 ETUDE N°10 : ETUDE DE PROTECTION DU QUARTIER CRETOIS

Il a été collecté l'étude de dangers de la digue de protection. Il est inclus dans cette étude de dangers les éléments relatifs à la conception de la digue et sa résistance aux crues.

Pour étudier l'impact du projet, il a été réalisé un modèle hydraulique 2D local (entre le pont de la RD 314 et le pont de la RD 147 à l'aide du logiciel TELEMAC 2D).

### 2.1.12 ETUDE N°11 : ETUDE DE RETABLISSEMENT DE LA CONTINUITÉ ECOLOGIQUE

Cette étude avait pour objectif de définir les aménagements à réaliser pour garantir la continuité écologique des barrages situés dans l'agglomération Mancelle.

Pour cette étude, il a été réalisé un modèle 1D du lit mineur de la Sarthe et de l'Huisne.

### 2.1.13 ETUDE N°12 : ETUDE DE RALENTISSEMENT DYNAMIQUE SUR LA SARTHE AMONT

3 sites de sur-stockage potentiel sont étudiés sur l'amont de la Sarthe pour évaluer les impacts sur la ligne d'eau au Mans.

Pour cette étude un modèle 2D (TELEMAC) a été mis en place sur le secteur de Saint-Pavace à Allonnes.

### 2.1.14 ETUDE N°13 : TRI

Cette étude qui répond à une réglementation européenne a un objectif informatif et de mise en place d'une gestion globale du risque inondation. L'objectif est de connaître les enjeux inondables pour des crues de période de retour fréquente (crue de 1999), moyenne (crue centennale) et exceptionnelle (1000 ans). Pour simuler ces crues il est utilisé le modèle 1D casier de l'étude de Cohérence (adapté pour tenir compte des travaux réalisés).

## 2.2 VISITE DE TERRAIN

Des visites de terrain ont été réalisées en septembre 2015. Ces visites ont eu pour objectifs de :

- Vérifier les éléments topographiques à notre disposition ;
- Identifier tous les obstacles à l'écoulement reportés sur les cartes n°2 et 3. La carte n°2 indique les ouvrages hydrauliques. La carte n°3 indique les remblais et talus en champs majeur ;
- Définir les besoins supplémentaires en topographie.



Figure 2 : Vue de l'Huisne au pont d'Arnage

## 2.3 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Dans le cadre de l'étude, 3 types de données ont été collectées :

- Les données surfaciques telles que le MNT lidar ainsi que des semis de point ;
- Des profils en travers qui permettent de connaître précisément la topographie du lit. Les levés lidar ne fonctionnant pas sous l'eau ;
- Des levés d'ouvrages particuliers influençant l'écoulement (pont, seuil, barrage, franchissement routier).

## 2.3.1 LEVE SURFACIQUE

### 2.3.1.1 Levé LIDAR

Ce levé a été fourni par la DDT sur l'ensemble du secteur concerné par l'étude.

Il est constitué d'un ensemble de points espacés régulièrement de 1m. Sa précision en altitude est de 20 cm. Il a été levé en 2013

### 2.3.1.2 Topographie des digues

Le Mans Métropole a fourni les plans de recollement des digues de protection existantes. Ce plan est de précision centimétrique

## 2.3.2 PROFIL EN TRAVERS

### 2.3.2.1 Profils existants

La Sarthe et l'Huisne ayant fait l'objet de nombreuses études, plusieurs campagnes de levé de profil en travers ont été réalisées. La carte n°3 indique les profils collectés.

Les données disponibles ont été compilées dans l'étude de continuité écologique de la Sarthe et de l'Huisne. **118 profils ont été identifiés sur la zone d'étude :**

- 16 profils levés en 1995-1997 (profils DDT72) pour les études préalables aux PPRi dans la zone urbaine Mancelle (étude n°3). Les profils sont essentiellement levés sur la Sarthe ;
- 13 profils levés pour la Communauté Urbaine du Mans (profils CUM) sur un secteur similaire au profil de la DDT72. Ils ont été levés durant l'année 2000 ;
- 31 profils levés pour le SMPEI (profils SMPEI) en 2003 pour l'étude n°4. Ils ne concernent que l'Huisne amont ;
- 10 profils levés pour l'Etablissement Public Loire (profils EPALA) en 2006 pour l'étude de Cohérence. Ces profils concernent l'ensemble de la zone d'étude mais la distance entre profil est grande, ce qui limite la représentativité de ces profils ;
- 48 profils levés pour le CG 72 (profil CG72) dans le cadre de l'étude n°11. Ces levés concernent la Sarthe amont et l'aval de Huisne.

Dans l'étude n°11 (continuité écologique sur la Sarthe et l'Huisne), il a été réalisé une analyse de l'évolution morphologique de la Sarthe et de l'Huisne. La conclusion de cette analyse est **une très faible évolution morphologique naturelle de la Sarthe**. Cette conclusion est détaillée en annexe 2 et des comparaisons de profils en travers levés en 1995 et 2012 sont présentées. **Les profils levés depuis 1995 sont encore représentatifs de la situation actuelle et peuvent donc être réutilisés pour cette étude**. Néanmoins dans le secteur de la Sarthe amont, où les profils levés en 1995 sont très proches des profils levés en 2012, les profils de 1995 ne seront pas retenus pour le modèle. Ainsi 7 profils de 1995 ne sont pas réutilisés.

Le tableau ci-dessous indique le nombre de profils par tronçon. On constate des fortes disparités de distance entre profils :

- Sur la partie amont de l'A11, la distance moyenne entre profil est de 1680 m. Cette zone étant située hors d'analyse (elle ne sert que pour la modélisation hydraulique), les données topographiques sont suffisantes ;
- Entre l'A11 et Chaoué, le nombre de profil est très important et suffisant pour l'étude hydraulique à réaliser à l'exception de l'aval immédiat de l'A11.

- En aval de Chaoué sur la Sarthe, le nombre de profils est très faible ce qui implique la réalisation de nouveaux levés ;
- Sur l'Huisne, l'aval de la RD 313 est très bien détaillé. Sur l'amont, le pas entre profil est de 1050 m ce qui est juste pour les zones à enjeux. Pour les zones naturelles, la résolution est suffisante.

**Les quantités de profil indiquées dans le tableau ne tiennent pas compte des ouvrages (ponts, passerelles et barrages) pour lesquels un profil en travers est systématiquement réalisé.**

Tronçon	Linéaire (km)	Nombre de profils	Distance moyenne entre profil (m)
Sarthe / Montreuil-A11	6.7	4	1 680 m
Sarthe / A11-Confluence Sarthe Huisne	10	43	230 m
Sarthe / Confluence Sarthe Huisne-Chaoué	5	7	710 m
Sarthe / Chaoué-Spay	8.8	3	2 930 m
Huisne / Pécardière- Pont Cugnot	4.1	37	1 100 m
Huisne / pont Cugnot-Confluence Sarthe	25.1	24	1 050 m

**Tableau 2 : Nombre de profil par tronçon**

### 2.3.2.2 Profils levés dans le cadre de cette étude

**Dans le cadre de cette étude, 13 profils en travers supplémentaires ont été levés.** Ces profils seront levés essentiellement au droit des zones à enjeux dans les tronçons avec peu de profils. Les 13 profils sont situés :

- Profil A, sur la Sarthe en aval immédiat de l'A11, pour pallier le manque de profil dans ce secteur ;
- Profil B, sur la Sarthe en aval immédiat de la confluence Sarthe/Huisne du fait d'un rétrécissement local de la rivière ;
- Profil C, en amont du barrage de Saint Georges pour mieux représenter les fonds dans ce secteur, mais aussi pour disposer d'un profil récent dans ce secteur où les profils datent tous de 1995 ;
- Profils D, E, F, G, H et I sur la Sarthe en amont immédiat de Chaoué et en aval pour réduire l'intervalle entre chaque profil dans ce secteur ;
- Profils J, K, L et M, sur l'Huisne au droit d'Yvré L'Evêque et du Logis de L'Huisne pour compenser le manque de profil récent dans ces secteurs à enjeux.



Tronçon	Linéaire (km)	Nombre de profils	Distance moyenne entre profil (m)
Sarthe / Montreuil-A11	6.7	4	1 680 m
Sarthe / A11-Confluence Sarthe Huisne	10	44	230 m
Sarthe / Confluence Sarthe Huisne-Chaoué	5	10	500 m
Sarthe / Chaoué-Spay	8.8	9	980 m
Huisne / Pécardière- Pont Cugnot	4.1	41	1 000 m
Huisne / pont Cugnot-Confluence Sarthe	25.1	24	1 050 m

**Tableau 3 : Nombre de profil par tronçon après réalisation de levés complémentaires**

Avec ces nouveaux levés les distances entre profils sont réduites dans les secteurs les moins représentés. De plus, un effort particulier a été mis sur les zones à enjeux pour avoir un calcul hydraulique le plus précis possible.

Les niveaux de fond relevé au droit de 11 nouveaux profils sont cohérents avec les levés existants confirmant la faible évolution morphologique de la Sarthe et l'Huisne. Par contre au droit des profils L et M, il est observé par rapport au profil à proximité (datant de 2003) une réhausse du fond du lit de 65 cm environ. Les anciens profils ne seront donc pas utilisés dans ce secteur.

### 2.3.3 OUVRAGES HYDRAULIQUES

Pour identifier les ouvrages hydrauliques sur la Sarthe et l'Huisne, il a été utilisé l'enveloppe de la zone inondable exceptionnelle du TRI. Il a été sélectionné 75 ouvrages :

- 25 ponts ou barrages sur le lit mineur de la Sarthe ;
- 29 ponts ou barrages sur le lit mineur de l'Huisne ;
- 21 ouvrages annexes. Ces ouvrages annexes sont généralement des ouvertures dans les divers remblais routiers ou ferrés traversant la vallée de la Sarthe et de l'Huisne ;

Les ouvrages sont listés en annexe n°3 et localisés sur la carte n°1. La majorité de ces ouvrages ont déjà fait l'objet d'un levé topographique lors des études précédentes. Le tableau en annexe n°3 indique l'origine de chaque donnée.

Le tableau ci-dessous indique chaque type d'ouvrage identifié. Sur la Sarthe, 6 ouvrages manquant ont fait l'objet d'un levé en 2016 (4 passerelles et 2 ponts). Sur l'Huisne, 2 ouvrages ont été levés en 2016 (un pont et une passerelle).

Sur les ouvrages annexes, il n'a pas été collecté de levés terrestres précis. Néanmoins, le levé Lidar permet d'avoir une estimation de la largeur de ces ouvrages (précision de 1 m en plan et 0.2 m en z). Cette précision semble suffisante pour 4 ouvrages mineurs. Par contre 17 ouvrages plus importants (en impact potentiel sur la ligne d'eau) ont fait l'objet d'un levé.

Type d'ouvrage	Nombre	Données topographiques récupérées	Levé en 2016
Pont/ passerelle sur la Sarthe	19	14	5
Barrage sur la Sarthe	6	6	0
Pont /passerelle sur l'Huisne	20	19	1
Barrage sur L'Huisne	9	9	0
Ouvrages annexes	21	-	17

Tableau 4 : Ouvrages à lever

## 2.4 ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES

### 2.4.1 CRUES ETUDIEES

Les tableaux ci-dessous extraits de l'étude de cohérence indiquent les principales crues mesurées sur les deux échelles limnimétriques et sur les stations de débits situées dans la zone d'étude.

Les stations de mesure de débit sont récentes (1973 à Neuville, 1983 à la Pécardière sur l'Huisne et 1953 à Spay). L'analyse historique est donc plus limitée que sur les échelles limnimétriques.

Les crues de 1930, 1966 (janvier et novembre) ainsi que celle de 1995 semblent être les plus fortes crues mesurées :

- Sur la Sarthe amont, c'est la crue de 1995 qui est le maximum mesuré ;
- Sur l'Huisne, c'est la crue de 1930 qui est le maximum mesuré ;
- Sur la Sarthe aval la crue 1966 est légèrement plus importante que la crue de 1995 (de 9 m<sup>3</sup>/s uniquement).

Les crues de 1999 et 2001 qui viennent ensuite dans l'ordre d'importance des crues sont très proches (différence de débit de l'ordre de 11 m<sup>3</sup>/s quelque soit la station).

**Les tableaux montrent que les pics de crues de la Sarthe et de l'Huisne surviennent aux mêmes périodes. Par contre, les différences dans l'importance des crues mettent en évidence un comportement distinct : Une crue forte de la Sarthe ne s'accompagne pas forcément d'une crue forte de l'Huisne.**

Les crues de la Sarthe aval sont liées à l'importance cumulée de la Sarthe amont et de l'Huisne.

Crue	Hauteur maximum mesurée (m)	
	Sarthe aux Planches	Huisne à Pontlieue
Novembre 1930	3.20	3.20
Janvier 1966	2.96	3.10
Octobre 1966	3.12	2.86
Novembre 1974	1.7	
Février 1979	2.20	1.67
Décembre 1982	2.10	1.05
Avril 1983	2.20	1.20
Avril 1985	2.20	1.60
Février 1990	1.30	
Janvier 1993	2.02	1.10
Janvier 1995	3.21	2.75
Février 1996	1.95	0
Février 1997	2.15	0.98
Décembre 1999	3.07	2.12
Janvier 2001	3.00	1.90
Janvier 2004	2.27	1.29

**Tableau 5 : Principales crues mesurées aux échelles du Mans**

Crue	Sarthe à Neuville (m <sup>3</sup> /s)		Sarthe à Spay (m <sup>3</sup> /s)		Huisne à Pécardière (m <sup>3</sup> /s)	
	Debit inst	Période de retour	Débit inst	Période de retour	Debit inst	Période de retour
Janvier 1966	Pas de mesures		471	<50	Pas de mesures	
Novembre 1974	152	<2	163	< 2		
Février 1978	208	> 2	275	< 5		
Février 1979	226	< 5	331	<10		
Décembre 1982	235	< 5	310	>5		
Avril 1985	214	> 2	336	< 10	95.1	< 5
Février 1990	Station hors service		232	> 2	54.9	< 2
Janvier 1993	216	> 2	302	5	102	< 5
Janvier 1995	314	< 20	462	< 50	178	70
Février 1996	224	< 5	269	< 5	47.9	< 2
Fevrier 1997	232	< 5	302	5	91.4	< 5
Décembre 1998	220	< 5	272	< 5	74	2
Décembre 1999	303	> 10	431	> 20	136	> 10
Janvier 2001	312	< 20	420	> 50	126	10
Mars 2002	182	2	230	> 5	94.5	< 10
Janvier 2004	224	< 5	328	> 5	108	5

Tableau 6 : Principales crues depuis 1966 (source : étude de Cohérence)

Les paragraphes ci-après présentent brièvement les trois crues de 1995,1999 et 2001.

## 2.4.2 CRUES DE 1930 ET 1966

Les crues les plus anciennes sur la Sarthe sont très peu documentées dans le secteur du Mans. Les seules informations disponibles sont les relevés des échelles limnimétriques et quelques repères de crue.

De plus, la Sarthe et l'Huisne ont fait l'objet d'importants aménagements depuis ces crues avec des aménagements de seuils des berges et des curages. Ces crues sont donc probablement peu représentatives de la situation actuelle.

Pour ces deux raisons les crues de 1930 et 1966 ne sont pas analysées dans le cadre de cette étude.

Les zones inondées en octobre et novembre 1966 relevées suite à la crue sont indiquées sur les cartes n°1. Ces relevés sont limités à la commune du Mans

## 2.4.3 CRUE DE JANVIER 1995

C'est la plus forte crue mesurée sur la Sarthe amont et la troisième sur L'Huisne. Cette crue est caractérisée par un pic relativement long (8 jours de crues).

Le maximum de la crue de l'Huisne est mesuré 7 h après le maximum de la station de la Sarthe amont (Neuville). Le débit maximum à Spay est atteint 36 h après le maximum à Neuville.

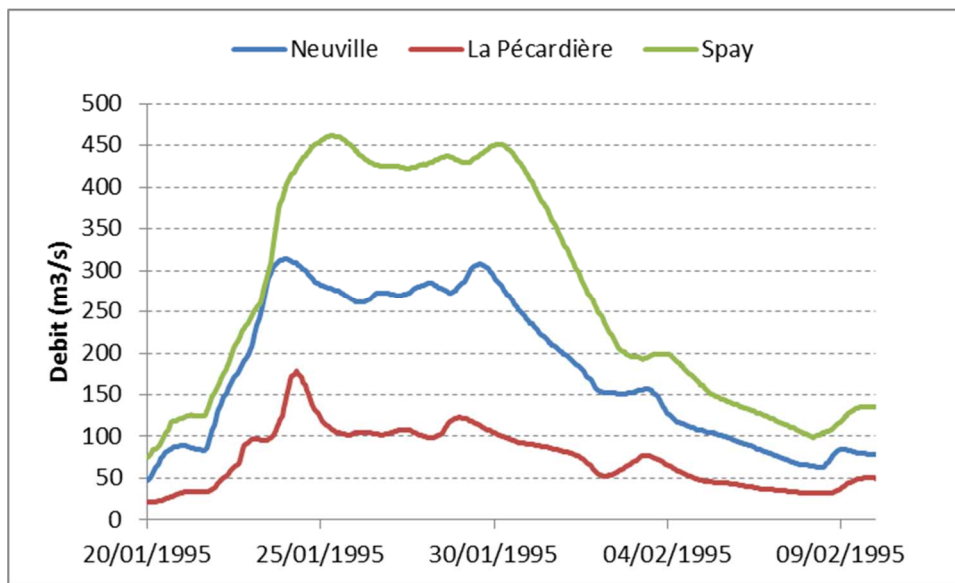


Figure 3 : Hydrogrammes mesurés pour la crue de 1995

Les zones inondées relevées suite à la crue sont indiquées sur les cartes n°1 et n°3. Ces relevés sont limités sur la Sarthe aval à l'amont de Spay (pont de la RD 323) et à la limite communale d'Yvré l'Évêque sur l'Huisne.

Ces relevés montrent :

- Des débordements importants sur la **commune de Saint Pavace** avec de nombreuses maisons concernées. La rive droite en face de Saint Pavace n'est pas inondée à l'exception du hameau de la Bourdonnière (dans la zone de confluence avec le ruisseau de l'Antonnière) ;
- **Au droit de la commune de Coulaines**, les débordements sont aussi localisés essentiellement en rive gauche sauf au droit du barrage d'Enfer où l'eau déborde en rive droite en touchant quelques habitations ;
- **De Coulaines jusqu'à la voie ferrée** les débordements sont limités par la chenalisation du lit de la Sarthe ;
- **En aval de la voie ferrée jusqu'à la RD 323**, les débordements touchent les quartiers Australie, Heuzé et la zone d'activité au sud du Mans ;
- **Sur la commune d'Arnage**, les quartiers situés entre la Sarthe et la RD 147s ont été partiellement inondés
- Des débordements importants sur **l'Huisne entre Pontlieue et la Sarthe. La commune Yvré l'Evêque** semble avoir été peu touchée avec uniquement quelques habitations inondées au pont de pierre.

#### 2.4.4 CRUE DE DECEMBRE 1999

La crue de 1999 est comparativement plus courte que la crue de 1995 avec une pointe de crue sur 3 jours uniquement.

Le pic de crue de l'Huisne survient 15 h avant celui de la Sarthe amont. La Sarthe aval (Spay) atteint le maximum 10 heures après Neuville-sur-Sarthe.

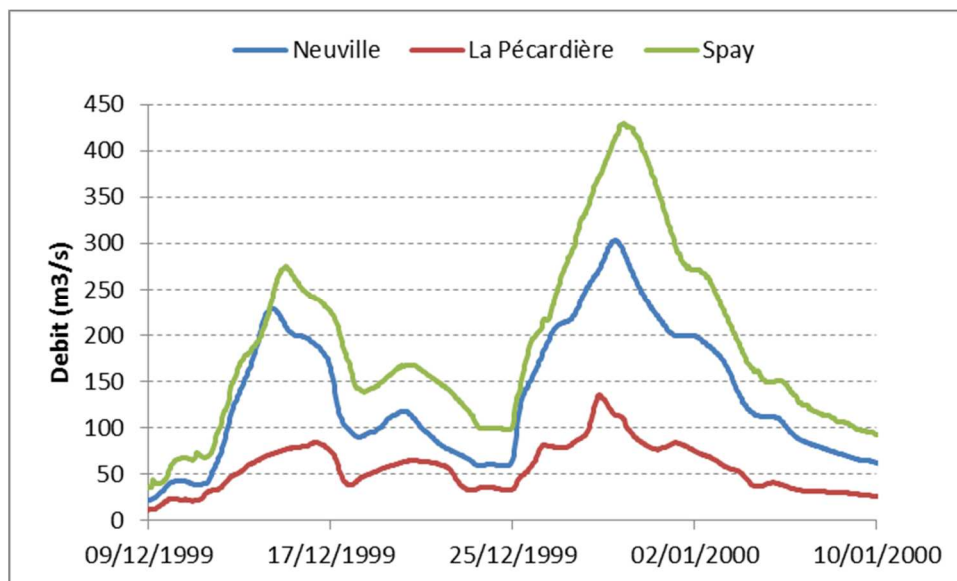


Figure 4 : Hydrogrammes mesurés pour la crue de 1999

Les zones inondées relevées suite à la crue sont indiquées sur les cartes n°1 et n°4. Ces relevés sont limités à la commune du Mans.

### 2.4.5 CRUE DE JANVIER 2001

La crue de 2001 se caractérise par une succession de pics de crues durant le mois de décembre avant un pic plus important début Janvier. Les pics de crues surviennent concomitamment (intervalle de 6 heures) sur les trois stations encadrant la zone d'étude.

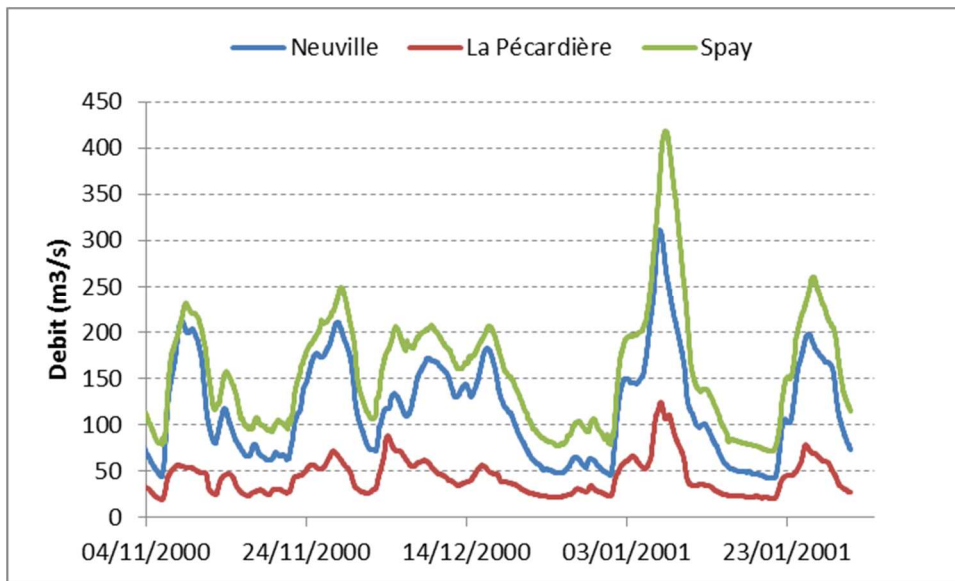


Figure 5 : Hydrogrammes mesurés pour la crue de 2001

Les zones inondées en 2001 relevées suite à la crue sont indiquées sur les cartes n°1 et n°3. Ces relevés sont limités aux communes du Mans, Allonnes, Arnage, Coulaines et Yvré l'Evêque.

## 2.5 LAISSE DE CRUES

**Dans ce paragraphe, les données présentées sont des laisses de crues observées.** Il n'est pas réalisé une identification des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) car :

- La crue la plus importante est difficile à identifier (a priori 1995 sur la Sarthe amont et 1930 sur le reste de la zone d'étude) et les repères de crue sont très peu nombreux pour les crues de 1930 et 1966.
- L'objectif est surtout d'identifier des données de calages pour les crues récentes (1995, 1999, 2001)

### 2.5.1 REPERES PONCTUELS

Le tableau ci-dessous présente, pour chaque crue historique, les laisses de crues collectées sur la zone d'étude. Ces laisses de crues proviennent de plusieurs sources qu'il a été délicat d'identifier car les niveaux sont repris dans plusieurs études. Parmi ces études il y a essentiellement :

- Les PPRi existants qui comprennent plusieurs repères ayant servi au calage des modèles. Pour le PPRi de Saint Pavace, les cotes sont localisées précisément. Pour le PPRi du Mans, la position n'est connue que via un repère kilométrique ;
- L'étude de Cohérence (étude n°8) qui regroupe la plus large base de données. Mais seule une partie des niveaux sont localisés précisément (identifiant H et S complétés d'un chiffre). Pour les autres repères soit ils sont localisés précisément dans une autre étude, soit ils sont positionnés au centre du lit mineur au droit du point kilométrique indiqué dans l'étude de Cohérence ;

- Les relevés des zones inondées en 1995, 1999 et 2001 fournis par la communauté de commune du Mans ;
- De levés réalisés en 2016 dans le secteur de la ZI sud du Mans suite à une enquête de la DDT.

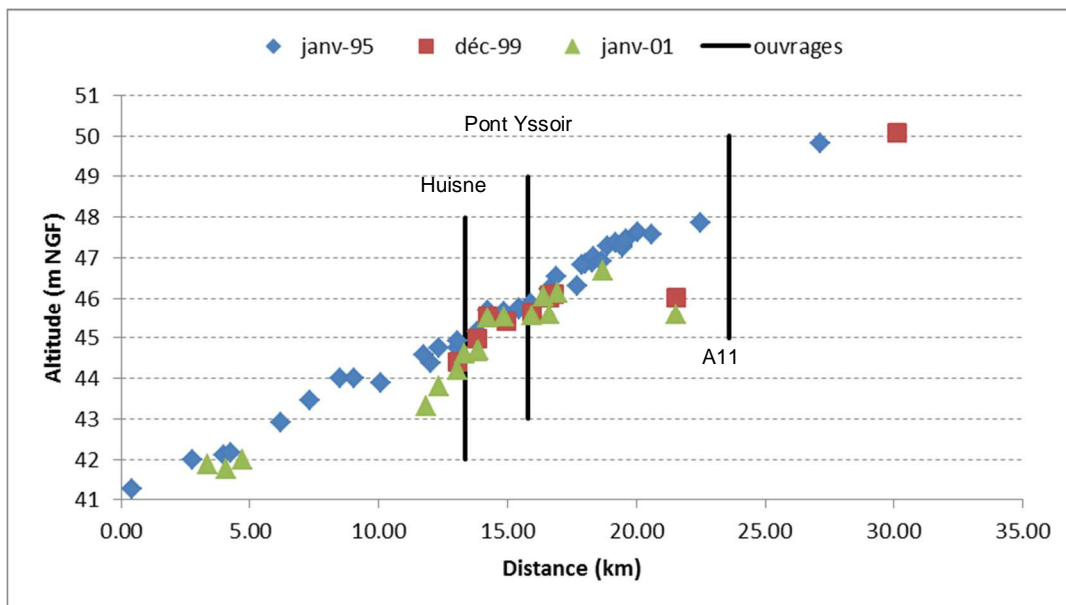
L'annexe n°4 contient la liste des repères identifiés ainsi que leurs noms. Le tableau ci-après indique le nombre de laisses de crues pour chaque crue historique. La crue de 1995 est la plus documentée. Pour la crue de 1966, pourtant de même importance que 1995, peu de données sont disponibles.

Evènement	Nombre de laisse de crue
1930	1
1966	4
1995	70
1999	15
2001	21

Tableau 7 : Nombre de laisses de crue identifiée

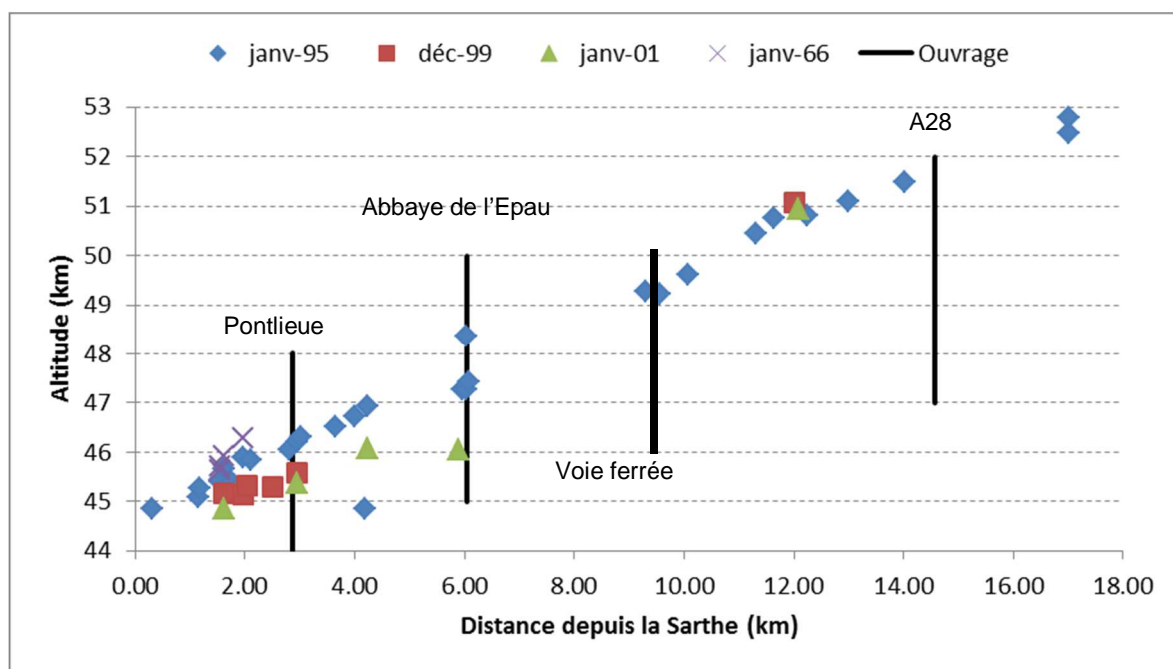
Les deux graphiques ci-après indiquent les cotes relevées par crue sur le profil en long :

- Pour la Sarthe les niveaux relevés (40 repères pour 1995) sont essentiellement situés entre Saint-Pavace et la confluence avec l'Huisne. Il n'y a peu de PHE dans le secteur d'Allonnes et de la zone industrielle du Mans ;
- Pour l'Huisne (30 repères pour 1995), la répartition des niveaux relevés est homogène sur le linéaire d'étude sauf entre le pont de l'abbaye de l'Epau et la voie ferrée où il n'y a pas de repères.





**Figure 6 : Profil en long des laisses de crues sur la Sarthe**



**Figure 7 : Profil en long des laisses de crue sur l'Huisne**

De plus, il a été fourni des « projections de niveau de crues sur les élévations amont des ponts de la Sarthe » réalisées par la Communauté urbaine du Mans. Il ne nous a pas été communiqué l'origine de ces données (mesures ou modèle). Elles ne sont donc pas intégrées à la liste des PHE. Néanmoins le tableau ci-après indique les données fournies.

Pont	1966	1995	1999
pont Yssoir	46.50	46.10	45.96
Pont Perrin	45.70	45.97	45.8
Gambetta	45.60	45.87	45.71
pont de fer	45.50	45.76	45.6
Sarthe au pont des tabacs ou d'Eichtal	45.00	45.28	45.15
Canal des planches au pont des tabacs	45.20	45.70	45.6

**Tableau 8 : Relevé de la CUM au pont du Mans**

### 2.5.2 RELEVES COMPLEMENTAIRES

En compléments des repères de crues qui indiquent le maximum atteint, il a été collecté des limnigrammes auprès :

- Du SPC avec les stations de Pontlieue (1995, 1999 et 2001) et de l'île aux Planches (2001) ;
- De la DDT avec des levés ponctuels sur les ponts de l'Huisne lors de la crue de janvier 1995.

Les trois graphiques ci-après présentent les mesures réalisées par le SPC. Ces mesures sont suffisamment régulières pour bien représenter les pics de crues et donc les niveaux maximum atteint (qui sont listés dans les repères de crue).

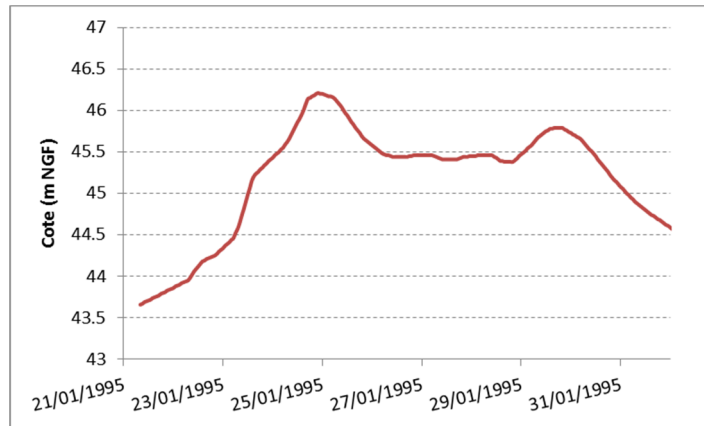


Figure 8 : Limnigramme à Pontlieue sur l'Huisne en Janvier 1995

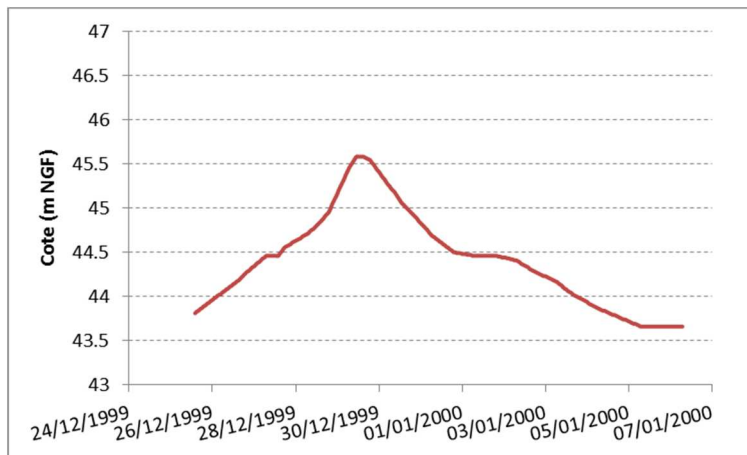


Figure 9 : Limnigramme à Pontlieue sur l'Huisne en décembre 1999

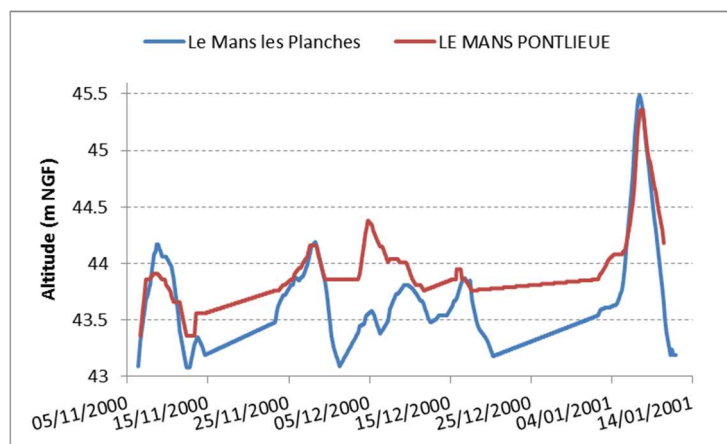


Figure 10 : Limnigramme mesurés en janvier 2001

Le graphique ci-après indique les niveaux ponctuels relevés par la CUM sur 8 points de mesures. Ces mesures effectuées 2 à 3 fois par jour ne sont pas assez fines pour obtenir précisément le maximum atteint mais permettent d'avoir une vision de la chronologie de la crue de 1995.

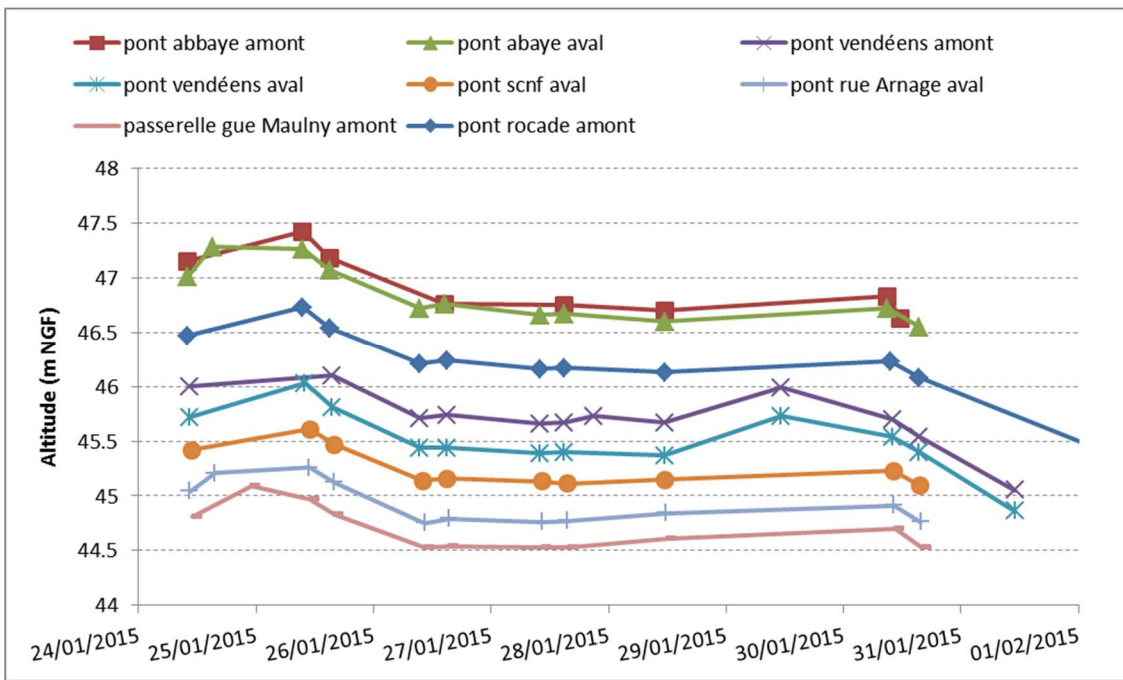


Figure 11 : Limnigramme de la CUM sur l’Huisne pour la crue de 1995

### 2.5.3 PRE-ANALYSE DES REPERES DE CRUE PONCTUELS

L’objectif de ce paragraphe est de réaliser une première analyse comparative des niveaux relevés. Cette analyse est réalisée dans les secteurs avec un nombre suffisant de point pour permettre une comparaison. L’analyse sera complétée lors du calage du modèle.

La première comparaison est réalisée sur la Sarthe entre la confluence avec l’Huisne et Saint-Pavace (cf. figure ci-après).

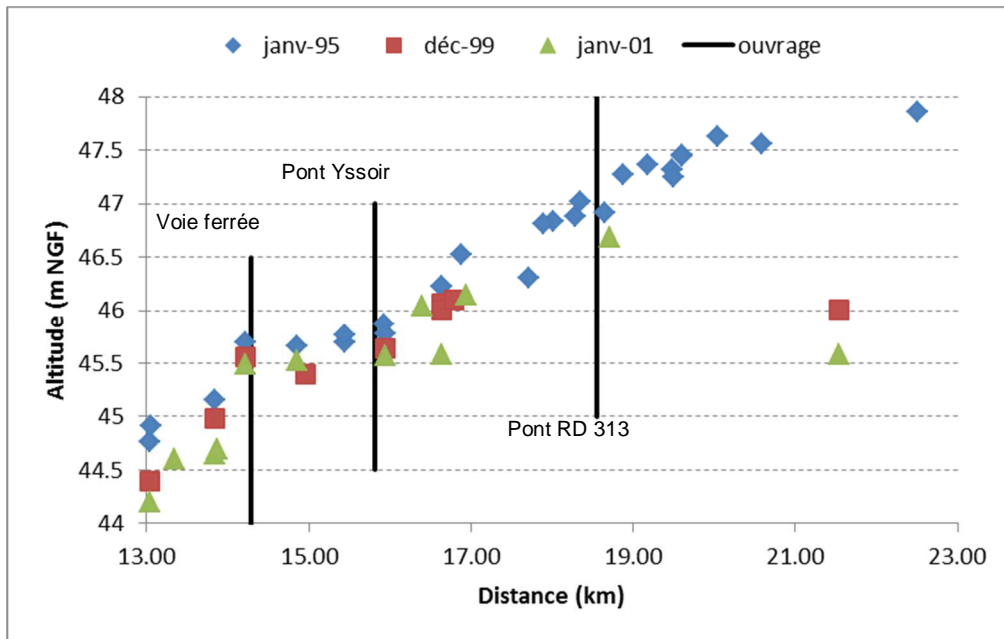


Figure 12 : Niveaux relevés sur la Sarthe

Ce graphique montre :

- L'incohérence d'une laisse de crue (1999 et 2001) au PK 21.5 ;
- Que les crues de 1999,2001 et 1995 présentent des lignes d'eau assez proches ;
- Que les lignes d'eau sur la Sarthe sont influencées par les ponts (voie ferrée et le pont Yssoir) ;
- Une hétérogénéité des laisses de crues entre Coulaines et Saint Pavace (autour de la RD 313).

Le deuxième graphique ci-après présente les niveaux relevés sur l'Huisne. Il indique :

- Que les lignes d'eau sont plus différenciables entre les différentes crues avec par ordre d'importance 1966,1995 1999 et 2001 ;
- L'incohérence d'une laisse de 1995 au niveau du PK 4.2 ;
- L'hétérogénéité des laisses de crue en aval de la voie ferrée
- Un remous hydraulique provoqué par le pont de l'Abbaye de l'Epau (0.70m de remous).

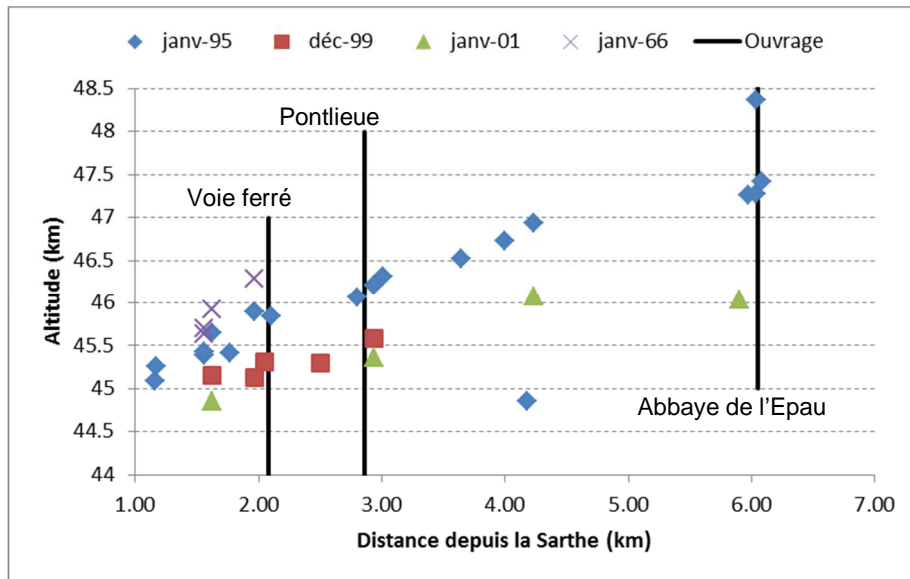


Figure 13 : Niveaux relevés sur L'Huisne

## 3 CARACTERISATION DES BASSINS VERSANTS

### 3.1 BASSINS VERSANTS CONCERNES PAR L'ETUDE

Le tableau ci-après détaille les surfaces de bassin versant sur la zone d'étude.

Bassin versant	Surface (km <sup>2</sup> )
La Sarthe à Montreuil	2 716
La Sarthe avant la confluence avec l'Huisne	2 885
L'Huisne à la Pécardière	1 890
L'Huisne au Mans	2 375
La Sarthe en aval de la confluence avec l'Huisne	5 260
La Sarthe à Spay	5 388

**Tableau 9 : Surface de bassin versant**

**Sur la Sarthe amont**, le bassin versant intermédiaire représente 169 km<sup>2</sup> soit 6% de la surface du bassin versant. L'affluent principal est le ruisseau de l'Antonnière avec 108 km<sup>2</sup> de bassin versant.

**Sur l'Huisne**, le bassin versant intermédiaire représente 485 km<sup>2</sup> soit 26% de la surface du bassin versant. L'affluent principal sur ce tronçon est le ruisseau de la Vive Parence avec 189 km<sup>2</sup> drainés. Le Narais est le second affluent du secteur avec 183 km<sup>2</sup>. Ces deux affluents sont équipés de stations de mesure de débit.

**Sur la Sarthe aval**, le bassin versant intermédiaire représente 128 km<sup>2</sup> soit 2% de la surface du bassin versant. L'affluent principal sur ce tronçon est le ruisseau de Roule Crotte avec 76 km<sup>2</sup> drainés.

## 3.2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

### 3.2.1 TRACE ET PENTE

**La Sarthe** prend sa source sur la commune de Soligny la Trappe à une altitude de 257 m NGF. A Spay, à environ 167 km de la Source, la Sarthe est à une altitude de 41 m NGF. La pente moyenne de la Sarthe en amont de Spay est donc de l'ordre de 0.075%.

**L'Huisne** prend sa source sur la commune de la Perrière à une altitude de 200 m. Elle conflue avec la Sarthe à 165 km en aval à une altitude de 42 m NGF. La pente moyenne du profil en long est de 0.095%.

### 3.2.2 GEOLOGIE

Le bassin versant de la Sarthe (y compris l'Huisne) peut être séparé en 3 entités géologiques :

- L'Ouest marqué par la présence du massif armoricain et les Alpes Mancelles. Les sols sont composés de roches métamorphiques (schistes) ;
- Le Nord composé par les collines du Perche composé de sols argileux et marno-calcaires relativement imperméables ;
- l'Est et le Sud reposant sur des terrains sédimentaires (sables et craies) plus perméables.

### 3.3 PLUVIOMETRIE

Dans l'étude de Cohérence, une synthèse de la pluviométrie moyenne annuelle a été réalisée sur l'ensemble du bassin de la Maine. Cette carte met en évidence un gradient pluviométrique entre le Mans (680 mm annuel) et les têtes de bassin versant (jusqu'à 850 mm annuel).

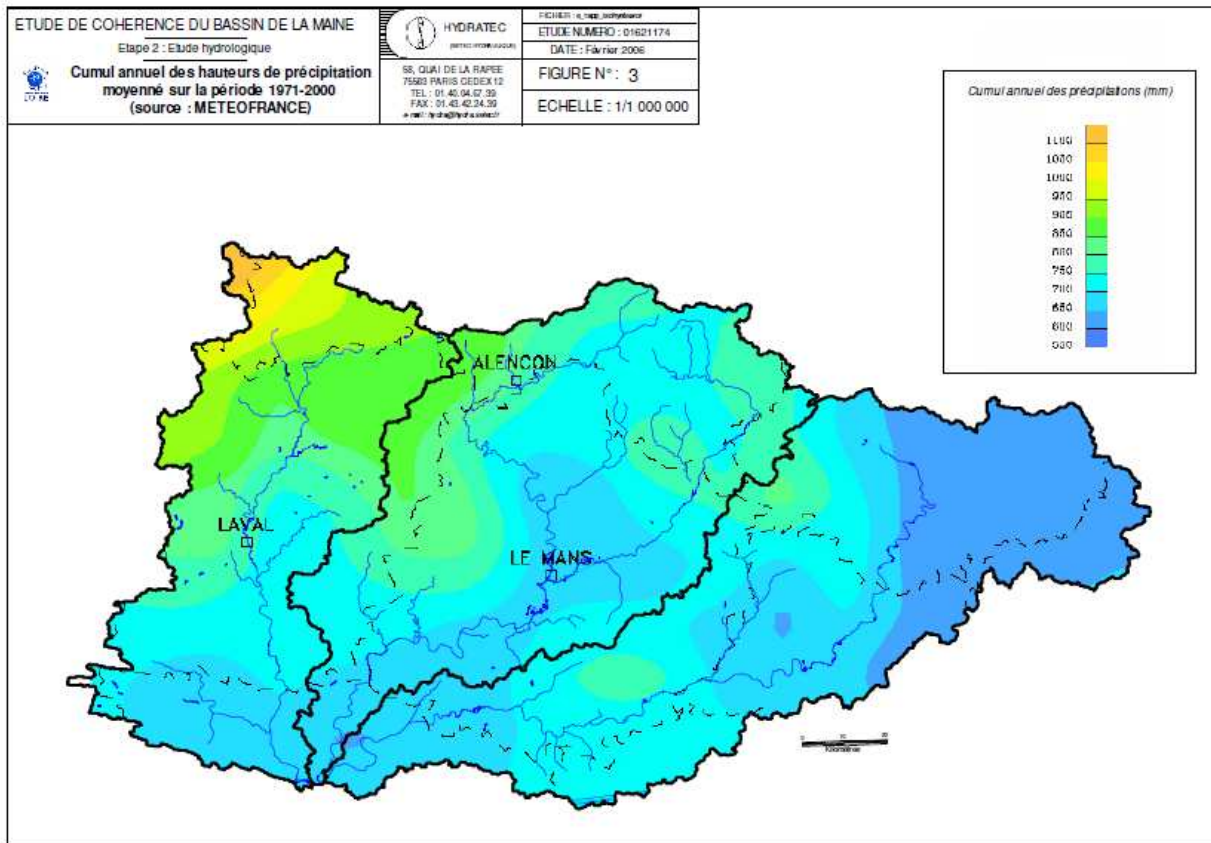


Figure 14 : Pluviométrie annuelle du bassin de la Maine (source : étude de Cohérence)

## 4 ANALYSE HYDROLOGIQUE DE LA SARTHE

### 4.1 SYNTHÈSE HYDROLOGIQUE DES ÉTUDES PRÉCÉDENTES

#### 4.1.1 ÉTUDE N°0 : ÉTUDE DES CRISES HYDROLOGIQUES DU BASSIN DE LA MAINE

Le tableau ci-dessous indique les débits statistiques retenus dans cette étude. Les cases en vert indiquent les débits obtenus par la méthode du gradex. Les autres débits sont obtenus par ajustement statistique des données mesurées aux stations hydrométriques. Le point pivot retenu pour la méthode du gradex est le débit décennal.

Période de retour	Sarthe à Montreuil (m <sup>3</sup> /s)	Huisne à la Pécardière (m <sup>3</sup> /s)	La vive Parente à Yvré l'Évêque (m <sup>3</sup> /s)	Le Narais à (m <sup>3</sup> /s)	Sarthe à Spay (m <sup>3</sup> /s)
10 ans	250	125	12	6	330
20 ans	285	145	13	7	385
50 ans	335	170	15	8	450
100 ans	410	200	21	9	540
200 ans	480	280	23	10	680

**Tableau 10 : Débits retenus dans l'étude n°0**

Il est aussi analysé dans l'étude, les concomitances Sarthe-Huisne. Il est conclu que les deux bassins versant sont globalement concomitants (décalage inférieur à 8h).

Crue	Sarthe au Mans	Huisne au Mans
nov-84	24/11 à 21h	25/11 à 02h
avr-85	09/04 à 21h	09/04 à 08h
jan-88 (1)	08/01 à 21h	07/01 à 02h
jan-88 (2)	26/01 à 21h	27/01 à 02h
fev-88 (1)	03/02 à 21h	04/02 à 02h
fev-88 (2)	13/02 à 21h	14/02 à 02h
jan-90	27/01 à 03h	26/01 à 22h
fév-90	16/02 à 09h	18/02 à 02h
jan-93	14/01 à 05h	14/01 à 00h
jan-94	08/01 à 09h	07/01 à 20h
jan-95 (1)	24/01 à 09h	24/01 à 20h
jan-95 (2)	29/01 à 21h	29/01 à 14h
fév-96	28/02 à 05h	27/02 à 08h
fév-97	27/02 à 15h	27/02 à 17h

**Tableau 11 : Analyse concomitance Huisne-Sarthe (source étude n°0)**



#### 4.1.2 ETUDE N°2 : ETUDE HYDRAULIQUE DES PPRI

La méthode de calcul des débits est identique pour les 5 PPRI.

Les débits de crues sont calculés en deux étapes :

- La première étape consiste à calculer les débits de crue au droit des stations des mesures de Montreuil, la Pécardière et Spay ;
- La seconde étape consiste à transposer ces résultats au Mans en utilisant les surfaces de bassin versant indiqué dans le tableau ci-après.

Bassin versant	Surface (km <sup>2</sup> )
La Sarthe avant la confluence avec l'Huisne	2 740
L'Huisne au Mans	2 585
La Sarthe en aval de la confluence avec l'Huisne	5 245

**Tableau 12 : Surface de bassin versant dans les études hydrauliques des PPRI**

##### 4.1.2.1 Calcul de débit aux stations

Les débits aux stations sont estimés par un ajustement statistique des maxima mesurés (loi de Gumbel). La période d'observation n'est pas précisée.

Période de retour	Sarthe à Montreuil (m <sup>3</sup> /s)	Huisne à la Pécardière (m <sup>3</sup> /s)	Sarthe à Spay (m <sup>3</sup> /s)
10 ans	280	115	357
100 ans	420	192	500

**Tableau 13 : Débits retenus dans l'étude n°2**

Pour la Pécardière, il est indiqué que la période d'observation est trop faible pour déterminer le débit centennal à partir des mesures. Il est donc fait des calculs supplémentaires à partir :

- De la méthode du Gradex. Il est utilisé un Gradex de pluie de 10.9 mm (sur 8 jours) et un pivot de période de retour de 10 ans. Le débit centennal obtenu est de 192 m<sup>3</sup>/s ;
- L'application d'un rapport Q100/Q10 issu des stations sur la Sarthe. Le débit centennal obtenu est de 172 m<sup>3</sup>/s.

Le débit centennal retenu pour la Pécardière est de 192 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.1.2.2 Calcul de débit au Mans

Les débits calculés aux stations sont transposés au Mans à l'aide la formule de Myer. Les débits centennaux retenus sont indiqués dans le tableau ci-après.

Pour la crue de 1995, les débits suivants sont considérés :

- L'Huisne : 224 m<sup>3</sup>/s
- La Sarthe amont : 330 m<sup>3</sup>/s
- La Sarthe aval : 462 m<sup>3</sup>/s

Etude	Q100 aux stations (m <sup>3</sup> /s)			Q100 au Mans (m <sup>3</sup> /s)		
	Montreuil	Pécardière	Spay	Sarthe amont	Huisne	Sarthe aval
PPRi de la Sarthe	420	192	500	423	242	500

Tableau 14 : Débits retenus dans l'étude n°2

#### 4.1.3 ETUDE N°3 : ELABORATION DE LA STRATEGIE DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION

Il est repris dans cette étude les débits calculés dans l'étude n°2.

#### 4.1.4 ETUDE N°5 : ETUDE DE MODERNISATION DES BARRAGES

Dans cette étude, les débits de la Sarthe et de l'Huisne sont recalculés à l'aide d'une méthode similaire à l'étude n°3 à savoir :

- une première étape de calcul de débit (et d'hydrogramme) aux stations de mesure de débit ;
- une seconde étape de transfert des débits calculés (et des hydrogrammes) au point de calcul situé en aval

##### 4.1.4.1 Calcul de débit aux stations

Les débits sont calculés aux stations de Montreuil et de la Pécardière. En préalable à l'estimation des débits, un calcul du temps caractéristique des bassins versants (durée de Socose) est réalisé. La durée de Socose est de 3 jours sur l'Huisne et 3.4 jours sur la Sarthe à Neuville.

Les débits décennaux sont estimés à l'aide d'un ajustement statistique (loi de Gumbel) sur les échantillons disponibles (1983-2001 pour la Pécardière et 1973-2001 pour Neuville).

Les débits supérieurs sont ensuite calculés à l'aide de la méthode du Gradex en utilisant le débit décennal comme pivot. Le gradex des pluies est issu de l'étude n°0. Il est considéré un temps caractéristiques de 3 jours (gradex de 8.68 mm).

Période de retour	Sarthe à Montreuil (m <sup>3</sup> /s)	Huisne à la Pécardière (m <sup>3</sup> /s)
10 ans	274	131
20 ans	331	161
50 ans	387	202
100 ans	429	233

Tableau 15 : Débits retenus aux stations dans l'étude n°5

Pour cette étude des hydrogrammes de crues sont déterminés à l'aide de la méthode de l'hydrogramme mono-fréquence.

#### 4.1.4.2 Débit au droit des barrages

Les débits et hydrogrammes calculés aux stations sont transposés au droit des barrages à l'aide de la formule de Myer.

Période de retour	Débit au droit des barrages (m <sup>3</sup> /s)				
	Gué de Mauny	Enfer	St Georges	Chaoué	Spay
10 ans	131	274	387	392	416
50 ans	202	387	507	515	587
100 ans	233	429	553	570	651

Tableau 16 : Débits retenus dans l'étude n°5

Pour comparer les résultats de l'étude n°5 avec les autres études il a été retenu :

- Les débits calculés au droit du Gué de Mauny pour les débits caractéristiques de l'Huisne au Mans ;
- Les débits calculés au droit du barrage d'Enfer pour les débits caractéristiques de la Sarthe amont au Mans ;
- Les débits calculés au droit du barrage de Chaoué pour les débits caractéristiques de la Sarthe aval au Mans.

Etude	Q100 aux stations (m <sup>3</sup> /s)			Q100 au Mans (m <sup>3</sup> /s)		
	Montreuil	Pécardière	Spay	Sarthe amont	Huisne	Sarthe aval
Etude n°5	429	233	651	429	233	570

Tableau 17 : Synthèse des débits retenus aux stations dans l'étude n°5

#### 4.1.5 ETUDE N°8 : ETUDE DE COHERENCE

Cette étude est celle présentant l'étude hydrologique la plus fouillée.

Le rapport de phase 2 qui traite de l'hydrologie contient les éléments suivants :

- Une analyse des évènements historiques du bassin versant de la Maine pour y retenir 16 évènements caractéristiques ;
- Une analyse des caractéristiques des bassins versants ;
- Une analyse pluviométrique ;
- Un calcul des débits des crues caractéristiques aux stations ;
- Une analyse des caractéristiques des 16 évènements historiques sélectionnés (volume, vitesse, concomitance) ;
- Etablissement une typologie d'évènement à l'échelle du bassin versant de la Maine.

Le rapport de phase 4 est aussi intéressant car il présente la modélisation hydrologique des affluents. Ce travail est utile pour caractériser les apports intermédiaires entre les stations de mesures.

##### 4.1.5.1 Estimation des débits de crues aux stations de mesures

Pour les périodes de retour inférieures ou égales à 50 ans, il est réalisé une analyse statistique des données mesurées à l'aide d'un ajustement par la loi de Gumbel.

Pour les crues plus rares (période de retour de 100 ans et 200 ans) il est appliqué la méthode du gradex :

Avec pour gradex de pluies

- 8 mm sur 24h (station du Narais) ;
- 10 mm sur 2 jours (station de la Pécardière) ;
- 11 mm sur 4 jours (station de Montreuil, Spay et de la Vive Parence).

Ces gradex de pluies sont issus de l'étude n°0. L'actualisation des données pluviométriques en 2006 a donné des résultats sensiblement équivalents.

La valeur pivot est de 50 ans sur la Sarthe amont, 90 ans sur l'Huisne et 75 ans sur la Sarthe aval

Le tableau ci-dessous indique les débits statistiques retenus et le tableau 19, page suivante, indique les périodes de retours associées aux crues historiques.

Période de retour	Sarthe à Montreuil (m <sup>3</sup> /s)	Huisne à la Pécardière (m <sup>3</sup> /s)	La vive Parence à Yvré l'Evêque (m <sup>3</sup> /s)	Le Narais à St mars la Brière (m <sup>3</sup> /s)	Sarthe à Spay (m <sup>3</sup> /s)
5 ans	250	110	11	6.4	300
10 ans	290	130	13	7.7	360
20 ans	335	140	15	9	415
50 ans	390	170	18	11	480
100 ans	455	205	21	12	560
200 ans	520	295	26	14	700

Tableau 18 : Synthèse des débits statistiques retenus aux stations dans l'étude n°8

Crue	Sarthe à Montreuil (m <sup>3</sup> /s)		Huisne à Pécardière (m <sup>3</sup> /s)		Sarthe à Spay (m <sup>3</sup> /s)	
	Debit	Période de retour	Debit	Période de retour	Debit	Période de retour
Janvier 1966					474	50 ans
Octobre 1966					480	50 ans
Novembre 1974	152	<2 ans			160	< 2 ans
Janvier 1995	314	15 ans	178	60 ans	462	40 ans
Février 1996	224	4 ans	47.9	<2 ans	269	3 ans
Décembre 1994	303	12	136	12 ans	431	20 ans
Janvier 2001	312	14	125	10 ans	430	7 ans

Tableau 19 : Synthèse des débits historiques aux stations dans l'étude n°8

Dans le rapport de phase 4, la simulation de la crue théorique (assimilée à une crue centennale) dans le modèle hydraulique global de la Maine donne des résultats sur les débits centennaux au Mans :

- 469 m<sup>3</sup>/s sur la Sarthe au pont d'Yssoir ;
- 197 m<sup>3</sup>/s sur l'Huisne à Pontlieue ;
- 545 m<sup>3</sup>/s sur la Sarthe en aval immédiat de la confluence.

#### 4.1.6 ETUDE N°9 ET 10 : EDD DE L'AGGLOMERATION MANCELLE

Ces deux études sont regroupées dans les mêmes paragraphes car leurs études hydrologiques sont similaires.

Les investigations hydrologiques sont limitées à une reprise des résultats de l'étude n°0. Les débits aux stations issus de l'étude n°0 sont reportés au droit des projets par une formulation non détaillée.

Les débits retenus sont indiqués ci-dessous.

Etude	Q100 aux stations (m <sup>3</sup> /s)			Q100 au Mans (m <sup>3</sup> /s)		
	Montreuil	Pécardière	Spay	Sarthe amont	Huisne	Sarthe aval
Etude n°9 et n°10	-	-	-	400	240	-

Tableau 20 : Débits retenus dans les études n°9 et 10

#### 4.1.7 ETUDE N°13 : TRI

Pour cette étude, les résultats sont essentiellement extraits de l'étude hydraulique de l'étude de cohérence (étude n°8).

Seul le calcul des débits de période de retour de 1000 ans a fait l'objet d'une analyse spécifique. Ces débits sont issus des quantiles SHYREG qui sont issus d'une base de données nationale produite par l'IRSTEA.

Période de retour	Sarthe à Montreuil (m <sup>3</sup> /s)	Huisne à la Pécardière (m <sup>3</sup> /s)	Sarthe à Spay (m <sup>3</sup> /s)
100 ans	450	200	580 (crue 110 ans)
1000 ans	743	467	1031

Tableau 21 : Débits retenus aux stations dans l'étude n°13

#### 4.1.8 SYNTHESE

Les débits centennaux estimés dans chaque étude sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Etude	Q100 aux stations (m <sup>3</sup> /s)			Q100 au Mans (m <sup>3</sup> /s)		
	Montreuil	Pécardière	Spay	Sarthe amont	Huisne	Sarthe aval
Etude n°0 : Crise Maine	410	200	540	-	-	-
Etude n°2 et n°3 : PPRi	420	192	500	423	242	500
Etude n°5 : barrage	429	233	651	429	233	570
Etude n°8 : Cohérence	455	205	560	469	197	545
Etude n°9 et 10 : digue	-	-	-	400	240	-
Etude n°13 : TRI	450	200	580	-	-	-

**Tableau 22 : Synthèse des débits pris en compte dans les études hydrologiques**

Les estimations de débits varient de – ou + 13% en fonction des études.

Les écarts sont liés principalement à l'application de la méthode du gradex avec des différences sur les paramètres de calcul. Ces différences portent sur :

- **L'ajustement statistique des débits mesurés** servant au calcul du débit pivot. Par exemple, le débit décennal à Neuville est estimé à 250 m<sup>3</sup>/s dans l'étude 1 contre 290 dans l'étude n°8 ;
- **La période de retour pivot** qui varie entre 10 ans et 90 ans en fonction des études ;
- **La durée de pluie considérée** pour la pente du gradex avec un minimum à 3 jours et jusqu'à 8 jours.

## 4.2 ACTUALISATION DES DONNEES AUX STATIONS DE MESURES

### 4.2.1 STATION DE MESURES ETUDIEES

6 stations sont considérées dans cette étude. Sur le bassin versant de 5388 km<sup>2</sup> à Spay, 5034 km<sup>2</sup> sont contrôlés par des stations de mesure de débit.

Bassin versant	Surface (km <sup>2</sup> )
La Sarthe à Montreuil	2 716
L'Huisne à la Pécardière	1 890
Le Narais à Saint Mars la Brière	167
La Vive Parence à Yvré L'évêque	185
La Roule Crotte à Arnage	76
La Sarthe à Spay	5 388

**Tableau 23 : Surface de bassin versant interceptée par les stations**

#### 4.2.2 AJUSTEMENT PAR LA LOI DE GUMBEL A CHAQUE STATION

Pour chaque station de mesure de débit, il a été extrait les débits maximums instantanés mesurés par la banque Hydro. 58 crues sont identifiées à Spay contre seulement 31 sur les stations sur l'Huisne.

Bassin versant	Période d'observation	Nombre d'évènement
La Sarthe à Montreuil	1973-2015	40
L'Huisne à la Pécardière	1984-2015	31
Le Narais à Saint Mars la Brière	1983-2015	32
La Vive Parence à Yvré L'évêque	1984-2015	31
La Roule Crotte à Arnage	1994-2015	21
La Sarthe à Spay	1953-2015	58

**Tableau 24 : Echantillons retenus sur les stations hydrométriques**

Les ajustements à une loi de Gumbel sur chaque station sont présentés en annexe n°6. Les débits statistiques obtenus sont indiqués ci-après.

Sur la Sarthe et l'Huisne, les débits décennaux obtenus sont équivalents aux débits décennaux calculés dans les PPRI actuels. Par contre sur la Sarthe aval, les débits décennaux sont 30 à 50 m<sup>3</sup>/s plus élevés que ceux obtenus dans l'étude de cohérence.



Les débits centennaux calculés sont sur la Sarthe dans les valeurs basses de la gamme de débits utilisés dans les études précédentes. Par contre sur l'Huisne, le débit centennal par ajustement est inférieur aux débits utilisés dans les études précédentes.

Bassin versant	Débits instantanés (ajustement loi de Gumbel)			
	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q30 (m <sup>3</sup> /s)	Q50 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)
La Sarthe à Montreuil	277	342	372	412
L'Huisne à la Pécardière	111	136	148	164
Le Narais à Saint Mars la Brière	6.7	8.5	9.3	10.3
La Vive Parence à Yvré L'évêque	12.6	15.9	17.4	18.3
La Roule Crotte à Arnage	5.5	6.9	7.5	8.3
La Sarthe à Spay	357	440	478	530

Tableau 25 : Débit caractéristique obtenus par ajustement statistiques

**Pour les affluents**, on constate que les débits de la Vive Parence sont deux fois plus importants que les débits du Narais qui a pourtant une surface équivalente. L'analyse détaillée des crues mesurées sur la Vive Parence, met en évidence un fort contrôle aval par l'Huisne (cf. figure ci-après). La station n'est donc pas représentative de l'hydrologie en crue du bassin versant.

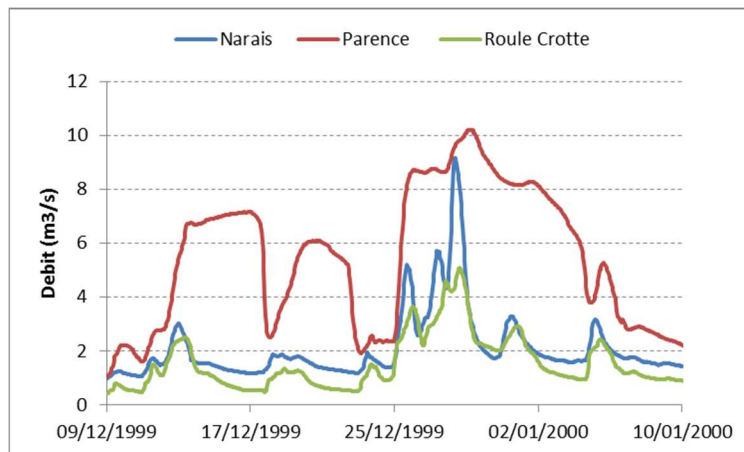


Figure 15 : Débits mesurés sur les affluents en décembre 1999

## 4.3 APPLICATION DE LA METHODE DU GRADEX

### 4.3.1 PRINCIPE DE LA METHODE DU GRADEX

La méthode du Gradex est une méthode probabilistique de débit mise au point par EDF en 1966. Elle servait à l'origine à l'estimation des débits des crues exceptionnelles sur les barrages. Elle est valable pour des bassins versants inférieurs à 10 000 km<sup>2</sup> et des temps de concentration inférieurs à 4 jours (Estimation des valeurs extrêmes de débit par la méthode Shyreg, Y.Aubert).

Cette méthode repose sur trois hypothèses :

- A partir d'un niveau cumulé de pluie (le niveau seuil est un paramètre du gradex) les sols sont saturés et donc l'eau ruisselle intégralement. Cela signifie que le volume écoulé augmente comme le volume précipité ;
- L'évolution statistique des pluies suit une loi de gumbel (ou exponentielle) ;
- L'invariance de la forme des hydrogrammes pour les fortes crues.

Le débit pour une période de retour T est calculé avec la formule suivante :

$$Q_p(T) = Q_p(T_p) + \left( \frac{(u(T) - u(T_p)) \times G_d \times R}{3.6 \times D} \right)$$

$$u(T) = -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Avec :

- $Q_p(T)$ , le débit de pointe pour la période de retour T (m<sup>3</sup>/s)
- $Q_p(T_p)$ , le débit de pointe pour la période de retour pivot ( $T_p$ ), où l'hypothèse de saturation des sols est prise en compte
- D, temps de base du bassin versant (h)
- $G_d$ , gradex des débits moyens sur le temps de base du bassin versant (m<sup>3</sup>/s). Ce gradex est calculé à l'aide du gradex des pluies (en mm) fournies par météo France.
- R, coefficient de forme (rapport entre le débit instantané et le débit moyen sur la durée D)
- S, superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)
- u, la variable réduite de gumbel.
- T, période de retour considéré.

Une variante de la méthode du gradex appelle méthode « esthétique » ou « progressive » a été proposée en 2007 (Lang et Lavabre) pour palier à l'effet de « cassure » du débit au niveau du point pivot (cf. illustration ci-après). Le débit est calculé comme suit :

$$Q_p(T) = Q_p(10ans) + G_d \times \ln \left[ 1 + \frac{G_q \times (T - 10)}{G_d \times 10} \right]$$

Avec

- $G_p$ , gradex de l'ajustement des débit mesurés.

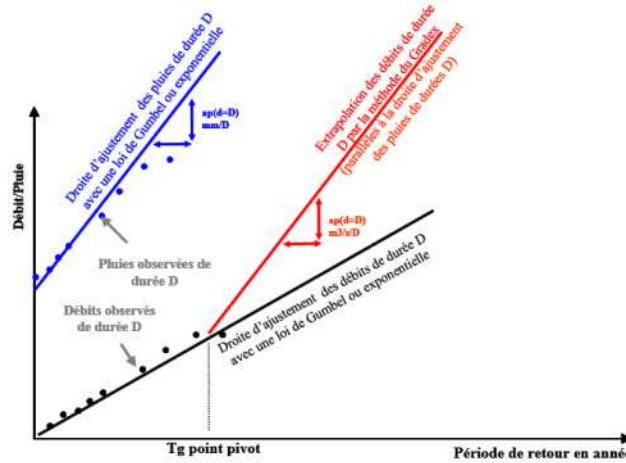


Figure 16 : Présentation de la méthode du Gradex (source : thèse de Y.Aubert)

### 4.3.2 CALCUL DES TEMPS CARACTERISTIQUES

Pour le calcul des temps caractéristiques de chaque bassin versant, il est retenu la formule de Socose ci-dessous :

$$D = 0.69 + 0.32 \times \ln(S) + 2.2 \times \sqrt{\frac{P_a}{P_{j10} \times T_a}}$$

Avec

- D, durée de Socose (h) ;
- S, surface drainée (km<sup>2</sup>) ;
- P<sub>j10</sub>, la pluie journalière décennale ;
- T<sub>a</sub> et P<sub>a</sub> la température et la pluviométrie en moyenne interannuelle (°c et mm)

Il a été retenu pour tous les bassins versants les caractéristiques suivantes : P<sub>j10</sub> = 51 mm, P<sub>a</sub> = 750 mm et T<sub>a</sub> = 10.4 °

Station	Durée Socose (jour)
La Sarthe à Montreuil	3.6
L'Huisne à la Pécardière	3.4
La Sarthe à Spay	4.5

Tableau 26 : durée de Socose

La durée caractéristique des crues est donc de l'ordre de 4 jours pour la Sarthe et l'Huisne et de 1 jour environ sur les affluents.

### 4.3.3 GRADEX DES PLUIES

Dans l'étude de Cohérence, la station du Mans est considérée comme représentative du bassin versant. Le gradex retenu pour cette station est issu de l'étude 1 car l'actualisation en 2006 a montré l'absence d'évolution.

**Le gradex retenu était de 8 mm pour 24h et 11 mm pour 4 jours.**

Les données ont été actualisées pour avoir une période d'observation allant jusqu'en 2012 (1960-2012). Le gradex fourni par météo France pour 4 jours est de 11.27 mm. Cette valeur est très proche de la valeur retenue pour l'étude de cohérence.

### 4.3.4 AJUSTEMENT DES DEBITS SUR LES TEMPS CARACTERISTIQUES

Les durées caractéristiques des bassins versants étant estimées à 4 jours, il est réalisé un ajustement statistique des débits moyens sur 4 jours. Cet ajustement permettra de définir le point pivot pour la méthode du gradex.

Bassin versant	Débits moyen sur 4 jours (ajustement loi de Gumbel)			
	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q30 (m <sup>3</sup> /s)	Q50 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)
La Sarthe à Montreuil	242	302	329	367
L'Huisne à la Pécardière	91	112	122	136
La Sarthe à Spay	301	372	405	442

**Tableau 27 : Débit statistiques sur 4 jours obtenus par ajustement statistiques**

### 4.3.5 CALCUL DU COEFFICIENT DE FORME

Les coefficients de forme sont calculés en comparant les débits décennaux instantanés avec les débits décennaux moyens sur 4 jours calculés précédemment.

Station	Coefficient de forme
La Sarthe à Montreuil	1.14
L'Huisne à la Pécardière	1.22
La Sarthe à Spay	1.19

**Tableau 28 : Coefficient de forme**

### 4.3.6 APPLICATION DE LA METHODE DU GRADEX

Les débits calculés par la méthode du gradex sont indiqués dans le tableau ci-après

Bassin versant	Débit centennal instantané (m3/s)			
	Gumbel	Gradex « classique »		Gradex progressif
		pivot 10 ans	pivot 50 ans	Pivot 10 ans
La Sarthe à Montreuil	412	510	446	463
L'Huisne à la Pécardière	164	284	201	210
La Sarthe à Spay	530	835	622	654

**Tableau 29 : Débit centennal instantané calculé par la méthode du gradex**

## 4.4 DONNEES SHYREG

### 4.4.1 PRINCIPE DE LA METHODE SHYREG

La méthode SHYREG est une méthode pour estimer les débits de pointe sur des bassins versants de taille entre 2 et 10 000 km<sup>2</sup> sur l'ensemble du territoire français.

La méthode associe :

- Un générateur stochastique de pluie qui génère des chroniques de pluie réalistes extrêmement longues (100 000 ans) à partir de pluie mesurées sur de courte période. Le générateur est appliqué sur chaque km<sup>2</sup> du territoire français ;
- Un modèle pluie débit (modèle GR) qui transforme les pluies issues du générateur stochastique en débit.

Les sorties de cette méthode sont les débits de période de retour de 2 ans à 10 000 ans sur les stations hydrométriques.

### 4.4.2 DONNEES FOURNIES

Les débits de pointes pour les périodes de retour de 10 ans à 1000 ans sont indiqués ci-après sur la Sarthe à Ysoir, Pontlieue, Spay et l'Huisne à la Pécardière.

Bassin versant	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q50 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Q1000 (m <sup>3</sup> /s)
La Sarthe au Pont d'Yssoir	251	378	443	743
L'Huisne à la Pécardière	136	207	243	407
L'Huisne à Pontlieue	156	238	279	467
La Sarthe à Spay	354	533	623	1032

Tableau 30 : Débits calculés par la méthode SHYREG

#### 4.5 TRANSFERT DES DEBITS DES STATIONS AUX POINTS DE CALCUL

Les débits de crues sont généralement déterminés aux stations de mesure de débits en amont de la zone d'étude. Pour connaître le débit au Mans il est appliqué une relation du type :

$$Q_1 = Q_2 \times \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^\alpha$$

Le coefficient Alpha est déterminé par un ajustement par une loi puissance des débits mesurés aux stations sur la Sarthe et l'Huisne (cf. illustration ci-après)

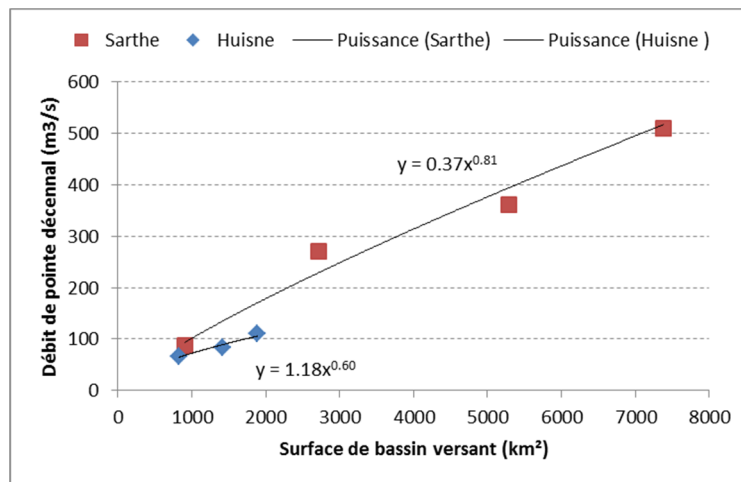


Figure 17 : Relation surface-débit de la Sarthe et de l'Huisne

Le coefficient Alpha est égal à 0.81 sur la Sarthe et 0.60 sur l'Huisne. Ce calcul montre le comportement particulier de l'Huisne avec une large plaine inondable qui tend à amortir l'onde de crue et donc limiter l'augmentation du débit vers l'aval du bassin versant. En appliquant la formule précédente, les relations suivantes sont obtenues :

- Sarthe amont au Mans (Yssoir) = 1.05 x Sarthe à Montreuil ;
- Sarthe aval au Mans (Saint Georges) = 0.98 x Sarthe à Spay ;
- Huisne au Mans (Pontlieue) = 1.15 x Huisne à la Pécardière ;

*Note : Les données SHYREG sont disponibles à Pontlieue et la Pécardière sur l'Huisne indiquent un coefficient de 1.15 entre les deux stations. Ce coefficient est identique au coefficient calculé ci-avant*

## 4.6 SYNTHÈSE DES DÉBITS RETENUS

### 4.6.1 SYNTHÈSE

Pour définir les débits de crues statistiques il a été comparé les trois méthodes de calcul présentées si avant (ajustement statistique, méthode Gradex et Shyreg). Les graphiques obtenus sont en annexe n°7.

**Sur la station de Neuville**, il est délicat de retenir une méthode au vu de l'évolution des débits mesurés.

**Sur la station de la Pécardière sur l'Huisne**, l'ajustement des débits montre clairement un changement de comportement après la crue décennale (augmentation de la pente) qui tendrait à valider un comportement de type « Gradex ». La méthode Shyreg est sur-estimative.

**Sur la Station de Spay**, il est aussi délicat de retenir une méthode. Les méthodes Shyreg et « gradex progressif » donnent des résultats similaires, mais l'ajustement sur une loi de gumbel, paraît la plus appropriée surtout vu le nombre d'évènement observé (48 évènements)

Dans un premier temps, il avait été retenu la méthode du Gradex progressif sur l'ensemble des stations car :

- Le Gradex progressif est la méthode la mieux adaptée sur l'ensemble des stations ;
- Cela permettait d'avoir une méthodologie équivalente entre toutes les stations.

Bassin versant	Q10	Q100	Q1000
La Sarthe à Montreuil	277	463	686
L'Huisne à la Pécardière	111	210	367
Somme (Huisne+ Montreuil)	388	673	1053
La Sarthe à Spay	357	654	1094

Tableau 31 : Débits calculés par la méthode du gradex progressif.

**Mais les débits retenus posaient le problème de la cohérence amont aval sur la Sarthe.** En effet, la somme des débits de la Sarthe à Neuville et de l'Huisne à la Pécardière est sensiblement égale au débit à Spay. Or le débit à Spay devrait être sensiblement inférieur car :

- La concomitance entre l'Huisne et la Sarthe n'est pas parfaite. Ainsi sur les 28 dernières crues annuelles, 18 crues (70%) présentent une concomitance (à l'échelle de la journée)
- Les résultats pour la crue décennale montrent une diminution de débit de 31 m<sup>3</sup>/s entre les stations amont et aval. Cet abattement des débits diminue ensuite avec la période de retour sans que cela soit justifié.

Ces constatations tendent à montrer que le débit à Spay est particulièrement sur-estimé par la méthode du gradex progressif. Ceci est confirmé par le graphique de comparaison des différentes méthodes.

**Il a donc été choisi de retenir finalement les débits de l'étude de Cohérence** (étude n°8) aux stations car l'estimation des débits centennaux à Montreuil et à la Pécardière donne des résultats équivalents avec le gradex progressif (455 contre 463 m<sup>3</sup>/s à Montreuil et 205 m<sup>3</sup>/s contre 210 m<sup>3</sup>/s à Pécardière). Par contre le débit centennal à Spay est significativement plus faible : 560 m<sup>3</sup>/s dans l'étude de Cohérence contre 654 m<sup>3</sup>/s pour le gradex progressif.

Pour la crue millénaire, il est retenu les données SHYREG.

Les débits finalement retenus sont indiqués dans le tableau ci-après. Les débits sont transposés sur les différents tronçons à l'aide des relations calculées au paragraphe 4.5.

Bassin versant	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Q1000(m <sup>3</sup> /s)
La Sarthe à Montreuil	277	455	704
La Sarthe amont au Mans (Yssoir)	292	480	743
L'Huisne à la Pécardière	111	205	407
L'Huisne au Mans (Pontlieue)	127	235	467
La Sarthe aval au Mans (Saint Georges)	350	549	1012
La Sarthe à Spay	357	560	1032

**Tableau 32 : Débits retenus**

#### 4.6.2 COMPARAISON DES DEBITS CENTENNAUX AVEC LES PPRI ACTUELS ET LE TRI

Les débits estimés dans cette étude sont comparés aux débits des PPRI actuel et du TRI.

Cette comparaison met en évidence :

- **Une faible augmentation des débits sur la Sarthe amont.** Ceci s'explique par la méthode de calcul avec, pour le PPRI actuel, un débit estimé par un ajustement sur la loi de gumbel (l'ajustement réalisé dans cette étude donne un débit similaire). La méthode retenue dans cette étude avec un Gradex à point pivot à 50 ans (méthode de l'étude de Cohérence) qui donne des résultats logiquement plus élevés ;
- **Le maintien des débits sur l'Huisne au Mans.** Le débit centennal est augmenté à la station de mesure, mais le transfert sur l'aval du bassin versant était maximaliste dans le cas du PPRI actuel (sur estimation du bassin versant).
- **Une augmentation importante des débits sur la Sarthe aval.** Le débit de 500 m<sup>3</sup>/s du PPRI actuel paraît particulièrement faible. Ainsi entre la Sarthe amont et la Sarthe aval l'augmentation de débit de pointe est de 80 m<sup>3</sup>/s alors que sur les trois derniers événements (1995, 1999, 2001) le débit de pointe a augmenté de plus de 100 m<sup>3</sup>/s entre Montreuil et Spay. Par rapport au TRI l'écart s'explique par la prise en compte de la crue de période de retour 110 ans pour le TRI et non la crue centennale.



*Note : Dans le PPRi de la Sarthe aval (datant de 2007) il est retenu un débit de 540 m<sup>3</sup>/s à Spay. Ce débit était obtenu par ajustement par une loi de Gumbel. La méthode du Gradex, donnait un débit de 680 m<sup>3</sup>/s qui n'avait pas été retenu. Le débit retenu dans cette étude (560 m<sup>3</sup>/s) est donc relativement cohérent avec le PPRi de la Sarthe aval.*

Bassin versant	Débit centennial (m <sup>3</sup> /s)		
	PPRI actuel	TRI	retenu
La Sarthe à Montreuil	420	450	<b>455</b>
La Sarthe amont au Mans (Yssoir)	423	469	<b>480</b>
L'Huisne à la Pécardière	192	200	<b>205</b>
L'Huisne au Mans (Pontlieue)	242	200	<b>235</b>
La Sarthe aval au Mans (Saint Georges)	500	545*	<b>549</b>
La Sarthe à Spay	500	580*	<b>560</b>

**Tableau 33 : Comparaison avec les études précédentes (\* débit de période de retour de 110)**

## 5 SIMULATION DE L'ALEA

Pour simuler l'aléa inondation de l'agglomération Mancelle, il a été choisi d'utiliser une modélisation hydraulique 2D à l'aide du logiciel TELEMAC. Les paragraphes ci-après présentent la construction du modèle, le calage de celui-ci et les résultats obtenus.

### 5.1 CONSTRUCTION DU MODELE

#### 5.1.1 STRUCTURE DU MAILLAGE

La Sarthe et l'Huisne ont été modélisées entre les stations hydrométriques de Neuville (Sarthe amont), la Pécardière (Huisne) et Spay (Sarthe aval). Cela représente un linéaire de cours d'eau de 60 km pour une surface de 53.59 km<sup>2</sup>.

Le modèle mis en place pour cette étude comporte 198 758 nœuds de calcul soit un point pour 270 m<sup>2</sup> en moyenne. Néanmoins, le maillage est fortement hétérogène pour tenir compte au mieux du relief et des objectifs de l'étude. Ainsi :

- Sur l'amont de la zone d'étude (amont de Saint Pavace et amont d'Yvré l'Evêque) la distance entre point est de l'ordre de 100 m en lit majeur.
- Dans l'agglomération Mancelle, la distance entre points est réduite à 5m en lit mineur ;
- Dans l'agglomération Mancelle, la distance entre points est de 10m dans les zones urbaines ;
- Dans l'agglomération Mancelle, la distance entre points varie entre 1m et 10 m autour des ouvrages en lit mineur.

De plus, les zones de changement de pente important (talus, remblais, voirie) ont été intégrées au modèle par des lignes qui structurent le maillage.

La structure du modèle par mailles triangulaires est présentée sur la figure ci-après.

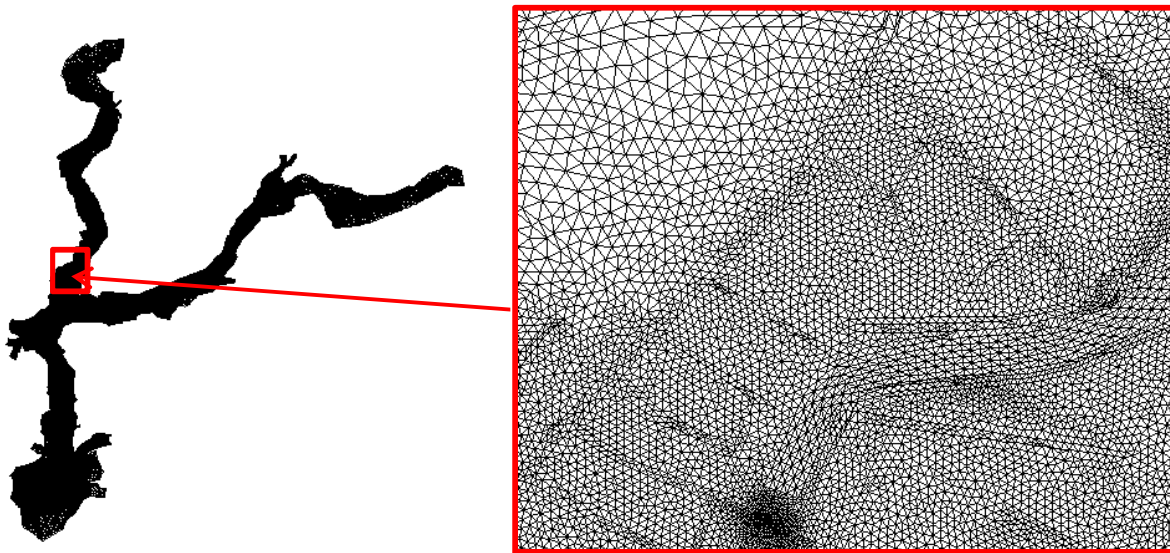


Figure 18 : Maillage du modèle hydraulique

### 5.1.2 APPLICATION DE LA TOPOGRAPHIE

Pour appliquer la topographie au maillage, il a été différencié le lit mineur du lit majeur :

- Sur le lit majeur, il a été utilisé le levé LIDAR fourni par la DREAL ;
- Sur le lit mineur, il a été utilisé les profils en travers existants.

### 5.1.3 PRISE EN COMPTE DES OUVRAGES

**Les modèles hydrauliques 2D représentent difficilement les impacts hydrauliques des ouvrages en lit mineur car les équations ne résolvent que les situations à surface libre.** Les configurations de mise en charge d'ouvrage ne peuvent pas être traitées directement : la géométrie ne peut pas être rentrée explicitement et les équations utilisées sont simplifiées.

A contrario, les modèles 1D représentent de façon plus satisfaisante les écoulements en charge. **Il a donc été réalisé préalablement un modèle 1D du lit mineur avec le logiciel HEC-RAS intégrant tous les ouvrages afin de comprendre le fonctionnement de chaque ouvrage et ainsi mieux paramétrer le modèle 2D.**

Le modèle hydraulique 1D a montré qu'en cas de crue de période de retour de 1000 ans :

- 22 ouvrages ne présentent pas de mise en charge du tablier ;
- 18 ouvrages présentent des mises en charge du tablier.

Pour une crue centennale, le nombre d'ouvrages en charge est réduit à 10.

De plus, le modèle 1D (qui ne prend en compte que le lit mineur) calcule des pertes de charges (et donc des sur-cotes en amont des ouvrages) limitées à 12 cm. Ces pertes de charges en lit mineur sont plus faibles que celles observées sur les repères de crues car :

- souvent l'obstacle principal à l'écoulement est plutôt lié au remblai transversal dans le champ majeur qu'à l'obstruction du lit mineur ;
- les vitesses d'écoulement sont assez faibles (de l'ordre de 1m/s). Or la perte de charge est proportionnelle au carré de la vitesse. Une faible vitesse induit donc une faible perte de charge.

Enfin des tests de sensibilité du modèle 1D avec uniquement la prise en compte des piles et culées des ouvrages (sans tablier) ont montré que la réhausse de ligne d'eau liée aux tabliers ne dépassait pas 7 cm.

**En conclusion, il a été retenu de prendre en compte les ouvrages de manière explicite dans le modèle avec une représentation fine des culées et piles** (cf. illustration ci-après). Les cas en charge ne seront donc pas représentés, mais cela n'induit qu'une très faible sous estimation de la ligne d'eau car :

- Le nombre d'ouvrage en charge est limité (10 pour la crue centennale sur les 40 ponts existants) ;
- Les pertes de charge sont principalement dues aux remblais en champ majeur (correctement pris en compte dans le modèle 2D) et aux éventuelles piles (elles aussi représentées);

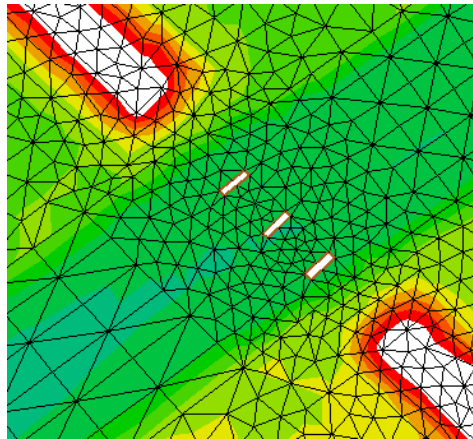


Figure 19 : Exemple d'ouvrage (pont SNCF sur la Sarthe)

Au droit de chaque ouvrage, la topographie a été affinée à l'aide des levés topographiques existants qui viennent en complément du LIDAR.

#### 5.1.4 PRISE EN COMPTE DES ZONES URBAINES

Les zones urbaines ont fait l'objet d'un traitement particulier dans le modèle :

- En dehors de l'agglomération Mancelle, les zones urbaines ont été détournées et un coefficient de frottement particulier a été appliqué ;
- Dans les communes de l'agglomération Mancelle, le modèle est plus détaillé avec une sous sectorisation de la zone urbaine.

Ansi, la structure des voies a été numérisée (cf. figure ci-après) dans l'ensemble des zones urbanisées à l'aide des orthophotoplans. **Sur les voiries le coefficient de frottement est fixé à 50.** La couche bâtiment du cadastre a aussi été utilisée afin d'appliquer un **coefficient de frottement égal à 2 sur les surfaces bâties.** Ce faible coefficient de frottement permet de prendre en compte l'obstacle formé par le bâtiment tout en laissant entrer l'eau. **Sur les autres surfaces en zones urbaines (non bâties et hors voirie) un coefficient de 8 est appliqué.**

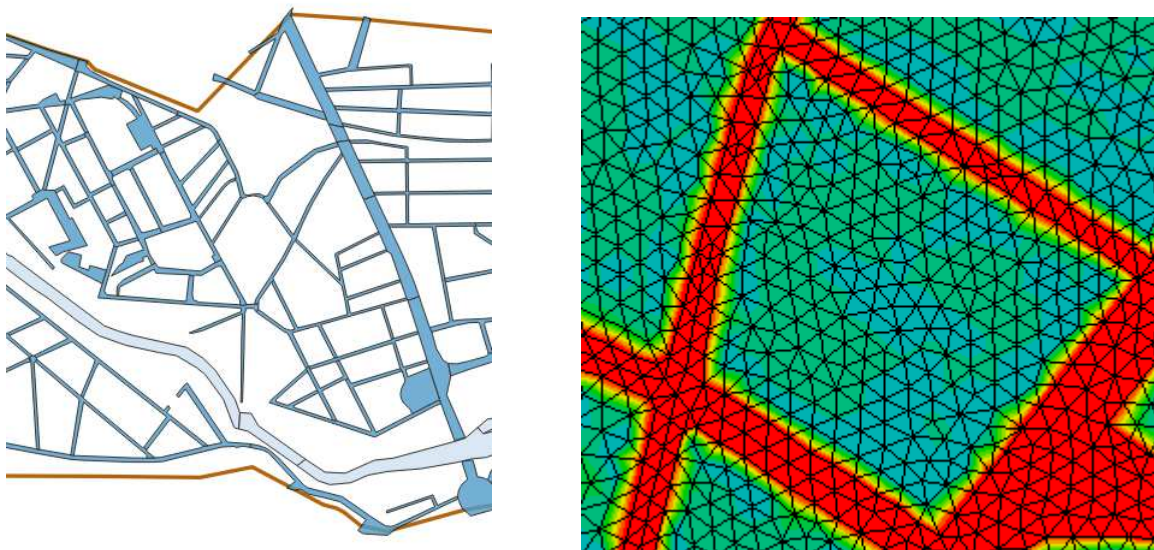


Figure 20 : Numérisation des voiries et sectorisation des coefficients de frottement

### 5.1.5 PRISE EN COMPTE DES TRAVAUX

Le modèle hydraulique est calé sur la crue historique de 1995 et validé sur les crues de 1999 et 2001 avant d'être utilisé pour simuler la crue centennale. Or depuis 1995, plusieurs aménagements ont été réalisés sur la Sarthe et l'Huisne. Il a donc été réalisé deux modèles. Un premier intégrant la topographie de 1995 et un second la situation actuelle.

Entre 1995 et 2015, les aménagements majeurs sont :

- **L'aménagement du déversoir de l'île aux Planches.** Le plan topographique de la situation actuelle a été retrouvé dans les données de l'étude d'aménagement du site ;
- **La modernisation des barrages de Spay, Chaoué, Saint Georges, Enfer et Gué de Maulny.** Ces aménagements consistaient essentiellement à remplacer des seuils par des clapets abaissés en cas de crue ;
- **La réalisation des digues des quartiers Heuzé, Australie et Crétois ;**
- **Arasement du seuil sous le pont du Greffier.**

Lors du calage et de la validation du modèle, il est apparu des incohérences entre les simulations pour la crue de 1995 et la crue de 2001. Après observation des photographies aériennes, il est constaté des changements sur la confluence Sarthe Huisne entre 1995 et 1999 (travaux en 1996).

En effet, le carrefour entre le boulevard Demorieux et la rocade a été modifié et surtout un passage inférieur sous le remblai a été déplacé et agrandi. De plus, il semble que les passages existants ont été dégagés ce qui améliore leur capacité.

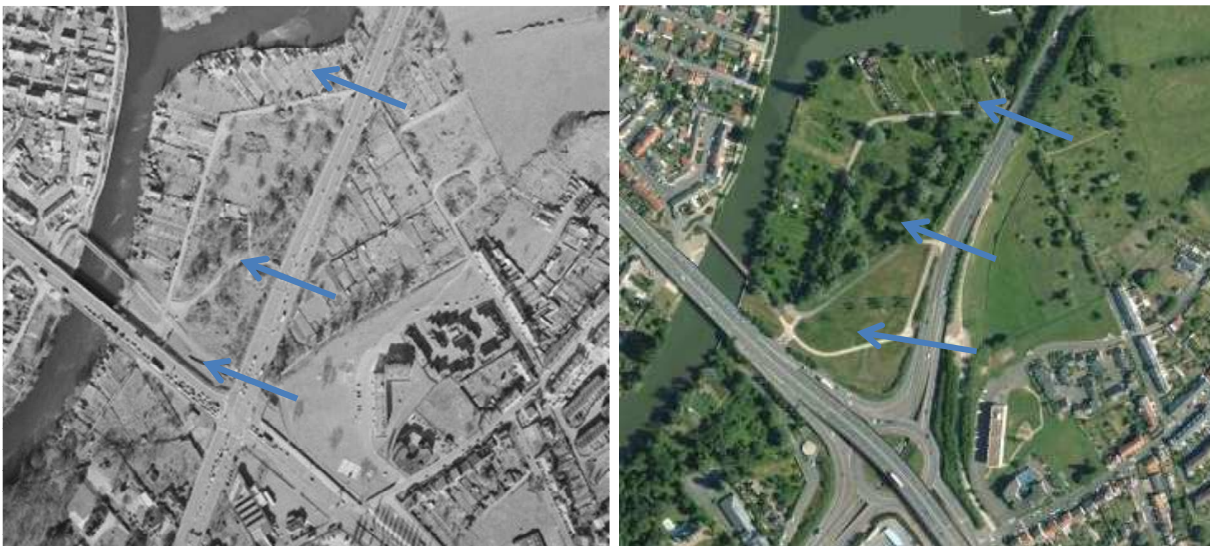


Figure 21 : Vue aérienne de la confluence Sarthe Huisne en 1994 et 2015 (source : Geoportail)

En conclusion, 3 modèles ont été construits :

- Un modèle de la situation en 1995 ;
- Un modèle de la situation entre 1999 et 2001 intégrant l'aménagement du boulevard Demorieux ;
- Un modèle de l'état actuel intégrant les aménagements de réduction de l'aléa inondation au Mans.

## 5.2 SIMULATION REALISEES

Le tableau ci-après indique les 5 simulations principales réalisées.

N°	Description
1	Calage sur la crue de 1995
2	Validation sur la crue de 2001
3	Validation sur la crue de 1999
4	Crue centennale Sarthe
5	Crue centennale Huisne

Tableau 34 : Simulations principales réalisées

## 5.3 CONDITIONS AUX LIMITES

La condition à la limite aval du modèle est une relation hauteur/débit (cf. graphique ci-après). Cette relation hauteur/débit est **pour les débits inférieurs à la crue de 1995 issue de la courbe de tarage de la station de mesure de Spay. Pour les débits supérieurs, il est utilisé les résultats de l'étude de cohérence.**

Cette condition aux limites est utilisée pour le lit de la Sarthe. Pour les écoulements dans le champ majeur gauche (écoulements constatés à partir d'une crue centennale), il est utilisé une condition d'écoulement normal.

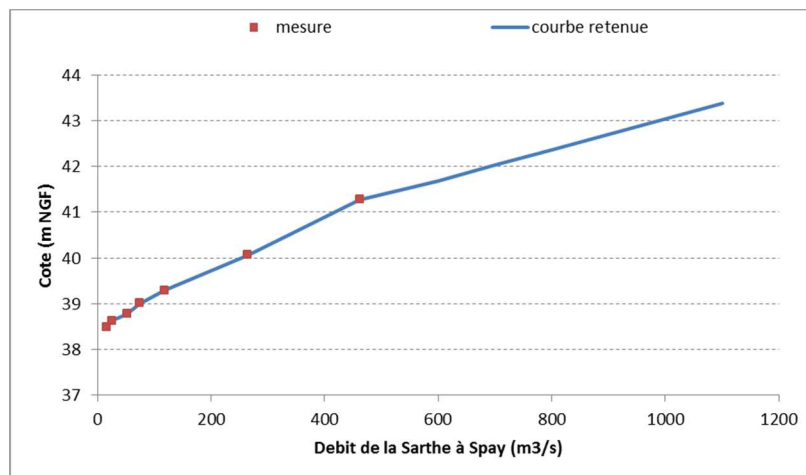


Figure 22 : Courbe de tarage retenue

Le tableau ci-après indique les débits entrant dans le modèle hydraulique pour chaque simulation réalisée.

**Pour les crues historiques, les hydrogrammes de crues sont utilisés. Pour les crues statistiques, il est retenu un débit constant.**

N°	Description	Débit Sarthe	Débit affluent Sarthe	Débit Huisne	Débit affluent Huisne
1	Calage sur la crue de 1995	Hydrogramme mesuré à Neuville	Mesuré sur le Roule Crotte et le Narais	Hydrogramme mesuré	Hydrogramme mesuré
2	Validation sur la crue de 2001		Extraction de l'étude de Cohérence pour l'Antonnière et la Vive Parence	Hydrogramme mesuré	Hydrogramme mesuré
3	Validation sur la crue de 1999			Hydrogramme mesuré	Hydrogramme mesuré
4	Crue centennale Sarthe	455	25 m <sup>3</sup> /s sur l'Antonnière 11 m <sup>3</sup> /s sur le Roule Crotte	69	-
5	Crue centennale Huisne	309	11 m <sup>3</sup> /s sur le Roule Crotte	205	20 m <sup>3</sup> /s sur la Vive Parence 15 m <sup>3</sup> /s sur le Narais

**Tableau 35 : Débits entrants utilisés dans le modèle**

## 5.4 CALAGE ET VALIDATION DU MODELE

Le principal paramètre qui conditionne les écoulements dans le modèle est le coefficient de ruissellement. A l'issue du calage, il est retenu les coefficients de frottement indiqués ci-après.

**Les coefficients de frottement pour chaque type d'occupation du sol sont uniformes sur l'ensemble du modèle sauf pour le lit mineur où entre le barrage d'Enfer et l'aval de l'île au Planches il est utilisé un coefficient spécifique égal à 30.**

Les coefficients retenus sont conformes aux gammes de valeurs usuelles.

Occupation du sol	Coefficient de frottement
Champ majeur naturel	10
Zone urbaine non sectorisée	8
Forêt	5
Lit mineur	25 à 30
Zone urbaine sectorisée - Voirie	50
Zone urbaine sectorisée – bâtiments	2
Zone urbaine sectorisée - autres	8

Tableau 36 : Coefficients de frottement retenus

#### 5.4.1 CALAGE SUR LA CRUE DE 1995

La crue de 1995 est la plus importante des crues récentes. Les cotes calculées au droit de chaque repère de crue sont indiquées dans l'annexe n°8. Les cartes n°7 présentent les résultats du calage.

##### Résultat global du calage

Sur les 70 repères de crue identifiés pour la crue de 1995, 4 ont été éliminés car incohérents. **Sur près de 2/3 des repères restant l'écart entre le modèle et les valeurs mesurées est inférieur à 10 cm.**

Il reste à l'issue du calage, 6 PHE pour lesquelles l'écart reste important (>20 cm) sans explication. Les cotes calculées au droit de chaque PHE sont indiquées en annexe 8 et les paragraphes suivants détaillent les résultats sur chaque tronçon étudié. Il est aussi réalisé une carte des zones inondées simulées et observées (cartes n°7).

Résultat	Nombre	%
PHE identifiées	70	100%
PHE non retenues car incohérentes	4	6 %
<b>PHE retenues</b>	<b>66</b>	<b>94 %</b>
<b>PHE représentée avec un écart inférieur à 5 cm</b>	<b>21</b>	<b>30 %</b>
PHE représentée avec un écart entre 5 et 10 cm	26	36%
PHE représentée avec un écart entre 10 et 20 cm	13	19 %
PHE représentée avec un écart supérieur à 20 cm	6	9 %

Tableau 37 : Synthèse du calage sur la crue de 1995

##### Calage Sarthe amont

La PHE la plus à l'amont du modèle (S36) est éliminée car elle est située sur la limite amont du modèle, elle est donc influencée par les effets de bord. La PHE RCA-S56 est aussi éliminée car largement inférieure aux PHE situées en amont (RCA-S57 et CUM.P3).



Pour le reste des PHE situées sur la Sarthe amont (de S27 à RCA-S3) l'écart entre le modèle et la cote observée est inférieur à 10 cm à l'exception de :

- la RCA-S63 où l'écart constaté est de 13 cm. Cette PHE est située dans un secteur où le modèle est légèrement sous-estimatif mais la cote mesurée semble légèrement au dessus de l'ensemble des autres cotes situées à proximité. Il n'a donc pas été apporté de modification locale du modèle ;
- la laisse 8 du PPRi de Saint-Pavace où l'écart constaté est de 11 cm ;
- la RCA-S58 où l'écart constaté est de 16 cm. Ici aussi la PHE est plus haute que les autres cotes à proximité. Il a donc été préféré un calage sur les cotes les plus basses qui apparaissent plus cohérentes entre elles ;

A l'échelle des Planches, le modèle simule une cote 9 cm plus basse que la cote mesurée.

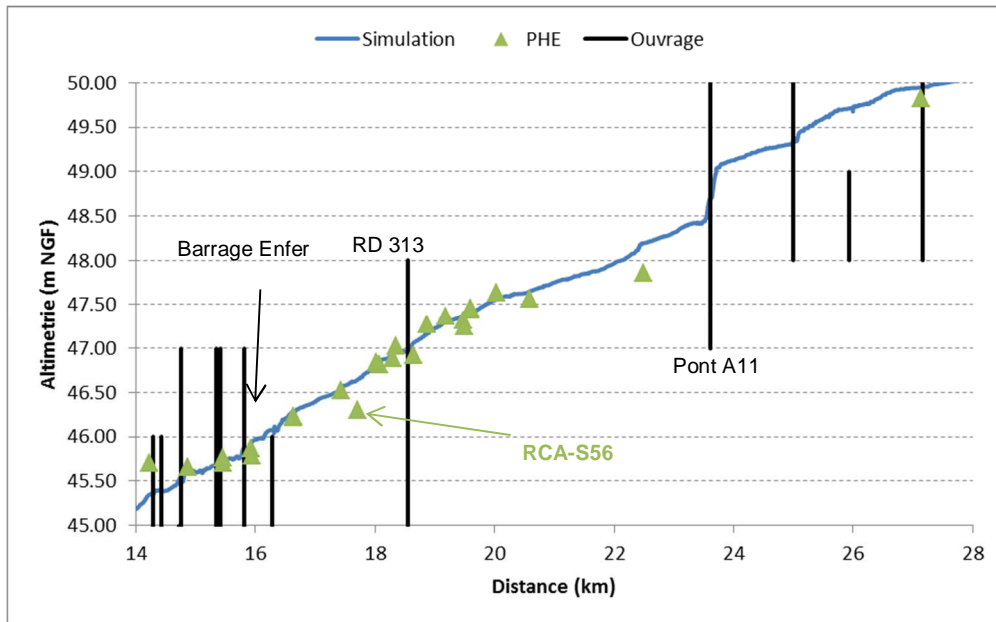


Figure 23 : Profil en long de la Sarthe amont pour la crue de 1995

### Calage Huisne

Sur l'Huisne, deux cotes largement incohérentes (FLH13-A20av et FLH13-8) sont éliminées de l'analyse.

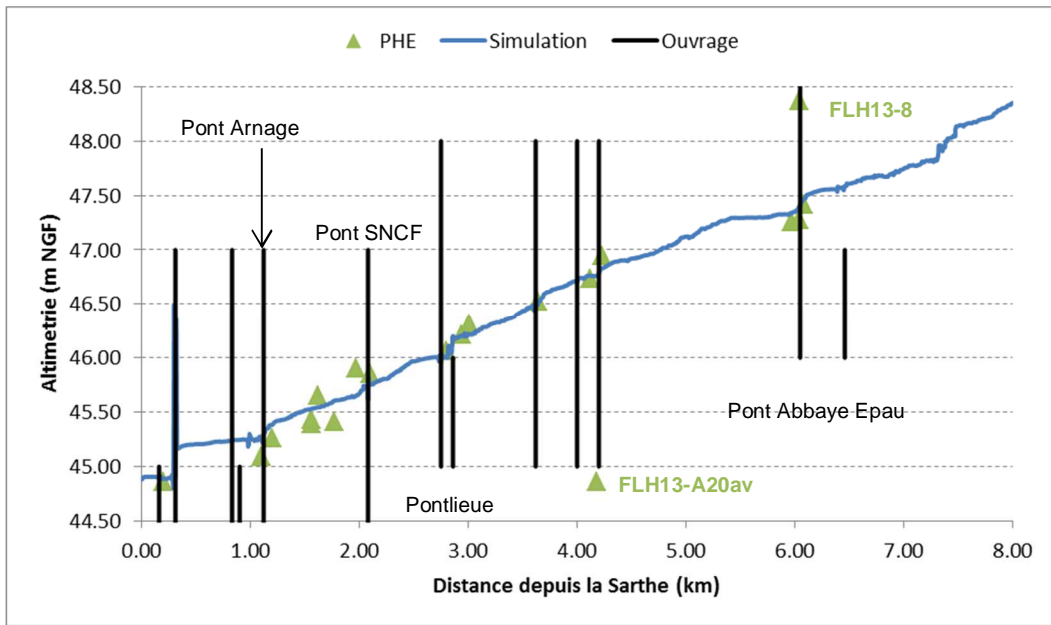


Figure 24 : Profil en long de l'Huisne pour la crue de 1995

Sur ce tronçon, l'écart le plus important constaté est situé sur la station de mesure de hauteur de Pontlueie avec un écart de 19 cm. Les limnigrammes ci-après montrent que cet écart survient pour une cote de 45 m NGF et se maintient jusqu'à la décrue.

Cet écart est étonnant en comparaison aux PHE amont et aval où la sous estimation de la ligne d'eau est inférieure à 10 cm. Pour relever le niveau simulé, il a été augmenté les pertes de charge au droit du pont SCNF et du pont de Pontlueie, mais cela conduit à une sur-estimation sur les crues de validation (1999 et 2001. Cf. paragraphes 2.4.2 et 2.4.3). Il a donc été maintenu un calage réduisant l'erreur sur l'ensemble des crues historiques.

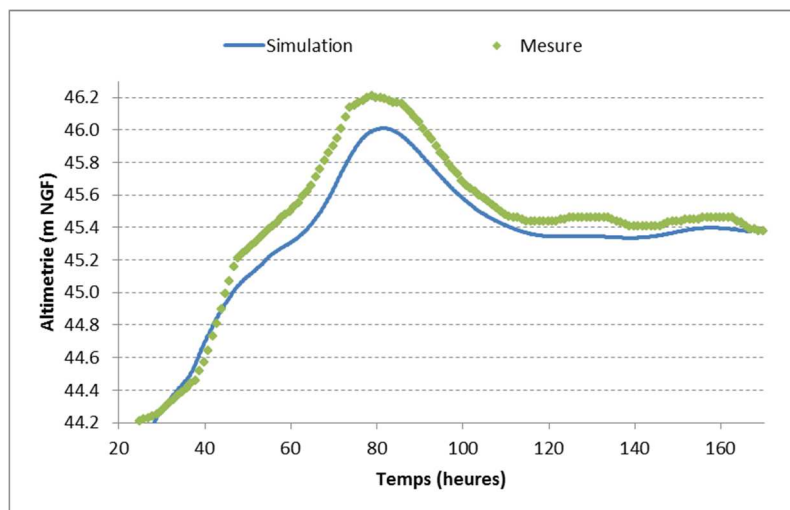


Figure 25 : Evolution de la ligne d'eau à l'échelle de Pontlueie en 1995

## Calage Sarthe aval

**C'est sur la Sarthe aval qu'il a été observé les écarts les plus importants.** En effet malgré des cotes correctement simulées aux deux extrémités du tronçon, les cotes simulées au droit des PHE Atlas Sarthe 1,2 et RCA-S55 sont surestimées de 20 à 30 cm :

- Sur les PHE Atlas Sarthe 1 et 2, il n'est pas identifié de raison à la sur-estimation ;
- pour RCA-S55, on remarque que le remblai du pont de la Raterie (le pont ne comporte pas de pile) provoque une perte de charge alors que la PHE mesurée semble ne pas en indiquer.

A contrario, pour les PHE issues du PPRi (intitulé PPRi PK xx) et celles réalisées en 2016, les cotes simulées sont souvent inférieures de 10 à 30 cm aux cotes mesurées.

Sur ce secteur, il a été testé une évolution du coefficient de frottement du lit mineur pour suivre les PHE mesurées :

- Si on suit les PHE surestimées, il est supprimé tout débordement en aval du barrage de Chauoué alors que les relevés de zone inondée indiquent le contraire ;
- Si on suit les PHE du PPRi, les zones inondées sont plus importantes que celles mesurées.

Il a donc été retenu le calage présenté précédemment où la zone inondée est correctement représentée.

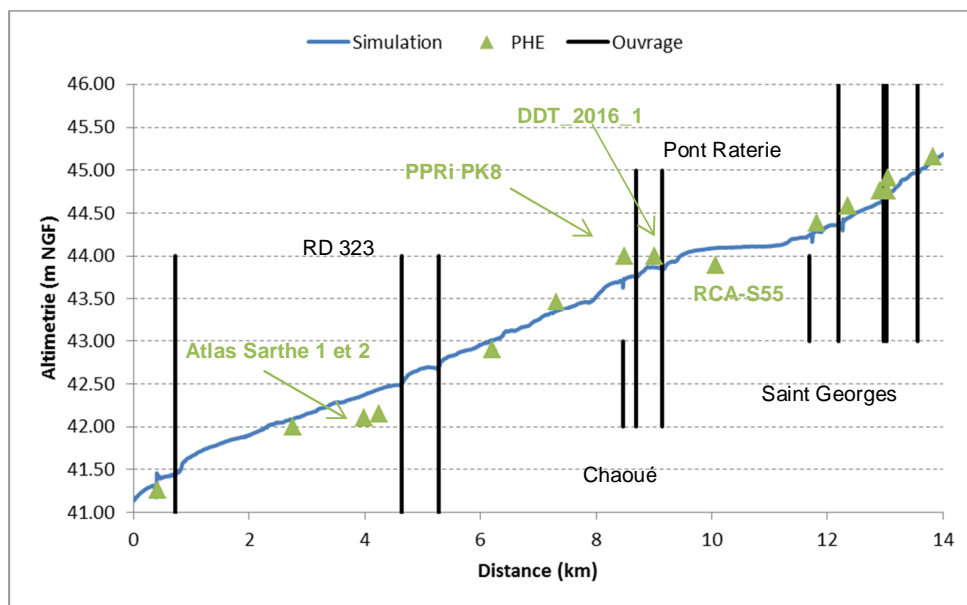


Figure 26 : Profil en long de la Sarthe aval pour la crue de 1995

L'hydrogramme simulé à l'aval du modèle est proche de l'hydrogramme mesuré. Ainsi le débit de pointe simulé est de 467 m<sup>3</sup>/s contre 462 m<sup>3</sup>/s mesuré (erreur de 1%). Par contre, il est noté un pic de crue plus étroit que celui mesuré. Ceci peut s'expliquer par une sous estimation des volumes apportés par les affluents entre les stations de Neuville et la Pécardière.

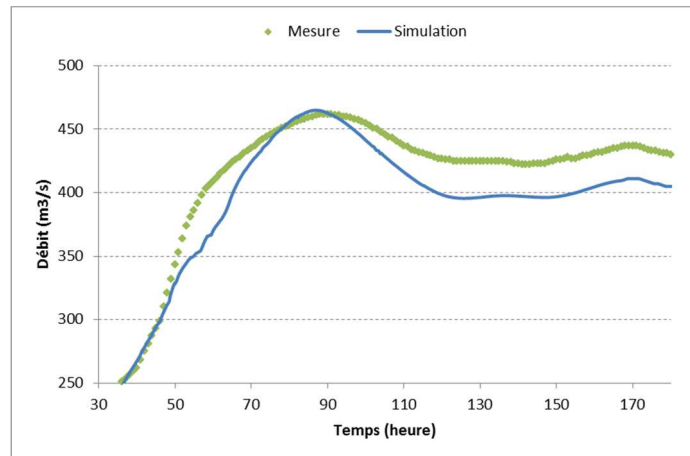


Figure 27 : Débit mesuré et simulé à la station de Spay en 1995

#### 5.4.2 VALIDATION SUR LA CRUE DE 1999

Pour valider le calage, il a été simulé la crue de 1999 à l'aide du modèle précédent. Il a été néanmoins apporté la modification sur l'aménagement du boulevard Demorieux à la confluence Huisne/Sarthe.

Les cotes calculées au droit de chaque repère de crue sont indiquées dans l'annexe n°8. Les cartes n°8 présentent les résultats du calage.

**Le calage est validé sur la crue de 1999** car l'écart entre la simulation et les 13 cotes de crues retenues est au maximum de 18 cm (cf. cartes n°8). De plus sur la moitié de ces PHE, l'écart est inférieur à 10 cm.

Les PHE exclues sont :

- La PHE S36 qui est exclue pour les mêmes raisons que pour la crue de 1995 ;
- La PHE H12 qui est incohérente. En effet, la cote mesurée est de 51.06 m NGF ce qui est 26 cm au dessus de la cote mesurée sur la PHE FLH13\_9 située à proximité.

Les résultats des simulations donnent un écart supérieur à 10 cm :

- Sur la PHE S27 sur la Sarthe (écart de 11 cm). Cet écart est similaire à l'écart simulé pour la crue de 1995. Il semblerait que dans ce secteur le niveau en champ majeur gauche soit sous estimé sans raison évidente ;
- Sur la PHE S31 (écart de 0.13 cm) alors que pour la crue de 1995 l'écart était uniquement de 3cm ;
- Sur les LMM3 et LMM4. Il faut noter que ces cotes sont issues de plan de l'emprise des zones inondées fournies par le Mans Métropole. La simulation de la crue de 2001 montre que ces cotes semblent peu fiables (sur-estimatives) ;
- Sur la PHE H2 (écart de 15 cm) alors que la PHE H1 située à proximité est parfaitement représentée.

Résultat	Nombre	%
PHE identifiées	15	100%
PHE non retenues car incohérentes	2	13%
<b>PHE retenues</b>	<b>13</b>	<b>87%</b>
<b>PHE représentée avec un écart inférieur à 5 cm</b>	<b>5</b>	<b>33%</b>
PHE représentée avec un écart entre 5 et 10 cm	3	21%
PHE représentée avec un écart entre 10 et 20 cm	5	33%
PHE représentée avec un écart supérieur à 20 cm	0	0%

Tableau 38 : Synthèse du calage sur la crue de 1999

Pour les vues en plan, la zone inondable modélisée semble légèrement plus importante que la zone inondable relevée.

L'analyse du limnigramme de Pontlieue montre la justesse de la simulation réalisée avec un écart faible en pointe et un comportement dynamique correct.

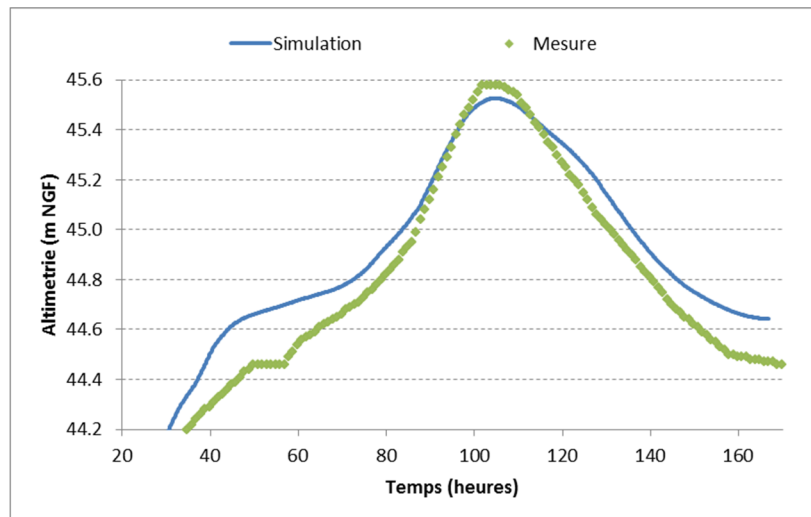


Figure 28 : Evolution de la ligne d'eau à l'échelle de Pontlieue en 1999

A Spay la pointe de crue est bien représentée. Le débit lors de la montée de la crue est par contre légèrement sous estimé.

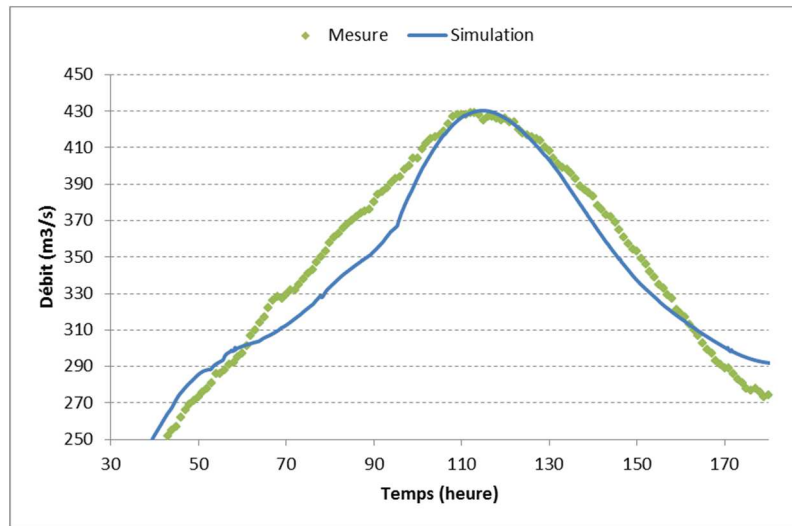


Figure 29 : Débit mesuré et simulé à la station de Spay en 1999

### 5.4.3 VALIDATION SUR LA CRUE DE 2001

Une seconde validation a été réalisée sur la crue de 2001 (cf. cartes n°9). Les cotes calculées au droit de chaque repère de crue sont indiquées dans l'annexe n°8. Les cartes n°9 présentent les résultats du calage.

Les résultats sont plus nuancés que pour la crue de 1999. En effet, les écarts simulés sont importants avec plus de 2/3 des cotes retenues présentant un écart supérieur à 10 cm.

Néanmoins, l'analyse détaillée des résultats montre que la majorité des écarts importants sont obtenus avec les cotes issues de plan des zones inondables du Mans Métropole. Au droit des PHE obtenues dans l'étude de cohérence les écarts sont plus faibles. De plus, les limnigrammes de Pontlieue et des Planches sont bien représentés en pointes (la mesure à Pontlieue semble légèrement tronquée sur la pointe). Enfin l'hydrogramme de crue à Spay est très bien reproduit.

**Ces conclusions conduisent à valider le calage réalisé.**

Résultat	Nombre	%
PHE identifiées	21	100%
PHE non retenues car incohérentes	2	10%
<b>PHE retenues</b>	<b>19</b>	<b>90%</b>
<b>PHE représentée avec un écart inférieur à 5 cm</b>	<b>6</b>	<b>29%</b>
PHE représentée avec un écart entre 5 et 10 cm	0	0%
PHE représentée avec un écart entre 10 et 20 cm	7	33%
PHE av représentée avec un écart supérieur à 20 cm	6	29%

Tableau 39 : Synthèse du calage sur la crue de 2001

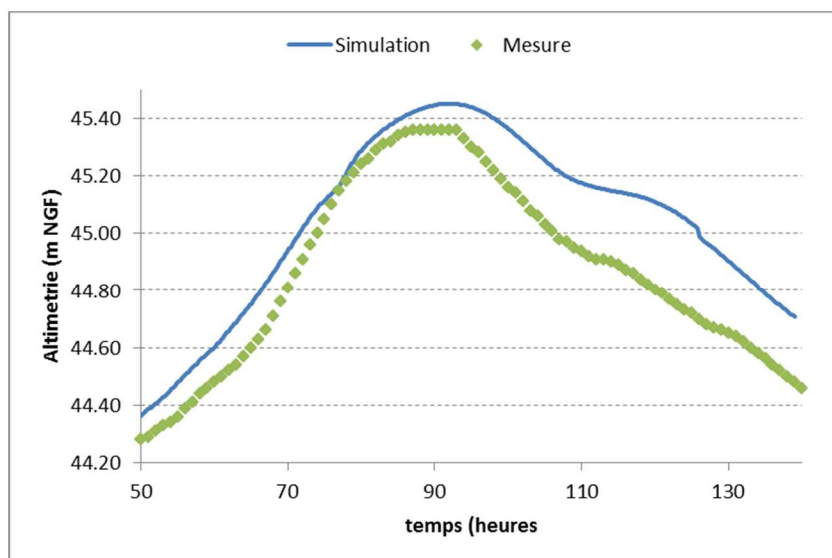


Figure 30 : Evolution de la ligne d'eau à l'échelle de Pontlieue en 2001

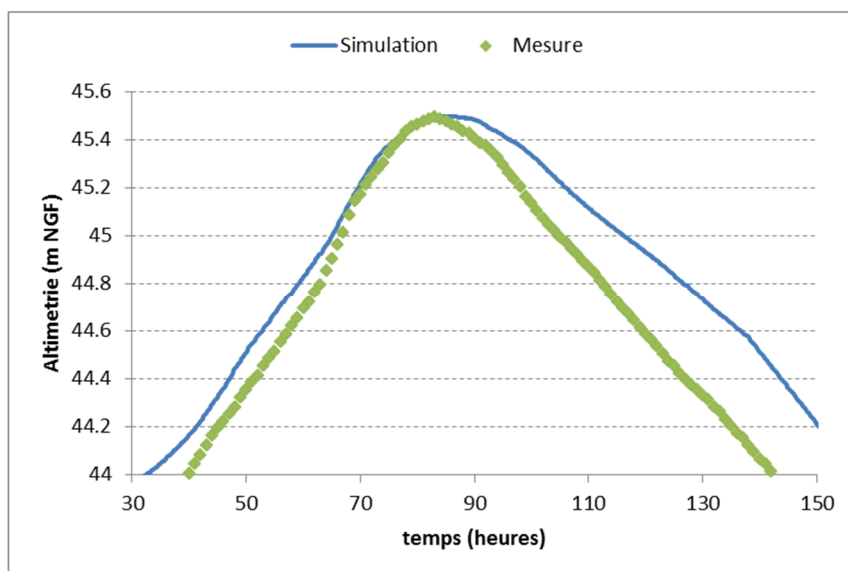


Figure 31 : Evolution de la ligne d'eau à l'échelle des Planches en 2001

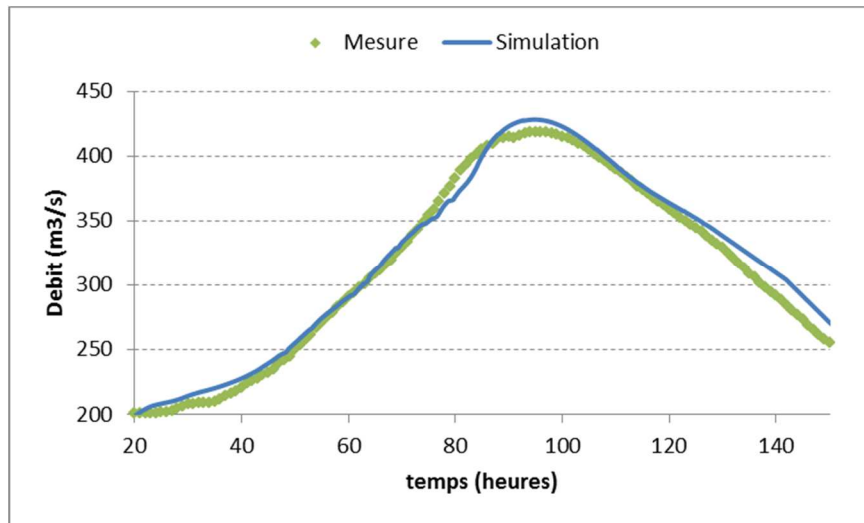


Figure 32 : Débit mesuré et simulé à la station de Spay en 2001

## 5.5 RESULTATS OBTENUS POUR LA CRUE CENTENNALE

Les cartes n°11 présentent les zones inondables centennales simulées.

### 5.5.1 SARTHE AMONT

De Saint Pavace jusqu'au barrage d'Enfer, les débordements pour la crue centennale sont essentiellement situés en rive gauche. L'altitude élevée de la rive droite limite fortement les débordements. La zone inondable présente une largeur de 500 m environ.

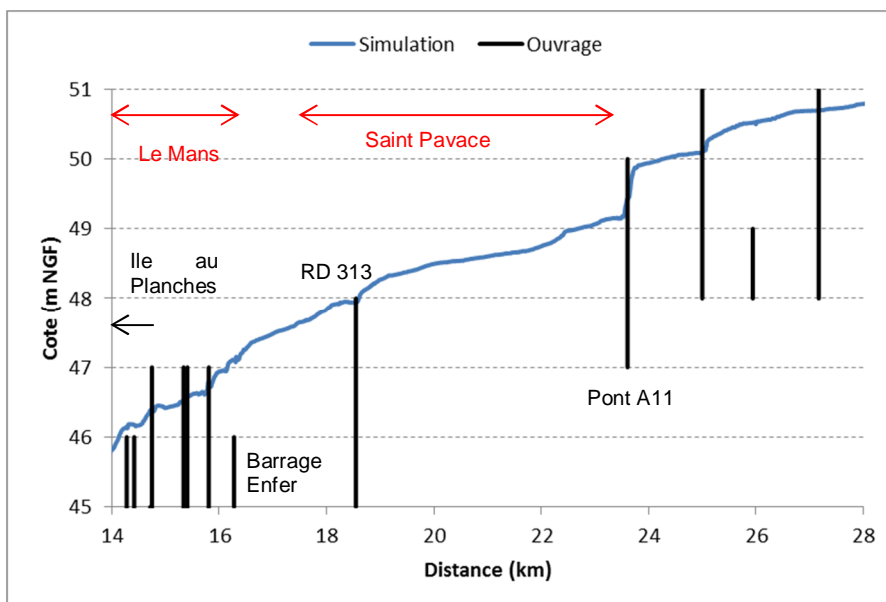


Figure 33 : Profil en long de la Sarthe amont pour la crue centennale



**En aval du barrage d'enfer jusqu'à l'île aux Planches**, la Sarthe entre dans une section canalisée d'une largeur de 60 à 65 m. Les débordements sont fortement réduits. Ceci implique une mise en vitesse des écoulements jusqu'à 2.8 m/s (contre 1 à 1.5 m/s sur l'amont du barrage d'enfer) et un abaissement important de la ligne d'eau au droit du barrage d'Enfer.

Deux débordements sont simulés en rive droite :

- Le premier en amont du pont Perrin du fait de la présence d'un point bas sur les berges de la Sarthe. Ces berges sont calées entre 46.20 et 46.40 m NGF alors que la ligne d'eau simulée est située à 46.60 m NGF environ (lame d'eau de 20 à 40 cm). Les terrains derrière la berge et la rue sont situés plus bas ce qui forme un casier qui se remplit. Le volume contenu dans le casier à l'équilibre (atteint en 11h environ) est de 120 000 m<sup>3</sup>. Une fois l'équilibre atteint (niveau d'eau équivalent dans le casier et dans la Sarthe) un axe d'écoulement se crée sur l'avenue de la Libération en direction du second secteur de débordement.
- Le second est situé au droit du port du Mans où les terrains sont légèrement plus bas. L'écoulement se propage en suivant les rues jusqu'à l'avenue de la Libération.

Entre l'île aux planches et la confluence avec l'Huisne, les quartiers d'Australie et Heuzé sont inondés malgré la présence de digues. Ce résultat est logique du fait que les digues sont prévues pour protéger contre la crue de 1995. On notera que les déversoirs mis en place sur ces digues permettent de remplir la zone protégée avant la submersion généralisée.

## 5.5.2 HUISNE

**Dans la traversée d'Yvré l'Evêque**, l'Huisne présente une zone inondable rectiligne avec une largeur qui augmente progressivement vers l'aval (de 200 m et 600 m à l'abbaye de l'Epau). Les vitesses d'écoulement en lit mineur sont de l'ordre de 1 m/s (jusqu'à 1.8 dans les ouvrages). Les ponts qui traversent en remblai le champ majeur sont des obstacles importants à l'écoulement.

**En aval de l'abbaye de l'Epau** jusqu'à Pontlieue, les écoulements sont progressivement concentrés dans le lit (la largeur de la zone inondable est réduite à 100 m environ). Sur ce tronçon la ligne d'eau est fortement influencée par les ouvrages.

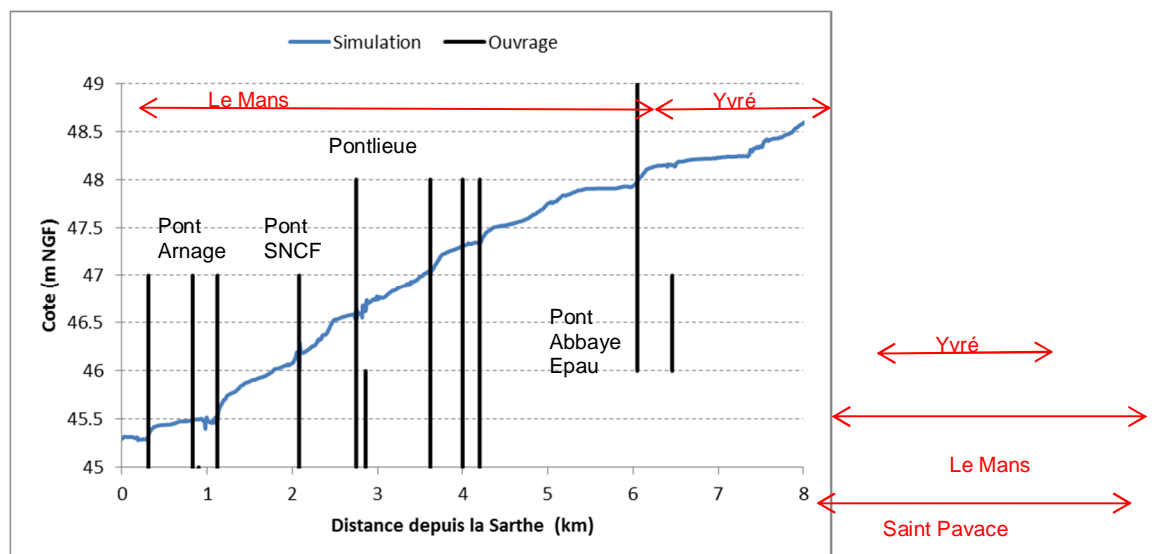


Figure 34 : Profil en long de l'Huisne pour la crue centennale

**En aval de Pontlieue**, le quartier Crétois est inondé via le déversoir du système de protection. La digue n'est pas submergée.

En aval de la voie ferrée, les débordements sont importants notamment en rive gauche où le quartier des Batignolles est inondé. L'eau arrive dans le quartier via un point bas sur l'avenue des Narcisses avant de se propager à l'ensemble du quartier par les voiries.

### 5.5.3 SARTHE AVAL

De la confluence Sarthe/Huisne au barrage de Saint Georges, il est simulé un abaissement important de la ligne d'eau du fait de la concentration des écoulements dans le lit. En effet, les débordements sont assez limités dans ce secteur.

De Saint Georges à Chaoué, la ligne d'eau est fortement influencée par le pont de la Raterie. Des débordements en rive gauche sont simulés.

De Chaoué au centre d'Arnage, les débordements sont limités à la rive gauche dans la zone industrielle où les hauteurs d'eau sont faibles. Le quartier de la Gautrie est aussi inondé.

A Arnage, la Sarthe inonde indirectement une partie du centre par l'intermédiaire du ruisseau du Roule Crotte qui ne peut plus évacuer ces eaux. Les eaux s'accumulent le long de l'avenue de la Paix.

En aval d'Arnage, les débordements sont principalement localisés en rive droite.

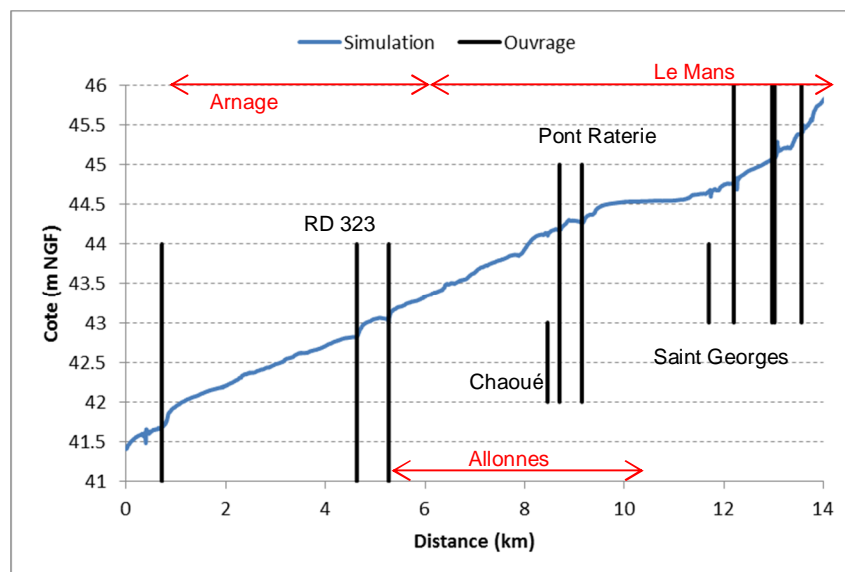


Figure 35 : Profil en long de la Sarthe aval pour la crue centennale

## 5.6 ANALYSE DE SENSIBILITE

### 5.6.1 SENSIBILITE AU CONTROLE AVAL

Pour tester la sensibilité du modèle au contrôle aval, il a été réalisé une simulation complémentaire de la crue centennale où la condition aval a été abaissée de 20 cm.

Cet abaissement est rapidement amorti, puisque en amont du pont de la RD 323 à Spay (à 800 m de l'aval du modèle) l'écart entre les deux simulations de la crue centennale est réduit à 12 cm. Au pont de la RD 323, l'écart est de 4 cm et il est nul au barrage de Chaoué.

**Cette simulation montre que le modèle est peu sensible à sa condition aval** du fait de la présence du pont de Spay qui contraint fortement les écoulements de la Sarthe à Arnage (perte de charge de 30 cm).

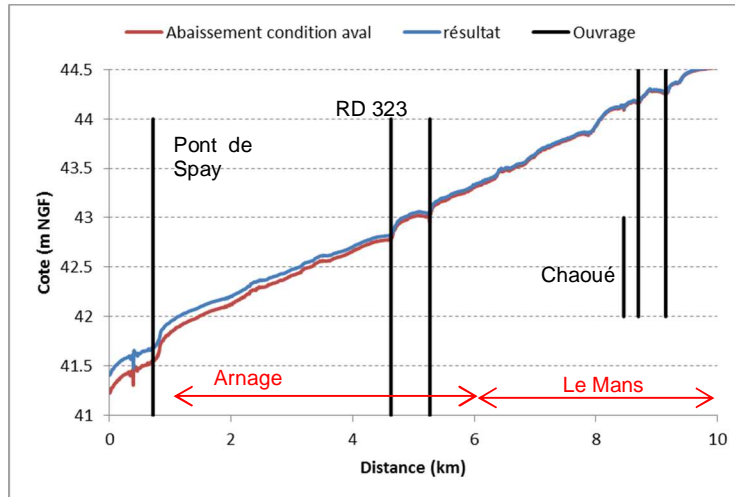


Figure 36 : Profil en long de la Sarthe aval

### 5.6.2 SENSIBILITE AU DEBIT

Pour analyser la sensibilité du modèle aux débits il a été extrait sur 10 points, la relation hauteur/débit (cf. tableau ci-après) en crue. On constate que pour une variation du débit de 10 m<sup>3</sup>/s, la ligne d'eau évolue de 5 à 10 cm. Les évolutions les plus faibles sont constatées dans les secteurs où la zone inondable est très large (Arnage et Abbaye de l'Epau).

Sarthe	Evolution de la ligne d'eau pour 10 m <sup>3</sup> /s	Huisne	Evolution de la ligne d'eau pour 10 m <sup>3</sup> /s
Saint Pavace	10 cm	Yvré l'Evêque	7 cm
Coulaines	9 cm	Abbaye Epau	5 cm
Yssoir	8 cm	Pontlieue	11 cm
Riffaudière	8 cm	Batignolles	10 cm
Zi-sud	7 cm		
Arnage	6 cm		

Tableau 40 : Ecart simulé

Si on considère une incertitude de 10 % sur le débit centennal, cela représente une marge d'erreur de

- 40 cm environ sur la Sarthe amont (48 m<sup>3</sup>/s) ;
- 12 à 23 cm sur l'Huisne (23 m<sup>3</sup>/s) ;
- 39 cm sur la Sarthe aval (55 m<sup>3</sup>/s).

### 5.6.3 SENSIBILITE AU COEFFICIENT DE RUGOSITE

La sensibilité au coefficient de Strickler a été testée en diminuant le coefficient de frottement (ce qui augmente la rugosité) de 10% sur l'ensemble du modèle. Dans cette nouvelle simulation la ligne d'eau est augmentée de 15 à 30 cm sur l'ensemble du modèle. L'augmentation est la plus forte dans le secteur de la confluence Sarthe Huisne.

Les coefficients de rugosité ont été calés sur plusieurs crues historiques (1995,1999 et 2001) ce qui fiabilise l'estimation du coefficient de frottement et donc réduit fortement l'incertitude sur les valeurs retenues.

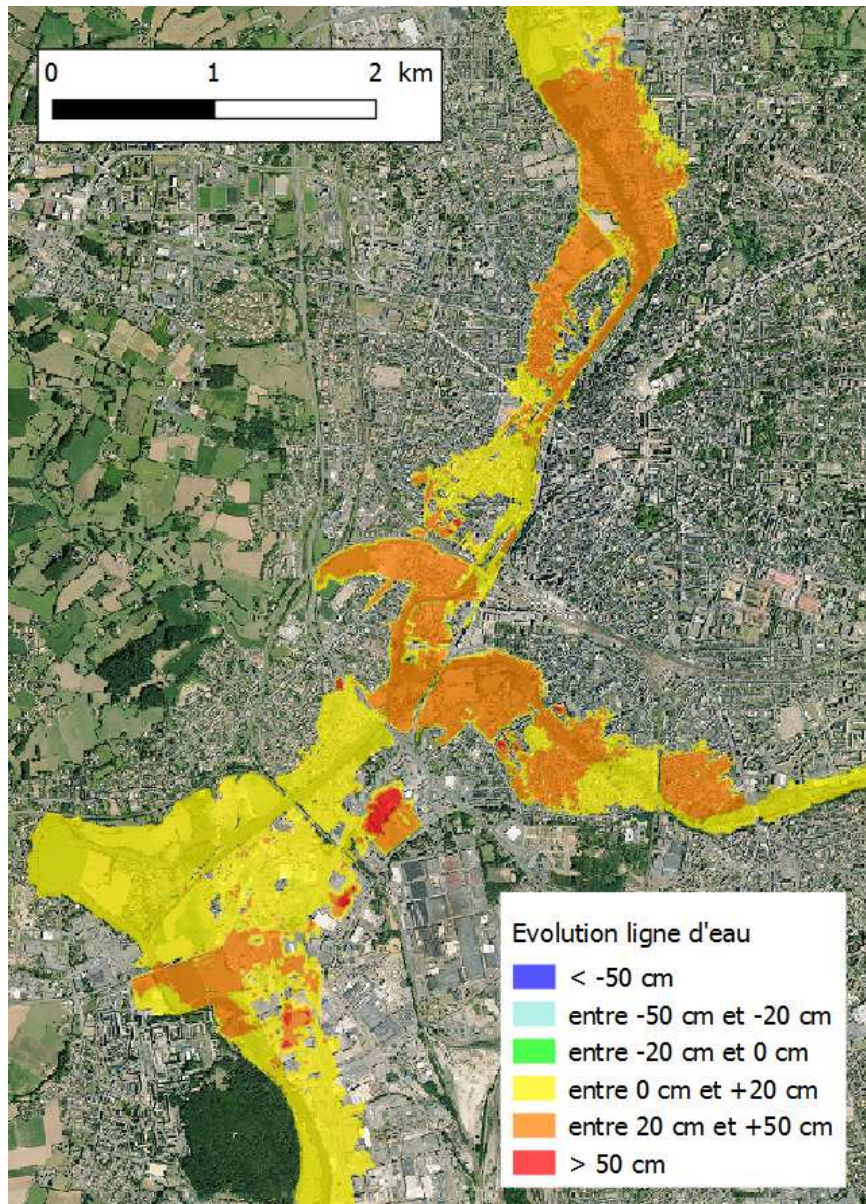


Figure 37 : Impact de l'abaissement du coefficient de frottement de 10%

#### 5.6.4 CONCLUSION

L'analyse de sensibilité a été réalisée sur trois paramètres :

- **Pour le coefficient de frottement**, l'impact d'une variation de 10% est significatif (jusqu'à 30 cm) mais **le calage du modèle a permis de réduire l'incertitude sur la valeur retenue** ;
- **Pour la condition aval, l'emplacement de la limite aval réduit fortement l'influence de cette condition**. De plus, la courbe de tarage utilisée pour la condition aval est issue des mesures sur la station hydrométrique ce qui la fiabilise ;
- **Pour le débit, l'incertitude est plus grande** sur les débits centennaux. Cette incertitude a des conséquences significatives sur les niveaux d'eau sur la Sarthe (40 cm d'évolution pour une évolution de débit de 10%). Par contre, les niveaux sur l'Huisne sont moins impactés.

## 5.7 COMPARAISON AVEC LES RESULTATS PRECEDENTS

La comparaison des résultats porte sur les modèles des PPRI actuels, le modèle du TRI (qui est issu du modèle de cohérence recalé) et le modèle 2D mis en place pour cette étude. Il sera appelé modèle TELEMAT.

### 5.7.1 COMPARAISON SUR LE CALAGE DE LA CRUE DE 1995

Les trois modèles ont été principalement calés sur la crue de 1995. La comparaison des différents calages est délicate car il n'a pas été utilisé le même nombre de repères de crue. Le modèle TELEMAT étant le plus complet il a été utilisé tous les repères identifiés. Les modèles précédents n'en ont utilisé qu'une partie.

Il a donc été réalisé une comparaison des modèles précédents par rapport au nouveau modèle sur la base des repères utilisés dans les premiers modèles (cf. tableau ci-après). On constate que les modèles des PPRI (le Mans et Saint Pavace) étaient bien calés avec des écarts moyens de 7 à 8 cm. Le modèle TELEMAT atteint les mêmes performances sur ces 39 repères de crues.

Par rapport au modèle utilisé dans le TRI on note une amélioration de la qualité du calage.

Résultat	Nombre de PHE utilisée	Ecart moyen (cm)	Ecart moyen du modèle TELEMAT sur les mêmes PHE (cm)
Modèle PPRI Saint Pavace	11	7	7
Modèle PPRI du Mans/ Arnage, Yvré l'Evêque, Coulaines	28	8	9
TRI	38	13	7

Tableau 41 : Ecartés simulés sur la crue de 1995

#### 5.7.1.1 Sarthe amont

Sur la Sarthe amont on distingue deux secteurs :

- Le secteur de Saint Pavace-Coulaines où les trois modèles (PPRI, TRI et TELEMAT) simulent des lignes d'eau équivalentes (écart de l'ordre de 10 cm). Ceci s'explique par le fait que les PHE sont nombreuses et qu'il a été utilisé les mêmes repères entre les trois modèles.
- Le secteur de la commune du Mans avec des écarts entre les modèles jusqu'à 30 cm. Les écarts s'expliquent par la présence de nombreux ponts qui induisent des pertes de charges. Or ces pertes de charges ne sont pas prises en compte de la même façon entre chaque modèle. le modèle du PPRI est notamment perfectible sur ce secteur où la cote modélisée à l'écluse des Planches est 20 cm en dessous du niveau mesuré.

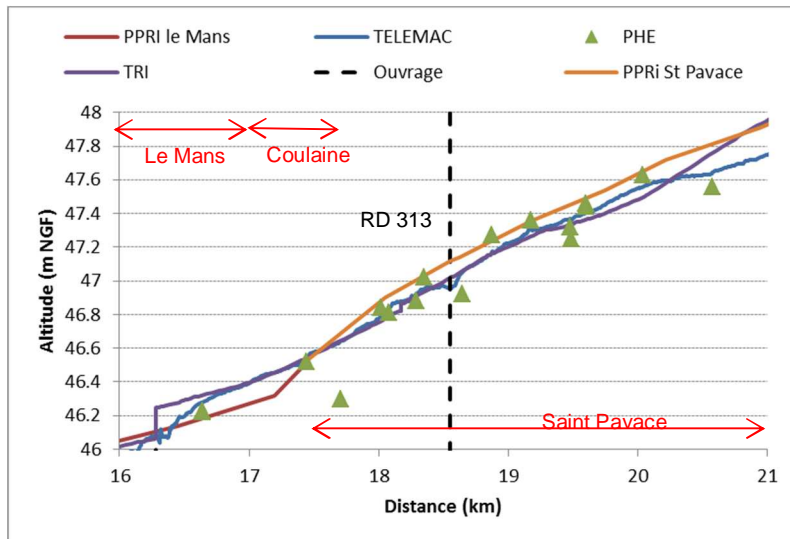


Figure 38 : Simulation de la crue de 1995 sur Saint Pavace-Coulaines

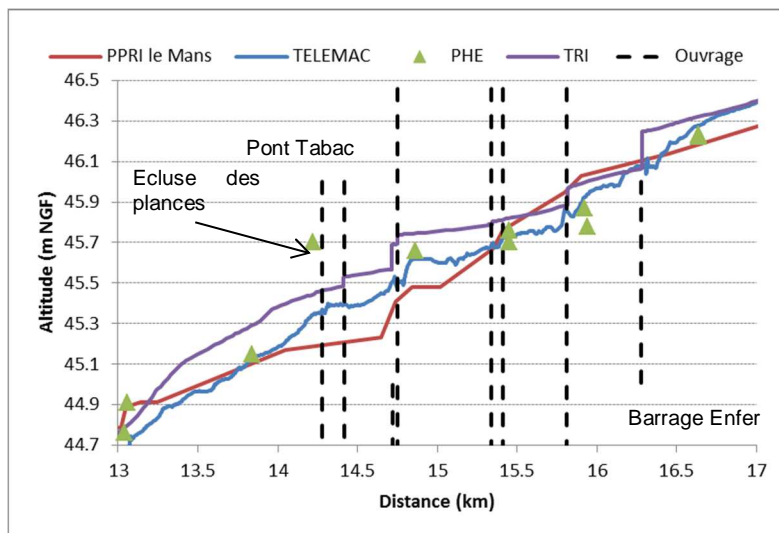


Figure 39 : Simulation de la crue de 1995 sur la Sarthe amont

### 5.7.1.2 Huisne

Sur l'Huisne au Mans, les principaux écarts sont constatés sur l'extrême aval (en aval du pont SNCF). Le modèle du TRI semble particulièrement sous-estimatif dans ce secteur. L'absence de prise en compte dans les modèles précédents des travaux sur le boulevard Demorieux peut expliquer en partie les écarts constatés.

En amont du pont de la voie ferrée les écarts entre les modèles sont non significatifs (< 10 cm).

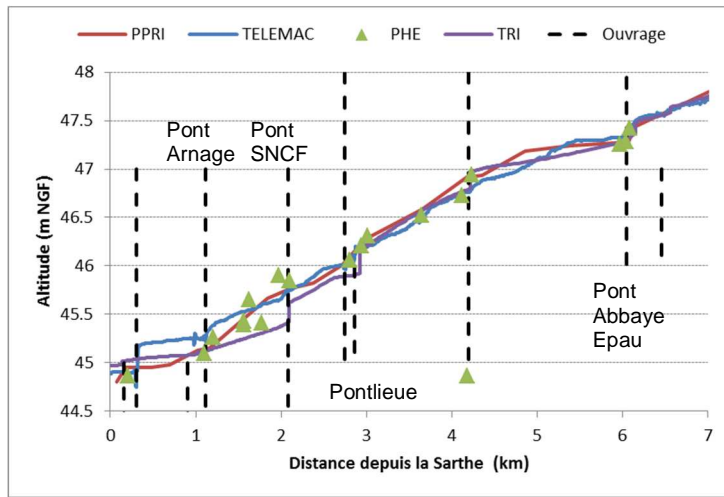


Figure 40 : Simulation de la crue de 1995 sur l'Huisne

Sur l'Huisne à Yvré l'Evêque (aval pont A28), les modèles donnent des résultats équivalents. Le TRI semble majorant sur la partie en amont du centre d'Yvré l'Evêque (amont du pont de la Chicotière).

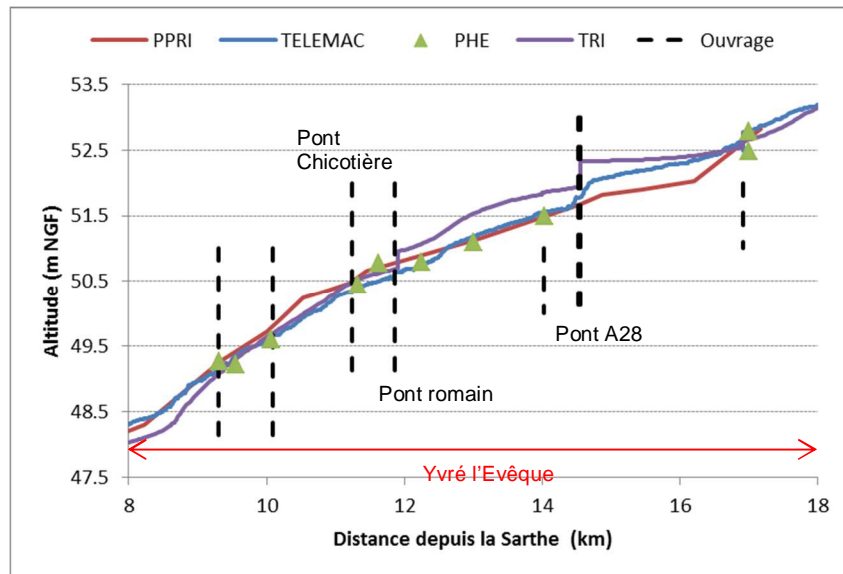


Figure 41 : Simulation de la crue de 1995 sur l'Huisne

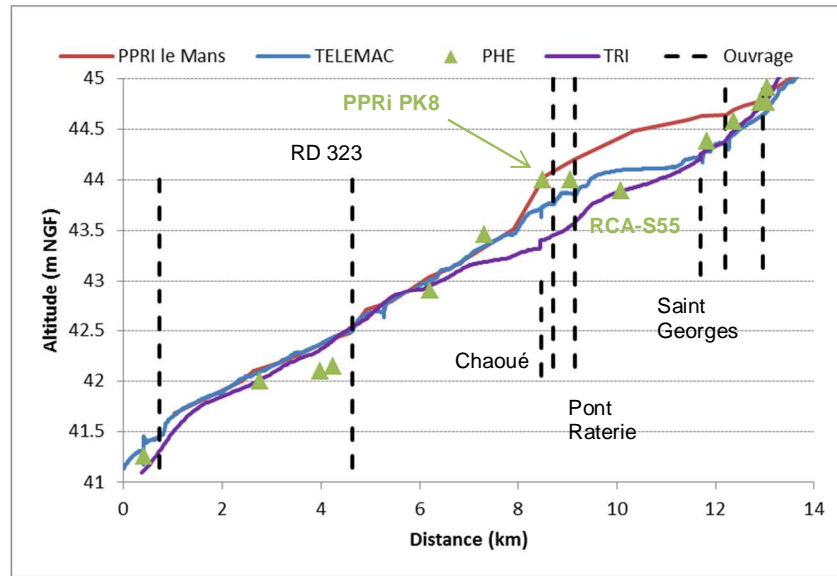
5.7.1.3 Sarthe aval

Les modèles simulent des lignes d'eau similaires en aval du barrage de Chaoué par contre des écarts importants sont simulés entre Saint Georges et Chaoué. Ces écarts s'expliquent en partie par les PHE retenues pour le calage.

Dans le PPRi la seule PHE utilisée est celle appelée PPRI PK8 qui est relativement haute par rapport aux autres PHE à proximité. Elle implique aussi une perte de charge importante au niveau du barrage de Chaoué (50 cm environ). Dans le TRI seule la PHE RCA-S55 est utilisée. Les lignes d'eau obtenues sont le résultat de ces calages.



**Dans cette étude (modèle TELEMAC) il est obtenu une simulation intermédiaire minimisant l'écart sur l'ensemble des PHE.**



**Figure 42 : Simulation de la crue de 1995 sur la Sarthe aval**

#### 5.7.1.4 Conclusion

Sur environ 2/3 du linéaire modélisé, les trois modèles simulent des lignes d'eau similaires (écart < 10 cm). Sur le tiers restant (Yssoir à ile aux Planches, Chaoué à Saint Georges, aval pontlieue) les écarts sont liés :

- A des PHE différentes retenues pour le calage (Chaoué à Saint Georges) ;
- Au calcul des pertes de charge au droit des ouvrages (Yssoir à ile aux Planches) quand ils sont proches ;
- A la non prise en compte de travaux en extrême aval de l'Huisne.

Le modèle TELEMAC constitue une évolution importante de la qualité du calage par le nombre important de PHE utilisées (70 repères pour 1995) et par sa capacité à calculer finement les pertes de charge sur les rétrécissements provoqués par les ouvrages.

#### 5.7.2 COMPARAISON DES RESULTATS DES ETUDES PRECEDENTES POUR LA CRUE CENTENNALE

Contrairement aux simulations de la crue de 1995 où les débits retenus sont identiques, les débits de crue centennale sont différents entre chaque étude. Le tableau ci-après indique les débits retenus dans chaque étude.

Sur la Sarthe les débits du TRI sont globalement plus importants que dans le PPRi actuel. Sur l'Huisne c'est le contraire.

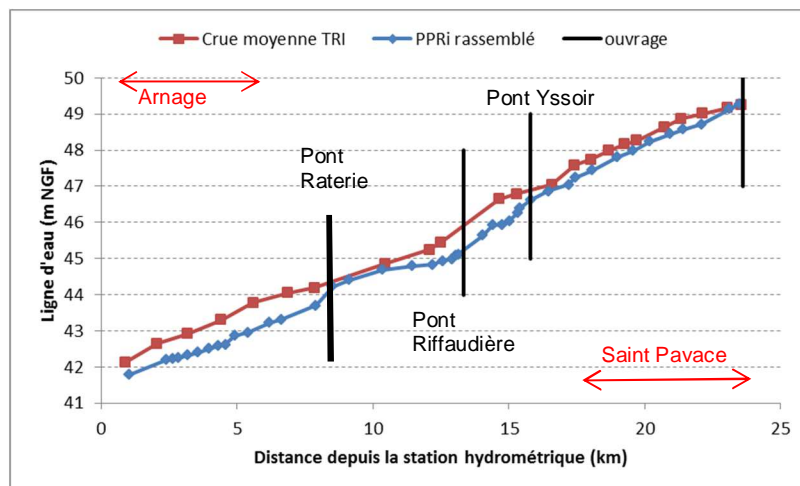
Les débits retenus dans le modèle TELEMAC sont sur la Sarthe équivalents au TRI. Sur l'Huisne le débit retenu est situé entre les débits du PPRi et du TRI.

Bassin versant	Débit centennal (m <sup>3</sup> /s)		
	PPRI actuel	TRI	retenu
La Sarthe à Montreuil	420	450	<b>455</b>
La Sarthe amont au Mans (Yssoir)	423	469	<b>480</b>
L'Huisne à la Pécardière	192	200	<b>205</b>
L'Huisne au Mans (Pontlieue)	242	200	<b>235</b>
La Sarthe aval au Mans (Saint Georges)	500	545	<b>549</b>
La Sarthe à Spay	500	580	<b>560</b>

**Tableau 42 : Comparaison des débits pris en compte dans les études précédentes**

Pour la crue centennale, les cotes du TRI sont globalement supérieures aux cotes du PPRI. On distingue sur ce secteur :

- L'aval du pont d'Yssoir où les cotes du TRI sont environ 60 à 80 cm au-dessus des cotes du PPRI (à l'exception du secteur amont du pont de la Raterie). Ceci s'explique par des débits plus importants pris en compte dans l'étude hydraulique du TRI (45 m<sup>3</sup>/s) ;
- L'amont du pont d'Yssoir, où les écarts sont de l'ordre de 40 cm entre les deux modèles. Ce plus faible écart malgré des débits différents peut s'expliquer par le calage des modèles. La ligne d'eau simulée par le modèle du TRI pour la crue 1995 est inférieure à la ligne d'eau simulée dans les PPRI.



**Figure 43 : Ligne d'eau simulée sur la Sarthe dans le PPRI actuel et dans l'étude du TRI**

Pour l'Huisne, les résultats sont étonnants car le modèle du TRI simule une ligne d'eau plus élevée que les PPRI actuels malgré un débit plus faible.

Pour comprendre ce résultat il est possible de distinguer

- L'amont du modèle (au droit de l'A28). Sur ce secteur la ligne d'eau du modèle du TRI pour la crue de 1995 était largement plus élevée que la ligne d'eau des modèles des PPRI actuels. L'écart se retrouve donc aussi pour la crue centennale ;
- Pour l'aval du pont de l'Abbaye de l'Epau, l'écart peut s'expliquer par le contrôle aval de la Sarthe car la ligne d'eau simulée dans la Sarthe par le TRI est supérieure à la ligne d'eau modélisée par les PPRI.

On notera qu'à Yvré l'évêque (PK 9 à 12), les lignes d'eau simulées sont identiques

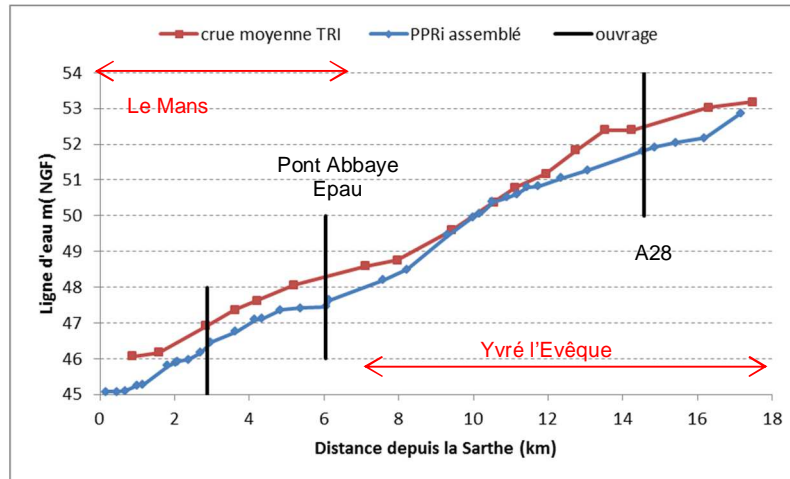


Figure 44 : Ligne d'eau simulée sur l'Huisne dans PPRI le actuel et dans l'étude du TRI

### 5.7.3 COMPARAISON DES CRUES CENTENNALES

Dans ce paragraphe les lignes d'eau simulées par les trois modèles sont comparées sur chaque tronçon.

#### 5.7.3.1 Sarthe amont

**De l'amont du modèle à Saint Pavace** (RD313 ou rocade), les trois modèles simulent des lignes d'eau présentant un écart de 50 cm maximum. Cet écart semble avoir un impact limité sur l'emprise des zones inondables à l'exception de l'amont immédiat de la RD 313.

Sur ce secteur, le modèle TELEMAC 2D donne des lignes d'eau plus élevées que les deux autres modèles. Ceci s'explique par une meilleure prise en compte du remous provoqué par le pont. De manière générale les modèles 2D prennent mieux en compte les impacts des remblais en champ majeur.

**A Coulaines** (RD 313 au barrage d'enfer) le TRI et le modèle TELEMAC 2D donnent des résultats équivalents (le modèle TELEMAC 2D est plutôt au dessus du modèle du TRI). Le modèle du PPRI, avec des débits plus faibles, donne des lignes d'eau et des emprises de zone inondable plus faibles.

**Du barrage d'enfer à la confluence Sarthe Huisne.** La ligne d'eau simulée par le modèle 2D est intermédiaire entre le TRI et le PPRI actuel. Ceci est la même configuration que le calage. Les écarts s'expliquent donc par ce calage.

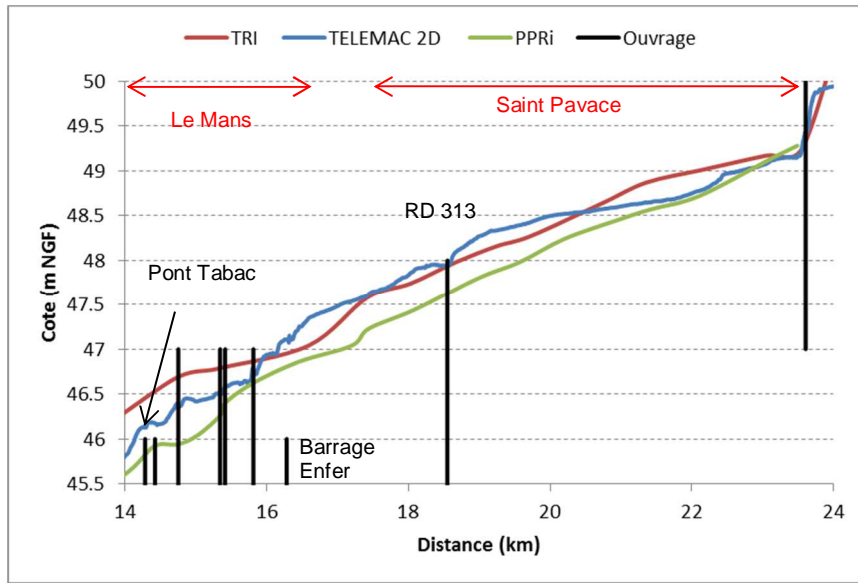


Figure 45 : Comparaison des crues centennales modélisées

5.7.3.2 Huisne

Sur la commune d'Yvré l'Evêque, il est obtenu les mêmes résultats sur les trois modèles. Ceci est logique pour le PPRI et le modèle 2D car les débits sont proches. Par contre les débits du TRI sont sensiblement inférieurs, ce qui souligne le caractère majorant du modèle du TRI.

Dans la traversée du Mans, les résultats des trois modèles sont différents (écart de 1m) alors que pour la crue de 1995, ils étaient proches. L'écart pourrait s'expliquer par les niveaux dans la Sarthe à la confluence. En effet, la Sarthe réalise un contrôle aval important sur l'Huisne jusqu'au pont de l'abbaye de l'Epau.

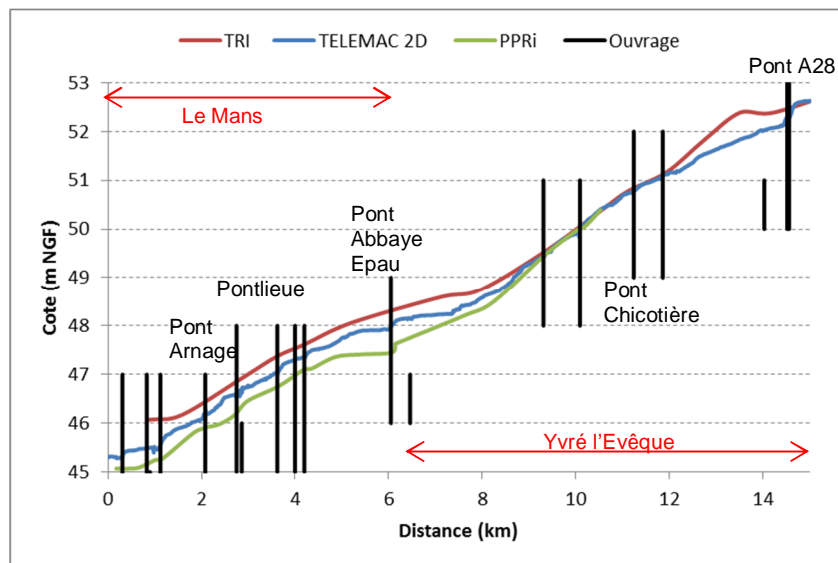


Figure 46 : Comparaison des crues centennales modélisées sur l'Huisne

### 5.7.3.3 Sarthe aval

Sur ce tronçon, le modèle du TRI est aussi sur-estimatif. Les lignes d'eau simulées à l'aide de TELEMAC 2D et celles issues PPRI sont proches (écart de 20 cm maximum) malgré un débit supérieur de 60 m<sup>3</sup>/s. Les emprises des zones inondables du modèle TELEMAC sont encadrées par les deux autres modèles.

On notera néanmoins qu'au droit de Chaoué et Saint Georges la ligne d'eau simulée par le modèle TELEMAC est inférieure à la ligne d'eau du PPRI actuel. Ceci peut s'expliquer par la modernisation des barrages sur ce secteur.

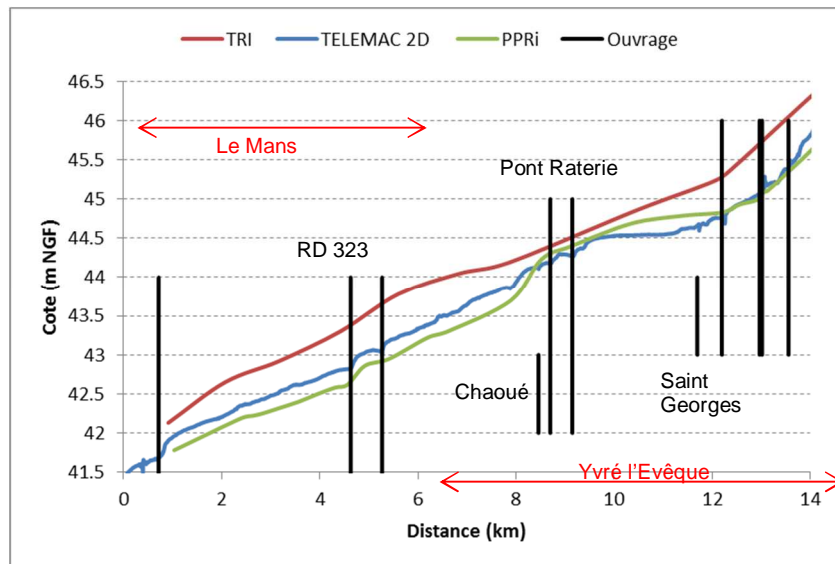


Figure 47 : Comparaison des crues centennales modélisées sur la Sarthe aval

### 5.7.3.4 Conclusion

Les nouvelles emprises des zones inondables centennales sont globalement situées entre les emprises actuelles des PPRI et l'emprise de la crue moyenne du TRI.

Le modèle du TRI semble sur-estimatif dans les comparaisons effectuées sur chaque tronçon.

Les modèles de PPRI semblent avoir un comportement similaire au modèle 2D. En effet, l'écart entre les deux modèles s'explique par la prise en compte de débits plus importants sur la Sarthe. Sur l'amont de l'Huisne, pour des débits équivalents, les lignes d'eau sont similaires.

On notera néanmoins deux exceptions :

- Le secteur de Chaoué à l'île aux Planches où les aménagements réalisés conduisent à avoir une ligne d'eau centennale équivalente à celle du PPRI malgré l'augmentation du débit ;
- Le secteur de Coulaines-Saint Pavace, où l'effet d'entonnement en amont du barrage d'Enfer et la perte de charge du pont de la RD 323 sont mieux simulés ce qui augmente significativement la ligne d'eau centennale.

## 5.8 SIMULATION COMPLEMENTAIRES DE LA CRUE DE PERIODE DE RETOUR DE 1000 ANS

### 5.8.1 DEBIT RETENUS

Pour les besoins de l'étude, il a été réalisé des simulations complémentaires de la crue de période de retour de 1000 ans. Le tableau ci-dessous indique les débits entrant pour chaque simulation. L'enveloppe de crue millénale sera caractérisée à partir de l'enveloppe maximale des 2 simulations.

N°	Description	Débit Sarthe	Débit affluent Sarthe	Débit Huisne	Débit affluent Huisne
1	Crue 1000 ans Sarthe	704	39m <sup>3</sup> /s sur l'Antonnière 20 m <sup>3</sup> /s sur le Roule Crotte	308	-
2	Crue 1000 ans Huisne	545	25 m <sup>3</sup> /s sur l'Antonnière 20 m <sup>3</sup> /s sur le Roule Crotte	407	40 m <sup>3</sup> /s sur la Vive Parence 20 m <sup>3</sup> /s sur le Narais

Tableau 43 : Débits entrants utilisés dans le modèle

### 5.8.2 RESULTATS

La simulation de la crue de période de 1000 ans, donne des résultats proches des lignes d'eau calculée pour la crue extrême du TRI. Par rapport à la crue centennale la surcote est de l'ordre de 0.6 à 1.6 m.

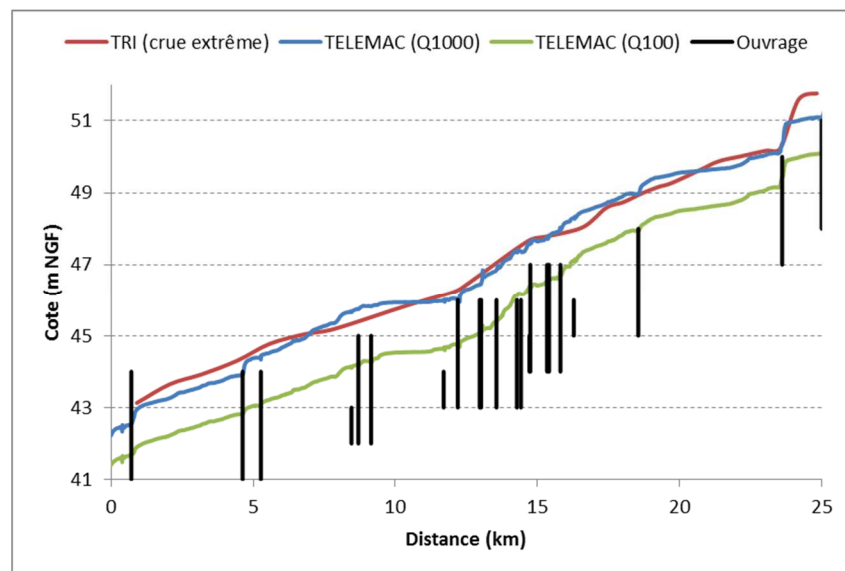


Figure 48 : Simulation sur la Sarthe de la crue de période de 1000 ans

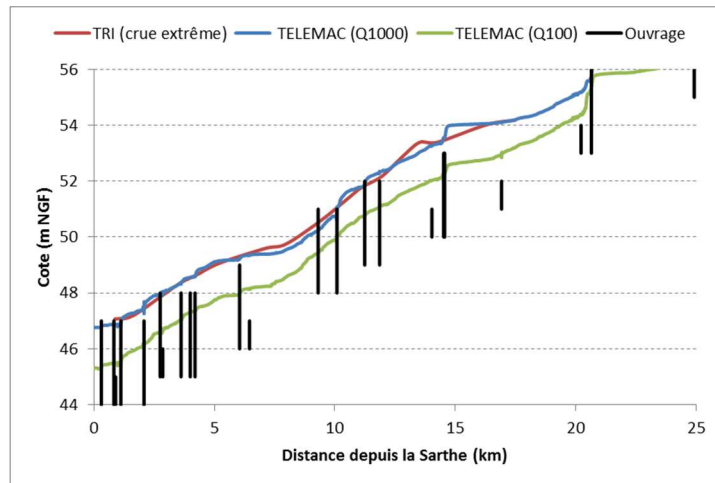


Figure 49 : Simulation sur l'Huisne de la crue de période de 1000 ans

En analysant les emprises des zones inondables, il est constaté par rapport à la simulation de la crue centennale :

- Des débordements en rive gauche en aval de l'A11.
- La faible évolution de l'emprise à Saint Pavace ;
- L'augmentation de 100 m environ de l'emprise de la zone inondable sur Coulaines ;
- Sur le Mans, les débordements en rive droite en aval du barrage d'enfer sont généralisés du fait de la submersion de l'avenue François Chancel. A contrario, la rive gauche reste hors d'eau jusqu'à la confluence avec l'Huisne ;
- La ZI industrielle sud du Mans est fortement inondée du fait de l'augmentation des débordements en rive gauche de la Sarthe de la confluence avec l'Huisne jusqu'à la commune d'Arnage ;
- A Allonnes, le centre commercial au droit du pont de la Raterie est inondé ;
- A Arnage, les écoulements du Roule Crotte bloqués par le niveau de la Sarthe induisent un débordement important le long de l'avenue de la liberté puis sur le ruisseau des Matfeux.
- Sur l'Huisne à Yvré-l'Evêque le quartier du logis de l'Huisne en rive droite est totalement inondé alors qu'il était hors d'eau pour la crue centennale ;
- Sur l'Huisne au Mans la rive droite entre l'Huisne et la voie SNCF (quartier des Sablons notamment) est totalement inondée jusqu'au gué de Maulny.

**Les communes de le Mans et Arnage, sont les plus sensibles à une augmentation du débit par rapport à la crue centennale :** Le nombre d'enjeux touchés augmente rapidement avec le débit au-delà de la crue centennale.

## 5.9 ANALYSE DES RISQUES DANS LES ZONES PROTEGEES PAR LES DIGUES

Sur la commune du Mans, trois systèmes d'endiguement ont été récemment mis en place :

- La digue du quartier Crétois qui protège la rive droite de l'Huisne entre Pontlieue et la voie SNCF ;
- La digue du quartier Australie en rive gauche de la Sarthe entre le pont SNCF et la confluence avec l'Huisne ;
- La digue du quartier Heuzé qui protège la rive droite en face de la digue du quartier Australie.

Pour étudier l'impact de ces digues sur les lignes d'eau il a été analysé les études de Dangers de Dignes (EDD).

Il faut noter que toutes les digues sont dimensionnées pour surverser pour une crue supérieure à la crue de 1995. En crue centennale, toutes les zones protégées sont donc inondées.

### 5.9.1 CRETOIS

L'étude de dangers du quartier Crétois indique qu'après déversement, le niveau d'eau dans la zone inondée est égale à la cote du lit mineur au droit du déversoir et au maximum 30 cm inférieur au niveau du lit mineur au droit du pont de Ponlieue (amont de la zone protégée). Dans le modèle TELEMAC utilisé pour l'étude en cours, l'écart de ligne d'eau est plutôt de 40 cm entre le lit mineur et la zone protégée.

En cas de surverse, la zone protégée est selon l'EDD inondée en 17h.

La ligne d'eau centennale arrive au niveau de la crête de digue. La hauteur moyenne de la digue est de 1.3m avec un maximum de 1.8 m.

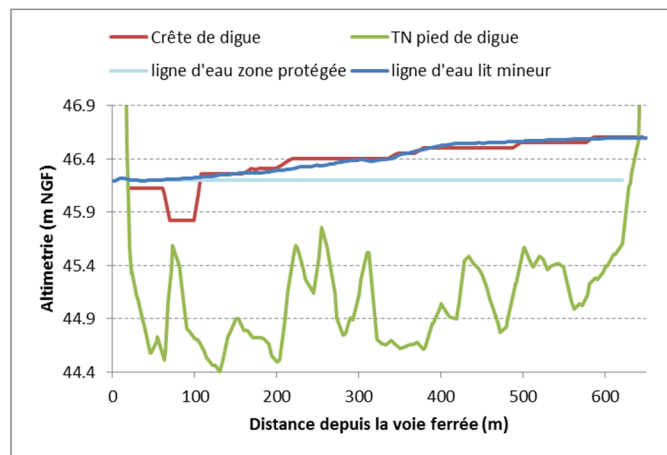


Figure 50 : Profil en long en crue centennale autour de la digue du quartier Crétois

Les simulations de brèches montrent que la brèche la plus préjudiciable est une brèche en amont du système d'endiguement. En cas de brèche, les vitesses fortes (> 1m/s) ne sont simulées que sur une longueur de 20 m maximum (quelque soit la largeur de la brèche testée).

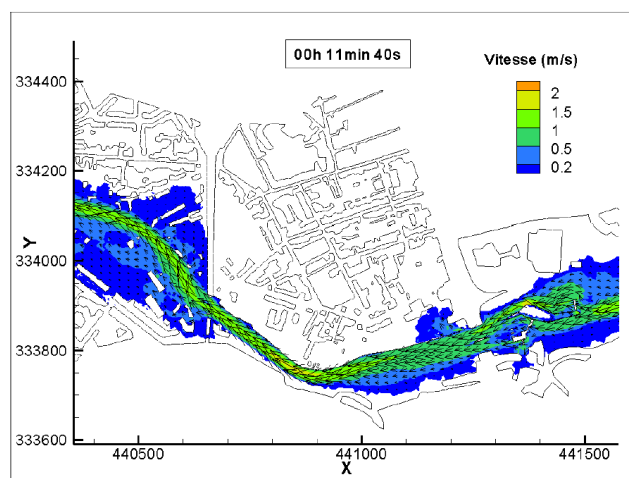


Figure 51 : Simulation de brèche sur l'amont du quartier crétois (source EDD de la digue)



### 5.9.2 QUARTIER AUSTALIE

La digue est sur ce secteur surtout marquée sur l'aval au droit de la passerelle sur la Sarthe où la hauteur de la digue atteint 3 m au maximum.

Pour une crue centennale, le déversoir est en fonctionnement. A l'image des résultats de l'EDD, le quartier est en équilibre avec la rivière en 11 h. On notera néanmoins que sur l'amont, la digue surverse largement, la ligne d'eau dans la zone protégée est donc très proche de la ligne d'eau du lit mineur de la Sarthe.

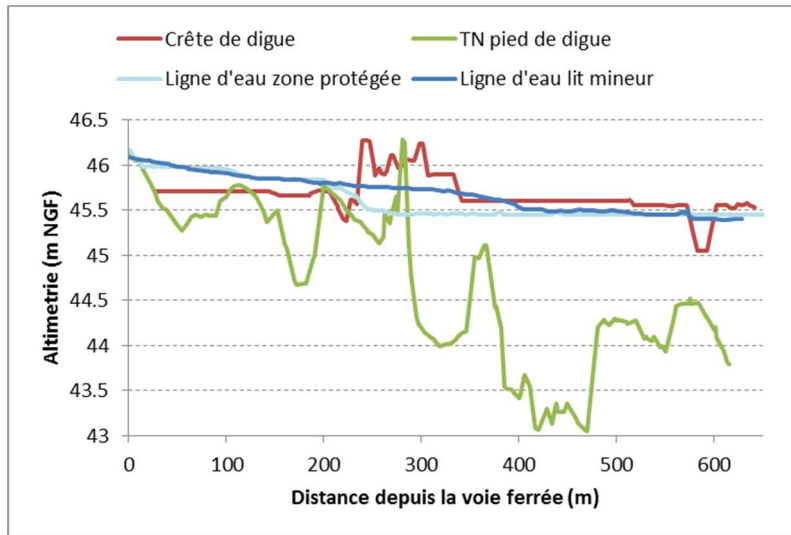


Figure 52 : Profil en long en crue centennale autour de la digue du quartier Australie

Dans l'EDD, il a été simulé deux scénarios de brèches de 20 m de large. La carte de l'enveloppe maximale de l'aléa est indiquée ci-dessous. Elle met en évidence une zone importante de fortes vitesses (supérieur à 1 m) qui s'explique par la hauteur de la digue.

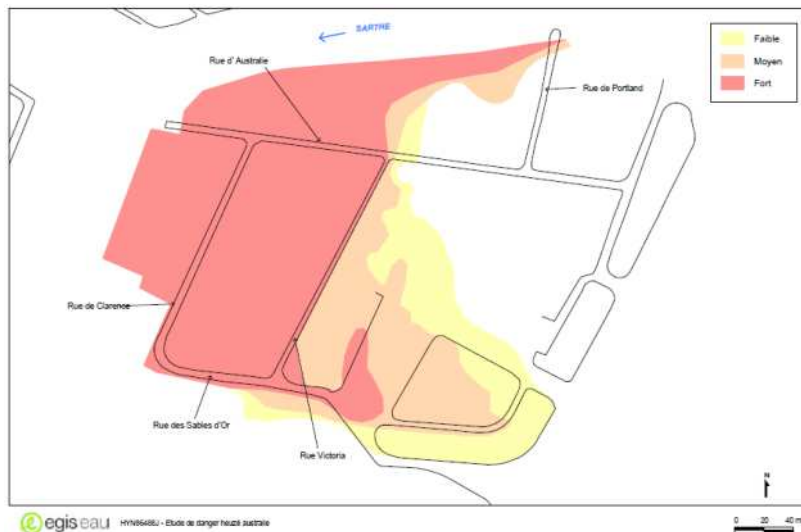


Figure 53 : Carte de synthèse des aléas (source : EDD)

### 5.9.3 QUARTIER HEUZE

La hauteur de digue moyenne est de 0.8 m environ avec un maximum de 1.6 m au centre du système d'endiguement.

Comme pour le quartier Australie, pour une crue centennale, le déversoir est en fonctionnement et la zone protégée est inondée en 11 h. De plus, la digue est totalement surversée pour une crue centennale, ce qui induit un niveau d'eau dans la zone protégée assez proche de la ligne d'eau du lit mineur.

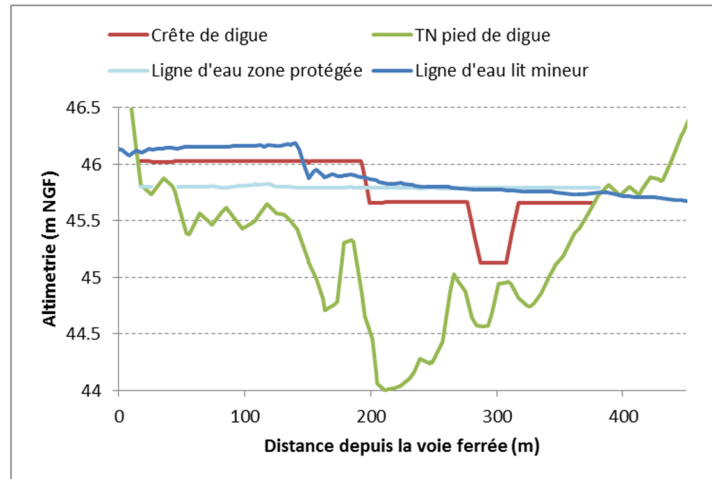


Figure 54 : Profil en long en crue centennale autour de la digue du quartier Heuzé

Pour cet endiguement, 3 scénarios de rupture ont été simulés mettant en évidence (cf. figure ci-après) des vitesses importantes en cas de rupture (zone d'aléa fort en rouge).

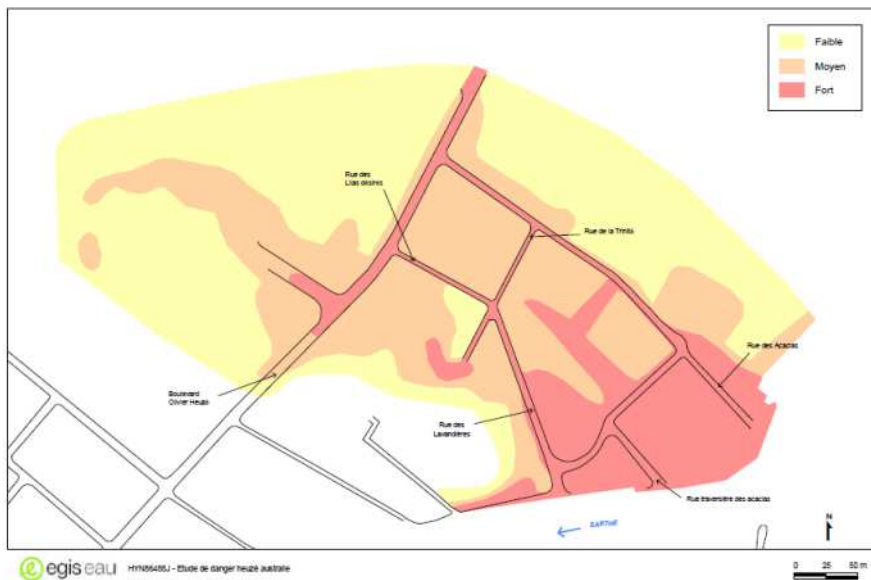


Figure 55 : Carte de synthèse des aléas (source : EDD)

## 6 ANALYSE DES ENJEUX

### 6.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE

Les objectifs de l'analyse des enjeux sont triples :

- Identifier les zones urbanisées et les zones d'expansion des crues. Ces zones sont différenciées pour le zonage du PPR1 ;
- Détailler à l'intérieur des zones urbanisées les différents types d'enjeux pour identifier les plus sensibles et mieux gérer les situations de crise ;
- Préciser la typologie d'habitat en zone inondable pour anticiper les mesures de réduction de la vulnérabilité.

Pour définir les sous-ensembles des zones urbanisées, il a été utilisé la nomenclature du standard COVADIS pour les PPR. Ces classes sont :

- Espace urbanisé ;
- Etablissement recevant du public ;
- Espace économique ;
- Espace ouvert recevant du public ;
- Infrastructure de transport ;
- Ouvrage ou équipement d'intérêt général ;
- Enjeu environnemental ou patrimonial.

Les enjeux sont identifiés dans un premier temps dans l'enveloppe du modèle hydraulique. Dans un second temps ces enjeux sont croisés avec les aléas.

Les enjeux sont cartographiés sur les cartes n°6.

### 6.2 DETERMINATION DE L'OCCUPATION DES SOLS

#### 6.2.1 CATEGORIES TRAITÉES

Au vu du triple objectif de l'analyse des enjeux, les zones urbanisées ont été découpées en un ensemble de sous zones :

- **Zone d'habitat collectif** (assimilé au code 0101 de la base COVADIS) ;
- **Zone d'habitat individuel de type résidentiel** plus ou moins dense (code 0102) ;
- **Zone d'habitat temporaire** en bordure de rivière (code 0106) ;
- **Zone d'habitat diffus** (code 0103) ;
- Zone économique avec les **Zones commerciales** (code 0301) **Zones industrielles** (code 0302) et **les campings** (code 0303) ;
- **Espace ouvert aux publics** tels que les terrains de sport, espaces touristiques et les cimetières ;
- **Equipement d'intérêt général** avec uniquement les postes électriques et les stations d'épuration.

Les zones non découpées sont considérées comme zones naturelles ou agricoles. Ainsi l'ensemble de la zone modélisée est couverte.

## 6.2.2 MODE DE DETERMINATION

### Habitat collectif

Cette classe couvre les secteurs où la majorité des bâtiments contient plusieurs logements. L'ensemble de la parcelle sur laquelle est inclus un bâtiment est considéré comme urbanisé sauf cas particulier traité dans le paragraphe 5.2.3. Les parkings attenants aux immeubles sont aussi intégrés dans la zone.

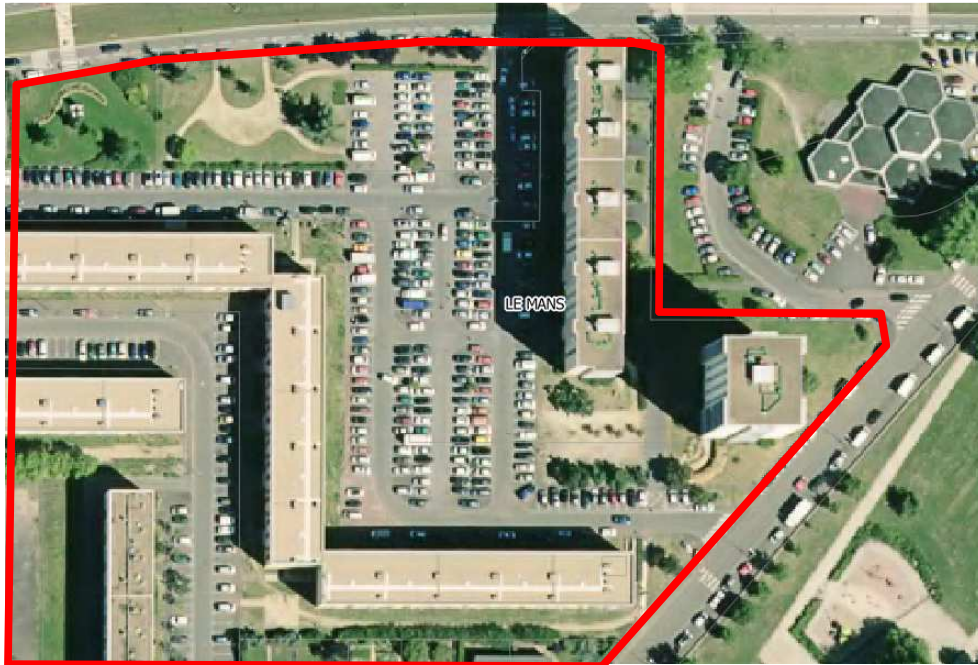


Figure 56 : Exemple de découpage de zone d'habitat collectif (les Sablons au Mans)

2 types principaux de bâtiments collectifs sont identifiables sur la zone d'étude :

- Les grands immeubles collectifs supérieurs à R+3. Ces logements sont surtout situés dans les quartiers des Sablons et Jean Jaurès au Mans. Quelques bâtiments sont situés à Coulaines et à Allonnes ;
- Le petit collectif comprenant peu d'étages et d'appartements. Ces logements sont surtout situés en rive droite de la Sarthe au Mans. Il faut noter que la distinction entre petit collectif, logement individuel et zone commerciale est parfois délicate à définir. Il a été retenu d'identifier des zones uniquement à partir de 5 bâtiments contigus du même type.

### Habitat individuel

Il est regroupé, dans la classe d'habitat individuel, les secteurs où chaque bâtiment correspond à un unique logement. Un minimum de 5 logements situés à moins de 50 m les uns des autres est nécessaire pour constituer un ensemble.

Sont regroupés dans cette classe :

- Les bâtiments mitoyens (figure 19) situés essentiellement au Mans ;
- L'habitat pavillonnaire constitué d'une habitation située au centre d'une parcelle (figure 50). Ce type d'habitat est visible sur les communes d'Arnage, Coulaines, Saint Pavace et dans une moindre mesure Yvré l'Evêque ;
- L'habitat peu dense constitué de grandes parcelles bâties. Ces types d'habitats éloignés des centres urbains sont surtout situés à Arnage et Yvré-L'Evêque ;



Figure 57 : Exemple de zone d'habitat individuel dense (Heuzé au Mans)



Figure 58 : Exemple de découpage de zone d'habitat individuel pavillonnaire (Heuzé au Mans)



**Figure 59 : Exemple de découpage de zone d'habitat (Arnage)**

Sur la figure ci-avant, il est clairement distingué la zone d'habitat au Sud avec au moins 5 parcelles bâties contiguës. Par contre les 4 habitations plus au Nord ne sont pas considérées comme incluses dans une zone d'habitat.

#### Habitat temporaire de bord de rivière

Il a été distingué dans cette étude les parcelles d'habitat temporaire. Cet habitat situé en bord de rivière est typique des bords de Sarthe. Il est composé d'anciennes cabanes de pêcheur parfois aménagées en bâti dur. Il a été retenu dans cette analyse que les zones considérées comme bâties (bâti léger ou dur) sur le cadastre.

Ce type d'habitat est identifié sur l'Huisne :

- Au hameau de la Couture à Yvré l'Evêque ;
- En aval immédiat du pont de la voie ferrée au Mans ;
- Au gué de Maulny (commune du Mans).

Sur la Sarthe, ce type d'habitat n'est visible que sur le méandre de la Sarthe en aval du barrage de Saint Georges.



Figure 60 : Exemple de découpage de zone temporaire (Sud du barrage de Saint Georges)

### Habitat isolé

L'habitat isolé constitué de 1 à 4 parcelles bâties contiguës, n'est pas spécifiquement identifié. Il est considéré comme zone naturelle.



Figure 61 : Exemple d'habitat isolé (Arnage)

### Zone industrielle

Les zones industrielles sont caractérisées en regroupant les bâtiments ainsi que tous les parkings attenants. 3 zones industrielles importantes sont identifiées : le secteur ZI Sud au Mans, l'extrême Sud de la commune de Saint Pavace (limitrophe à Coulainnes) et le Nord d'Arnage.

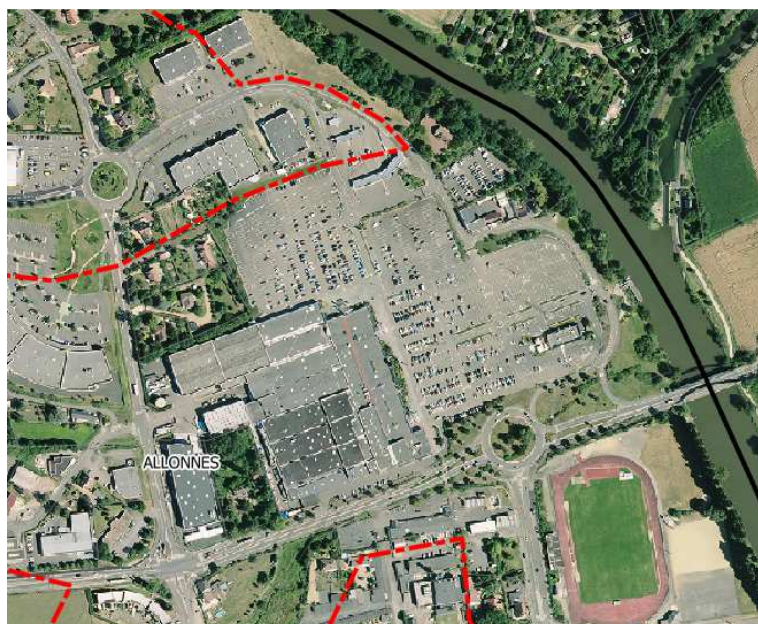


**Figure 62 : Exemple de zone industrielle (Zi Sud au Mans)**

### Zone commerciale

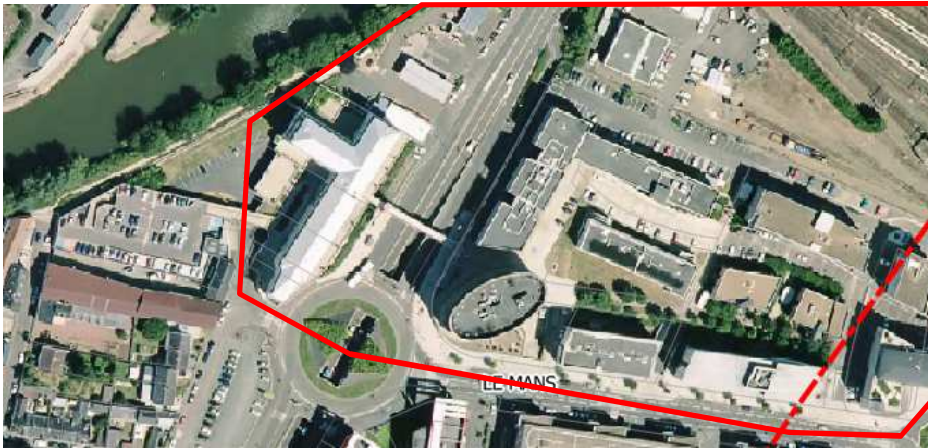
Ceci comprend toutes les zones d'activités hors activité industrielle. Il est donc notamment regroupé :

- Les surfaces commerciales ;
- Les bureaux ;
- Les administrations autres que les mairies.



**Figure 63 : Exemple de zone commerciale (Allonnes)**





**Figure 64 : Exemple de zone commerciale (Gare sud au Mans)**

### Autres zones économiques

Il est classé dans les autres zones économiques le camping d'Yvré l'Evêque ainsi que la capitainerie du port du Mans.

### Espaces ouverts au public

La zone d'espace ouvert au public couvre :

- Les équipements sportifs de plein air tel que des terrains de football et tennis ;
- Les plans d'eau aménagés ;
- Les musées ;
- Les cimetières.
- Le parc de loisir Papéa sur la commune d'Yvré l'Evêque

Ces espaces sont présents sur l'ensemble de la zone d'étude.

### Equipements d'intérêts général

Il a été identifié dans cette catégorie uniquement les gares et les stations d'épuration. Les autres équipements d'intérêts sont traités comme éléments ponctuels.

### ERP

Seuls les établissements éducatifs et religieux et les mairies (Arnage et Saint Pavace) sont repérés sous forme surfacique du fait de leur grande surface.

Les autres ERP sont indiqués sous forme d'éléments ponctuels. Ils sont généralement inclus dans les zones d'habitat ou commerciales.

### 6.2.3 TRAITEMENT DES CAS PARTICULIERS

#### Bâtiments situés sur une partie limitée de la parcelle

La logique générale de la délimitation de l'occupation des sols consiste à inclure l'ensemble des parcelles bâties. Néanmoins en zone péri-urbaine ou en zone industrielle, les parcelles sont généralement de grandes tailles et le bâti limité à une petite partie de la parcelle. Dans ce cas (comme pour l'exemple ci-après) la zone urbanisée est découpée visuellement à l'intérieur de la parcelle suivant deux principes :

- Soit la limite de la zone aménagée est clairement visible (haie, limite de parking, forêt). Dans ce cas le tracé de la zone urbanisée suit cette limite (cf. exemple ci-après) ;
- Soit il n'est pas identifié de limite évidente. Dans ce cas, la zone urbanisée est limitée à 30m autour des bâtiments.

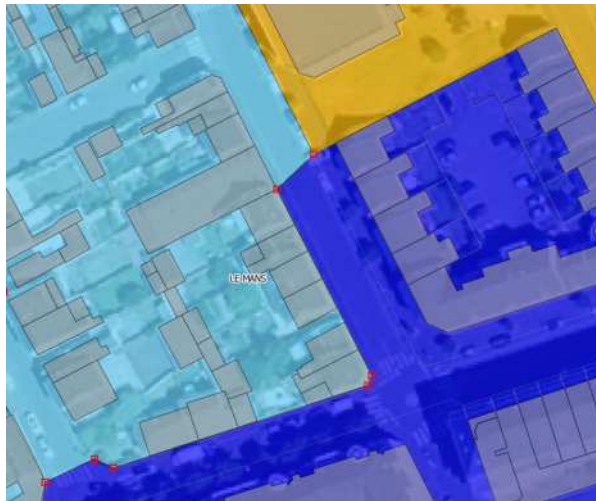


Figure 65 : Exemple de découpage à l'intérieur d'une parcelle (Yvré l'Évêque)

#### Intégration des voiries

Les voiries sont intégrées dans les zones urbanisées si celles-ci sont situées de chaque côté de la chaussée.

Les voies ferrées ne sont pas incluses dans le découpage.



**Figure 66 : Exemple de découpage des voiries (les Sablons au Mans)**

## 6.3 IDENTIFICATION DES ENJEUX PONCTUELS

### 6.3.1 INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT

Les infrastructures de transport existantes sur la zone d'étude ont été identifiées. Pour les voiries, il n'est retenu que les routes principales des cartes au 1/25 000 (routes en rouge et orange). 39 infrastructures ont été identifiées :

- 12 sections de voie ferrée situées principalement au Mans ;
- 3 sections de voie de tramway situées au Mans ;
- 2 autoroutes (à Yvré l'Evêque et à Saint Pavace);
- 23 sections de routes départementales.

### 6.3.2 ENJEUX UTILES EN CAS DE CRISE

Les enjeux utiles en cas de crise ont été listés pour l'étude du TRI (étude n°13). Ces enjeux ont été intégralement repris.

Sur Yvré l'Evêque qui n'était pas couvert par le TRI, il a été rajouté la maison de la prairie qui accueille du public. C'est le seul enjeu rajouté car l'essentiel du centre d'Yvré l'Evêque est hors zone inondable.

### 6.3.3 ENJEUX PATRIMONIAUX

Les enjeux patrimoniaux ont été listés pour l'étude du TRI (étude n°13). Ces enjeux ont été intégralement repris.

Il a été rajouté L'abbaye de l'Epau et l'église d'Yvré l'Evêque dans les enjeux car la commune d'Yvré l'Evêque n'était pas dans le périmètre du TRI.

## 6.4 TYPOLOGIE D'HABITAT

### 6.4.1 INTRODUCTION

Dans la première phase de détermination de l'occupation des sols il a été distingué :

- **Zone d'habitat collectif** (assimilé au code 0101 de la base COVADIS) ;
- **Zone d'habitat individuel de type résidentiel** plus ou moins dense (code 0102) ;

Parmi les habitats individuels il sera distingué par ordre de vulnérabilité :

- Les logements de plain-pied sans surélévation ;
- Les logements de plain-pied avec petite surélévation de type vide sanitaire ;
- Les logements à 2 niveaux habités ;
- Les logements avec 2 niveaux mais seul le 1<sup>er</sup> étage est habité. Le rez de chaussée ne contient que le garage par exemple (cf. figure 60).

Dans la suite du chapitre, il est présenté le type d'habitat majoritaire sur chaque commune. Il n'est présenté que l'habitat inclus dans la zone modélisée qui correspond à l'enveloppe de la crue de période de retour de 1000 ans.



Figure 67 : Exemple logements de plain-pied sans surélévation à Coulaines et Saint-Pavace



Figure 68 : Exemple de « maisons sur garage » – à gauche un escalier extérieur vers le 1<sup>er</sup> niveau habitable, à droite l'entrée se fait au rez-de-chaussée



**Figure 69 : Exemple de 4 maisons mitoyennes en zone inondable à Coulaines (rue Rabelais) – les 2 maisons au centre ont un 1<sup>er</sup> niveau habitable sur garage – les autres maisons ont un premier niveau habitable au rez-de-chaussée**

#### 6.4.2 LA CHAPELLE SAINT AUBIN

Seule une petite partie de la commune est inondable. Cette zone est composée d'habitats individuels placés entre la zone commerciale Nord du Mans et la Sarthe. 29 parcelles sont potentiellement inondables. L'habitat est hétéroclite sur ce secteur avec des habitations à étage, de plain-pied et de l'habitat temporaire.

#### 6.4.3 SAINT PAVACE

Les enjeux potentiellement inondables sont principalement des habitations individuelles (45 ha). En limite de la commune de Coulaines, une zone industrielle de 10 ha est potentiellement inondable.

Sur la typologie des habitations, on note deux secteurs :

- Le côté Ouest de la rue de la rivière (au plus près de la Sarthe) composé d'habitat à 2 niveaux, habité uniquement à l'étage ;
- Le reste des habitations qui est composé majoritairement de maison de plain-pied sans surélévation.

Les typologies indiquées sont les typologies majoritaires car il y a une diversité de type d'habitation sur la commune.

#### 6.4.4 COULAINES

Sur la commune, les 36.3 ha de zones potentiellement inondables se répartissent comme suit :

- 1/3 de surfaces commerciales ;
- 1/3 de surface d'habitat collectif ;
- 1/3 de surface d'habitat individuel.

Sur l'habitat individuel, il est difficile de définir une typologie géographique car il existe une grande diversité d'aménagement. On note néanmoins que la majorité des bâtiments mitoyens sont à 2 niveaux avec les deux niveaux habités. Sur les bâtiments non mitoyens toutes les typologies d'habitat coexistent.

### 6.4.5 LE MANS

L'habitat individuel représente environ 1/3 des types d'occupation des sols identifiés sur la commune. L'habitat collectif est largement présent avec 174 ha.

Type d'occupation du sol	Surface (ha)	%
Habitat collectif	174	18%
Habitat individuel	347	35%
Habitat temporaire	12	1%
Zone d'activité	327	33%
Zone commerciale	59	6%
Autre	72	7%

**Tableau 44 : Type d'occupation des sols potentiellement inondables**

Dans les quartiers d'habitation il est principalement observé :

- des logements de plain-pied sans surélévation ;
- des logements à 2 niveaux habités.

On notera une majorité de logement à 2 niveaux habités sur les grands axes routiers et sur les parcelles les plus petites. Les logements de plain-pied sont principalement situés en périphérie du centre du Mans dans des quartiers résidentiels.

Il existe aussi une bande de 2.5 ha d'habitat temporaire en bord de rivière dans le méandre de la Sarthe.

### 6.4.6 ALLONNES

Les terrains en zone potentiellement inondable sont principalement occupés par une zone commerciale car le centre urbain d'Allonnes est hors zone d'étude.

Il est néanmoins identifié 13.5 ha de zones d'habitat individuel majoritaire. L'habitat collectif est faiblement représenté (2 ha).

La zone d'habitat individuel est composée :

- De logements de plain-pied avec petite surélévation de type vide sanitaire ;
- De logements avec 2 niveaux avec uniquement le 1<sup>er</sup> étage habité.

### 6.4.7 ARNAGE

Les enjeux pré-identifiés sur la commune d'Arnage sont essentiellement :

- Des surfaces commerciales et industrielles pour environ 1/3 de la surface (100 ha) ;
- Des surfaces d'habitats individuels pour 60% (193 ha).

On note aussi la présence d'un plateau sportif.

L'habitat individuel est principalement composé de maisons à 2 niveaux et habitées sur les deux niveaux. Au Sud de la commune on note une proportion significative de logement ayant le premier niveau semi enterré et non habité.

#### 6.4.8 YVRE L'ÉVÊQUE

Par rapport aux autres communes étudiées, la commune d'Yvré l'Évêque présente la particularité d'accueillir un camping et une zone d'activité de plein air sur une surface de 30 ha (soit 40% des zones urbanisées identifiées comme potentiellement inondables).

Le reste des zones urbanisées est occupé par de l'habitat individuel (33 ha) et un peu d'activité économique (5 ha). Les zones d'habitats sont composées de logements hétéroclites (avec ou sans étage).

Une zone d'habitat temporaire est visible sur l'est de la commune au hameau de la Couture.

## 7 CROISEMENT ENJEUX ALEAS

### 7.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE

L'objectif du croisement des enjeux et des aléas est de déterminer le risque inondation sur les 7 communes concernées par l'étude et de comparer l'impact des nouvelles simulations de l'aléa.

Dans ce chapitre qui consiste à croiser des informations géographiques il sera :

- Proposé un projet de zonage du PPRI actualisé avec les nouvelles simulations. Ce projet sera comparé au zonage actuel.
- Calculé le nombre de bâtiments et de la population en zone inondable avec également une comparaison avec les documents existants (PPRI actuels et TRI)

### 7.2 CLASSIFICATION DE L'ALEA ET DES ENJEUX

#### 7.2.1 DEFINITION ALEA FORT MOYEN ET FAIBLE

Pour définir les classes d'aléa à partir des résultats de la simulation de la crue centennale, il a été utilisé la décomposition suivante combinant la vitesse et la hauteur.

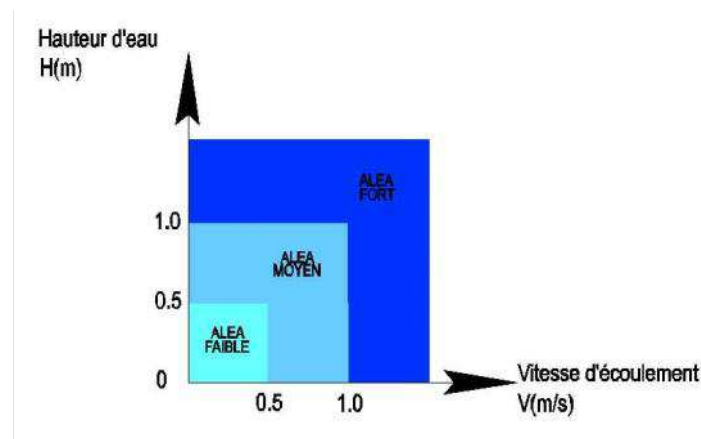


Figure 70 : Classification des aléas à partir des hauteurs et vitesses maximums

La crue centennale de la Sarthe et de l'Huisne étant une crue lente, le critère vitesse n'est pas prépondérant dans la définition de l'aléa.

#### 7.2.2 DEFINITION ZONE URBAINE

Pour le zonage du PPR, il est regroupé dans une seule zone l'ensemble des surfaces urbanisées (habitat, industrie et commerce).



## 7.3 BATIMENTS ET POPULATION EN ZONE INONDABLE

### 7.3.1 AJOUT D'INFORMATION SUR LES BATIMENTS

Pour connaître le nombre de bâtiments touchés par les inondations, il a été fourni par la DDT les cadastres informatisés sur les 7 communes étudiées.

La couche de « bâti dur » a été extraite du cadastre. Cette couche contient tous les bâtiments soumis aux impôts locaux. Il est ensuite retenu un seul bâtiment sur chaque parcelle. Le bâtiment retenu est celui qui présente la plus grande surface au sol.

Pour chaque bâtiment retenu sur chaque parcelle, il est associé plusieurs informations :

- Le caractère inondable du bâtiment.
- Le nombre de logement par parcelle, fourni par l'exploitation de la base de données MAJIC par la DGFIP.
- Le nombre d'habitant par logement, fourni par l'INSEE à l'échelle des IRIS sur la majorité des communes de la zone d'étude. L'INSEE fournit par IRIS (sous découpage de la commune en groupe de 2000 habitants environ) le nombre de logements ainsi que la population présente, ce qui permet d'obtenir la population par logement.

Les paragraphes ci-après présentent quelques détails méthodologiques.

#### 7.3.1.1 Définition du caractère inondable

Le caractère inondable des bâtiments est défini à partir de leur centre. Si le centre du bâtiment est dans l'emprise des zones inondées le bâtiment est considéré comme inondable. L'exemple ci-après identifie, à l'aide de points, les centres des bâtiments :

- Si le point est bleu, le bâtiment est inondable par la crue moyenne du TRI (zone violette) ;
- Si le point est rouge, le bâtiment est inondable par la crue exceptionnelle du TRI (zone rouge) ;
- Si le point est blanc, le bâtiment n'est pas inondable.

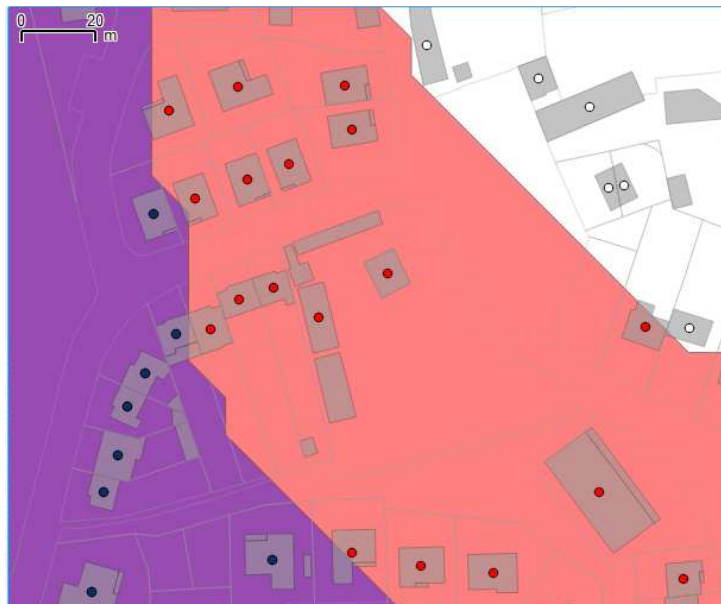


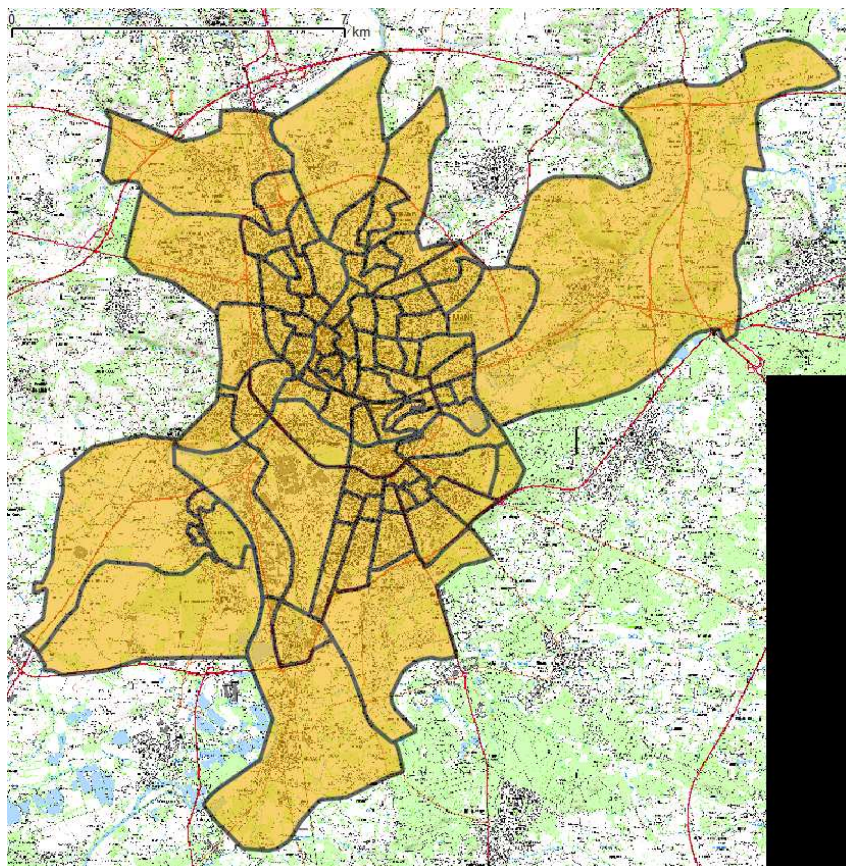
Figure 71 : Exemple de sélection des bâtiments inondables

### 7.3.1.2 Détail sur les données INSEE

L'INSEE a décomposé le territoire des 7 communes en 84 sous zones (IRIS) dont :

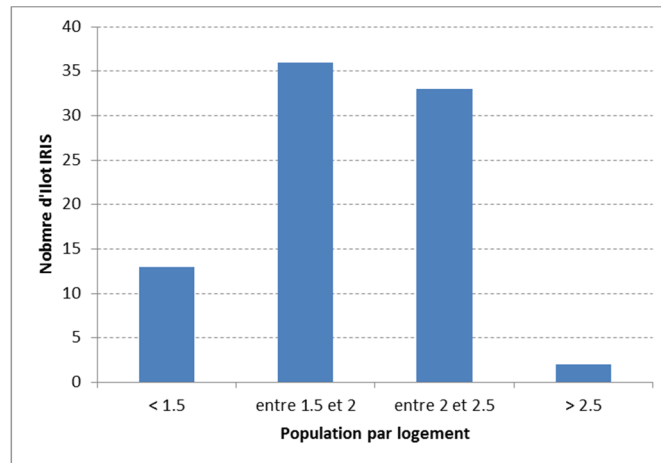
- 2 sur Arnage ;
- 3 à Coulaines ;
- 5 à Allonnes ;
- 71 aux Mans.

Ces zones couvrent une population de 2000 à 3000 habitants.



**Figure 72 : Découpage des îlots IRIS**

Le graphique ci-après indique la répartition du nombre de personnes par logement sur les îlots. Cela montre une diversité des logements sur le secteur d'étude avec un minimum à 1.45 et un maximum à 2.8. La moyenne est de 2.08 habitant par logement.



**Figure 73 : Répartition du nombre d'habitant par ilots IRIS**

### 7.3.1.3 Détail sur les données MAJIC

Il a été extrait de la base MAJIC de la direction des finances publiques les éléments suivants :

- Le nombre de logements par parcelle ;
- Le nombre de maisons ou d'appartements ;
- Le nombre de locaux commerciaux ou d'activité.

Le nombre de logements par parcelle est multiplié par le nombre de personnes par logement pour obtenir la population impactée par les inondations.

### 7.3.2 VALIDATION DE LA METHODE A L'AIDE DU TRI

Il a été recherché à retrouver les estimations de population touchée indiquées dans le TRI afin de valider la méthode mise en place. Il a donc été appliqué la méthode précédemment présentée aux cartes d'aléa du TRI.

Il est obtenu des résultats globaux proches de ceux du TRI qui étaient :

- 2 276 personnes pour la crue fréquente ;
- 16 599 personnes pour la crue moyenne ;
- 38 549 pour la crue extrême.

Dans le détail, les résultats pour Allonnes, Le Mans, Saint Pavace sont aussi très proches de l'estimation du TRI. Par contre, sur Arnage et Coulainnes, les écarts sont plus importants avec une population touchée 25 % plus importante sur Arnage et 25% plus faible sur Coulainnes. L'origine de ces écarts n'a pas pu être identifiée.

Ces comparaisons soulignent l'incertitude sur les résultats obtenus. Le paragraphe 7.3.5 détaille les incertitudes sur le calcul.

Commune	Crue du TRI		
	Fréquente	moyenne	exceptionnelle
Allonnes	0	2	41
Arnage	405	1 732	4 555
Coulaines	104	774	1 456
Le Mans	1 099	12 560	32 172
Saint Pavace	99	552	682
<b>Total</b>	<b>1 707</b>	<b>15 621</b>	<b>38 905</b>

**Tableau 45 : Actualisation de l'estimation des populations en zone inondable avec l'aléa du TRI**

Sur les activités économiques, il n'a pas été réalisé comme dans le TRI une analyse des emplois impactés, mais seulement une analyse des bâtiments d'activités concernés par l'aléa. S'il est considéré que 10 à 15 emplois sont présents par bâtiment, il est retrouvé le nombre d'emplois estimé dans le TRI (à l'exception de la commune d'Allonnes).

Commune	Crue du TRI		
	fréquente	moyenne	exceptionnelle
Allonnes	2	44	50
Arnage	19	97	187
Coulaines	3	7	22
Le Mans	68	838	1 802
Saint-Pavace	1	13	38
<b>Total</b>	<b>93</b>	<b>999</b>	<b>2 099</b>

**Tableau 46 : Nombre de bâtiments d'activité concernés par l'aléa issu du TRI**

### 7.3.3 ACTUALISATION SUR LA BASE DES NOUVEAUX ALEAS

#### 7.3.3.1 Crue centennale

Le tableau ci-après indique la population touchée et la typologie des bâtiments. 5.5% de la population totale des 7 communes de la zone d'étude est concernée par une crue centennale. Ce taux monte à 20.4 % pour Arnage et 30.3% pour Saint-Pavace qui sont particulièrement concernées par le risque inondation.

Seules des habitations individuelles sont inondées sur les communes d'Allonnes, la Chapelle-Saint-Aubin, Saint-Pavace et Yvré-l'Evêque. A Arnage et Coulaines, le nombre d'appartements reste faible (7% du nombre de logements touchés) par contre au Mans, plus de 44% des logements touchés sont des logements collectifs. Il faut noter qu'une faible partie de ces logements sont directement inondables (car situés à l'étage des immeubles), mais les immeubles les contenant sont eux inondables.

Le nombre de locaux d'activité reste faible sauf sur les communes d'Arnage et du Mans.

Commune	nb logements	Dont maisons	Dont appartements	locaux activité	nb dépendances	Population touchée	% de la population totale
Allonnes	1	1	0	2	1	2	< 0.1%
Arnage	485	449	36	73	28	1 039	20.4 %
St-Aubin	17	17	0	3	0	39	1.8 %
Coulaines	371	309	62	6	104	709	10.1 %
Le Mans	4 173	2 323	1 850	315	1 400	7 000	5.0 %
Saint-Pavace	235	235	0	13	8	574	30.3 %
Yvré-l'Evêque	51	51	0	6	9	94	2.2 %
<b>Total</b>	<b>5 327</b>	<b>3 379</b>	<b>1 948</b>	<b>415</b>	<b>1 550</b>	<b>9 457</b>	<b>5.5 %</b>

Tableau 47 : Détail des bâtiments en zone inondable centennale

### 7.3.3.2 Crue de 1999 – scénario fréquent

Les résultats pour une crue avec des débits identiques à ceux de 1999, montre qu'Allonnes, Saint Aubin et Yvré l'Evêque sont peu touchés. Sur les autres communes, les bâtis inondés sont essentiellement des maisons. Au total 1663 habitants sont concernés par l'inondation.

Commune	nb logements	Dont maisons	Dont appartements	locaux activité	nb dépendances	Population touchée	% de la population totale
Allonnes	0	0	0	2	0	0	< 0.1%
Arnage	206	198	8	21	12	435	8.5%
St-Aubin	13	13	0	2	0	30	1.4%
Coulaines	59	59	0	2	6	109	1.6%
Le Mans	554	380	174	70	232	967	0.7%
Saint-Pavace	37	37	0	0	3	92	4.8%
Yvré-l'Evêque	13	13	0	3	3	30	0.7%
<b>Total</b>	<b>882</b>	<b>700</b>	<b>182</b>	<b>100</b>	<b>256</b>	<b>1 663</b>	<b>1.0%</b>

Tableau 48 : Détail des bâtiments en zone inondable pour une crue similaire à la crue 1999

### 7.3.3.3 Crue de période de retour de 1000 ans – scénario exceptionnel

Pour une crue millénaire les enjeux touchés sont extrêmement nombreux avec 36 520 habitants concernés soit près de 1/5 de la population des communes étudiées. La commune d'Arnage est la plus touchée avec 74% de la population concernée. On note aussi qu'au Mans, le nombre d'appartements inondés est très important ce qui fait augmenter fortement la population touchée : dès qu'un immeuble est inondé, tous les habitants de l'immeuble sont considérés comme touchés.

Commune	nb logements	Dont maisons	Dont appartements	locaux activité	nb dépendances	Population touchée	% de la population totale
Allonnes	26	26	0	53	27	53	0.5%
Arnage	1 751	1 558	193	174	116	3 766	73.8%
St-Aubin	20	20	0	6	0	46	2.1%
Coulaines	801	453	348	27	262	1 581	22.6%
Le Mans	16 898	7 079	9 819	1 583	5 563	29 945	21.4%
Saint-Pavace	284	284	0	38	29	697	36.8%
Yvré-l'Evêque	188	187	1	27	10	432	10.3%
<b>Total</b>	<b>19 968</b>	<b>9 607</b>	<b>10 361</b>	<b>1 908</b>	<b>6 007</b>	<b>36 520</b>	<b>21.4%</b>

Tableau 49 : Détail des bâtiments en zone inondable pour une crue millénaire

### 7.3.3.4 Synthèse pour les trois aléas

Le tableau ci-après synthétise pour chaque aléa le nombre de logement inondable ainsi que la population touchée. Allonnes et La Chapelle Saint Aubin sont peu touchés quelque soit l'aléa. Pour les autres communes l'évolution de la population est très rapide entre chaque aléa.

Commune	Logement			Population		
	Fréquent (1999)	Moyen (Q100)	Extrême (Q100)	Fréquent (1999)	Moyen (Q100)	Extrême (Q100)
Allonnes	0	1	26	0	2	53
Arnage	206	485	1 751	435	1 039	3 766
St-Aubin	13	17	20	30	39	46
Coulaines	59	371	801	109	709	1 581
Le Mans	554	4 173	16 898	967	7 000	29 945
Saint-Pavace	37	235	284	92	574	697
Yvré-l'Evêque	13	41	188	30	94	432
<b>Total</b>	<b>882</b>	<b>5 323</b>	<b>19 968</b>	<b>1 663</b>	<b>9 457</b>	<b>36 520</b>

Tableau 50 : Synthèse des logements et population en zone inondable

### 7.3.4 COMPARAISON AVEC LES ETUDES PRECEDENTES

Le tableau ci-après indique le nombre d'habitants en zone inondable pour une crue centennale en fonction des études : le PPRi, l'aléa moyen du TRI et la simulation à l'aide du logiciel TELEMAT 2D.

En termes de population globale, dans le modèle 2D, 9 500 personnes seraient en zone inondable centennale. Ce résultat est intermédiaire entre les deux précédentes caractérisations de l'aléa (5100 personnes dans le PPRi actuel et 15 600 personnes dans le TRI), ce qui est logique car l'aléa centennal du modèle 2D est souvent situé entre l'enveloppe de crue du PPRi et l'aléa moyen du TRI.

Commune	PPRi actuel (Q100)	TRI (Q110)	TELEMAT (Q100)
Allonnes	2	2	2
Arnage	407	1 732	1 039
La Chap-St Aubin	23	Non estimé	39
Coulaines	477	774	709
Le Mans	3 614	12 560	7 000
Saint-Pavace	552	552	574
Yvré l'Evêque	39	Non estimé	94
<b>Total</b>	<b>5 114</b>	<b>15 621</b>	<b>9 457</b>

Tableau 51 : Population dans les différentes simulations de l'aléa centennal

Dans le détail par commune, la **population touchée à Allonnes** reste négligeable dans toutes les études.

**Pour Arnage**, la situation est intermédiaire entre les deux précédentes études. La majorité de la population touchée est située sur l'avenue de la Paix et de la Liberté et non sur les berges de la Sarthe.

**Pour la Chapelle-Saint-Aubin**, les logements inondés sont situés en bordure de la Sarthe dans le méandre.

**Pour Coulaines**, la population touchée est très proche de celle du TRI car les emprises des zones inondables sont très proches entre l'aléa moyen du TRI et la crue centennale du modèle TELEMAC.

**Pour le Mans**, l'augmentation de la population en zone inondable par rapport au PPRI est principalement liée au débordement en rive droite entre le pont Perrin et le barrage d'Enfer.

**Pour Saint-Pavace**, la population touchée change peu entre les trois caractérisations de la crue centennale, ce qui traduit la faible évolution de l'emprise de la zone inondable.

**Pour Yvré-l'Evêque**, le TRI ne couvrait pas la commune, il n'est donc pas possible de comparer les résultats avec le PPRI et le modèle TELEMAC 2D. La population touchée est de 94 habitants essentiellement dans le centre d'Yvré l'Evêque.

### 7.3.5 INCERTITUDES SUR LA METHODE

La méthode de calcul de la population touchée présente deux sources d'incertitudes :

- L'estimation des logements touchés. Le critère de définition d'un logement touché est source d'incertitude ;
- La population présente dans chaque logement est calculée à partir de valeur moyenne sur des quartiers.

#### 7.3.5.1 Incertitude sur le nombre de bâtiment touchés

Un bâtiment (et donc les logements dans le bâtiment) est considéré inondable si le centre du bâtiment est dans la zone inondable modélisée. Cette hypothèse est une hypothèse moyenne car d'autres critères peuvent être retenus :

- Le fait d'être ceinturé par les eaux ;
- Le fait que la parcelle soit partiellement inondable. Il est alors calculé les habitants concernés par l'inondation plutôt que les logements réellement inondés.

Pour analyser l'impact de ces hypothèses, il a été réalisé un test sur la commune de Coulaines pour la crue centennale. La figure ci-après indique par des ronds les bâtiments :

- Un rond rouge indique que le bâtiment est ceinturé par les eaux ;
- Un rond vert indique que le centre du bâtiment est inondé ;
- Un rond noir indique que la parcelle est partiellement inondée ;
- Un rond blanc indique que la parcelle n'est pas inondée.



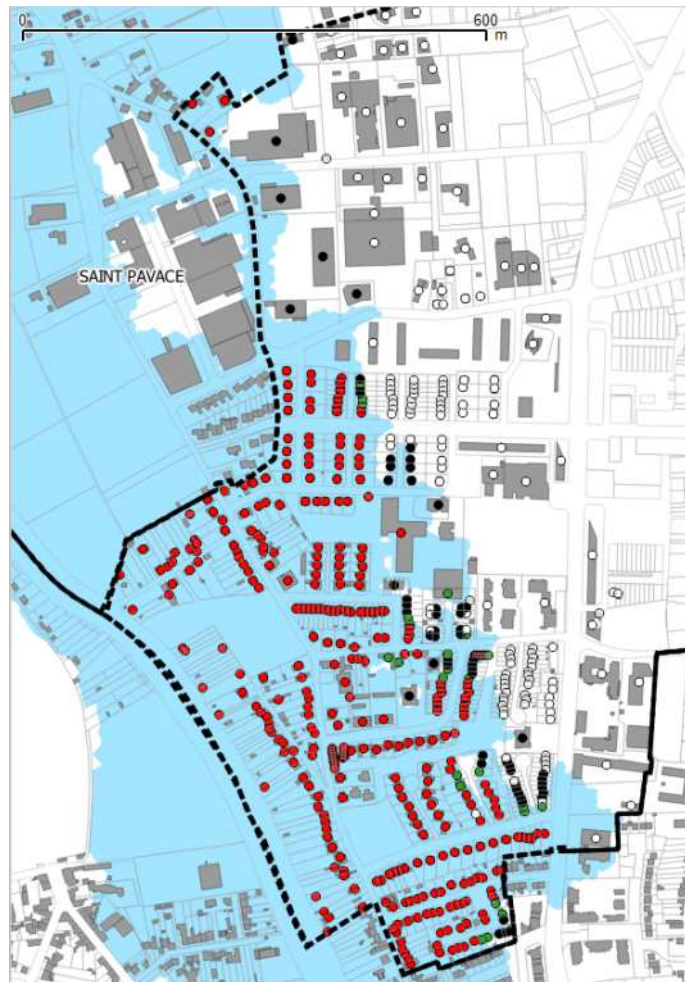


Figure 74 : Identification des bâtiments en zone inondable

Le tableau ci-après synthétise les enjeux touchés en fonction de la méthode de calcul. Si l'hypothèse de calcul de bâtiment ceinturé ne fait que faiblement évoluer les résultats (-6% de logement), l'hypothèse haute augmente la population touchée de 27%

	Logements	Habitants
Hypothèse basse (bâtiment ceinturé)	349	667
Hypothèse retenue	371	709
Hypothèse haute (parcelle partiellement inondée)	467	902

Tableau 52 : Population et logement en zone inondable centennale à Coulines

### 7.3.5.2 Incertitude sur la population

Pour calculer la population en zone inondable, il a été utilisé les données des 84 ilots IRIS de l'INSEE. Ces données calculées sur des zones couvrant une population jusqu'à 3000 personnes permettent d'obtenir un nombre d'habitant moyen sur chaque zone.

Ce nombre moyen varie nécessairement à l'intérieur de chaque ilot IRIS. Cela signifie que si une faible partie des bâtiments dans un ilot IRIS sont inondés, il existe une incertitude sur la population réellement touchée.

**Sur la base des données des 84 ilots, la moyenne de population par logement est de 2.08 habitants avec un intervalle de confiance à 80% entre 1.78 et 2.41 habitants (soit + ou – 15%).**

### 7.3.5.3 Conclusions

Il a été obtenu l'incertitude sur la population touchée en multipliant :

- L'incertitude sur les logements. Cette incertitude est extrapolée à partir des résultats de Coulaines ;
- L'incertitude sur la population par logement en considérant que si la population communale touchée est inférieure à 3000 habitants, il y a une incertitude de 15%.

On note une incertitude de – ou + 10% avec l'hypothèse basse. Pour l'hypothèse haute, l'écart est de 32% mais il n'est pas forcément calculé le même critère. En effet avec l'hypothèse haute il est calculé la population concernée par l'inondation, alors qu'avec l'hypothèse retenue, il est calculé la population dont le logement est inondé.

Commune	Fréquent (1999)			Moyen (Q100)			Extrême (Q100)		
	min	retenu	max	min	retenu	max	min	retenu	max
Allonnes	0	<b>0</b>	0	2	<b>2</b>	3	42	<b>53</b>	78
Arnage	348	<b>435</b>	636	830	<b>1 039</b>	1 520	3 540	<b>3 766</b>	4 790
St-Aubin	24	<b>30</b>	44	31	<b>39</b>	57	37	<b>46</b>	67
Coulaines	87	<b>109</b>	159	566	<b>709</b>	1 037	1 263	<b>1 581</b>	2 313
Le Mans	773	<b>967</b>	1 415	6 580	<b>7 000</b>	8 904	28 148	<b>29 945</b>	38 090
Saint-Pavace	74	<b>92</b>	135	459	<b>574</b>	840	557	<b>697</b>	1 020
Yvré-l'Evêque	24	<b>30</b>	44	75	<b>94</b>	138	345	<b>432</b>	632
<b>Total</b>	<b>1 329</b>	<b>1 663</b>	<b>2 433</b>	<b>8 543</b>	<b>9 457</b>	<b>12 498</b>	<b>33 933</b>	<b>36 520</b>	<b>46 989</b>

Tableau 53 : Incertitude sur la population touchée par les inondations.

# ANNEXE 1      CARTOGRAPHIE

## ANNEXE 2 EVOLUTION DU LIT DE LA SARTHE ET DE L'HUISNE

Les évolutions du lit de la Sarthe et de l'Huisne sont traitées du point de vue :

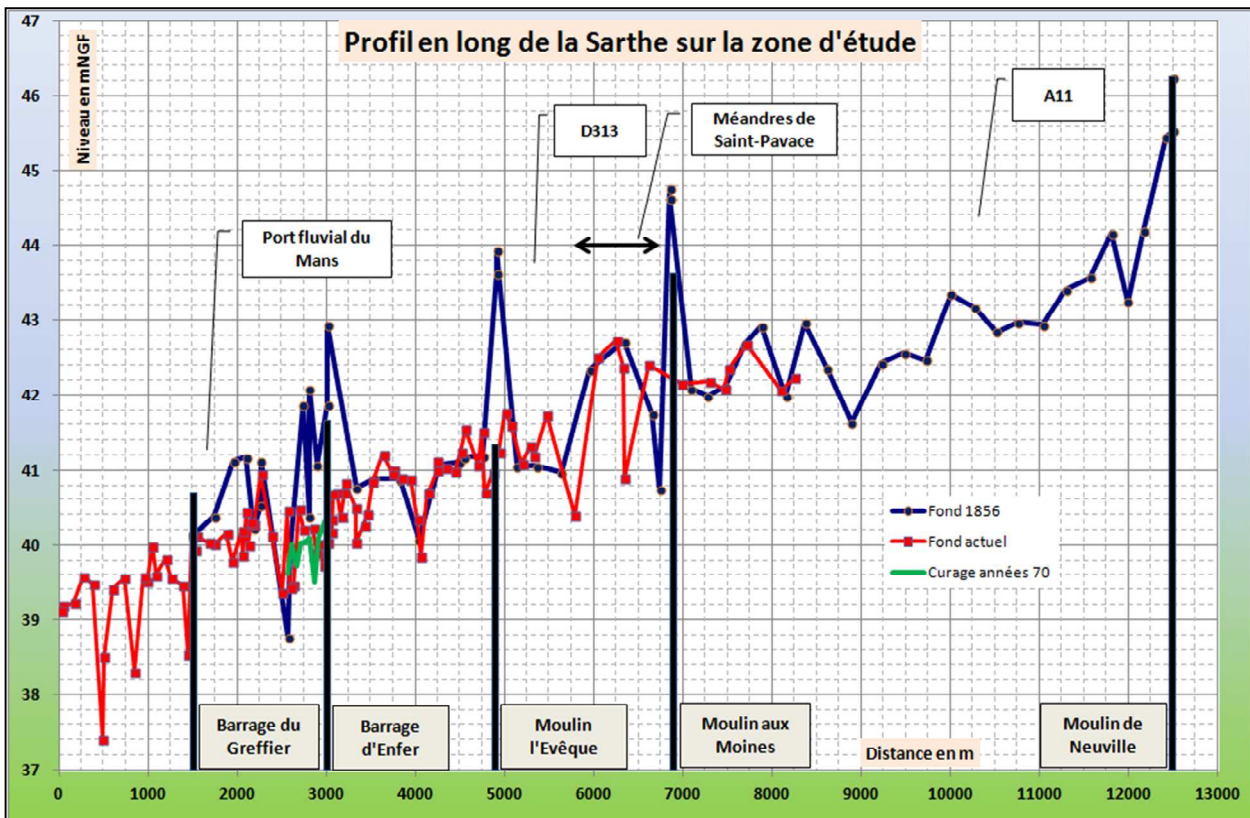
- Du tracé en plan en utilisant les conclusions de l'étude n°11 ;
- Du profil en long en utilisant les conclusions de l'étude n°11 ;
- Des profils en travers en utilisant les données collectées quand des profils ont été levés au même endroit à des périodes différentes.

### Evolution du tracé en plan de la Sarthe

D'après l'étude n°11 « il ressort [...] que la dynamique morphologique de la Sarthe sur la zone d'étude est très limitée. Les principaux écarts constatés sont liés à des ouvrages ou à des travaux de rectification du lit. »

### Evolution du profil en long de la Sarthe

Le graphique ci-après est un profil en long de la Sarthe entre le Moulin de Neuville et le barrage du Greffier. Le fond actuel est issu de levés entre 2006 et 2010.



Profil en long de la Sarthe (source : étude n°11)

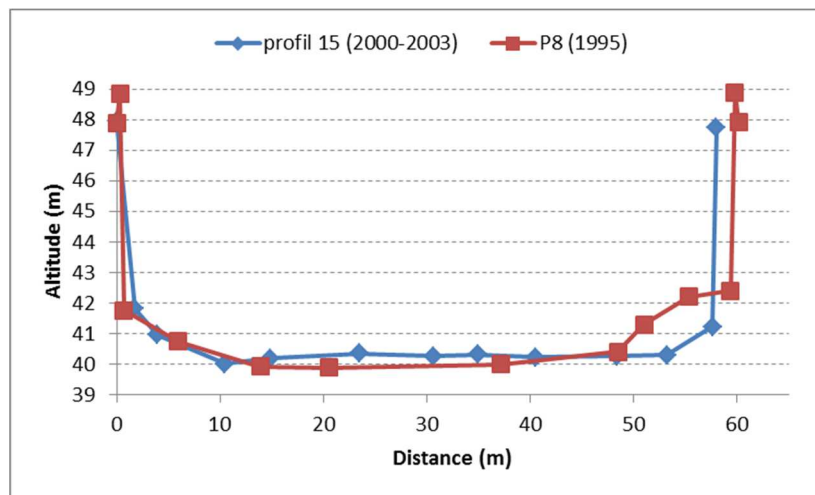
Le rapport de l'étude n°11 indique qu'en « aval du barrage d'Enfer, le fond a évolué depuis 1856 : destruction des barrages de Gourdain et Saint-Jean vers 1881, aménagement du port du Mans fin XIXème, curages dans les années 1970. En amont, a contrario, le fond du lit a peu évolué depuis 1856 et ce, malgré l'effacement des barrages de Moulin aux Moines (vers 1904) et de Moulin l'Evêque (1969).»

**Cette conclusion indique que la Sarthe est peu mobile et que les évolutions sont principalement liées à des aménagements.** Depuis 1995 (profil en travers les plus vieux), aucun aménagement important de la Sarthe nous a été indiqué.

### Evolution des profils en travers

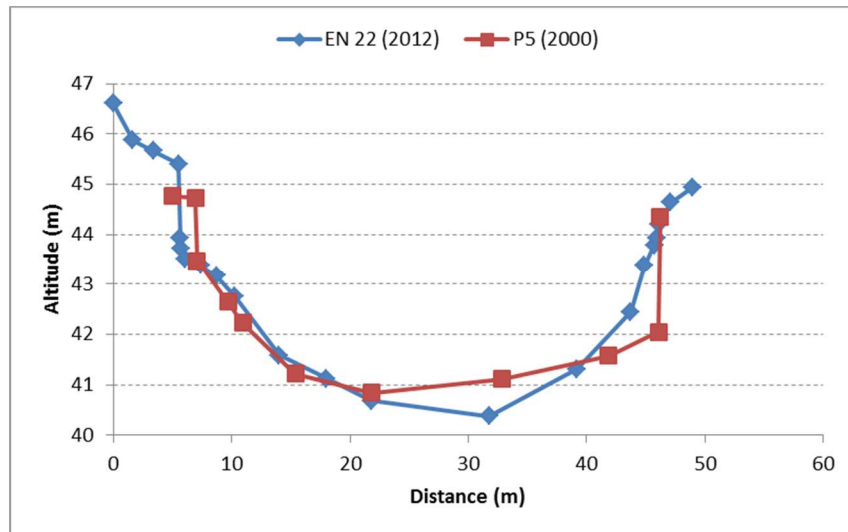
Pour chaque profil levé en 1995 (profil DDT) situé à proximité d'un profil levé plus récemment, il a été réalisé une comparaison des 2 levés. 6 comparaisons ont été réalisées sur la Sarthe.

Pour la première comparaison (dans la section canalisée de la Sarthe) les deux profils en travers sont quasi identiques.



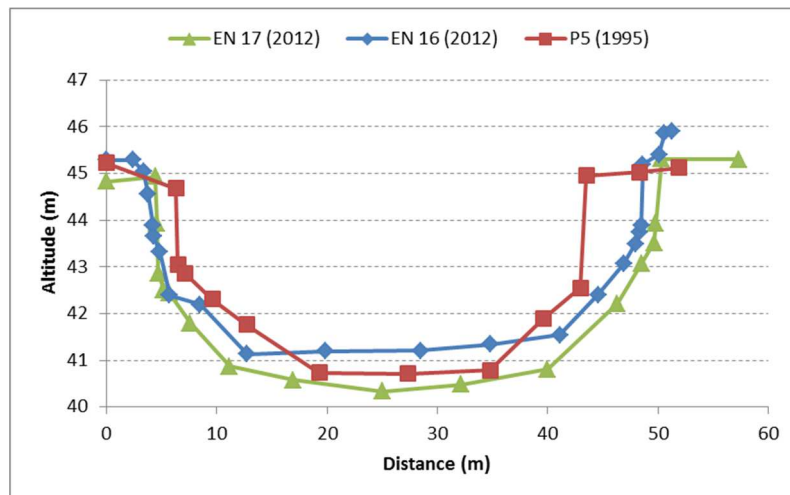
*Comparaison des profils en aval du pont Perrin*

Au droit du barrage d'Enfer la section a légèrement évoluée entre 2000 et 2012 avec un arrondissement au centre et un dépôt en berge. Ces évolutions ne changent pas la section de plein bord de la Sarthe donc l'impact hydraulique est limité.



Comparaison des profils en amont du barrage d'Enfer

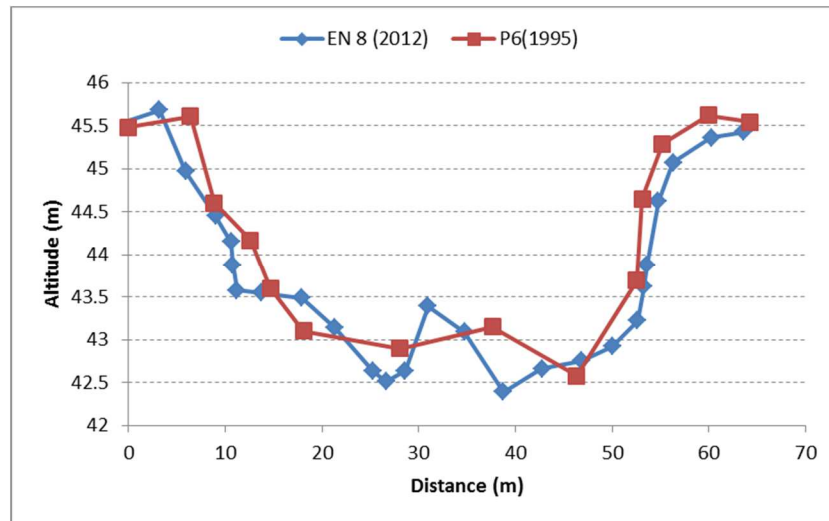
La comparaison ci-après semble indiquer que la Sarthe est localement moins large. Du fait qu'il n'y a pas eu de travaux d'élargissement, on peut supposer que le profil a été pris sur une zone avec un quai aménagé pour la navigation (ce qui expliquerait les berges verticales). Il faut noter que le fond est lui parfaitement encadré par les deux profils situés à l'amont et à l'aval.



Comparaison des profils au droit de Coulaines

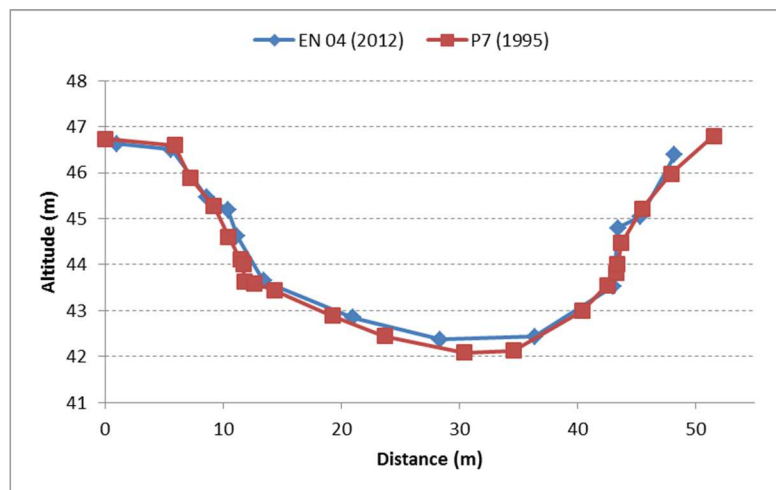
Pour les deux profils levés à Saint Pavace, on constate que le lit levé en 2012 est plus large de 3 m environ et que le fond du lit a légèrement évolué avec un atterrissement au centre.

Le secteur n'a pas fait l'objet de travaux, donc l'élargissement est probablement dû à une incertitude sur les mesures topographiques en 1995 (le profil n'est pas exactement perpendiculaire au cours d'eau).



Comparaison des profils au droit de Saint Pavace

Les deux profils levés sur l'amont de Saint Pavace sont identiques.



Comparaison des profils au droit du centre commercial Auchan.

### Evolution du tracé en plan de l'Huisne

D'après l'étude n°11 « il ressort [...] que la dynamique morphologique de l'Huisne sur la zone d'étude est très limitée. Seul le secteur amont a pu, au XIX<sup>e</sup> siècle, avoir une dynamique naturelle aux abords de l'actuel lac des Sablons. Toutefois, aujourd'hui, les différents aménagements anthropiques (protections de berge sous le pont de l'Epau, digue du lac des Sablons, aménagements de berge sur les parcelles privées) ont très nettement réduit cette dynamique. »

Cette conclusion est valable pour la partie de l'Huisne située en aval du barrage des Sablons.

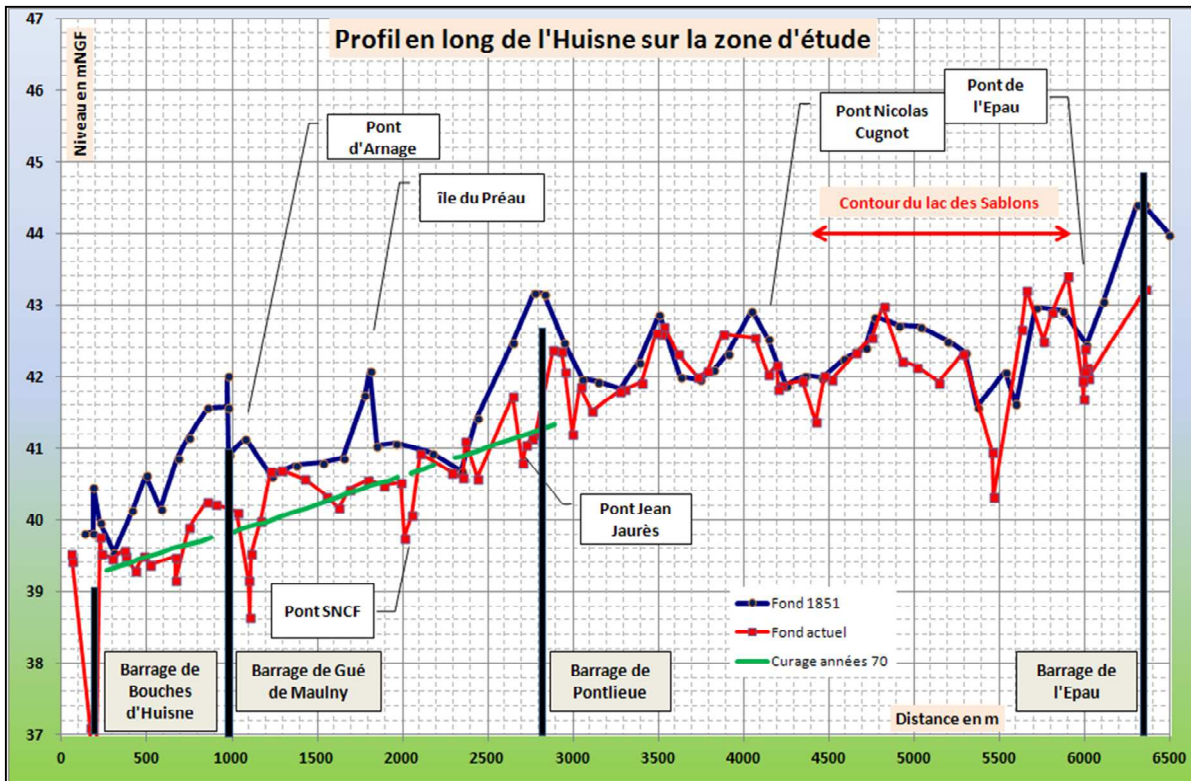
Pour l'amont de l'Huisne, les photographies aériennes depuis 1995 confirment la très faible dynamique naturelle.

## Evolution du profil en long de l'Huisne

Le graphique ci-après est un profil en long de l'Huisne. Le fond actuel est issu de levé entre 2006 et 2010.

Ce graphique montre qu'en dehors des zones de curage ou de travaux, le fond du lit est stable (zone entre le pont Nicolas Cugnot et le pont Jean Jaures).

Les levés de profils les plus anciens étant postérieurs aux travaux importants, ils peuvent donc être considérés comme représentatifs de la topographie actuelle.

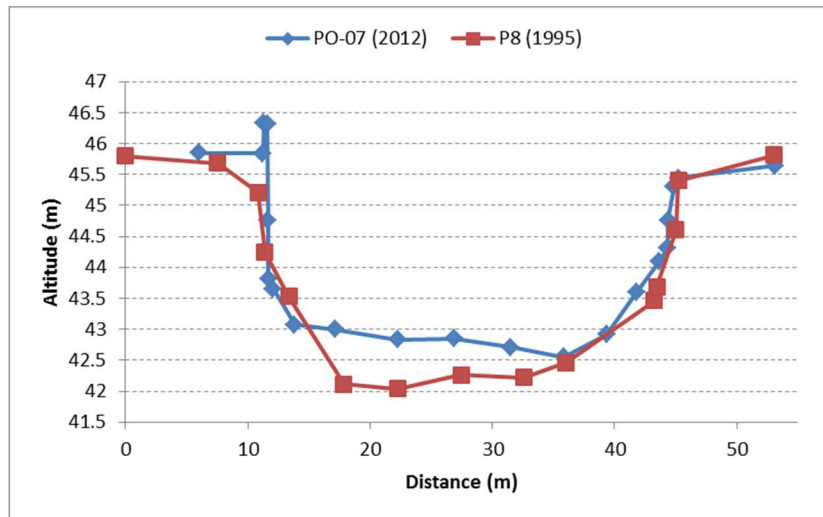


## Profil en travers de l'Huisne

Sur l'Huisne deux comparaisons entre profils ont été réalisées : une première en aval du pont Cugnot et une seconde au droit du barrage de Pontlieue.

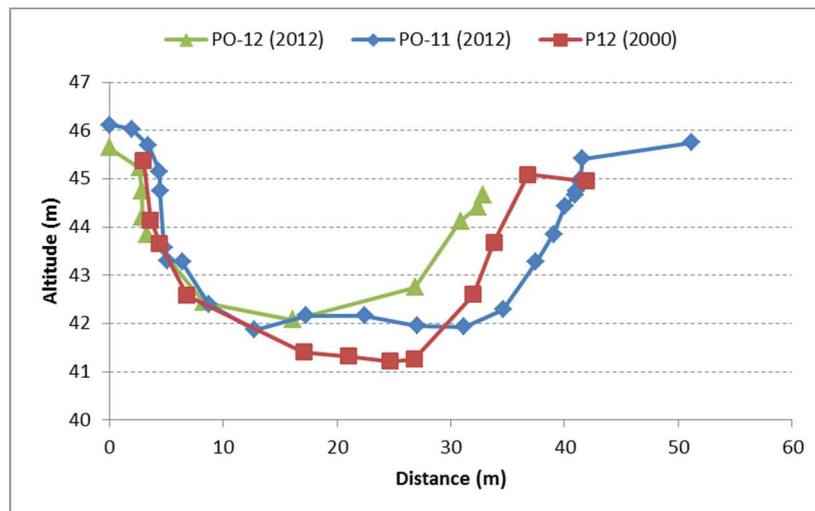
Sur la comparaison présentée sur le graphique ci-après, la largeur de l'Huisne ainsi que la pente des berges sont identiques entre les deux profils. Il est noté en rive droite une profondeur plus importante pour le profil P8 (1995). Sachant que le profil P8 est situé à l'aval immédiat du pont (soit 80 m en amont du profil PO-07), cette surprofondeur est liée à un affouillement localisé (comme le montre le profil en long ci-avant) plutôt qu'un dépôt de vase entre 1995 et 2012.





Comparaison des profils en aval du Pont Cugnot

Le profil P12 levé en 2000 pour la CUM (aujourd'hui Le Mans Métropole) est encadré par deux profils levés en 2012 (par la CG 72). Les trois profils sont cohérents dans cette zone où l'Huisne se réduit en largeur. On note néanmoins que le fond du lit semble s'être légèrement ensasé (de 50 à 70 cm).



Comparaison des profils au droit du barrage de Pontlieue

## ANNEXE 3 LISTE DES OUVRAGES

Nom	cours d'eau	type	PK	Nom	Origine du plan de l'ouvrage
OH1	Sarthe	pont	27.17	pont Neuville	CG
OH2	Sarthe	barrage	25.942	moulin Neuville	Etude 8 SOH20
OH3	Sarthe	pont	25.00	voie ferrée	Etude 8 SOA10
OH4	Sarthe	pont	23.61	pont A11	Etude 8 SOA11
OH5	Sarthe	pont	18.55	RD 313	Etude 8 SOA12
OH6	Sarthe	barrage	16.28	barrage Enfer	CG72
OH7	Sarthe	pont	15.81	Pont Yssoir	Etude 8 SOA13
OH8	Sarthe	pont	15.41	pont Perrin	Etude 8 SOA14
OH9	Sarthe	pont	15.34	pont tramway	Etude 8 SOA15
OH10	Sarthe	pont	14.75	pont de fer	Etude 8 SOA16
OH11	Sarthe	barrage	14.72	Greffier	CG72
OH12	Sarthe	pont	14.42	pont des tabacs	Etude 8 SOA17
OH13	Sarthe	pont	14.28	Voie ferrée	Etude 8 SOA18
OH14	Sarthe	passerelle	13.56	Passerelle	Levé topo
OH15	Sarthe	passerelle	13.02	Passerelle	Levé topo
OH16	Sarthe	pont	12.97	Pont Riffaudières	Levé topo
OH17	Sarthe	pont	12.20	Voie ferrée	Etude 8 SOA19
OH18	Sarthe	barrage	11.70	Saint Georges	CG 72
OH19	Sarthe	pont	9.15	Pont Raterie	Etude 8 SOA20
OH20	Sarthe	passerelle	8.70	Passerelle Allonnes	Levé topo
OH21	Sarthe	barrage	8.46	Chaoué	CG 72
OH22	Sarthe	passerelle	5.27	Passerelle	Levé topo
OH23	Sarthe	pont	4.63	RD 323	Etude 8 SOA21
OH24	Sarthe	pont	0.714	pont de Liberté	Etude 8 SOA22
OH25	Sarthe	barrage	0.00	Spay	CG 72
OH26	Affluent				
OH27	Affluent				
OH28		Pont routier			
OH29		pont ferré			
OH30		pont ferré			
OH31		Pont routier			
OH32		pont ferré			
OH33		pont ferré			
OH34		Pont routier			
OH35		pont ferré			
OH36	affluent	pont ferré			
OH37		pont ferré			
OH38		pont ferré			
OH39		pont ferré			

OH40	affluent	Pont routier			
OH41		Pont routier			
OH100	Huisne	pont		Pécardière	SMPEI A18
OH101	Huisne	pont	25.12	pont du Bourray	SMPEI A17
OH102	Huisne	barrage	24.92	Le Bourray	SMPEI A16
OH103	Huisne	pont	20.65	RD 145	SMPEI A15
OH104	Huisne	passerelle	20.22	Champagné	SMPEI A14
OH105	Huisne	barrage	20.22	Champagné	SMPEI A13
OH106	Huisne	barrage	16.92	Couture	SMPEI A12
OH107	Huisne	pont	14.56	A28	SMPEI A11
OH108	Huisne	pont	14.52	RD 20	Levé topo
OH109	Huisne	barrage	14.03	Cournauboeuf	SMPEI A10
OH110	Huisne	pont	11.86	Pont de pierre	SMPEI A8
OH111	Huisne	pont	11.24	Pont la Chicotière	SMPEI A7
OH112	Huisne	voie ferrée	10.09	voie ferrée	SMPEI A6
OH113	Huisne	barrage	9.31	Moulins des Noyers	SMPEI A5
OH114	Huisne	passerelle	9.31	Moulins des Noyers	SMPEI A5
OH115	Huisne	passerelle	6.46	Sablons	Etude 8 OHH2
OH116	Huisne	barrage	6.41	Pont Sablons	Etude 8 OHH2
OH117	Huisne	pont	6.05	Pont Abbaye l'Epau	SMPEI A3
OH118	Huisne	pont	4.20	Pont Cugnot	SMPEI A1
OH119	Huisne	passerelle	4.00	passerelle	LMM
OH120	Huisne	passerelle	3.62	passerelle	LMM
OH121	Huisne	barrage	2.86	Barrage Pontlieue	étude continuité
OH122	Huisne	pont	2.75	pont Pontlieue	Etude 1 HOA5
OH123	Huisne	pont	2.08	voie ferrée	Etude 8 OAH6
OH124	Huisne	pont	1.12	Rue d'Arnage	Etude 8 OAH7
OH125	Huisne	barrage	0.90	Gue de Maulny	CG 72
OH126	Huisne	passerelle	0.83	Passerelle	LMM
OH127	Huisne	pont	0.31	BD Demorieux	Etude 8 OAH8
OH128	Huisne	barrage	0.16	Bouches d'Huisne	Levé topo
OH129		pont ferré	27.17		
OH130		pont routier	25.94		
OH131		pont routier	25.00		
OH132		pont ferré	23.61		
OH133		pont ferré	18.55		

## ANNEXE 4 LISTE DES REPERES DE CRUE

Les tableaux de repère de crues sont classés par crue et par cours d'eau (Sarthe et Huisne). A l'intérieur de chaque tableau les repères sont classés de l'aval vers l'amont.

id	X	Y	crue	cote (m NGF)	commentaire	distance (km)
H10	496783.09	6771965.70	janv-1930	50.69		11.71

id	X	Y	crue	cote (m NGF)	commentaire	distance (km)
H3	490575.50	6768866.09	janv-1966	45.63		1.56
H4	490565.30	6768863.51	janv-1966	45.70		1.56
H5	490710.24	6768831.36	janv-1966	45.92		1.62
H2	491357.83	6768738.80	janv-1966	46.28		1.97

id	X	Y	crue	cote (m NGF)	commentaire	distance (km)
72CG6-PR	487680.16	6761035.11	janv-1995	41.26		0.42
PPRI	489487.02	6762109.92	janv-1995	42	Mal localisé	2.75
Atlas Sarthe 2	489260.52	6763121.35	janv-1995	42.1		3.98
Atlas Sarthe 1	489250.94	6763367.01	janv-1995	42.15		4.25
PPRI-PK 5.8	489433.21	6765298.85	janv-1995	42.9	Mal localisé	6.20
DDT_2016_2	488670.00	6767664.00	janv-1995	43.45		7.32
PPRI- PK 8	488733.17	6767275.44	janv-1995	44	Mal localisé	8.50
DDT_2016_1	489320.00	6766300.00	janv-1995	44		9.06
RCA-S55	487572.65	6768042.07	janv-1995	43.89		10.08
PPRI PK 11.3	488577.24	6768419.66	janv-1995	44.58	Mal localisé	12.36
RCA-S54	488611.53	6768413.64	janv-1995	44.38		11.83
RCA-S53	489542.72	6769106.73	janv-1995	44.76		13.04
PPRI PK 12.6	489605.06	6769170.77	janv-1995	44.91	Mal localisé	13.06
S27	489803.05	6769811.58	janv-1995	45.15		13.84
Ech planche	490106.16	6769979.18	janv-1995	45.7		14.22
S.OA.16	490452.69	6770476.23	janv-1995	45.66		14.86
S.OA.15	490601.32	6771044.96	janv-1995	45.7		15.45
PPRI PK 22.8	490644.97	6771093.55	janv-1995	45.76	Mal localisé	15.45
S.OA.13	490874.31	6771419.56	janv-1995	45.87		15.92
Ech Yssoir	490880.05	6771444.65	janv-1995	45.78		15.94
S31	491252.97	6772025.53	janv-1995	46.23		16.64
S31	491281.96	6772030.06	janv-1995	46.22		16.64
PPRI PK 24.8	491105.90	6772308.05	janv-1995	46.52	Mal localisé	17.44
RCA-S56	490918.70	6773021.50	janv-1995	46.3		17.71
PPRI PK 25.7	490585.40	6773044.33	janv-1995	46.81	Mal localisé	18.08
RCA-S57	490757.90	6773276.30	janv-1995	46.84		18.02
CUM.P3	490502.74	6773429.07	janv-1995	46.88		18.29
RCA-S58	490679.80	6773493.10	janv-1995	47.02		18.35
S.OA.12	490407.19	6773746.04	janv-1995	46.92		18.65
RCA-S59	490457.60	6774017.52	janv-1995	47.27		18.87
RCA-S60	490407.60	6774309.10	janv-1995	47.36		19.18
RCA-S61	490337.80	6774422.10	janv-1995	47.32		19.48
8 PPRI St pavace	490371.90	6774443.30	janv-1995	47.25		19.49
RCA-S1	490216.10	6774528.61	janv-1995	47.46		19.60
RCA-S62	490362.10	6774525.20	janv-1995	47.44		19.60
RCA-S63	490291.60	6774805.80	janv-1995	47.63		20.04
12 PPRI St pavace	490319.60	6774822.10	janv-1995	47.56		20.58
13 PPRI St pavace	490502.00	6775335.00	janv-1995	47.86		22.50
RCA-S3	489911.26	6778559.76	janv-1995	49.82		27.14
S36	492126.53	6780285.16	janv-1995	51.15		30.14

id	X	Y	crue	cote (m NGF)	commentaire	distance (km)
PPRI PK 0.2	489954.53	6769442.00	janv-1995	44.86	Mal localisé	0.20
PPRI PK 1.1	490576.06	6769194.93	janv-1995	45.09	Mal localisé	1.10
PPRI PK 1.2	490595.83	6769140.02	janv-1995	45.26	Mal localisé	1.20
H3	490575.50	6768866.09	janv-1995	45.39		1.56
H4	490565.30	6768863.51	janv-1995	45.43		1.56
H5	490710.24	6768831.36	janv-1995	45.65		1.62
PPRI PK1.7	491158.06	6768807.30	janv-1995	45.41		1.77
H2	491357.83	6768738.80	janv-1995	45.90		1.97
PPRI PK 2	491319.48	6768623.91	janv-1995	45.85		2.10
FLH13_avba	491953.35	6768549.72	janv-1995	46.06	aval barr. de Pontlieue OA26	2.80
Ech Pontlieue	492086.57	6768589.36	janv-1995	46.21	?	2.94
FLH13_amba	492145.71	6768623.81	janv-1995	46.31	amont barr. de Pontlieue OA26	3.01
FLH13_pass	492757.88	6768790.82	janv-1995	46.52	passerelle	3.64
PPRI PK4.8	493001.23	6769090.06	janv-1995	46.73	Mal localisé	4.12
FLH13_A20av	493140.49	6769154.91	janv-1995	44.86	aval pont RD314 OA20	4.18
FLH13_A1am	493214.57	6769158.81	janv-1995	46.94	amont pont RD314 OA1	4.23
H7B	494129.99	6769155.33	janv-1995	47.26		5.97
FLH13_A3av	494061.35	6769210.80	janv-1995	47.28	aval pont RD152 OA3	6.04
FLH13_8	494238.44	6769183.83	janv-1995	48.37	Abbaye d'Epau - bat accueil	6.04
FLH13_A3am	494086.37	6769267.66	janv-1995	47.42	amont pont RD152 OA3	6.08
PPPRI PK 10	495783.82	6770159.61	janv-1995	49.27	Mal localisé	9.31
FLH13_6	495802.02	6770131.33	janv-1995	49.22	Moulin des Noyers	9.55
FLH13_A6	496042.47	6770796.79	janv-1995	49.6	aval voie ferree OA6	10.07
FLH13_A7	496901.59	6771570.78	janv-1995	50.45	amont RD314 OA7	11.32
PPRI PK 12.5	496908.28	6771926.46	janv-1995	50.77	Mal localisé	11.63
FLH13_9	497025.06	6772439.01	janv-1995	50.8	Le Bordeau - Fabrique	12.25
PPRI PK 13.9	497552.87	6773089.36	janv-1995	51.09	Mal localisé	13.00
FLH13_5	498110.34	6773815.42	janv-1995	51.49	Moulin de Courmauboeuf	14.03
H9	499046.54	6773958.64	janv-1995	52.48		17.00
FLH13_3	499246.95	6773937.60	janv-1995	52.78	Moulin de la Couture	17.00

id	X	Y	crue	cote (m NGF)	commentaire	distance (km)
RCA-S53	489656.92	6769000.21	déc-1999	44.4		13.04
S27	489803.05	6769811.58	déc-1999	44.98		13.84
Ech planche	490106.16	6769979.18	déc-1999	45.56		14.22
LMM2	490478.26	6770572.43	déc-1999	45.4	Issue des relevés de ZI	14.96
Ech Yssoir	490880.05	6771444.65	déc-1999	45.64		15.94
S31	491252.97	6772025.53	déc-1999	46.06		16.64
S31	491281.96	6772030.06	déc-1999	46.01		16.64
LMM3	491177.75	6772159.19	déc-1999	46.1	Issue des relevés de ZI	16.79
RC-S31	489636.75	6775342.28	déc-1999	46.01		21.54
S36	492095.63	6780271.75	déc-1999	50.08		30.14

id	X	Y	crue	cote (m NGF)	commentaire	distance (km)
H5	490710.24	6768831.36	déc-1999	45.16		1.62
H2	491357.83	6768738.80	déc-1999	45.13		1.97
H1	491363.55	6768682.32	déc-1999	45.31		2.05
LMM4	491654.33	6768512.39	déc-1999	45.30	Issue des relevés de ZI	2.5
Ech Pontlieue	492086.57	6768589.36	déc-1999	45.58		2.94
H12	496915.96	6772305.06	déc-1999	51.06		12.01

id	X	Y	crue	cote (m NGF)	commentaire	distance (km)
LMM5	489737.59	6762600.19	janv-2001	41.88	Issue des relevés de ZI	3.34
LMM6	489406.51	6763228.31	janv-2001	41.75	Issue des relevés de ZI	4.07
LMM7	489191.28	6763822.38	janv-2001	42.00	Issue des relevés de ZI	4.70
LMM8	488611.53	6768413.64	janv-2001	43.30	Issue des relevés de ZI	11.83
LMM9	489050.73	6768650.75	janv-2001	43.80	Issue des relevés de ZI	12.35
LMM10	489542.72	6769106.73	janv-2001	44.20	Issue des relevés de ZI	13.04
LMM11	489667.86	6769382.63	janv-2001	44.60	Issue des relevés de ZI	13.35
S27	489803.05	6769811.58	janv-2001	44.65		13.84
LMM12	489813.36	6769863.60	janv-2001	44.70	Issue des relevés de ZI	13.87
Ech planche	490106.16	6769979.18	janv-2001	45.49		14.22
LMM13	490452.69	6770476.23	janv-2001	45.52	Issue des relevés de ZI	14.86
echelle Yssoir	490880.05	6771444.65	janv-2001	45.57		15.94
LMM14	491162.38	6771801.21	janv-2001	46.04	Issue des relevés de ZI	16.40
S31	491276.84	6772029.32	janv-2001	45.58		16.64
LMM15	491111.87	6772297.55	janv-2001	46.14	Issue des relevés de ZI	16.94
LMM16	490383.28	6773800.86	janv-2001	46.69	Issue des relevés de ZI	18.71
RC-S31	489636.75	6775342.28	janv-2001	45.58		21.54

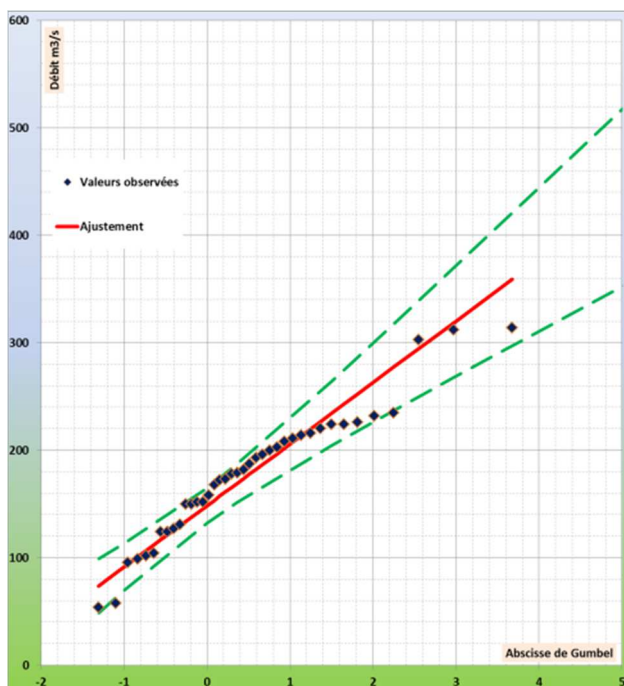
id	X	Y	crue	cote (m NGF)	commentaire	distance (km)
H6	490701.60	6768824.74	janv-2001	44.86		1.62
Ech Pontlieue	492086.57	6768589.36	janv-2001	45.36		2.94
LMM17h	493214.57	6769158.81	janv-2001	46.08	Issue des relevés de ZI	4.23
H7A	494080.66	6769111.80	janv-2001	46.04		5.90
H11	496964.64	6772349.05	janv-2001	50.48		12.07



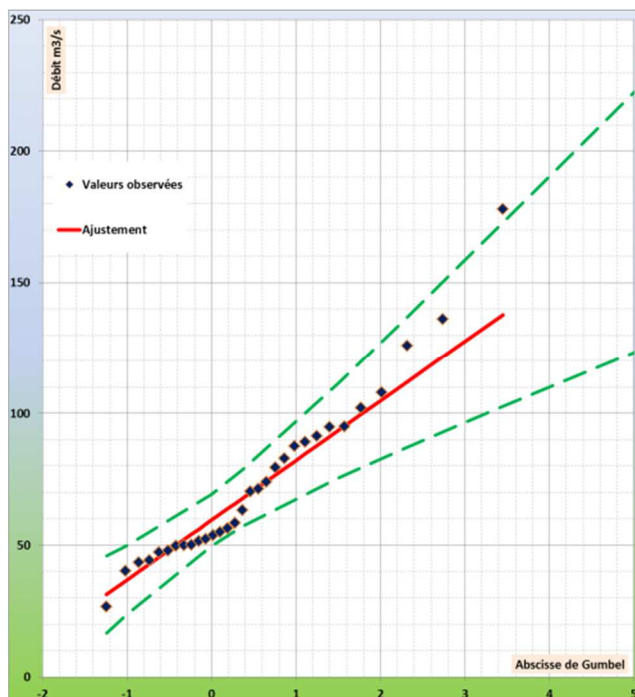
# ANNEXE 5 NIVEAUX RELEVES PAR LA CUM SUR L'HUISNE

# ANNEXE 6 AJUSTEMENT DE GUMBEL SUR LES MAXIMUMS INSTANTANES

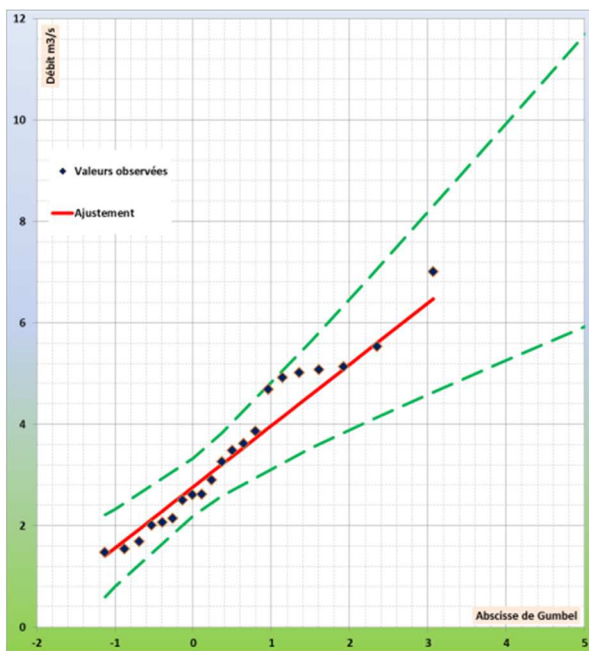
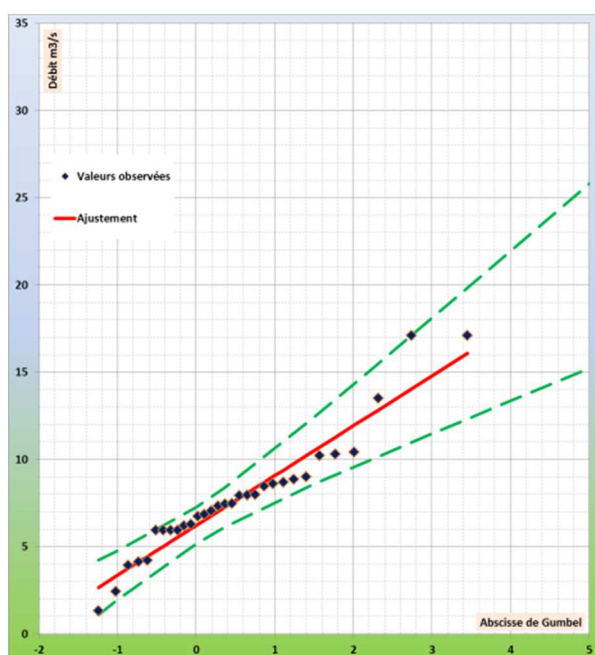
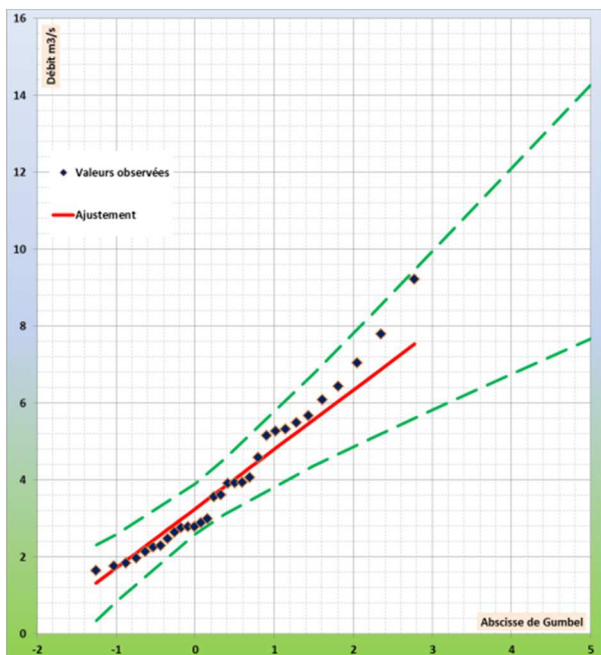
## Station de Montreuil à Neuville sur Sarthe



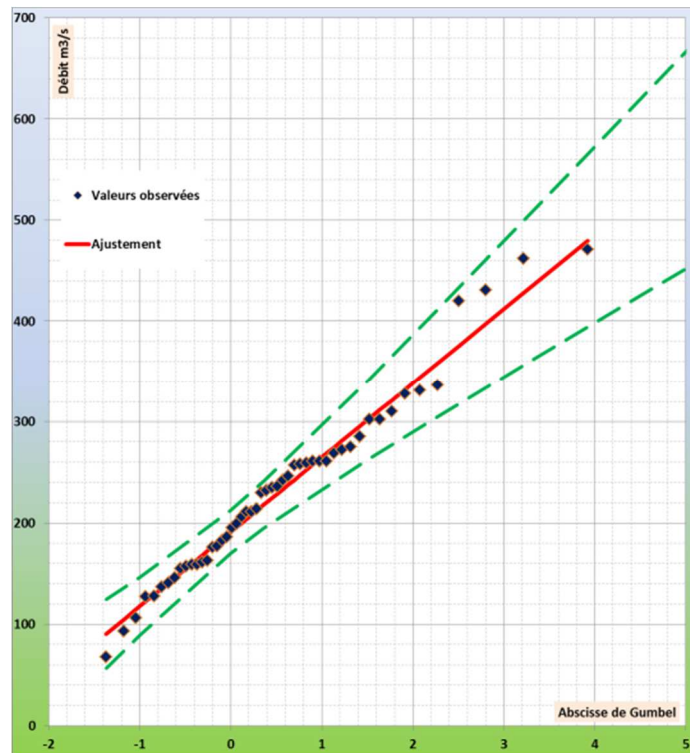
## Station de la Pécardière sur l'Huisne



**Station du Narais, de la Vive Parente et du Roule Crotte**

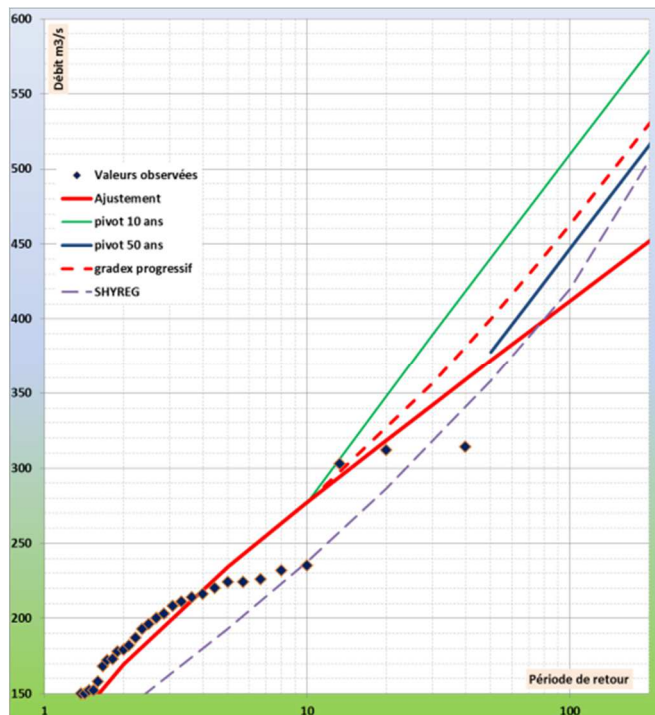


### Station de Spay

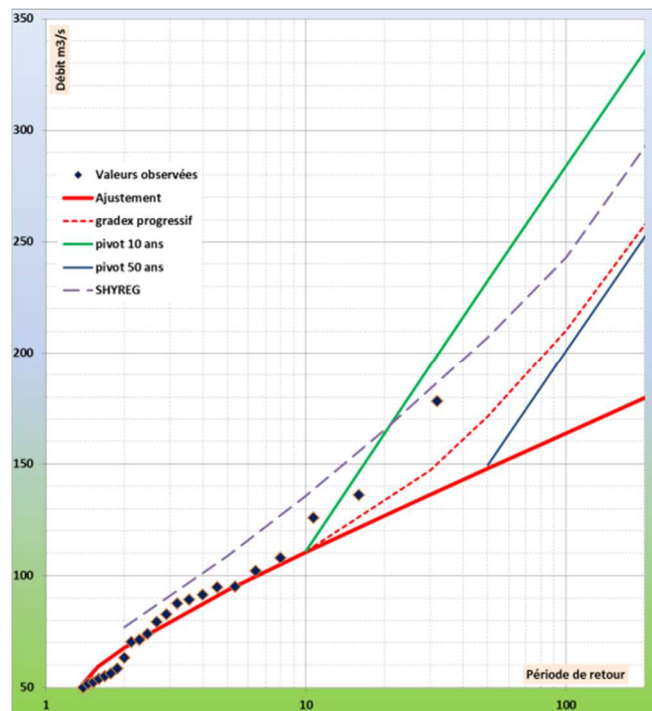


# ANNEXE 7 COMPARAISON DES DEBITS ESTIMES

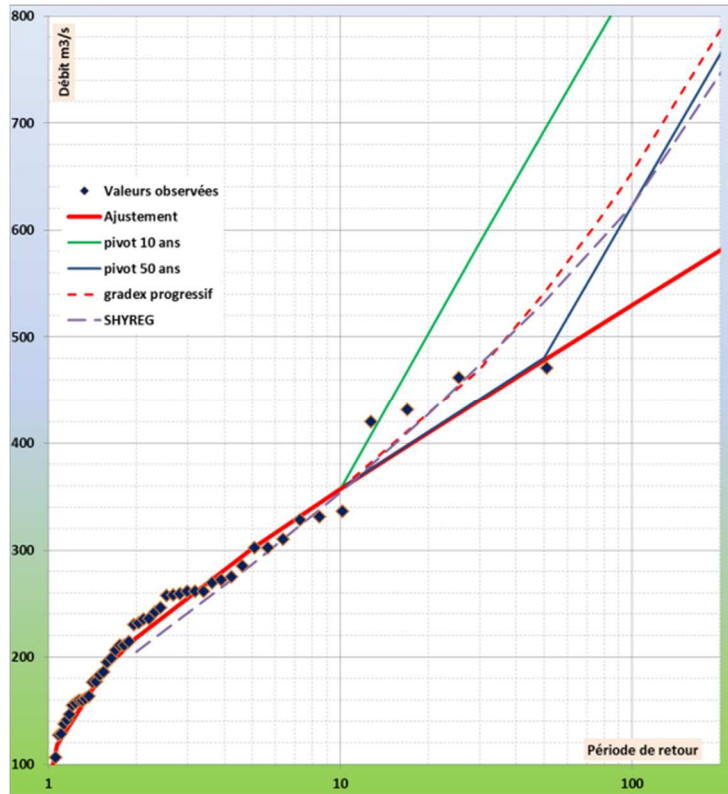
## Station de Neuville



## Station de la Pécardière



### Station de Spay



## ANNEXE 8 COTES CALCULEES AU DROIT DES REPERE DE CRUES

id	crue	PK (km)	Cote Mesurée (m NGF)	Cote simulées (m NGF)	Ecart (m)	Commentaire
72CG6-PR	janv-1995	0.421	41.26	41.29	0.03	
PPRI	janv-1995	2.75	42.00	42.07	0.07	
Atlas Sarthe 2	janv-1995	3.98	42.10	42.32	0.22	Ecart important sur les cotes mais calage en plans
Atlas Sarthe 1	janv-1995	4.25	42.15	42.44	0.29	
PPRI-PK 5.8	janv-1995	6.2	42.90	43.02	0.12	
DDT_2016_1	janv-1995	7.32	43.46	43.37	-0.09	
PPRI- PK 8	janv-1995	8.5	44.00	43.73	-0.27	
DDT_2016_2	janv-1995	9.06	44.00	43.81	-0.19	
RCA-S55	janv-1995	10.08	43.89	44.10	0.21	
PPRI PK 11.3	janv-1995	12.36	44.58	44.38	-0.20	
RCA-S54	janv-1995	11.83	44.38	44.34	-0.04	
RCA-S53	janv-1995	13.04	44.76	44.65	-0.11	
PPRI PK 12.6	janv-1995	13.06	44.91	44.76	-0.15	
S27	janv-1995	13.84	45.15	45.05	-0.10	
Ech planche	janv-1995	14.22	45.70	45.61	-0.09	
S.OA.16	janv-1995	14.86	45.66	45.59	-0.07	
S.OA.15	janv-1995	15.45	45.70	45.67	-0.03	
PPRI PK 22.8	janv-1995	15.45	45.76	45.71	-0.05	
S.OA.13	janv-1995	15.92	45.87	45.84	-0.03	
Ech Yssoir	janv-1995	15.94	45.78	45.85	0.07	
S31	janv-1995	16.64	46.23	46.25	0.02	
S31	janv-1995	16.64	46.22	46.26	0.04	
PPRI PK 24.8	janv-1995	17.44	46.52	46.46	-0.06	
RCA-S56	janv-1995	17.71	46.30	46.82		cote non cohérente
PPRI PK 25.7	janv-1995	18.08	46.81	46.81	0.00	
RCA-S57	janv-1995	18.02	46.84	46.77	-0.07	
CUM.P3	janv-1995	18.29	46.88	46.85	-0.03	
RCA-S58	janv-1995	18.35	47.02	46.87	-0.15	
S.OA.12	janv-1995	18.65	46.92	46.96	0.04	
RCA-S59	janv-1995	18.87	47.27	47.20	-0.07	
RCA-S60	janv-1995	19.18	47.36	47.33	-0.03	
RCA-S61	janv-1995	19.48	47.32	47.34	0.02	
8 PPRI St pavace	janv-1995	19.49	47.25	47.37	0.12	
RCA-S1	janv-1995	19.6	47.46	47.39	-0.07	
RCA-S62	janv-1995	19.6	47.44	47.40	-0.04	
RCA-S63	janv-1995	20.04	47.63	47.50	-0.13	
12 PPRI St pavace	janv-1995	20.58	47.56	47.50	-0.06	
13 PPRI St pavace	janv-1995	22.5	47.86	47.78	-0.08	
RCA-S3	janv-1995	27.14	49.82	49.92	0.10	
S36	janv-1995	30.14	51.15	50.60		effet de bord



id	crue	PK (km)	Cote Mesurée (m NGF)	Cote simulées (m NGF)	Ecart (m)	Commentaire
PPRI PK 0.2	janv-1995	0.20	44.86	44.89	0.03	
PPRI PK 1.1	janv-1995	1.10	45.09	45.20	0.11	
PPRI PK 1.2	janv-1995	1.20	45.26	45.35	0.09	
H3	janv-1995	1.56	45.39	45.49	0.10	
H4	janv-1995	1.56	45.43	45.49	0.06	
H5	janv-1995	1.62	45.65	45.49	-0.16	
PPRI PK1.7	janv-1995	1.77	45.41	45.59	0.18	
H2	janv-1995	1.97	45.90	45.80	-0.10	
PPRI PK 2	janv-1995	2.10	45.85	45.76	-0.09	
FLH13_avba	janv-1995	2.80	46.06	46.01	-0.05	
Ech Pontlieue	janv-1995	2.94	46.21	46.02	-0.19	
FLH13_amba	janv-1995	3.01	46.31	46.22	-0.09	
FLH13_pass	janv-1995	3.64	46.52	46.49	-0.03	
PPRI PK4.8	janv-1995	4.12	46.73	46.71	-0.02	
FLH13_A20av	janv-1995	4.18	44.86	46.76		cote trop basse de 2m
FLH13_A1am	janv-1995	4.23	46.94	46.80	-0.14	
H7B	janv-1995	5.97	47.26	47.30	0.04	
FLH13_A3av	janv-1995	6.04	47.28	47.33	0.05	
FLH13_8	janv-1995	6.04	48.37	48.67		cote trop haute
FLH13_A3am	janv-1995	6.08	47.42	47.42	0.00	
PPPRI PK 10	janv-1995	9.31	49.27	49.18	-0.09	
FLH13_6	janv-1995	9.55	49.22	49.22	0.00	
FLH13_A6	janv-1995	10.07	49.60	49.60	0.00	
FLH13_A7	janv-1995	11.32	50.45	50.37	-0.08	
PPRI PK 12.5	janv-1995	11.63	50.77	50.49	-0.28	
FLH13_9	janv-1995	12.25	50.80	50.72	-0.08	
PPRI PK 13.9	janv-1995	13.00	51.09	51.19	0.10	
FLH13_5	janv-1995	14.03	51.49	51.54	0.05	
H9	janv-1995	17.00	52.48	52.56	0.08	
FLH13_3	janv-1995	17.00	52.78	52.78	0.00	

id	crue	PK (km)	Cote Mesurée (m NGF)	Cote simulées (m NGF)	Ecart (m)	Commentaire
RCA-S53	déc-1999	13.04	44.40	44.45	0.05	
S27	déc-1999	13.84	44.98	44.87	-0.11	
Ech planche	déc-1999	14.22	45.56	45.53	-0.03	
LMM2	déc-1999	14.96	45.40	45.48	0.08	Issue des relevés de ZI
Ech Yssoir	déc-1999	15.94	45.64	45.73	0.09	
S31	déc-1999	16.64	46.06	46.14	0.08	
S31	déc-1999	16.64	46.01	46.15	0.14	
LMM3	déc-1999	16.79	46.10	46.23	0.13	Issue des relevés de ZI
S36	déc-1999	30.14	50.08	50.55		

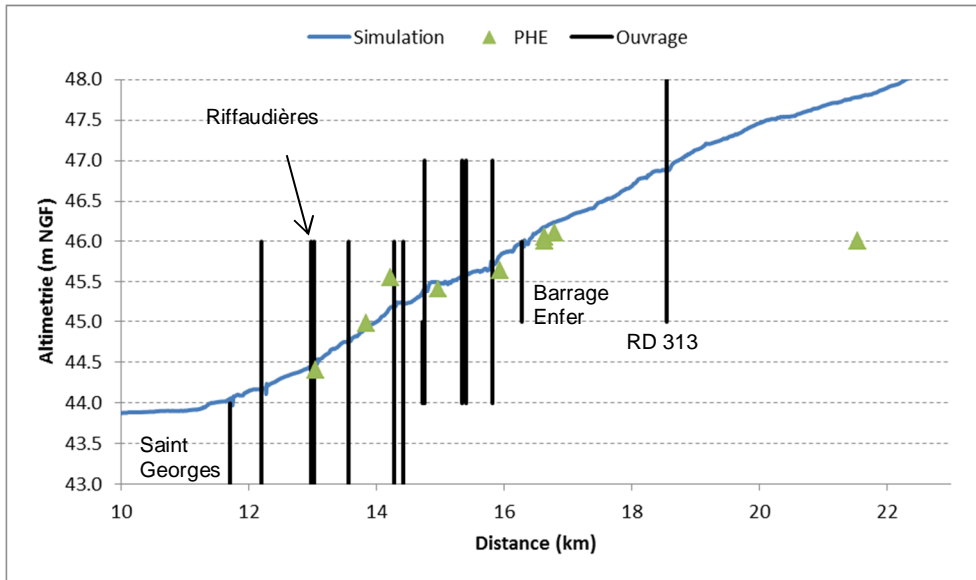
id	crue	PK (km)	Cote Mesurée (m NGF)	Cote simulées (m NGF)	Ecart (m)	Commentaire
H5	déc-1999	1.62	45.04	45.18	0.02	
H2	déc-1999	1.97	45.08	45.28	0.15	
H1	déc-1999	2.05	45.31	45.28	-0.03	
LMM4	déc-1999	2.5	45.3	45.48	0.18	Issue des relevés de ZI
Ech Pontlieue	déc-1999	2.94	45.58	45.55	-0.03	
H12	déc-1999	12.01	51.06	50.36		

id	crue	PK (km)	Cote Mesurée (m NGF)	Cote simulées (m NGF)	Ecart (m)	Commentaire
LMM5	janv-2001	3.34	41.88	42.05	0.17	Issue des relevés de ZI
LMM6	janv-2001	4.07	41.75	42.22	0.47	Issue des relevés de ZI
LMM7	janv-2001	4.70	42.00	42.22	0.22	Issue des relevés de ZI
LMM8	janv-2001	11.83	43.30	43.83	0.53	Issue des relevés de ZI
LMM9	janv-2001	12.35	43.80	44.15	0.35	Issue des relevés de ZI
LMM10	janv-2001	13.04	44.20	44.46	0.26	Issue des relevés de ZI
LMM11	janv-2001	13.35	44.60	44.65	0.05	Issue des relevés de ZI
S27	janv-2001	13.84	44.65	44.79	0.14	
LMM12	janv-2001	13.87	44.70	44.86	0.16	Issue des relevés de ZI
Ech planche	janv-2001	14.22	45.49	45.54	0.05	
LMM13	janv-2001	14.86	45.52	45.52	0.00	Issue des relevés de ZI
ech Yssoir	janv-2001	15.94	45.57	45.76	0.19	
LMM14	janv-2001	16.40	46.04	46.01	-0.03	Issue des relevés de ZI
S31	janv-2001	16.64	45.58	46.20		
LMM15	janv-2001	16.94	46.14	46.31	0.17	Issue des relevés de ZI
LMM16	janv-2001	18.71	46.69	46.93	0.24	Issue des relevés de ZI

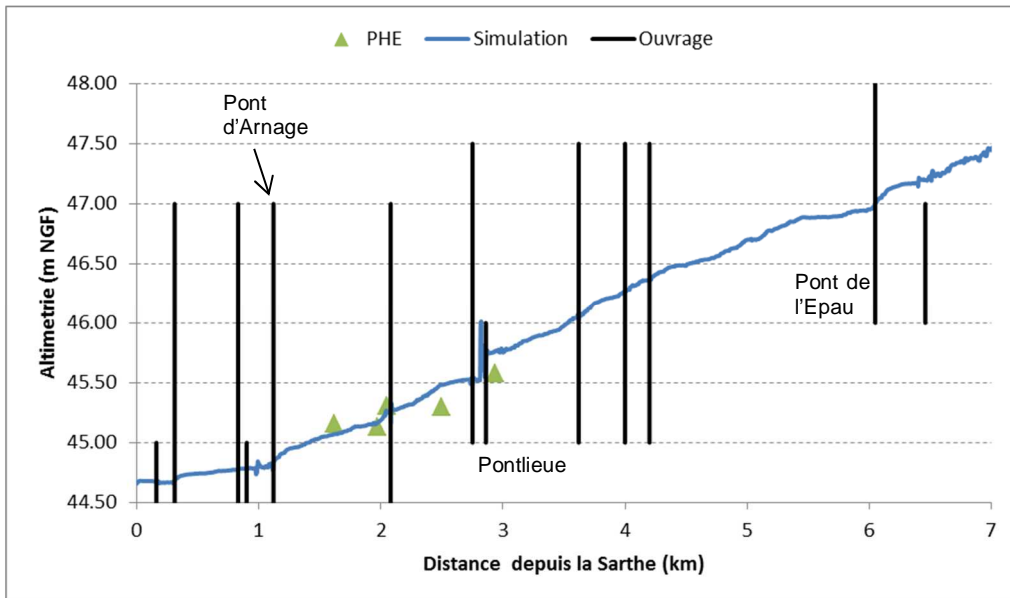
id	crue	PK (km)	Cote Mesurée (m NGF)	Cote simulées (m NGF)	Ecart (m)	Commentaire
H6	janv-2001	1.62	44.86	44.99	0.13	
Ech Pontlieue	janv-2001	2.94	45.36	45.46	0.10	
LMM17h	janv-2001	4.23	46.08	46.26	0.18	Issue des relevés de ZI
H7A	janv-2001	5.90	46.04	46.80		
H11	janv-2001	12.07	50.48	50.54	0.06	

# ANNEXE 9 PROFIL EN LONG DES CRUES DE 1999 ET 2001

## Calage de la crue de 1999

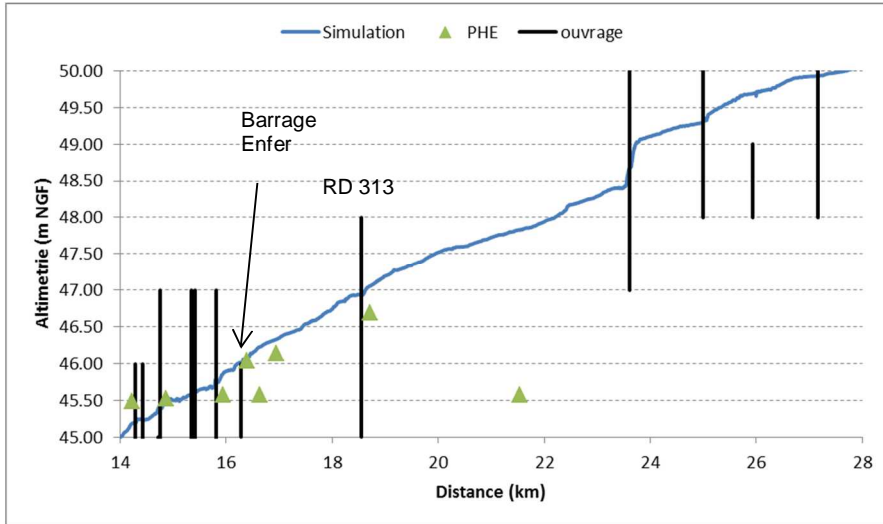


Profil en long de la Sarthe pour la crue de 1999

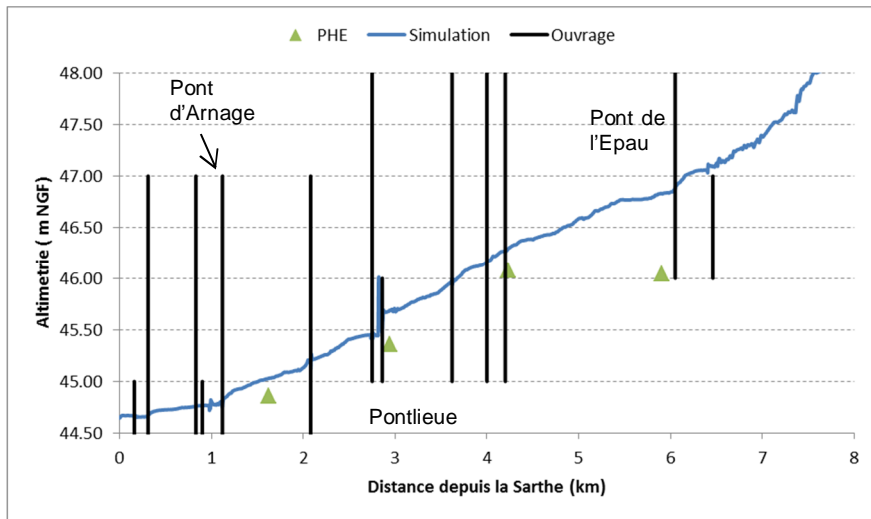


Profil en long de l'Huisne pour la crue de 1999

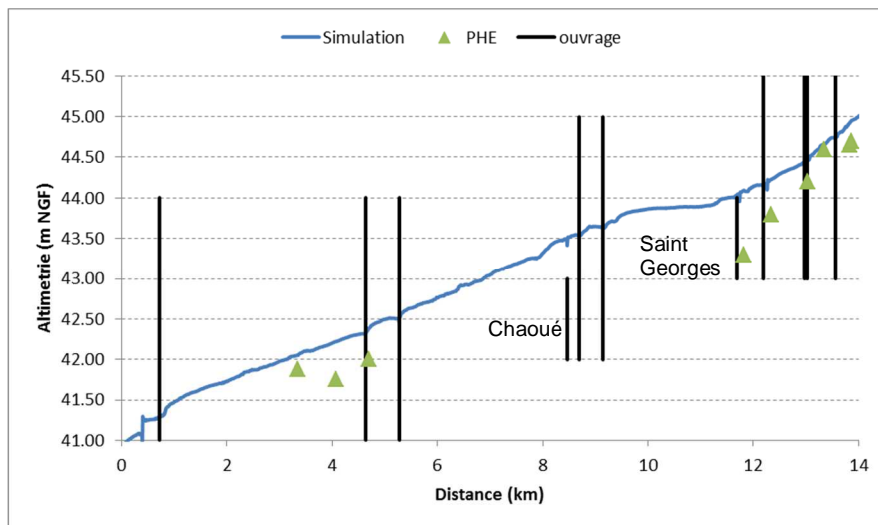
Calage de la crue de 2001



Profil en long de la Sarthe amont pour la crue de 2001



Profil en long de l'Huisne pour la crue de 2001



Profil en long de la Sarthe aval pour la crue de 2001