

Etude de cohérence du Bassin de la Maine



Synthèse

SOMMAIRE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE..... | 1 |
| 1.1 | CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE | 1 |
| 1.2 | OBJECTIFS DE L'ETUDE ET DEMARCHE..... | 3 |
| 2 | ETAPE 1 : COLLECTE DE DONNEES ET LEVES TOPOGRAPHIQUES | 5 |
| 2.1 | DEMARCHE DE L'ETAPE 1 | 5 |
| 2.2 | INVENTAIRE DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET DES REPERES DE CRUE | 6 |
| 2.3 | ACQUISITION DE DONNEES TOPOGRAPHIQUES COMPLEMENTAIRES..... | 6 |
| 2.4 | AUTRES DONNEES COLLECTEES..... | 9 |
| 3 | ETAPE 2 : ETUDE HYDROLOGIQUE ET ANALYSE DES CRUES DE REFERENCE | 10 |
| 3.1 | OBJECTIF DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE ET DEMARCHE | 10 |
| 3.2 | CRUES D'ETUDE..... | 10 |
| 3.3 | DEBITS CARACTERISTIQUES AUX STATIONS HYDROMETRIQUES | 11 |
| 3.4 | TYPLOGIE DES CRUES DU BASSIN DE LA MAINE | 14 |
| 3.5 | CHOIX DES CRUES A MODELISER..... | 15 |
| 4 | ETAPE 3 : RECENSEMENT DES PROJETS | 18 |
| 4.1 | OBJECTIFS DE L'ETAPE 3 | 18 |
| 4.2 | LES TYPES DE PROJETS..... | 18 |
| 4.3 | LES PRINCIPAUX MAITRES D'OUVRAGE..... | 19 |
| 4.4 | RECAPITULATION DES PROJETS D'AMENAGEMENTS | 20 |
| 5 | ETAPE 4 : OUTIL GLOBAL DE MODELISATION DES CRUES DU BASSIN DE LA MAINE ET COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DU BASSIN..... | 23 |
| 5.1 | OBJECTIFS DE CETTE ETAPE | 23 |
| 5.2 | LOGICIEL MIS EN ŒUVRE POUR LA MODELISATION HYDRAULIQUE..... | 23 |
| 5.3 | MODELISATION HYDROLOGIQUE | 24 |
| 5.4 | CONSTRUCTION ET CALAGE DES MODELES HYDRAULIQUES..... | 25 |
| 5.5 | ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN DE LA MAINE | 30 |
| 6 | ETAPE 5 : IMPACTS DES AMENAGEMENTS PROJETES..... | 35 |
| 6.1 | OBJECTIF DE L'ETAPE 5 ET DEMARCHE MISE EN ŒUVRE..... | 35 |
| 6.2 | AMENAGEMENTS PRIS EN COMPTE | 35 |
| 6.3 | SCENARIOS TESTES | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 6.4 CRUES MODELISEES | 39 |
| 6.5 PRESENTATION DES RESULTATS DANS LE RAPPORT D'ETAPE 5 | 40 |
| 6.6 SYNTHESE DES RESULTATS | 40 |
| 7 CONCLUSION | 47 |

Réf : 01621174 BC/AB/MMC
Date : Février 2008
Version 3

NB : Photo de la page de couverture : Rivière Sarthe, Sablé-sur-Sarthe.

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

1.1 CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

Le bassin de la Maine, qui draine un bassin versant de plus de 22 000 km², a été fortement touché par la crue de 1995.

A la suite de cet événement, une réflexion globale a été engagée entre collectivités et services de l'Etat dans le cadre d'une *étude des crises hydrologiques du bassin de la Maine*, sous maîtrise d'ouvrage de l'Etablissement Public Loire, étude dite 3 P (pour Prévision, Prévention et Protection), destinée à analyser le fonctionnement hydrologique du bassin et à proposer des actions pour réduire le risque d'inondation.

Un certain nombre de préconisations de cette étude ont été réalisées, notamment le réseau CRISTAL de télémesures des pluies et débits sur le bassin.

Depuis 1995, la Maine et ses affluents ont connu plusieurs crues de plus ou moins grande importance.

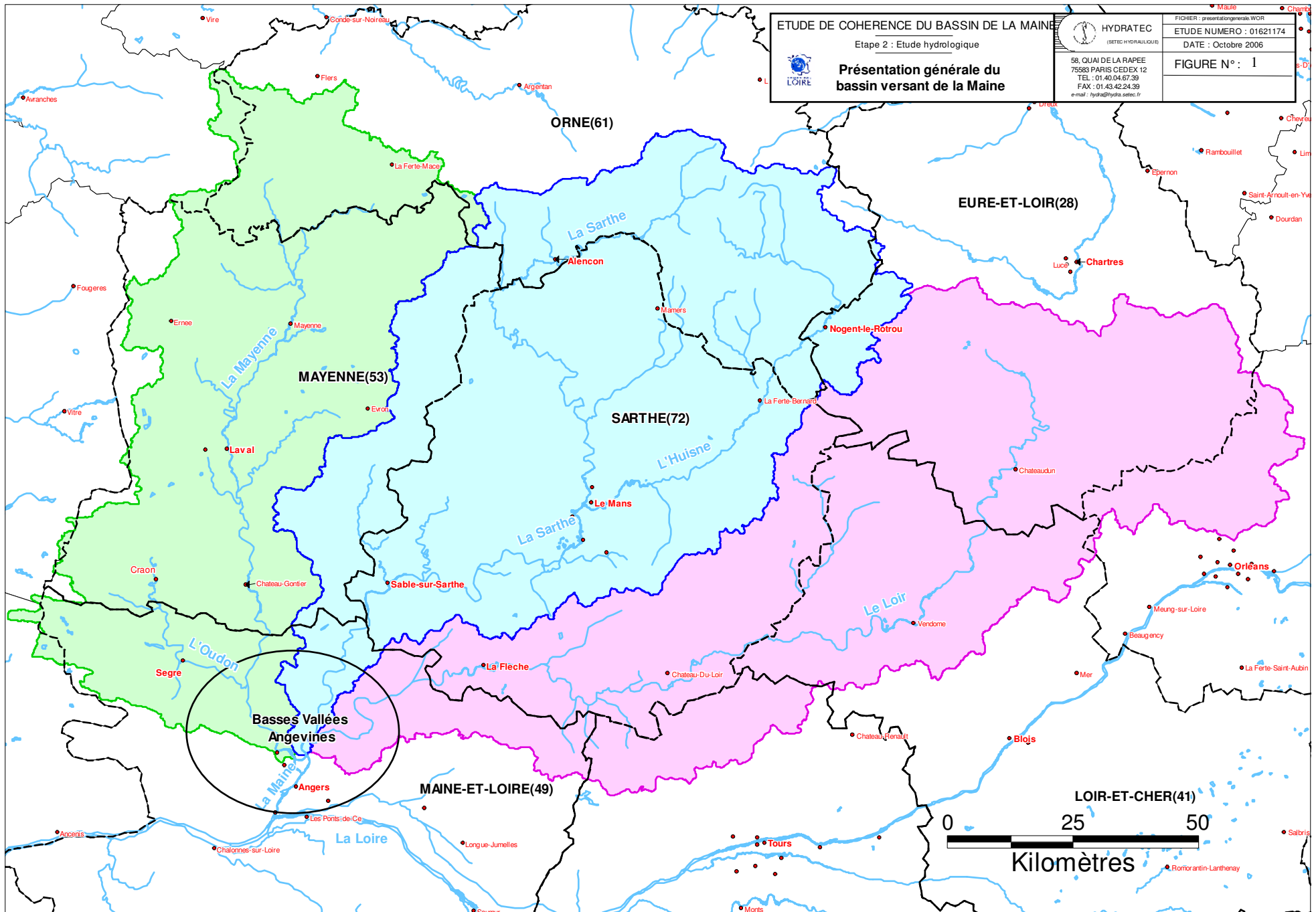
En 2003, a été élaboré un plan de prévention des inondations sur l'ensemble du bassin de la Maine, le P.P.I.B.M. (Plan de Prévention des Inondations du Bassin de la Maine), dans le cadre de la circulaire Bachelot du 1^{er} octobre 2002. Ce plan soutenu conjointement par l'Etat et les collectivités (Régions, Départements, Villes, Etablissement Public Loire) comporte de nombreuses actions susceptibles de modifier le jeu des concomitances des crues.



Le souhait de pouvoir tester tous ces aménagements afin de connaître leur incidence à l'aval du bassin de la Maine et de vérifier leur cohérence hydraulique est donc apparu primordial.

Une première étude de modélisation des phénomènes de crue au niveau des BVA (Basses Vallées Angevines), zone de confluence qui constitue un large champ d'expansion naturel des crues a été réalisée sous maîtrise d'ouvrage de l'Etablissement Public Loire.

L'étude de cohérence sur les bassins versants amont des BVA permet de compléter cette première étude.

La figure 1 présente le bassin versant de la Maine, avec ses 3 sous-bassins principaux (Mayenne-Oudon, Sarthe-Huisne et Loir), les Basses Vallées Angevines et les départements concernés.



| | | |
|---|---|--|
| ETUDE DE COHERENCE DU BASSIN DE LA MAINE Etape 2 : Etude hydrologique  |  HYDRATEC (SETEC HYDRAULIQUE) 58, QUAI DE LA RAPEE 75003 PARIS CEDEX 12 TEL : 01.40.04.67.38 FAX : 01.43.42.24.39 e-mail : hydratec@hydratec.fr | FIGIER : presentation generale WOR ETUDE NUMERO : 01621174 DATE : Octobre 2006 |
| | | FIGURE N° : 1 |

1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE ET DEMARCHE

L'étude de cohérence du bassin de la Maine a pour objet de permettre de valider ou non les projets inscrits dans le P.P.I.B.M. au regard du risque d'aggravation de l'inondation à l'aval, entraînée par la modification éventuelle des concomitances.

Les projets d'aménagement sur le bassin de la Maine ont pour objectifs de diminuer les inondations sur certains secteurs sensibles. **La présente étude doit également permettre d'estimer les impacts de ces aménagements (réduction, non modification ou aggravation des inondations) sur l'ensemble du bassin de la Maine.**

Cette étude doit donc :

- analyser les mécanismes de formation et de propagation des crues **à l'échelle du bassin versant de la Maine,**
- simuler les aménagements prévus **par le Plan de Prévention des Inondations du Bassin de la Maine (P.P.I.B.M.) et analyser leurs incidences sur le mécanisme des crues,**
- réaliser un outil de modélisation évolutif **permettant de simuler d'autres scénarios d'aménagements qui pourraient être intéressants pour améliorer la protection contre les inondations dans le bassin.**

Le modèle hydraulique réalisé est remis en fin d'étude à l'Etablissement Public Loire qui en a la pleine propriété dans le cadre d'une convention spécifique.

La figure 2 présente les tronçons modélisés :

- l'Oudon de l'aval de Craon jusqu'à Maingué,
- la Mayenne de la ville de Mayenne jusqu'à la Jaille-Yvon,
- la Sarthe du Gué Ory jusqu'à Beffes,
- l'Huisne du barrage de Margon jusqu'à sa confluence avec la Sarthe,
- le Loir de Bonneval à Durtal.

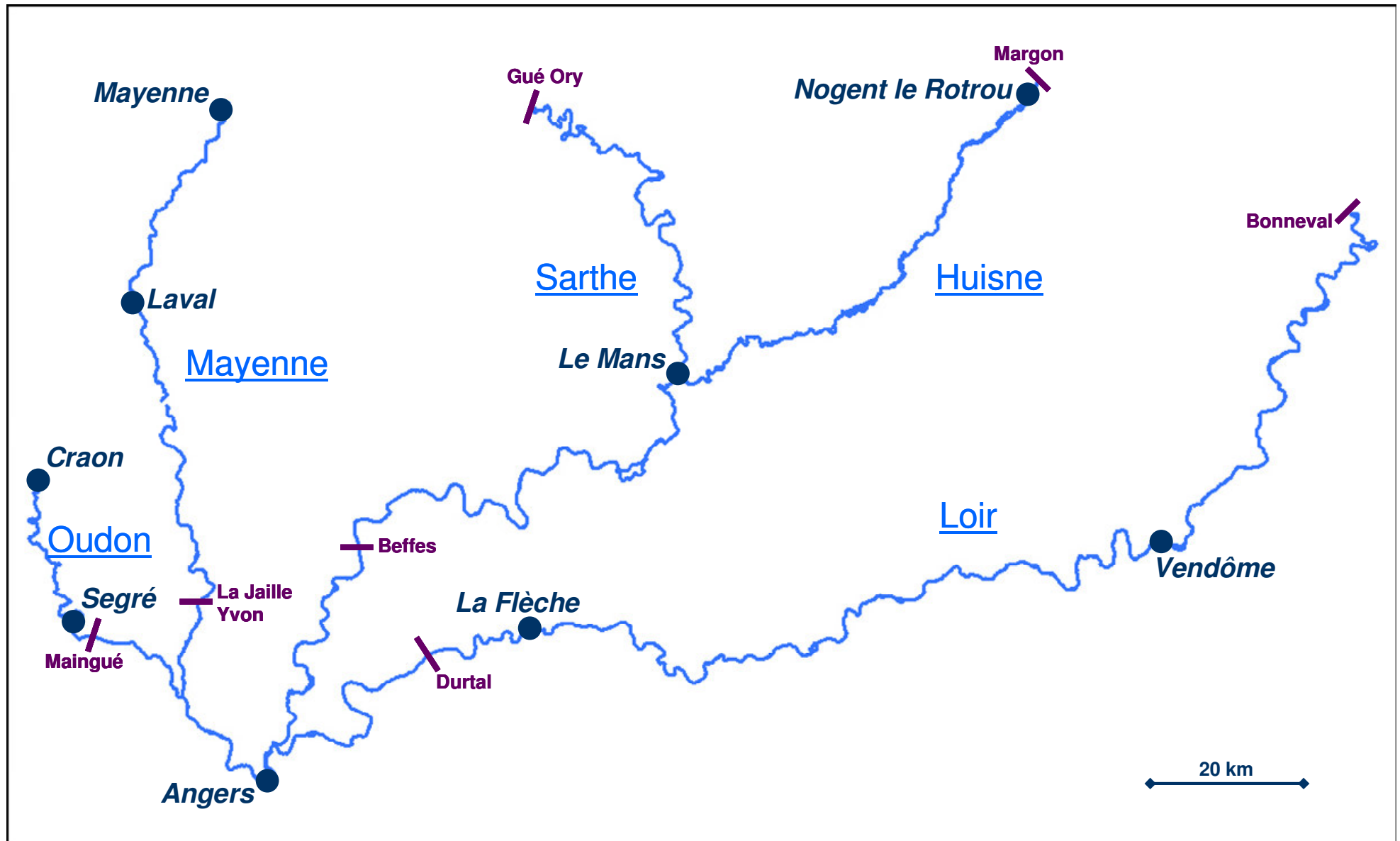
Les stations de Maingué sur l'Oudon, la Jaille-Yvon sur la Mayenne, Beffes sur la Sarthe et Durtal sur le Loir sont les stations d'entrée du modèle des Basses Vallées Angevines évoqué précédemment. A terme, un couplage sera possible entre les deux modèles.

Pour atteindre ses objectifs, cette étude s'est décomposée en plusieurs étapes :

- Etape 1 : Collectes de données et levés topographiques,
- Etape 2 : Etude hydrologique et analyse des crues de référence,
- Etape 3 : Recensement des projets,
- Etape 4 : Outil global de modélisation des crues du bassin de la Maine et compréhension du fonctionnement du bassin,
- Etape 5 : Impacts des aménagements projetés,
- Etape 6 : Communication,
- Etape 7 : Rendu final et formation initiale pour les personnes chargées de faire fonctionner ultérieurement le modèle hydraulique développé par Hydratec et mis à la disposition de l'Etablissement Public Loire.

Cette étude s'est accompagnée de plusieurs réunions du comité de pilotage et du comité de suivi de l'étude.

Figure 2 : tronçons modélisés



2 ETAPE 1 : COLLECTE DE DONNEES ET LEVES TOPOGRAPHIQUES

2.1 DEMARCHE DE L'ETAPE 1

L'étape 1 a consisté à rencontrer les administrations, les collectivités, les associations de riverains inondés, ... susceptibles d'apporter des données intéressantes pour l'étude et à collecter ces données qui comprennent notamment :

- l'ensemble des données concernant les crues sur le bassin versant de la Maine (études réalisées ou en cours, données topographiques, limnigrammes et hydrogrammes aux stations hydrométriques, données pluviométriques, données du réseau CRISTAL, repères de crue, photographies aériennes, cartographies de zones inondables, ...)
- les données pluviométriques et hydrométriques nécessaires à l'étude,
- l'identification de repères de crue afin de compléter les données collectées,
- le recensement des travaux susceptibles de modifier les écoulements réalisés au cours des 15 dernières années.

Un tableau récapitulatif a été réalisé contenant les noms, organismes et adresses des personnes qui ont été contactées.

L'étape 1 a donc comporté les tâches suivantes :

- enquêtes pour le recueil des données : elles ont donné lieu à 25 entretiens, chacun a fait l'objet d'un compte-rendu validé par la ou les personnes rencontrées et annexé au rapport de l'étape 1,
- analyse des études et autres documents recueillis : 106 études ont fait l'objet de fiches de lecture annexées au rapport de l'étape 1,
- bilan des repères de crue existants et recherche de repères de crue complémentaires par enquêtes sur le terrain,
- bilan des levés topographiques existants et définition des levés topographiques complémentaires à réaliser en vue de l'élaboration de la modélisation hydraulique,
- élaboration du rapport d'étape 1 relatif au recueil des données, hors hydrologie (présenté dans le rapport de l'étape 2) et hors recensement des projets (présenté dans le rapport de l'étape 3),
- élaboration du CCTP et du détail estimatif pour les levés topographiques complémentaires, incluant le rattachement de nouveaux repères de crue,
- assistance à l'Etablissement Public Loire pour la réalisation des levés topographiques complémentaires : analyse des offres, suivi de la réalisation des levés, réception des levés.

Le recensement et la collecte des données existantes ont été réalisés entre juillet et décembre 2005. Le rapport de l'étape 1 a été élaboré en décembre 2005.

Les enquêtes sur le terrain pour le recueil de repères de crue complémentaires à ceux existants ont été faites en octobre 2005. Les besoins de levés topographiques complémentaires ont été définis fin novembre 2005 et les pièces du marché de levés

topographiques à la charge d'Hydratec (CCTP et détail estimatif) ont été produites début 2006.

Les levés topographiques ont été réalisés entre mai 2006 et janvier 2007 par Fauquembergue, Lemaire et associés, SELARL de géomètres-experts (62 – Saint-Omer).

2.2 INVENTAIRE DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET DES REPERES DE CRUE

Les levés topographiques existants ont été inventoriés et recueillis. Certains de ces levés se sont avérés inexploitable et d'autres levés, dont l'existence est notée dans des études, n'ont pas pu être récupérés auprès des services. Pour certains levés, il manque le plan de situation.

Cette perte constatée d'une partie de l'information topographique relative aux cours d'eau n'est pas propre au bassin de la Maine, comme Hydratec a pu le constater à l'occasion d'études sur d'autres bassins versants français. Elle est notamment due à des défaillances des systèmes d'archivage.

L'utilisation de certaines données topographiques existantes a été faite, à la demande de certains maîtres d'ouvrage, dans le cadre d'une convention entre l'Etablissement Public Loire et le maître d'ouvrage concerné.

Les données topographiques existantes fin 2005 étaient réparties de façon hétérogène, certains secteurs étant bien pourvus (cas par exemple du Loir dans le département de la Sarthe et de l'Huisne entre Nogent-le-Rotrou et le Mans), d'autres étant dépourvu de levés (cas de la vallée de l'Oudon entre l'aval de Craon et Châtelais, de la vallée de la Mayenne en dehors des agglomérations de Mayenne, Laval et Château-Gontier).

D'une manière générale, les repères de crue existants ont été extraits des études consultées. Ils concernent principalement la crue de 1995 et des crues antérieures.

Suite au bilan des repères de crue existants, et après analyse des séries de débits à différentes stations hydrométriques des 5 cours d'eau étudiés, il a été décidé de rechercher des données complémentaires pour des crues postérieures à celle de 1995, dans les vallées du Loir, de la Sarthe, de l'Huisne et de l'Oudon. Les repères relevés ainsi sur le terrain par Hydratec, par enquêtes auprès des riverains, concernent essentiellement les crues de décembre 1999, janvier 2001, janvier 2004 et aussi parfois des crues plus anciennes. La vallée de la Mayenne n'a pas été concernée car elle est moins vulnérable et les crues concernées n'ont pas dû inonder suffisamment pour y recueillir des repères de crue. 136 sites de nouveaux repères de crue ont ainsi été relevés.

2.3 ACQUISITION DE DONNEES TOPOGRAPHIQUES COMPLEMENTAIRES

La modélisation a pour objet de vérifier la cohérence hydraulique des projets d'aménagements inscrits dans le PPIBM (Plan de Prévention des Inondations du Bassin de la Maine).

La définition de la modélisation (élaborée pendant l'étape 4) a donc tenu compte des projets d'aménagement à tester. Par conséquent, la définition des levés topographiques à acquérir en complément de ceux existants a aussi tenu compte des projets d'aménagements (recensés dans le cadre de l'étape 3).

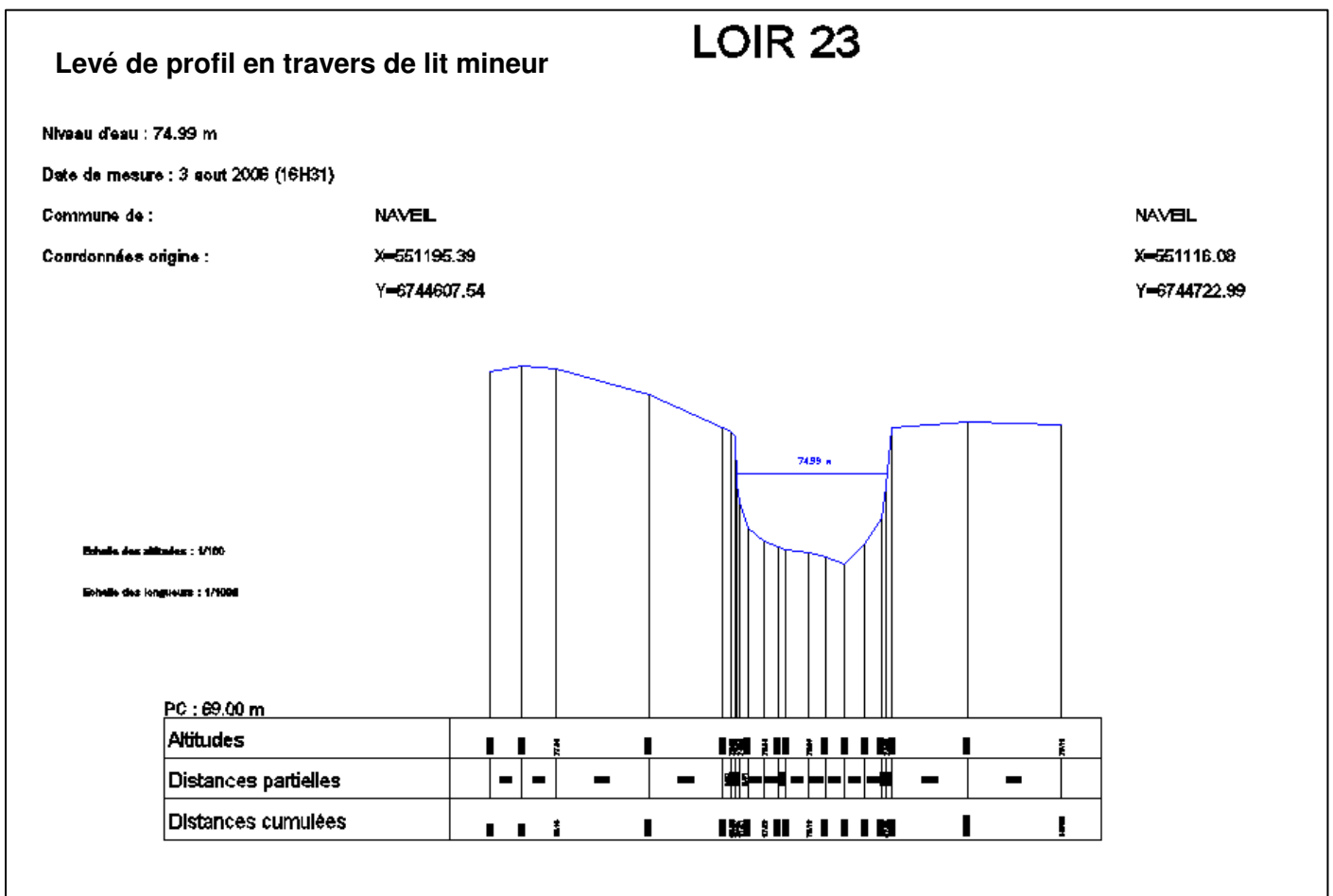
La nature et la densité des levés ont été adaptées aux besoins de la modélisation.

Les levés réalisés ont concerné :

- 70 profils en travers de lit mineur,
- 90 profils en travers lit mineur + lit majeur,
- 72 ponts,
- 34 ouvrages hydrauliques (moulins ou assimilés),
- 127 repères de crue,
- 26 échelles de crue (nivellement d'échelles existantes).

Les figures 3 et 4 illustrent les levés topographiques réalisés.

Figure 3 : Exemples de levés réalisés (échelle non conforme)



Pour le Loir en Eure-et-Loir, il n'a pas été prévu de nouveaux levés au droit du lit mineur du Loir car la DDE avait programmé la réalisation de tels levés en 2006 ainsi qu'un MNT (Modèle Numérique de Terrain), dans le cadre de l'élaboration du PPRI. Or ces levés n'ont pas été réalisés à temps pour les prendre en compte dans la modélisation hydraulique mais le MNT a pu nous être communiqué. Nous avons donc construit une modélisation simplifiée du lit mineur du Loir en Eure-et-Loir, ce qui n'a pas d'incidence sur les résultats de l'étude car il n'y a pas d'aménagements projetés dans ce secteur amont de la vallée du Loir (parmi les aménagements recensés).

2.4 AUTRES DONNEES COLLECTEES

Les 106 études qui ont pu être inventoriées sur le bassin de la Maine sont de plusieurs natures. Elles peuvent être classées en quatre grandes catégories :

- les études cartographiques comme les atlas (document non réglementaire mais informatif) et les PPRI (Plan de Prévention des Risques d'Inondation : document réglementaire) dont les principaux objectifs sont de cartographier l'emprise de la crue centennale sur un cours d'eau et les zones de risques en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses en crue,
- les études hydrauliques ponctuelles de franchissement de cours d'eau par des routes (départementales, nationales ou autoroutes) ou par des voies ferrées (TGV),
- les études hydrauliques pour la lutte contre les inondations :
 - au niveau d'une commune (étude ponctuelle),
 - à l'échelle d'un bassin versant,
- les études hydrauliques dans le cadre de dossier loi sur l'eau pour des travaux en rivière (généralement réfection d'ouvrages, de pont, de berges, ...).

Les fiches de lecture sont une synthèse des études dans lesquelles les éléments suivants ont été mis en évidence :

- objet de l'étude, date de réalisation, maître d'ouvrage et chargé d'étude,
- plan de situation de la zone d'étude et détail du secteur étudié,
- étude hydrologique,
- données topographiques utilisées,
- étude hydraulique,
- modélisation hydraulique utilisée,
- documents cartographiques,
- synthèse de l'étude,
- repères de crue,
- critique et utilité pour l'étude de cohérence.

Les travaux d'aménagement réalisés depuis une quinzaine d'années ont aussi été inventoriés. Il s'agit généralement d'aménagements ponctuels.

Les données relatives à l'hydrologie ont été collectées et analysées dans le cadre de l'étape 2 (cf chapitre suivant) et celles relatives aux projets à tester ont été recueillies dans le cadre de l'étape 3 de recensement des projets (cf chapitre 4).

3 ETAPE 2 : ETUDE HYDROLOGIQUE ET ANALYSE DES CRUES DE REFERENCE

3.1 OBJECTIF DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE ET DEMARCHE

L'étude hydrologique a pour objectifs :

- d'analyser le fonctionnement hydrologique du bassin de la Maine, à travers l'étude détaillée d'un certain nombre de crues,
- de définir une typologie des crues du bassin de la Maine,
- de choisir les événements historiques ou théoriques qui seront modélisés.

Pour la modélisation, il était prévu d'élaborer 10 événements représentatifs (événements historiques ou théoriques), le modèle étant à caler sur 4 événements. C'est pourquoi un échantillonnage important de crues historiques a été retenu (16 crues), sachant que pour certaines (les plus anciennes) nous disposons de peu d'informations.

La démarche a été la suivante :

- étude préliminaire pour choisir les 16 crues d'étude,
- analyse du cadre physique du bassin de la Maine,
- analyse des stations hydrométriques et détermination des valeurs caractéristiques des débits de crue aux différentes stations,
- analyse des 16 crues, avec analyse de différents paramètres : pluviométrie, incidences éventuelles du gel et de la neige, analyse des volumes de crue, analyse des vitesses de montée et de descente, analyse des temps de propagation, horloge des crues,
- proposition d'une typologie des crues du bassin de la Maine,
- proposition des crues à modéliser.

3.2 CRUES D'ETUDE

Les 16 crues d'étude retenues à l'issue de l'analyse hydrologique préliminaire sont les suivantes :

- | | |
|------------------|------------------|
| - janvier 1961, | - février 1990, |
| - janvier 1966, | - janvier 1993, |
| - octobre 1966, | - janvier 1995, |
| - novembre 1974, | - février 1996, |
| - février 1979, | - février 1997, |
| - décembre 1982, | - décembre 1999, |
| - avril 1983, | - janvier 2001, |
| - avril 1985, | - janvier 2004. |

Parmi les crues les plus anciennes, on peut noter celle de janvier 1961 (forte sur le Loir), celle de janvier 1966 (forte sur la Sarthe) et celle d'octobre 1966 (forte sur la Sarthe et la Mayenne). Bien que les données hydrométriques soient très partielles pour ces crues (il y avait alors beaucoup moins de stations hydrométriques que maintenant), elles sont intéressantes à étudier dans la perspective de l'élaboration d'une typologie des crues du bassin. En effet, on a pu noter qu'elles ont été très fortes sur un seul sous-bassin (le Loir pour janvier 1961 et la Sarthe pour janvier 1966) ou sur deux sous-bassins (octobre 1966).

C'est une configuration qu'on ne retrouve ensuite que pour la crue de novembre 1974, forte sur le seul bassin de la Mayenne.

3.3 DEBITS CARACTERISTIQUES AUX STATIONS HYDROMETRIQUES

Les débits caractéristiques aux stations hydrométriques principales du bassin de la Maine ont été estimés :

- par ajustement statistique, avec la loi de Gumbel, pour les périodes de retour allant jusqu'à 20 ou 50 ans, selon la longueur des séries aux stations,
- par extrapolation par la méthode du Gradex au-delà.

L'hypothèse de base de la méthode du Gradex est qu'au-delà d'une certaine quantité de pluie (correspondant à la saturation du bassin versant), tout accroissement des précipitations tend à produire un accroissement égal du débit, c'est-à-dire que tout le volume de pluie qui tombe sur le bassin versant se retrouve par un chemin ou un autre dans la rivière et contribue au volume de la crue. Ainsi, à partir d'une certaine période de retour, la loi des débits peut être extrapolée par une droite de même pente que celle de la loi des pluies.

L'utilisation de la méthode du Gradex suppose une bonne connaissance de l'hydrosystème étudié, notamment pour définir à partir de quelle période de retour pivot, il est légitime de considérer que le sol est saturé.

Lors de l'étude « 3P »¹, l'application de cette méthode et ses limites d'utilisation sur le bassin de la Maine ont fait l'objet de concertations entre experts.

Dans la présente étude, nous avons repris les valeurs de période de retour pivot sans les critiquer car ce n'était pas un des buts de cette étude.

Le tableau 1 présente les débits caractéristiques aux principales stations et le tableau 2 présente les périodes de retour des 16 crues d'étude au niveau des vallées principales et de leurs affluents.

¹ « Etude des crises hydrologiques du bassin versant de la Maine », dite étude 3P (pour Protection, Prévention et Prévision), réalisée par la CNR sous la Maîtrise d'Ouvrage de l'Etablissement Public Loire (1999)

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des débits caractéristiques instantanés des stations du bassin de la Maine

| Stations hydrométriques | Période disponible | Surface (km ²) | nb de jours | gradex | gradex en m ³ /s | rapport $Q_{inst}/Q_{n-jours}$ | Q _{5ans} (m ³ /s) | Q _{10ans} (m ³ /s) | Q _{20ans} (m ³ /s) | Q _{50ans} (m ³ /s) | Q _{100ans} (m ³ /s) | Q _{200ans} (m ³ /s) | Période de retour pivot | Q ₁₀₀ /Q ₁₀ |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------------|-------------|--------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|---|---|-------------------------|-----------------------------------|
| La Sarthe | | | | | | | | | | | | | | |
| Moulin du désert (la Sarthe) | 1980-2005 | 908 | 2 | 10 | 53 | 1.09 | 80 | 95 | 110 | 130 | 165 | 210 | 50 | 1.74 |
| Chiantin (le Merdereau) | 1986-2005 | 118 | 1 | 8 | 11 | 1.2 | 20 | 23 | 27 | 31 | 40 | 50 | 50 | 1.74 |
| Moulin Neuf (l'Orne Saosnoise) | 1969-2005 | 510 | 2 | 10 | 30 | 1.21 | 38 | 46 | 55 | 65 | 90 | 115 | 50 | 1.96 |
| Montreuil (la Sarthe) | 1974-2004 | 2716 | 4 | 11 | 86 | 1.13 | 250 | 290 | 335 | 390 | 455 | 520 | 50 | 1.57 |
| Nogent-le-Rotrou (l'Huisne) | 1973-2005 | 827 | 2 | 10 | 48 | 1.28 | 60 | 70 | 80 | 95 | 110 | 152 | 90 | 1.57 |
| La Pécardière (l'Huisne) | 1985-2005 | 1890 | 2 | 10 | 109 | 1.18 | 110 | 130 | 140 | 170 | 205 | 295 | 90 | 1.58 |
| St-Mars-la-Brière (le Narais) | 1984-2005 | 167 | 1 | | | | 6.4 | 7.7 | 9 | 11 | 12 | 14 | | 1.56 |
| Parence (la Vive Parence) | 1984-2005 | 185 | 4 | 11 | 6 | 1.19 | 11 | 13 | 15 | 18 | 21 | 26 | 75 | 1.62 |
| Spay (la Sarthe) | 1954-2005 | 5285 | 4 | 11 | 168 | 1.15 | 300 | 360 | 415 | 480 | 560 | 700 | 75 | 1.56 |
| Asnières/Vègre (la Vègre) | 1982-2005 | 401 | 2 | 10 | 23 | 1.17 | 49 | 60 | 70 | 85 | 100 | 118 | 75 | 1.67 |
| Moulin-la-Roche (l'Erve) | 1974-2005 | 380 | 1 | 8 | 35 | 1.38 | 65 | 80 | 95 | 110 | 134 | 167 | 75 | 1.68 |
| Bouessay (la Vaige) | 1982-2005 | 233 | 1 | 8 | 22 | 1.17 | 38 | 45 | 55 | 65 | 78 | 95 | 75 | 1.73 |
| Beffes (la Sarthe) | 1972-2005 | 7380 | 4 | 11 | 235 | 1.07 | 460 | 550 | 635 | 750 | 870 | 1040 | 75 | 1.58 |
| La Mayenne | | | | | | | | | | | | | | |
| Couterne (la Mayenne) | 1971-1995 | 521 | 1 | 8 | 48 | 1.2 | 78 | 90 | 105 | 135 | 175 | 215 | 35 | 1.94 |
| Domfront (la Varenne) | 1981-2004 | 198 | 1 | 8 | 18 | 1.13 | 35 | 40 | 47 | 65 | 80 | 95 | 20 | 2.00 |
| St-Fraimbault (la Mayenne) | 1971-2005 | 1850 | 2 | 10 | 107 | 1.35 | 240 | 280 | 330 | 420 | 510 | 620 | 35 | 1.82 |
| Moulay (l'Aron) | 1974-2005 | 188 | 2 | 10 | 11 | 1.24 | 25 | 30 | 35 | 47 | 57 | 67 | 20 | 1.90 |
| Ernée (l'Ernée) | 1989-2005 | 115 | 1 | 8 | 11 | 1.33 | 13 | 15 | 18 | 31 | 41 | 51 | 20 | 2.73 |
| Vaugeois (l'Ernée) | 1968-2005 | 375 | 1 | 8 | 35 | 1.18 | 48 | 60 | 70 | 105 | 134 | 162 | 20 | 2.23 |
| Ecluse de Bonne (la Mayenne) | 1972-2005 | 2890 | 2 | 10 | 167 | 1.14 | 360 | 440 | 510 | 625 | 770 | 900 | 35 | 1.75 |
| Forcé (la Jouanne) | 1969-2005 | 410 | 2 | 10 | 24 | 1.2 | 60 | 75 | 85 | 112 | 132 | 152 | 20 | 1.76 |
| Nuillé/Vicoïn (le Vicoïn) | 1974-2005 | 235 | 1 | 8 | 22 | 1.26 | 46 | 55 | 65 | 90 | 110 | 128 | 20 | 2.00 |
| Pont d'Ouette (l'Ouette) | 1986-2005 | 118 | 2 | 10 | 7 | 1.17 | 16 | 20 | 23 | 30 | 36 | 42 | 20 | 1.80 |
| Château Gontier (la Mayenne) | 1971-2005 | 3910 | 2 | 10 | 226 | 1.25 | 480 | 580 | 680 | 860 | 1050 | 1250 | 35 | 1.81 |
| Chambellay (la Mayenne) | 1966-2005 | 4160 | 2 | 10 | 241 | 1.19 | 520 | 630 | 730 | 920 | 1120 | 1320 | 35 | 1.78 |
| Cossé-le-Vivien (l'Oudon) | 1990-2005 | 133 | 1 | 8 | 12 | 1.15 | 21 | 27 | 32 | 41 | 51 | 61 | 35 | 1.89 |
| La Boissière (le Chéran) | 1973-2005 | 85 | 1 | 8 | 8 | 1.2 | 14 | 17 | 20 | 29 | 35 | 42 | 20 | 2.06 |
| Marcillé (l'Oudon) | 1974-2005 | 734 | 2 | 10 | 42 | 1.21 | 75 | 95 | 113 | 145 | 180 | 215 | 35 | 1.89 |
| Basse Rivière (l'Argos) | 1983-2005 | 153 | 1 | 8 | 14 | 1.2 | 29 | 36 | 43 | 58 | 70 | 82 | 20 | 1.94 |
| Port-aux-Anglais (l'Oudon) | 1970-1998 | 1409 | 2 | 10 | 82 | 1.12 | 160 | 200 | 240 | 300 | 360 | 430 | 35 | 1.80 |
| Le Loir | | | | | | | | | | | | | | |
| Trizay (l'Ozanne) | 1975-2005 | 268 | 1 | 8 | 25 | 1.1 | 52 | 63 | 74 | 90 | 106 | 125 | 50 | 1.68 |
| St-Maur (le Loir) | 1969-2005 | 1160 | 2 | 10 | 67 | 1.33 | 93 | 120 | 140 | 170 | 235 | 290 | 50 | 1.96 |
| Villavard (le Loir) | 1971-2005 | 4545 | 4 | 11 | 87 | 1.2 | 150 | 190 | 230 | 270 | 350 | 420 | 50 | 1.84 |
| La Caboché (la Braye) | 1969-2005 | 270 | 1 | 8 | 25 | 1.16 | 33 | 40 | 46 | 55 | 74 | 95 | 50 | 1.85 |
| L'Yerre à Saint-Hilaire-sur-Yerre | 1994-2005 | 297 | 1 | 8 | 28 | 1.2 | 60 | 75 | 90 | 105 | 130 | 154 | 50 | 1.73 |
| Le Petit Brives (la Veuve) | 1984-2005 | 156 | 1 | 8 | 14 | 1.37 | 24 | 30 | 36 | 45 | 57 | 72 | 50 | 1.90 |
| Moulin à Tan (l'Aune) | 1973-1996 | 224 | 2 | 10 | 13 | 1.16 | 12 | 14 | 17 | 20 | 30 | 40 | 50 | 2.14 |
| Durtal (le Loir) | 1962-2005 | 7920 | 4 | 11 | 195 | 1.1 | 260 | 320 | 370 | 440 | 690 | 735 | 50 | 2.16 |

valeurs extrapolées par la méthode du GRADEX

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des périodes de retour des 16 crues étudiées

| Bassin versant | Oudon | | Mayenne | | Sarthe | | Huisne | | Loir | |
|----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Cours principal | Affluents | Cours principal | Affluents | Cours principal | Affluents | Cours principal | Affluents | Cours principal | Affluents |
| janv-61 | | | | | <2 | | | | 50 | |
| janv-66 | | | 2 | | 50 | | | | 6 | |
| oct-66 | | | 30 | | 50 | | | | <2 | |
| nov-74 | <2 | <2 | 6 à 50 | 5 à 30 | <2 | <2 | 3 | | <2 | <2 |
| févr-79 | <2 | <2 | <2 | <2 | 2 à 7 | 2 à 15 | 4 | | 2 à 7 | 2 à 3 |
| déc-82 | 5 à 6 | 2 | 2 à 15 | | 2 à 6 | 2 à 9 | 3 | | 3 | 3 à 4 |
| avr-83 | 3 | 2 à 5 | <2 | <2 | 2 à 3 | 2 à 3 | <2 | | 14 à 35 | 3 à 20 |
| avr-85 | 3 | 2 à 3 | 2 à 3 | 2 à 3 | 2 à 7 | 2 à 35 | 4 à 5 | 5 à 12 | 3 à 4 | 2 à 15 |
| févr-90 | 2 | <2 | 5 à 25 | 2 à 15 | 2 à 3 | <2 | 2 | <2 | <2 | <2 |
| janv-93 | 3 | 3 à 4 | 6 à 15 | 2 à 15 | 3 à 30 | 2 à 4 | 4 à 20 | 2 | 3 à 5 | 4 à 9 |
| janv-95 | 2 à 40 | 3 à 11 | 18 à 30 | 3 à 22 | 15 à 60 | 3 à 15 | 60 à 90 | 4 à 8 | 25 à 55 | 4 à 20 |
| févr-96 | 4 à 28 | 5 à 30 | 2 à 7 | 2 à 15 | 3 à 5 | 2 à 5 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| févr-97 | 4 à 12 | 2 à 18 | 2 à 4 | 2 à 5 | 2 à 5 | 3 à 10 | 3 à 5 | 2 à 4 | 3 à 7 | 2 à 7 |
| déc-99 | 8 à 40 | 9 à 21 | 8 à 12 | 3 à 8 | 11 à 40 | 4 à 8 | 6 à 12 | 4 à 22 | 5 à 17 | 2 à 7 |
| janv-01 | 7 à 20 | 17 à 20 | 9 à 22 | 4 à 22 | 8 à 20 | 4 à 20 | 10 à 13 | 4 à 20 | 3 à 7 | 2 à 6 |
| janv-04 | 4 | 10 | 4 à 5 | 3 à 11 | 4 à 7 | 4 à 22 | 6 à 7 | 3 à 30 | 8 à 20 | 5 à 30 |

Période de retour maximale >40 rouge
 Période de retour maximale entre 20 et 40 orange
 Période de retour maximale entre 10 et 20 jaune

3.4 TYPOLOGIE DES CRUES DU BASSIN DE LA MAINE

Les analyses faites nous ont permis de distinguer :

□ Les crues monopics (env. $\frac{3}{4}$ des crues historiques) :

- ♦ Ces crues ont plutôt tendance à affecter 1 ou 2 des sous-bassins principaux, mais pas tout le bassin de la Maine,
- ♦ Elles peuvent être amplifiées par le gel et la neige,
- ♦ Certaines de ces crues, générées par des épisodes pluvieux plutôt brefs sortent de la « norme » en terme de volume : elles sont moins volumineuses. Ces crues affectent un seul des sous-bassins principaux.
- ♦ Pour chacun des 3 sous-bassins principaux, on peut distinguer plusieurs types de crues :
 - Pour le Loir :
 - crues d'amont générées en amont de Châteaudun, dont la propagation n'est pas perturbée par un apport important de la Braye (cas de la crue d'avril 1983),
 - crues d'aval, avec un apport important de la Braye qui crée la pointe de crue en aval de la Braye (cas de la crue de janvier 2004).
 - Pour la Sarthe :
 - crues d'amont (amont de Spay), avec avance de la Sarthe sur l'Huisne au Mans,
 - crues d'amont avec avance de l'Huisne sur la Sarthe au Mans,
 - crues dites d'aval, avec :
 - cas où les crues des 3 affluents aval de rive droite (Vègre, Vaige et Erve) se superposent à une crue de même importance que celles de la Sarthe amont (en terme de période de retour des débits) : cas de la crue de février 1996,
 - cas où les crues de ces 3 affluents aval sont très fortes et se superposent à une crue plus modeste de la Sarthe amont (crue de janvier 2004).
 - Pour la Mayenne :
 - crues d'amont générées en amont de Mayenne et qui sont peu renforcées en aval : cas de la crue de février 1990,
 - crues amont et centrale où il y a, à la fois crue amont, au sens ci-dessus, et crues sur les affluents l'Ernée, la Jouanne et leurs voisins : crues de novembre 1974, de janvier 2001,
 - crues qui affectent essentiellement l'Oudon et peu la Mayenne en amont de l'Oudon : crues de février 1996 et février 1997,
 - crues généralisées qui affectent à la fois la Mayenne (amont et centrale) et l'Oudon : crue de janvier 2001.

□ Les crues multiples (env. ¼ des crues historiques) :

- ♦ ces crues ont plutôt tendance à affecter l'ensemble du bassin de la Maine,
- ♦ elles sont générées par des épisodes de pluie plutôt longs, ou plus brefs mais, dans ce cas, avec plusieurs pointes marquées de pluie,
- ♦ elles ne sont pas influencées par le gel et la neige (ou le sont très peu),
- ♦ les distinctions faites pour les crues monopics, entre crues d'amont et crues d'aval ne peuvent pas être faites ici : s'il y a des différences entre l'amont et l'aval, elles sont en effet moins nettes dans leurs effets.

Du fait d'une certaine constance de l'horloge des crues au niveau des BVA, cette horloge des crues en aval n'entre pas en ligne de compte dans la définition de la typologie des crues du bassin de la Maine.

3.5 CHOIX DES CRUES A MODELISER

Le panel des crues historiques étudiées est large. Il balaie, nous semble-t-il, toute la gamme des types de crue pouvant survenir, avec :

- ♦ Des crues multiples qui concernent l'ensemble du bassin de la Maine,
- ♦ Des crues monopics qui concernent 1 ou 2 des sous-bassins principaux.

Dans ces dernières, qui représentent les $\frac{3}{4}$ de l'échantillon, on trouve sur chaque sous-bassin, des crues d'amont, des crues d'aval, Aux grandes confluences (Loir-Braye, Sarthe-Huisne, Sarthe-Vègre-Vaige-Erve, Mayenne-Ernée, Mayenne-Oudon), on trouve des configurations de crues variées.

Aussi, nous avons proposé de modéliser essentiellement des crues réelles (crues historiques). Pour les 10 crues à modéliser, notre choix s'est porté sur :

- ♦ Les 9 crues historiques présentées dans le tableau 3 (page 17),
- ♦ Une dixième crue qui est une crue théorique : crue proche de la crue centennale à l'échelle de tout le bassin de la Maine, homothétique par rapport à celle de janvier 1995.

Pour cette dernière crue, notre choix est motivé par le fait d'élargir la gamme des périodes de retour dans les crues testées. Le choix d'une crue multiple, affectant l'ensemble du bassin de la Maine, comme celle de 1995, nous paraît logique.

L'échantillon des crues historiques retenues comporte :

- ♦ 3 des 4 crues multiples, qui rappelons-le, concernent l'ensemble du bassin de la Maine :

- crue de janvier 1995,
 - crue de décembre 1999,
 - crue de janvier 1993.
- ♦ 6 crues monopics :
 - 2 ayant affecté essentiellement le Loir : avril 1983 et janvier 2004,
 - 2 ayant affecté la Sarthe : janvier 1966, octobre 1966,
 - 3 ayant affecté la Mayenne : octobre 1966, février 1996, janvier 2001 (celle de février 1996 ayant surtout touché l'Oudon).

Sur le Loir, avec les 2 crues monopics retenues, nous avons :

- ♦ une crue d'amont : avril 1983,
- ♦ une crue d'aval : janvier 2004.

Sur la Mayenne, nous n'avons pas les 4 types de crues identifiés précédemment, mais cela sera sans conséquence sur les résultats de l'étude de cohérence dans la mesure où les seuls projets d'aménagement à prendre en compte dans le bassin de la Mayenne sont situés dans le bassin de l'Oudon.

Octobre 1966 concerne la Mayenne et aussi la Sarthe.

L'Oudon a été affecté par les 2 autres crues monopics retenues (février 1996 et janvier 2001), ainsi que par des crues multipics.

Sur la Sarthe, il y a :

- ♦ des crues avec une forte influence aval : février 1996, janvier 2004,
- ♦ des crues d'amont.

Les crues choisies (monopics et multipics) permettent d'avoir au Mans les 2 configurations : avance de la Sarthe sur l'Huisne (pour 4 crues) ou avance de l'Huisne sur la Sarthe (pour 4 crues).

Les caractéristiques prises en compte pour la 10^{ème} crue, crue théorique, homothétique de celle de 1995, ont été définies lors de la modélisation hydraulique.

Le calage du modèle a été fait sur les crues les plus récentes pour lesquelles il existe des repères de crue (janvier 1995, décembre 1999, janvier 2001 et janvier 2004).

TABLEAU 3 : CRUES HISTORIQUES RETENUES POUR LA MODELISATION

| Date | Crues multiples affectant tout le bassin | Crues monopics | | | | Ordre au Mans | Remarque |
|---------------|--|-----------------|--------|---------|-------|---------------|---|
| | | Bassins touchés | | | | | |
| | | Loir | Sarthe | Mayenne | Oudon | | |
| Janvier 1966 | | X | X | | | ? | |
| Octobre 1966 | | | X | X | | HS | |
| Avril 1983 | | X | | | | HS | Loir : crue d'amont |
| Janvier 1993 | X | | | | | SH | |
| Janvier 1995 | X | | | | | SH | |
| Février 1996 | | | | | X | HS | Forte crue Oudon Sarthe : crue d'aval sur crue d'amont |
| Décembre 1999 | X | | | | | HS | |
| Janvier 2001 | | | | X | X | SH | Forte crue Oudon |
| Janvier 2004 | | X | | | | SH | Loir : crue d'aval Sarthe : crue d'aval |

4 ETAPE 3 : RECENSEMENT DES PROJETS

4.1 OBJECTIFS DE L'ETAPE 3

L'objectif de l'étape 3 était de recenser les différents projets de lutte contre les inondations, à prendre en compte dans l'étude de cohérence.

Ce recensement a été basé sur la Convention Cadre du Plan de Prévention des Inondations du Bassin de la Maine (PPIBM), en particulier son annexe 2 : « Fiches descriptives des actions programmées », transmise par l'Etablissement Public Loire à Hydratec en octobre 2005.

La démarche visait à :

- enquêter auprès des maîtres d'ouvrage, ou des services de l'état (qui sont parfois conducteurs d'opération), afin de recueillir les éléments descriptifs des projets ; ces enquêtes ont été faites entre octobre 2005 et février 2006,
- synthétiser les informations collectées ; dans le cas des projets pour lesquels des informations détaillées étaient disponibles, une fiche était établie. Celle-ci présente l'opération, son calendrier, son financement, les études disponibles, les caractéristiques des ouvrages, et les impacts attendus,
- préciser les projets qu'il y avait lieu de prendre en compte ensuite dans la modélisation hydraulique (lors des étapes 4 et 5), et la manière de les représenter dans le modèle.

Le rapport de recensement des projets a été produit en février 2006. Une actualisation a été faite en avril 2007 préalablement à la modélisation des projets (étape 5). Elle a permis de prendre en compte les dernières avancées dans les études de certains projets.

4.2 LES TYPES DE PROJETS

Les actions retenues au titre du plan de prévention des inondations du bassin de la Maine (PPIBM) sont déclinées par la Convention Cadre en six thèmes :

- ♦ A : actions visant à développer la conscience du risque,
- ♦ B : actions visant à l'amélioration de la prévention et de la prévision,
- ♦ C : actions visant à réduire la vulnérabilité des biens et des personnes exposées au risque inondation,
- ♦ D : actions visant à ralentir les débits en amont,
- ♦ E : actions localisées de protection, de reprise d'entretien ou restauration du lit des cours d'eau,
- ♦ F : actions localisées de protection d'infrastructures vulnérables.

Les projets d'aménagements à prendre en compte dans l'étude de cohérence relèvent généralement des thèmes D et E.

Sous le thème D, on trouve les projets de protections dites éloignées : barrages écrêteurs, surstockages, levées transversales en lit majeur.

Sous le thème E, on trouve des opérations de protections rapprochées (endiguements de quartiers sensibles), et des opérations d'amélioration ponctuelle des écoulements (modernisation de barrages, travaux sur des ponts, ouvrages de décharge).

La Convention Cadre définit une nomenclature qui classe les actions par « bassin », identifiable grâce à un indice sur la lettre du thème :

- ♦ /o: Oudon,
- ♦ /m: Mayenne,
- ♦ /s: Sarthe,
- ♦ /h: Huisne,
- ♦ /l: Loir

Les aménagements recensés ont fait l'objet d'une description détaillée dans des « fiches projet ». Celles-ci présentent :

- une description sommaire de l'opération,
- le calendrier opérationnel pour les opérations en projet,
- la maîtrise d'ouvrage et les aides financières,
- les études disponibles sur l'opération,
- les données existantes, en particulier les caractéristiques hydrauliques des ouvrages nécessaires à leur modélisation, et le cas échéant les règles de gestion,
- le montant estimé des travaux (sauf dans le cas des projets en cours du SYMBOLI, à la demande de ce maître d'ouvrage),
- une synthèse des impacts attendus.

La nomenclature de ces « fiches projet » est basée sur le classement défini par la Convention Cadre du PPIBM.

4.3 LES PRINCIPAUX MAITRES D'OUVRAGE

Parmi les maîtres d'ouvrage des différents projets inscrits au PPIBM, on en distingue cinq principaux, du fait du nombre de projets qu'ils portent ou de leur importance :

- sur l'Oudon : le Syndicat Mixte du Bassin de l'Oudon pour la Lutte contre les Inondations (SYMBOLI) : depuis sa création en janvier 2004, il est le maître d'ouvrage unique du bassin de l'Oudon en matière de lutte contre les inondations. Il regroupe :
 - ♦ le Syndicat du Bassin de l'Oudon Sud (SBOS, regroupant lui-même les communes du bassin situées dans les départements de Maine-et-Loire et Loire Atlantique),
 - ♦ le Syndicat du Bassin de l'Oudon Nord (SBON, regroupant lui-même les communes du bassin situées dans le département de la Mayenne),

□ sur les bassins de la Sarthe et du Loir :

- ♦ le Syndicat Mixte des Protections Eloignées contre les Inondations (SMPEI) ; créé en 2002, il regroupe :
 - le Conseil Général de la Sarthe,
 - la Communauté Urbaine du Mans, les villes de Sablé, La Ferté-Bernard, La Flèche, La Suze-sur-Sarthe, Le Lude.Il est maître d'ouvrage dans le département de la Sarthe des aménagements de protections dites éloignées, visant à ralentir les propagations des crues en amont des zones vulnérables (retenue sèche du Gué-Ory, levées transversales sur l'Huisne et le Loir),
- ♦ le Conseil Général de la Sarthe : il est généralement maître d'ouvrage des aménagements d'amélioration des écoulements dans le lit de la Sarthe, de l'Huisne et du Loir dans le département de la Sarthe (notamment modernisations de barrages),
- ♦ la Communauté Urbaine Le Mans Métropole est maître d'ouvrage d'opérations d'améliorations ponctuelles des écoulements et de protections des quartiers vulnérables dans l'agglomération mancelle,
- ♦ le Syndicat Mixte du Bassin de Rétention de Margon ; créé en 1998 pour l'aménagement de la retenue, il regroupe :
 - le Conseil Général de l'Eure-et-Loir,
 - les communes de Nogent-le-Rotrou et de Margon.

4.4 RECAPITULATION DES PROJETS D'AMENAGEMENTS

Le tableau 4 récapitule les différents projets recensés. La colonne « échéance ou état d'avancement » est renseignée comme suit :

- soit par l'année de réalisation des travaux,
- soit par l'échéance prévue pour les travaux lorsque le programme suit son calendrier opérationnel sans difficulté majeure,
- soit par la mention « suspendu » si le calendrier de l'opération a été suspendu suite à des difficultés particulières,
- soit par la mention « sans suite » si l'action n'est pas à l'ordre du jour, sans pour autant être considérée comme abandonnée,
- soit par la mention « abandonné »,
- soit par la mention « non défini » s'il n'existe aucun élément précis (pas d'étude spécifique réalisée).

Les trois dernières colonnes précisent le statut proposé pour chaque aménagement par rapport à l'étude de cohérence :

- L'aménagement est à intégrer au modèle, de par sa localisation sur les tronçons de cours d'eau qui seront modélisés : ceux-ci ont été arrêtés dans le cahier des charges de sorte à intégrer des aménagements structurants tels que les retenues de Margon, du Gué-Ory, les levées transversales sur l'Huisne et le Loir,

- L'avant dernière colonne « avis d'expert prévu » s'applique aux projets situés en amont des tronçons de rivières qui seront modélisés, ou sur des affluents. Elle concerne également certains projets qui ne sont pas définis, pour lesquels on dispose d'éléments très succincts. Conformément aux termes du cahier des charges, un avis d'expert sera donné sur ces projets, quant à leur influence sur l'hydrologie injectée dans le modèle.
- La dernière colonne s'applique généralement aux projets qui sont abandonnés, pour lesquels peut être posée la question de leur maintien dans le PPIBM. Elle s'applique également aux projets non définis pour lesquels on ne dispose d'aucun élément, qu'on propose de ne pas prendre en compte lors de la modélisation, ainsi qu'aux projets qui ne sont pas de nature à influencer sur la dynamique des crues, tels que les renforcements de protections de berges sur la Mayenne.

La situation géographique des aménagements testés est présentée sur les figures 7 à 9 dans le chapitre 6 de la présente synthèse consacré à l'étape 5 (impacts des aménagements projetés).

Tableau 4 : Récapitulation des projets recensés

| Bassin | Cours d'eau | N° PPIBM | Fiche projet | Intitulé de l'action | Maître d'ouvrage | Echéance ou état d'avancement | Modélisation prévue | Avis d'expert prévu | A ne pas prendre en compte |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------|--|---|-----------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| Oudon | Mée | D/o.1 | D/o.1a | barrage de la Mée à Livré la Touche | SYMBOLI | abandonné | | | X |
| | Oudon | D/o.1 | D/o.1b | surstockage étang la Guéhardière | SYMBOLI | non fixé | | X | |
| | ru ^{au} la Queille | D/o.1 | D/o.1c | surstockage la Grande Queille | SYMBOLI | échéance 2007 | | X | |
| | Argos, Verzée, et affluents | D/o.1 | D/o.1d | surstockages Argos-Verzée | SYMBOLI | échéance 2009 | | X | |
| | Chéran, Hière, Uzure et affluents | D/o.1 | D/o.1e | surstockages dans BV Oudon nord | SYMBOLI | échéance 2011 | | X | |
| | fossés agricoles | D/o.1 | | surstockages émissaires agricoles | SYMBOLI | non défini | | | X |
| | Oudon | E/o.1 | | protections locales à Craon | | non défini | | | X |
| | Chéran | E/o.1 | E/o.1 | protections St-Aignant sur Roë | SYMBOLI | échéance 2007 | | X | |
| | Oudon | E/o.2 | E/o.2 | allongement vieux pont de Segré | Segré | échéance 2006 | X | | |
| Mayenne | Vée | C/m.2 | | lutte contre les crues à St-Michel des Andaines | | non défini | | | X |
| | Egrenne | C/m.3 | | protection de Lonlay l'Abbaye | | non défini | | | X |
| | affluents | D/m.1 | | aménagement des têtes de BV | CG Mayenne | non défini | | | X |
| | Mayenne | E/m.1 | | renforcement protections berges | CG Mayenne | échéance 2006 | | | X |
| | Vée | non inscrit | | protection de Bagnoles de l'Orne | Bagnoles-Tessé | échéance inconnue | | | X |
| ru ^{au} la Petite Morlière | non défini | | bassin de retention de Villiers-Charlemagne | Syndicat de l'Ouette | échéance inconnue | | | X | |
| Sarthe | Sarthe | D/s.1 | D/s.1 | retenue sèche du Gué Ory | SMPEI | suspendu | X | | |
| | Sarthe | D/s.2 | | levées transversales en amont d'Alençon | | non défini | | | X |
| | Vézone | D/s.3 | D/s.3 | protection d'Essay | CDC Pays d'Essay | sans suite | | X | |
| | Sarthe | E/s.1 | E/s.1 | clapets du barrage de Sablé/S. | CG Sarthe | échéance 2007 | X | | |
| | Sarthe | E/s.2a | E/s.2a | augmentation débouché du pont du Greffier | Le Mans Métropole | échéance 2006 | X | | |
| | Sarthe | E/s.2b | E/s.2b | endiguement quartiers Australie et Heuzé | Le Mans Métropole | échéance 2008 | X | | |
| | Sarthe | E/s.2c | E/s.2c | endiguement quartier Val de Sarthe à Arnage | Le Mans Métropole | échéance inconnue | X | | |
| | Sarthe | E/s.2d | E/s.2d | aménagement bassin des Lavandières | Le Mans Métropole | échéance 2007 | X | | |
| | Sarthe | E/s.2e | E/s.2e | aménagement d'un déversoir sur l'île aux Planches | Le Mans Métropole | échéance 2007 | X | | |
| | Sarthe | E/s.3 | E/s.3 | clapets automatiques sur 4 barrages | CG Sarthe | échéance 2009 | X | | |
| | Sarthe | E/s.4 | E/s.4 | travaux à Vivoin et Montbizot | Vivoin, Montbizot | abandonnés | | | X |
| Vègre (et affluents) | E/s | | Aménagements sur le bassin de la Vègre | Syndicat Vègre | non défini (en cours) | | X | | |
| Huisne | Huisne | C/h.1 | | vannage sur 2 bges à la Ferté-Bd | CG Sarthe | réalisé en 2004 | X | | |
| | Huisne | C/h.3 | C/h.3 | barrage du Foulon à la Ferté-Bd | CG Sarthe | échéance 2007 | X | | |
| | Huisne | D/h.1 | D/h.1 | retenue de Margon | SM bassin Margon | réalisé en 2005 | X | | |
| | Huisne | D/h.2 | D/h.2 | levées transvers. amont le Mans | SMPEI | échéance indéfinie | X | | |
| | Huisne | E/h.1 | E/h.1 | déblaiement remblai à Connéré | collectivité locale | sans suite | X | | |
| | Huisne | E/h.2a | E/h.2a | pont des Abattoirs (bras de décharge) | Le Mans Métropole | échéance 2007 | X | | |
| | Huisne | E/h.2b | E/h.2b | endiguement du quartier Crétois | Le Mans Métropole | échéance 2008 | X | | |
| | ru ^{au} le Pignard | E/h | | bassin à Boessé le Sec | Boessé le Sec | échéance 2007 | | X | |
| | Huisne | non défini | | ouvrage écrêteur de crues à Mauves | non défini | abandonné | | | X |
| | ruau de Boiscordes | non défini | | ouvrage écrêteur de crues à Rémalard | non défini | abandonné | | | X |
| Villette | non inscrit | | protection de la Chapelle-Montligeon | La Chapelle-Montligeon | échéance inconnue | | | X | |
| Loir | Loir | D/l.1 | D/l.1 | levées transversales en 72 | SMPEI | suspendu | X | | |
| | Loir et affluents | D/l.2 | | levées transversales en 28 | | non défini | | | X |
| | Loir et affluents | D/l.3 | | levées transversales en 41 | | non défini | | | X |
| | ru des Challonges | E/h | | bassin à Vibraye | Vibraye | réalisé en 2006 | | X | |
| | ru ^{au} la Péraudière | D/l.4 | | bassin de retenue Nogent/Loir | Nogent/Loir | abandonné | | | X |
| | Loir | E/l.1 | | restaur. bge des Pins à la Flèche | CG Sarthe | abandonné | | | X |
| | Loir | E/l.2 | E/l.2 | tranchée dans remblai SNCF à la Flèche | CG Sarthe | suspendu | X | | |
| | Loir | E/L.3a | E/L.3a | décharge sous RD 70 à Bazouges | SMPEI | échéance 2006 | X | | |
| Loir | E/L.3b | E/L.3b | effacement barrage du Moulin Neuf à Bazouges | CG Sarthe | échéance 2006 | X | | | |

5 ETAPE 4 : OUTIL GLOBAL DE MODELISATION DES CRUES DU BASSIN DE LA MAINE ET COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DU BASSIN

5.1 OBJECTIFS DE CETTE ETAPE

L'étape 4 de l'étude a pour objet **la construction d'un outil de modélisation des crues du bassin de la Maine et la compréhension du fonctionnement du bassin.**

Les cours d'eau et tronçons modélisés sont présentés sur la figure 2.

La modélisation est réalisée à l'aide du logiciel de modélisation fluvial HYDRARIV, logiciel sous licence Hydratec.

Pendant l'étape 5, cet outil de modélisation est employé pour estimer les impacts des aménagements projetés et juger de leur cohérence hydraulique. Le modèle est donc construit en prenant en compte le fait qu'il aura ensuite à simuler ces aménagements.

5.2 LOGICIEL MIS EN ŒUVRE POUR LA MODELISATION HYDRAULIQUE

HYDRARIV est un progiciel de modélisation hydrologique et hydraulique des espaces fluviaux, conçu et développé par Hydratec. Il est conçu pour intégrer dans un même modèle des schémas de représentation contrastés, tels que la schématisation filaire, les casiers et les maillages bi dimensionnels. Cette souplesse permet d'adapter au mieux la modélisation à la spécificité des configurations rencontrées dans le domaine fluvial et aux objectifs de modélisation poursuivis.

Les concepts de modélisation manipulés par HYDRARIV présentent un haut niveau d'intégration avec pour avantages :

- L'ergonomie : la description d'un domaine fluvial est basée sur des schémas de modélisation diversifiés accordant une grande latitude de choix au modélisateur selon sa compréhension du fonctionnement hydraulique du système modélisé. Par ailleurs HYDRARIV est conçu pour fonctionner dans un environnement WINDOWS. Il respecte les « guides de style Windows », ainsi que les règles d'ergonomie des environnements Windows.
- La fiabilité et la robustesse : la génération d'un modèle hydraulique subit de nombreux contrôles de cohérence des données et active automatiquement les options de calcul les plus appropriées aux caractéristiques du modèle défini par l'utilisateur,
- La performance : l'organisation interne des entités de modélisation est entièrement prise en charge par des programmes de génération spécifiques. Ceux-ci sont conçus pour optimiser la taille des systèmes matriciels et donc minimiser les temps de calcul.

HYDRARIV ne dispose pas de fonctions cartographiques proprement dite, ces fonctions sont assurées par un logiciel d'accompagnement : HYDRAMAP, pour toutes les tâches mettant en œuvre un Modèle Numérique de Terrain. HYDRAMAP est un module applicatif de MAPINFO et fonctionne donc dans l'environnement de ce dernier. Il agit comme pré processeur d'HYDRARIV pour générer en lot certaines entités de modélisation comme le maillage et les liaisons internes d'un sous domaine bi dimensionnel et donc faciliter le renseignement de ces objets. Le lien entre ces deux applicatifs est assuré par des procédures d'importations et d'exportations gérées par HYDRARIV.

Cette distinction entre HYDRAMAP et HYDRARIV est voulue : elle assure une optimisation des traitements en valorisant au mieux les fonctionnalités de chaque environnement de travail selon l'étape de modélisation.

Toutes les informations complémentaires sur le logiciel HYDRARIV sont accessibles sur le site internet : <http://www.hydratec-software.com/>

5.3 MODELISATION HYDROLOGIQUE

Les débits d'entrée dans le modèle sont :

- connus par les mesures de débits faites pour certains affluents et pour certaines crues,
- reconstitués et calés à partir des mesures,
- pour les autres (affluents non mesurés, ou affluents pas encore équipés d'une station de mesure pour la crue considérée), ils sont reconstitués par une modélisation hydrologique pluie-débit.

Une telle modélisation permet, à partir de la pluie et des caractéristiques du bassin versant de reconstituer l'hydrogramme de la crue considérée.

La modélisation hydrologique choisie est une modélisation pluie-débit avec la méthode SCS (Soil Conservation Service) modifiée. Cette méthode très employée en hydrologie permet de faire intervenir directement l'état du sol.

Le calage est fait pour des bassins versants contrôlés, c'est-à-dire des bassins versants pour lesquels on dispose de mesures.

Lorsque la mesure n'est pas disponible on calcule le débit d'un bassin versant par une corrélation débit-débit avec un bassin versant contrôlé proche et de nature géologique similaire.

Le module de calcul des débits est le module HYDRA-BV.

Cette modélisation une fois calée permet d'obtenir tous les hydrogrammes d'entrée et intermédiaires des modèles hydrauliques réalisés sur les 5 cours d'eau modélisés.

L'hydrologie de la crue théorique est bâtie à partir de celle de la crue de janvier 1995. On accentue la pluviométrie des sous bassins versants amont de la Sarthe, de l'Huisne et du

Loir pour approcher le débit centennal sur les bassins amont. Sur l'Oudon et la Mayenne on accentue de manière homogène la pluviométrie de l'ensemble des sous-bassins versants pour obtenir un débit aval proche du débit centennal.

Les coefficients multiplicatifs appliqués sur la pluviométrie de janvier 1995 pour obtenir la pluviométrie de la crue théorique sont les suivants :

- Sarthe amont, Huisne amont : 1.48,
- Loir amont : 1.40,
- Oudon : 1.80,
- Mayenne : 1.47.

5.4 CONSTRUCTION ET CALAGE DES MODELES HYDRAULIQUES

Du fait de la configuration des tronçons à modéliser et des modélisations déjà existantes au sein d'Hydratec, 5 modèles hydrauliques indépendants ont été construits :

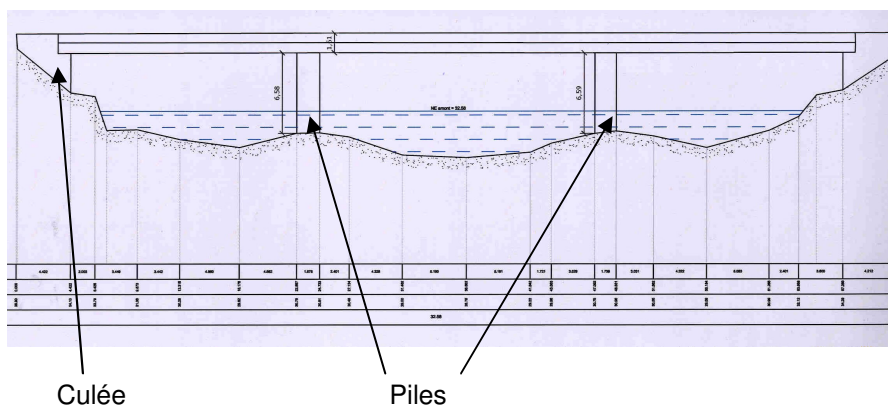
- 1 modèle Oudon : de l'aval de Craon jusqu'à Maingué,
- 1 modèle Mayenne : de la ville de Mayenne jusqu'à la Jaille Yvon,
- 1 modèle Sarthe du Gué Ory jusqu'à Beffes,
- 1 modèle Huisne (découpé en 3 sous modèles) : du barrage de Margon jusqu'à sa confluence avec la Sarthe,
- 1 modèle Loir : de Bonneval jusqu'à Durtal.

Les modèles fonctionnent de manière indépendante. Seuls les modèles Huisne et Sarthe fonctionnent en mode complexe, c'est-à-dire qu'ils sont assemblés en une seule unité lors des simulations.

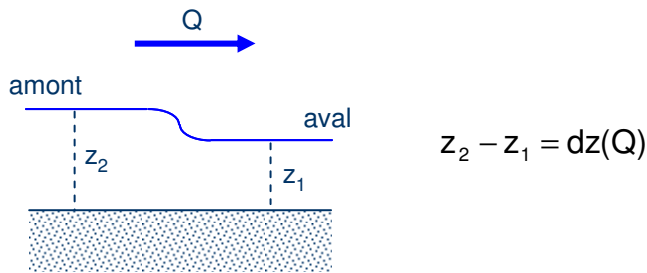
A titre d'exemples, nous présentons ci-après :

- la modélisation d'un pont,
- la modélisation d'une zone multifilaire,
- le synoptique du sous-modèle Huisne.

- Pont de la D72 à Fercé-sur-Sarthe (Sarthe) :

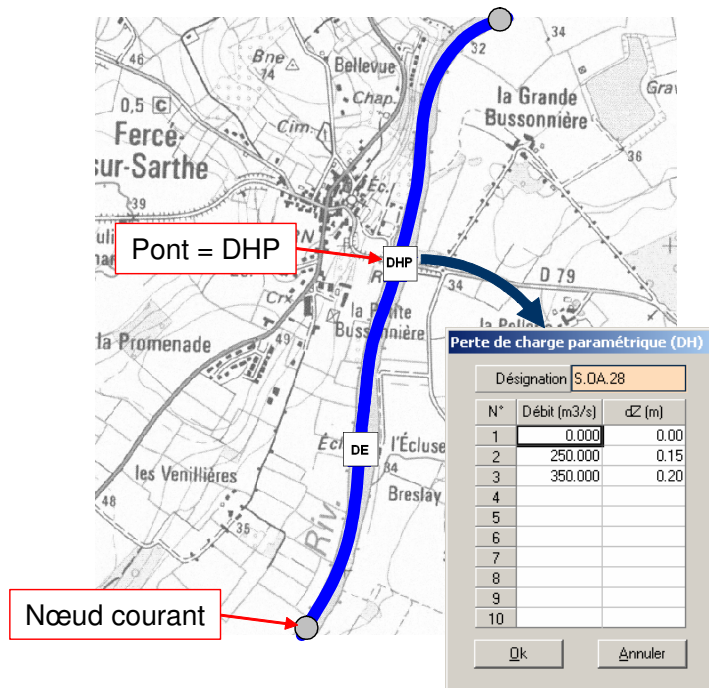


L'ouvrage est modélisé comme un obstacle à l'écoulement en lit mineur et majeur traduit par une perte de charge en fonction du débit :



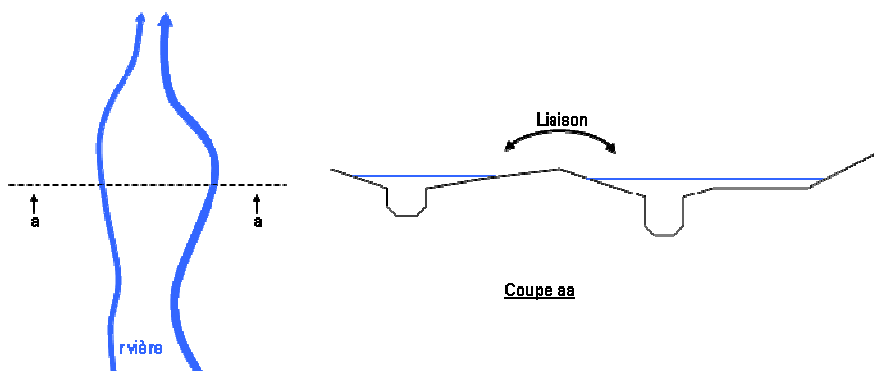
Les pertes de charge peuvent être calées avec les repères de crue ou par les formules de Bradley, basées sur les caractéristiques mêmes de l'ouvrage. En l'absence de données on peut les évaluer par similitude avec d'autres ouvrages calés.

Extrait de l'interface HYDRARIV :



- Huisne en amont de Connerré :

Les échanges entre les biefs sont modélisés par les liaisons latérales. Le débit d'échange dépend des niveaux d'eau amont et aval de la liaison.



Extrait de l'interface HYDRARIV :

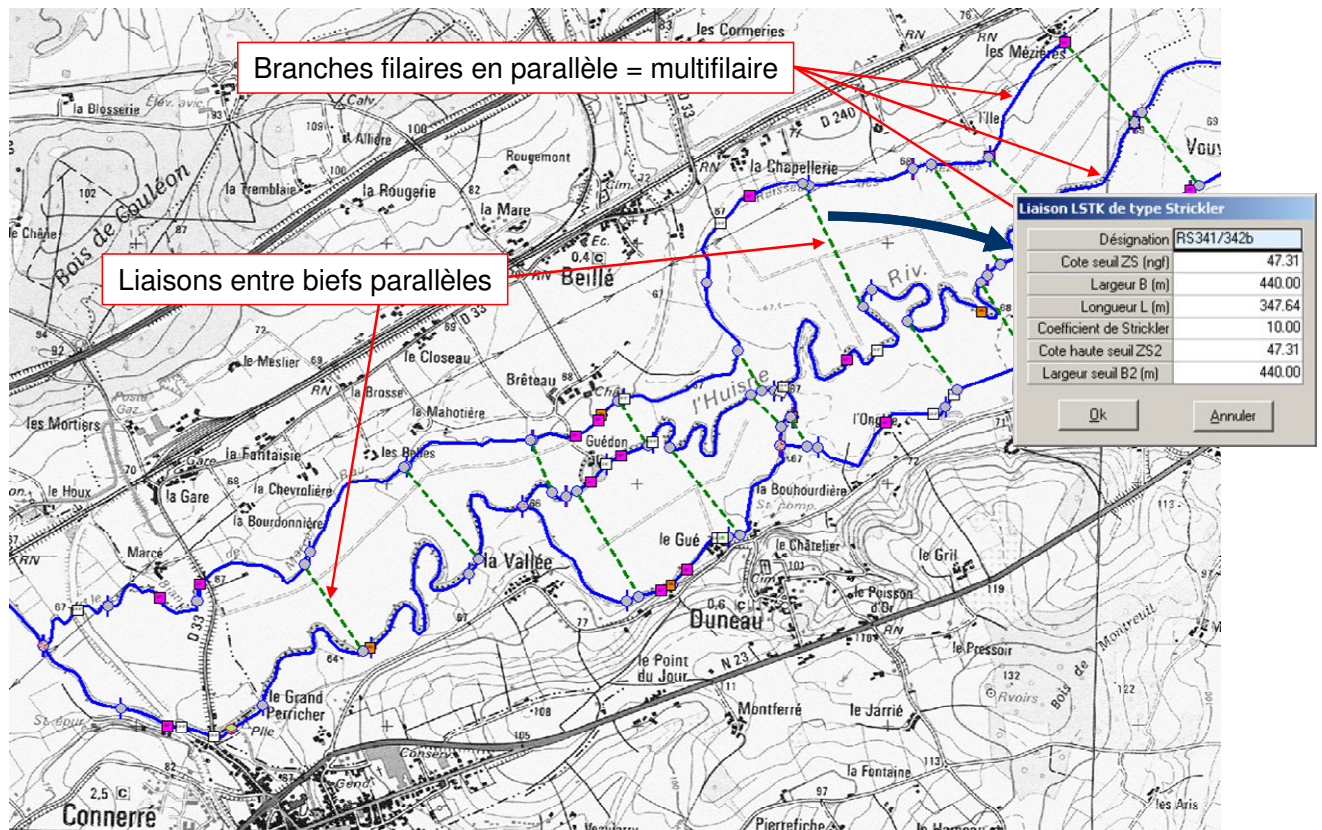
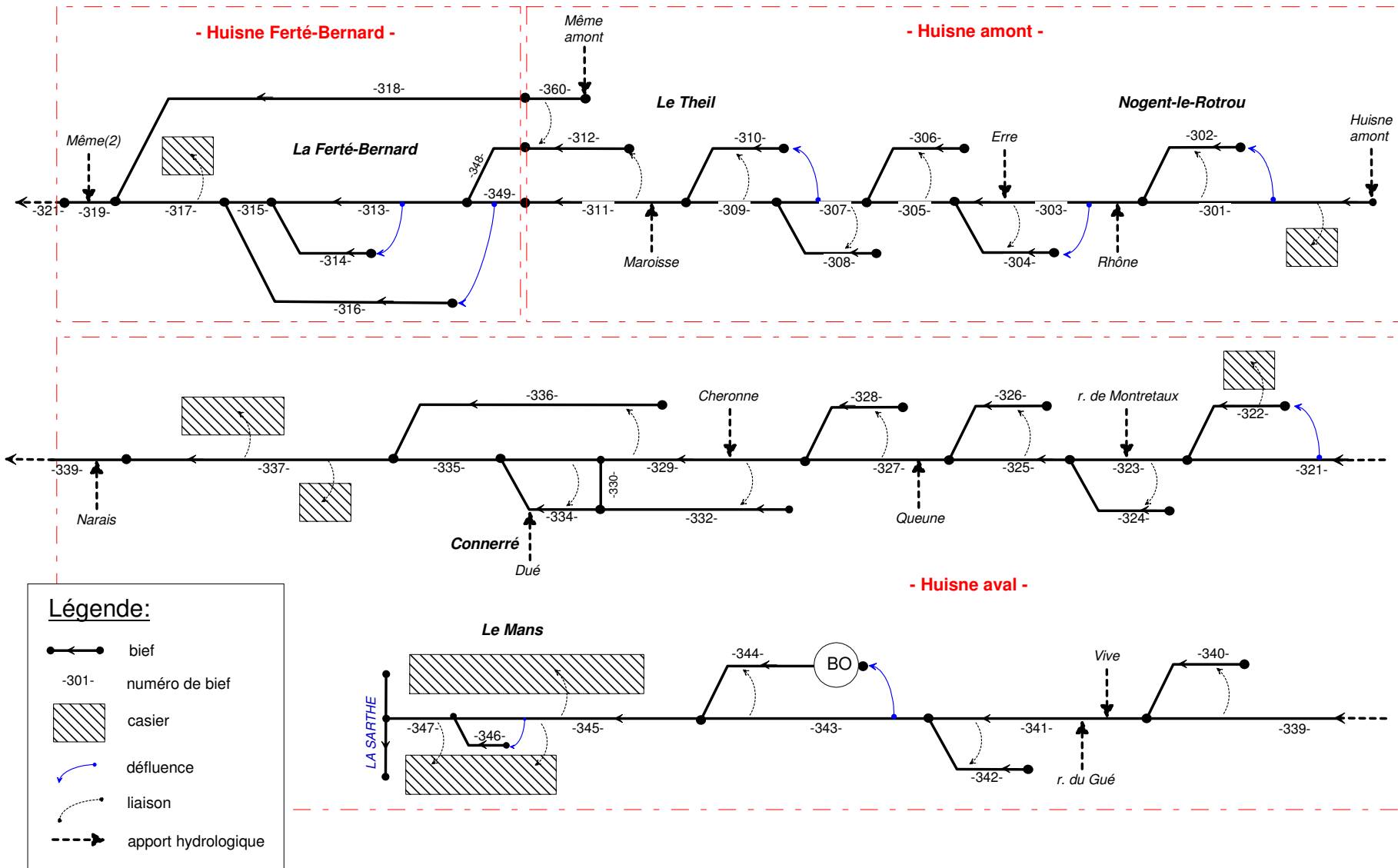


FIGURE 5 SYNOPTIQUE DU SOUS-MODELE HUISNE



Le calage est fait sur 4 crues : janvier 1995, décembre 1999, janvier 2001 et janvier 2004 pour toutes les rivières, l'Oudon étant calé sur une crue supplémentaire, celle de février 1996 en l'absence de repères de crue pour janvier 2001 et janvier 2004 sur ce cours d'eau. Les paramètres des modèles hydrauliques sont les mêmes pour les 4 crues.

Les tableaux ci-dessous présentent les synthèses du calage pour chacun des modèles.

Tableau 5 : Synthèse du calage du modèle Loir

| Crue | Janvier 1995 | Décembre 1999 | Janvier 2001 | Janvier 2004 |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Ecart en débit de pointe</i> | 7.8% | 21% | 13.8% | 10.2% |
| <i>Ecart moyen en cote</i> | 27 cm | 29 cm | 26 cm | 28 cm |

Tableau 6 : Synthèse du calage du modèle Sarthe

| Crue | Janvier 1995 | Décembre 1999 | Janvier 2001 | Janvier 2004 |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Ecart en débit de pointe</i> | 6.6% | 2.8% | 9.6% | 27.0% |
| <i>Ecart moyen en cote</i> | 15 cm | 17 cm | 17 cm | 24 cm |

Tableau 7 : Synthèse du calage du modèle Huisne

| Crue | Janvier 1995 | Décembre 1999 | Janvier 2001 | Janvier 2004 |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Ecart en débit de pointe</i> | 28% | 14% | 11% | 2% |
| <i>Ecart moyen en cote</i> | 15 cm | 17 cm | 23 cm | ND |

Tableau 8 : Synthèse du calage du modèle Mayenne

| Crue | Janvier 1995 | Décembre 1999 | Janvier 2001 | Janvier 2004 |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Ecart en débit de pointe</i> | 3.7% | 11.5% | 9% | 8.5% |
| <i>Ecart moyen en cote</i> | ~10 cm | ~25 cm | ~10 cm | ~15 cm |

Tableau 9 : Synthèse du calage du modèle Oudon

| Crue | Janvier 1995 | Février 1996 | Décembre 1999 | Janvier 2001 | Janvier 2004 |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Ecart en débit de pointe</i> | 16.5% | 7.5% | 8% | 14% | 11% |
| <i>Ecart moyen en cote</i> | 15 cm | 18 cm | 12 cm | ND | ND |

On constate que pour certaines crues l'écart entre modèle et mesures est plus important que pour d'autres mais le modèle est cohérent et permet une bonne représentation de **l'ensemble des crues** car les paramètres des modèles hydrauliques sont identiques pour les 4 crues.

5.5 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN DE LA MAINE

L'analyse du fonctionnement du bassin a été faite par l'exploitation des résultats de la modélisation pour 10 crues : janvier 1966, octobre 1966, avril 1983, janvier 1993, janvier 1995, février 1996, décembre 1999, janvier 2001, janvier 2004 et la crue théorique.

Les résultats des simulations ont fait l'objet d'un traitement pour caractériser différents indicateurs permettant l'analyse du fonctionnement du bassin de la Maine :

- carte des apports relatifs des bassins versants,
- carte des débits spécifiques maximums des bassins versants,
- synoptiques du fonctionnement des modèles hydrauliques (voir exemple page suivante, figure 6),
- courbes ponctuelles aux points clé du réseau,
- profils en long de la ligne d'eau dans les zones à enjeux,
- volumes de crue écoulés pour chaque crue aux points clé.

Mayenne

Les affluents prépondérants de la Mayenne sont la Mayenne à l'amont de Mayenne, l'Ernée et la Jouanne apportant respectivement environ 35%, 10% et 10% des apports totaux de la Mayenne.

Globalement, la Mayenne et tous ses affluents ont une pointe de crue simultanée.

On ne note pas la présence de champs d'expansion des crues jouant un rôle important dans le phasage des crues.

Oudon

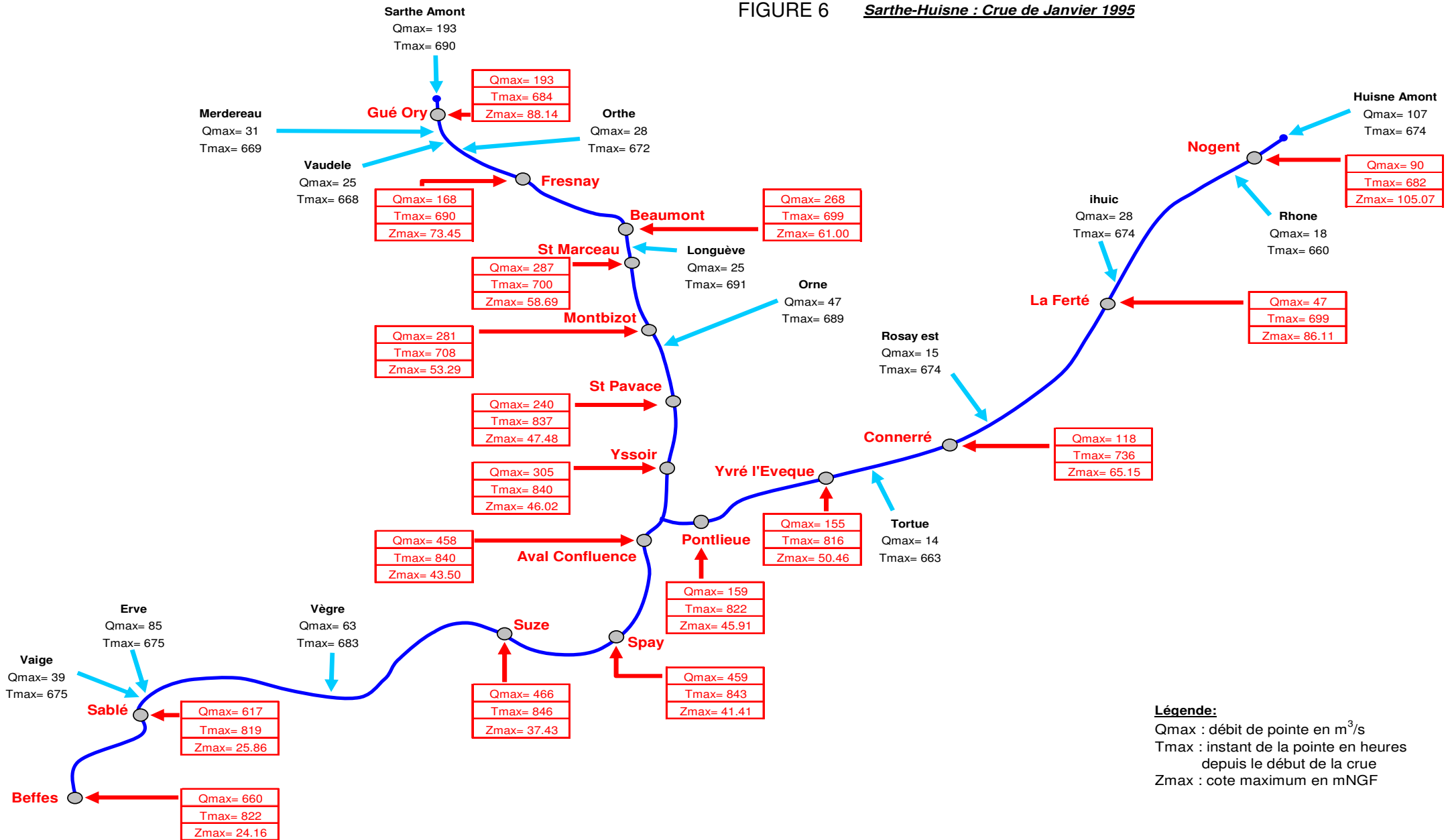
L'Oudon à l'amont de Craon, l'Hière et la Verzée (+Argos) ; et apportent respectivement 20%, 15% et 30% des apports totaux de l'Oudon, ce sont les apports les plus importants.

Le comportement de l'Oudon en crue est similaire à celui de la Mayenne. Les affluents ont des pointes de crue quasi simultanées, avec un écart maximum entre pointes de 20 heures. Tous les affluents participent au maximum de crue sur l'Oudon aval.

L'Oudon et la Mayenne sont également synchronisés. Les pointes de crue à Segré et à Château-Gontier arrivent en général avec un écart de quelques heures.

On ne note pas la présence de champs d'expansion des crues jouant un rôle important dans le phasage des crues.

FIGURE 6 *Sarthe-Huisne : Crue de Janvier 1995*



Sarthe et Huisne

Les affluents prépondérants dans la formation des crues de la Sarthe sont la Sarthe en amont du Gué Ory, l'Orne, la Vaige, l'Erve et la Vègre.

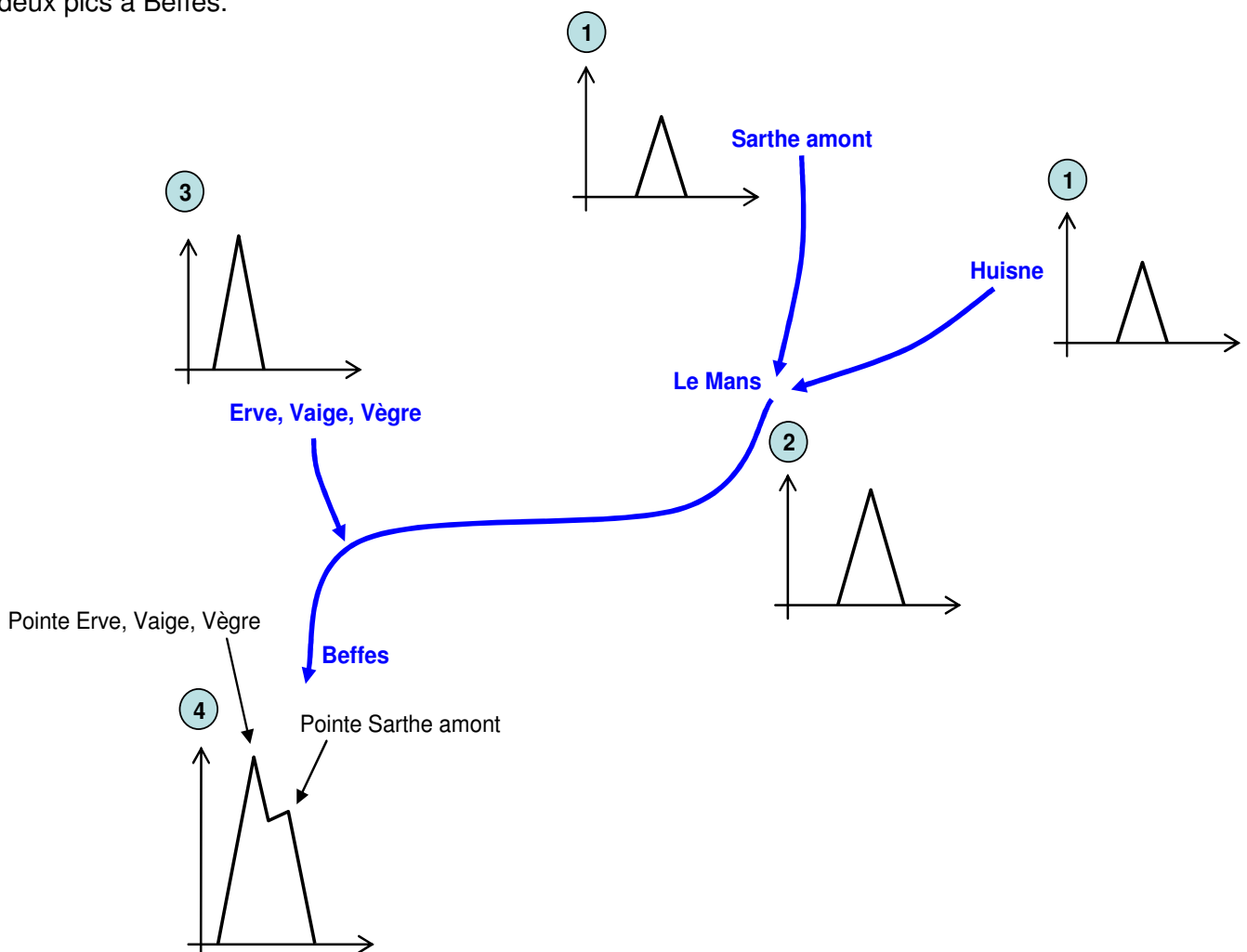
Les affluents principaux de l'Huisne sont l'Huisne en amont de Margon, la Tortue et la Rhone.

On ne distingue pas sur l'ensemble des évènements étudiés un ordre chronologique systématique au Mans de l'arrivée des pointes de crue de l'Huisne et de la Sarthe.

L'écart entre les deux pics excède rarement 30 heures et les deux pics participent à la pointe de crue aval.

La chronologie d'arrivée des pointes a peu d'influence sur la pointe de crue en aval.

La pointe de crue sur l'aval de la Sarthe est principalement constituée des apports de la Vaige, l'Erve et la Vègre. On observe dans la majorité des cas une pointe de crue formée de deux pics à Beffes.



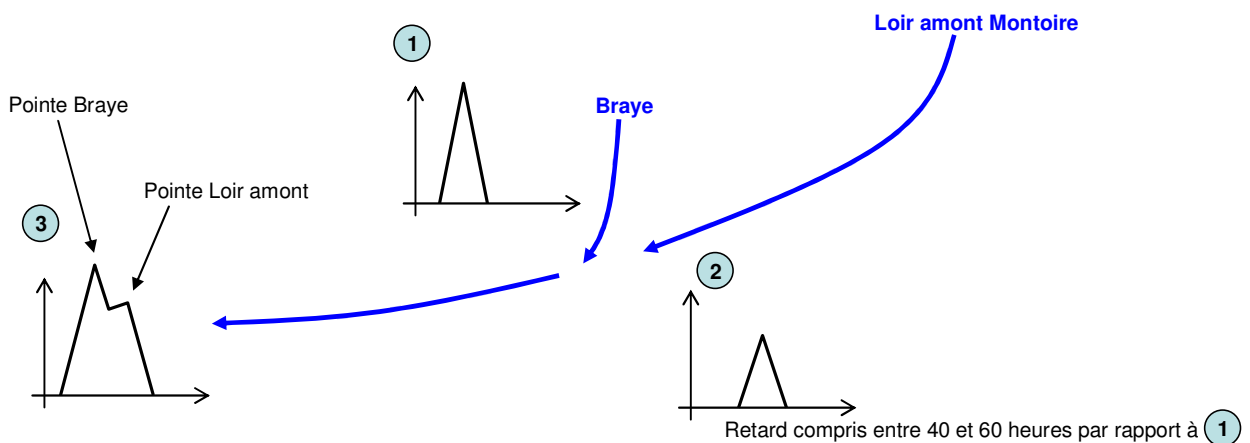
Les champs d'expansion des crues ayant un rôle prépondérant sont localisés entre Spay et La Suze sur la Sarthe. Sur ce linéaire, le lit majeur est très large et la plaine comprise entre la Sarthe, la Rhone et le canal de Fillé offre une zone de stockage de plus de 600 hectares.

L'Huisne est dans son ensemble composée de multiples bras et possède un champ d'inondation relativement ample comparativement à la Sarthe. Les zones d'expansion des crues les plus significatives sont localisées entre la Ferté-Bernard et Connerré et autour d'Yvré l'Evêque.

Loir

On distingue bien une scission du bassin versant au niveau de la confluence de la Braye. Sur la partie amont, le débit de l'Ozanne et du Loir constitue la part principale du débit jusqu'au niveau de Montoire. Sur la partie aval, ce sont les apports de la Braye et du Tusson qui constituent la pointe de crue.

La pointe du Loir amont, généralement plus faible que la pointe de la Braye, arrive à Durtal après la pointe de la Braye avec un retard compris en moyenne entre 40 et 60 heures. C'est ce retard qui détermine le débit maximum et la durée de la crue à Durtal.

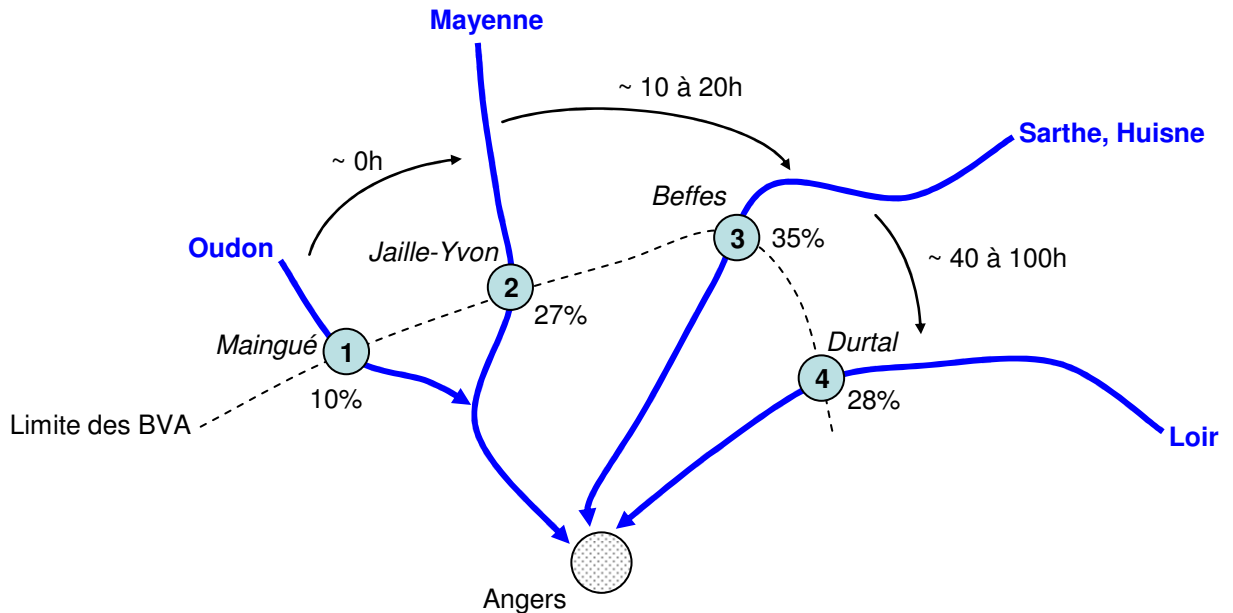


Les principaux champs d'expansion des crues sont localisés entre La Chartre et La Flèche. Le Loir est en effet très large et sinueux sur cette zone et composé de multiples biefs offrant des zones d'écoulement à la crue.

Ainsi les pointes de crues sont amorties et ralenties et on constate des vitesses de propagation sur ce linéaire environ 25% plus faibles que sur l'amont du Loir.

Entrée des Basses Vallées Angevines

Le schéma suivant synthétise le fonctionnement global moyen à l'entrée des Basses Vallées Angevines (BVA), pour les 10 crues étudiées.



Légende :

②

: ordre d'arrivée de la pointe à l'entrée des BVA

27% : pourcentage du sur-volume total à l'entrée des BVA

→ : décalage en heures entre les pointes

6 ETAPE 5 : IMPACTS DES AMENAGEMENTS PROJETES

6.1 OBJECTIF DE L'ETAPE 5 ET DEMARCHE MISE EN ŒUVRE

L'étape 5 a pour objet l'évaluation des impacts des aménagements projetés dans le bassin de la Maine, et recensés dans l'étape 3.

Deux scénarios initiaux ont été choisis en concertation avec le Maître d'Ouvrage à la fin de l'étape 4 :

- **scénario 1** : il comporte tous les aménagements qui ont été identifiés dans l'étape 3 de la présente étude exceptés le Gué-Ory sur la Sarthe, les levées sur l'Huisne et les levées sur le Loir,
- **scénario 2** : il comporte tous les aménagements y compris le Gué-Ory, les levées sur l'Huisne et les levées sur le Loir.

L'analyse de ces deux premiers scénarios a permis de tirer des premiers enseignements concernant l'impact des aménagements.

Une réunion de présentation des premiers résultats, tenue le 25 mai 2007, a permis au comité de pilotage de l'étude de discuter des premiers impacts constatés et de choisir les autres scénarios à tester susceptibles d'apporter d'autres enseignements.

Ainsi, trois autres scénarios ont été définis puis testés avec le modèle du bassin de la Maine.

Les impacts des scénarios d'aménagement sont évalués et comparés à la situation actuelle pour chaque événement étudié :

- impact sur le transfert des ondes de crue d'amont en aval,
- impact sur l'horloge des crues (déphasage des pointes),
- débits de pointe cumulés en aval du bassin versant,
- impact sur les cotes des plus hautes eaux.

L'incidence des aménagements est définie sur l'ensemble du bassin de la Maine en tout point où ils ont un impact.

6.2 AMENAGEMENTS PRIS EN COMPTE

Les figures 7 à 9 permettent de localiser, par sous-bassin, les différents aménagements testés dans les scénarios 1 et 2 (sachant que, comme précisé ci-dessus, le scénario 2 comporte tous les aménagements retenus après le recensement fait dans l'étape 3).

Figure 7 Oudon : Localisation des projets

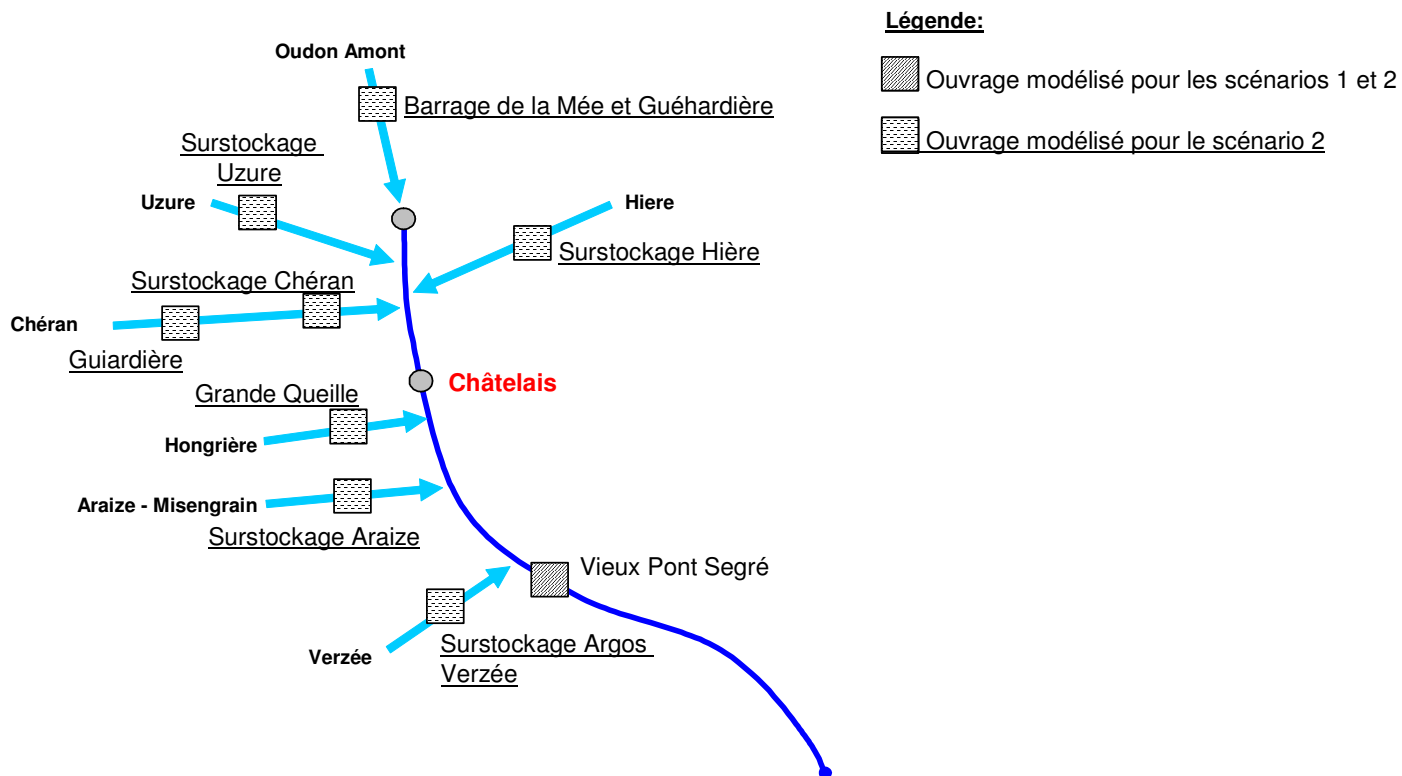


Figure 8 Loir : Localisation des projets

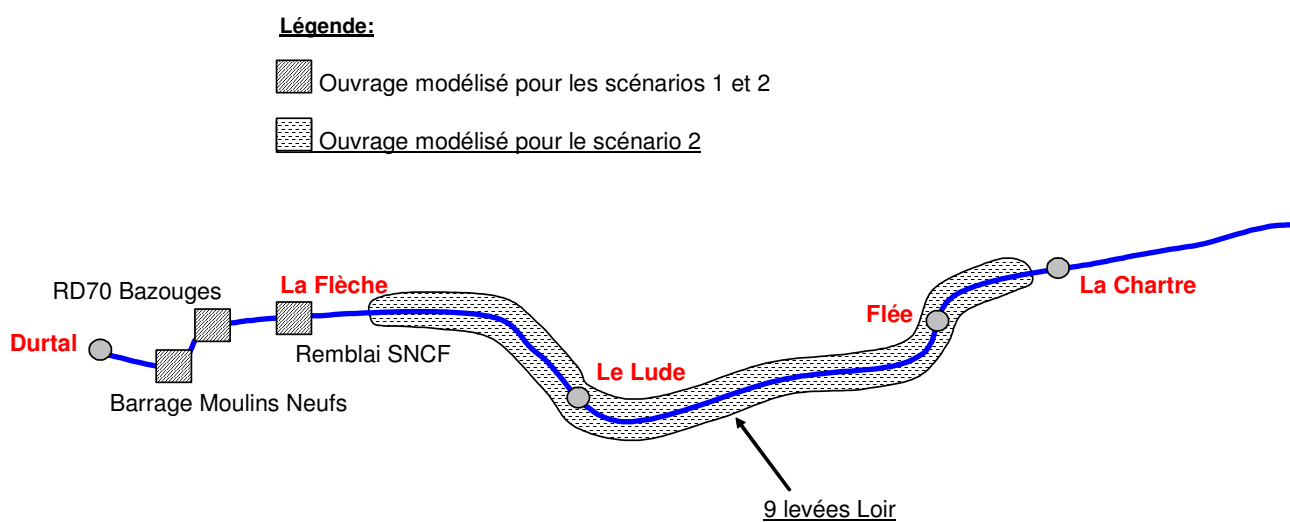
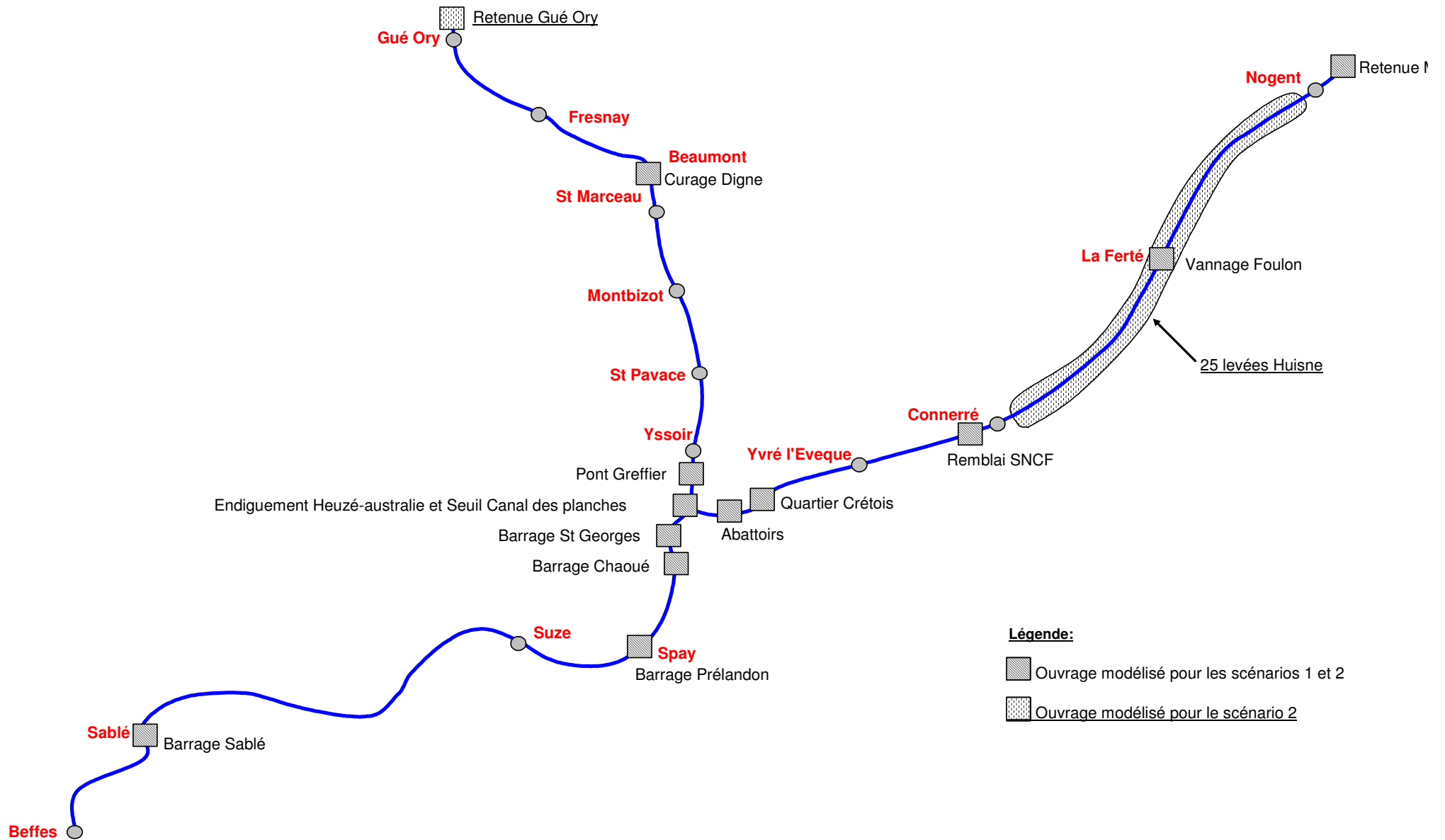


Figure 9 *Sarthe-Huisne : Localisation des projets*



6.3 SCENARIOS TESTES

Deux scénarios, définis par l’Etablissement Public Loire et Hydratec ont d’abord été testés :

- **scénario 1** : uniquement les protections locales,
- **scénario 2** : tous les aménagements.

Sur la base des premiers résultats fournis par ces deux scénarios, 3 scénarios complémentaires à tester ont été définis par le maître d’Ouvrage en concertation avec le comité de suivi :

- **scénario 3** : tous les aménagements sur l’Oudon sans la Mée ; aménagements locaux et pas de Gué Ory sur la Sarthe ; tous les aménagements sur l’Huisne y compris les levées ; aménagements locaux et 9 levées sur le Loir,
- **scénario 4** : tous les aménagements sur l’Oudon sans la Mée et sans la Guéhardière ; aménagements locaux et présence du Gué Ory version 3C sur la Sarthe ; aménagements locaux et pas de levés sur l’Huisne ni sur le Loir,
- **scénario 5** : uniquement les aménagements sur le sud de l’Oudon et les protections locales ; aménagements locaux et présence du Gué Ory version 3C sur la Sarthe ; aménagements locaux et pas de levés sur l’Huisne ni sur le Loir.

Le tableau suivant récapitule les aménagements de chaque scénario, les aménagements correspondant sont listés après le tableau.

| Scénario | Oudon | Sarthe | Huisne | Loir |
|----------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| 1 | O7 | S2+S3+S4+S5+S6+S7 | H1+H2+H3+H4+H5 | L1+L2+L3 |
| 2 | O1+O2+O3+O4+O5+O6+O7 | S1+S2+S3+S4+S5+S6+S7 | H1+H2+H3+H4+H5+H6 | L1+L2+L3+L4 |
| 3 | O2+O3+O4+O5+O6+O7 | S2+S3+S4+S5+S6+S7 | H1+H2+H3+H4+H5+H6 | L1+L2+L3 |
| 4 | O3+O4+O5+O6+O7 | S1+S2+S3+S4+S5+S6+S7 | H1+H2+H3+H4+H5 | L1+L2+L3 |
| 5 | O3+O4+ O6+O7 | S1+S2+S3+S4+S5+S6+S7 | H1+H2+H3+H4+H5 | L1+L2+L3 |

Aménagements prévus sur le bassin de l’Oudon :

- O1 : Stockage Mée,
- O2 : Stockage Guéhardière,
- O3 : Stockage Grande Queille,
- O4 : Stockage Argos-Verzée,
- O5 : Stockage Oudon-Nord,
- O6 : Stockage Guiardière,
- O7 : Agrandissement vieux pont de Segré.

Aménagements prévus sur la Sarthe :

- S1 : Retenue sèche du Gué Ory (version 3C),
- S2 : Mise en place des clapets du barrage de Sablé,
- S3 : Augmentation du débouché hydraulique du pont du Greffier,
- S4 : Endiguement quartiers Heuzé et Australie,
- S5 : Déversoir sur l'île aux Planches,
- S6 : Réaménagement du lit des cours d'eau Vivoin et Montbizot,
- S7 : Mise en place de clapets aux barrages de St-Georges, Chaoué, Spay (Sarthe) et Gué Maulny (Huisne).

Aménagements prévus sur l'Huisne :

- H1 : Retenue de Margon,
- H2 : Déblaiement du remblai SNCF à Connerré,
- H3 : Bras de décharge du pont des Abattoirs,
- H4 : Digue quartier Crétois,
- H5 : Modernisation barrage du Foulon,
- H6 : 25 levées transversales de l'Huisne.

Aménagements prévus sur le Loir :

- L1 : Tranchée dans le remblai SNCF de la Flèche,
- L2 : Décharge sous RD70 à Bazouges,
- L3 : Effacement du Moulin Neuf à Bazouges,
- L4 : 9 levées transversales du Loir.

6.4 CRUES MODELISEES

Les 2 premiers scénarios ont été testés pour les 10 crues utilisées pour l'analyse de fonctionnement du système dans la situation actuelle (cf étape 4).

Après la modélisation des scénarios 1 et 2, et une réunion de présentation des premiers résultats, le choix des 5 crues à utiliser pour tester les scénarios suivants a été proposé par Hydratec et validé par le Maître d'Ouvrage, il s'agit de :

- la crue de janvier 1995 : plus forte crue ayant affectée tout le bassin de la Maine,
- la crue théorique : plus forte que la crue de 1995 afin de tester les impacts maximaux à attendre des différents aménagements,
- la crue d'octobre-novembre 1966 : forte crue sur la Sarthe,
- la crue de décembre 1999,
- la crue de janvier 2001.

Parmi ces 5 crues, l'ordre d'arrivée au Mans diffère entre l'Huisne et la Sarthe, ce qui permet d'avoir les deux cas de figure.

6.5 PRESENTATION DES RESULTATS DANS LE RAPPORT D'ETAPE 5

Les résultats des simulations ont fait l'objet d'un traitement pour caractériser différents indicateurs.

Les résultats détaillés des calculs sont présentés dans les annexes du rapport de l'étape 5 (auquel les lecteurs pourront se reporter pour approfondir la synthèse présentée ici) :

- courbes ponctuelles aux points clés du réseau pour les dix crues :

On fournit aux points clés des modèles, sur un même graphique les hydrogrammes et limnigrammes en situation actuelle et pour les scénarios 1 et 2 au format numérique.

- courbes ponctuelles à l'entrée des Basses Vallées Angevines :

Hydrogrammes et limnigrammes à l'entrée des Basses Vallées Angevines sur l'Oudon, la Mayenne, la Sarthe et le Loir, pour les 5 scénarios d'aménagement et pour les 5 crues.

- courbes ponctuelles en amont de la confluence Sarthe-Huisne :

Hydrogrammes et limnigrammes au pont d'Yssoir et à Pontlieue, pour les 5 scénarios d'aménagement et pour les 5 crues.

- tous les résultats de simulation à tous les nœuds de calcul dans l'interface d'HYDRARIV.

6.6 SYNTHESE DES RESULTATS

6.6.1 Incidences sur la propagation des crues

Comme les 3 figures suivantes le montrent, la propagation des crues est peu modifiée par les aménagements :

- figure 10 : hydrogrammes à Segré (Oudon) pour la crue de février 1996 (situation actuelle, scénarios 1 et 2),
- figure 11 : hydrogrammes obtenus au Mans en aval de la confluence Sarthe-Huisne, au pont de la Raterie pour la crue de janvier 1995 dans la situation actuelle et pour les scénarios 1 et 2,
- figure 12 : hydrogrammes obtenus à Durtal sur le Loir pour la crue de janvier 2004 dans la situation actuelle et pour les scénarios 1 et 2.

Figure 10 Oudon - Crue de février 1996

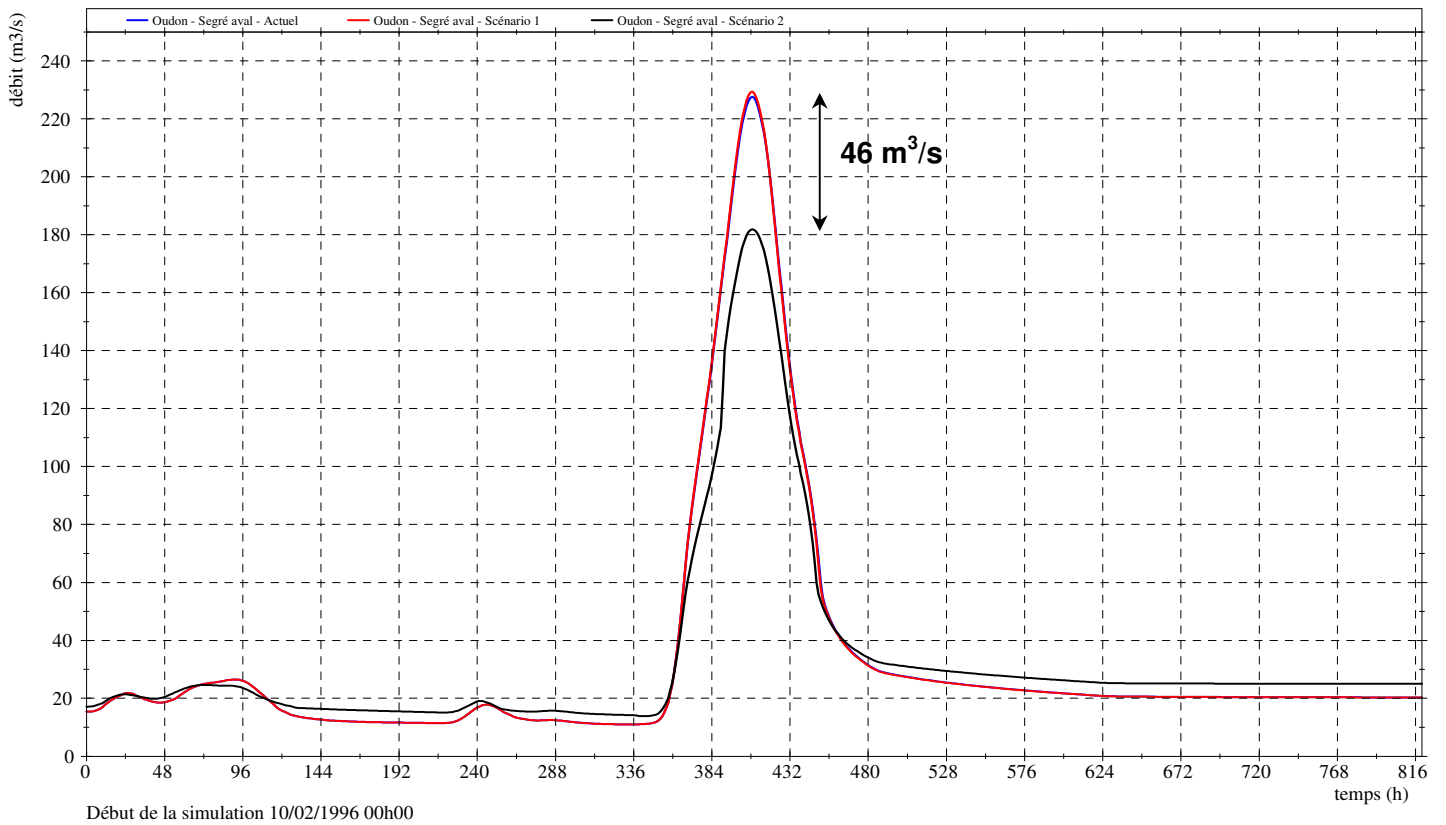


Figure 11 : Sarthe - Crue de janvier 1995

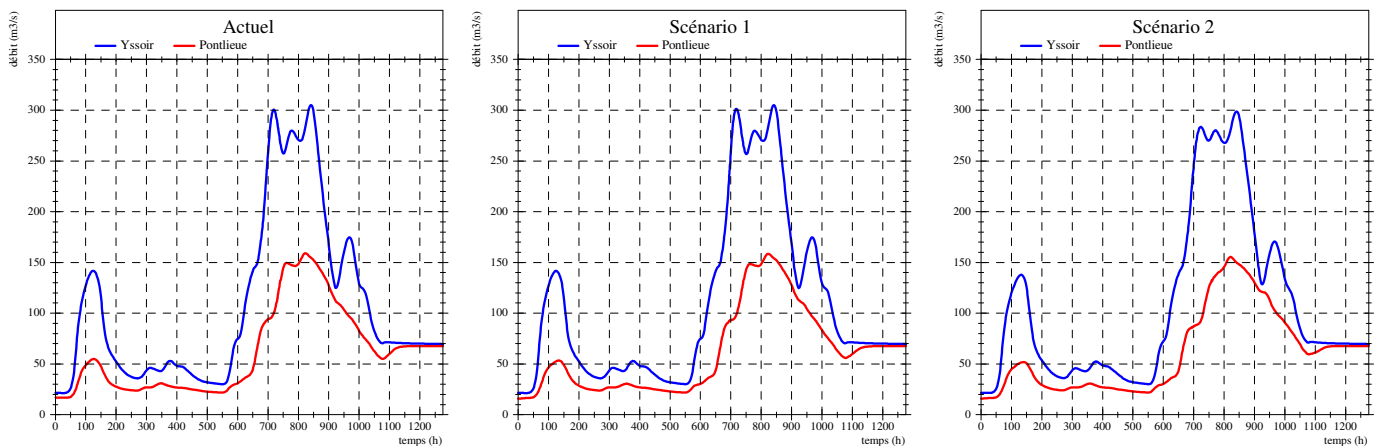


Figure 12 :Loir - Crue de janvier 2004



Au niveau du Mans, une comparaison des hydrogrammes des différents scénarios au pont d'Yssoir sur la Sarthe et à Pontlieue sur l'Huisne a été faite.

Figure 13 : Crue de Janvier 1995 - Confluence Sarthe (Yssoir) - Huisne (Pontlieue)



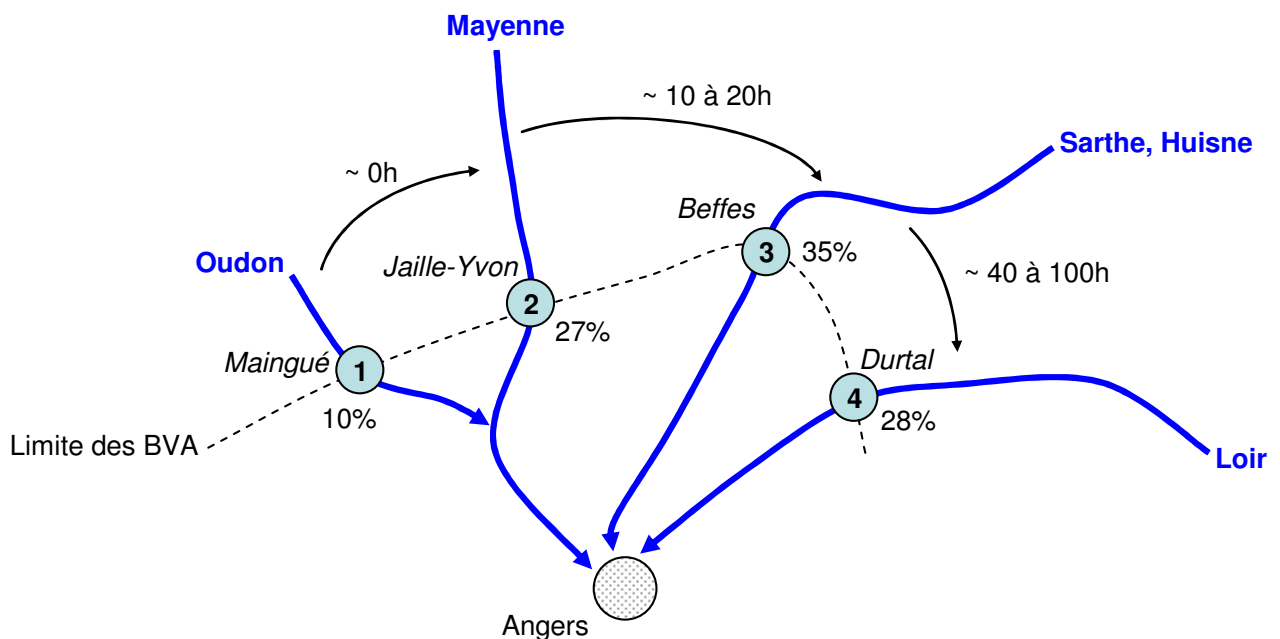
Ces hydrogrammes sont très peu déformés et l'ordre d'arrivée des différentes pointes de crue reste inchangé. On peut mettre en évidence cette invariabilité sur l'ensemble des crues testées.

Le décalage des pointes des hydrogrammes entre les différents sous bassins versants a été étudié pour les 5 scénarios. Le tableau suivant en synthétise les résultats pour les 5 scénarios et les différentes crues testées.

| | Pointe Mayenne – Pointe Oudon (h) | Pointe Sarthe – Pointe Mayenne (h) | Pointe Loir – Pointe Sarthe (h) |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Variation maximale entre scénario et situation actuelle | 5h | 5h | 24h |
| Variation moyenne entre scénario et situation actuelle | ± 2h | ± 2h | ± 7h |

D'une manière générale, ces variations sont faibles et au regard de la durée des crues, elles n'ont aucune incidence sur l'horloge des crues. Les plus fortes variations sont observées entre la pointe du Loir et la pointe de la Sarthe, or la crue du Loir pour le scénario avec les levées transversales se décale encore plus avec la pointe de la Sarthe, si bien que la crue du Loir est encore plus décalée par rapport à la crue de la Sarthe.

Rappelons le schéma suivant qui indique les temps moyens entre les pointes de crue des sous-bassins versants pour les 10 crues modélisées.



Légende :

- ② : ordre d'arrivée de la pointe à l'entrée des BVA
- 27% : pourcentage du sur-volume total à l'entrée des BVA
- : décalage en heures entre les pointes

Ainsi, quelque soit le scénario testé, il n'y a **pas de perturbation de l'horloge Sarthe-Huisne au Mans**, ni de perturbation de **l'horloge Oudon-Mayenne-Sarthe-Loir à l'entrée des Basses Vallées Angevines**.

Les tests réalisés avec le modèle hydraulique montrent ainsi que les aménagements projetés déforment peu les hydrogrammes de crue et influent peu sur la propagation des crues.

De ce fait, les projets inscrits dans le PPIBM sont hydrauliquement compatibles entre eux et l'ensemble, en référence à l'intitulé de l'étude, est cohérent.

A l'issue de cette étude, il n'y a donc pas lieu d'éliminer des projets envisagés au regard du risque d'aggravation des inondations en aval qui serait entraîné par une modification des concomitances (cf 1.2 - Rappel des objectifs de l'étude).

6.6.2 Impacts sur les cotes de crue

Les impacts des aménagements locaux ont été testés grâce au scénario 1 :

- sur l'Oudon, l'agrandissement du vieux pont de Segré permet d'abaisser la ligne d'eau en amont et génère une légère surélévation de la ligne d'eau à l'aval (2 cm pour la crue de février 1996, ce qui est dans la limite de sensibilité du modèle donc négligeable),
- sur la Sarthe, la digue du quartier Heuzé-Australie génère une surélévation de quelques cm pour la crue de janvier 1995 (surélévation dont la valeur dépend de la finesse de la représentation du site). L'ensemble des projets amène un abaissement de ligne d'eau dans la traversée du Mans,
- sur l'Huisne, la modernisation du barrage de Foulon et le remblai SNCF de Connerré génèrent très localement une surélévation de la ligne d'eau de quelques centimètres pour la crue de janvier 1995, ce qui est dans la limite de sensibilité du modèle,
- sur le Loir, les trois aménagements locaux que sont la tranchée dans le remblai SNCF de La Flèche, l'ouvrage de décharge sous la RD70 à Bazouges et l'effacement du barrage des Moulins Neufs peuvent générer une surélévation de la ligne d'eau de quelques centimètres pour la crue de janvier 2004, ce qui reste une fois encore dans la limite de sensibilité du modèle.

Les impacts de tous les aménagements (aménagements locaux et aménagements structurants) ont été testés grâce au scénario 2 :

- sur l'Oudon, les ouvrages structurants permettent de gagner sur la ligne d'eau, les gains sont maximaux pour la crue de février 1996, ils sont de 20 à 30 cm sur l'amont et 20 à 85 cm sur l'aval,
- sur la Sarthe, le Gué Ory permet de baisser globalement la ligne d'eau jusqu'à 25 cm en amont pour la crue de janvier 1995, la baisse est encore de 6 cm au Mans et de 3 cm en aval,
- sur l'Huisne, les 7 levées les plus en amont ont un impact négatif sur la ligne d'eau de part et d'autre de la levée, globalement les 25 levées ont un impact positif à partir de Connerré, en aval le gain varie de 0 à 8 cm sur la ligne d'eau de janvier 1995,
- sur le Loir, les 9 levées ont un impact positif à l'aval, la ligne d'eau est abaissée de 5 à 10 cm en moyenne pour la crue de janvier 2004. Une étude analysant les enjeux a permis d'abandonner ces aménagements.

Les 3 autres scénarios ont permis de nuancer les impacts obtenus pour certains ouvrages.

Ainsi sur l'Oudon, l'efficacité de trois ouvrages a pu être évaluée, dans l'ordre d'efficacité décroissante, il s'agit du stockage de la Guéhardière, des stockages Oudon-Nord et de la Mée.

Concernant l'ouvrage du Gué Ory, seule la version 3C a été testée. Il s'agit de la version apportant le maximum de gain à la ligne d'eau sur la Sarthe. La version 2C, qui n'a pas été testée, apporterait un gain moins important.

Le Gué Ory version 3C ne perturbera pas l'horloge des crues, a fortiori, la version 2C qui aura un impact plus faible ne perturbera pas non plus l'horloge des crues.

Les levées sur l'Huisne et sur le Loir ont été testées à partir de pertes de charge extraites d'études existantes. Notamment sur le Loir, l'étude ne fournissait qu'une perte de charge pour un débit donné.

D'autres scénarios pourront être testés ultérieurement grâce au modèle à partir des résultats fournis par l'étude en cours sur les levées de l'Huisne sous maîtrise d'Ouvrage du SMPEI.

A l'heure actuelle, on suppose que les pertes de charge rentrées dans le modèle constituent l'hypothèse haute.

Ces levées ainsi testées ont des impacts locaux très forts avec des surélévations de la ligne d'eau importantes, en aval elles ont un impact plus modéré. Les levées du Loir apportent un gain d'une dizaine de centimètres en aval alors que celles de l'Huisne n'apportent qu'un gain de 4 à 5 cm.

6.6.3 Remarques sur les différences d'impacts constatées pour certains aménagements par rapport aux études antérieures

Pour certains aménagements (des aménagements dans la traversée du Mans, le Gué Ory, les ouvrages de surstockage sur l'Oudon...), la modélisation mise en œuvre dans l'étude de cohérence donne des impacts différents de ceux estimés lors d'études antérieures.

Une analyse relative à ces différences a été faite. Cette analyse a mis en évidence que l'étude de cohérence a permis de tester les aménagements avec :

- Un modèle et un mode de résolution des équations hydrauliques uniques de l'amont à l'aval.
- Une représentation satisfaisante de la géométrie des cours d'eau et vallées, prenant en compte des levés topographiques complémentaires faits dans le cadre de l'étude de cohérence, donnant une représentation correcte de la propagation des crues (validation des phases de calage), ce qui n'a pas été le cas pour certaines études antérieures.
- Une hydrologie homogène sur tout le bassin, calculée à partir de la pluie réelle, et représentant finement les apports répartis au long des vallées,
- Une homogénéité dans la façon de simuler les aménagements et dans la façon de comparer les scénarios.

Les éléments présentés pour la traversée du Mans montrent que la qualité des résultats dépend notamment de la finesse de la représentation des lieux dans le modèle. Le modèle de l'étude de cohérence, mis en œuvre sur plusieurs centaines de km de vallée, n'a parfois pas, en agglomération, la même finesse qu'un modèle local réalisé sur quelques km de vallée.

7 CONCLUSION

Les projets inscrits dans le PPIBM sont hydrauliquement compatibles entre eux et l'ensemble, en référence à l'intitulé de l'étude, est cohérent.

Ce programme n'est pas de nature à aggraver la situation dans les Basses Vallées Angevines (BVA). Cet avis de non aggravation dans les BVA est formulé sans qu'une vérification avec le modèle des Basses Vallées Angevines, dont dispose l'Etablissement Public Loire, ait été faite. Une telle vérification avec le modèle BVA pourra être faite ultérieurement.

A l'issue de cette étude, il n'y a donc pas lieu d'éliminer des projets envisagés au regard d'un risque d'aggravation des inondations en aval qui serait entraîné par une modification des concomitances (cf 1.2 - Rappel des objectifs de l'étude).