

## Etude de cohérence du Bassin de la Maine



Rapport d'étape 5 :  
Impacts des aménagements projetés

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>OBJECTIFS DE L'ETAPE 5</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>METHODOLOGIE</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>MODELISATION DES AMENAGEMENTS</b>	<b>4</b>
3.1	TYPES D'AMENAGEMENTS MODELISES ET PRINCIPES DE MODELISATION	4
3.2	BASSIN VERSANT DE L'LOUDON	5
3.3	BASSIN VERSANT DE LA SARTHE ET DE L'HUISNE	10
3.4	BASSIN VERSANT DU LOIR	20
<b>4</b>	<b>CRUES MODELISEES</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>RESULTATS DES SIMULATIONS</b>	<b>23</b>
5.1	TRAITEMENT DES RESULTATS	23
5.2	SUR LA PRECISION DES RESULTATS	24
<b>6</b>	<b>ANALYSE DES SCENARIOS 1 ET 2</b>	<b>26</b>
6.1	BASSIN VERSANT DE L'LOUDON	26
6.2	BASSINS VERSANTS DE LA SARTHE ET DE L'HUISNE	30
6.2.1	<i>Impacts en cote et en débit</i>	30
6.2.2	<i>Impacts sur les durées d'inondation</i>	41
6.2.3	<i>Impacts à la confluence Sarthe-Huisne</i>	42
6.3	BASSIN VERSANT DU LOIR	43
6.4	IMPACTS SUR LES BASSES VALLEES ANGEVINES	47
<b>7</b>	<b>ANALYSE DE 3 SCENARIOS COMPLEMENTAIRES</b>	<b>49</b>
7.1	DETERMINATION DES SCENARIOS COMPLEMENTAIRES	49
7.2	BASSIN VERSANT DE L'LOUDON	51
7.2.1	<i>Tableaux de synthèse</i>	51
7.2.2	<i>Profils en long comparatifs des impacts</i>	52
7.3	BASSINS VERSANTS DE LA SARTHE ET DE L'HUISNE	56
7.3.1	<i>Tableaux de synthèse Scénario 3</i>	56
7.3.2	<i>Tableaux de synthèse Scénario 4 et 5</i>	58
7.3.3	<i>Profils en long comparatifs des impacts</i>	59
7.3.4	<i>Impacts à la confluence Sarthe-Huisne</i>	63
7.4	IMPACTS SUR LES BASSES VALLEES ANGEVINES	64
<b>8</b>	<b>SUR LES DIFFERENCES OBSERVEES PAR RAPPORT AUX ETUDES PARTICULIERES ANTERIEURES DE CERTAINS OUVRAGES</b>	<b>66</b>
8.1	PRECISIONS SUR LA MODELISATION HYDRATEC : TRAVERSEE DU MANS	66
8.1.1	<i>Pont du Greffier</i>	66
8.1.2	<i>Ile aux Planches</i>	67
8.1.3	<i>Digues Heuzé-Australie</i>	68
8.2	PRECISIONS SUR LA MODELISATION HYDRATEC : LE GUE ORY	74
8.2.1	<i>Volumes écrêtés</i>	75

8.2.2	<i>Décalage temporel des pointes de crues des affluents</i> .....	76
8.2.3	<i>Forme des hydrogrammes d'entrée</i> .....	77
8.2.4	<i>Conclusion</i> .....	78
8.3	PRECISIONS SUR LA MODELISATION HYDRATEC : LES LEVEES TRANSVERSALES DE L'HUISNE .....	79
8.4	PRECISIONS SUR LA MODELISATION HYDRATEC : BASSIN DE L'LOUDON.....	81
8.4.1	<i>Surstockages sur les affluents</i> .....	81
8.4.2	<i>Vieux Pont de Segré</i> .....	82
8.5	SYNTHESE.....	83
<b>9</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>85</b>
9.1	RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	85
9.2	RAPPEL DES SCENARIOS TESTES .....	85
9.3	INCIDENCES SUR LA PROPAGATION DES CRUES.....	86
9.4	IMPACTS SUR LES COTES DE CRUE.....	88
9.5	REMARQUES SUR LES DIFFERENCES OBSERVEES PAR RAPPORT AUX ETUDES PARTICULIERES ANTERIEURES DE CERTAINS OUVRAGES.....	89
9.6	CONCLUSION GENERALE .....	90

Réf : 01621174 AB / MMC

Date : Août 2008

Version 6

## ANNEXES

Annexe 1 : Courbes ponctuelles aux points clés du réseau pour les dix crues. Format numérique \*.EMF et \*.PDF

Annexe 2 : Courbes ponctuelles à l'entrée des Basses Vallées Angevines. Format numérique \*.WMF

Annexe 3 : Courbes ponctuelles en amont de la confluence Sarthe-Huisne. Format numérique \*.WMF

Annexe 4 : Profils en long des impacts des scénarios

Annexe 5 : Modèles hydrauliques et résultats de simulations pour les 5 scénarios : fichiers .HRV et fichiers associés exploitables avec l'interface HYDRARIV.

Annexe 6 : Extrait de la topographie des quartiers Heuzé et Australie (photogrammétrie CUM).

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

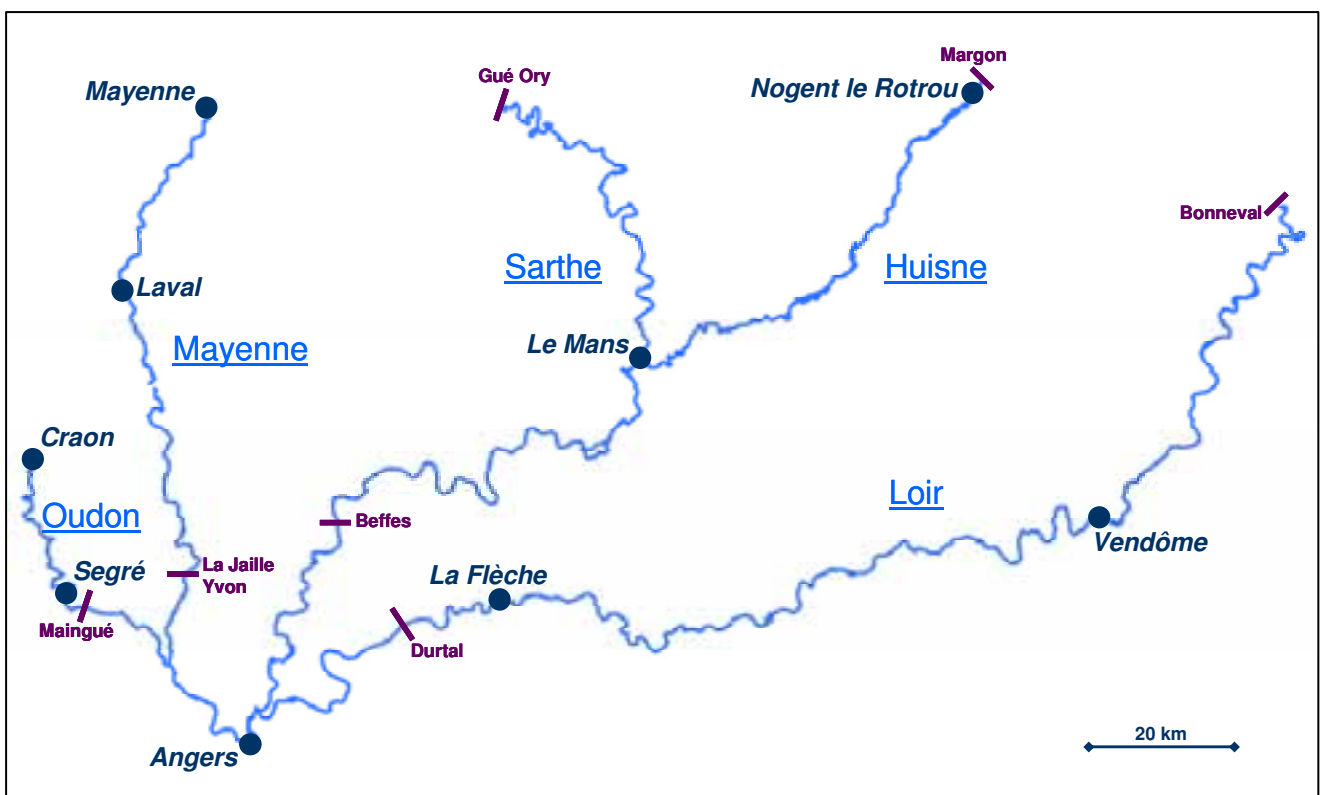
## 1 OBJECTIFS DE L'ETAPE 5

L'étape 5 de l'étude de cohérence du bassin de la Maine a pour objet **l'évaluation des impacts des aménagements projetés sur le bassin.**

L'étape 4 a permis la construction de la modélisation réalisée à l'aide du logiciel de modélisation fluvial HYDRARIV (logiciel sous licence Hydratec) sur le bassin de la Maine.

Les tronçons modélisés, représentés sur la carte ci-après, sont les suivants :

- 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 jusqu'à Durtal.



Cette modélisation validée dans l'étape 4 va permettre de tester les aménagements projetés qui ont été retenus à l'issue de l'étape 3.

## 2 METHODOLOGIE

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

- **Scénario 1** : il comporte tous les aménagements qui ont été identifiés dans l'étape 3 de la présente étude excepté 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 permet 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 sont définis puis testés avec la modélisation 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.

### IMPORTANT

Les impacts de quelques centimètres sur la ligne d'eau, entraînés par des aménagements visant à réduire les risques d'inondation, sont à considérer en regard des variations de la ligne d'eau entraînées par les évolutions au cours du temps des coefficients de rugosité, liées en particulier aux évolutions de la végétation, variations qui peuvent aussi être de quelques centimètres.

Le tableau page suivante synthétise les aménagements pris en compte dans les scénarios 1 et 2.

Entre parenthèses est indiquée la fiche correspondant à l'aménagement. Ces fiches sont présentées dans le chapitre 3.

En italiques sont indiqués les aménagements n'ayant pas fait l'objet d'une modélisation spécifique, ils sont également détaillés dans le chapitre 3.

Scénario	Oudon	Sarthe	Huisne	Loir
Scénario 1 et Scénario 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <i>Saint Aignan sur Roë</i></li> <li>♦ Vieux Pont Segré (O-7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <i>Stockage Vézonne</i></li> <li>♦ Barrage Sablé (S-2)</li> <li>♦ Pont Greffier (S-3)</li> <li>♦ Dignes Heuzé-Australie (S-4)</li> <li>♦ <i>Digue Arnage</i></li> <li>♦ <i>Quartier Lavandière</i></li> <li>♦ Seuil Canal Planches (S-5)</li> <li>♦ Entretien à Vivoin (S-6)</li> <li>♦ Modernisation Barrages Chauoué, Prélandon, St-Georges (S-7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Margon (H-1)</li> <li>♦ Remblai Connerré (H-2)</li> <li>♦ Abattoirs (H-3)</li> <li>♦ Barrage Foulon (H-4)</li> <li>♦ Digue quartier Crétois (H-5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Remblai La Flèche (L-1)</li> <li>♦ Ouvrage décharge Bazouges (L-2)</li> <li>♦ Arasement seuil Moulins Neufs (L-3)</li> </ul>
Scénario 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Stockage Mée (O-1)</li> <li>♦ Guéhardière (O-2)</li> <li>♦ Grande Queille (O-3)</li> <li>♦ Stockage Argos-Verzée (O-4)</li> <li>♦ Stockage Oudon Nord (O-5)</li> <li>♦ Guiardièrre (O-6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Gué Ory version 3C (S-1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ 25 levées (H-6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ 9 levées (L-4)</li> </ul>
<b>Total :</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

### 3 MODELISATION DES AMENAGEMENTS

#### 3.1 TYPES D'AMENAGEMENTS MODELISES ET PRINCIPES DE MODELISATION

Les aménagements testés sont de 5 types différents :

- les surstockages sur les affluents,
- les modifications apportées au niveau des barrages,
- les levées transversales en lit majeur,
- les digues,
- les ouvrages de décharge au niveau de remblais.

Concernant les surstockages sur les affluents, dans la mesure où les affluents ne sont pas modélisés, les modifications apportées se font au niveau des hydrogrammes d'entrée du modèle de la Maine à partir des données fournies dans les études antérieures.

Les modifications apportées au niveau des barrages se font directement dans l'élément « DE » en changeant les caractéristiques de l'ouvrage.

Pour les levées transversales ayant fait l'objet d'études antérieures, les pertes de charge engendrées par ces levées ont pu être estimées, ces données sont alors utilisées dans la modélisation sous la forme d'un élément « DH » qui impose une perte de charge pour un débit donné.

La modélisation pour la mise en place d'une digue se fait généralement au droit d'un casier (l'élaboration du modèle ayant anticipé l'emplacement des ouvrages à tester), il s'agit alors d'augmenter la cote de la liaison entre le casier et la rivière pour simuler la présence de la digue.

Les ouvrages de décharge dans les remblais permettent un meilleur écoulement en crue et contribuent donc à abaisser la perte de charge induite par les remblais. La modification apportée dans la modélisation consiste donc à modéliser directement une liaison supplémentaire en parallèle de l'ouvrage principal ou à changer la loi de perte de charge de l'élément « DH » lorsque des données de ce type sont disponibles.

Afin d'explicitier la modélisation des différents aménagements réalisés dans ces deux scénarios, les chapitres suivants récapitulent la façon dont a été modélisé chaque aménagement par sous-bassin versant.



<b>N°: O-1</b>	<b><i>Barrage de la Mée</i></b>	<b>Fiche : D/O.1a</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Création d'une retenue temporaire sur la Mée.</p>		
<p><u>Modélisation :</u></p> <p>Calcul de l'hydrogramme sur le bassin versant ioudc en modélisant un volume de retenue de 1920000m<sup>3</sup> et un débit de coupure de 10m<sup>3</sup>/s. Ce débit correspond au débit à partir duquel on commence à stocker dans la retenue.</p>		
<p><u>Localisation :</u> PK 100.000</p>		

<b>N°: O-2</b>	<b><i>Surstockage étang Guéhardière</i></b>	<b>Fiche : D/O.1b</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Rehaussement du barrage de la Guéhardière.</p>		
<p><u>Modélisation :</u></p> <p>Calcul de l'hydrogramme sur le bassin versant ouda en modélisant un volume de retenue de 2000000m<sup>3</sup> et un débit de coupure de 10m<sup>3</sup>/s. Ce débit correspond au débit à partir duquel on commence à stocker dans la retenue.</p>		
<p><u>Localisation :</u> PK 100.000</p>		

<b>N°: O-3</b>	<b><i>Surstockage Grande Queille</i></b>	<b>Fiche : D/O.1c</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Création de surstockages temporaires sur le ruisseau de la Queille.</p>		
<p><u>Modélisation :</u></p> <p>Calcul de l'hydrogramme du bassin versant ioudg en modélisant un volume de retenue de 75000m<sup>3</sup> sur l'équivalent de 30% du bassin versant et un débit de coupure de 3.2m<sup>3</sup>/s. Ce débit correspond au débit à partir duquel on commence à stocker dans la retenue.</p>		
<p><u>Localisation :</u> PK 115.910</p>		

<b>N°: O-4</b>	<b><i>Surstockages Argos Verzée</i></b>	<b>Fiche : D/O.1d</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Aménagement de 16 sites de surstockage sur les bassins de l'Argos et de la Verzée.</p>		
<p><u>Modélisation :</u></p> <p>On calcule le total des volumes de retenue sur chaque bassin versant.</p> <p>Calcul de l'hydrogramme du bassin versant argos en modélisant un volume de retenue de 921000m<sup>3</sup> et un débit de coupure de 22.5m<sup>3</sup>/s. Ce débit correspond à la moitié du débit maximal atteint à Sainte Gemme d'Andigné après création des retenues.</p> <p>Calcul de l'hydrogramme du bassin versant verzée en modélisant un volume de retenue de 1045000m<sup>3</sup> et un débit de coupure de 22.5m<sup>3</sup>/s. Ce débit correspond à la moitié du débit maximal atteint à Sainte Gemme d'Andigné après création des retenues.</p>		
<p><u>Localisation :</u> PK 131.750</p>		

<b>N°: O-5</b>	<b><i>Surstockages Oudon Nord</i></b>	<b>Fiche : D/O.1e</b>																								
<p><u>Description :</u></p> <p>Surstockages sur 4 affluents : Hière, Chéran, Uzure, Araize</p>																										
<p><u>Modélisation :</u></p> <p>Calcul de l'hydrogramme de chaque bassin versant en modélisant un volume de retenue et un débit de coupure. Ce débit correspond au débit à partir duquel on commence à stocker dans la retenue.</p> <table> <tr> <td>Affluent :</td> <td>Hière</td> <td>Chéran</td> <td>Uzure</td> <td>Araize</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BV :</td> <td>ioude</td> <td>qchéran</td> <td>ioudd</td> <td>80% de ioudh</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volume :</td> <td>0.577</td> <td>0.277</td> <td>0.885</td> <td>0.311</td> <td>en Mm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Qcoupure :</td> <td>39</td> <td>23</td> <td>20</td> <td>18.7</td> <td>en m<sup>3</sup>/s</td> </tr> </table> <p>Les débits de coupure sont estimés à partir de l'impact sur le débit maximal de l'Oudon de l'ensemble des retenues.</p>			Affluent :	Hière	Chéran	Uzure	Araize		BV :	ioude	qchéran	ioudd	80% de ioudh		Volume :	0.577	0.277	0.885	0.311	en Mm <sup>3</sup>	Qcoupure :	39	23	20	18.7	en m <sup>3</sup> /s
Affluent :	Hière	Chéran	Uzure	Araize																						
BV :	ioude	qchéran	ioudd	80% de ioudh																						
Volume :	0.577	0.277	0.885	0.311	en Mm <sup>3</sup>																					
Qcoupure :	39	23	20	18.7	en m <sup>3</sup> /s																					
<p><u>Localisation :</u> PK 109.200    110.010    101.330    126.540</p>																										

<b>N°: O-6</b>	<b><i>Surstockage Guardièrè</i></b>	<b>Fiche : E/O.1</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Aménagement de l'étang de la Guardièrè pour stocker les volumes de crue du Chéran amont.</p>		
<p><u>Modélisation :</u></p> <p>Calcul de l'hydrogramme du bassin versant chéran en modélisant un volume de retenue de 500000m<sup>3</sup> sur l'équivalent de 30% du bassin versant et un débit de coupure de 5m<sup>3</sup>/s. Ce débit correspond au débit à partir duquel on commence à stocker dans la retenue.</p>		
<p><u>Localisation :</u> PK 110.010</p>		

<b>N°: O-7</b>	<b>Allongement du Vieux Pont de Segré</b>	<b>Fiche : D/O.2</b>										
<p><u>Description :</u></p> <p>Construction d'une 4<sup>ème</sup> arche ainsi que l'agrandissement de la 3<sup>ème</sup> arche afin d'augmenter le débouché hydraulique du pont.</p>												
<p><u>Modélisation :</u></p> <p>Les pertes de charge liées au pont sont recalculées sur la base de la synthèse de l'impact des aménagements. Le gain est estimé à 49%.</p> <p>Elément DHP : O.OA.36, nouvelle loi de perte de charge :</p> <table data-bbox="188 900 590 1093"> <thead> <tr> <th colspan="2">débit (m<sup>3</sup>/s) – perte de charge (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.000</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>130.000</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>153.000</td> <td>0.29</td> </tr> <tr> <td>200.000</td> <td>0.49</td> </tr> </tbody> </table>			débit (m <sup>3</sup> /s) – perte de charge (m)		0.000	0.00	130.000	0.25	153.000	0.29	200.000	0.49
débit (m <sup>3</sup> /s) – perte de charge (m)												
0.000	0.00											
130.000	0.25											
153.000	0.29											
200.000	0.49											
<p><u>Localisation :</u> PK 131.410</p>												

Les protections locales à Saint-Aignan-sur-Roë, étant localisées en amont du modèle hydraulique de l'Oudon et n'ayant qu'un effet mineur sur le débit aval du Chéran, ne sont pas prises en compte en tant que telles dans la modélisation de l'apport qchéran.

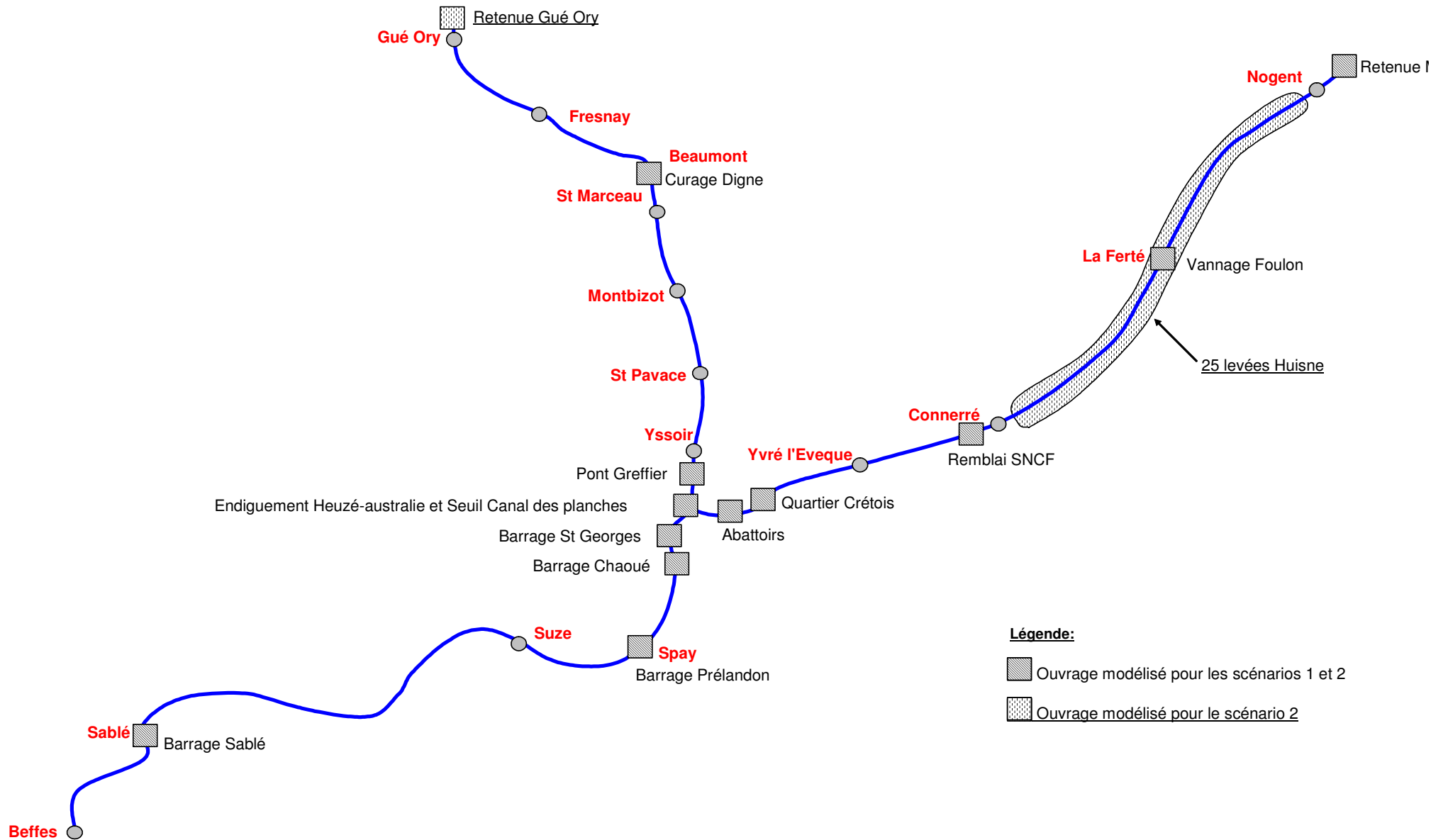
### 3.3 BASSIN VERSANT DE LA SARTHE ET DE L'HUISNE

La figure page suivante permet de localiser schématiquement les différents aménagements testés.

Les fiches données dans les pages suivantes détaillent la modélisation choisie pour chaque aménagement.

Les trois projets suivants n'ont pas fait l'objet d'une modélisation à proprement dite car ils sont très localisés et d'un impact très faible voire nul sur la Sarthe et son fonctionnement hydraulique :

- Protection du bourg d'Essay contre les crues de la Vézone : le débit centennal de cet affluent de la Sarthe en amont du Gué Ory (début du modèle hydraulique) est de  $8\text{m}^3/\text{s}$ . Les aménagements permettraient de diminuer ce débit à  $5.6\text{m}^3/\text{s}$ , on aurait donc un gain de  $2.4\text{m}^3/\text{s}$ . Comparé au débit de pointe de janvier 1995 de la Sarthe au Gué Ory ( $190\text{m}^3/\text{s}$ , de période de retour inférieur à 100 ans) ce gain représente environ 1%. Il a été jugé inutile de modéliser cet aménagement dans l'étude d'impact des aménagements sur l'ensemble de la Maine.
- Endiguement du quartier Val de Sarthe à Arnage : les études déjà réalisées ont permis de montrer que cet aménagement ne modifiera pas de façon significative les écoulements de crue car le quartier à protéger ne couvre que quelques hectares (15 habitations) situés au moins à 300m du lit mineur de la Sarthe. Il a été jugé inutile de modéliser cet aménagement.
- Aménagement du bassin des Lavandières : il a pour objet de protéger le quartier Olivier-Heuzé contre les inondations par débordement du réseau unitaire en période de crue. Il n'interfère pas avec les écoulements de la Sarthe en crue, il n'est donc pas modélisé.



<b>N°: S-1</b>	<b>Retenue sèche du Gué Ory</b>	<b>Fiche : D/S.1</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Retenue sèche sur le site du Gué Ory pour limiter l'inondabilité des secteurs sensibles au Mans et à Sablé-sur-Sarthe. Modélisation du scénario 3C.</p>		
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Sarthe</p> <p>Elément QT : hydrogramme qsara  Elément BO : volume équivalent de la retenue créée = 6.3Mm<sup>3</sup>  Elément MV : modélisation du pertuis, radier = 84.83mNGF, H = 3m, L = 4.85m  Elément MS : modélisation du seuil de sécurité sur la digue, seuil = 97.93 mNGF, L = 160m</p> <div data-bbox="1114 667 1362 1025" style="text-align: right;"> <p>Station : STN_GueOry</p> </div>		
<p><u>Localisation :</u> Bief 201 / PK 112.970</p>		

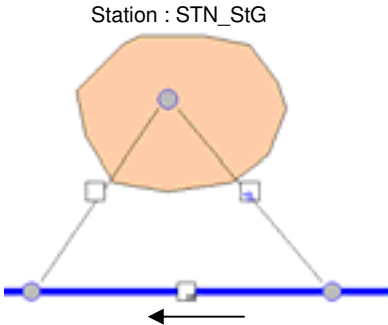
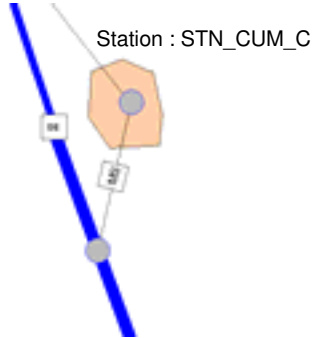
<b>N°: S-2</b>	<b>Mise en place des clapets du barrage de Sablé</b>	<b>Fiche : E/S.1</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Mise en place de clapets automatiques sur l'actuel barrage de Sablé pour abaisser la ligne d'eau.</p>		
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Sarthe</p> <p>On remplace un seuil fixe par 4 clapets mobiles de 16.50m de largeur.</p> <p>Elément DE : 72CG6-SA, cote d'arase du seuil = 20.92mNGF, cote de régulation haute = 22.92mNGF, L = 66m</p>		
<p><u>Localisation :</u> Bief 247 / PK 273.118</p>		

<b>N°: S-3</b>	<b>Augmentation du débouché hydraulique du pont du Greffier</b>	<b>Fiche : E/S.2a</b>						
<p><u>Description :</u></p> <p>Amélioration de l'écoulement sous le pont du Greffier par arasement de l'ancien seuil.</p>								
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Sarthe</p> <p>Élément DHP : S.OA.16, loi de perte de charge paramétrique recalculée à partir de la synthèse des impacts du projet, gain en % de perte de charge : 44%.</p> <p>Nouvelle loi :</p> <p>débit (m<sup>3</sup>/s) – perte de charge (m)</p> <table> <tr> <td>0.000</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>300.000</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>500.000</td> <td>0.06</td> </tr> </table>			0.000	0.00	300.000	0.03	500.000	0.06
0.000	0.00							
300.000	0.03							
500.000	0.06							
<p><u>Localisation :</u> Bief 217 / PK 195.272</p>								

<b>N°: S-4</b>	<b>Endiguement quartiers Heuzé et Australie</b>	<b>Fiche : E/S.2b</b>					
<p><u>Description :</u></p> <p>Rehaussement des berges de la Sarthe sur les deux rives.</p>							
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Sarthe</p> <p>Modification de la cote des liaisons entre le lit mineur et les casiers modélisant le lit majeur. Ajout de 5 liaisons rivière-casier LRC_PROSn (n = 2, 4, 5, 7 et 8) pour modéliser les différentes cotes de digues. Élément LRC : liaison rivière-casier.</p>							
Liaison	LRC_PROS2	LRC_PROS5	LRC_PROS4	LRC_PROS7	LRC_PROS8	R219.005-CAS00015 (S6)	R218.041-CAS00014 (S1)
Largeur seuil bas (m)	150	150	150	150	150	73.85	115.19
Cote (mNGF)	45.65	45.95	45.60	45.55	45.55	45.65	46.20
<p><u>Localisation :</u> Bief 219 / PK 196.050 → 196.410</p>							

<b>N°: S-5</b>	<b><i>Déversoir sur l'île aux Planches</i></b>	<b>Fiche : E/S.2e</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Création d'un déversoir latéral dans le canal des Planches pour améliorer les écoulements en contournant le pont du Greffier.</p>		
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Sarthe</p> <p>Modification de la liaison entre le canal et la Sarthe.</p> <p>Élément LSTK : R217.044-R218.044, liaison de type Strickler, L = 45m, cote de déversement = 44.10mNGF</p>		
<p><u>Localisation :</u> Bief 217 / PK 195.340</p>		

<b>N°: S-6</b>	<b><i>Réaménagement du lit des cours d'eau à Vivoin et Montbizot</i></b>	<b>Fiche : E/S.4</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Curage et entretien régulier du réseau hydraulique latéral à la Sarthe (Digne et Isarthon)</p>		
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Sarthe</p> <p>Modification du coefficient de rugosité du bief 212 pour traduire un écoulement facilité, le Strickler augmente de 7% (calculé à partir de la synthèse des impacts) pour obtenir la valeur de 29.</p>		
<p><u>Localisation :</u> Bief 213 / PK 153.510</p>		

N°: S-7	<b>Mise en place de clapets aux barrages de St-Georges, Chaoué, Spay et Gué Maulny</b>	Fiche : D/S.3
<p><u>Description :</u></p> <p>Mise en place de clapets automatiques pour abaisser la ligne d'eau.</p>		
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Sarthe et Huisne</p> <p>1) <b>St-Georges</b> : 1 clapet existant de 30m et 2 clapets de 14m</p> <p>Elément DE : 72CG6-StG, L = 30m, arase = 39.72mNGF, cote haute = 41.12mNGF</p> <p>Elément RZ : RZ_72CG6-StG, L=28m, arase = 39.62mNGF, cote haute = 41.12mNGF</p> <p>2) <b>Chaoué</b> : 3 clapets de 15m</p> <p>Elément DE : 72CG6-CH, L = 45m, arase = 37.72mNGF, cote haute = 39.72mNGF</p> <p>3) <b>Spay</b> : 3 clapets de 17.50m</p> <p>Elément DE : 72CG6-PR, L = 52.50m, arase = 36.45mNGF, cote haute = 38.45mNGF</p> <p>4) <b>Gué Maulny</b> : 1 plan de 27m, 1 clapet existant de 8m, 2 clapets de 13m</p> <p>Elément DE : CUM_C, L = 26m, arase = 41mNGF, cote haute = 43NGF</p> <p>Elément MS : S_CUM_C, L = 47m, arase = 43.08mNGF.</p>		
<p><u>Localisation :</u></p> <p>Bief 221 / PK 198.320</p> <p>Bief 223 / PK 201.570</p> <p>Bief 223 / PK 209.659</p> <p>Bief 345 / PK 111.980 (Modèle Huisne)</p>		 

N°: H-1

Retenue de Margon

Fiche : D/H.1

Description :

Réalisation d'une retenue sèche pour limiter l'impact des crues à Nogent le Rotrou.

Modélisation : Modèle Huisne

Élément QT : hydrogramme huaia

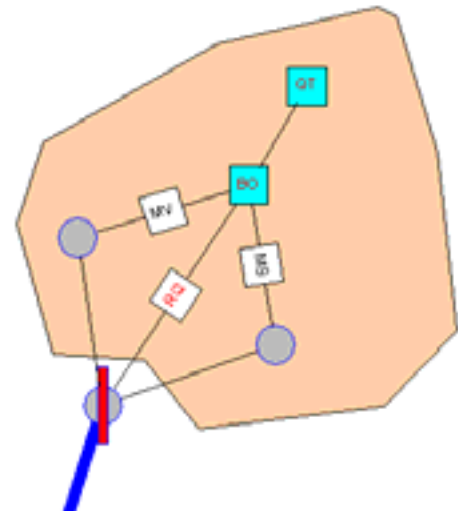
Élément BO : volume équivalent de la retenue créée = 2.5Mm<sup>3</sup>

Élément MV : modélisation des vannes de fond, radier = 105.52mNGF,  
H = 2m, L = 2\*3.90m (7.80m)

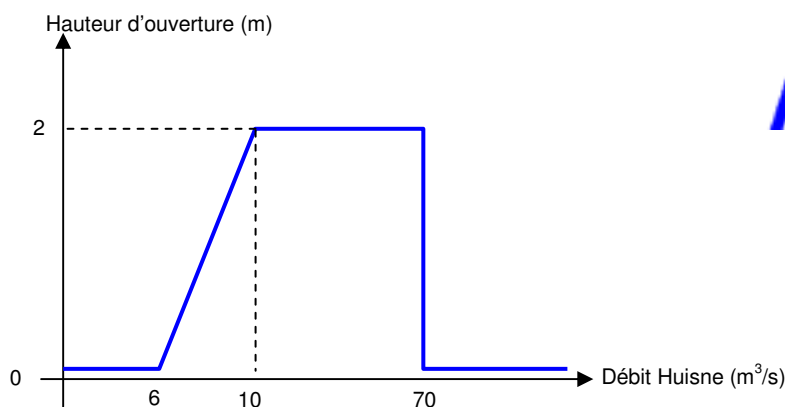
Élément RQ : modélisation du pertuis, radier = 105.82mNGF,  
voûte = 114mNGF, Lmoyenne = 6.85m, débit limite = 70m<sup>3</sup>/s

Élément MS : modélisation du seuil de sécurité sur la digue,  
seuil = 110.70 mNGF, L = 75m

Station : STN\_Margon

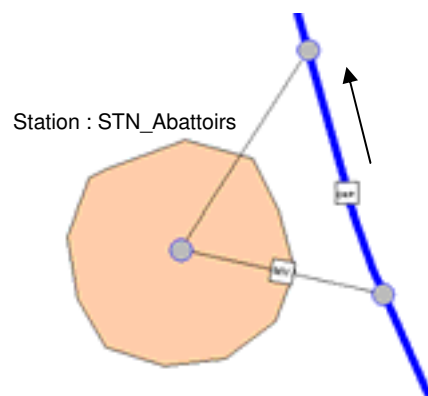


Régulation des vannes de fond :



Localisation : Bief 301 / PK 10.00

<b>N°: H-2</b>	<b><i>Déblaiement du remblai SNCF à Connerré</i></b>	<b>Fiche : E/H.1</b>																																			
<p><u>Description :</u></p> <p>Reculer le remblai de l'ancienne ligne SNCF pour diminuer le risque inondation à Connerré.</p>																																					
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Huisne</p> <p>Les pertes de charge au droit du pont de la D33 et du remblai sont modifiées, sur la base des calculs faits dans les études antérieures.</p> <p>Nouvelle loi de pertes de charge :</p> <table border="0" data-bbox="183 795 1460 1064"> <tr> <td colspan="2">Eléments DHP : CG72_OA21</td> <td>et</td> <td colspan="2">SNCF-Connerré</td> </tr> <tr> <td colspan="2">débit (m<sup>3</sup>/s) – perte de charge (m)</td> <td></td> <td colspan="2">débit (m<sup>3</sup>/s) – perte de charge (m)</td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>0.00</td> <td></td> <td>0.000</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>121.500</td> <td>0.11</td> <td></td> <td>121.500</td> <td>0.12</td> </tr> <tr> <td>143.500</td> <td>0.16</td> <td></td> <td>143.500</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>187.500</td> <td>0.27</td> <td></td> <td>187.500</td> <td>0.30</td> </tr> <tr> <td>216.000</td> <td>0.37</td> <td></td> <td>216.000</td> <td>0.37</td> </tr> </table>			Eléments DHP : CG72_OA21		et	SNCF-Connerré		débit (m <sup>3</sup> /s) – perte de charge (m)			débit (m <sup>3</sup> /s) – perte de charge (m)		0.000	0.00		0.000	0.00	121.500	0.11		121.500	0.12	143.500	0.16		143.500	0.17	187.500	0.27		187.500	0.30	216.000	0.37		216.000	0.37
Eléments DHP : CG72_OA21		et	SNCF-Connerré																																		
débit (m <sup>3</sup> /s) – perte de charge (m)			débit (m <sup>3</sup> /s) – perte de charge (m)																																		
0.000	0.00		0.000	0.00																																	
121.500	0.11		121.500	0.12																																	
143.500	0.16		143.500	0.17																																	
187.500	0.27		187.500	0.30																																	
216.000	0.37		216.000	0.37																																	
<p><u>Localisation :</u> Bief 335 / PK 73.300</p>																																					
<b>N°: H-3</b>	<b><i>Bras de décharge du pont des Abattoirs</i></b>	<b>Fiche : E/H.2a</b>																																			
<p><u>Description :</u></p> <p>Réouverture d'un ancien bras de décharge du pont des Abattoirs.</p>																																					
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Huisne</p> <p>Modélisation d'une liaison en parallèle du pont.</p> <p>Elément MV : modélisation de la section du chenal, Abatt_CHENAL, cote radier = 42.85 mNGF, L = 6m</p> <p>Elément DHP : modélisation du pont existant, loi de perte de charge</p>																																					
<p><u>Localisation :</u> Bief 335 / PK 111.840</p>																																					



<b>N°: H-4</b>	<b>Modernisation barrage du Foulon</b>	<b>Fiche : C/H.3</b>										
<p><u>Description :</u></p> <p>Modernisation et automatisation du barrage.</p>												
<p><u>Modélisation :</u></p> <p>Les pertes de charge liées au barrage sont recalculées sur la base de la synthèse de l'impact de la modernisation.</p> <p>Élément DHP : VFOULON, nouvelle loi de perte de charge :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>débit (m<sup>3</sup>/s)</th> <th>perte de charge (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.000</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>10.000</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>50.000</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>250.000</td> <td>0.12</td> </tr> </tbody> </table>			débit (m <sup>3</sup> /s)	perte de charge (m)	0.000	0.00	10.000	0.01	50.000	0.02	250.000	0.12
débit (m <sup>3</sup> /s)	perte de charge (m)											
0.000	0.00											
10.000	0.01											
50.000	0.02											
250.000	0.12											
<p><u>Localisation :</u> Bief 314 / PK 46.100</p>												

<b>N°: H-5</b>	<b>Digue quartier Crétois</b>	<b>Fiche : E/H.2b</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Rehaussement des berges de l'Huisne au niveau du quartier Crétois au Mans, entre le pont Jean-Jaurès et le pont ferroviaire de Tours pour protéger ce quartier contre les crues inférieures ou égales à celle de 1995.</p>		
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Huisne</p> <p>Application d'une cote de murette en rive droite à la cote 46.35mNGF.</p> <p>Éléments PT1D : profils en travers de rivière, nouv_H10 et CUM_13 sur la branche 345.</p>		
		<p>Le diagramme illustre un profil en travers de rivière. À gauche, le lit mineur est représenté par une section en V. À droite, le lit majeur RD (Rive Droite) est représenté par une surface plus large et plus basse. Une murette est construite sur la rive droite, entre le lit mineur et le lit majeur. Des lignes horizontales indiquent les hauteurs relatives de ces éléments.</p>
<p><u>Localisation :</u> Bief 345 / PK 110.240 → 111.030</p>		

<b>N°: H-6</b>	<b>Levées transversales de l'Huisne</b>	<b>Fiche : D/H.1</b>
----------------	-----------------------------------------	----------------------

Description :

Implantation de 25 levées transversales dans le lit majeur de l'Huisne

Modélisation : Modèle Huisne

La perte de charge générée par chaque levée sur les différents bras est calculée sur la base de la synthèse de l'étude : « *Ralentissement dynamique des crues par création de levées transversales dans le lit majeur de l'Huisne entre Nogent le Rotrou et Montfort le Gesnois* », BRLI, 2001.

Chaque levée peut traverser plusieurs biefs parallèles, on calcule alors une perte de charge sur chaque bief et les éléments sont identifiés par la lettre G pour gauche ou D pour droite (ces pertes de charge sont supposées être linéaires avec le débit) :

N° Levée	Elément	Perte de charge (m)	Débit (m³/s)		N° Levée	Elément	Perte de charge (m)	Débit (m³/s)
1	levee-L1bisg	1.55	98		14	levee-L14d	0.43	83
1	levee-L1bism	1.55	96		14	levee-L14g	0.43	95
1	levee-L1c	1.55	87		15	levee-L15d	0.98	60
1	levee-L1d	1.55	16		15	levee-L15g	0.98	115
1	levee-L1g	1.55	98		16	levee-L16d	0.35	25
2	levee-L2c	0.69	97		16	levee-L16g	0.35	146
2	levee-L2d	0.69	6		17	levee-L17d	0.42	9
2	levee-L2g	0.69	96		17	levee-L17g	0.42	159
3	levee-L3d	0.68	56		18	levee-L18c	1	100
3	levee-L3g	0.68	142		18	levee-L18d	1	21
4	levee-L4d	0.35	50		18	levee-L18g	1	43
4	levee-L4g	0.35	146		19	levee-L19d	0.59	125
5	levee-L5d	0.63	36		19	levee-L19g	0.59	36
5	levee-L5g	0.63	159		20	levee-L20d	0.61	12
6	levee-L6d	0.15	18		20	levee-L20g	0.61	146
6	levee-L6g	0.15	176		21	levee-L21d	0.57	5
7	levee-L7d	0.49	138		21	levee-L21g	0.57	150
7	levee-L7g	0.49	54		22	levee-L22d	0.49	102
9	levee-L9d	0.6	146		22	levee-L22g	0.49	49
9	levee-L9g	0.6	45		23	levee-L23d	0.59	110
10	levee-L10d	1.26	184		23	levee-L23g	0.59	37
10	levee-L10g	1.26	7		24	levee-L24d	0.46	132
11	levee-L11d	1.11	100		24	levee-L24g	0.46	12
11	levee-L11g	1.11	89		25	levee-L25d	0.32	133
12	levee-L12d	0.69	78		25	levee-L25g	0.32	7
12	levee-L12g	0.69	107		26	levee-L26	0.66	137
13	levee-L13d	0.5	64					
13	levee-L13g	0.5	118					



Localisation : PK 20.350 → 69.790

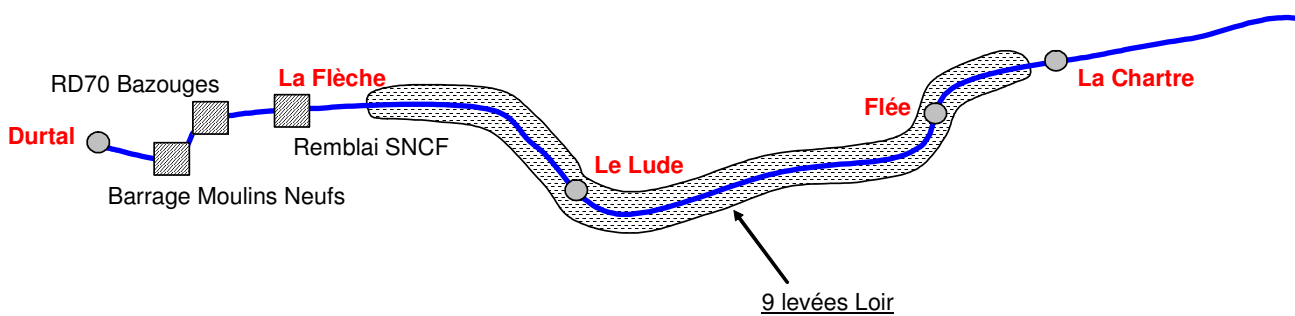
### 3.4 BASSIN VERSANT DU LOIR

La figure suivante permet de localiser schématiquement les différents aménagements testés. Ils sont situés sur le bassin aval du Loir (en aval de La Chartre-sur-le-Loir).

#### Loir : Localisation des projets

##### Légende:

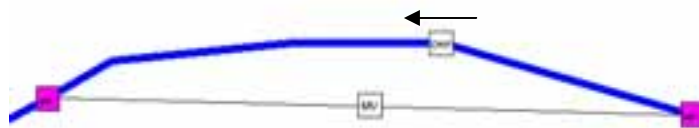
-  Ouvrage modélisé pour les scénarios 1 et 2
-  Ouvrage modélisé pour le scénario 2



Les fiches suivantes détaillent la modélisation choisie pour chaque aménagement.

<b>N°: L-1</b>	<b>Tranchée dans le remblai SNCF de la Flèche</b>	<b>Fiche : E/L.2</b>										
<p><u>Description :</u></p> <p>Réalisation d'un ouvrage de décharge par création d'une tranchée dans le remblai de l'ancienne ligne SNCF à La Flèche.</p>												
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Loir</p> <p>Avec la décharge les pertes de charge de l'ouvrage principal sont diminuées. On recalcule une loi de perte de charge sur la base de la synthèse de l'étude d'impact. Le gain est estimé à 21%.</p> <p>Élément DHP : perte de charge, PROrembSNCF, nouvelle loi :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>débit (m<sup>3</sup>/s)</th> <th>perte de charge (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.000</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>50.000</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>270.000</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>700.000</td> <td>0.12</td> </tr> </tbody> </table>			débit (m <sup>3</sup> /s)	perte de charge (m)	0.000	0.00	50.000	0.04	270.000	0.08	700.000	0.12
débit (m <sup>3</sup> /s)	perte de charge (m)											
0.000	0.00											
50.000	0.04											
270.000	0.08											
700.000	0.12											
<p><u>Localisation :</u> Bief 103 / PK 226.644</p>												

<b>N°: L-2</b>	<b>Décharge sous RD70 à Bazouges</b>	<b>Fiche : E/L.3a</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Mise en place d'un ouvrage de décharge sous la RD70 à Bazouges pour augmenter la capacité hydraulique de l'ouvrage.</p>		
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Loir</p> <p>Modélisation d'un ouvrage en parallèle de l'élément modélisant le pont.</p> <p>Élément MV : PRO_VRD70, modélisation de la section d'ouverture de la décharge, cote radier = 24.55mNGF, L = 127.30m, H = 0.55m.</p> <p>Élément DHP : pont existant.</p>		
<p><u>Localisation :</u> Bief 107 / PK 236.520</p>		



<b>N°: L-3</b>	<b><i>Effacement barrage du Moulin Neuf à Bazouges</i></b>	<b>Fiche : E/L.3b</b>
<p><u>Description :</u></p> <p>Suppression du seuil du barrage de Moulin Neuf.</p>		
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Loir</p> <p>Suppression de l'élément DE correspondant au seuil : PROMOULINSNEUFS.</p>		
<p><u>Localisation :</u> Bief 107 / PK 239.288</p>		

<b>N°: L-4</b>	<b><i>Levées transversales du Loir</i></b>	<b>Fiche : D/L.1</b>	
<p><u>Description :</u></p> <p>Mise en place de 9 levées transversales dans le lit majeur du Loir pour optimiser la zone d'expansion des crues.</p>			
<p><u>Modélisation :</u> Modèle Loir</p> <p>La perte de charge générée par chaque levée est calculée sur la base de la synthèse de l'étude : « <i>Ralentissement dynamique des crues par création de levées transversales dans le lit majeur du Loir entre Ruillé et La Flèche</i> », BCEOM, 2004.</p> <p>Chaque levée peut traverser plusieurs biefs parallèles, on calcule alors une perte de charge sur chaque bief et les éléments sont identifiés par la lettre G pour gauche ou D pour droite :</p>			
<i>N° Levée</i>	<i>Elément</i>	<i>Perte de charge (m)</i>	<i>Débit (m<sup>3</sup>/s)</i>
16	PROL16	1.11	555
20	PROL20	0.49	555
21	PROL21d	0.7	11
21	PROL21g	0.7	544
23	PROL23	0.13	555
24	PROL24	0.55	555
3	PROL3	0.86	496
4	PROL4d	0.75	103
4	PROL4g	0.75	408
7	PROL7	0.33	526
10	A23_PROL10	0.78	540
<p><u>Localisation :</u> PK 156.360 → 217.460</p>			

## 4 CRUES MODELISEES

10 crues ont été simulées pour les deux premiers scénarios et 5 pour les 3 scénarios suivants.

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

- la crue de janvier 1995 : incontournable car c'est la plus forte crue ayant affecté tout le bassin de la Maine,
- la crue théorique : plus importante 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.

## 5 RESULTATS DES SIMULATIONS

### 5.1 TRAITEMENT DES RESULTATS

Les résultats des simulations ont fait l'objet d'un traitement pour caractériser différents indicateurs donnés dans les annexes 1 à 4. On présente aux chapitres 6 et 7 l'étude d'impact des aménagements du bassin de la Maine sur la base de ces indicateurs.

- Annexe 1 : 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.
- Annexe 2 : 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.
- Annexe 3 : 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.
- Annexe 4 : profils en long des impacts des scénarios :  
Profils en long des impacts en cm de chaque scénario sur le Loir, la Sarthe, l'Huisne et l'Oudon pour les crues de Janvier 1966, Janvier 1995, Décembre 1999, Janvier 2001 et la crue théorique.

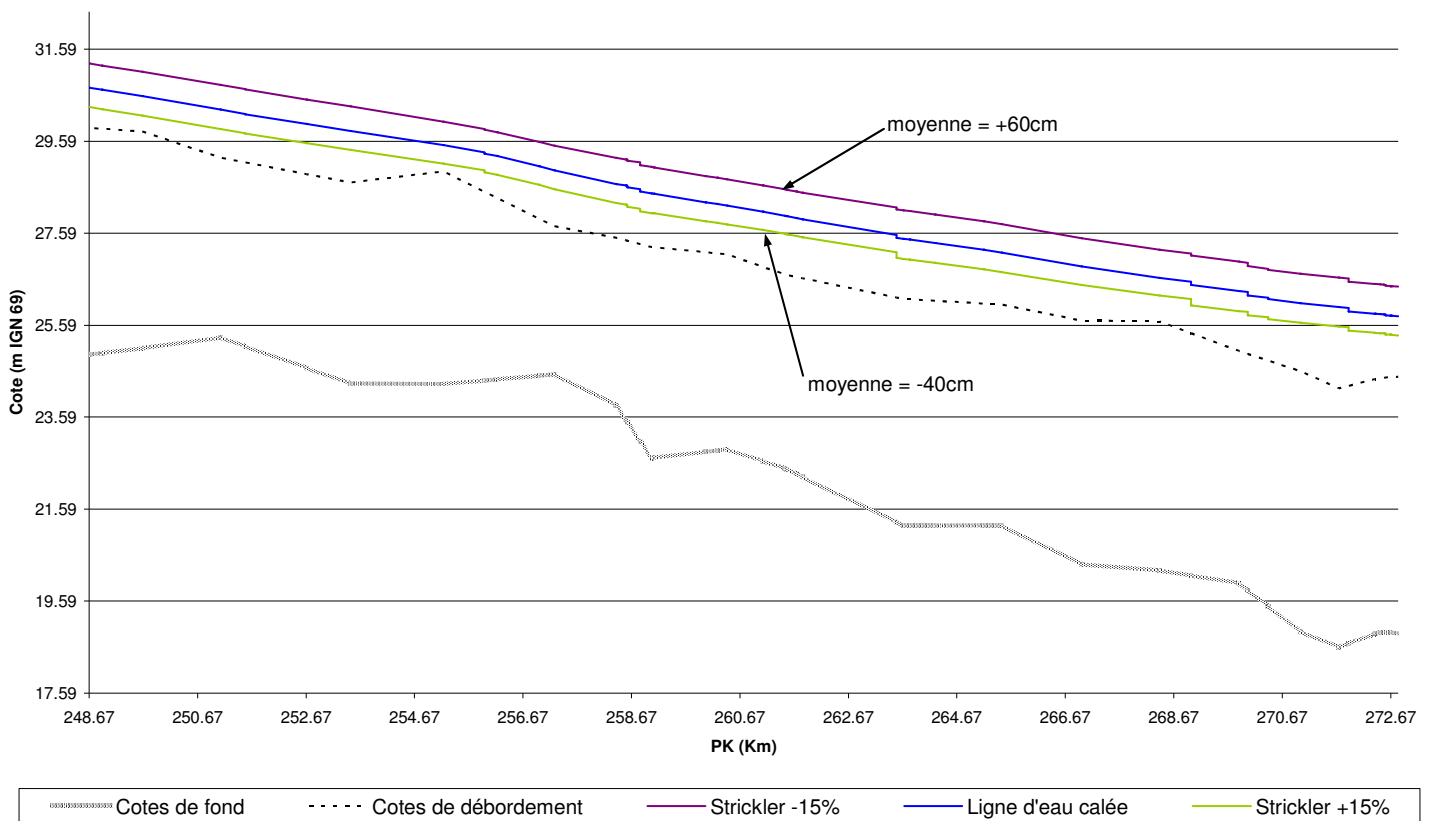
- On fournit également en annexe 5 les modèles ainsi que tous les résultats de simulation à tous les nœuds de calcul dans l'interface d'HYDRARIV. Le mode de consultation des résultats dans l'interface d'HYDRARIV est décrit dans l'annexe 10 du rapport de l'étape 4.

## 5.2 SUR LA PRECISION DES RESULTATS

Les principaux paramètres de calage globaux du modèle sont les coefficients de Strickler (rugosité) du lit mineur et du lit majeur, appelés Km et KM.

La sensibilité de la ligne d'eau à ces deux paramètres est illustrée sur le graphique suivant :

**Bief 243 (Malicorne-Sablé) - Longueur = 25.500km - Débit = 390 m<sup>3</sup>/s**



On trace la ligne d'eau dans le bief 243 pour un débit de 390 m<sup>3</sup>/s (dont 90% dans le lit mineur) avec une condition limite aval fictive (au PK 272.67) imposant la hauteur normale. On fait varier les coefficients Km et KM de -15% puis de +15% par rapport à la valeur calée. On simule ainsi des valeurs de coefficient qui s'étendent sur l'ensemble la fourchette des valeurs habituellement rencontrées.

-15%	Valeurs calées	+15%
KM = 13	KM = 16	KM = 19
Km = 25	Km = 30	Km = 35

Lorsque les coefficients de Strickler sont augmentés, la ligne d'eau baisse et lorsqu'ils sont diminués la ligne d'eau est surélevée.

On constate un écart maximum de 1 m entre la ligne d'eau la plus basse et la plus haute pour une variation des coefficients de Strickler de lit mineur de 10.

Enseignements apportés par ce test :

La sensibilité de la ligne d'eau à ces paramètres de calage du modèle varie en fonction des caractéristiques du bief concerné. Le test présenté ici montre que cette sensibilité peut être forte.

L'évolution au cours des années de l'état des lits mineurs et majeurs, qui sont des milieux vivants, donc non figés, entraîne des variations au cours du temps de ces coefficients de rugosité  $K_m$  et  $K_M$ . Ce qui explique que le calage en cote est meilleur pour certaines crues que pour d'autres.

Les impacts de quelques centimètres sur la ligne d'eau, entraînés par des aménagements visant à réduire les risques d'inondation, sont à considérer en regard des variations de la ligne d'eau entraînées par les évolutions au cours du temps des coefficients de rugosité, liées en particulier aux évolutions de la végétation, variations qui peuvent aussi être de quelques centimètres.

## 6 ANALYSE DES SCENARIOS 1 ET 2

### 6.1 BASSIN VERSANT DE L'LOUDON

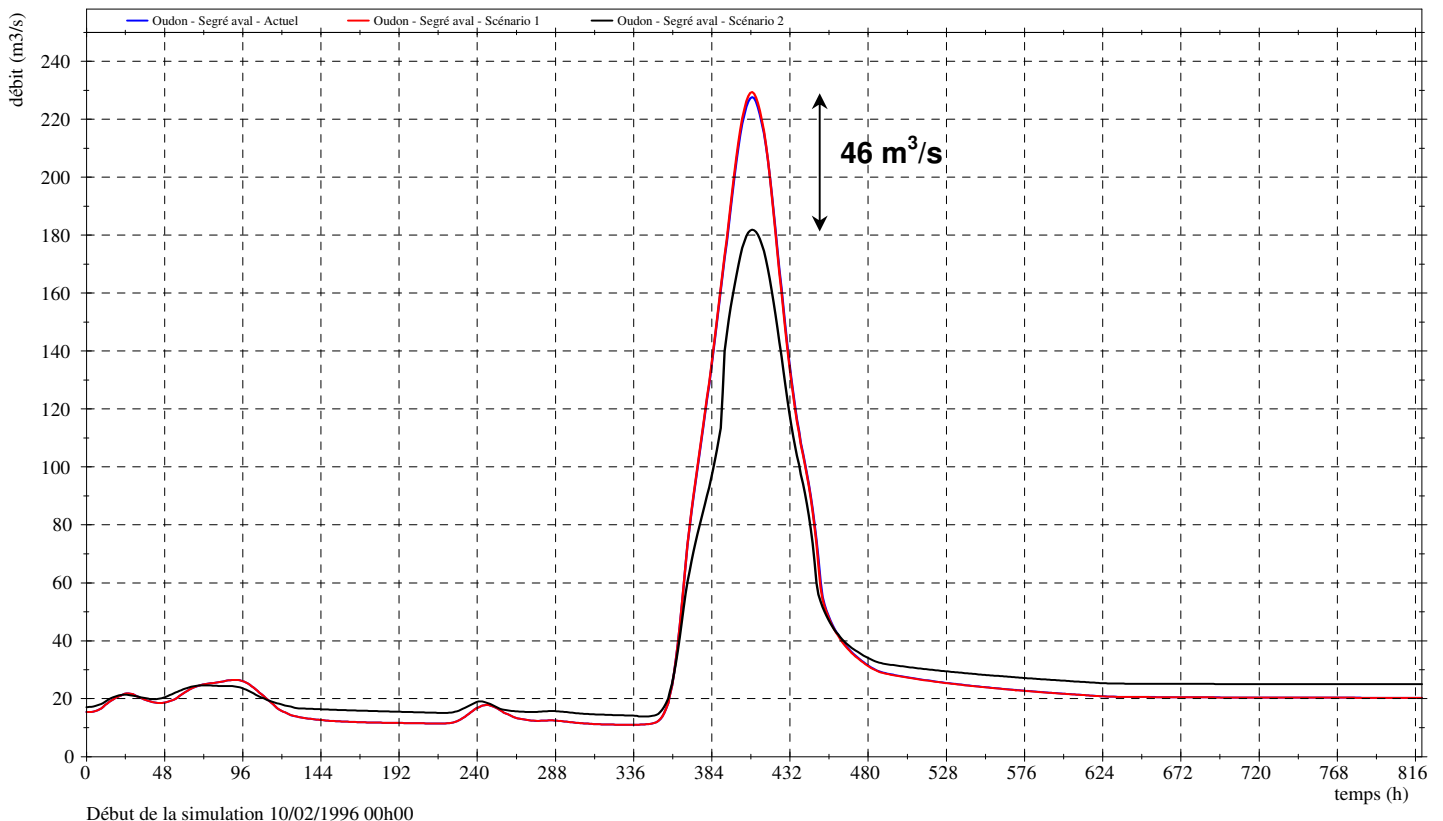
Les 3 figures suivantes présentent les hydrogrammes au niveau de Segré et les profils en long de la ligne d'eau pour les scénarios 1 et 2 pour la crue de février 1996. Sur les profils en long, une autre courbe est tracée représentant en cm l'impact des aménagements entre la situation actuelle et les scénarios d'aménagement (l'axe des ordonnées étant situé à droite du graphe).

Les hydrogrammes présentés sont calculés en aval de la confluence avec la Verzée et en aval du vieux pont de Segré pour la crue de février 1996, l'hydrogramme scénario 2 prend donc en compte tous les aménagements testés sur le bassin de l'Oudon.

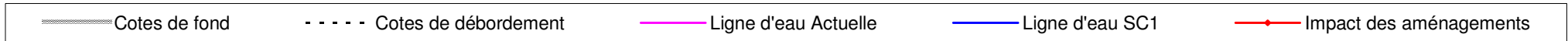
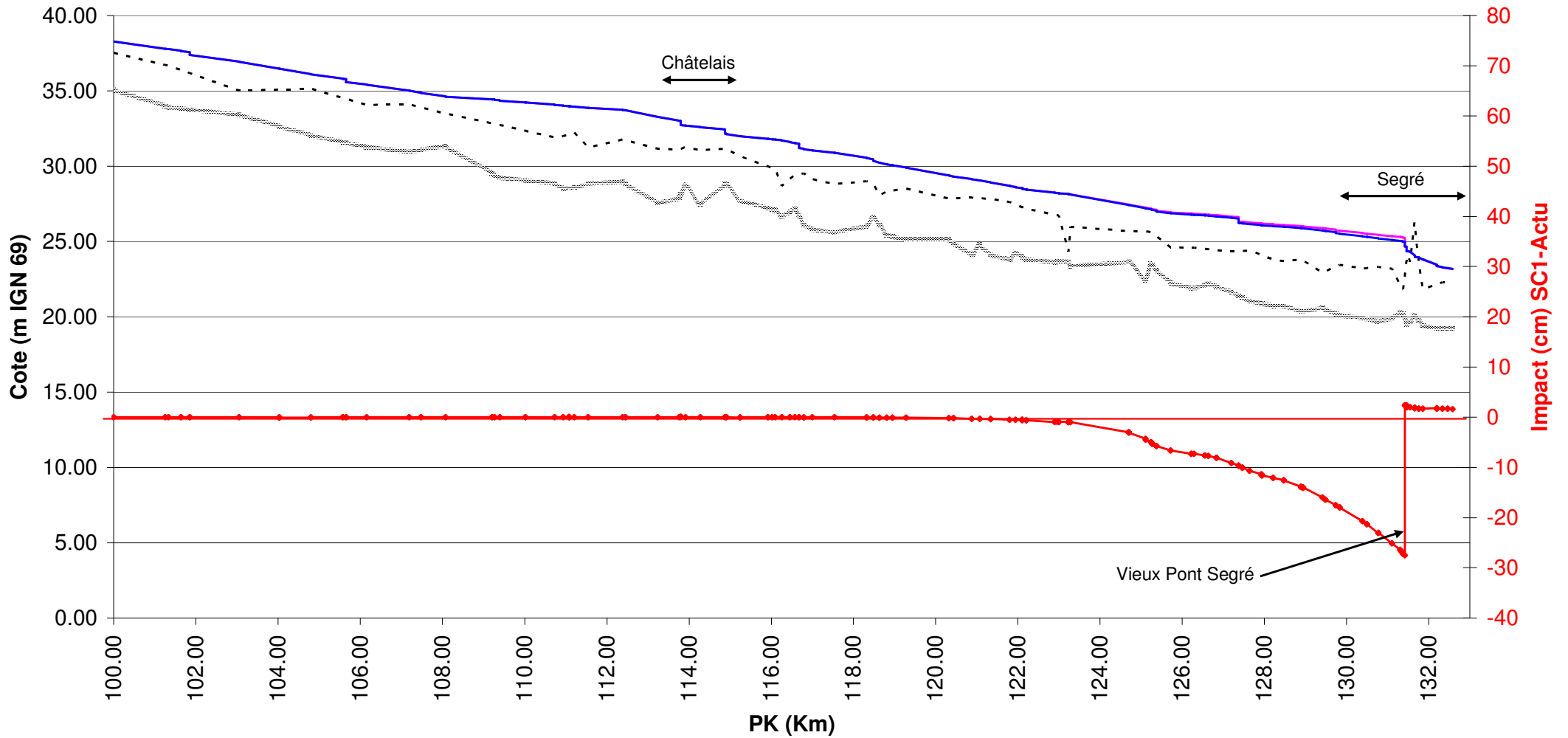
La pointe de crue se produit au même moment en situation actuelle et pour les scénarios 1 et 2 mais elle diminue de  $228 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $182 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le scénario 2. Le gain en débit de pointe est donc de 20 %. Pour les débits inférieurs à  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , les scénarios 1 et 2 augmentent le débit par rapport à la situation actuelle, ce qui permet, après la pointe de crue, de restituer une partie du volume de crue.

Les profils en long sur l'Oudon mettent en évidence une baisse générale de la ligne d'eau de 20 à 30 cm en amont de Segré. L'élargissement au niveau du vieux pont de Segré permet un gain maximal supplémentaire de 25 cm en amont immédiat du pont. Le gain en hauteur généré par le pont est visible jusqu'à environ 9 km en amont. L'élargissement du pont cause une surcote en aval de 1 à 3 cm. Cette surcote est largement compensée par les aménagements de surstockage sur les bassins versants amont.

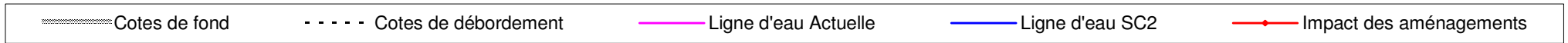
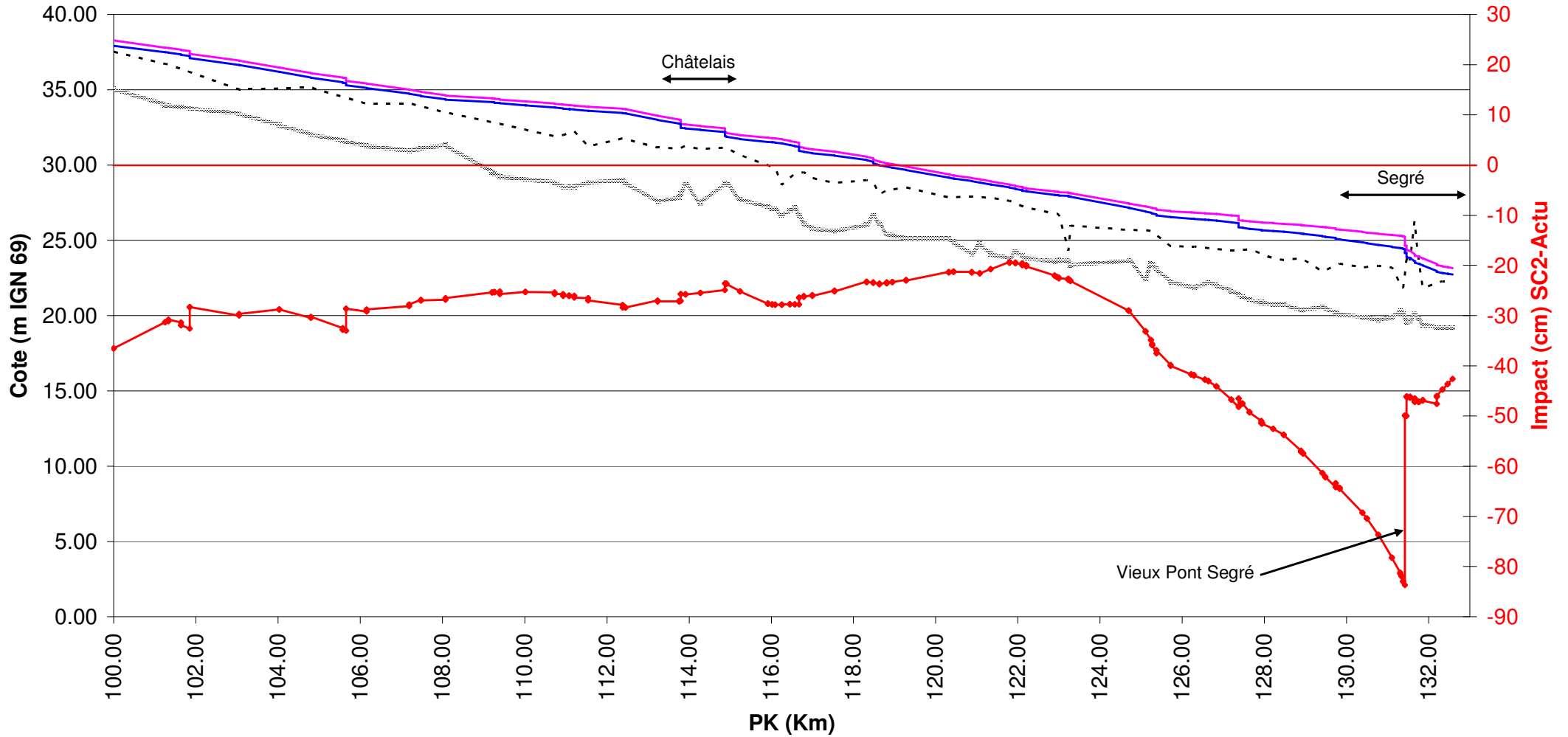
Oudon - Crue de février 1996



## Oudon - Crue de Février 1996 - Profil en long des lignes d'eau Situation Actuelle - Scénario 1



## Oudon - Crue de Février 1996 - Profil en long des lignes d'eau Situation Actuelle - Scénario 2



L'impact de l'ensemble des projets sur l'Oudon pour la crue de février 1996 se résume donc en :

- un gain de 20 % sur le débit de pointe,
- une stabilité temporelle de l'onde de crue,
- un gain sur la ligne d'eau de l'ordre de 20 à 30 cm en amont de Segré,
- un gain maximal de 80 cm en amont du pont de Segré s'amenuisant à 20 cm 9 km en amont,
- un gain de 40 à 50 cm en aval du pont de Segré.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus pour les 10 crues modélisées sur l'Oudon en aval du pont de Segré :

O3-Maingué	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
$Q_{\max}$ actuel ( $m^3/s$ )	111.6	182.5	107.6	148.7	195.8	227.7	194.5	200.3	122.5	327.3
$Q_{\max}$ scénario 1 ( $m^3/s$ )	103.5	124.4	81.6	127.1	187.6	229.4	188.6	189.4	120.9	316.9
$\Delta Q_{\max}$ en %	-7.3	-31.8	-24.2	-14.5	-4.2	0.8	-3.0	-5.4	-1.3	-3.2
$\Delta T_{\max}$ (h)	-0.7	3.0	1.0	1.1	2.1	0.0	0.0	4.3	-1.7	-2.1
$\Delta Z_{\max}$ (cm)	-8.9	-67.4	-31.6	-26.8	-8.6	1.7	-6	-12.4	-1.9	-10.6

O3-Maingué	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
$Q_{\max}$ actuel ( $m^3/s$ )	111.6	182.5	107.6	148.7	195.8	227.7	194.5	200.3	122.5	327.3
$Q_{\max}$ scénario 2 ( $m^3/s$ )	103.5	177.1	81.7	127.2	187.6	181.9	188.6	189.5	121	316.9
$\Delta Q_{\max}$ en %	-7.3	-3.0	-24.1	-14.5	-4.2	-20.1	-3.0	-5.4	-1.2	-3.2
$\Delta T_{\max}$ (h)	0	-1	2	1.1	2.1	0	0.04	4.3	-1.7	-2.1
$\Delta Z_{\max}$ (cm)	-8.8	-6	-31.5	-26.7	-8.6	-46.9	-6	-12.4	-1.8	-10.6

Globalement, la diminution du débit de pointe est d'autant plus importante que la ligne d'eau est abaissée. Les gains obtenus sur la ligne d'eau diffèrent beaucoup d'une crue à l'autre. Ils sont maximaux pour la crue de février 1996, crue pour laquelle les aménagements ont été calculés.

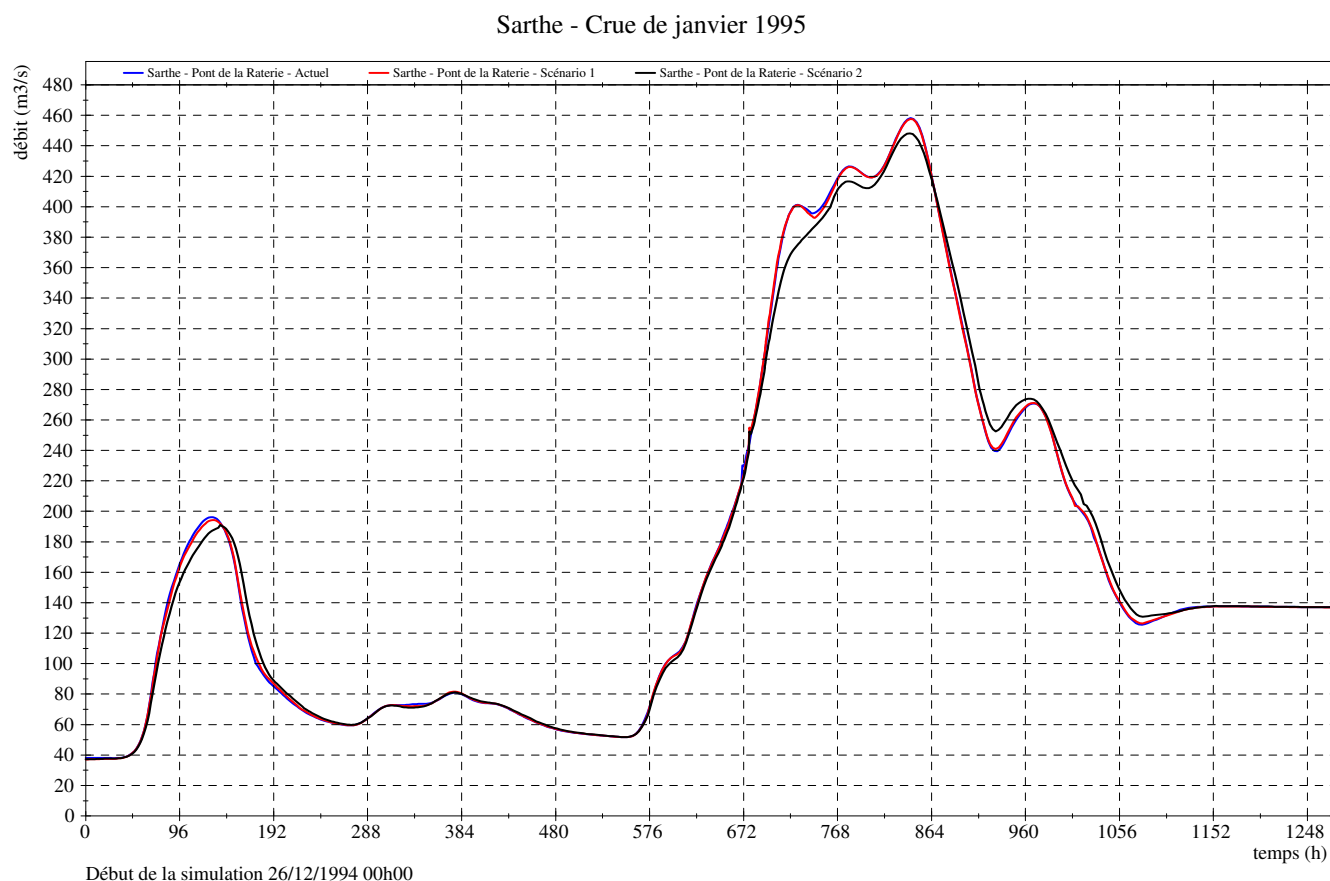
Le décalage temporel sur le débit de pointe entre le scénario 2 et l'état initial est faible pour les 10 crues modélisées variant entre -2.1 h et + 4.3 h.

Un tel décalage ne devrait pas avoir d'incidence sur les crues au niveau des BVA.

## 6.2 BASSINS VERSANTS DE LA SARTHE ET DE L'HUISNE

### 6.2.1 Impacts en cote et en débit

La figure suivante présente les 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.



Le scénario 1 qui ne prend en compte que des aménagements locaux, ne modifie pas beaucoup l'hydrogramme de la crue de janvier 1995. Le scénario 2 qui est constitué du scénario 1 auquel s'ajoutent l'ouvrage du Gué Ory et les levées sur l'Huisne montre une déformation un peu plus importante de l'hydrogramme avec une baisse du débit de pointe pour le plus fort de la crue. La dernière pointe après la crue est alors augmentée légèrement, ce qui correspond à une restitution du débit après la crue.

Les tableaux suivants synthétisent les résultats obtenus pour les 10 crues modélisées sur la Sarthe en amont à Fresnay (1<sup>er</sup> tableau) et à St Pavace (Moulin aux Moines) (2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> tableaux) :

Fresnay	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	110.6	157.9	64.9	141.0	168.1	143.6	144.0	142.7	121.0	232.1
Q <sub>max</sub> scénario2 (m <sup>3</sup> /s)	104.7	148.3	63.0	107.0	155.4	134.7	140.2	135.2	114.1	228.3
ΔQ <sub>max</sub> en %	-5.4	-6.1	-3.0	-24.1	-7.5	-6.2	-2.7	-5.3	-5.7	-1.6
ΔT <sub>max</sub> (h)	5.6	5.0	0.4	17.9	9.7	1.7	-2.4	2.3	3.4	1.6
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-12	-15.5	-1.6	-12.3	-25.7	-16.1	-7.3	-15.5	-5.2	-6.2

St Pavace	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	192.5	251.3	110.3	174.2	239.5	168.7	227.9	217.9	168.7	376.7
Q <sub>max</sub> scénario1 (m <sup>3</sup> /s)	193.4	251.3	110.3	174.2	239.4	167.4	226.8	217.5	168.5	378.0
ΔQ <sub>max</sub> en %	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.7	-0.5	-0.2	-0.1	0.3
ΔT <sub>max</sub> (h)	0.7	0.1	-0.9	0.0	-0.5	2.0	-1.2	-1.1	1.3	1.0
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	1.3	1	0	0.6	1.3	-0.2	0.8	1.6	2.4	-0.9

St Pavace	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	192.5	251.3	110.3	174.2	239.5	168.7	227.9	217.9	168.7	376.7
Q <sub>max</sub> scénario2 (m <sup>3</sup> /s)	187.7	241.3	108.4	164.6	234.3	161.3	222.4	210.2	163.5	374.9
ΔQ <sub>max</sub> en %	-2.5	-4.0	-1.7	-5.5	-2.2	-4.4	-2.4	-3.6	-3.1	-0.5
ΔT <sub>max</sub> (h)	-1.5	0.6	0.4	8.8	-0.7	0.7	-2.8	-1.5	3.5	1.2
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-5.3	-9.3	-2	-13	-3.6	-9.1	-3.3	-7.5	-2.5	-4.1

Au niveau du Fresnay, l'aménagement testé correspond au Gué Ory. On s'aperçoit que les gains en cotes (baisse de la ligne d'eau) varient de 2 à 26 cm selon les crues.

Le débit de pointe est diminué entre 2 et 25 %. Le décalage temporel de la pointe de crue est faible variant entre -2 h et +18 h.

Un peu plus en aval au droit de St-Pavace (PK 190.345), le scénario 1 permet de tester l'impact de l'entretien de Vivoin (fiche S6, PK 153.510). Il s'agit d'un aménagement local dont l'impact, 37 km plus en aval, est très faible. La surélévation de la ligne d'eau atteint 2.4 cm dans le pire des cas. Quant au débit, il ne varie pratiquement pas.

Le scénario 2 au niveau de St-Pavace permet de tester l'impact cumulé du curage Digne et du Gué Ory. En terme de cote d'eau, la diminution varie de 2 à 13 cm selon les crues. La diminution du débit de pointe varie entre 0.5 et 5.5 %, ce qui est faible mais St-Pavace est situé déjà très loin du Gué Ory, l'efficacité de ce dernier s'amenuisant de plus en plus en allant vers l'aval.

Les tableaux suivants synthétisent les résultats obtenus pour les 10 crues modélisées sur la Sarthe en aval du pont de la Raterie (PK 200.873), ce point est donc situé en aval de la confluence avec l'Huisne :

S7-Raterie	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	367.3	443.6	214.6	296.6	458.1	275.1	418.3	381.8	325.2	545.2
Q <sub>max</sub> scénario1 (m <sup>3</sup> /s)	371.3	444.4	210.5	294.5	457.6	271.1	411.7	381.3	323.0	546.5
ΔQ <sub>max</sub> en %	1.1	0.2	-1.9	-0.7	-0.1	-1.5	-1.6	-0.1	-0.7	0.2
ΔT <sub>max</sub> (h)	-0.7	-0.5	7.1	0.0	-0.5	3.4	0.2	0.2	1.3	-2.6
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-1.1	-1.7	-14.4	-8.8	-3.1	1.6	-6.6	-3.6	-2.1	-4.7

S7-Raterie	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	367.3	443.6	214.6	296.6	458.1	275.1	418.3	381.8	325.2	545.2
Q <sub>max</sub> scénario2 (m <sup>3</sup> /s)	354.7	425.3	203.3	282.7	448.2	262.4	399.1	362.5	306.8	546.2
ΔQ <sub>max</sub> en %	-3.4	-4.1	-5.3	-4.7	-2.2	-4.6	-4.6	-5.1	-5.7	0.2
ΔT <sub>max</sub> (h)	0.4	-1.9	9.8	7.5	-0.7	2.7	-2.1	-1.8	5.9	0.4
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-13.2	-14.6	-22.1	-15.5	-8.5	-19.3	-14.8	-17	-12.6	-9.3

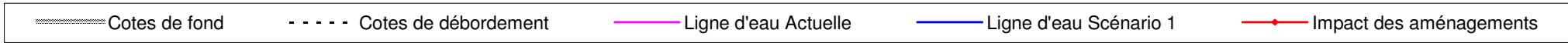
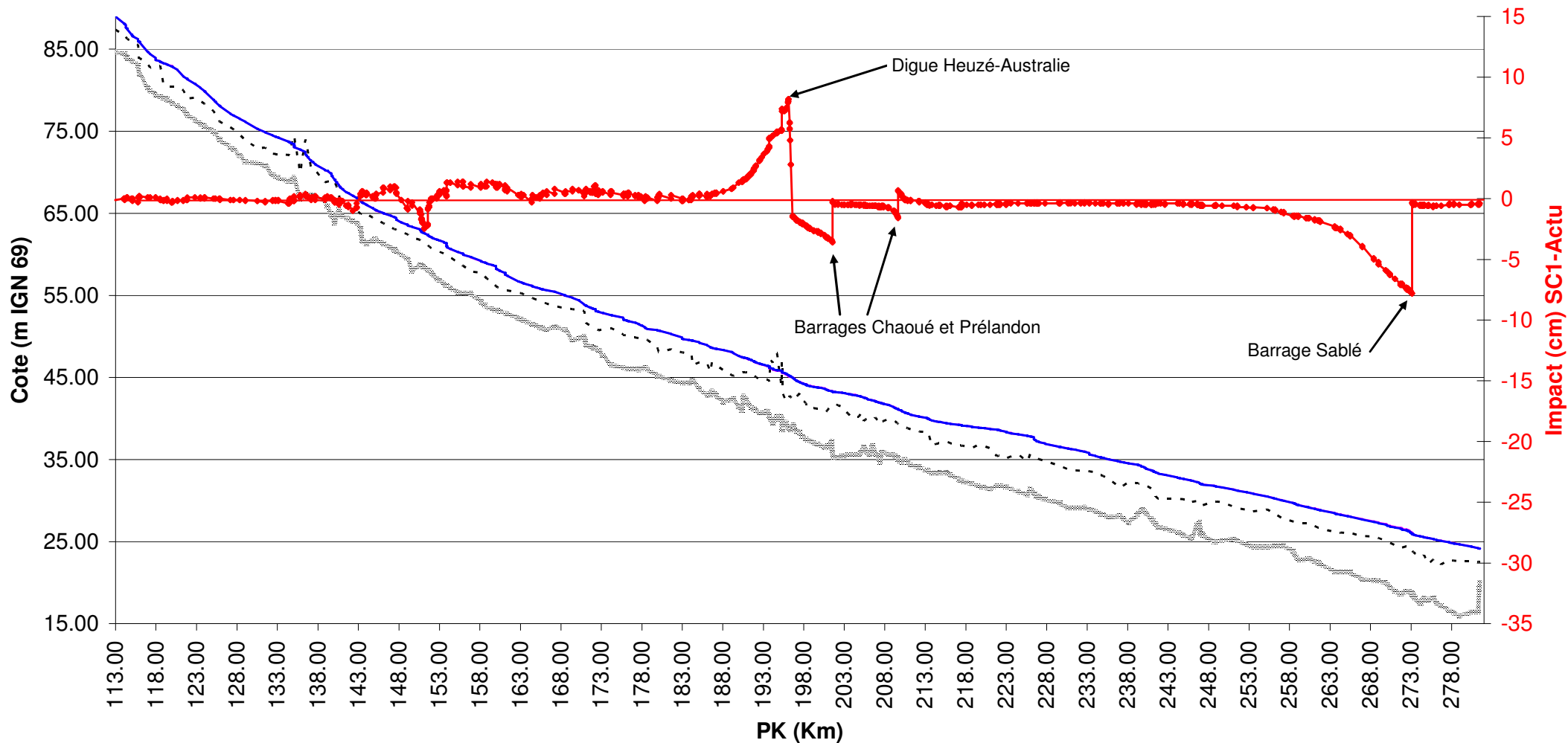
Le scénario 1 ne teste que les aménagements locaux, le point de calcul S7-Raterie se trouve dans la zone d'influence du barrage de Chaoué. L'amélioration de ce barrage apporte un gain sur la ligne d'eau au niveau de ce point S7 pouvant atteindre 14,4 cm.

Le scénario 2 qui teste tous les aménagements montre l'impact du Gué Ory en comparaison avec le scénario 1. Au point S7-Raterie, l'impact calculé est celui du barrage de Chaoué et de celui du Gué Ory. La diminution de la ligne d'eau à cet endroit varie entre 9 et 22cm.

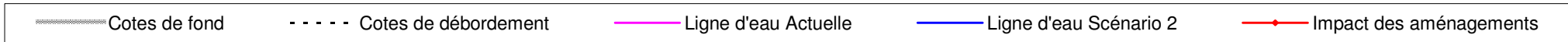
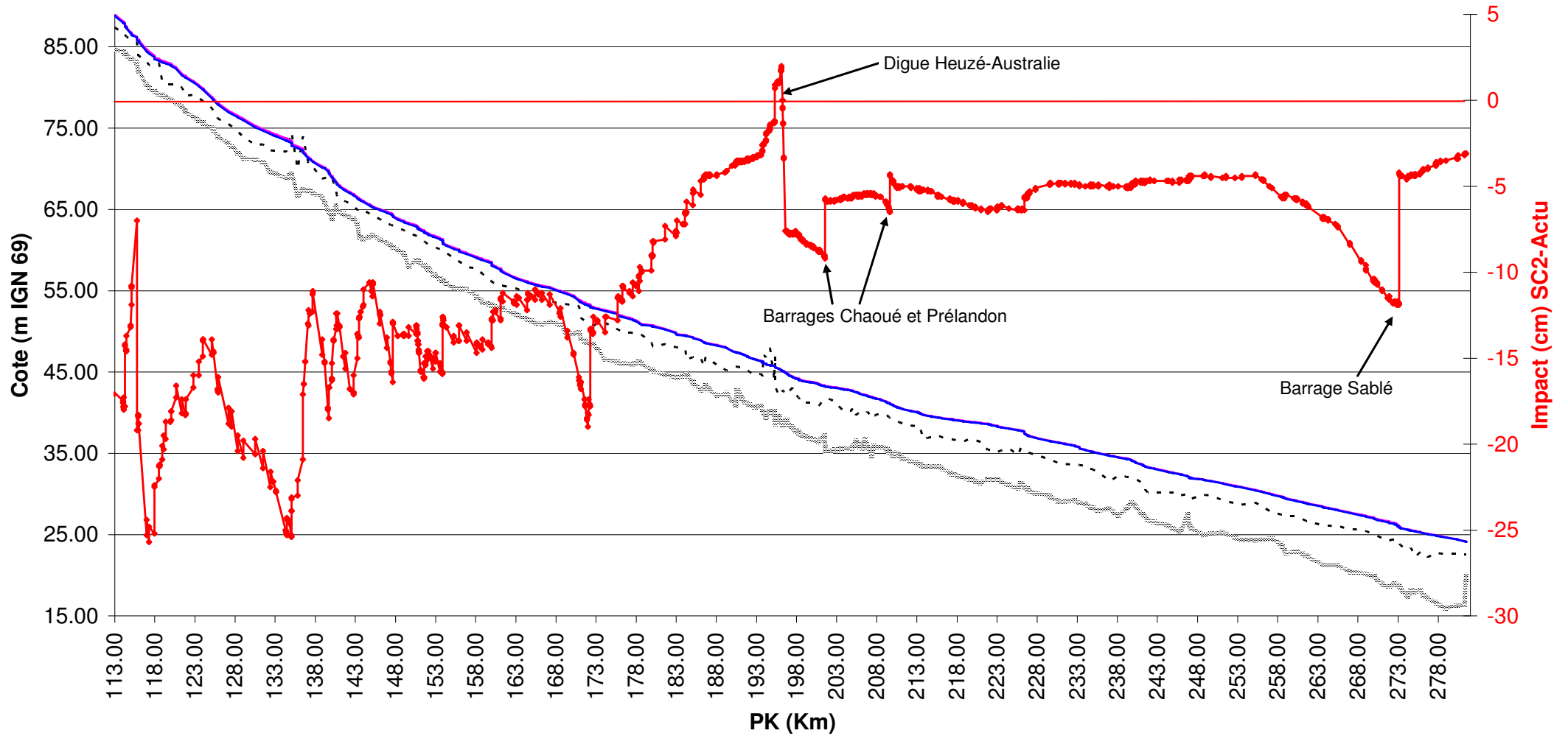
Les figures sur les pages suivantes donnent le profil en long respectivement de la Sarthe et de l'Huisne pour la crue de janvier 1995.

A droite de chaque figure, est indiqué l'impact en centimètres de la ligne d'eau du scénario (1 et 2) par rapport à la ligne d'eau de la situation actuelle (courbe en rouge sur la figure).

## Sarthe - Crue de Janvier 1995 - Profil en long des lignes d'eau Situation Actuelle - Scénario 1



## Sarthe - Crue de Janvier 1995 - Profil en long des lignes d'eau Situation Actuelle - Scénario 2



Le profil en long de la Sarthe pour le scénario 1 (crue de janvier 1995) met en évidence les impacts des aménagements locaux sur la ligne d'eau :

- Aménagements locaux S-3 + S-4 + S-5 (Digue Heuzé-Australie, agrandissement pont Greffier, seuil canal Planches) : augmentation de la ligne d'eau de 8 cm,
- Réaménagement du lit à Vivoin et Montbizot (S-6) : gain de 2 à 3 cm en amont immédiat avec exhaussement d'un centimètre en aval,
- Barrage St Georges (S-7) : pas d'impact, il est dans le remous de l'impact du barrage de Chaoué,
- Barrage Chaoué (S-7) : gain de 3.6 cm,
- Barrage de Spay (S-7) : gain de 1.6 cm,
- Barrage de Sablé (S-2) : gain de 7.8 cm.

Les gains obtenus comparés aux études antérieures apparaissent parfois plus faibles. Plusieurs paramètres peuvent entrer en ligne de compte.

La façon de modéliser dans les études locales, sans doute plus précise, n'est peut-être pas la même que dans la présente étude. Sur le modèle de la Maine, les ouvrages ont été modélisés de manière homogène. La situation actuelle a été calée sur des repères de crue. Les crues modélisées sont des crues historiques, alors que dans les études locales ce sont souvent les débits caractéristiques qui sont testés.

Le profil en long du scénario 2 par rapport à celui du scénario 1 sur la Sarthe met en évidence l'impact important du Gué Ory. Les gains en cote d'eau sont de 20 à 25 cm pour la crue de 1995 en amont, ils s'amenuisent en allant en aval. Au droit du Mans, l'impact est encore de -6cm, il s'annule au niveau de Sablé.

L'espérance de gain apporté par l'aménagement du Gué Ory et le linéaire impacté doivent être évalués en considérant le volume de retenue disponible 6.3 Mm<sup>3</sup> d'une part, et le volume de crue à Beffes d'autre part. Ce volume s'élève à 100 Mm<sup>3</sup> au minimum pour la crue d'avril 1983 (la retenue représente un volume de 6.3 %) et 450 Mm<sup>3</sup> au maximum pour la crue de janvier 1995 (la retenue représente alors un volume de 1.4 %). Il est en moyenne de 150 à 250 Mm<sup>3</sup> pour les autres crues testées.

Ce sujet des différences observées par rapport aux études particulières antérieures de certains ouvrages est observé dans le chapitre 8.

Les tableaux suivants synthétisent les résultats obtenus pour les 10 crues modélisées sur la Sarthe au niveau de Sablé (Hippodrome) :

S8-Sablé	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	424.2	530.9	292.9	395.4	617.1	386.2	532.0	454.8	434.2	766.6
Q <sub>max</sub> scénario1 (m <sup>3</sup> /s)	424.5	533.2	291.8	395.2	622.0	374.7	532.2	456.0	430.0	774.9
ΔQ <sub>max</sub> en %	0.1	0.4	-0.4	0.0	0.8	-3.0	0.0	0.2	-0.9	1.1
ΔT <sub>max</sub> (h)	0.5	0.2	1.1	-1.9	-0.5	-0.9	0.5	-1.2	1.1	1.0
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	0.1	-1.5	0.7	2.7	-0.4	16.6	-1.2	0.1	3.4	-1

S8-Sablé	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	424.2	530.9	292.9	395.4	617.1	386.2	532.0	454.8	434.2	766.6
Q <sub>max</sub> scénario2 (m <sup>3</sup> /s)	418.8	523.2	289.2	389.5	614.8	387.6	522.9	454.8	427.6	760.4
ΔQ <sub>max</sub> en %	-1.3	-1.5	-1.3	-1.5	-0.4	0.4	-1.7	0.0	-1.5	-0.8
ΔT <sub>max</sub> (h)	-1.5	0.1	0.4	-1.0	-0.7	-4.5	-2.0	0.4	1.5	1.8
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-2.6	-0.5	-0.3	-3	-4.9	7.8	-6.1	-0.2	3.4	-8.1

Les tableaux suivants synthétisent les résultats obtenus pour les 10 crues modélisées sur l'Huisne au Mans à Pontlieue :

H5-Pontlieue	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	136.0	131.1	76.1	92.6	158.9	63	134.7	120.7	124.8	197.0
Q <sub>max</sub> scénario1 (m <sup>3</sup> /s)	135.9	129.6	75.4	90.6	158.5	60.4	134.0	119.8	123.3	194.8
ΔQ <sub>max</sub> en %	-0.1	-1.2	-1.0	-2.2	-0.3	-4.1	-0.5	-0.7	-1.2	-1.1
ΔT <sub>max</sub> (h)	0.1	-2.4	-0.9	2.3	-0.5	1.1	-0.9	1.1	2.2	0.8
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	0.5	0.7	-16	-4.1	-0.6	-1.5	-10.3	-2.2	-4.2	-2.7

H5-Pontlieue	J66	O66	A83	J93	J95	F96	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	136.0	131.1	76.1	92.6	158.9	63	134.7	120.7	124.8	197.0
Q <sub>max</sub> scénario2 (m <sup>3</sup> /s)	126.5	120.7	70.9	83.8	155.5	58.5	131.0	108.9	114.9	190.0
ΔQ <sub>max</sub> en %	-7.0	-7.9	-6.8	-9.6	-2.2	-7.1	-2.7	-9.8	-8.0	-3.6
ΔT <sub>max</sub> (h)	7.9	4.7	-3.6	16.4	-3.7	-3.5	3.1	13.4	14.6	1.5
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-19	-15.4	-26.0	-15.1	-6.8	-15.4	-19.6	-21.1	-19.3	-9.5

L'espérance de gain apporté par l'aménagement de Margon et le linéaire impacté doivent être évalués en considérant le volume de retenue disponible 2.5 Mm<sup>3</sup> d'une part, et le volume de crue à Pontlieue d'autre part. Ce volume s'élève à 50 Mm<sup>3</sup> au minimum (crue d'avril 1983), soit 5 % du volume de la crue à Pontlieue et il est en moyenne de 140 à 150 Mm<sup>3</sup> pour les autres crues testées (soit 1 à 1.8 %).

A partir du profil en long sur l'Huisne, l'impact des aménagements du scénario 1 peut être évalué pour la crue de janvier 1995 :

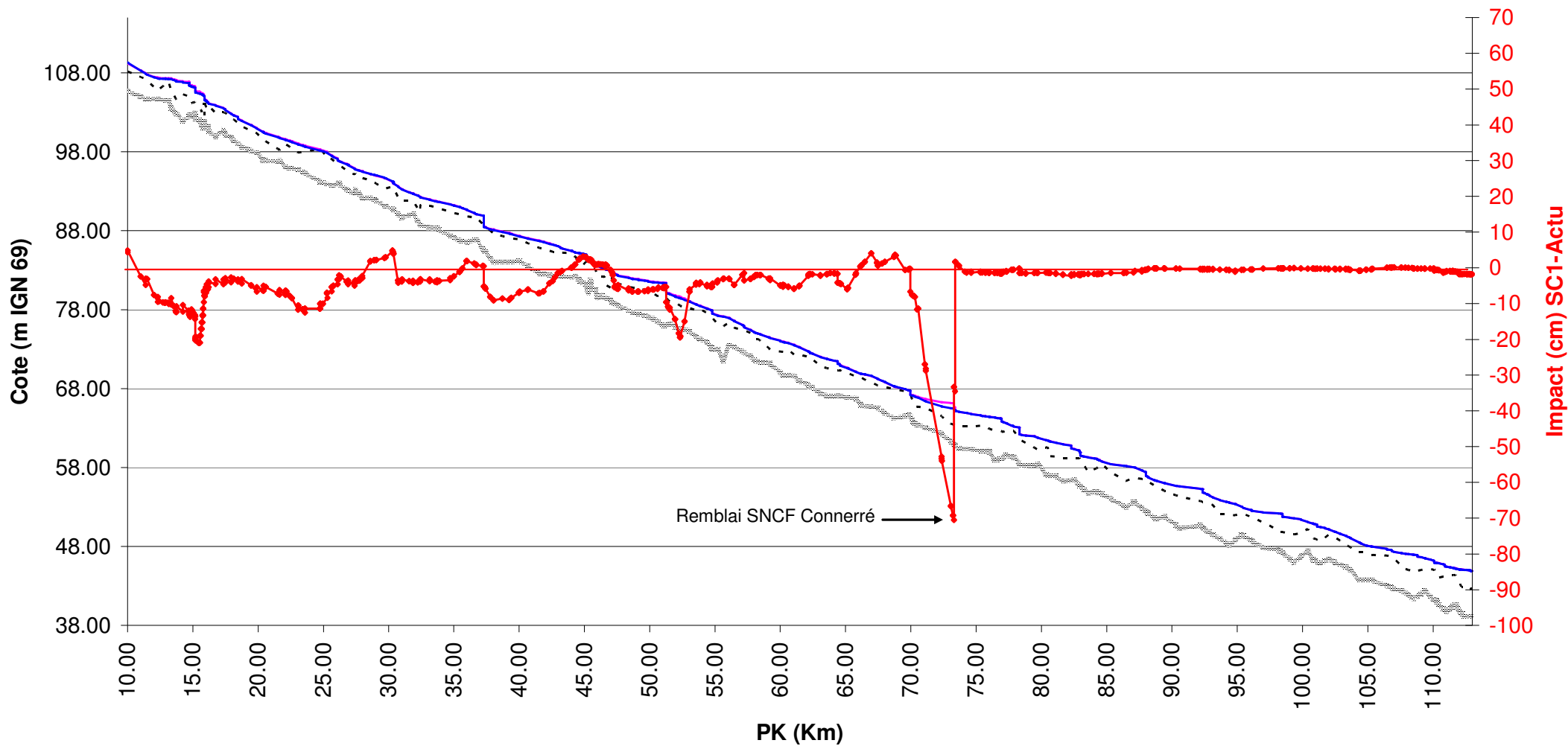
- Barrage de Margon : gain de 10 à 20 cm au niveau de Nogent-le-Rotrou,
- Remblai SNCF Connerré : gain de 70 cm s'annulant environ 200 m en amont.

La modélisation multifilaire employée dans le secteur du barrage du Foulon rend plus délicate l'interprétation des résultats. En effet, le bief 314 où est implanté le barrage du Foulon ne fait pas partie des biefs principaux, il n'est donc pas visible sur le profil en long.

En aval de Connerré, l'impact sur la ligne d'eau est très faible oscillant entre -1.8 cm à +0.2 cm. L'impact de la digue du Quartier Crétois seule est également difficile à quantifier dans la mesure où elle est située près de la confluence Sarthe-Huisne et que plusieurs aménagements sont testés dans le même scénario.

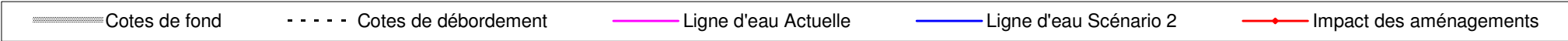
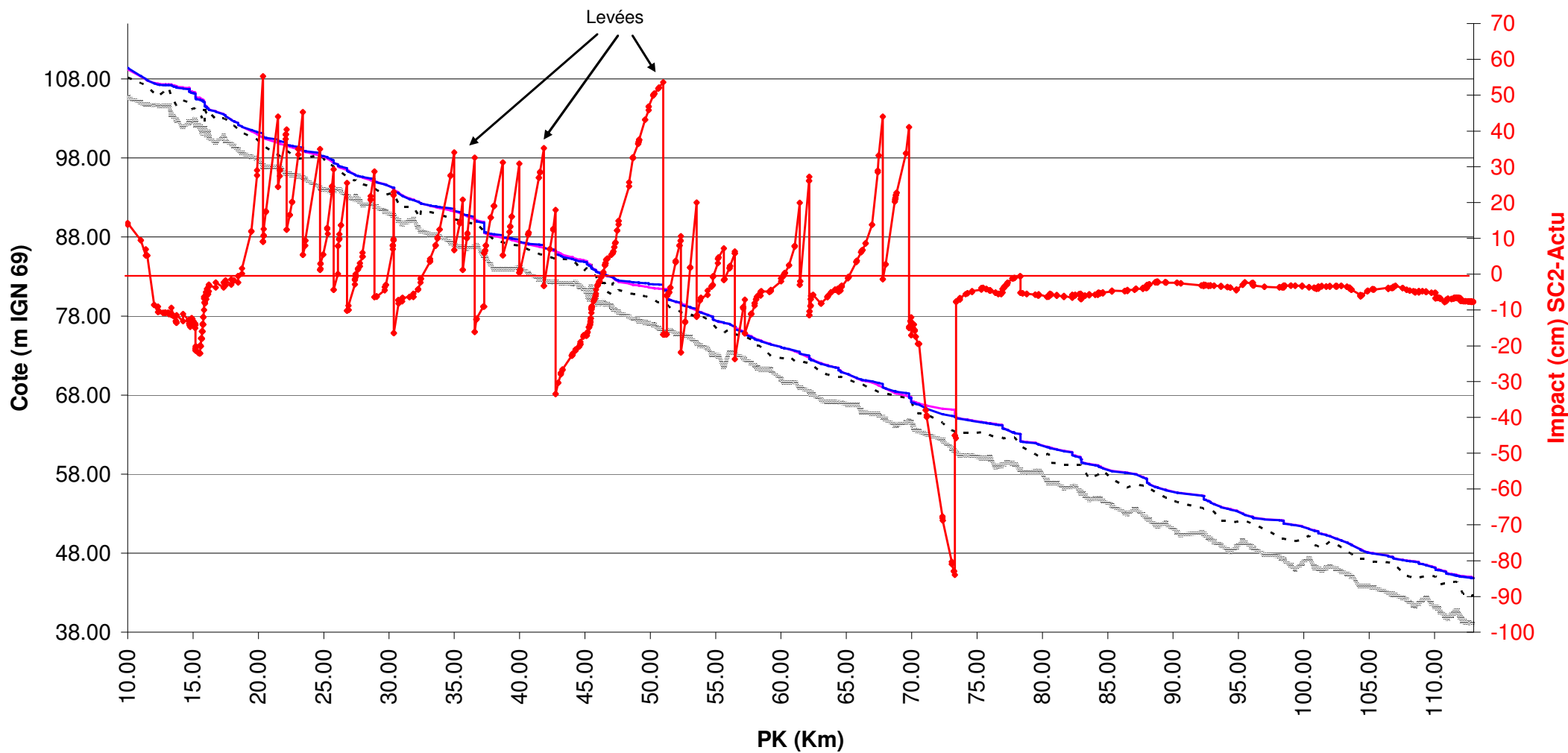
Le profil en long sur l'Huisne pour le scénario 2 pour la crue de janvier 1995 met en évidence l'impact des levées. Localement, ces impacts sont importants. Au niveau du remblai SNCF de Connerré, le gain est de 84 cm, soit 13.5 cm de plus que dans le scénario 1. En aval de Connerré, le gain sur la ligne d'eau varie entre 0 et 8 cm.

## Huisne - Crue de Janvier 1995 - Profil en long des lignes d'eau Situation Actuelle - Scénario 1



Cotes de fond     
  Cotes de débordement     
  Ligne d'eau Actuelle     
  Ligne d'eau Scénario 1     
  Impact des aménagements

## Huisne - Crue de Janvier 1995 - Profil en long des lignes d'eau Situation Actuelle - Scénario 2



## 6.2.2 Impacts sur les durées d'inondation

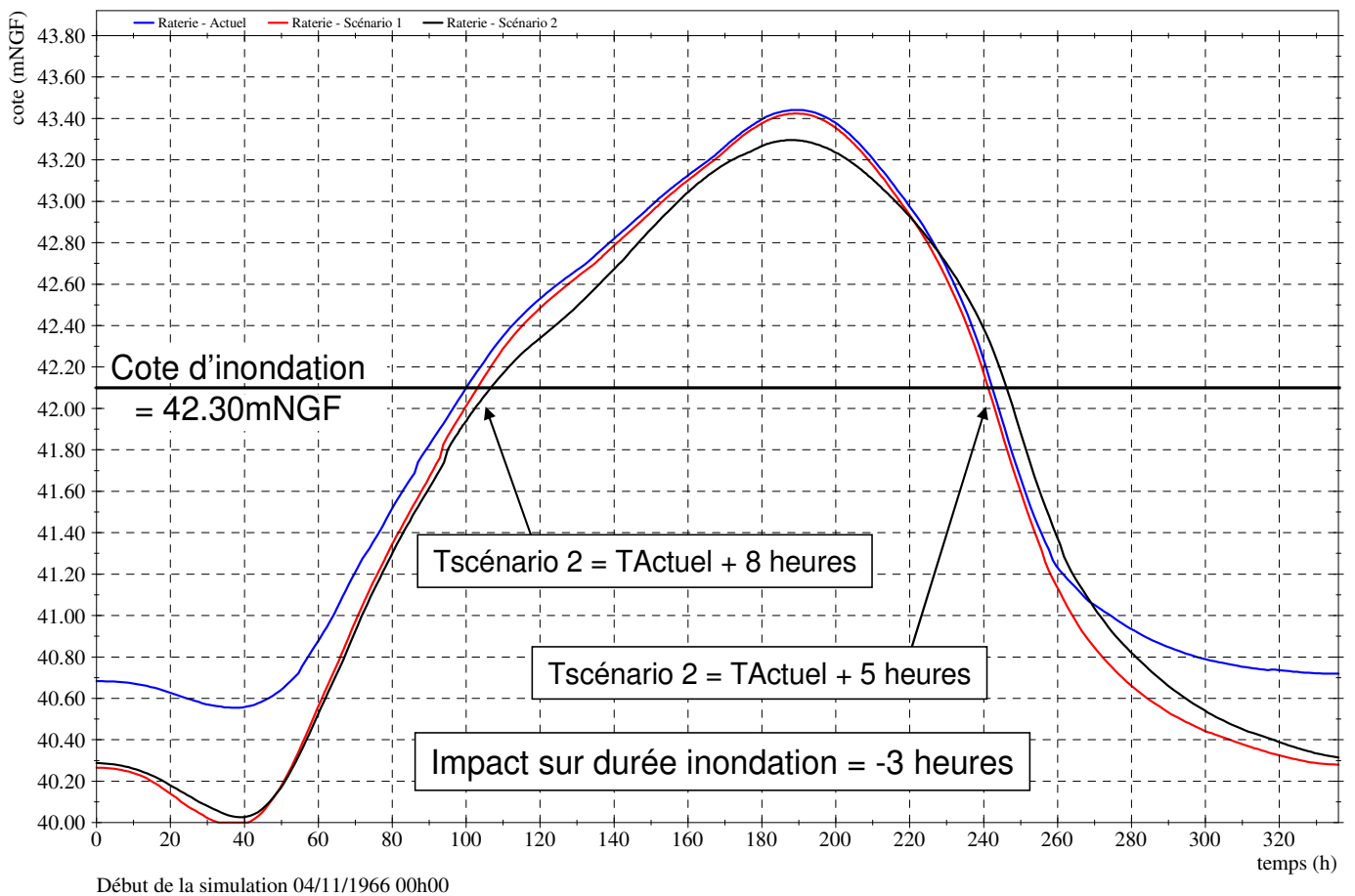
Les graphiques représentant les limnigrammes à Beffes et au Pont de la Raterie pour cinq crues et pour les cinq scénarios sont donnés en annexe 1. Ils permettent de donner une indication sur la modification des durées d'inondation en ces deux points.

On constate que la durée d'inondation (dépassement d'une cote donnée pendant la pointe d'inondation) est faiblement modifiée dans les scénarios 1 et 2.

Parmi l'ensemble des crues testées le retard maximum constaté sur le début de l'inondation est de 10 heures (= 7% de la durée totale). Et lors de la décrue, le décalage maximum constaté est de 12 heures (la décrue est plus lente en situation aménagée).

Exemple : Pont de la Raterie

Crue de Octobre-Novembre 1966

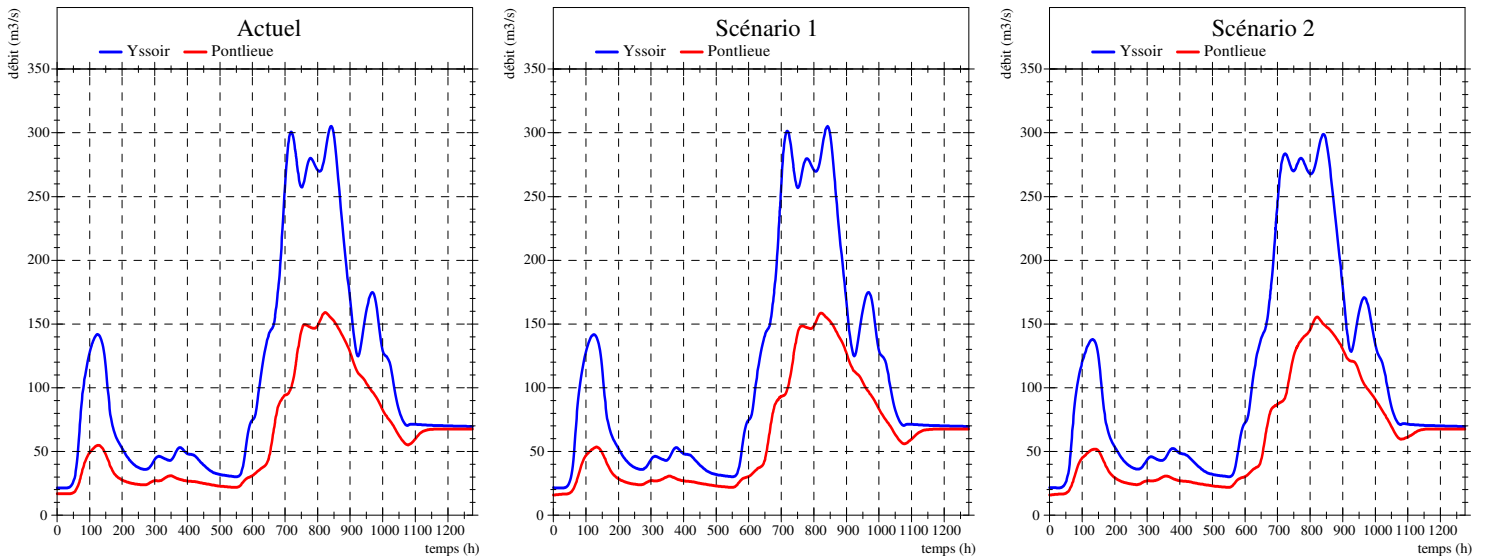


### 6.2.3 Impacts à la confluence Sarthe-Huisne

Les hydrogrammes comparatifs des différents scénarios au pont d'Yssoir sur la Sarthe et à Pontlieue sur l'Huisne permettent de constater la déformation des hydrogrammes en amont de la confluence et d'évaluer l'impact sur la concomitance des crues de la Sarthe aval. Ces hydrogrammes sont représentés en annexe 1.

Exemple :

#### Crue de Janvier 1995 - Confluence Sarthe (Yssoir) - Huisne (Pontlieue)



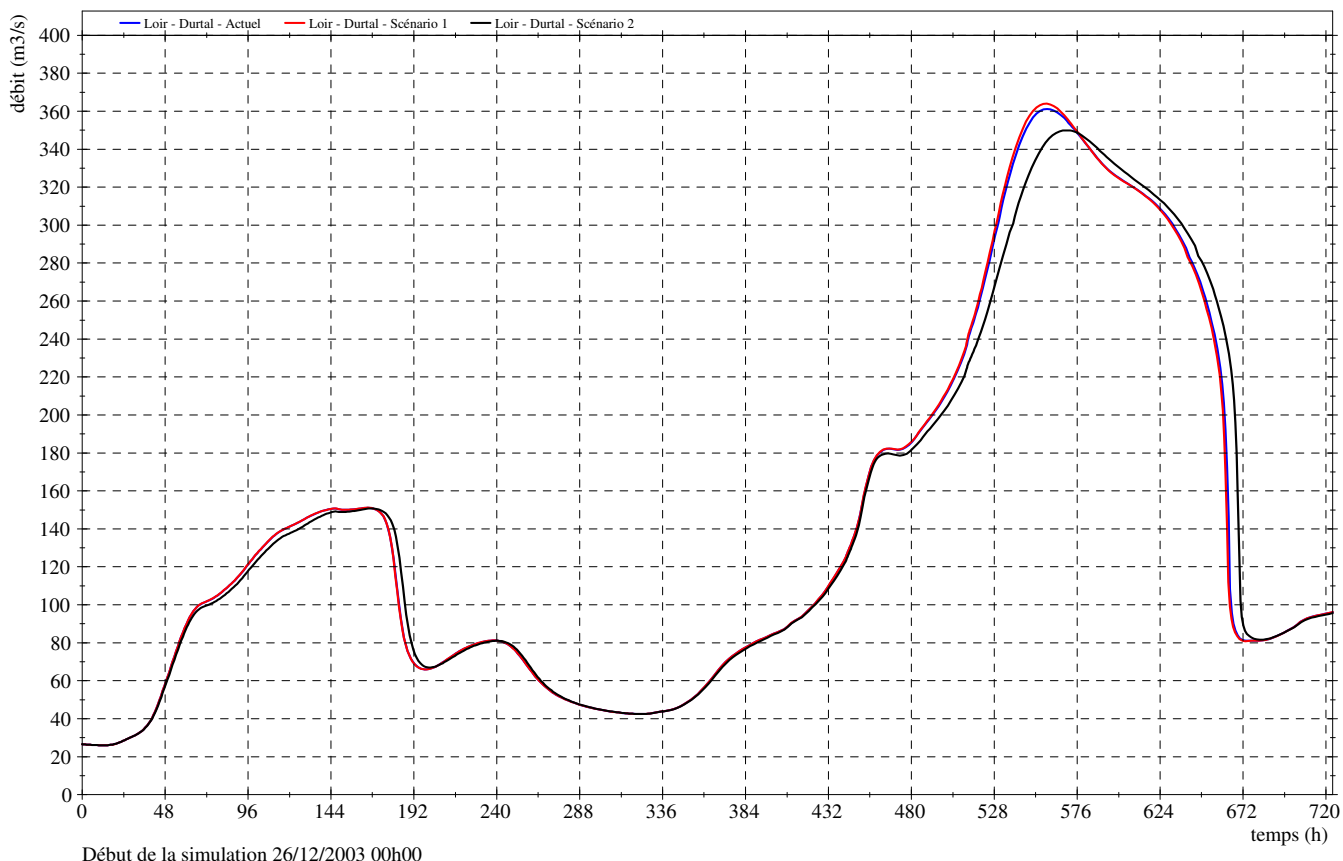
Les hydrogrammes sont très peu déformés et l'ordre d'arrivée des différentes pointes de crue reste inchangé. On peut mettre en évidence cette invariabilité sur l'ensemble des crues testées (cf. Annexe 1).

On en déduit que l'ensemble des aménagements de la Sarthe et de l'Huisne ne sont pas de nature à bouleverser la chronologie des crues au Mans et ne permettent pas d'éviter la concomitance des crues entre la Sarthe et l'Huisne.

### 6.3 BASSIN VERSANT DU LOIR

La figure suivante présente les hydrogrammes obtenus à Durtal sur le Loir pour la crue de janvier 2004 dans la situation actuelle et pour les scénarios 1 et 2.

Loir - Crue de janvier 2004



Le scénario 1 qui ne comporte que quelques aménagements locaux ne modifie pas beaucoup l'hydrogramme actuel au niveau de Durtal, ce dernier est légèrement augmenté au niveau du débit de pointe sans toutefois avoir de décalage temporel.

Le scénario 2 comporte des levées complémentaires sur le Loir par rapport au scénario 1. Ces levées ont pour effet de ralentir la crue. C'est ce que l'on constate sur l'hydrogramme à Durtal avec un laminage du débit de pointe et un léger décalage temporel de la pointe. On observe cette tendance sur les 10 crues testées.

Les tableaux suivants synthétisent les résultats obtenus pour les 10 crues modélisées sur le Loir à Durtal :

	J66*	O66	A83	J93	J95	F96*	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	334.5	283.4	388.5	284.8	460.2	143.6	415.9	313.2	361.3	574.9
Q <sub>max</sub> scénario1 (m <sup>3</sup> /s)	335	283.6	386.6	285.1	460.3	143.6	416.8	313.3	364.0	575.2
ΔQ <sub>max</sub> en %	-0.3	0.1	-0.5	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.8	0.1
ΔT <sub>max</sub> (h)	-1	-0.2	0.3	0.0	8.2	-1.0	-1.3	-0.6	-0.1	-0.4
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	0.3	0.2	-1.2	0.2	0.1	0	0.6	0.1	1.7	0.2

	J66*	O66	A83	J93	J95	F96*	D99	J01	J04	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	334.5	283.4	388.5	284.8	460.2	143.6	415.9	313.2	361.3	574.9
Q <sub>max</sub> scénario2 (m <sup>3</sup> /s)	327.9	279.9	376.9	269.9	453.5	141.5	409.6	309.5	350	556.0
ΔQ <sub>max</sub> en %	-2	-1.2	-3.0	-5.2	-1.5	-1.4	-1.5	-1.2	-3.1	-3.3
ΔT <sub>max</sub> (h)	5	3.7	14.2	8.5	15.3	2.6	12.9	8.2	13.2	20.0
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-4.4	-2.3	-7.6	-9.5	-4.4	-1.4	-4.1	-2.4	-7.4	-11.1

\* première pointe analysée ici

Pour le scénario 1, les débits de crue sont à peine modifiés en aval du Loir à Durtal, l'augmentation des cotes d'eau est également très faible (< 1.7 cm).

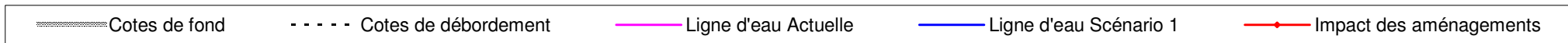
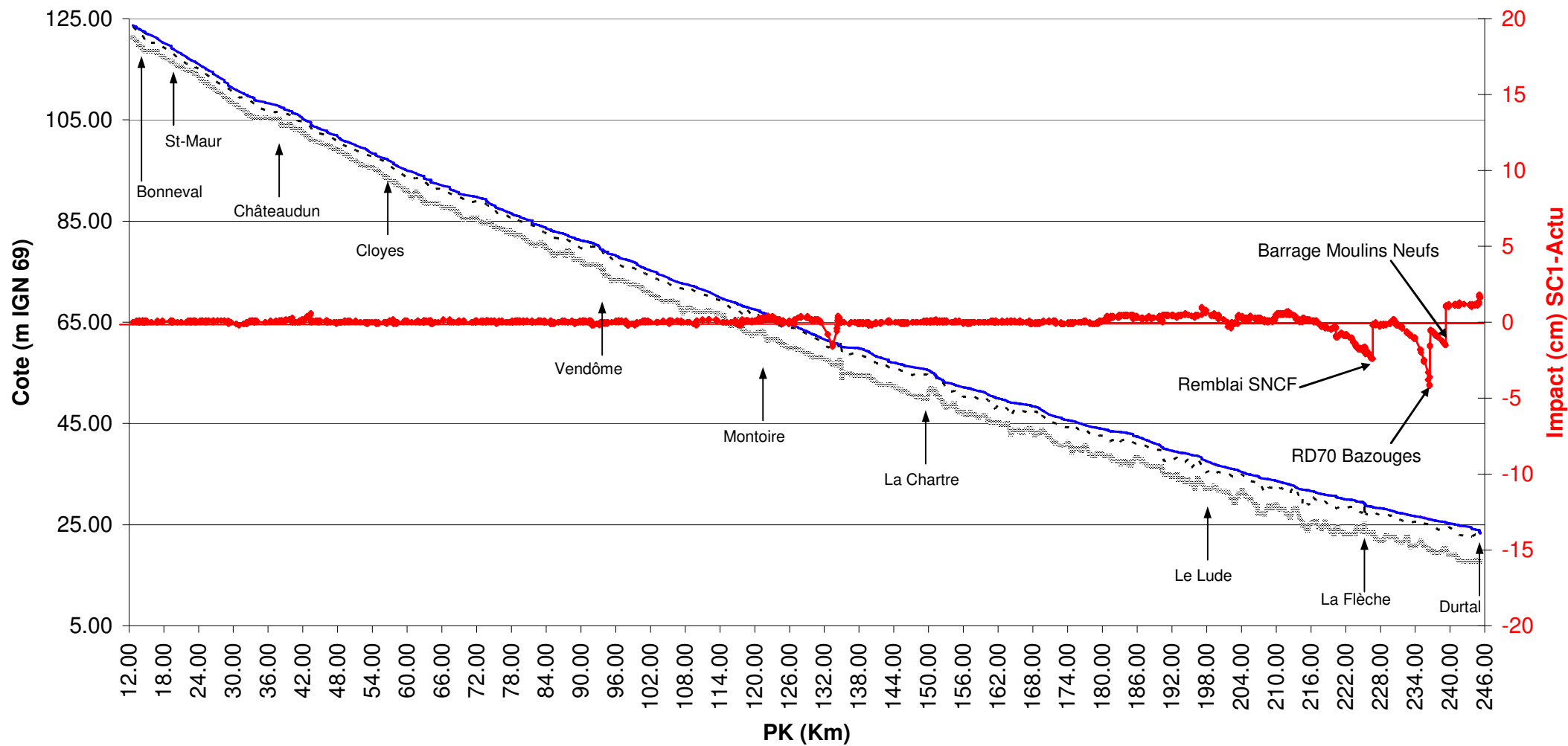
En considérant que la plus forte augmentation de 1.7 cm de la ligne d'eau pour la crue de janvier 2004, pour le scénario 1, reste faible, les aménagements testés sur le Loir n'aggravent pas les crues au niveau de Durtal. Le retard maximal observé de la pointe de crue est de 8 h, ce qui ne perturbera pas les écoulements au niveau des Basses Vallées Angevines.

Pour le scénario 2, les levées apportent à Durtal un gain en cote d'eau (diminution de la ligne d'eau de 2 à 11 cm selon les crues). Le retard maximal observé est plus important que pour le scénario 1, il peut atteindre 20 h. Ce décalage ne peut être que bénéfique pour les Basses Vallées Angevines car la crue du Loir arrivant la dernière, elle sera encore plus décalée par rapport à celle de la Sarthe.

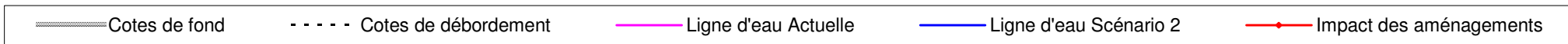
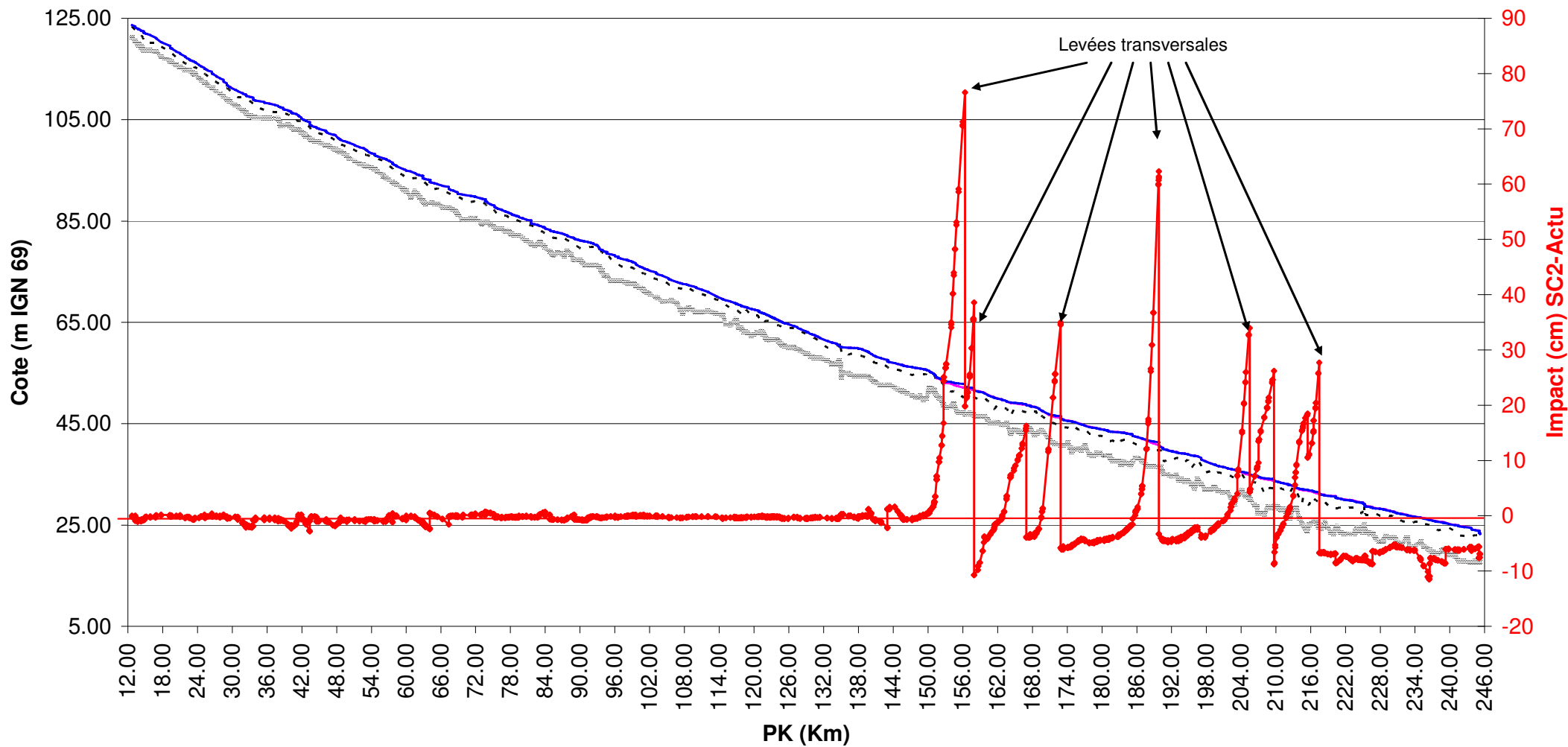
Les figures sur les pages suivantes donnent le profil en long du Loir pour la crue de janvier 2004.

A droite de chaque figure, est indiqué l'impact en centimètres de la ligne d'eau du scénario (1 et 2) par rapport à la ligne d'eau de la situation actuelle (courbe en rouge sur la figure).

## Loir - Crue de Janvier 2004 - Profil en long des lignes d'eau Situation Actuelle - Scénario 1



## Loir - Crue de Janvier 2004 - Profil en long des lignes d'eau Situation Actuelle - Scénario 2



Ces profils en long (crue de janvier 2004) mettent en évidence l'impact local maximum de quelques centimètres de l'ouvrage sous la RD70 à Bazouges (gain de 4.1 cm) et sous le remblai SNCF à La Flèche (gain de 2.4 cm).

L'arasement du seuil du barrage des Moulins Neufs provoque un gain local de 1.5 cm. En aval de ces aménagements on observe une légère surélévation de la ligne d'eau inférieure à 1.6 cm.

Les 9 levées et les aménagements locaux permettent d'obtenir un gain sur le Loir aval d'une dizaine de centimètres pour la crue de janvier 2004.

#### 6.4 IMPACTS SUR LES BASSES VALLEES ANGEVINES

Le tableau suivant donne pour les deux scénarios d'aménagement le décalage en temps entre les pointes de l'Oudon à Maingué, de la Mayenne à la Jaille-Yvon, de la Sarthe à Beffes et du Loir à Durtal. Les hydrogrammes correspondant sont donnés en annexe 1.

Scénario	Crue	Pointe Mayenne – Pointe Oudon (h)	Pointe Sarthe – Pointe Mayenne (h)	Pointe Loir – Pointe Sarthe (h)
Situation actuelle	j66	-1	6	104
Scénario 1		-2	6	115
Scénario 2		-2	5	127
Situation actuelle	o66	0	11	79
Scénario 1		-3	11	79
Scénario 2		1	11	83
Situation actuelle	a83	-9	21	73
Scénario 1		-10	20	74
Scénario 2		-11	19	89
Situation actuelle	j93	4	5	87
Scénario 1		3	4	88
Scénario 2		3	4	96
Situation actuelle	f96	1	3	39
Scénario 1		1	3	43
Scénario 2		1	-1	51
Situation actuelle	d99	19	3	66
Scénario 1		18	3	64
Scénario 2		18	1	81
Situation actuelle	j01	8	2	83
Scénario 1		4	4	81
Scénario 2		4	4	90
Situation actuelle	j04	-4	-5	88
Scénario 1		-3	-4	87
Scénario 2		-3	-4	100
Variation maximale entre scénario et situation actuelle		4 h	4 h	23 h
Variation moyenne entre scénario et situation actuelle		± 1 h	± 1 h	± 7 h

On constate que par rapport à la situation actuelle les aménagements de l'ensemble du bassin de la Maine ne sont pas de nature à perturber l'horloge globale des crues à l'entrée des Basses Vallées Angevines. La perturbation moyenne dans l'horloge Oudon-Mayenne-Sarthe est de 1h et dans l'horloge Sarthe-Loir de 7 h (le déphasage entre crue de la Sarthe et crue du Loir variant entre 40 et 100 h en situation actuelle). On remarque pour cette dernière une perturbation maximale de 23 h, calculée pour une seule des 10 crues : celle de janvier 1966. Pour la crue de février 1996, on constate une inversion entre la pointe de la Sarthe et la pointe de la Mayenne pour le scénario 2 par rapport à la situation actuelle. Cependant, il s'agit d'une crue faible sur la Sarthe et cette interversion ne peut modifier de façon notable les écoulements en aval.

Les scénarios 1 et 2 ne sont donc pas de nature à perturber l'horloge des crues dans les Basses Vallées Angevines.

## 7 ANALYSE DE 3 SCENARIOS COMPLEMENTAIRES

### 7.1 DETERMINATION DES SCENARIOS COMPLEMENTAIRES

Les deux premiers scénarios testés initialement comprennent :

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

Les 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 levées 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 levées sur l'Huisne ni sur le Loir.

La liste détaillée des aménagements est donnée dans le tableau ci après.

En prenant séparément les sous-bassins versants de la Maine, les scénarios peuvent donc être identiques entre eux parfois.

Sur le Loir, il y a en fait 2 scénarios :

- scénario 1 = scénario 4 = scénario 5,
- scénario 2 = scénario 3.

Sur le bassin de la Sarthe et de l'Huisne, 4 scénarios sont différents :

- scénario 1,
- scénario 2,
- scénario 3,
- scénario 4 = scénario 5.

Sur le bassin de l'Oudon, les 5 scénarios testés sont tous différents les uns des autres.

Les chapitres suivants présentent les résultats obtenus par sous-bassin versant pour 5 crues.

Aménagements modélisés				
Scénario	Oudon	Sarthe	Huisne	Loir
<b>Scénario 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <i>Saint Aignan sur Roë</i></li> <li>♦ Vieux Pont Segré (O-7)</li> <li>♦ Guardièrre (O-6)</li> <li>♦ Guéhardière (O-2)</li> <li>♦ Grande Queille (O-3)</li> <li>♦ Stockage Argos-Verzée (O-4)</li> <li>♦ Stockage Oudon Nord (O-5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <i>Stockage Vézonne</i></li> <li>♦ Barrage Sablé (S-2)</li> <li>♦ Pont Greffier (S-3)</li> <li>♦ Dignes Heuzé-Australie (S-4)</li> <li>♦ <i>Digue Arnage</i></li> <li>♦ <i>Quartier Lavandière</i></li> <li>♦ Seuil Canal Planches (S-5)</li> <li>♦ Entretien à Vivoin (S-6)</li> <li>♦ Modern. Barrages Chaoué, Prélondon, St-Georges (S-7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Margon (H-1)</li> <li>♦ Remblai Connerré (H-2)</li> <li>♦ Abattoirs (H-3)</li> <li>♦ Barrage Foulon (H-4)</li> <li>♦ Digue quartier Crétois (H-5)</li> <li>♦ 25 levées (H-6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Remblai SNCF La Flèche (L-1)</li> <li>♦ Ouvrage décharge Bazouges (L-2)</li> <li>♦ Arasement seuil Moulins Neufs (L-3)</li> <li>♦ 9 levées (L-4)</li> </ul>
<b>Scénario 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <i>Saint Aignan sur Roë</i></li> <li>♦ Vieux Pont Segré (O-7)</li> <li>♦ Guardièrre (O-6)</li> <li>♦ Grande Queille (O-3)</li> <li>♦ Stockage Argos-Verzée (O-4)</li> <li>♦ Stockage Oudon Nord (O-5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <i>Stockage Vézonne</i></li> <li>♦ Barrage Sablé (S-2)</li> <li>♦ Pont Greffier (S-3)</li> <li>♦ Dignes Heuzé-Australie (S-4)</li> <li>♦ <i>Digue Arnage</i></li> <li>♦ <i>Quartier Lavandière</i></li> <li>♦ Seuil Canal Planches (S-5)</li> <li>♦ Entretien à Vivoin (S-6)</li> <li>♦ Modern. Barrages Chaoué, Prélondon, St-Georges (S-7)</li> <li>♦ Gué Ory 3C (S-1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Margon (H-1)</li> <li>♦ Remblai Connerré (H-2)</li> <li>♦ Abattoirs (H-3)</li> <li>♦ Barrage Foulon (H-4)</li> <li>♦ Digue quartier Crétois (H-5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Remblai SNCF La Flèche (L-1)</li> <li>♦ Ouvrage décharge Bazouges (L-2)</li> <li>♦ Arasement seuil Moulins Neufs (L-3)</li> </ul>
<b>Scénario 5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <i>Saint Aignan sur Roë</i></li> <li>♦ Vieux Pont Segré (O7)</li> <li>♦ Guardièrre (O6)</li> <li>♦ Grande Queille (O3)</li> <li>♦ Stockage Argos-Verzée (O4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ <i>Stockage Vézonne</i></li> <li>♦ Barrage Sablé (S-2)</li> <li>♦ Pont Greffier (S-3)</li> <li>♦ Dignes Heuzé-Australie (S-4)</li> <li>♦ <i>Digue Arnage</i></li> <li>♦ <i>Quartier Lavandière</i></li> <li>♦ Seuil Canal Planches (S-5)</li> <li>♦ Entretien à Vivoin (S-6)</li> <li>♦ Modern. Barrages Chaoué, Prélondon, St-Georges (S-7)</li> <li>♦ Gué Ory 3C (S-1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Margon (H-1)</li> <li>♦ Remblai Connerré (H-2)</li> <li>♦ Abattoirs (H-3)</li> <li>♦ Barrage Foulon (H-4)</li> <li>♦ Digue quartier Crétois (H-5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Remblai SNCF La Flèche (L-1)</li> <li>♦ Ouvrage décharge Bazouges (L-2)</li> <li>♦ Arasement seuil Moulins Neufs (L-3)</li> </ul>

## 7.2 BASSIN VERSANT DE L'OUDON

Afin de comparer les résultats de manière homogène, la comparaison est toujours faite par rapport à la situation actuelle.

### 7.2.1 Tableaux de synthèse

O3-Maingué	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	182.5	195.8	194.5	200.3	327.3
Q <sub>max</sub> scénario3 (m <sup>3</sup> /s)	177.1	187.7	189.0	189.9	317.5
ΔQ <sub>max</sub> en %	-3.0	-4.2	-2.8	-5.2	-3.0
ΔT <sub>max</sub> (h)	-1.0	2.1	0.0	4.3	-1.6
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-6	-8.6	-5.6	-11.9	-9.5

O3-Maingué	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	182.5	195.8	194.5	200.3	327.3
Q <sub>max</sub> scénario4 (m <sup>3</sup> /s)	179.2	191.1	193.0	193.3	321.2
ΔQ <sub>max</sub> en %	-1.8	-2.4	-0.8	-3.5	-1.9
ΔT <sub>max</sub> (h)	-1.0	2.1	1.1	4.3	-2.5
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-3.6	-5	-1.4	-8.3	-3.6

O3-Maingué	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	182.5	195.8	194.5	200.3	327.3
Q <sub>max</sub> scénario5 (m <sup>3</sup> /s)	180.8	195.7	193.9	195.7	325.6
ΔQ <sub>max</sub> en %	-0.9	0.0	-0.3	-2.3	-0.5
ΔT <sub>max</sub> (h)	-1.0	2.1	0.1	5.3	-2.5
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-1.8	0	-0.5	-5.1	-1.7

Les variations des débits de pointe vont de 0 à -5.2 % et les variations de cote de -11.9 à +4.8 cm. Les variations temporelles varient de -2.5 à +5.3 h.

Le scénario 3, qui comporte le plus d'aménagements, permet les meilleurs gains en cote d'eau. Entre les scénarios 3 et 4, la différence est due à la présence ou non du barrage de la Guéhardière. Ce barrage permet un gain en cote variant de 2.4 à 5.9 cm.

Entre les scénarios 4 et 5, la différence est due à la présence ou non du stockage Oudon Nord. Ce stockage permet un gain variant de 0.9 à 3.2 cm selon les crues.

### **7.2.2 Profils en long comparatifs des impacts**

Les graphiques pages 54 et 55 représentent les profils en long de la ligne d'eau en situation actuelle sur l'Oudon et les profils en long du gain en cm des différents scénarios par rapport à la situation actuelle (graduation à droite des graphiques).

Les crues représentées sont les crues de janvier 1995 et février 1996.

Le graphique de la crue de février 1996 est plus « parlant » dans la mesure où les aménagements testés ont été dimensionnés pour cette même crue.

Pour la crue de février 1996, le gain en cote est de :

- 10 cm (pouvant atteindre 26 cm en amont à Segré) pour le scénario 3 par rapport au scénario 4,
- 15 cm en aval à 6 cm en remontant en amont pour le scénario 4 par rapport au scénario 5,
- 20 cm en aval à 5-6 cm en remontant en amont pour le scénario 1 par rapport au scénario 5 (correspondant au gain cumulé par la Guéhardière, la Grande Queuille et le stockage Argos-Verzée).

La différence de gain en cote entre les scénarios 2 et 3 (présence ou non de la Mée) est très faible : 2 cm tout au plus en amont qui s'annule une dizaine de kilomètres plus en aval.

Rappelons qu'il s'agit d'un volume stocké faible (330 000 m<sup>3</sup> pour une crue décennale et 693 000 m<sup>3</sup> pour une crue centennale) et que le gain en débit de pointe est de 2.3 m<sup>3</sup>/s pour une crue centennale et de 6.2 m<sup>3</sup>/s pour une crue décennale.

Pour la crue de janvier 1995, les impacts entre les différents scénarios sont beaucoup moins nets et plus difficiles à interpréter. En effet la crue étant plus longue avec plusieurs pics, les ouvrages de stockage peuvent se trouver déjà pleins au moment du passage de la plus forte pointe, et donc l'écrêtement prévu est moins efficace.

Ainsi, entre les scénarios 1 et 5 (correspondant au gain cumulé par la Guéhardière, la Grande Queuille et le stockage Argos-Verzée), le gain ne dépasse pas 2 cm (contre 20 cm pour la crue de 1996).

Le stockage de la Mée n'a pas d'impact sur la crue de janvier 1995.

Les surstockages Oudon-Nord sont également moins efficaces pour cette crue, seul celui sur l'Araize apporte un gain de 6-7 cm du PK 127 jusqu'au vieux pont de Segré.

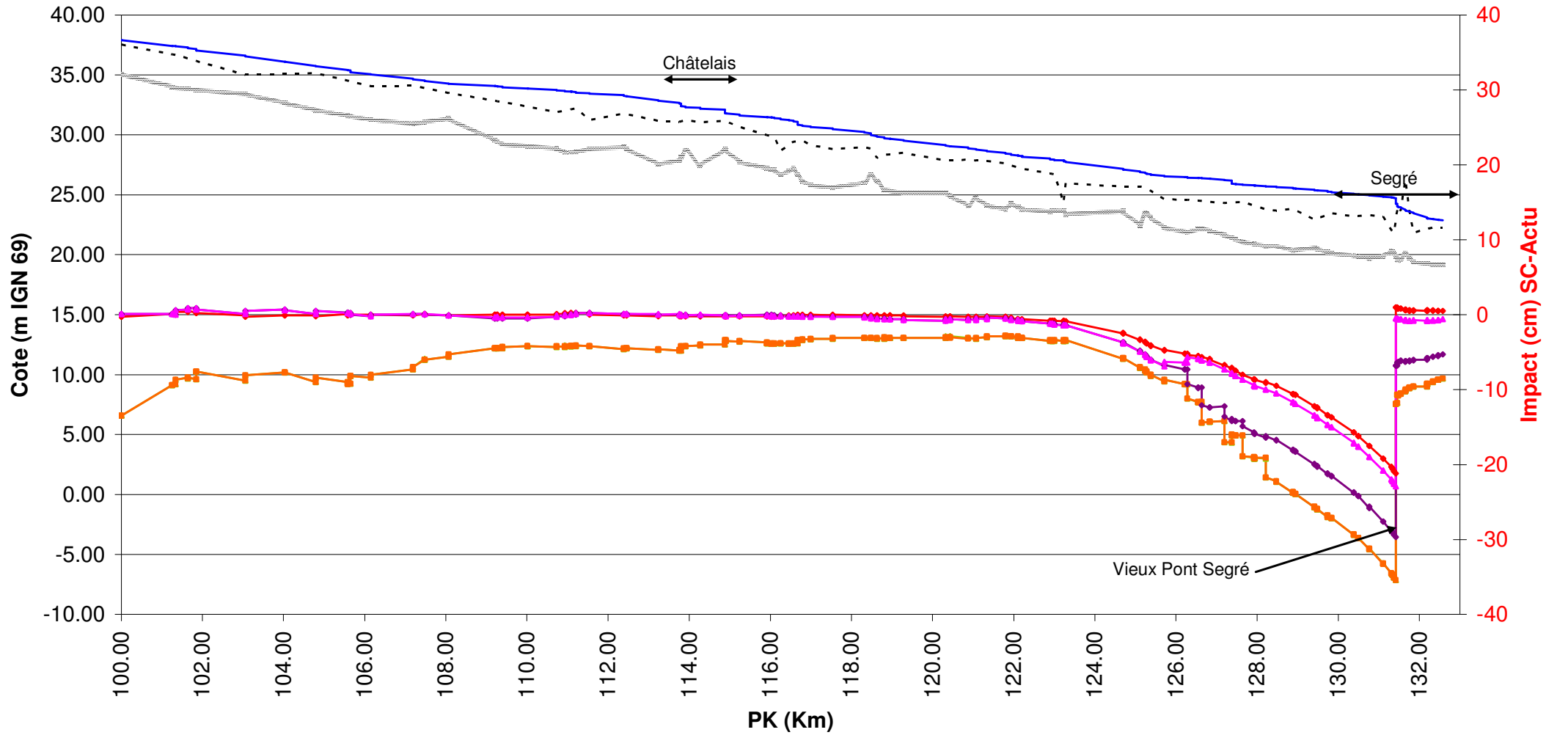
En conclusion, pour la crue de février 1996, chaque aménagement a un impact positif non négligeable, pour les autres crues il peut être beaucoup plus limité.

Parmi les stockages qui ont pu être différenciés à partir de comparaison entre les scénarios,

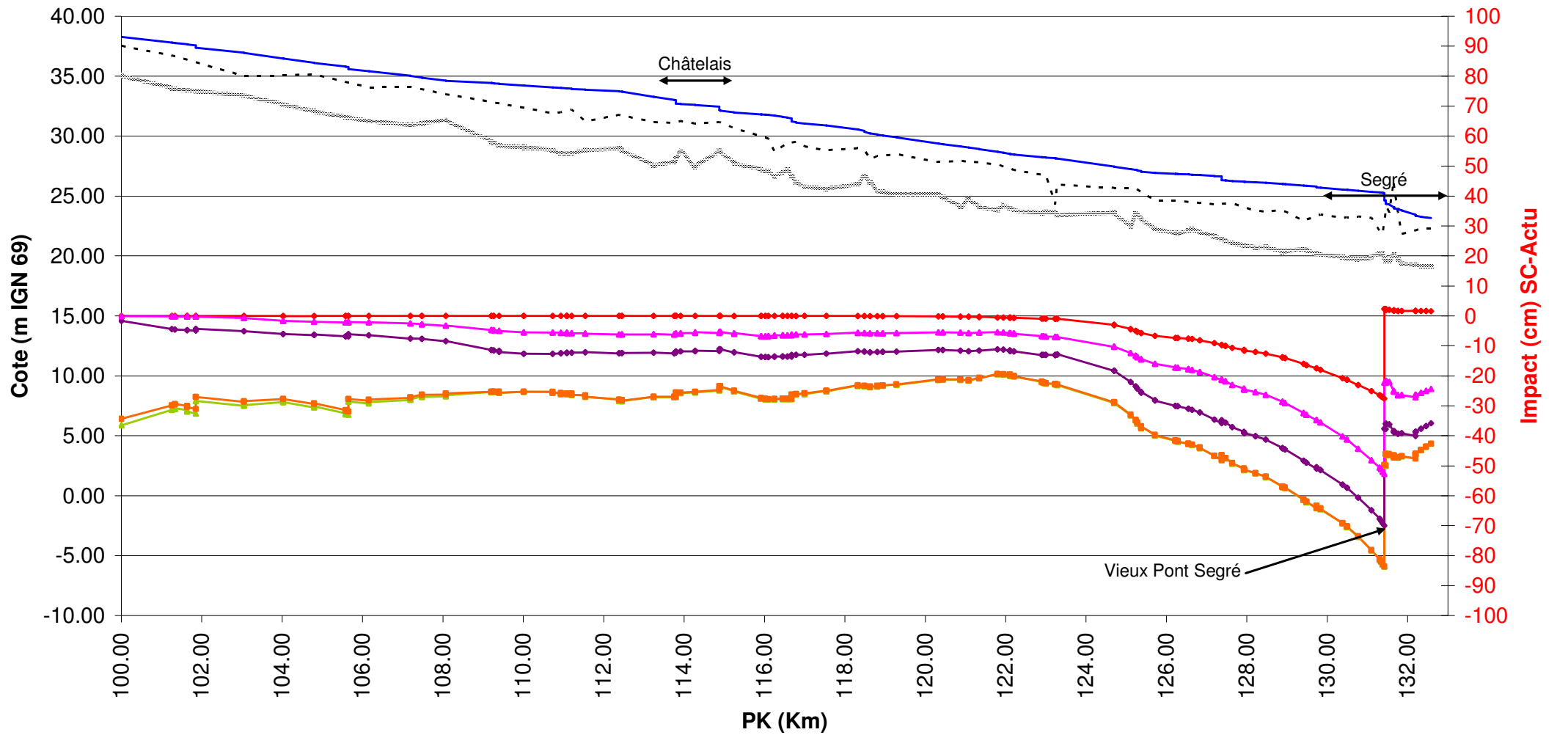
ceux qui apportent le plus de gain sur la ligne d'eau sont classés par ordre décroissant :

- Stockage de la Guéhardière (gain de 2.4 à 5.9 cm à Maingué),
- Stockage Oudon-Nord (gain de 0.9 à 3.2 cm à Maingué),
- Stockage de la Mée (gain de 2 cm sur la ligne d'eau pour la crue de février 1996 mais uniquement en amont de l'Oudon, pas de gain à Maingué).

## Oudon - Crue de Janvier 1995 - Profil en long des impacts



## Oudon - Crue de Février 1996 - Profil en long des impacts



## 7.3 BASSINS VERSANTS DE LA SARTHE ET DE L'HUISNE

### 7.3.1 Tableaux de synthèse Scénario 3

S1-Fresnay	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	157.9	168.1	144.0	142.7	232.1
Q <sub>max</sub> scénario3 (m <sup>3</sup> /s)	157.7	168.0	143.9	142.9	231.8
ΔQ <sub>max</sub> en %	-0.1	0.0	-0.1	0.1	-0.1
ΔT <sub>max</sub> (h)	0.5	-1.4	0.0	-0.8	-0.4
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.6

S5-StPavace	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	251.3	239.5	227.9	217.9	376.7
Q <sub>max</sub> scénario3 (m <sup>3</sup> /s)	251.0	239.3	226.5	217.6	377.9
ΔQ <sub>max</sub> en %	-0.1	-0.1	-0.6	-0.2	0.3
ΔT <sub>max</sub> (h)	0.9	2.0	1.9	-2.4	1.9
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	0.1	1.4	-0.3	0.1	-0.9

S7-Raterie	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	443.6	458.1	418.3	381.8	545.2
Q <sub>max</sub> scénario3 (m <sup>3</sup> /s)	435.4	453.3	403.7	371.2	546.2
ΔQ <sub>max</sub> en %	-1.8	-1.0	-3.5	-2.8	0.2
ΔT <sub>max</sub> (h)	-1.0	2.0	-0.7	-3.7	-5.7
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-7	-5	-11.8	-10.7	-7.2

S8-Sablé aval	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	530.9	617.1	532.0	454.8	766.6
Q <sub>max</sub> scénario3 (m <sup>3</sup> /s)	529.0	612.7	530.0	455.5	763.3
ΔQ <sub>max</sub> en %	-0.4	-0.7	-0.4	0.1	-0.4
ΔT <sub>max</sub> (h)	-0.9	-1.0	-1.6	0.7	0.9
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-3.7	-4.3	-2.6	-0.1	-6.3

H5-Pontlieue	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	131.1	158.9	134.7	120.7	197.0
Q <sub>max</sub> scénario3 (m <sup>3</sup> /s)	119.4	154.5	131.9	108.7	190.3
ΔQ <sub>max</sub> en %	-9.0	-2.8	-2.1	-10.0	-3.4
ΔT <sub>max</sub> (h)	4.4	-1.0	3.2	12.0	3.6
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-11.1	-5.3	-18.5	-17.4	-7.3

Sur l'ensemble des points les valeurs maximales des trois critères de comparaison sont les suivantes :

- 1) ΔQ<sub>max</sub> : -10%
- 2) ΔT<sub>max</sub> : +12h
- 3) ΔZ<sub>max</sub> : -18.5cm

**Entre les scénarios 1 et 3**, les seuls aménagements qui diffèrent ce sont les levées sur l'Huisne.

Les différences que l'on commence à remarquer ne sont visibles qu'à partir de l'aval de la confluence Sarthe-Huisne. Au point S7-Raterie, on gagne de 2 à 7 cm en cote d'eau.

Au niveau du point S8-Sablé aval, ce gain diminue et varie entre 0.2 et 5 cm selon les crues. Sur l'Huisne au niveau de Pontlieue, les gains varient entre 5 et 15 cm.

Le scénario 3 par rapport à la situation actuelle donne des gains intéressants sur l'Huisne à Pontlieue variant entre 5.3 et 18.5 cm. Ces résultats sont très proches de ceux obtenus pour le scénario 2 qui comportent les mêmes aménagements sur l'Huisne et sur la Sarthe excepté la présence ou non du Gué Ory.

### 7.3.2 Tableaux de synthèse Scénario 4 et 5

S1-Fresnay	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	157.9	168.1	144.0	142.7	232.1
Q <sub>max</sub> scénario4 (m <sup>3</sup> /s)	148.7	155.4	140.2	135.1	228.3
ΔQ <sub>max</sub> en %	-5.9	-7.6	-2.7	-5.3	-1.6
ΔT <sub>max</sub> (h)	6.8	9.3	-1.0	3.9	2.1
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-14.5	-25.8	-7.4	-14.4	-6.5

S5-StPavace	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	251.3	239.5	227.9	217.9	376.7
Q <sub>max</sub> scénario4 (m <sup>3</sup> /s)	241.6	234.2	223.4	210.2	374.7
ΔQ <sub>max</sub> en %	-3.9	-2.2	-2.0	-3.6	-0.5
ΔT <sub>max</sub> (h)	-0.4	-1.0	-1.4	-0.1	1.8
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-7.5	-3.7	-2.6	-6.1	-4.5

S7-Raterie	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	443.6	458.1	418.3	381.8	545.2
Q <sub>max</sub> scénario4 (m <sup>3</sup> /s)	433.8	451.6	408.4	372.7	547.4
ΔQ <sub>max</sub> en %	-2.2	-1.4	-2.4	-2.4	0.4
ΔT <sub>max</sub> (h)	-0.8	-1.0	-0.4	2.5	-6
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-8.1	-7.1	-8.8	-9.4	-6.9

S8-Sablé aval	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	530.9	617.1	532.0	454.8	766.6
Q <sub>max</sub> scénario4 (m <sup>3</sup> /s)	526.3	621.1	525.4	454.9	770.5
ΔQ <sub>max</sub> en %	-0.9	0.7	-1.2	0.0	0.5
ΔT <sub>max</sub> (h)	0.5	-1.0	0.4	-0.2	0.0
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	2.4	-1.2	-4.6	-0.2	-3.6

H5-Pontlieue	O66	J95	D99	J01	cth
Q <sub>max</sub> actuel (m <sup>3</sup> /s)	131.1	158.9	134.7	120.7	197.0
Q <sub>max</sub> scénario4 (m <sup>3</sup> /s)	130.0	158.0	135.4	119.6	194.7
ΔQ <sub>max</sub> en %	-0.8	-0.6	0.5	-0.9	-1.2
ΔT <sub>max</sub> (h)	-2.2	-1.0	-0.3	1.2	2.8
ΔZ <sub>max</sub> (cm)	-3.2	-3.2	-7.8	-4.9	-4

Sur l'ensemble des points les valeurs maximales des trois critères de comparaison sont les suivantes :

- 4) ΔQ<sub>max</sub> : -7.6%
- 5) ΔT<sub>max</sub> : +9.3h
- 6) ΔZ<sub>max</sub> : -25.8cm

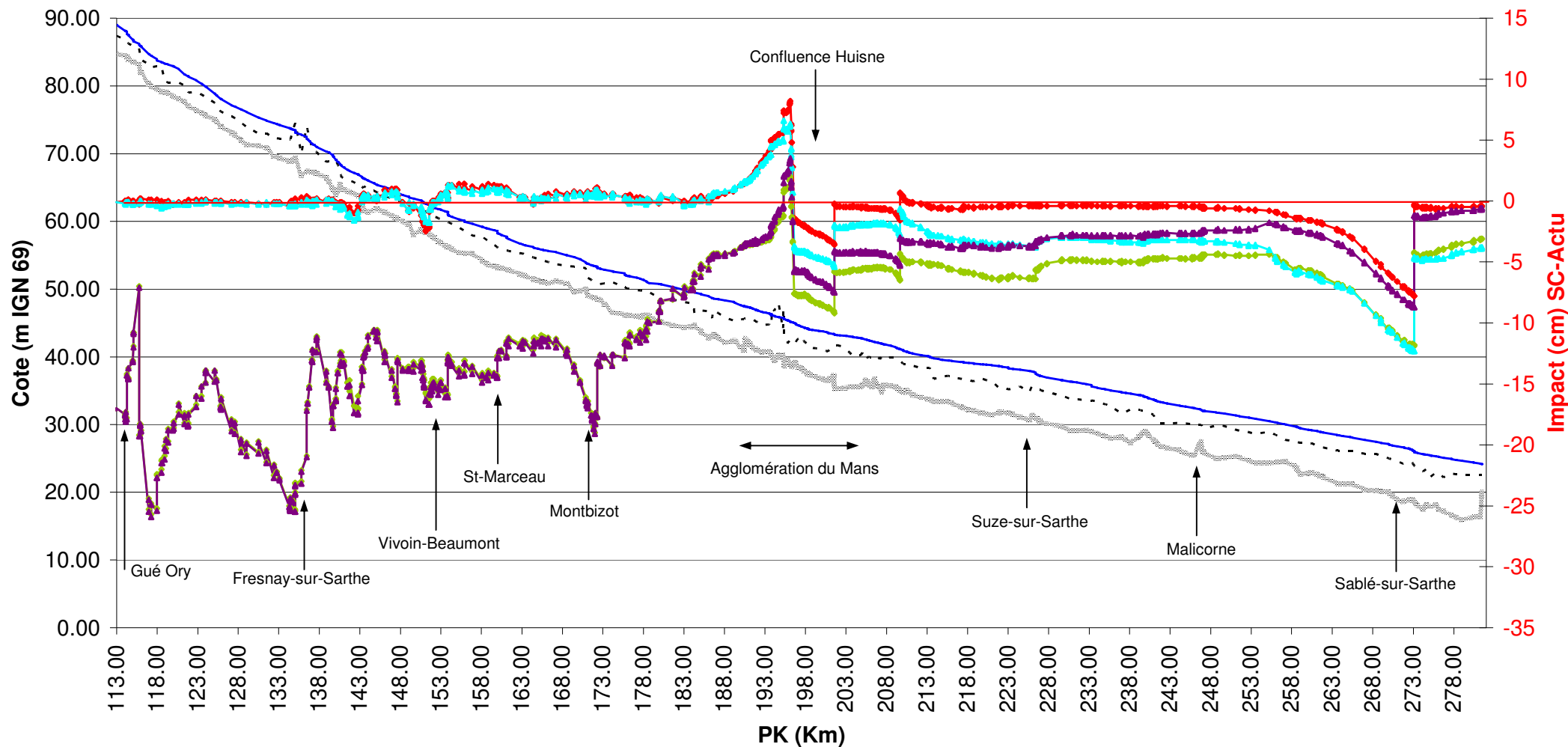
Par rapport au scénario précédent, on ajoute le Gué Ory sur la Sarthe et on enlève les 25 levées sur l'Huisne. On constate que les gains obtenus sur la ligne d'eau sont normalement plus importants en amont sur la Sarthe au plus près du Gué Ory. Au niveau de St-Pavace, les gains diminuent un peu, ils augmentent à nouveau au niveau de la Raterie (en aval de la confluence avec l'Huisne) car les gains des aménagements de l'Huisne se cumulent avec ceux de la Sarthe.

### **7.3.3 Profils en long comparatifs des impacts**

Le graphique page suivante représente les profils en long de la ligne d'eau en situation actuelle sur la Sarthe et l'Huisne et les profils en long du gain en cm des différents scénarios par rapport à la situation actuelle (graduation à droite du graphique).

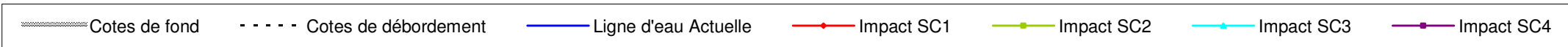
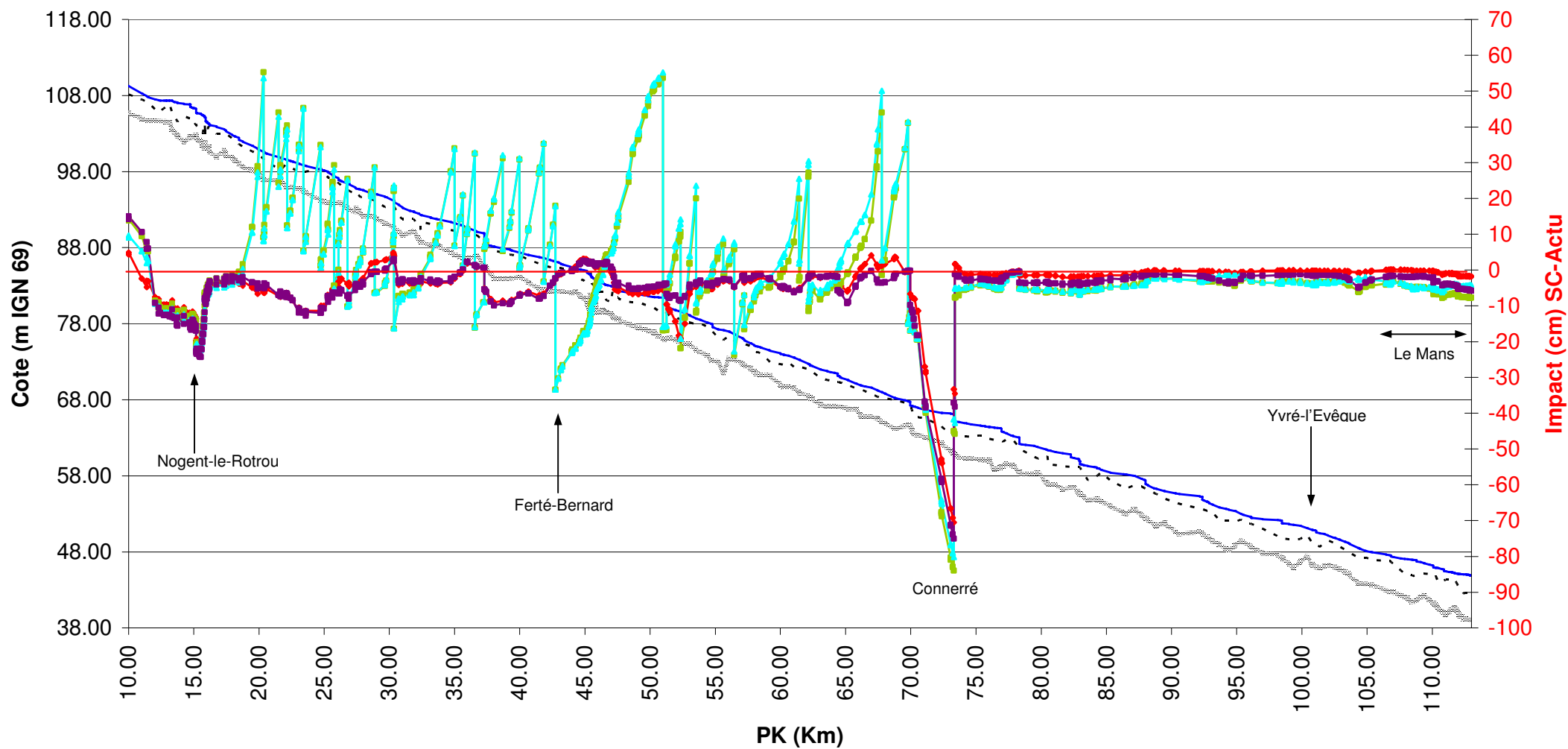
La crue représentée est la crue de janvier 1995.

## Sarthe - Crue de Janvier 1995 - Profil en long des impacts



Cotes de fond    
  Cotes de débordement    
  Ligne d'eau Actuelle    
  Impact SC1    
  Impact SC2    
  Impact SC3    
  Impact SC4

## Huisne - Crue de Janvier 1995 - Profil en long des impacts



Le profil en long des impacts des différents scénarios sur la Sarthe pour la crue de janvier 1995 fournit les indications suivantes.

Sur la Sarthe en amont du Mans, l'impact du Gué Ory est bien visible, l'impact des scénarios 1 et 3 est identique (aménagement locaux sans Gué Ory), l'impact des scénarios 2 et 4 est également identique (aménagement locaux avec Gué Ory).

Sur la partie en aval du Mans (après la confluence Sarthe-Huisne), la différence entre les scénarios 2 et 4 est la présence ou non des 25 levées sur l'Huisne. L'impact est visible sur la Sarthe, il est relativement constant sur tout le cours aval et le gain sur la ligne d'eau varie entre 1.5 à 3.3 cm avec les levées.

Sur la partie en aval du Mans (après la confluence Sarthe-Huisne), la différence entre les scénarios 2 et 3 est due à la présence du Gué Ory, il apporte un gain de l'ordre de 3 à 4 cm et s'annule 58 km en aval de la confluence Sarthe-Huisne.

En aval de Connerré, le scénario le plus intéressant en terme de gain de hauteur d'eau est le scénario 2 qui cumule tous les aménagements. Viennent ensuite le scénario 3 (sans le Gué Ory) puis le scénario 4 (avec le Gué Ory mais sans les levées). En comparant les scénarios 1 et 3 sur le profil en long de l'Huisne, on obtient l'impact des levées de l'Huisne sans la présence du Gué Ory. En aval de Connerré, il est alors de 4 à 5 cm.

Les scénarios 2 et 3 sont proches en gain, en effet le Gué Ory n'apporte qu'un gain limité au niveau de l'Huisne (4 cm tout au plus qui remonte un peu au niveau de la confluence sur 1 km).

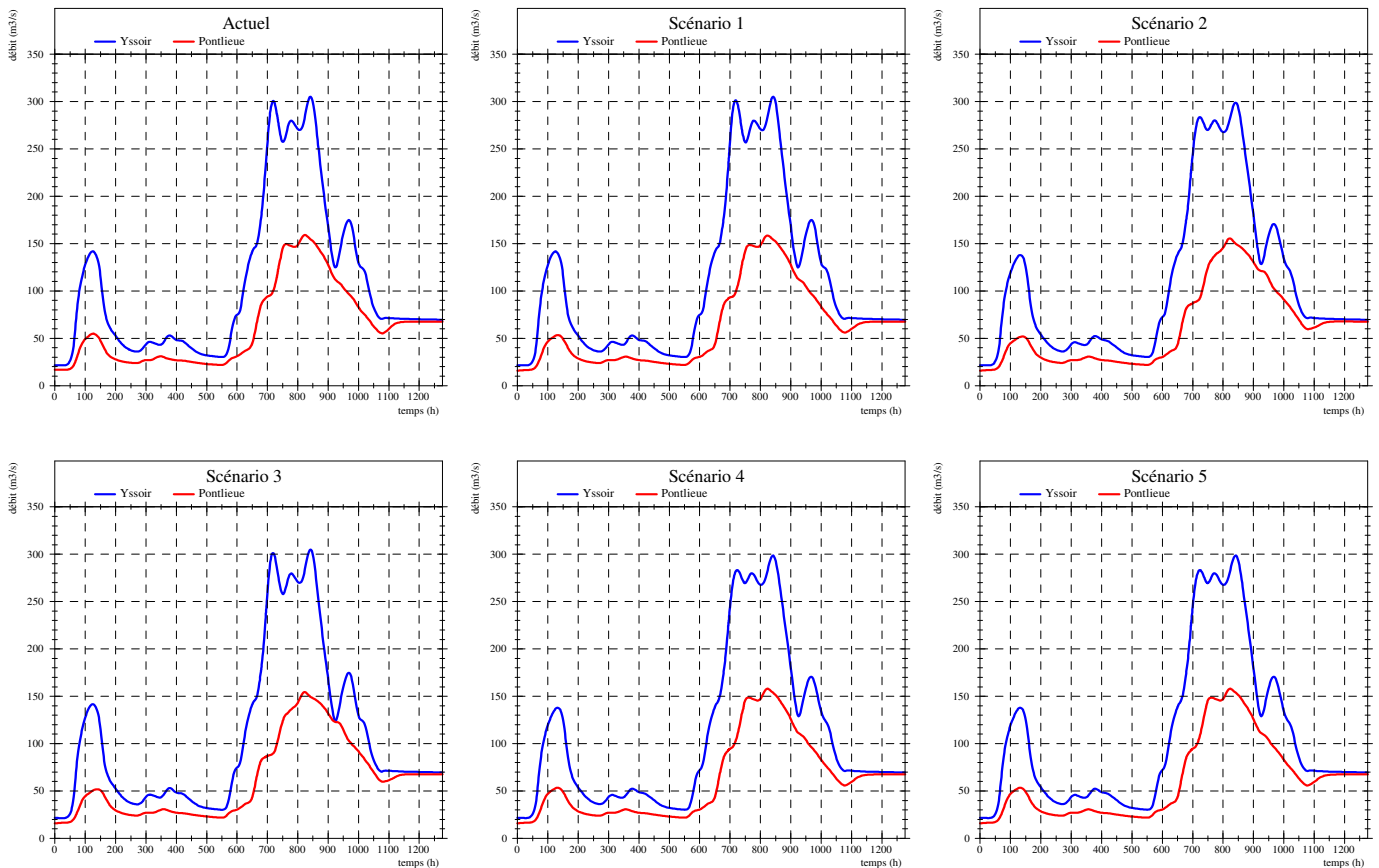
### 7.3.4 Impacts à la confluence Sarthe-Huisne

Les hydrogrammes comparatifs des différents scénarios au pont d'Yssoir sur la Sarthe et à Pontlieue sur l'Huisne permettent de constater la déformation des hydrogrammes en amont de la confluence et d'évaluer l'impact sur la concomitance des crues de la Sarthe aval. Ces hydrogrammes sont représentés en annexe 3.

Exemple : On lit sur le type de graphique ci-dessous les décalages de pointe de crue par rapport à la situation actuelle :

	Actuel (heure de la pointe)	S1	S2	S3	S4	S5
Yssoir	836.54h	-0.55h	-0.69h	+1.99h	-1.03h	-1.03h
Pontlieue	821.54h	-0.55h	-3.69h	-1.01h	-1.03h	-1.03h
Ordre	H-S		H-S	H-S	H-S	H-S

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



HydraRiv, scénario j95 - début simulation = 26/12/1994

Les 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.

## 7.4 IMPACTS SUR LES BASSES VALLEES ANGEVINES

Le tableau suivant donne pour les trois scénarios d'aménagement le décalage en temps entre les pointes de l'Oudon à Maingué, de la Mayenne à la Jaille-Yvon, de la Sarthe à Beffes et du Loir à Durtal. Les hydrogrammes correspondant sont donnés en annexe 2.

Scénario	Crue	Pointe Mayenne – Pointe Oudon (h)	Pointe Sarthe – Pointe Mayenne (h)	Pointe Loir – Pointe Sarthe (h)
Situation actuelle	j66	-1	6	104
Scénario 3		-4	4	128
Scénario 4		-4	5	116
Scénario 5		-4	5	116
Situation actuelle	o66	0	11	79
Scénario 3		1	10	84
Scénario 4		1	11	79
Scénario 5		1	11	79
Situation actuelle	a83	-9	21	73
Scénario 3		-9	20	87
Scénario 4		-12	20	74
Scénario 5		-11	20	74
Situation actuelle	j93	4	5	87
Scénario 3		4	3	98
Scénario 4		3	3	89
Scénario 5		2	3	89
Situation actuelle	f96	1	3	39
Scénario 3		1	-1	51
Scénario 4		0	-2	48
Scénario 5		1	-2	48
Situation actuelle	d99	19	3	66
Scénario 3		19	1	80
Scénario 4		17	3	65
Scénario 5		18	3	65
Situation actuelle	j01	8	2	83
Scénario 3		7	5	89
Scénario 4		4	2	83
Scénario 5		3	2	83
Situation actuelle	j04	-4	-5	88
Scénario 3		-2	-3	100
Scénario 4		-3	-4	88
Scénario 5		-2	-4	88
Variation maximale entre scénario et situation actuelle		5 h	5 h	24 h
Variation moyenne entre scénario et situation actuelle		± 2 h	± 2 h	± 6 h

On constate que par rapport à la situation actuelle **les aménagements de l'ensemble du bassin de la Maine ne sont pas de nature à perturber l'horloge globale des crues à l'entrée des Basses Vallées Angevines**. La perturbation moyenne dans l'horloge Oudon-Mayenne-Sarthe est de 2 h et dans l'horloge Sarthe-Loir de 6h. On remarque pour cette dernière une perturbation maximale de 24 h, calculée pour une seule des 10 crues : celle de janvier 1966.

Pour la crue de février 1996, on constate une inversion entre la pointe de la Sarthe et la pointe de la Mayenne pour les scénarios 3, 4 et 5 (comme pour le scénario 2 vu précédemment) par rapport à la situation actuelle. Cependant, il s'agit d'une crue faible sur la Sarthe et cette interversion ne peut pas modifier de façon notable les écoulements en aval.

Les levées sur le Loir retardent la pointe de crue du Loir, en augmentant le temps séparant les pointes de crue de la Sarthe et du Loir, ce qui ne peut être que bénéfique pour l'aval.

## 8 SUR LES DIFFERENCES OBSERVEES PAR RAPPORT AUX ETUDES PARTICULIERES ANTERIEURES DE CERTAINS OUVRAGES

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

Plusieurs facteurs peuvent être en cause :

- Modélisation locale plus ou moins détaillée (un ou plusieurs casiers, filaire ou multi-filaire...), moins de topographie (cas de l'étude antérieure pour le Gué Ory avec propagation simplifiée),
- Modèles mis en œuvre différents (ISIS, HEC-RAS, MIKE, HYDRARIV calé sur 4 crues historiques sur l'ensemble du bassin),
- **Hydrologies différentes** (Hydratec : crues historiques avec génération sous HYDRARIV des apports sur tous les bassins versants, pour les études antérieures : crues synthétiques comprenant un seul pic),
- **Scénarios testés différents** (associations d'aménagements différents des études antérieures).

On rappelle que les aménagements sont modélisés sur la base des fiches projets réalisées par Hydratec en 2006 et validées par l'EP Loire.

Des compléments à ces fiches ont été apportés par l'EP Loire fin avril 2007, pour actualiser celles qui le nécessitaient. Ces actualisations ont aussi été prises en compte dans la modélisation.

### 8.1 PRECISIONS SUR LA MODELISATION HYDRATEC : TRAVERSEE DU MANS

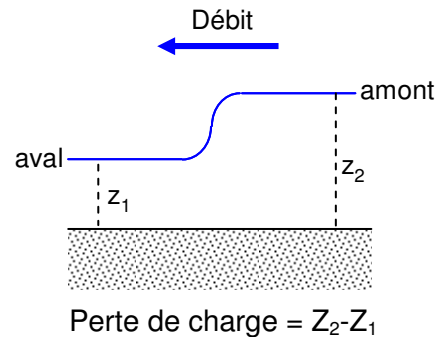
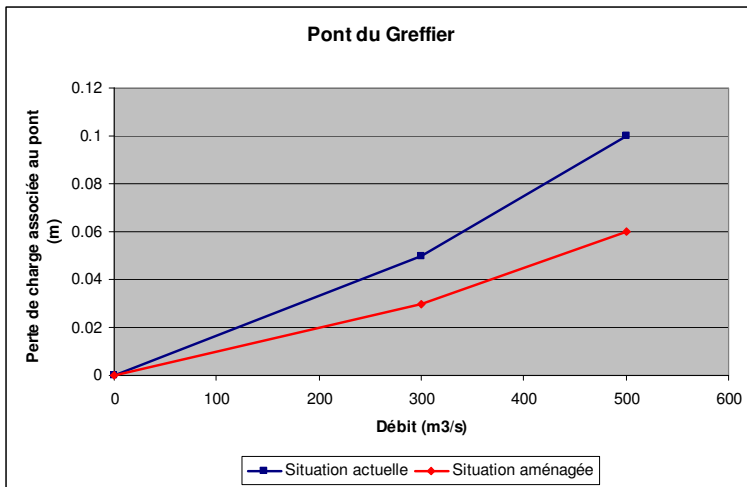
#### 8.1.1 Pont du Greffier

En situation actuelle, le pont du Greffier est modélisé par une loi paramétrique de perte de charge en fonction du débit (élément S.OA.16 du modèle Sarthe). Elle est calculée en considérant la fraction du débit qui coule en lit majeur qui permet d'évaluer l'obstruction à l'écoulement créée par l'ouvrage (méthode de Bradley). Cette loi de perte de charge est par ailleurs calée à l'aide des repères de crue dans la phase de calage du modèle. Les lois de perte de charge associées aux ponts font partie des éléments de calage locaux.

Les études antérieures indiquent un gain local, suite à l'aménagement du pont de 8 cm pour une crue de type janvier 1995, soit un gain de 44% par rapport à la perte de charge initiale. Nous avons appliqué ce coefficient de gain à la loi de perte de charge qui modélise le pont et obtenu une nouvelle loi entrée dans le modèle pour la phase d'analyse des impacts des projets :

Elément S.OA.16 en situation actuelle		Elément S.OA.16 en situation aménagée	
Débit ( $m^3/s$ )	Perte de charge (m)	Débit ( $m^3/s$ )	Perte de charge (m)
0	0	0	0
300	0.05	300	0.03
500	0.10	500	0.06

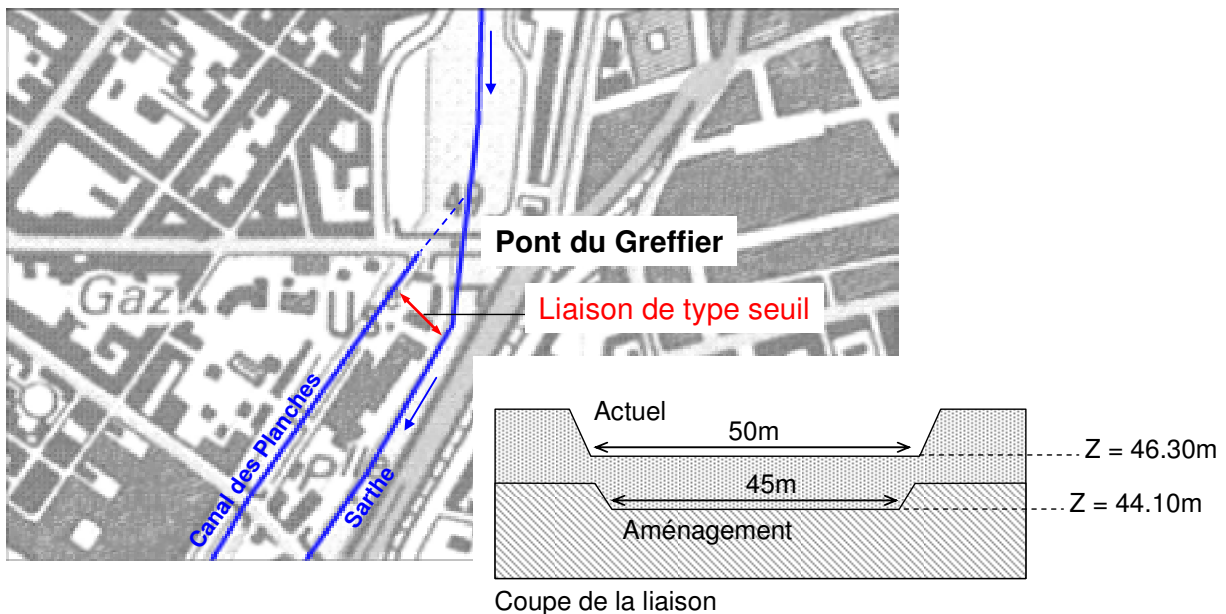
Courbe de la perte de charge en fonction du débit en situation actuelle et aménagée :



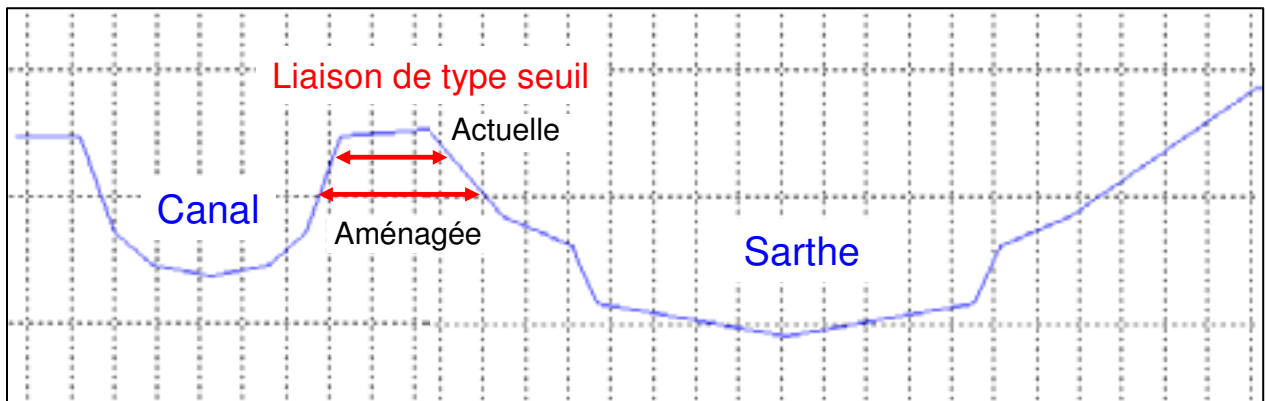
### 8.1.2 Ile aux Planches

En situation actuelle, le canal des Planches et la Sarthe sont reliés par une liaison de type seuil, de largeur 50 m et à la cote 46.30 m correspondant au terrain naturel à la pointe amont de l'île aux Planches.

L'aménagement consiste en la création d'un canal reliant le canal des Planches à la Sarthe. La liaison de type seuil est alors modifiée pour correspondre à la section d'écoulement du canal créé.



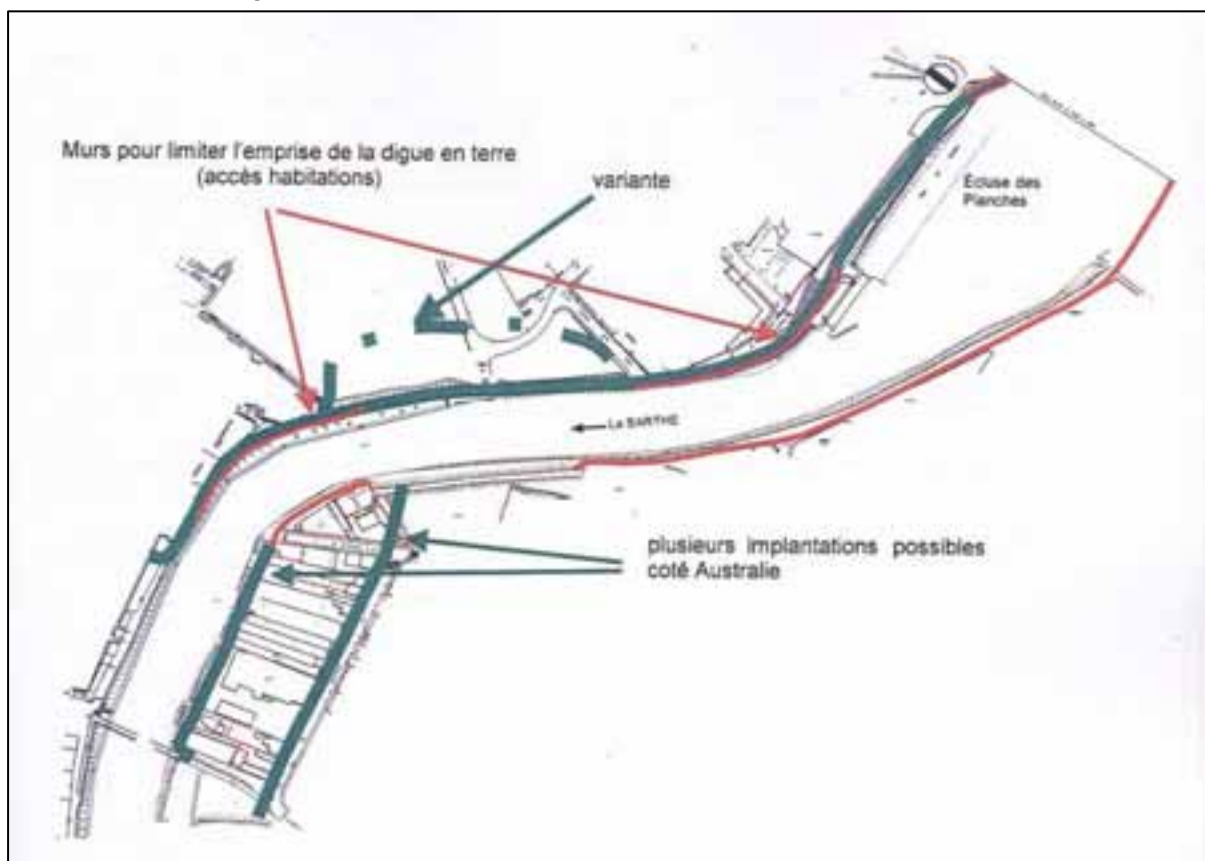
Vue en coupe du canal et de la Sarthe :



### 8.1.3 Diques Heuzé-Australie

Les digues à aménager ont pour but de protéger les quartiers Heuzé et Australie contre les crues inférieures ou égales à celle de 1995.

Schéma des aménagements :

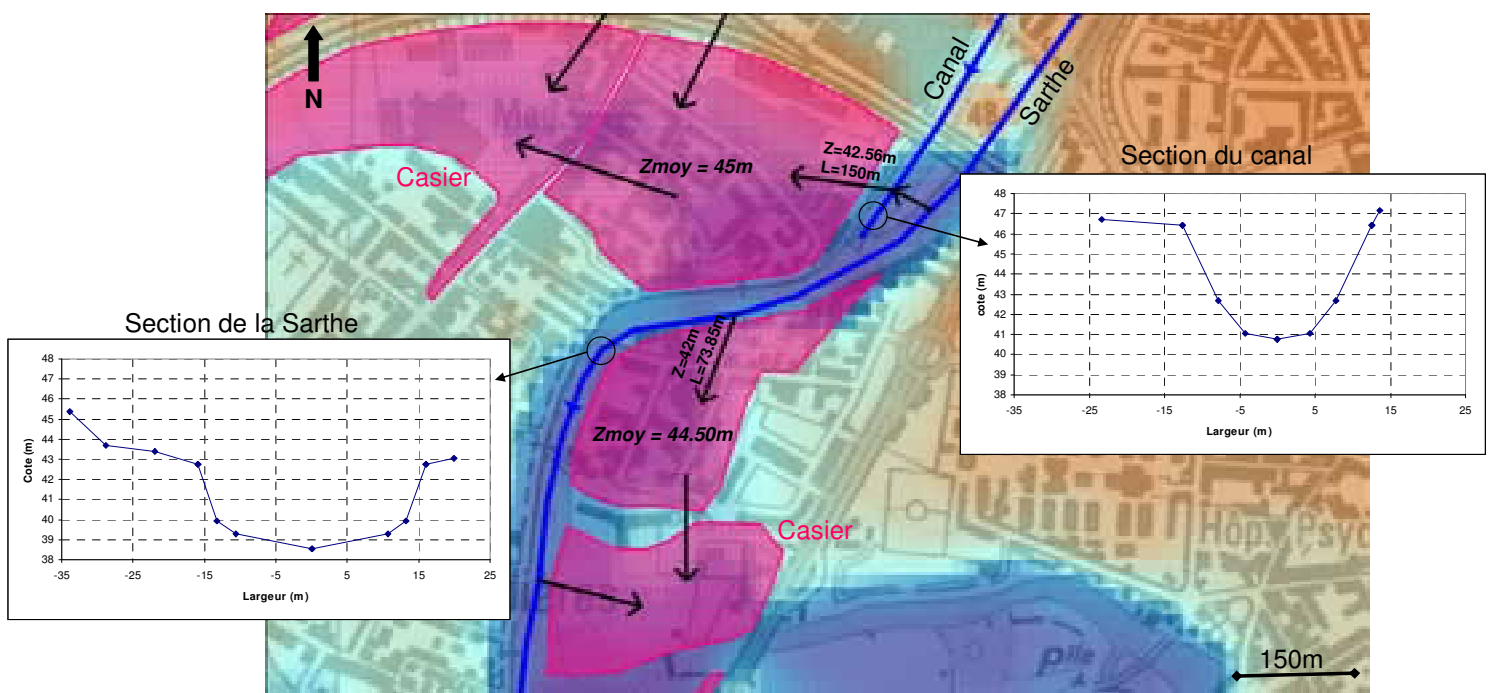


Cote des aménagements par secteur :



Le schéma en annexe 6 représente la topographie des deux quartiers (photogrammétrie CUM).

Sur la base de la topographie et des levés complémentaires effectués pendant l'étude de cohérence, on a construit le modèle en situation actuelle représenté ci-dessous :

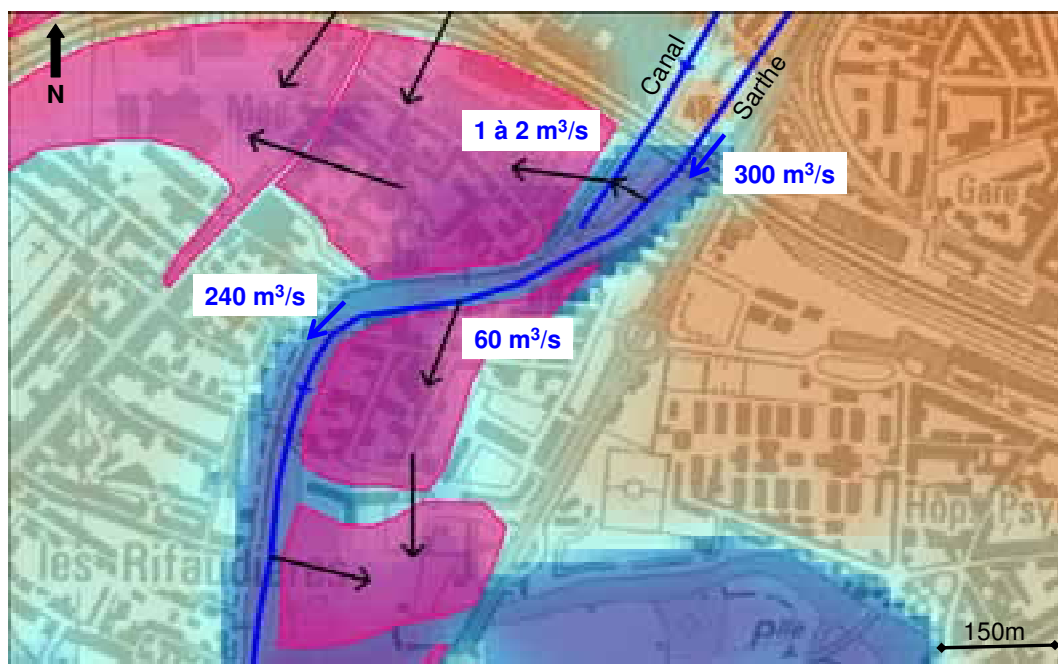


$Z_{moy}$ =cote moyenne du casier (polygone rose),  $Z$ =cote de la liaison,  $L$ =largeur de la liaison.

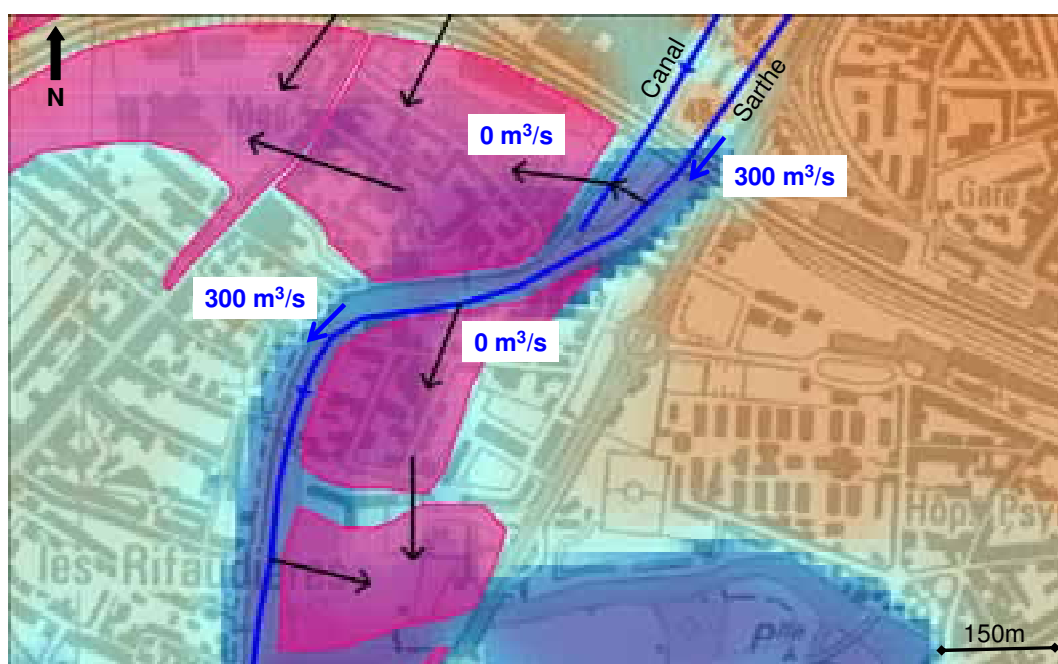
NB : les couleurs du fond représentent la topographie du terrain naturel.

Ce modèle est calé sur 4 crues de référence avec notamment les nombreux repères de crue dans la CUM pour la crue de janvier 1995.

Pour la crue de janvier 1995 au maximum de la crue, la répartition des débits est la suivante :



En situation aménagée (scénario 1), sans le Gué Ory ni les levées de l'Huisne, on modifie les cotes des liaisons comme indiqué sur les différents secteurs. Les digues permettent de supprimer les écoulements vers les casiers (on a supposé que la digue aval du quartier Australie était implantée sur la berge et non en retrait de la berge de la Sarthe). On obtient donc la répartition des débits comme indiqué ci-dessous :

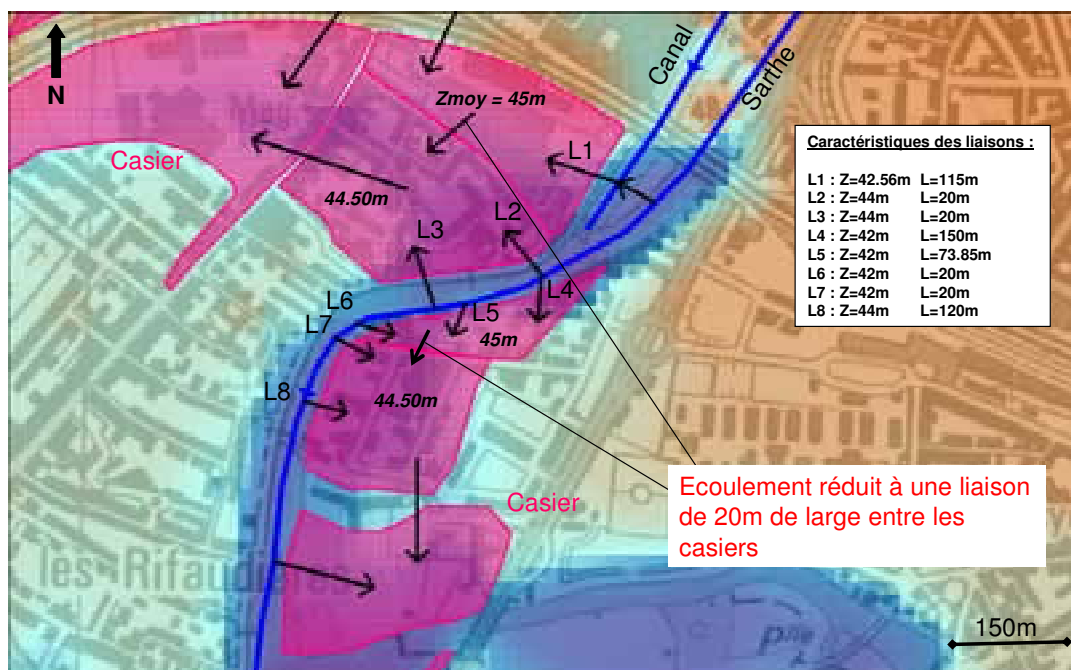


L'écoulement vers le casier du quartier Australie le plus au nord est totalement supprimé. Le quartier est protégé pour une crue type 1995. On note que l'objectif de l'aménagement est atteint.

Par ailleurs, cet aménagement induit localement une surélévation de la ligne d'eau de 8 cm au maximum de la crue qui n'est pas compensée par un autre aménagement du scénario 1.

Cette surélévation n'avait pas été mise en évidence dans l'étude « Elaboration d'une stratégie de réduction de l'impact des crues sur la communauté urbaine du Mans » BCEOM – 2001, relative à cet aménagement. Un découpage plus fin et une modélisation plus fine de la zone couvrant les deux quartiers ont été réalisés pour expliquer cette différence de résultats.

Dans la modélisation initiale, les obstacles à l'écoulement que constituent les diverses constructions sont modélisés par une forte rugosité. Afin d'affiner la représentation des écoulements dans ce secteur, les casiers sont redécoupés et les liaisons hydrauliques définies à partir d'une observation fine des axes potentiels d'écoulement : rues, routes, haies.... Dans la modélisation plus détaillée, les routes et rues sont représentées par des liaisons entre casiers, comme indiqué sur la figure ci-dessous :

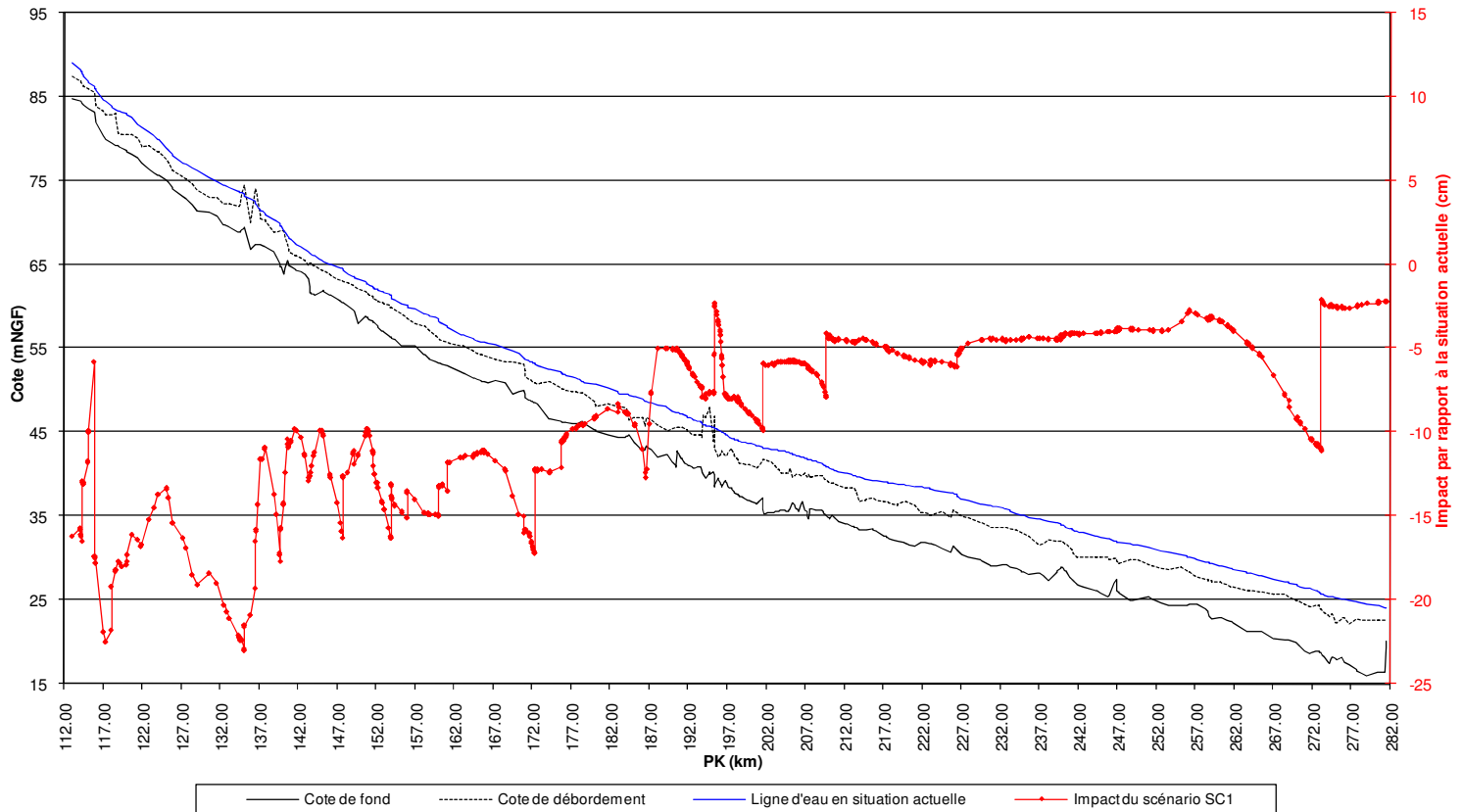


On simule avec ce modèle complémentaire la crue de janvier 1995 en situation actuelle, aménagée (scénario 1) et avec les digues seules et on observe :

- 1) En situation actuelle, le modèle détaillé donne un résultat plus proche en débit de l'étude BCEOM (2001) puisque 90% du débit se trouve dans le lit mineur, au lieu de 80% avec le premier modèle.
- 2) Avec le modèle détaillé, l'impact sur la ligne d'eau de l'ensemble des projets (scénario 1) est localement au droit des digues dans le lit mineur de -2.3 cm (voir profil en long des impacts page suivante) au lieu de +8 cm avec le premier modèle.

- 3) On observe tout de même que l'impact des digues seules est localement de +3.8 cm s'atténuant à +1 cm à 3 km en amont. Ce qui confirme ce qui avait été trouvé avec le premier modèle.

Sarthe - Crue de Janvier 1995 - Profil en long des impacts du scénario 1  
Modèle détaillé au niveau des digues Heuzé - Australie



### Enseignement apporté par ce « modèle complémentaire » :

L'impact de l'aménagement est sensible à la représentation des lieux qui est faite dans le modèle. Ainsi, avec deux modèles calés, on peut noter, pour un même aménagement, des différences quant aux impacts calculés sur la ligne d'eau du fait d'une répartition des débits légèrement différente.

A ce niveau d'impact, il ne faut pas perdre de vue la sensibilité des modèles aux paramètres de calage, évoquée au chapitre 5.

Nous tenons à souligner aussi que nous avons fait réaliser des levés topographiques complémentaires dans la traversée du Mans. La meilleure précision de la topographie entre en ligne de compte dans les différences de résultats constatées.

Dans l'étude « Elaboration d'une stratégie de réduction de l'impact des crues sur la communauté urbaine du Mans » BCEOM - 2001, nous relevons d'autres éléments pouvant

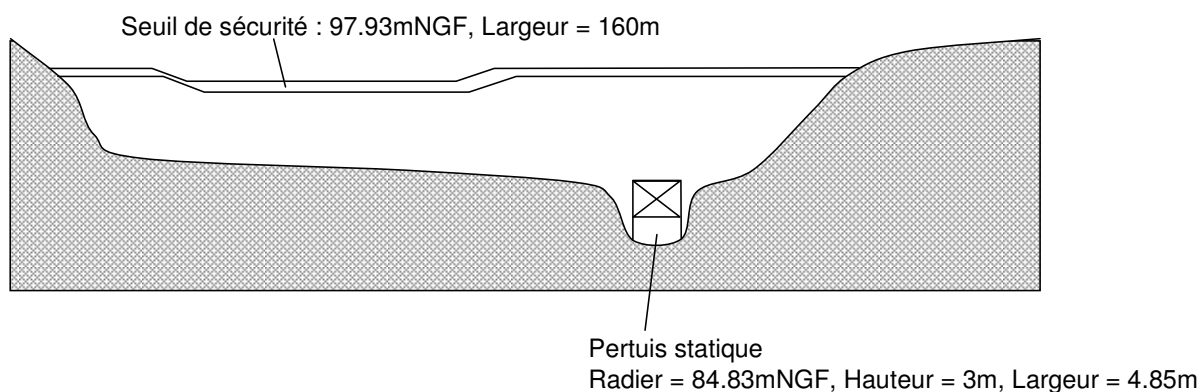
expliquer les différences de résultats :

BCEOM - 2001	Hydratec – Etude de cohérence
Utilisation d'un modèle STREAM à casiers pour le lit mineur et majeur de l'aval de la rocade nord à l'aval du moulin de Chaoué sur la Sarthe et de l'amont de Pontlieue à la confluence sur l'Huisne	Le modèle Hydratec est multifilaire avec casiers du Gué Ory à Beffes il représente donc l'ensemble du linéaire de la Sarthe et de l'Huisne
Utilisation d'un modèle ISIS filaire de l'aval de l'A11 à l'amont de la N23 sur la Sarthe et d'Yvré l'Evêque à la confluence sur l'Huisne	Le modèle Hydratec est multifilaire avec casiers de Margon à la confluence.
Hydrologie calculée au niveau de l'A11 sur la Sarthe à partir de la station de Montreuil et transfert de l'onde avec une représentation simplifiée de la vallée	Le modèle Hydratec génère sous HYDRARIV des apports sur tous les bassins versants et affluents, les débits sont ensuite propagés avec une modélisation hydraulique complète de la vallée de la Sarthe
31 aménagements modélisés sur la CUM pour la crue de janvier 1995	Le modèle Hydratec prend en compte 7 aménagements sur la CUM dans le scénario 1
Nous notons que dans l'étude antérieure, évoquée ci-dessus, la modélisation a porté sur un plus grand nombre d'aménagements.	Nous avons modélisé les aménagements actuellement projetés dans la traversée de l'agglomération du Mans. Les fiches des aménagements que nous avons pris en compte ont été validées par l'EP Loire.

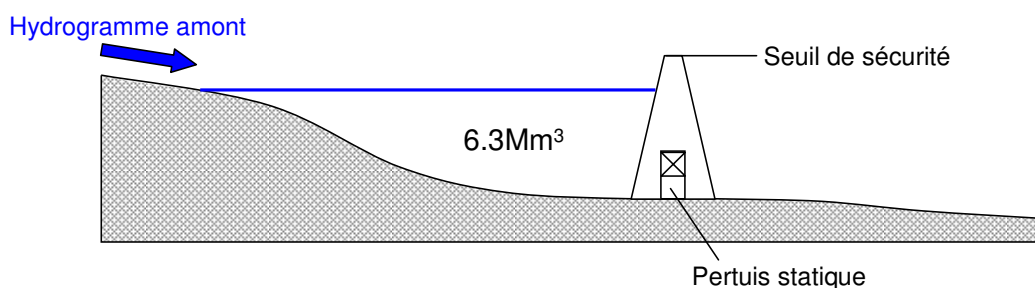
## 8.2 PRECISIONS SUR LA MODELISATION HYDRATEC : LE GUE ORY

Le Gué Ory est situé sur le premier point en amont du modèle Sarthe juste en aval de l'hydrogramme d'entrée amont du modèle. Il a été modélisé comme suit :

### Profil en travers de la Sarthe au droit de la digue



### Profil en long de la retenue



La loi utilisée pour le pertuis est une loi d'écoulement à travers une vanne considérant différents régimes noyés et dénoyés, la loi utilisée pour le seuil de sécurité est une loi d'écoulement sur un seuil considérant sa largeur, la hauteur déversante et le coefficient de seuil. Le volume de stockage est modélisé entre les cotes 84.83 et 97.93 mNGF.

Les simulations effectuées par Hydratec, pour la crue de janvier 1995 notamment, montrent que le volume de stockage modélisé est bien utilisé pour cette crue.

Concernant « Faisabilité d'une retenue d'écrêtement sur la Sarthe au Gué Ory – Etude hydraulique » BCEOM (2005), les éléments contenus dans le rapport ne nous permettent pas de comparer les méthodes utilisées pour modéliser le même ouvrage.

Nous notons toutefois les différences suivantes entre cette étude et l'étude de cohérence :

BCEOM - 2005	Hydratec – Etude de cohérence
82 profils existants dont 42 sur le Mans (en dehors du Mans 1 profil tous les 5km en moyenne), 1 profil extrapolé tous les km.	De nombreux levés complémentaires ont été réalisés pour l'étude de cohérence.

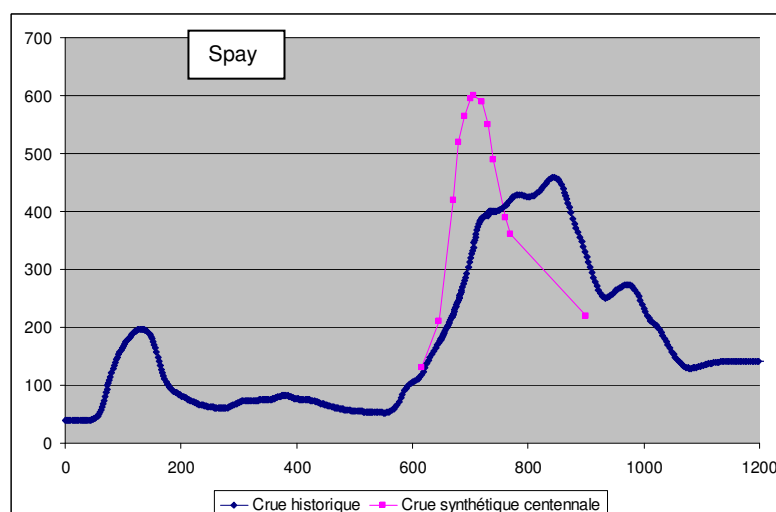
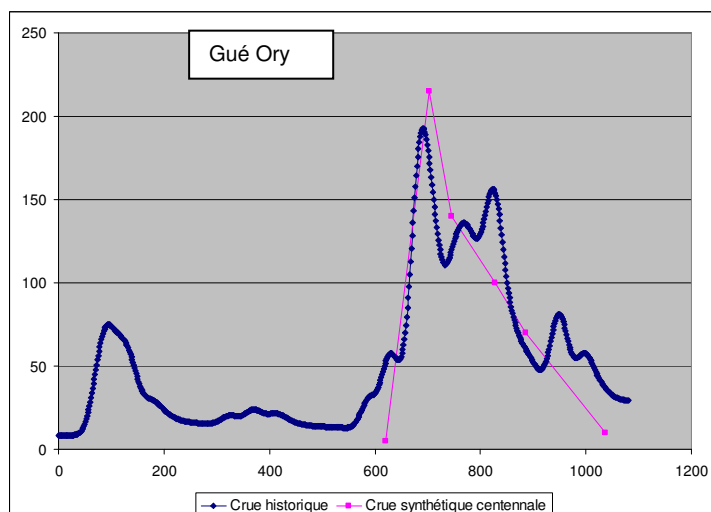
BCEOM - 2005	Hydratec – Etude de cohérence
Modélisation simplifiée de la Sarthe (210 km de St-Céneri à Beffes) avec le logiciel ISIS (ne prend pas en compte la sinuosité).	Le modèle Hydratec est un modèle multifilaire avec casiers représentant correctement les temps de propagation de la crue variant avec l'importance de la crue surtout en phase de débordement (voir calage du modèle), un simple décalage dans le temps des hydrogrammes, comme fait par le BCEOM, ne permet pas d'apprécier l'influence des zones d'expansion des crues sur le transfert des hydrogrammes.
3 apports latéraux au niveau de la Sarthe Mancelle, du Mans (l'Huisne), et de la Sarthe aval (Vègre, Erve et Vaige).	Les apports des bassins versants ont tous été générés par Hydratec avec la pluviométrie géoréférencée correspondant à chaque crue testée.
Travail sur des crues synthétiques monofréquences avec retard des affluents Sarthe aval de 80 à 90 heures.	Hydratec a modélisé 10 crues réelles.

Les situations hydrologiques modélisées ne sont pas identiques : hydrogrammes de crues historiques pour l'étude de cohérence / hydrogrammes synthétiques pour l'étude BCEOM - 2005. Cette différence peut expliquer des différences de gains des aménagements constatées entre les études pour les raisons suivantes.

### 8.2.1 Volumes écrêtés

Les volumes écoulés au dessus des seuils d'écrêtement de l'ouvrage ont un impact sur l'efficacité de l'ouvrage à son aval immédiat.

Ci-dessous : on compare des hydrogrammes de la crue synthétique centennale et de l'hydrogramme modélisé de la crue de janvier 1995 au Gué Ory et à Spay

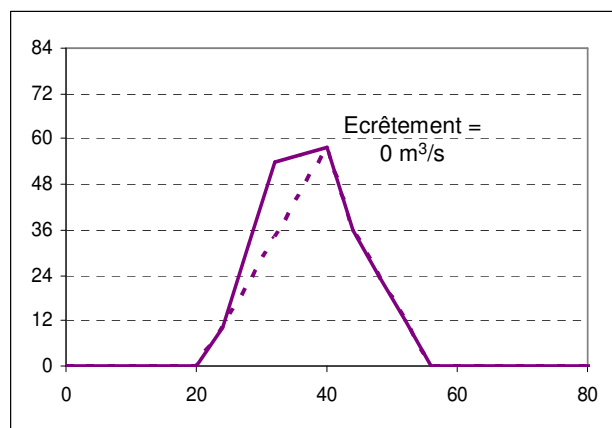
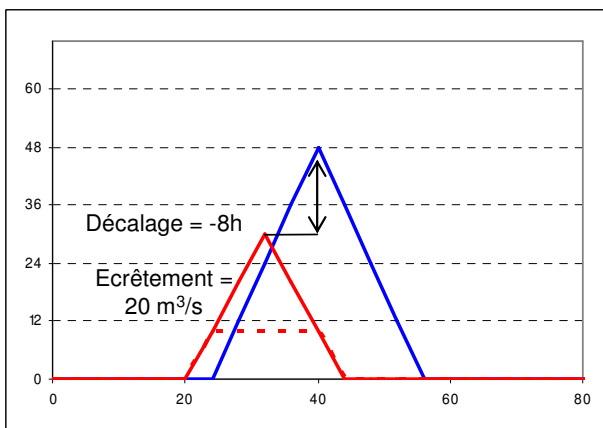
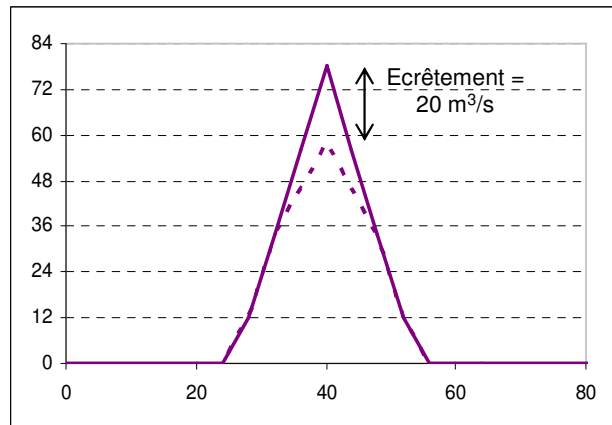
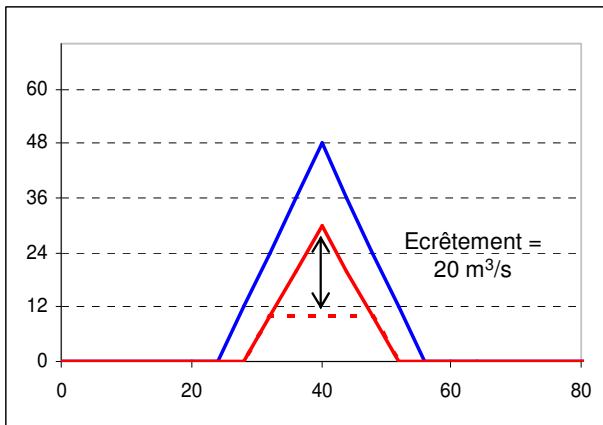
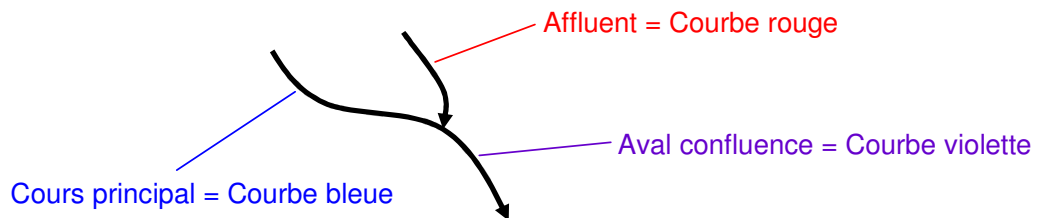


Les aménagements de type surstockage (ouvrages passifs) obtiennent leur impact maximal pour des crues à débit de pointe fort pour un volume mis en jeu faible.  
 Les crues réelles simulées ne présentent pas toujours ce type de profil. De plus, il nous paraît plus parlant d'évaluer l'impact des ouvrages pour des crues réelles car elles ont une signification pour les riverains et facilitent l'appréciation de l'impact.

### 8.2.2 Décalage temporel des pointes de crues des affluents

Le décalage temporel des pointes de crue de chacun des affluents au droit des confluences est primordial sur l'efficacité de l'écrêtement.

Ce principe est illustré sur le graphique ci-dessous. A gauche on représente les hydrogrammes de deux cours d'eau (traits pleins rouge et bleu) en amont de leur confluence, à droite l'hydrogramme aval résultant ; on représente en pointillé l'incidence d'un écrêtement de la pointe de crue sur l'un des deux affluents au droit de l'ouvrage (à gauche), et au niveau de la confluence (à droite) :



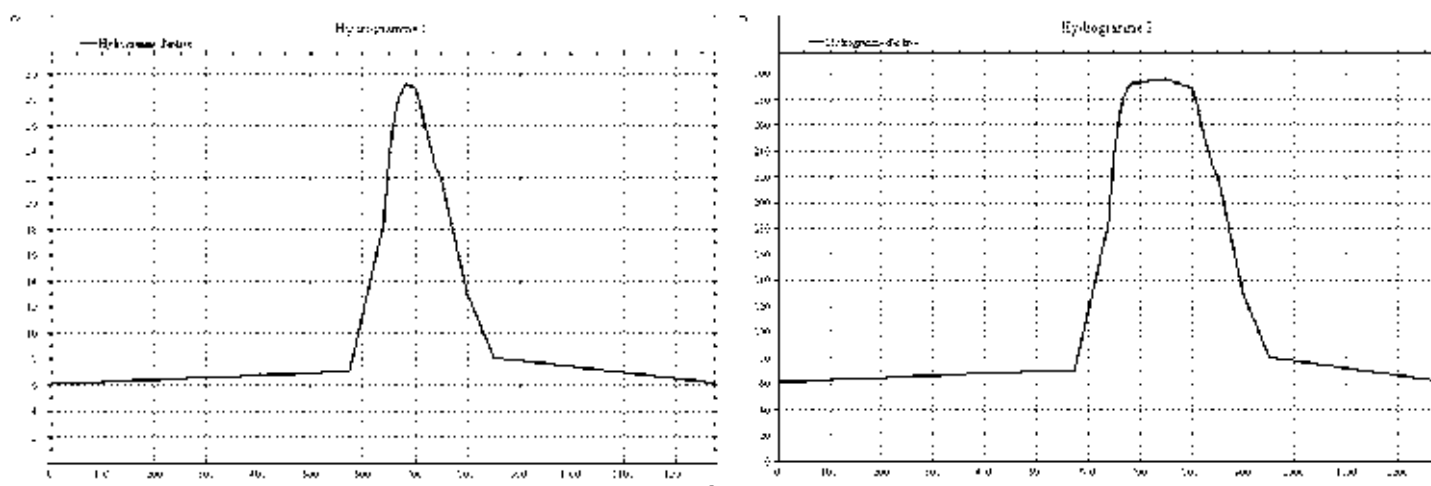
On constate que le débit écrêté sur l'un des affluents est généralement supérieur à l'écrêtement résultant en aval de la confluence.

Ainsi, à chaque confluence, la représentation du décalage temporel réellement observé entre la Sarthe et l'affluent permet de constater le degré d'efficacité d'un écrêtement vers l'aval. Le modèle Hydratec représente de façon très précise ces décalages puisque tous les apports des affluents sont modélisés en considérant la pluviométrie locale.

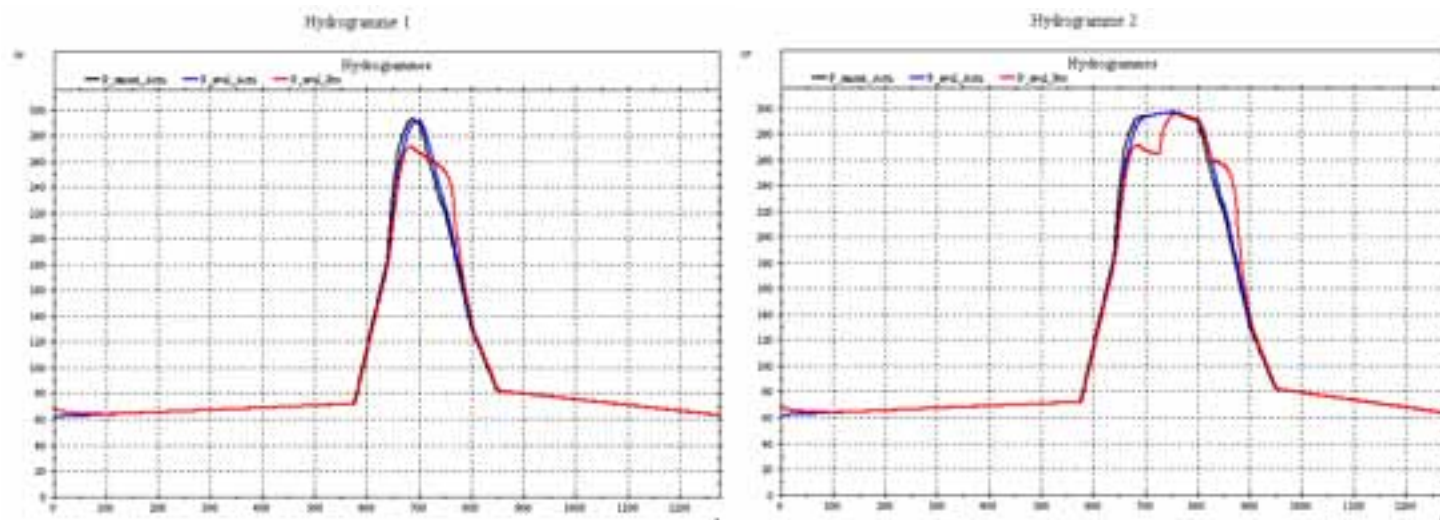
### 8.2.3 Forme des hydrogrammes d'entrée

Les graphiques suivants illustrent l'efficacité d'un ouvrage de surstockage passif en fonction de la forme de l'hydrogramme amont. On modélise pour un même ouvrage de stockage deux hydrogrammes d'entrée et on observe à l'aval l'écrêtement calculé, fonction de la capacité de l'ouvrage, de son débit de fuite et du volume de la crue écoulee.

Les deux hydrogrammes ont un débit maximum identique, mais le volume total de crue de l'hydrogramme 2 est supérieur de 80Mm<sup>3</sup>.



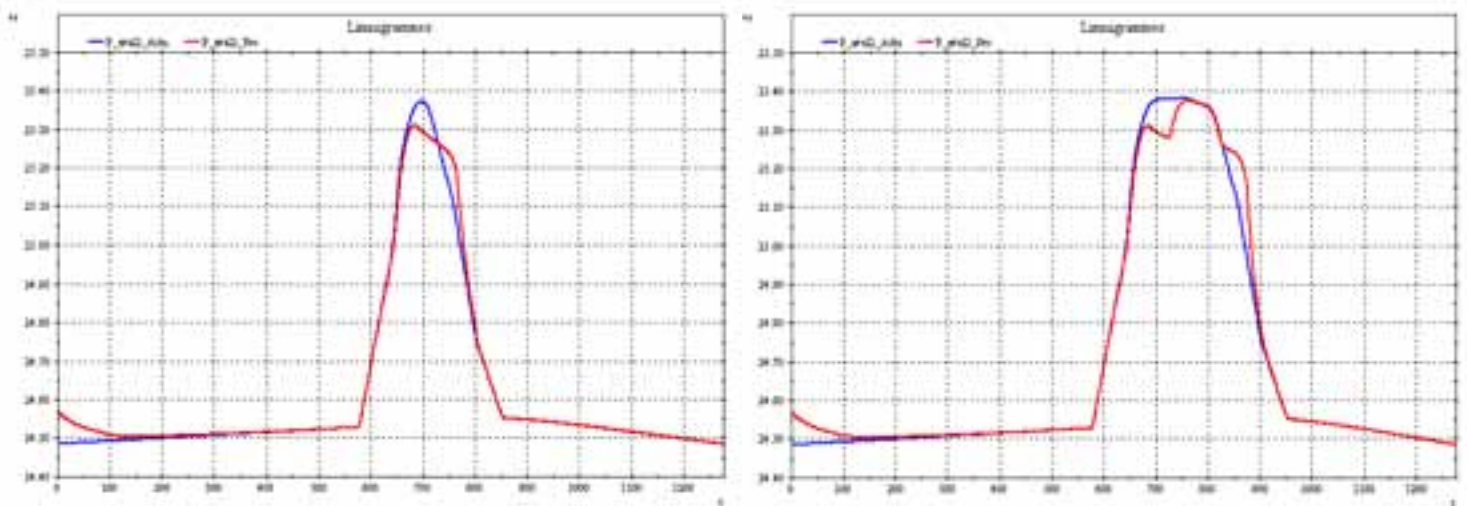
En aval de l'ouvrage de surstockage les hydrogrammes simulés avec et sans l'ouvrage sont les suivants :



On visualise en noir l'hydrogramme amont, en bleu l'hydrogramme aval sans l'ouvrage de stockage et en rouge l'hydrogramme aval écrêté par l'ouvrage.

On constate qu'avec le même ouvrage, dans le cas de l'hydrogramme 2, l'effet de l'ouvrage n'est pas significatif sur le débit maximum. Le volume de stockage disponible est entièrement utilisé et la pointe de débit n'est pas écrêtée. On constate le même débit de pointe en aval et en amont de l'ouvrage. Le stockage permet essentiellement de limiter la durée de la pointe de débit et de retarder l'instant de la pointe.

On constate également cet effet sur les hauteurs, sur les graphiques ci après :



Ci-dessus : en bleu le linnogramme aval sans l'ouvrage et en rouge avec l'ouvrage.

### 8.2.4 Conclusion

Ainsi, pour cet ouvrage du Gué Ory :

- nous ne pouvons pas comparer les méthodes de modélisation de l'ouvrage lui-même entre l'étude de cohérence et les études antérieures,
- la représentation de la géométrie de la vallée de la Sarthe a été améliorée pour l'étude de cohérence,
- l'hydrologie synthétique utilisée par le BCEOM tend, en comparaison avec des crues réelles historiques, à augmenter les impacts de l'ouvrage,
- dans l'étude antérieure, les apports latéraux ont été simplifiés, en particulier entre le Gué Ory et le Mans.

Il est donc logique que les deux modélisations donnent des résultats sensiblement différents, en particulier à la hauteur du Mans.

### 8.3 PRECISIONS SUR LA MODELISATION HYDRATEC : LES LEVEES TRANSVERSALES DE L'HUISNE

Les 25 levées transversales de l'Huisne sont modélisées par des lois de perte de charge en fonction du débit. Les lois sont calculées à partir de l'étude : « Ralentissement dynamique des crues par création de levées transversales dans le lit majeur de l'Huisne entre Nogent-le-Rotrou et Montfort-le-Gesnois » BRLI - 2001.

L'étude donne une estimation des pertes de charge pour chaque levée pour le débit centennal de l'Huisne. La majorité des levées coupe plusieurs bras de l'Huisne et comme le modèle Hydratec représente chacun de ces bras, la loi de perte de charge est répartie sur l'ensemble des bras interceptés par chaque levée.

Exemple : Levée N°2

Débit centennal Huisne  $\sim 200\text{m}^3/\text{s}$

Trois bras interceptés : Gauche - Centre - Droite

Perte de charge calculée dans l'étude BRLI : 0.69m

Répartition du débit entre les trois bras : 96 – 97 – 6

On modélise alors sur chaque bras une perte de charge de 0.69 m pour le débit centennal de la branche. Pour les autres valeurs de débit, la perte de charge suit une loi linéaire :

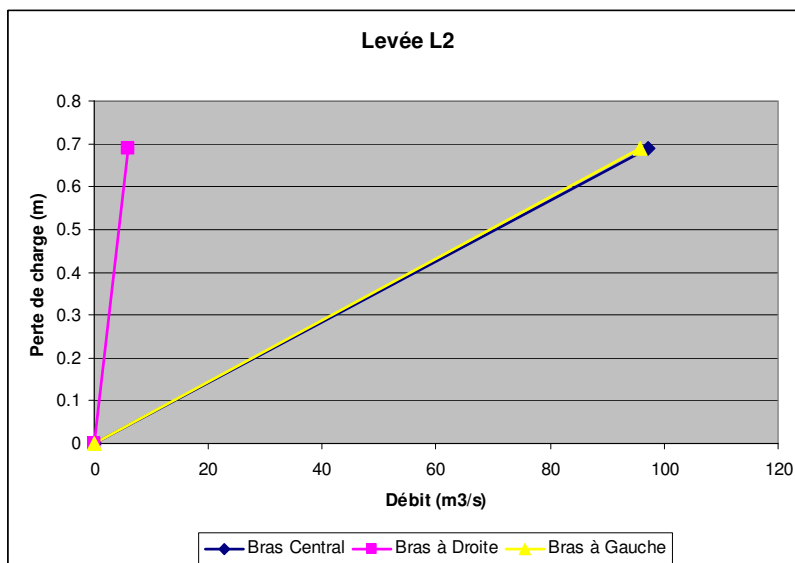
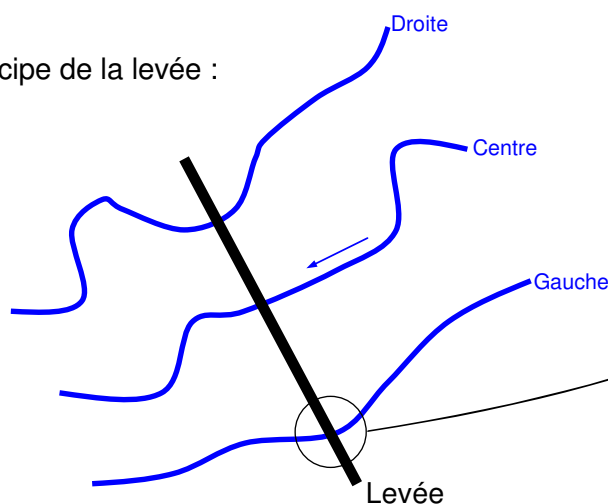
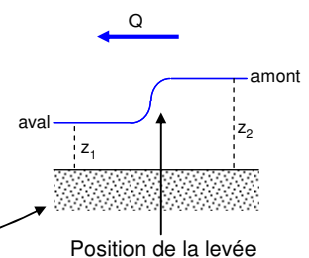


Schéma de principe de la levée :



Perte de charge =  $z_2 - z_1$   
calculée à chaque instant  
en fonction du débit Q



Dans l'étude « Ralentissement dynamique des crues par création de levées transversales dans le lit majeur de l'Huisne entre Nogent-le-Rotrou et Montfort-le-Gesnois » BRL 2001, nous relevons les différences suivantes avec l'étude de cohérence :

BRL - 2001	Hydratec – Etude cohérence
Modélisation monodimensionnelle entre Nogent et Montfort-le-Gesnois avec le logiciel HEC-RAS (sinuosité prise en compte).	Le modèle Hydratec est à une dimension multifilaire avec casiers.
90 profils en travers de lit mineur et majeur.	Levers complémentaires effectués pour l'étude de cohérence.
45 ouvrages transversaux.	Le modèle Hydratec de l'Huisne représente plus de 100 singularités de type ponts, moulins, barrages.
Faute de levés topographiques détaillés sur le tronçon entre la Pécardière et l'entrée Est du Mans, le calcul précis n'a pas pu être prolongé jusqu'en ce point par le modèle hydraulique.	Le modèle Hydratec permet de simuler tout le linéaire de l'Huisne jusqu'à la confluence avec la Sarthe avec un mode de résolution des équations hydrauliques unique de l'amont à l'aval.

Dans l'étude « Propagation des effets des levées transversales jusqu'aux quartiers Manceaux touchés par les crues de l'Huisne » BRL - 2004, nous relevons les différences suivantes avec l'étude de cohérence :

BRL - 2004	Hydratec – Etude cohérence
30 sections du lit mineur levées entre la Pécardière et Pontlieue espacées d'environ 400 m.	45 profils en travers du lit mineur et majeur entre la Pécardière et Pontlieue.
Modèle réalisé avec le logiciel ISIS en régime transitoire (sinuosité mal prise en compte).	Le modèle Hydratec est à une dimension multifilaire avec casiers et représente ainsi correctement les temps de propagation de la crue variant avec l'importance de la crue
Ponts, seuils et moulins modélisés.	Le modèle Hydratec représente plus de 100 singularités de type ponts, moulins, barrages.
Crues testées : crues synthétiques de période de retour 10, 20, 50 et 100 ans et crue type 1995 (181 m <sup>3</sup> /s à la Pécardière).	10 crues historiques modélisées.

Ainsi, notre modélisation permet une meilleure représentation de la vallée et de son réseau hydrographique, avec en particulier la prise en compte du caractère multifilaire des écoulements. La modélisation 1D faite en 2001 ou la modélisation sans prise en compte de la sinuosité faite en 2004 n'ont pas permis une représentation aussi satisfaisante.

Les impacts de ce type d'aménagements sont sensibles à la forme des hydrogrammes de crue. Nous avons modélisé des crues réelles, avec des apports latéraux et un apport en tête du modèle reconstitués par une modélisation pluie-débit. Il y a là aussi une source de différence avec les études antérieures. Comme nous l'avons vu pour l'ouvrage du Gué Ory, ce paramètre joue un rôle significatif dans l'estimation des impacts des ouvrages.

Rappelons que l'estimation des pertes de charge générées par une levée transversales est délicate comme l'ont montré les études faites pour la levée de Mouzon, dans la vallée de la Meuse (département des Ardennes) : une étude en 1D a donné une valeur, une étude en 2D (bidimensionnel) a donné une autre valeur, sensiblement différente, et ensuite une modélisation physique a encore donné une autre valeur.

Le SMPEI a fait réaliser cette année une étude avec une modélisation mathématique bidimensionnelle sur 3 levées de la vallée de l'Huisne. Nous n'avons pas pu en utiliser les résultats car ils n'étaient pas disponibles à temps. Même si nous avons pu en utiliser les résultats, ceux-ci n'auraient concerné que 3 levées sur 25, car l'étude a montré que les résultats pour les 3 levées ne pouvaient pas être étendus aux 22 autres.

Avant d'avancer sur les impacts des levées transversales envisagées dans la vallée de l'Huisne, il y a lieu de trancher ce problème d'évaluation des pertes de charge entraînées par ce type d'ouvrage.

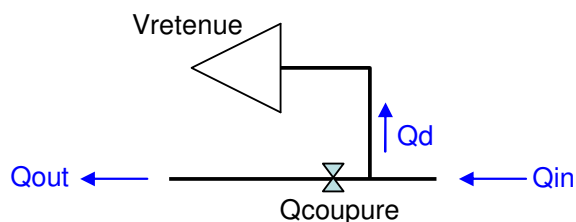
## 8.4 PRECISIONS SUR LA MODELISATION HYDRATEC : BASSIN DE L'oudon

### 8.4.1 Surstockages sur les affluents

Six des sept aménagements du bassin de l'Oudon sont sur des affluents de l'Oudon. Ils sont modélisés par des hydrogrammes d'apport, modifiés pour chaque crue à partir des données fournies dans les études antérieures (débit d'écrêtement et volume de stockage).

Nous n'avons pas d'éléments pour déterminer les impacts de ces aménagements sur les niveaux d'eau des affluents puisque leur linéaire n'est pas modélisé.

Le module de surstockage utilisé, agissant sur le débit des affluents, est décrit par le schéma suivant :



Vretenue : volume de stockage disponible

Qin : débit amont de l'affluent (calculé par une loi pluie-débit)

Qout : débit aval

Qd : débit dérivé vers la retenue

Qcoupure : débit de début de stockage

Le débit aval est calculé comme suit :

$$\begin{cases} \text{si } Q_{in} < Q_{coupure} \rightarrow Q_{out} = Q_{in} \\ \text{si } Q_{in} > Q_{coupure} \rightarrow Q_{out} = Q_{coupure} \\ \text{et si } V_{retenue} \text{ est atteint} \rightarrow Q_{out} = Q_{in} \end{cases}$$

Lorsque le volume de remplissage atteint le volume de la retenue par le débit  $Q_d$ , le débit aval est égal au débit amont :  $Q_{out} = Q_{in}$ .

Dans cette modélisation très simplifiée on ne se préoccupe pas de la restitution à l'aval de la retenue après la pointe de crue (comme si elle n'était jamais vidangée).

Les études antérieures relatives à ces aménagements ont été réalisées à une échelle beaucoup plus fine prenant en compte un seul aménagement. Les incidences sur les cotes d'inondation en aval des ouvrages ne sont pas quantifiées puisque ces cours d'eau ne sont pas modélisés dans l'étude de cohérence.

On s'est attaché dans l'étude de cohérence, à respecter les gains en débit définis dans ces études en estimant le débit de coupure et le volume de la retenue du module de surstockage.

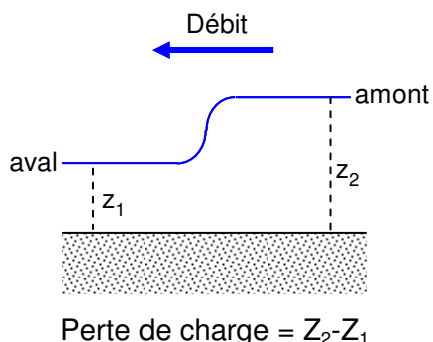
Le débit de coupure peut être estimé en comparant pour différentes crues le débit maximal entrant et sortant de l'ouvrage.

Les différences de résultats entre ces études et l'étude de cohérence peuvent donc s'expliquer par les différences d'échelle de modélisation et la quantité de données disponibles pour évaluer les paramètres du module de surstockage. Plus on dispose de données sur des crues réelles plus les résultats de l'étude de cohérence sont fidèles à ces données. Si au contraire on ne dispose que de données sur des crues synthétiques il est plus difficile d'évaluer l'impact des surstockages sur les crues réelles modélisées dans l'étude de cohérence.

D'autre part, l'étude de cohérence évalue l'impact de l'ensemble des surstockages ou des combinaisons de plusieurs surstockages à l'échelle du bassin versant global de l'Oudon, ces mêmes combinaisons ne sont pas analysées dans les études antérieures.

#### 8.4.2 Vieux Pont de Segré

Nous avons modélisé le Vieux Pont de Segré par un élément de type perte de charge de la même façon que pour le Pont du Greffier au Mans :



L'aménagement de l'ouvrage est modélisé à partir des données de l'Etude préliminaire de réduction des risques inondation par les crues de l'Oudon à l'amont et dans Segré (ISL – 2000). Elle indique un gain de -30cm, soit -49% sur la perte de charge initiale pour un débit de 220 m<sup>3</sup>/s.

La perte de charge initiale de l'élément modélisé est donc corrigée de -49% pour l'ensemble des débits.

	ISL – 2000	Hydratec – Etude de cohérence
<i>Type de modélisation</i>	Logiciel Carima : modélisation 1D des écoulements permanents ou transitoires à surface libre dans les réseaux ramifiés ou maillés de rivières. Modèle de Nyoiseau à Maingué avec 60 profils en travers.	Modélisation filaire à une dimension de l'aval de Craon à Maingué. 65 profils en travers dont 5 levés pour l'étude de cohérence à l'amont de Nyoiseau.
<i>Impacts calculés sur l'Oudon</i>	Crue de février 1996 – Impact de -30cm en amont immédiat de l'ouvrage, aucun impact à l'aval	Crue de février 1996 – Impact de -27.5cm en amont immédiat de l'ouvrage, impact de +1.80cm en aval dû à l'augmentation du débit en aval immédiat du pont.

Les éléments présentés ici ne permettent pas de conclure sur la variabilité des résultats entre les études antérieures et l'étude de cohérence.

## 8.5 SYNTHÈSE

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, ce qui n'a par exemple pas été le cas pour l'étude antérieure pour le Gué Ory,
- 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, pour le Gué Ory et pour les levées transversales de la vallée de l'Huisne montrent que :

- pour la traversée du Mans :

- l'impact des endiguements est sensible à la représentation des lieux qui est faite au niveau des casiers,
- à ce niveau d'impact, il ne faut pas perdre de vue la sensibilité des modèles aux paramètres de calage (évoquée précédemment dans ce rapport),
- les différences d'impact en aval relevées pour le Gué Ory et pour les levées de l'Huisne proviennent, au moins en partie, de différences dans la représentation des vallées et de leurs cours d'eau et de différences dans les hydrologies testées ; avec une meilleure représentation des vallées et de leurs cours d'eau, une hydrologie réelle (crues historiques) et une bonne représentation des apports des affluents, il nous semble que la modélisation mise en œuvre dans l'étude de cohérence est de nature à donner des résultats plus conformes à la réalité du terrain et des phénomènes que les études antérieures.

Les éléments présentés pour l'Oudon ne permettent pas de conclure sur la variabilité des résultats entre les études antérieures et l'étude de cohérence.

## 9 CONCLUSION

### 9.1 RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ETUDE

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.**

### 9.2 RAPPEL DES 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 levées 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 levées 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	O-7	S-2 + S-3 + S-4 + S-5 + S-6 + S-7	H-1 + H-2 + H-3 + H-4 + H-5	L-1 + L-2 + L-3
2	O-1 + O-2 + O-3 + O-4 + O-5 + O-6 + O-7	S-1 + S-2 + S-3 + S-4 + S-5 + S-6 + S-7	H-1 + H-2 + H-3 + H-4 + H-5 + H-6	L-1 + L-2 + L-3 + L-4
3	O-2 + O-3 + O-4 + O-5 + O-6 + O-7	S-2 + S-3 + S-4 + S-5 + S-6 + S-7	H-1 + H-2 + H-3 + H-4 + H-5 + H-6	L-1 + L-2 + L-3
4	O-3 + O-4 + O-5 + O-6 + O-7	S-1 + S-2 + S-3 + S-4 + S-5 + S-6 + S-7	H-1 + H-2 + H-3 + H-4 + H-5	L-1 + L-2 + L-3
5	O-3 + O-4 + O-6 + O-7	S-1 + S-2 + S-3 + S-4 + S-5 + S-6 + S-7	H-1 + H-2 + H-3 + H-4 + H-5	L-1 + L-2 + L-3

Aménagements prévus sur le bassin de l'Oudon :

- O-1 : Stockage Mée,
- O-2 : Stockage Guéhardière,
- O-3 : Stockage Grande Queille,
- O-4 : Stockage Argos-Verzée,
- O-5 : Stockage Oudon-Nord,
- O-6 : Stockage Guiardière,
- O-7 : Agrandissement vieux pont de Segré.

Aménagements prévus sur la Sarthe :

- S-1 : Retenue sèche du Gué Ory (version 3C),
- S-2 : Mise en place des clapets du barrage de Sablé,
- S-3 : Augmentation du débouché hydraulique du pont du Greffier,
- S-4 : Endiguement quartiers Heuzé et Australie,
- S-5 : Déversoir sur l'Île aux Planches,
- S-6 : Réaménagement du lit des cours d'eau Vivoain et Montbizot,
- S-7 : Mise en place de clapets aux barrages de St-Georges, Chaoué, Spay (Sarthe) et Gué Maulny (Huisne).

Aménagements prévus sur l'Huisne :

- H-1 : Retenue de Margon,
- H-2 : Déblaiement du remblai SNCF à Connerré,
- H-3 : Bras de décharge du pont des Abattoirs,
- H-4 : Modernisation barrage du Foulon,
- H-5 : Digue quartier Crétois,
- H-6 : 25 levées transversales de l'Huisne.

Aménagements prévus sur le Loir :

- L-1 : Tranchée dans le remblai SNCF de la Flèche,
- L-2 : Décharge sous RD70 à Bazouges,
- L-3 : Effacement du Moulin Neuf à Bazouges,
- L-4 : 9 levées transversales du Loir.

### **9.3 INCIDENCES SUR LA PROPAGATION DES CRUES**

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.

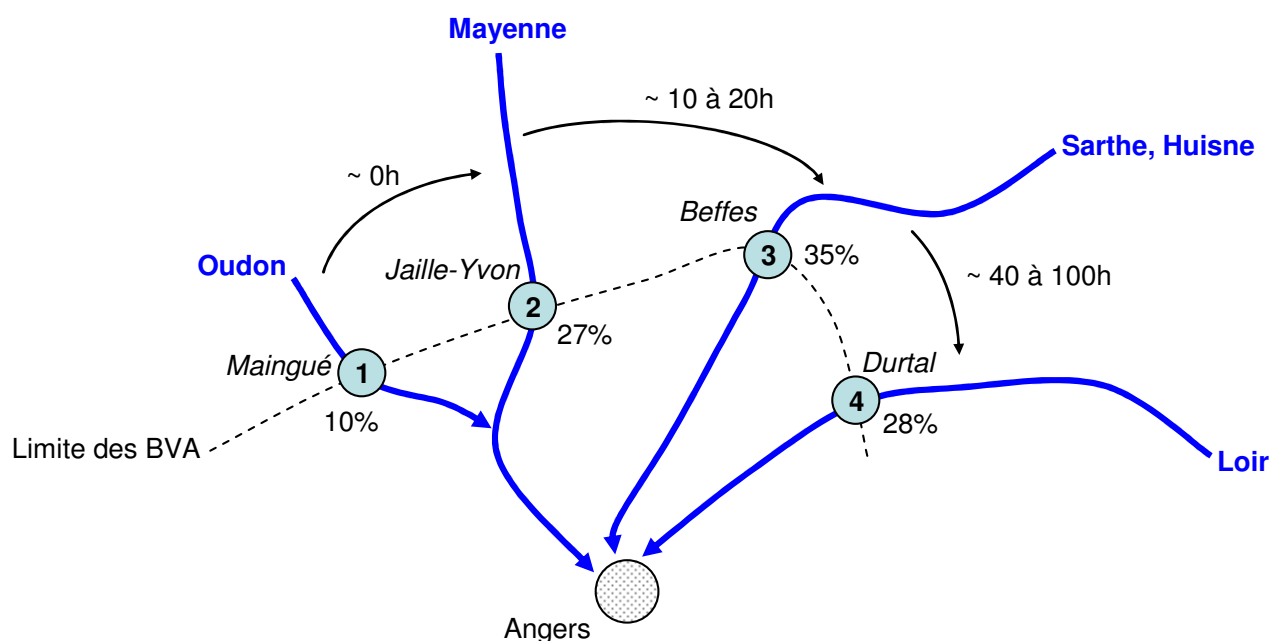
Ces hydrogrammes sont très peu déformés et l'ordre d'arrivée des différentes pointes de crue reste inchangé. On peut mettre en évidence cette invariabilité sur l'ensemble des crues testées.

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 avec 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 en retard 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 dans la situation actuelle.



**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 Chapitre 9.1 Rappel des objectifs de l'étude).**

Cependant, comme on pouvait s'y attendre, un certain nombre d'aménagements locaux entraînent une surélévation des cotes de crue en aval (de quelques cm) : cf Chapitre 9.4.

#### **9.4 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 modélisation indique pour la crue de 1995, que la digue du quartier Heuzé-Australie génère une surélévation de quelques cm. Un zoom a montré toutefois que ce résultat dépendait 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, les ouvrages 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 la moitié amont du modèle et de 20 à 85 cm sur la moitié aval,
- sur la Sarthe, le Gué Ory permet de baisser globalement la ligne d'eau jusqu'à 25 cm à Fresnay pour la crue de janvier 1995, la baisse est encore de 6 cm au Mans et de 3

cm en aval du Mans,

- sur l'Huisne, les 7 levées les plus en amont ont un impact négatif sur la ligne d'eau. Globalement les 25 levées ont un impact positif à partir de Connerré, 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 des levées, la ligne d'eau est abaissée de 5 à 10 cm en moyenne pour la crue de janvier 2004. Une étude portée par le Syndicat Mixte des Protections Eloignées contre les Inondations (SMPEI) analysant les enjeux de surinondation a amené toutefois à 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 correspondant à l'aménagement 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 précédemment réalisées par le SMPEI. 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 bidimensionnelle sur les levées de l'Huisne sous maîtrise d'Ouvrage du SMPEI.

Les pertes de charge rentrées dans le modèle constituent l'hypothèse haute.

Ces levées ainsi testées ont des impacts locaux 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, celles de l'Huisne n'apportent qu'un gain plus limité.

## **9.5 REMARQUES SUR LES DIFFERENCES OBSERVEES PAR RAPPORT AUX ETUDES PARTICULIERES ANTERIEURES DE CERTAINS OUVRAGES**

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 intégrant l'ensemble des affluents, 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.

En conclusion, l'étude de cohérence :

- apporte des résultats plus proches de la réalité en ce qui concerne le niveau des crues,
- trouve ses limites dans le cadre d'études locales fines telles que celle menée à l'échelle de l'agglomération mancelle.

## 9.6 CONCLUSION GENERALE

**Les principales conclusions de l'étude de cohérence sont les suivantes :**

**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).**

**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).**