

EPALA

---

DIREN CENTRE

**PROTECTION CONTRE LES  
INONDATIONS DU BASSIN DE LA  
SARTHE**

**RAPPORT D'ETUDE**

## SOMMAIRE

---

<b>CONTEXTE GENERAL</b>	<b>1</b>
<b>A. MODELISATION SIMPLIFIEE DE LA SARTHE</b>	<b>2</b>
<b>A.I. INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>A.II. PRESENTATION DU MODELE HYDRAULIQUE</b>	<b>3</b>
<b>A.III. GEOMETRISATION DE LA VALLEE INONDABLE ET DU LIT MINEUR</b>	<b>3</b>
<b>A.IV. CONDITIONS AUX LIMITES</b>	<b>4</b>
<b>A.V. CALAGE</b>	<b>5</b>
<b>A.VI. CRUE CENTENNALE</b>	<b>6</b>
<b>A.VII. AMENAGEMENTS</b>	<b>6</b>
<b>B. FAISABILITE D'UNE SERIE DE LEVEES TRANSVERSALES</b>	<b>7</b>
<b>B.I. INTRODUCTION</b>	<b>8</b>
<b>B.II. ANALYSE DES SITES</b>	<b>8</b>
<b>B.III. CARACTERISTIQUES DES LEVEES</b>	<b>10</b>
<b>B.IV. EFFET DES LEVEES</b>	<b>12</b>
B.IV.1. Effet en terme de débit	12
B.IV.2. Effet sur les temps de propagation	12
B.IV.3. Effet sur les hauteurs d'inondation	13
<b>B.V. UNE EFFICACITE PLUS FAIBLE QUE SUR L'HUISNE</b>	<b>13</b>
<b>B.VI. ESTIMATION SOMMAIRE DU COUT DES LEVEES</b>	<b>14</b>
<b>B.VII. CONCLUSION</b>	<b>15</b>
<b>C. FAISABILITE D'UNE RETENUE D'ECRETEMENT DES CRUES SUR LE MERDEREAU</b>	<b>16</b>
<b>C.I. INTRODUCTION</b>	<b>17</b>
C.I.1. Présentation	17
C.I.2. Principes de l'écrêtement par une retenue	17
<b>C.II. ANALYSE DES SITES POTENTIELS DE RETENUE</b>	<b>18</b>
C.II.1. Bassin versant du merdereau	18
C.II.2. Recherche des sites potentiels de retenue	18
C.II.3. Topographie - morphologie	19
C.II.4. Géologie	19
C.II.5. Occupation du sol	21
C.II.6. Voies de communication	21

C.II.7. Infrastructures, équipements, activités	21
C.II.8. Milieu naturel - patrimoine	22
C.II.8.1. Les zonages	22
C.II.8.2. Contraintes piscicoles	22
C.II.8.3. Contraintes liées au patrimoine	23
C.II.8.4. SDAGE	23
C.II.8.5. Synthèse	23
C.II.8.6. Contraintes liées à une retenue permanente	24
<b>C.III. HYDROLOGIE</b>	<b>26</b>
<b>C.IV. MODALITES DE GESTION</b>	<b>27</b>
C.IV.1. Objectif d'écrêtement	27
C.IV.2. Modalités de Gestion envisagées	28
C.IV.2.1. Gestion sans intervention	28
C.IV.2.2. Gestion avec intervention	28
C.IV.3. Fonctions doubles	29
C.IV.3.1. Eau potable	29
C.IV.3.2. Irrigation	30
C.IV.3.3. Loisirs	30
C.IV.3.4. Soutien d'étiage	30
C.IV.3.5. Règles de gestion	30
<b>C.V. PREDIMENSIONNEMENT</b>	<b>32</b>
C.V.1. Digue	32
C.V.2. Pertuis de fond	32
C.V.3. Déversoir de sécurité	33
<b>C.VI. ECRETEMENTS</b>	<b>33</b>
<b>C.VII. ESTIMATION SOMMAIRE DES COUTS</b>	<b>35</b>
<b>C.VIII. CONCLUSION</b>	<b>36</b>
<b>D. FAISABILITE D'UNE RETENUE D'ECRETEMENT DES CRUES SUR LA SARTHE AU GUE ORY</b>	<b>38</b>
<b>D.I. INTRODUCTION</b>	<b>39</b>
<b>D.II. ANALYSE DU SITE</b>	<b>39</b>
D.II.1. Études existantes	39
D.II.2. Bassin versant	40
D.II.3. Topographie - morphologie du site	40
D.II.4. Géologie	41
D.II.5. Occupation des sols	42
D.II.6. Habitat	42
D.II.7. Voies de communication	42
D.II.8. Équipements - infrastructures	43
D.II.9. Activités	43
D.II.10. Milieu naturel - Patrimoine	44
D.II.10.1. Les zonages	44
D.II.10.2. Contraintes piscicoles	44
D.II.10.3. Contraintes liées au patrimoine	45
D.II.10.4. Paysage	45
D.II.10.5. SDAGE	45
D.II.10.6. Synthèse	45
D.II.10.7. Contraintes liées à une retenue permanente	46

D.II.11. Courbes hauteur - volume - surface	47
D.II.12. Synthèse	47
<b>D.III. HYDROLOGIE</b>	<b>48</b>
<b>D.IV. PREVISION DES CRUES</b>	<b>50</b>
<b>D.V. MODALITES DE GESTION</b>	<b>51</b>
D.V.1. Objectif d'écrêtement	51
D.V.2. Modalités de gestion envisagées	51
D.V.2.1. Gestion sans intervention	51
D.V.2.2. Gestion avec intervention	52
D.V.3. Fonctions doubles	53
D.V.3.1. Loisirs	53
D.V.3.2. Soutien d'étiage	54
D.V.3.3. Eau potable	54
D.V.3.4. Irrigation	54
D.V.3.5. Règles de gestion	54
<b>D.VI. PREDIMENSIONNEMENT</b>	<b>57</b>
D.VI.1. Digue	57
D.VI.2. Pertuis de fond	57
D.VI.3. Déversoir de sécurité	58
<b>D.VII. ECRETEMENTS</b>	<b>59</b>
<b>D.VIII. EFFICACITE A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT</b>	<b>61</b>
D.VIII.1. Scénario 1.3	61
D.VIII.2. Scénario 3.2	62
<b>D.IX. ESTIMATION SOMMAIRE DES COUTS</b>	<b>63</b>
<b>D.X. CONCLUSION</b>	<b>64</b>
<b>E. COMBINAISONS D'AMENAGEMENTS</b>	<b>67</b>
<b>E.I. INTRODUCTION</b>	<b>68</b>
<b>E.II. COMBINAISONS D'AMENAGEMENTS SUR LA SARTHE</b>	<b>68</b>
E.II.1. Levées transversales + retenue au Gué Ory	68
E.II.2. Levées transversales + retenue au gué ory + retenue au merdereau	69
<b>E.III. LES COMBINAISONS AVEC LES AMENAGEMENTS PROJETES SUR L'HUISNE</b>	<b>70</b>
E.III.1. Retenue au Gué Ory et retenues Huisne amont	70
E.III.1.1. Crue centennale Sarthe + crue vingtennale Huisne	71
E.III.1.2. Crue cinquennale Sarthe amont + crue centennale Huisne ⇒ crue centennale Sarthe aval	71
E.III.2. Retenue au Gué Ory et levées transversales sur l'Huisne	72
<b>E.IV. CONCLUSION</b>	<b>73</b>

## CONTEXTE GENERAL

En 1997, a été lancée une étude relative aux crises hydrologiques du bassin de la Maine (Étude « 3P ») visant à définir une politique globale d'intervention s'orientant autour des trois axes suivants :

- prévention,
- prévision,
- protection.

La première phase de cette étude a été réalisée intégralement et a, d'ores et déjà, permis d'identifier une série d'aménagements.

Sur le bassin de la Sarthe, trois types d'aménagements sont envisagés :

- une retenue d'écrêtement sur le Merdereau,
- une retenue d'écrêtement sur la Sarthe au Gué Ory,
- une série de levées transversales dans le lit majeur de la Sarthe en amont et en aval du Mans (25 levées envisagées). Leur localisation n'est pas précisément définie.

Par ailleurs, trois retenues d'écrêtement et 53 levées transversales sont envisagées sur l'Huisne dont la faisabilité et l'efficacité globale ont déjà été étudiées à l'échelle du sous-bassin.

La présente étude a pour objet d'étudier la faisabilité et l'efficacité des aménagements envisagés sur la Sarthe, et leur compatibilité avec les aménagements projetés sur l'Huisne.

Elle se décompose en 5 parties :

1. Modélisation sommaire de la Sarthe,
2. Faisabilité des levées transversales et efficacité à l'échelle du bassin,
3. Faisabilité d'une retenue sur le Merdereau et efficacité à l'échelle du bassin,
4. Faisabilité d'une retenue sur la Sarthe au Gué Ory et efficacité à l'échelle du bassin,
5. Combinaisons d'aménagement.

Les annexes sont rassemblées dans deux volumes indépendants.

## A. MODELISATION SIMPLIFIEE DE LA SARTHE

## A.I. INTRODUCTION

La réalisation d'une modélisation simplifiée de la Sarthe a deux objectifs :

- évaluer l'efficacité des solutions envisagées à l'échelle du bassin versant,
- tester leurs combinaisons éventuelles et leur compatibilité avec les aménagements projetés sur le sous-bassin de l'Huisne.

L'analyse précise de l'effet hydraulique des solutions envisagées, et cela vaut essentiellement pour les levées transversales, nécessiterait la réalisation d'un modèle hydraulique complet et d'un levé topographique et bathymétrique préalable de l'ensemble de la vallée inondable et du cours de la Sarthe ainsi que leurs principaux ouvrages (ponts-routes-moulins-vannages).

Une telle étude serait complexe, longue et coûteuse. La présente méthodologie, plus simple et plus légère, permet de juger au moins qualitativement l'effet des solutions envisagées. Les solutions les plus prometteuses devront ensuite être étudiées de manière plus approfondie, afin de définir plus précisément l'effet à en attendre.

## A.II. PRESENTATION DU MODELE HYDRAULIQUE

Le modèle utilisé est un modèle mécaniste hydraulique construit à l'aide du logiciel ISIS (qui est le logiciel utilisé dans l'étude Huisne). Il s'agit d'un modèle monodimensionnel en régime transitoire qui résout les équations complètes de St Venant, en différenciant les écoulements par le lit mineur, les lits majeurs rive droite et rive gauche et en gérant les échanges entre ces différents lits.

## A.III. GEOMETRISATION DE LA VALLEE INONDABLE ET DU LIT MINEUR

Le modèle représente la vallée de la Sarthe du Mêle s/Sarthe (~25 km à l'amont d'Alençon) jusqu'à la confluence avec le Loir (~15 km à l'amont d'Angers), soit un linéaire d'environ 250 km.

La géométrie de la vallée est représentée par des profils en travers complets (lit mineur + lit majeur), distants de 1000m.

Ces profils sont construits :

- soit par récupération de profils existants dans des études antérieures :
  - Doublement de la RN92 à l'amont d'Alençon (CETE Normandie)
  - PPR d'Alençon (DDA 61)
  - Étude d'inondabilité de St Léonard (ISL)
  - Franchissement de l'A28 à Maresché (Sogreah)
  - PPR du Mans (BCEOM)
  - Profils à la Suze
  - Profil à Noyen s/Sarthe (BCEOM)
  - PPR de Sablé (non exploité)

= 82 profils existants (dont 42 pour la traversée du Mans)

- soit par définition de profils intermédiaires synthétiques, espacés ~1km :

Lit mineur = profils synthétiques trapézoïdaux respectant au mieux les caractéristiques géométriques connues au niveau des profils récupérés (largeur, pente longitudinale, débitance, rugosité),

Lit majeur = profils simplifiés tirés des lignes de niveau des cartes IGN au 1/25 000, en tenant compte :

- des contours de la crue de 1995 cartographiée dans les différents atlas,
- des niveaux d'eau maximum atteints lors de cette crue (laisses nivelées),
- des contours des 1m de submersion cartographiés sur la Sarthe amont,

Profil complet = addition des profils lit mineur et majeurs, définis en largeur/cote puis transformés ensuite en abscisse cumulé/cote.

La vallée de la Sarthe est ainsi définie par 271 profils complets, listés dans un tableau en annexe A1 et positionnés sur un fond de plan en annexe F2. L'annexe A2 présente un profil en long de la vallée modélisée.

#### A.IV. CONDITIONS AUX LIMITES

Étant donnée la longueur importante à modéliser, le modèle a été divisé en sous-modèles :

- Mêle s/Sarthe - Neuville s/Sarthe (Montreuil)
- Neuville s/Sarthe - Beffes
- Beffes – confluence Loir

Pour ces sous-modèles les conditions limites sont :

- conditions limites amont et apports latéraux : hydrogrammes de crue,
- condition limite aval : courbe de tarage DIREN (extrapolée si nécessaire), recalée par rapport au niveau maximum atteint en 1995.

Les différents apports latéraux sont constitués par les affluents de la Sarthe, qui pour simplifier ont été regroupés, en fonction :

- de leur importance relative,
- de leur localisation par rapport aux aménagements envisagés,
- de leur localisation par rapport aux agglomérations importantes.



14 points d'apport ont ainsi été définis :

Sarthe normande :	Tanche Vésone Londeau Briante Cuisai
Sarthe mancelle :	Sarthon Merdereau Orthe Briante Orne Saonoise
Le Mans :	Huisne
Sarthe aval :	Vègre Erve Vaige

Les hydrogrammes d'entrée sont calculés ainsi :

- hydrogrammes mesurés à la station de jaugeage de référence,
- + homothétie d'après le rapport des surfaces des bassins versants,
- + coefficient correctif de calage.

La cohérence hydrologique de la décomposition a été vérifiée :

- bilan des volumes de crue (OK à 10% près, cf. annexe A3),
- débits de pointe et forme d'hydrogrammes de la Sarthe.

## A.V. CALAGE

Le calage du modèle est réalisé sur 2 crues de calage :

- la crue de janvier 1993, peu débordante,
- la crue de janvier/Février 1995, très débordante.

Il consiste en :

- l'ajustement des coefficients de rugosité lit mineur et lit majeur (par biefs homogènes),
- l'ajustement des apports latéraux.

Les points de contrôle du calage sont les stations de jaugeage :

- St Cénéri (aval Alençon « Moulin du Désert »),
- Neuville-Montreuil s/Sarthe (amont du Mans),
- Spay (aval du Mans),
- Beffes (aval Sablé s/Sarthe).

Les résultats en terme de débit de pointe sont présentés page ci-contre. Les hydrogrammes (mesurés et calculés aux points de contrôle) se trouvent annexe A3.

## A.VI. CRUE CENTENNALE

La crue de 1995, récente et forte a marqué les esprits sur le bassin de la Sarthe. Elle constitue une référence et les aménagements envisagés seront à ce titre testés pour une telle crue. Cependant, la crue de référence réglementaire en terme d'inondation demeure la crue d'occurrence 100 ans : une telle crue a donc été construite sur la Sarthe.

Les débits de pointe d'une crue centennale de la Sarthe sont connus aux stations de jaugeage (étude 3P Phase I).

Restent à définir la forme de l'hydrogramme complet, les hydrogrammes des affluents, les déphasages entre Sarthe et affluents.

### Méthodologie

1. Construction des hydrogrammes affluents d'après la première pointe de la crue de 1995,
2. Construction des hydrogrammes centennaux synthétiques de la Sarthe aux stations de jaugeage, d'après la forme des hydrogrammes des crues récentes (annexes A4.1 et A4.2),
3. Ajustement par bief des coefficients multiplicatifs des apports, pour retrouver une pointe de crue correcte à l'aval du bief (annexe A4.3).

La crue de la Sarthe ainsi constituée est centennale sur tout son cours. En revanche, la période de retour des crues des affluents est plus faible : ainsi, la crue de l'Huisne construite est d'occurrence vingt ans.

## A.VII. AMENAGEMENTS

Le modèle est calé dans l'état actuel (état initial). La prise en compte des aménagements envisagés sera effectuée en le modifiant :

- ajout de singularités pour la modélisation des levées transversales dans le lit majeur (calcul de pertes de charge par la méthode de Bradley): cf. partie B,
- ajout de singularités pour la prise en compte des retenues (loi hauteur volume de la retenue + loi de vidange) : cf. partie C et D.

Les aménagements seront testés sur deux crues : crue type janvier 1995 et crue centennale.

Dans la dernière partie de l'étude, le modèle permettra d'évaluer l'efficacité de combinaisons d'aménagements d'une part, et leur compatibilité avec les aménagements de l'Huisne d'autre part, voire le surcroît d'efficacité obtenu.

## **B. FAISABILITE D'UNE SERIE DE LEVEES TRANSVERSALES**

## B.I. INTRODUCTION

Cette partie a pour objet d'analyser la faisabilité d'une série de levées transversales dans le lit majeur de la Sarthe. La structure de ce chapitre est la suivante :

- analyse des sites,
- caractéristiques des données,
- effet de levées,
- estimation sommaire du coût des aménagements.

## B.II. ANALYSE DES SITES

Une présélection des sites favorables à l'implantation de levées transversales en lit majeur a été réalisée à partir des atlas des zones inondables de la Sarthe d'une part, d'une enquête de terrain d'autre part.

Les critères de cette présélection ont été les suivants :

- hydraulité favorable :
  - faible pente hydraulique,
  - influence aval limitée : les sites ont été choisis suffisamment à l'amont des singularités hydrauliques (pont, seuil...) susceptibles de créer un remous limitant l'efficacité de la levée.
- occupation des sols favorable : les zones où le champ d'inondation de la Sarthe est dégagé ont été préférentiellement retenues :
  - mise en œuvre des levées plus facile,
  - meilleure efficacité, un champ d'inondation dégagé garanti une meilleure hydraulité du lit majeur, et donc une plus grande efficacité théorique d'une levée.
- moindre vulnérabilité amont : les sites ont été choisis de manière à ce que les surhauteurs engendrées n'aggravent pas ou peu la situation d'inondabilité des habitations situées à l'intérieur ou en limite de zone inondable à l'amont des levées.

Trente-huit sites ont ainsi été présélectionnés, ainsi répartis :

Sarthe normande	: 13 levées du Mêle-sur-Sarthe à St-Cénéri-du-Géréi dont 11 à l'amont d'Alençon.
Sarthe mancelle	: 17 levées de Fresnay-sur-Sarthe à Neuville-sur-Sarthe.
Sarthe aval	: 8 levées entre Fercé-sur-Sarthe et Dureil. À noter que la vallée à l'aval de Sablé-sur-Sarthe n'est pas propice à l'implantation de levées car située dans le remous de la Maine et de la Loire.

Chacun de ces 38 sites a été positionné sur les cartes au 1/25 000<sup>e</sup> (cf. annexe F) et a fait l'objet d'une fiche de description (annexe B1) comportant les éléments suivants :

- N° de levée,
- Section,
- Lieu-dit,
- Commune rive gauche,
- Commune rive droite,
- Pente moyenne,
- Largeur du champ d'inondation et, si les atlas le permettent, largeur de la zone de plus de 1 m de submersion,
- Niveau d'eau maxi approximatif atteint lors de la crue de 1995 (calculé par interpolation linéaire des laisses de crue),
- Niveau estimé des berges du lit majeur,
- Vulnérabilité amont,
- Distance minimale entre la levée et une habitation amont, en zone inondable ou en limite,
- Occupation des sols.

Parmi ces sites présélectionnés, ceux nécessitant une hauteur de digue trop importante ont été éliminés : en effet, pour avoir une efficacité, les levées doivent en effet fonctionner au moins en régime dénoyé, l'impact maximum étant obtenu par des levées non submergées. Dans les deux cas, la hauteur des levées doit être au moins égale à la hauteur de submersion actuelle : afin de limiter la hauteur des digues, les sites présentant une hauteur de submersion supérieure à 2.50 m en 1995 ont donc été éliminés.

28 levées ont finalement été retenues, ainsi réparties :

Sarthe normande	: 12 levées dont 10 à l'amont d'Alençon (soit 1 levée tous les 2.5 km),
Sarthe mancelle	: 12 levées de Fresnay-sur-Sarthe à Neuville-sur-Sarthe (soit 1 levée tous les 3 km),
Sarthe aval	: 4 levées entre Fercé-sur-Sarthe et Malicorne.

Le modèle de la Sarthe est modifié pour la prise en compte de ces levées :

- des profils en travers de la vallée sont ajoutés à l'amont et à l'aval immédiat de chaque levée,
- l'effet de chaque levée (perte de charge singulière par étranglement) est calculé directement par le modèle entre ces deux nouveaux profils, par la méthode de Bradley.

### B.III. CARACTERISTIQUES DES LEVEES

La hauteur moyenne des levées par rapport aux berges est de 2.30 m sur les deux tronçons Sarthe normande et Sarthe mancelle. À l'aval du Mans, la hauteur moyenne est 2.25 m. Cette hauteur inclut la hauteur d'eau débordante en situation « naturelle » et la surhauteur (« perte de charge ») induite par la présence de la levée et du passage obligé de la totalité du débit par le lit mineur au droit de la levée (supposé dans le cas présent non submersible).

Cette perte de charge s'avère très faible : de 12 cm en moyenne en Sarthe normande, 8 cm en Sarthe mancelle et 2 cm sur la Sarthe aval.

Le tableau en annexe B2 présente le remous et le volume supplémentaire mobilisé par chaque levée (« onglet »).

En voici la synthèse par tronçon :

	Largeur moyenne des levées	Remous moyens par levée	Volume moyen d'onglet par levée	Volume total d'onglets mobilisé
Sarthe normande	680 m	12 cm	26 000 m <sup>3</sup>	305 000 m <sup>3</sup>
Sarthe mancelle	560 m	8 cm	7 500 m <sup>3</sup>	90 000 m <sup>3</sup>
Sarthe aval	500m	2 cm	700 m <sup>3</sup>	3 000 m <sup>3</sup>

Le volume total mobilisé par les levées est très faible (0,4 Mm<sup>3</sup>). Ce résultat et la faiblesse des remous calculés amènent à s'interroger sur la précision du modèle et notamment sur les paramètres suivants dont dépend le calcul des pertes de charge dues aux levées :

- Niveaux d'eau calculés,
- Répartition du débit lit mineur / lit majeur.

Pour répondre à ces interrogations, une analyse de sensibilité a été menée.

a) Ajustement d'ensemble des coefficients de rugosité pour assurer un calage correct de la ligne d'eau moyenne en crue (application d'un même coefficient d'ajustement - +20 %- pour la rugosité des lits mineur et majeur), sans se soucier des hydrogrammes obtenus :

Les remous calculés sont très peu différents :

- Sarthe normande : 11 cm
- Sarthe mancelle : 12 cm
- Sarthe aval : 3 cm

b) Ajustement différencié de la rugosité lit mineur/lit majeur pour assurer un calage correct de la ligne d'eau moyenne en crue (augmentation de la rugosité lit mineur et diminution de la rugosité lit majeur), sans se soucier des hydrogrammes obtenus :

Les remous calculés sont plus forts mais restent modestes :

- Sarthe normande : 11 cm
- Sarthe mancelle : 21 cm
- Sarthe aval : 4 cm

Les remous calculés par le modèle sont donc peu sensibles aux paramètres de calage : ils restent faibles.

Même en doublant les remous initialement calculés, le volume d'onglet mobilisé reste modeste : 1.2 Mm<sup>3</sup> (= volume précédent x 4).

Cela laisse déjà présager la faible efficacité de cette solution.

## B.IV. EFFET DES LEVEES

### B.IV.1. EFFET EN TERME DE DEBIT

L'effet en terme de réduction du débit de pointe est analysé en comparant les hydrogrammes propagés par le modèle hydraulique (ISIS) en situation « naturelle » (dite état naturel) et en situation après aménagement des levées, pour deux crues : crue centennale de la Sarthe, et crue de janvier/février 1995.

L'ensemble de ces hydrogrammes aux différents points de contrôle est porté en annexe B3. La page ci-contre fait figurer l'hydrogramme d'une crue centennale de la Sarthe à l'amont du Mans (Neuville-Montreuil), en situation actuelle et aménagée.

L'effet de l'aménagement est très peu sensible.

Le tableau ci-dessous indique la réduction du débit de pointe aux différents points de contrôle.

Levées transversales

Localisation	Profil	Crue centennale (m <sup>3</sup> /s)				Crue de 1995 (m <sup>3</sup> /s)			
		Qinitial	Qaménagé	écart		Qinitial	Qaménagé	écart	
Mêle s/Sarthe	M0	71	71	0	<b>+0%</b>	52	52	0	<b>+0%</b>
St Cénéri	M407	179	174	-5	<b>-3%</b>	133	130	-3	<b>-2%</b>
Neuville s/Sarthe	M112	406	401	-5	<b>-1%</b>	307	306	-1	<b>-0,3%</b>
Spay	V1	546	541	-5	<b>-1%</b>	508	507	-1	<b>-0,2%</b>
Beffes	V66	663	658	-5	<b>-1%</b>	641	639	-2	<b>-0,3%</b>

L'analyse de sensibilité menée pour le calcul des remous provoqués par les levées permet également d'apprécier la précision du calcul de l'écrêtement : la précision est bonne puisque les deux calculs effectués avec des rugosités différentes amènent à des écrêtements sensiblement égaux (respectivement -5.5 m<sup>3</sup>/s et -6 m<sup>3</sup>/s à l'amont du Mans en crue centennale).

### B.IV.2. EFFET SUR LES TEMPS DE PROPAGATION

L'examen comparé des hydrogrammes « naturels » et des hydrogrammes « modifiés » montre que ces derniers ne sont pas ou très peu décalés dans le temps.

Les levées transversales ne créent pas d'effet retard sur les crues de la Sarthe.



### B.IV.3. EFFET SUR LES HAUTEURS D'INONDATION

Dans toutes les zones où existent des levées, les niveaux d'eau maxima sont augmentés de la valeur de la perte de charge. Les niveaux d'eau ne commencent à diminuer qu'à l'aval de celles-ci, la diminution étant alors liée à la diminution du débit de pointe observée.

Les courbes de tarage existantes dans les agglomérations d'Alençon, du Mans et de Sablé sur Sarthe permettent d'apprécier la diminution de niveau d'eau associée à la réduction de débit créée :

Ordre de grandeur du gain en hauteur d'eau

	<b>Q<sub>100</sub></b>	<b>Q<sub>(1995)</sub></b>
Alençon	5 cm	3 cm
Le Mans	3 cm	1 cm
Sablé-sur-Sarthe	2 cm	1 cm

Les gains à espérer sont minimes, d'autant qu'ils s'appliquent à des hauteurs de submersion par rapport aux berges importantes (de l'ordre du mètre en agglomération).

### B.V. UNE EFFICACITE PLUS FAIBLE QUE SUR L'HUISNE

Le même type d'aménagement a été envisagé sur l'Huisne, où le même type d'étude a été réalisé par le bureau d'étude BRL en septembre 1998 (niveau faisabilité, modélisation sommaire avec ISIS). Celle-ci y montre une meilleure efficacité :

- écrêtement du débit de pointe de 30 m<sup>3</sup>/s au Mans en crue centennale (soit -13 %),
- effet retard significatif (+ 30 h au Mans).

Cette différence d'efficacité s'explique par les différences de contexte, rappelées ci-dessous :

	<b>Sarthe</b>	<b>Huisne</b>
Nombre de levés maxi envisageables	28	53
Hauteur naturelle d'inondation	2.50 m	1 m
« Remous » moyen par levée	10 cm	40 cm
Volume d'onglets mobilisable	0.4 Mm <sup>3</sup>	4.5 Mm <sup>3</sup>
Linéaire de rivière concerné	210 km	70 km
Apports latéraux(*)	+500 %	+17 %

(\*) compté au Mans en % du débit amont

## B.VI. ESTIMATION SOMMAIRE DU COUT DES LEVEES

### Quantités

Hauteur moyenne levées	2,5 m	
Nombre total de levées	28	
Longueur moyenne de levées	600 m	
Longueur totale de levées	16 800 m	
Volume moyen de remblai par ml	35 m <sup>2</sup>	
Volume total de remblai	588 000 m <sup>3</sup>	
Largeur moyenne d'emprise (remblai digue+déblais fossés de drainage)	30 m	
Emprise totale	504 000 m <sup>2</sup>	# 50 ha
Enrochements en rivière		
longueur transversale unitaire	12 m	
longueur longitudinale unitaire	25 m	
épaisseur moyenne	1,25 m	
volume unitaire moyen	375 m <sup>3</sup>	
volume total 375 x 28 x 2	21 000 m <sup>3</sup>	

### Prix unitaires

préparation du terrain (décapage)	1 F/m <sup>2</sup>
terrassements (déblai)	20 F/m <sup>3</sup>
Mises en remblai	15 F/m <sup>3</sup>
Enrochements	150 F/m <sup>3</sup>
Emprises	20 000 F/ha

### Coûts

Installation de chantier	: Ft	=	500 000 F HT
Préparation de terrain	: 16 800 m x 30 m x 1 F	=	504 000 F HT
Terrassements	: 588 000 m <sup>3</sup> x 20 F	=	11 760 000 F HT
Mises en remblai	: 588 000 m <sup>3</sup> x 15 F	=	8 820 000 F HT
Enrochements	: 588 000 m <sup>3</sup> x 150 F	=	3 150 000 F HT
Plantations d'arbres	: Ft	=	1 000 000 F HT
Emprises	: 50 ha x 20 000 F	=	1 000 000 F HT
Total			<u>26 734 000 F HT</u>
Divers et imprévus (20%)			5 346 800 F HT
TOTAL			<u>32 080 800 F HT</u>
Topographie			75 000 F HT
Géotechnique			75 000 F HT
Maîtrise d'œuvre			<u>750 000 F HT</u>
<b>Total HT</b>			<b>32 980 800 F HT</b>

## B.VII. CONCLUSION

La faisabilité d'une série de levées transversales dans le champ d'inondation de la Sarthe a été analysée.

28 sites potentiellement favorables ont été retenus :

- 12 en Sarthe normande,
- 12 en Sarthe mancelle,
- 4 en Sarthe aval.

L'efficacité à l'échelle du bassin de ce projet d'aménagement a été évaluée grâce à la modélisation sommaire de la Sarthe. Elle s'avère très faible :

**Crue centennale de la Sarthe :**

	Écrêtement		Gain en hauteur d'eau (ordre de grandeur)
	Gain	%	
Alençon	5 m <sup>3</sup> /s	-3 %	-5 cm
Le Mans	5 m <sup>3</sup> /s	-1 %	-3 cm
Sablé	5 m <sup>3</sup> /s	-1 %	-2 cm

Le coût de cet aménagement est de 33 MF (HT).

La réalisation d'une trentaine de levées transversales de 2.50 de hauteur en moyenne entre le Mêle-sur-Sarthe et Sablé-sur-Sarthe ne permet pas d'atténuer de manière sensible le débit de pointe d'une crue centennale, malgré un coût d'investissement important.

**C. FAISABILITE D'UNE RETENUE  
D'ECRETEMENT DES CRUES  
SUR LE MERDEREAU**

## C.I. INTRODUCTION

### C.I.1. PRESENTATION

Cette partie a pour objet d'analyser la faisabilité et les modalités de gestion d'une retenue sur le Merdereau.

Les points suivants seront successivement abordés :

- analyse des sites potentiels de retenue,
- hydrologie,
- modalités de gestion,
- prédimensionnement,
- efficacité,
- estimation sommaire des coûts.

### C.I.2. PRINCIPES DE L'ECRETEMENT PAR UNE RETENUE

L'écrêtement des crues, par retenue partielle des eaux consiste à retenir le débit des eaux de crue dans une cuvette, artificielle ou naturelle, et à n'en laisser sortir qu'une fraction peu dangereuse pour les populations d'aval.

Il n'est pas toujours facile de trouver des cuvettes qui répondent à ces conditions. Les cuvettes qui se trouvent trop à l'amont des régions à protéger ne permettent pas d'écrêter les crues en provenance des zones intermédiaires. Et les cuvettes dont le volume utile est trop faible par rapport au volume total des eaux de crue ne permettent pas de disposer d'un volant suffisant pour un écrêtement convenable des crues.

Le principe de laminage des crues est présenté ci-après.

Le débit qui passe dans l'ouvrage en sortie ( $Q_s$ ) est inférieur à celui de la pointe de la crue à l'entrée de la retenue ( $Q_e$ ). L'effet de laminage de crue dépend de la forme de l'hydrogramme de la crue entrant dans la retenue, de la capacité hydraulique de l'ouvrage de sortie de crue et de la forme de la partie supérieure de la retenue.

Ensuite, l'effet d'écrêtement diminue lorsque l'on s'éloigne du site du fait de l'augmentation de la surface du bassin versant non contrôlé par la retenue.

De plus, les précautions sont à prendre au niveau des confluences : en effet, un retardement de la crue, quand il va dans le sens de la synchronisation des points de crue peut conduire à une aggravation des crues.

## C.II. ANALYSE DES SITES POTENTIELS DE RETENUE

### C.II.1. BASSIN VERSANT DU MERDEREAU

Le Merdereau est un affluent de rive gauche de la Sarthe. Sa source et l'essentiel de son bassin versant sont situés sur le département de la Mayenne. Il se jette dans la Sarthe sur la commune de St Paul-le-Gaultier («le Gué Ory») dans le département de la Sarthe.

La majeure partie du bassin versant est occupée par des prairies et des pâturages. Une importante forêt, la « Forêt de Pail » occupe également une superficie importante au Nord du Merdereau. La commune de Villaines-la-Juhel, chef-lieu de canton (~3200 habitants) est située à l'amont du bassin versant. Plusieurs petits bourgs sont répartis sur le bassin versant.

Le Merdereau est un ruisseau composé par la confluence d'une dizaine de petits cours d'eau, qui confluent sur la commune d'Averton.

Principales caractéristiques :

- Superficie du bassin versant à l'exutoire : 183 km<sup>2</sup>
- Altitude du point culminant : 375 m
- Altitude à la confluence avec la Sarthe : 85 m
- Cheminement hydraulique : 29.4 km
- Pente moyenne à l'aval d'Averton : 4 ‰

### C.II.2. RECHERCHE DES SITES POTENTIELS DE RETENUE

Des sites de retenue sur le Merdereau ont été recherchés en 1991 par HYDRATEC dans le cadre du Schéma d'Aménagement des Eaux du Département de la Mayenne.

Un site potentiel a été retenu à Averton (site 1 page suivante).

Après une nouvelle analyse du bassin versant sur la base des cartes topographiques IGN au 1/25 000<sup>e</sup>, et une visite sur le terrain, aucun nouveau site n'a été trouvé à l'amont. En revanche, deux nouveaux sites ont été identifiés plus à l'aval sur la commune de St-Paul-le-Gaultier dans le département de la Sarthe (sites 2 et 3).

Un quatrième site avait été repéré, puis abandonné après visite sur le terrain en raison de la présence d'habitations à proximité immédiate de la zone d'implantation possible de la digue (« Le Chiantin »).

### C.II.3. TOPOGRAPHIE - MORPHOLOGIE

Le Merdereau, qui se constitue sur la commune d'Averton, traverse le Sud de la forêt de Pail au fond d'une vallée étroite et encaissée, intensément boisée. Les vitesses d'écoulement en lit mineur sont accélérées par une pente plus forte (6‰) et une sinuosité faible.

Étroite (~50 m) dans la forêt de Pail, elle s'élargit ensuite (~200 m excepté au niveau de deux resserrements correspondants aux franchissements routiers). La sortie de la forêt correspond d'ailleurs à son entrée dans le département de la Sarthe. Les coteaux restent cependant très marqués. La pente longitudinale s'affaiblit (2‰) et la sinuosité augmente (nombreux méandres).

Jusqu'à son exutoire en Sarthe, la vallée conserve ensuite une belle largeur mais les coteaux sont moins marqués et les pentes latérales beaucoup plus faibles.

### C.II.4. GEOLOGIE

D'après la carte géologique au 1/50 000<sup>e</sup> de Villaines-la-Juhel, le socle géologique est constitué de terrains sédimentaires.

Il s'agit de roches anciennes du briovérien supérieur composées de flysch, complexe sédimentaire présentant une succession de séquences où alternent :

- des matériaux détritiques remaniés: les grauwackes,
- des silts (matériaux plus gros que les argiles) consolidés ou siltites,
- des argilites (argiles consolidés).

Le tout est organisé en séquence granoclassée (classement des grains par taille progressivement croissante ou décroissante).

Ce flysch a subi des plissements lors de l'orogénèse du cadomien.

Le fond de vallée est composé de formations alluviales formant des terrasses. Les principaux matériaux sont des blocs, galets et graviers de grès et de quartzites issus de terrains paléozoïques et volcaniques associés à quelques silex.

Les alluvions actuelles sont surtout composées de limons argileux, souvent sableux et glauconieux (minéraux argileux).

Les sites ont une géologie complexe et très fracturée. Des failles emprunteraient le fond de vallée du Merdereau (failles marquées ou supposées d'après la carte géologique).

Ces terrains conviennent a priori pour construire une digue souple, néanmoins des analyses complémentaires sur la dynamique des fractures devront être conduites.

On n'a pas d'éléments sur l'épaisseur exacte des formations alluviales sablo-graveleuses (fortement perméables) au droit des sites. Elle devra être précisée par des sondages géologiques. Si l'épaisseur reste dans la limite de quelques mètres, ces alluvions pourront être remplacés par un matériaux plus adapté. Dans le cas contraire, un écran étanche devra être prévu afin d'éviter les phénomènes de renard.

De plus, des sondages plus précis permettraient de s'assurer des caractéristiques mécaniques de flysh, formation qui peut présenter de par sa structure des phénomènes de glissement (existence de couches dites « couches savons<sup>(\*)</sup> »)

En cas de fonction stockage, les études de fracturation menées en 1989 <sup>(\*)</sup> dans la vallée de la Sarthe au Sud de Saint-Léonard-des-Bois montrent qu'il peut y avoir localement des failles secondaires susceptibles de générer des altérations très localisées pouvant nécessiter de procéder à des purges.

#### Études complémentaires à réaliser :

- tranchées à la pelle hydraulique sur l'axe de l'ouvrage + prélèvements et essais en laboratoire (épaisseur des alluvions, identification, caractéristiques géomécaniques et perméabilité),
- profils géophysiques (sismique et/ou électrique) puis sondages,
- étude de fracturation sur la cuvette,
- étude géotechnique des matériaux en cuvette et sur les versants.

#### Conclusion

Les sites sont à priori adaptés à une digue souple. La qualité de la fondation sera à vérifier en thalweg. De même, le matériau constitutif du corps de digue sera à trouver à proximité du site si possible. Les risques liés à la fracturation et à la présence de failles majeures sont à étudier plus précisément dans le cas d'une fonction de stockage (usage double) ou de la réalisation d'un ouvrage en béton (éventuellement pour une hauteur supérieure à 15m).

---

<sup>(\*)</sup> Sources études géologiques et géotechniques 1989 - SOPENA SA/ G. PIERSON



## C.II.5. OCCUPATION DU SOL

### Site 1 :

Le site est intensément boisé au niveau de la digue envisagée. Un refuge forestier est situé à l'aval immédiat du site. Les sols sont essentiellement occupés par des prairies et des pâturages à l'amont.

Il faut noter la présence de quelques habitations en bordure du Merdereau (3 au « Moulin du Cormier ») et d'une exploitation agricole (« Moulin du Parc »).

L'ancien « Moulin du Cormier » est en ruine.

Une retenue importante touchera la commune d'Averton (quelques habitations, bassins de lagunage, un étang).

### Site 2 et 3 :

Les sols sont occupés par des prairies et pâturages au niveau du barrage et à l'amont.

Il faut noter la présence au lieu-dit « Chiantin » d'une habitation et d'une grange en bordure rive droite du Merdereau et de quelques habitations en rive gauche, à « La Prisonnière ».

On rappelle également la présence, à l'aval immédiat des sites, du franchissement de la D15 et de la commune de St-Paul-le-Gaultier.

## C.II.6. VOIES DE COMMUNICATION

Les voies de communication à proximité des sites envisagés sont les suivantes :

- R.D. 268 + franchissement (traversée de la Forêt de Pail),
- voie communale d'accès au « Chiantin » (commune de St-Paul-le-Gaultier),
- chemin forestier de la forêt du Pail.
- R.D. 15 + franchissement (St Paul-le-Gaultier / Averton) à l'aval des sites,

## C.II.7. INFRASTRUCTURES, EQUIPEMENTS, ACTIVITES

Infrastructures :  
Lagunes d'Averton.

### Activités :

Pêche : rivière à truite, classée en catégorie I.

Agriculture : pâturages

Activité forestière dans la forêt de Pail

Station de jaugeage des débits de Merdereau au Chiantin (DIREN des Pays de Loire). Selon la DDASS de la Sarthe, il n'existe aucune prise d'eau directe dans le Merdereau.

## C.II.8. MILIEU NATUREL - PATRIMOINE

### *C.II.8.1. LES ZONAGES*

La vallée du Merdereau en aval du moulin du Parc (ferme - commune d'Averton) est classée en ZNIEFF(\*) de type II. Le faciès rencontré est celui d'une vallée encaissée avec des coteaux boisés. On y rencontre également des prairies hygrophiles, des landes sèches (sur les coteaux).

Les prairies alluviales humides de la vallée du Merdereau à Saint-Paul-Le-Gaultier sont classées en ZNIEFF de type II.

#### Autres classifications

On ne recense aucune ZICO, ZPS ou arrêté de biotope sur le Merdereau.

La zone appartient au Parc Naturel Régional Normandie Maine.

### *C.II.8.2. CONTRAINTES PISCICOLES*

Les espèces présentes sur la Sarthe sont celles habituellement inféodées aux eaux calmes et se réchauffant facilement : cyprinidés d'eaux lentes (gardon, brème, carpe, ablette, barbeau) ou plus vives (Chevaine et vandoise), carnassiers (perche, brochet, sandre), migrateurs (anguilles), poissons d'accompagnement de la truite (vairon, chabot, loche, goujon).

Les zones de frayères du brochet sont réparties sur tout le linéaire du cours d'eau (prairies inondables, fossés, bras morts). Il est à noter qu'une submersion minimale de deux mois est nécessaire au brochet pour se reproduire.

Selon le CSP, le brochet est une espèce protégée à haute valeur patrimoniale et est actuellement classée vulnérable (livre rouge des espèces menacées de France - Ministère de l'Environnement, 1992) à cause des modifications des régimes hydrauliques naturels (recalibrages, drainage, ...). Le brochet représente de plus un enjeu halieutique et médiatique fort.

Selon le CSP, la préservation et la reconquête des milieux favorables au brochet est la meilleure garantie du développement du brochet.

Le ruisseau du Merdereau est classé en 1<sup>ère</sup> catégorie. Il ne fait l'objet d'aucun suivi des peuplements piscicoles (Réseau Halieutique et Piscicole).

---

(\*) ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Floristique Et Faunistique  
de type II : identifie un grand ensemble naturel, milieu dans lequel toute modification fondamentale des conditions écologiques doit être évitée.  
de type I : identifie un milieu homogène, plus ponctuel, d'intérêt remarquable du fait de la présence d'espèces protégées (rares ou menacées) caractéristique d'un milieu donné.

### *C.II.8.3. CONTRAINTES LIEES AU PATRIMOINE*

Selon la DRAC Pays de la Loire, on ne recense pas de site classé ou inscrit sur les sites envisagés.

### *C.II.8.4. SDAGE*

Un schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux a été adopté sur le bassin Loire-Bretagne (juillet 1996). Il fait un certain nombre de recommandations pour la réalisation d'ouvrages d'écrêtement des crues :

- leur création doit être dûment justifiée par leur rôle sur les plans humains et économiques, et ils doivent être aussi peu que possible perturbateurs des écosystèmes.
- le caractère naturel, la qualité écologique et paysagère des champs d'expansion de crue doivent être sauvegardés voire retrouvés,
- les crues les plus fréquentes ne doivent pas être supprimées et les milieux y être soustraits : elles ont un rôle fondamental dans la dynamique géomorphologique des cours d'eau et pour la régénération des milieux, ne doivent pas être supprimées.

### *C.II.8.5. SYNTHÈSE*

Le tableau ci-dessous synthétise les différentes contraintes sur les sites des retenues projetées :

<b>Contraintes</b>	<b>Merdereau</b>
ÉCOLOGIQUES	Fortes (ZNIEFF II, Parc Naturel Régional)
PISCICOLES	Fortes (ZNIEFF I)
USAGES	Moyennes (irrigation AEP : à vérifier)
PATRIMOINE	Faibles (sites archéologiques éventuels à vérifier)

Les contraintes écologiques seront également fortes dans le cas d'une retenue permanente, induisant la destruction des prairies hygrophiles de fonds de vallée notamment.

Concernant les contraintes piscicoles, l'installation d'un obstacle infranchissable sur le Merdereau sera préjudiciable au peuplement piscicole. Il pourrait de plus empêcher les salmonidés d'accéder aux frayères les plus en amont.

On peut également craindre le développement d'une faune piscicole de plans d'eau en cas de retenue permanente ; ce peuplement concurrencera alors celui existant et pourra aller jusqu'à le remplacer.

L'installation de passes à poissons pourrait pallier en partie à ce phénomène ; ces dispositifs ne sont cependant pas efficaces à 100 %.

En tout état de cause, il semble que la perturbation du milieu sera d'autant plus préjudiciable au peuplement piscicole et à la qualité des eaux qu'elle durera dans le temps. Dans cette optique, une retenue à sec semble la solution de moindre impact à retenir.

## *C.II.8.6. CONTRAINTES LIEES A UNE RETENUE PERMANENTE*

### *C.II.8.6.1. Généralités*

Les ouvrages seront dimensionnés pour la crue centennale. Au vu de la périodicité de ces événements, et sous réserve d'une absence de manœuvre de vannes hors période de  $Q_{100}$ , on peut avancer l'hypothèse que le milieu écologique subira selon les cas :

- des modifications brutales et soudaines dans le cas d'une retenue à sec de même nature que l'effet naturel d'une crue, mais notablement amplifiée et étendue ; on peut espérer un retour « à la normale » du milieu entre deux crues,
- une modification complète dans le cas d'une retenue permanente, le milieu existant étant totalement modifié.

### *C.II.8.6.2. Qualité des eaux*

Dans un plan d'eau à forte inertie, la répartition des températures n'est pas homogène dans la colonne d'eau. En effet, l'absorption plus rapide des radiations calorifiques solaires par les couches supérieures et la relation entre densité et température de l'eau peuvent provoquer un phénomène de stratification thermique.

De plus, la stagnation de l'eau dans un bassin provoque inévitablement une augmentation de la température de l'eau qui, lors des vidanges, peut provoquer une pollution thermique de l'exutoire.

L'augmentation progressive des éléments nutritifs, notamment azote et phosphore dans le plan d'eau pourra provoquer une multiplication explosive bactérienne et phytoplanctonique. Lors de grandes chaleurs, cela pourra aboutir à une eutrophisation de la colonne d'eau : consommation de tout l'oxygène dissoute par les micro-organismes et les phénomènes d'oxydation chimique. On pourra alors observer l'apparition, en fond de plan d'eau, d'une zone d'anoxie.

A plus ou moins long terme, les eaux de ruissellement permettront un enrichissement en matières nutritives de la retenue, élément de croissance bactérienne importante. Compte tenu de la profondeur du plan d'eau, il pourrait y avoir création d'une zone euphotique (la zone euphotique correspond à la profondeur à laquelle n'arrive plus que 1 % de la lumière incidente).

Enfin, dans le cas d'une retenue permanente, des vidanges périodiques (au moins décennales) seront nécessaires ; ces opérations provoqueront le relargage des sédiments accumulés pouvant conduire à l'asphyxie du milieu à l'aval. Les trois sites sont situés dans le Parc Régional Normandie-Maine.

#### *C.II.8.6.3. Courbes hauteur - volume - surface*

Pour chaque site et différentes hauteurs utiles, les surfaces inondées ont été reportées sur les cartes IGN au 1/25 000<sup>e</sup> agrandies à l'échelle au 1/12 500<sup>e</sup> (cf. planches pages suivantes), puis planimétrées. Les volumes sont déduits par intégration.

Les valeurs ainsi calculées peuvent être entachées d'une erreur de 20 à 30 % qu'il conviendra de lever par une étude topographique complémentaire des zones concernées.

Il apparaît que le site hydrauliquement le plus favorable, c'est-à-dire disposant de la capacité la plus importante est le site n°3, situé au lieu-dit « les Broses » à St-Paul-le-Gaultier.

#### *C.II.8.6.4. Conclusion*

Les différentes contraintes d'occupation du sol ont été positionnées sur les fonds de plan pages suivantes.

Au vu de ces contraintes d'occupation du sol et des capacités hydrauliques, le site 3 est jugé le plus favorable.

Au niveau de la faisabilité, quatre hauteurs de barrage différentes vont être étudiées. Le tableau page suivante présente, pour ces quatre hauteurs, un rappel des vulnérabilités amont.

### C.III. HYDROLOGIE

Les débits du Merdereau sont connus à la station de jaugeage du Chiantin (M0115010, en fonctionnement depuis 1984) située sur le site retenu, elle indique donc les débits d'entrée dans la retenue envisagée.

Les débits caractéristiques sont les suivants (source : étude des crises hydrologiques du bassin de la Maine - EPALA - DIREN Centre - CNR -1999) :

$Q_{10}$  : 19 m<sup>3</sup>/s (ajustement de Gumbel)

$Q_{100}$  : 35 m<sup>3</sup>/s (méthode du Gradex)

Les données de cette étude permettent de déterminer par la méthode du Gradex, le débit décennal qui est le débit de la crue de sécurité retenue pour le projet de retenue :

$Q_{10\,000} = 95 \text{ m}^3/\text{s}$

Les hydrogrammes caractéristiques sont déduits par homothétie de l'hydrogramme de la première pointe de la crue de janvier 1995, qui fut décennale.

La « bosse » de l'hydrogramme dans la décrue est singulière. Cependant, on s'est assuré que l'hydrogramme centennal ainsi obtenu (et notamment la décrue) est en accord avec les débits moyens centennaux du Merdereau sur plusieurs jours consécutifs (données banque Hydro) :

	<b>Débit (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Volume correspondant ( Mm<sup>3</sup> )</b>
VCX2	26	4.5
VCX4	22	7.7
VCX6	20	10.3
VCX10	17	14.6

Dans le cas où cette étude de faisabilité montrerait un réel intérêt d'une retenue sur le Merdereau pour l'écrêtement des crues de la Sarthe, il conviendrait ultérieurement d'étudier plus précisément le (ou les) hydrogrammes centennaux du Merdereau.

## C.IV. MODALITES DE GESTION

### C.IV.1. OBJECTIF D'ECRETEMENT

L'objectif de cet ouvrage est de générer un gain sur les débits de la Sarthe.

Voici la comparaison des débits de crue de la Sarthe et du Merdereau à la station de jaugeage la plus proche de la confluence :

	<b>Superficie km<sup>2</sup></b>	<b>Q1995 (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Q<sub>100</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Q<sub>10</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>
Le Merdereau au Chiantin	118	20	50	19
La Sarthe à Moulin du Désert	908	145	180	100

Les débits de crue du Merdereau sont nettement inférieurs à ceux de la Sarthe, et la superficie de bassin versant contrôlée par le projet de retenue est très faible comparée à celle de la Sarthe à la confluence.

Pour que l'ouvrage ait une influence sensible sur les crues de la Sarthe, il doit être en mesure d'écrêter les débits les plus forts possibles en valeur absolue. L'objectif d'écrêtement de la retenue est la crue centennale.

Cependant, la pointe de la crue de la Sarthe arrive à la confluence en retard par rapport à celle du Merdereau : d'après l'analyse de quelques crues et en négligeant le temps de propagation des stations de jaugeage à la confluence (quelques heures), ce retard peut être estimé à 30 h.

Une information importante sera donc l'écrêtement de l'hydrogramme du Merdereau 30 h après le passage de la pointe : seul cet effet permettra l'écrêtement de la pointe de la crue de la Sarthe.

## C.IV.2. MODALITES DE GESTION ENVISAGEES

Différents types de gestion vont être analysés :

- gestion sans intervention (pertuis ouvert),
- gestion avec intervention (manœuvre des vannes de fond en crue),
  - manœuvre manuelle,
  - manœuvre automatique.

### *C.IV.2.1. GESTION SANS INTERVENTION*

Dans cette hypothèse, il n'est pas prévu d'intervention en crue sur les vannes. Le fonctionnement de la retenue après saturation est automatique, conditionné par la dimension de l'ouvrage de rétablissement du cours l'eau servant de régulateur de débit, et par le déversoir.

L'ouvrage de rétablissement (pertuis de fond) est dimensionné pour écrêter de manière optimale des crues pré-définies (centennales dans le cas présent). L'ouvrage fonctionne cependant pour des crues moins fortes, mais de manière moins efficace.

Son rendement est moins bon que la solution avec intervention, mais, ce mode de gestion présente l'avantage de ne pas être soumis aux aléas de l'intervention humaine ou automatique, toujours importants en période de crue.

Toutefois, ce mode de gestion n'est pas adapté à l'objectif qui est d'écrêter les débits au moment du passage de la pointe de crue de la Sarthe, une trentaine d'heures après la pointe de crue du Merdereau.

### *C.IV.2.2. GESTION AVEC INTERVENTION*

Dans cette hypothèse, le pertuis de fond est équipé de vannes manœuvrées en crue afin d'optimiser l'écrêtement. L'ouvrage de rétablissement du cours d'eau est dimensionné de manière à pouvoir laisser passer le débit centennal.

Deux types d'interventions sur les vannes sont possibles :

#### *C.IV.2.2.1. Gestion manuelle*

C'est une équipe d'intervention qui est chargée de fermer/ouvrir les vannes. L'ordre peut être donné par dépassement d'une cote d'alerte ou par un service d'annonce de crue.

Le but de cette retenue est de limiter au maximum les débits de la Sarthe. Les débits du Merdereau à écrêter en priorité sont donc ceux qui vont se cumuler au débit de pointe de la Sarthe.

Déphasage pointe de crue du Merdereau / pointe de crue de la Sarthe ~ +30 h.



Prévision des crues de la Sarthe au niveau du confluent ~ 6 à 24 h (suivant type de crue).

Hypothèse de fermeture des vannes : 12 h avant le maxi de la crue de la Sarthe, soit 18 h après le passage du pic de la crue du Merdereau.

Les vannes sont fermées partiellement : la hauteur de fermeture, qui conditionne le débit sortant, est optimisée pour obtenir un écrêtement pendant trois jours, le temps que passe la pointe de crue de la Sarthe. Ceci se traduit par un remplissage de la retenue en trois jours. La grosse retenue envisagée (6.6 Mm<sup>3</sup>) ne pourra cependant pas se remplir totalement : le débit du Merdereau entrant dans la retenue n'est pas suffisant pour cela, d'autant moins qu'un débit de fuite réservé doit être assuré à l'aval du barrage (cf. scénario 2.3).

Ce type de gestion apparaît cependant difficile à mettre en œuvre : il nécessite une astreinte de personnel compétent, une prévision de crue suffisamment précise sur la Sarthe et une décision du préfet (fermeture / ouverture des vannes) prise en période de crise.

#### *C.IV.2.2.2. Gestion asservie*

La fermeture des vannes est automatisée, asservie à un débit de fuite de consigne invariable (gestion en boucle ouverte) ou non (gestion en boucle fermée, asservie à ce qui se passe en temps réel sur la rivière).

Gestion en boucle ouverte : débit de fuite de consigne fixe. Ce type de gestion présente peu d'intérêt ici, le débit à limiter n'étant pas le débit maximum entrant dans la retenue, mais le débit entrant au moment du passage de la pointe de la crue de la Sarthe.

Gestion en boucle fermée : débit de fuite asservi. Ce type de gestion, dont l'efficacité est maximale en théorie, n'est pas techniquement réalisable : il faudrait en effet pouvoir asservir la gestion des vannes :

- au niveau de la retenue,
- au niveau de la Sarthe,
- au niveau maximal prévisible de la Sarthe, connu avec suffisamment d'avance (~ 12 h à la confluence) et de précision. Ceci n'est pas possible dans l'état actuel des techniques de prévision des crues sur la Sarthe amont.

De plus, la complexité d'un tel système n'est pas en rapport avec le gain de quelques mètres cubes supplémentaires seulement sur une gestion manuelle.

### **C.IV.3. FONCTIONS DOUBLES**

Ce paragraphe a pour objet d'analyser les autres fonctions que pourrait remplir une retenue sur le Merdereau, et leur compatibilité avec la fonction première d'écrêtement de crue.

#### *C.IV.3.1. EAU POTABLE*

Le Merdereau avait été étudié dans le cadre du SAE Mayenne en 1991 pour y implanter une retenue destinée à l'alimentation en eau potable.

Ce site n'avait pas été retenu par le département de la Mayenne.

En ce qui concerne le département de la Sarthe, il n'y a pas besoin de réserve d'eau brute particulière. La ville du Mans recherche une source complémentaire, mais la distance est trop grande (~45 km) pour que cette utilisation soit réaliste. De plus, les ressources préférentielles sont les nappes profondes.

#### *C.IV.3.2. IRRIGATION*

Il n'y a pas de culture dans le secteur envisagé, l'essentiel des terrains agricoles étant des pâturages. De plus, la culture la plus pratiquée est celle du blé et non du maïs, qui elle demande une forte irrigation.

#### *C.IV.3.3. LOISIRS*

Après consultation des services concernés, il n'y a pas un besoin recensé d'un plan d'eau de loisirs sur les communes d'Averton et de Saint-Paul-Le-Gaultier ; cette dernière possède déjà un petit plan d'eau de ce type.

#### *C.IV.3.4. SOUTIEN D'ETIAGE*

La Sarthe est caractérisée par des étiages sévères. Un soutien d'étiage est réel à partir d'un dixième de module moyen interannuel.

A Montreuil :  $Q_M = 19.9 \text{ m}^3/\text{s}$   
Il faut donc  $Q_{\text{fuite}} = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$

Et ce, pendant les mois d'étiage de la Sarthe : juillet, août et septembre.

Il faut donc au minimum le volume suivant :

$$V = 90 \times 3600 \times 24 \times 2 = 15.6 \text{ Mm}^3$$

Cette retenue ne peut donc pas réaliser à elle seule le soutien des étiages de la Sarthe. Elle peut tout de même y participer avec les contraintes de double gestion et de qualité des eaux que cela pose.

#### *C.IV.3.5. REGLES DE GESTION*

Il faut pouvoir concilier deux objectifs antagonistes :

- maintien d'un niveau d'exploitation pour l'usage courant,
- disposer d'un volume de réserve pour l'écrêtement des crues.

Une revanche est donc prise entre le niveau d'exploitation et le niveau du déversoir de crue (au moins pendant les mois d'octobre à avril, période d'occurrence plus probable des crues). Un fonctionnement saisonnier avec retenue vidangée pendant tous les mois de plus fort risque de crue est à exclure pour des raisons de site et d'environnement.

Pour les mêmes raisons que dans les autres types de gestion, la pointe de la crue du Merdereau ne doit pas être écrêtée pour garder intacte la capacité de stockage (tranche entre le niveau d'exploitation et le déversoir de crue), afin de l'utiliser au moment du passage de la pointe de crue de la Sarthe. Une vidange anticipée n'est pas possible :

- elle ne peut avoir lieu lors du passage de la pointe de crue du Merdereau,
- les délais de prévisions de crue ne permettent pas de vidanger la retenue avant l'arrivée de pointe de la crue.

Les règles de gestion pourraient donc être les suivantes :

- exploitation hors alerte de crue : maintien du niveau d'exploitation constant dans la retenue,
- alerte de crue : pointe de crue de la Sarthe à la confluence prévue à  $t = t_0$
- $t = t_0 - 12$  h : fermeture des vannes pour limiter le débit au débit de consigne prédéterminé.

Ensuite la fermeture des vannes est régulée pour assurer un débit de fuite prédéterminé (consigne), limité pour assurer un écrêtement optimal pendant 3 jours (passage de la pointe de crue de la Sarthe).

Cependant, un tel système suppose :

- un système de commande et d'asservissement des vannes,
- un modèle de prévision de crue automatisé sur la Sarthe : la gestion envisagée nécessite de disposer d'une prévision de l'ordre de 12 heures du maximum de crue de la Sarthe à la confluence du Merdereau et de la Sarthe, ce qui signifie qu'il faudrait identifier clairement le maximum de la crue de la Sarthe avant qu'il n'atteigne Alençon. Dans l'état actuel des techniques, une telle précision n'est pas possible avec une fiabilité suffisante pour conditionner des manœuvres de barrage,
- une astreinte de personnel compétent,
- une décision du préfet d'ouvrir les vannes , prise en période de crue.

Une telle gestion apparaît très difficile à mettre en œuvre, surtout au vu des faibles écrêtements qu'elle procure (cf. résultats § C.VI).

## C.V. PREDIMENSIONNEMENT

### C.V.1. DIGUE

La topographie du site ainsi que les études géologiques et géotechniques déjà réalisées ont conduit à adopter pour la retenue un endiguement de type digue souple, en terre, avec clef d'ancrage sous l'ouvrage (profondeur à déterminer par des sondages géologiques) afin de bloquer les éventuelles circulations hydrauliques lors de la montée du plan d'eau. Les zones d'emprunts des matériaux constitutifs ainsi que leurs caractéristiques ne seront connues qu'après une campagne de reconnaissance géotechnique complémentaire.

- **niveau utile de la digue**

C'est le niveau d'implantation du déversoir de sécurité, atteint en crue centennale. Dans le cas d'une retenue permanente, il s'agit du niveau de consigne. 3 niveaux différents ont été étudiés (110, 115, et 120 m NGF : au-delà aucun écrêtement supplémentaire n'est réalisable). La hauteur utile en est déduite par soustraction du niveau du terrain naturel moyen au droit de la digue (= niveau des berges, avec la précision du 1/25000° IGN).

- **revanche**

Par rapport au niveau maximal des plus hautes eaux exceptionnelles, défini en fonction du déversoir de sécurité (lame d'eau maximale de 1,50m retenue ici), est ajoutée une revanche comprise entre 1.20 et 2.00 selon la taille de la digue, pour tenir compte de l'effet des vagues créées par le vent sur le plan d'eau.

- **largeur en crête** : 5m

- **fruit des talus** : (ordre de grandeur, à confirmer par une étude de stabilité)

- amont : 1/3
- aval : 1/3

Niveau crête (m NGF)	Hauteur/terrain naturel (m)	Longueur de la digue (m)	Largeur maximale dans l'axe (m)	Volume approché digue (m <sup>3</sup> )
113	9	100	59	25 000
118	14	115	89	63 000
123	19	135	119	136 000

### C.V.2. PERTUIS DE FOND

Cet ouvrage est situé dans le talweg actuel du cours d'eau. Il traverse la digue de part en part et permet de rétablir les débits normaux. La cote de fond et leur pente longitudinale coïncideront avec le fond et la pente existante du cours d'eau. Pour ces débits normaux et les crues fréquentes (crue biennale), l'ouvrage fonctionne en écoulement libre sans modification du régime actuel.

Il s'agira d'ouvrages simples (buse ou dalot en béton armé) sans ou avec ouvrage vanné, équipés d'ouvrage de tête amont et aval en béton armé ainsi que de protections en enrochements.

### C.V.3. DEVERSOIR DE SECURITE

Le niveau du déversoir de sécurité est calé au niveau atteint par le plan d'eau dans la retenue pour une crue centennale. Il n'entrera en fonctionnement que pour des crues supérieures.

Le déversoir est dimensionné pour permettre l'évacuation d'une crue de période de retour décennale (T = 10 000 ans) : cette période a été choisie à ce niveau d'étude, étant donné la hauteur des digues projetées (9 à 19m) et leur mode de construction (digues souples) sensible aux submersions.

Pour des raisons de sécurité, la largeur de déversement est calculée pour permettre le passage de la totalité du débit décennal (afin de parer au mauvais fonctionnement éventuel du pertuis de fond).

La hauteur maximale déversante sur l'ouvrage de sécurité a été prise égale à 1.50 m.

Formule de seuil :

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

$\mu$  = coefficient de seuil

h = hauteur sur le seuil

L = largeur de seuil

Q = débit de sécurité

Application numérique

$$Q = 95 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = 1.5 \text{ m}$$

$$\mu = 0.385$$

$$\Rightarrow L = 30 \text{ m}$$

Étant donné la grande longueur nécessaire, il pourra s'agir d'un déversoir de surface implanté tangentiellement à l'ouvrage de fond (même type que les ouvrages préconisés sur l'Huisne). Les matériaux constitutifs pourront être des enrochements percolés au béton, ou des gabions. Il faudra également prévoir une fosse aval de dissipation de l'énergie, raccordée au cours d'eau au droit de la tête aval du pertuis de fond.

### C.VI. ECRETEMENTS

8 scénarios différents ont été testés, pour la crue centennale et pour la crue de janvier 1995. Ces scénarios combinent différents scénarios de gestion et hauteurs de digue. Les feuilles de calcul sont en annexe C1.

Leur description et les résultats de l'écrêtement sont repris dans les tableaux de résultats suivants.

## Récapitulatif des résultats

Q<sub>100</sub> Sarthe sans écrêtement (aval confluence avec le Merdereau) : 253 m<sup>3</sup>/s (Gradex)

- **Gestion sans intervention**

Il ressort des calculs qu'elle permet un écrêtement sensible de la pointe de crue (12 à 26 m<sup>3</sup>/s), mais le gain est réduit au moment du passage de la pointe de la crue de la Sarthe :

Scénario n°	Hauteur digue (m)	Q <sub>100</sub> Sarthe avec écrêtement (m <sup>3</sup> /s)	gain (m <sup>3</sup> /s)	%
1.1	9	252	1	0%
1.2	14	243	10	4%
1.3	19	237	16	6%

La plus petite retenue envisagée (digue de 9m tout de même) n'apporte aucun gain, et la plus grande apporte un gain de 16 m<sup>3</sup>/s qui commence à devenir sensible.

Il est à noter que pour une autre crue (type janvier 1995), l'écrêtement est quasi-nul.

- **Gestion manuelle**

Une telle gestion permettrait de concentrer l'action de la retenue au moment du passage de la pointe de la crue de la Sarthe :

Scénario n°	Hauteur digue (m)	Q <sub>100</sub> Sarthe avec écrêtement (m <sup>3</sup> /s)	gain (m <sup>3</sup> /s)	%
2.1	9	237	16	6%
2.2	14	233	20	8%
2.3	19	232	21	8%

La digue de 9m de haut apporte déjà un gain légèrement sensible (16 m<sup>3</sup>/s) ; une plus grande retenue n'est pas beaucoup plus efficace (5 m<sup>3</sup>/s gagné pour 10m de hauteur de plus !). Cependant, les contraintes d'exploitation (astreinte du personnel compétent, prévision précise des crues, décision du préfet d'ouvrir / fermer les vannes) rendent cette gestion très difficile à mettre en œuvre.

- **Usage double**

Une retenue permanente peut contribuer à l'écrêtement des crues, à condition d'adopter une revanche supplémentaire sur le niveau d'exploitation et une vidange 12 h avant l'arrivée de la crue :

Scénario n°	Hauteur digue (m)	Q <sub>100</sub> Sarthe avec écrêtement (m <sup>3</sup> /s)	gain (m <sup>3</sup> /s)	%
3.1	14	244	9	4%
3.2	19	237	16	6%

Ici encore, les contraintes d'exploitation rendent ce type de gestion extrêmement difficile à mettre en œuvre (prévision de la pointe de crue avec 12 h d'avance, décision du préfet d'ouvrir préventivement les vannes).

## C.VII. ESTIMATION SOMMAIRE DES COÛTS

Une estimation sommaire des coûts des ouvrages prévus hors mesures compensatoires est décomposée en annexe C2. Voici la synthèse :

Scénario n°	Coût estimé de l'ouvrage hors mesures compensatoires (HT)	Mesures compensatoires « minimales »
1.1	6 MF	-
1.2	10 MF	50 m de voie communale à rehausser protection d'une habitation au Chiantin
1.3	15 MF	800 m de voie communale à rehausser 1 franchissement à reconstruire 1 expropriation 3 habitations à protéger
2.1	7 MF	-
2.2	13 MF	50 m de voie communale à rehausser protection d'une habitation au Chiantin
2.3	21 MF	800 m de voie communale à rehausser 1 franchissement à reconstruire 1 expropriation 3 habitations à protéger
3.1	15 MF	50 m de voie communale à rehausser protection d'une habitation au Chiantin
3.2	25 MF	800 m de voie communale à rehausser 1 franchissement à reconstruire 4 expropriations

## C.VIII. CONCLUSION

**Bassin versant du Merdereau**      affluent rive droite de la Sarthe  
superficie du bassin versant à la confluence : 181 km<sup>2</sup>  
Q<sub>10</sub>      = 29 m<sup>3</sup>/s  
Q<sub>100</sub>     = 50 m<sup>3</sup>/s

Plusieurs sites (3) sur le Merdereau sont potentiellement favorables à la création d'une retenue d'écrêtement des crues. L'un d'entre eux présente le meilleur potentiel hydraulique et des contraintes d'occupation des sols acceptables (site n°3 à St-Paul-le-Gaultier) :

### Capacité

Hauteur de digue	Surface submergée (Q <sub>100</sub> )	Volume stocké (Q <sub>100</sub> )
9 m	37 ha	1.3 Mm <sup>3</sup>
14 m	53 ha	3.4 Mm <sup>3</sup>
19 m	75 ha	6.7 Mm <sup>3</sup>

### Contraintes

- Environnementales : fortes (ZNIEFF de type II - parc Naturel Régional Normandie Maine)
- Piscicoles : fortes (ruisseau de catégorie I)
- Occupation des sols : moyennes à fortes (pâturages, 1 à 5 habitations, une voie communale et un pont)
- Usages : faibles

### Type de gestion

L'objectif de la retenue est de réduire le risque d'inondation de la Sarthe, Or, le maximum de la crue de la Sarthe passe après celui sur le Merdereau.

Seule une gestion active de la retenue garantirait qu'elle n'aura pas été préalablement remplie par le passage du maximum sur le Merdereau, pour pouvoir écrêter celui-ci au moment du passage du maximum de la crue de la Sarthe.

Cette gestion active serait très difficile à mettre en œuvre :

- astreinte de personnel compétent,
- prévision de crue de la Sarthe suffisamment précise (prévision à 12 h du max. de la Sarthe à la confluence avec le Merdereau, ce qui signifie identification claire du max. de la crue de la Sarthe avant Alençon), ce qui n'est pas techniquement faisable dans l'état actuel des techniques,
- décision du préfet pour la manœuvre des vannes prise en période de crise.



Un éventuel usage double n'apparaît pas envisageable puisqu'il nécessite d'une part une gestion active, techniquement très difficile à mettre en œuvre, et d'autre part une vidange préalable qui peut être appréhendée de deux manières :

- vidange hivernale, inenvisageable eu égard aux contraintes environnementales,
- vidange préalable à la crue, qui nécessiterait de disposer d'une prévision plus précise et plus fiable que l'état actuel des techniques ne le permet.

### Écrêtement maxi

- Crue centennale,
- Digue de 19 m de haut.

	N°	Gain sur la crue centennale à St-Paul-le-Gaultier	% d'écrêtement de la crue de la Sarthe à St-Paul-le-Gaultie	Estimation du coût de l'ouvrage hors mesures compensatoires
Gestion sans intervention	1.3	16 m <sup>3</sup> /s	6 %	15 MF HT
Gestion avec intervention	2.3	21 m <sup>3</sup> /s	8 %	21 MF HT
Gestion double	3.2	16 m <sup>3</sup> /s	6 %	25 MF HT

L'écrêtement maximum de la crue centennale de la Sarthe que l'on peut attendre d'un tel aménagement reste faible : 16 à 21 m<sup>3</sup>/s au niveau de la confluence Sarthe-Merdereau. De plus, ce gain s'atténuera lors de la propagation de la crue pour n'atteindre qu'une dizaine de mètres-cube au Mans.

**Une faible efficacité couplée à des difficultés rédhibitoires de mise en œuvre font que la retenue sur le Merdereau ne peut correspondre aux objectifs attendus de réduction du risque d'inondation sur la vallée de la Sarthe.**

**D. FAISABILITE D'UNE RETENUE D'ECRETEMENT DES  
CRUES SUR LA SARTHE AU GUE ORY**

## D.I. INTRODUCTION

Cette partie a pour objet d'analyser la faisabilité et les modalités de gestion d'une retenue sur la Sarthe au Gué Ory, sans exclure l'éventualité d'une retenue permanente ou semi-permanente puisqu'un projet de retenue de loisirs y avait été envisagé par le passé.

Le principe de fonctionnement est identique à celui présenté précédemment au chapitre C.1.2.

La structure du chapitre est identique au précédent ; les points suivants seront successivement abordés :

- analyse du site,
- hydrologie,
- modalités de gestion,
- prédimensionnement,
- efficacité,
- estimation sommaire des coûts.

## D.II. ANALYSE DU SITE

La première phase de l'étude des crises hydrologiques du bassin de la Maine a détecté un seul site potentiel sur la Sarthe, permettant de recevoir une retenue d'écêtement des crues : il est situé en amont du Gué Ory, sur les communes de St-Paul-le-Gaultier, Sougé-le-Ganelon et St-Léonard-des-Bois. Situé à la sortie des Alpes Mancelles, il bénéficie encore d'un encaissement limitant la taille du barrage, tout en disposant d'une certaine capacité à l'amont.

### D.II.1. ÉTUDES EXISTANTES

Ce site avait déjà été étudié en 1988/1989 dans le cadre de la faisabilité d'une retenue de loisirs (Conseil Général de la Sarthe) :

- levées topographiques :
  - cuvette au 1/5 000<sup>e</sup>
  - zone de la digue au 1/2 000<sup>e</sup>
  - bourg de Saint-Léonard-des-Bois au 1/2 000<sup>e</sup>
- études géologiques et géotechniques
  - étude de fracturation des roches de la cuvette
  - prospection géophysique sur le site de la digue (cartes des résistivités),
  - étude des fondations de l'ouvrage et de la stabilité des versants (sondages et essais géotechniques)
- études hydrologiques :
  - estimation provisoire de la crue de projet sur la Sarthe au niveau du Gué Ory (SHC Orléans),
  - étude complémentaire de la crue de projet (SRAE Nantes).

Une autre étude a de plus été réalisée très récemment pour la commune de Saint-Léonard-des-Bois (ISL Angers, mars 1999) :

- étude hydraulique de définition du risque et de mesures d'alerte au droit du camping municipal :
  - étude hydrologique des crues d'orage des affluents amont (Sarthon, Ornette, Terrançon),
  - levée de 9 profils en travers de la vallée de l'aval de St Cénéri-le-Géréi à l'aval de St Léonard des Bois.
  - modélisation hydraulique de la Sarthe.

## D.II.2. BASSIN VERSANT

Le bassin versant de la Sarthe en amont du Gué Ory se décompose en deux parties distinctes :

- la partie normande, en amont du Moulin du Désert (commune de Moulin le Carbonnel) : Ce bassin de 906 km<sup>2</sup> représente une très large zone inondable exceptée dans la traversée d'Alençon. Le bassin est perméable, couvert de prairies et de terres labourables. La pente moyenne est faible (0.5 ‰).

La Sarthe est aménagée de barrage, de moulins, au nombre de 19.

Superficie du bassin versant	: 906 km <sup>2</sup>
Altitude à la source	: 257 m
Altitude à l'exutoire	: 124 m
Longueur	: ~70 km
Pente moyenne	: 0.5 ‰

- la partie traversant les Alpes Mancelles, de Moulin du Désert au Gué Ory :

Ce bassin versant intermédiaire de 300 km<sup>2</sup> est situé sur le socle armoricain, caractérisé par un relief marqué (le sommet des Alpes mancelles s'élève à 417 m d'altitude) et par un substratum de schistes imperméables. Cette zone est donc placée dans un terrain favorable au ruissellement.

La Sarthe s'écoule dans une vallée sinueuse et très encaissée. Ce bassin est drainé principalement par deux affluents de rive droite : le Sarthon (120 km<sup>2</sup>) et l'Ornette (92 km<sup>2</sup>).

Superficie du bassin versant	: 300 km <sup>2</sup>
Altitude du point culminant	: 497 m
Altitude à Gué Ory	: 87 m
Cheminement hydraulique	: 15 km
Pente moyenne à l'aval d'Averton	: 2.5 ‰

## D.II.3. TOPOGRAPHIE - MORPHOLOGIE DU SITE

Le site envisagé se situe à l'extrémité Sud des Alpes Mancelles, au débouché des gorges de la Sarthe, de St-Généri jusqu'à Saint-Léonard-des-Bois, la Sarthe s'écoule entre des falaises de 50 à 100 m de haut, la largeur du lit mineur varie de 20 à 30 m). La largeur du champ d'inondation est d'une centaine de mètres.

A l'aval, de Saint-Léonard-des-Bois, le relief s'adoucit et la vallée s'élargit. La plaine d'inondation atteint localement 300 à 400 m. la vallée se resserre encore au droit du site envisagé (le Bois Ory) pour s'élargir de nouveau ensuite au niveau du Gué Ory.

## D.II.4. GEOLOGIE

D'après la carte géologique au 1/50 000<sup>e</sup> de Villaines-la-Juhel, le socle géologique est constitué de terrains sédimentaires.

Il s'agit de roches anciennes du briovérien supérieur composées de flysch, complexe sédimentaire présentant une succession de séquences où alternent :

- des matériaux détritiques remaniés: les grauwackes,
- des silts (matériaux plus gros que les argiles) consolidés ou siltites,
- des argilites (argiles consolidés).

Le tout est organisé en séquence granoclassée (classement des grains par taille progressivement croissante ou décroissante).

Ce flysch a subi des plissements lors de l'orogénèse du cadomien.

Les fonds de vallée sont composés de formations alluviales formant des terrasses. Les principaux matériaux sont des blocs, galets et graviers de grès et de quartzites issus de terrains paléozoïques et volcaniques associés à quelques silex.

Les alluvions actuelles sont surtout composées de limons argileux, souvent sableux et glauconieux (minéraux argileux).

Ces alluvions actuelles peuvent masquer les basses terrasses de la Sarthe.

Les sites ont une géologie complexe et très fracturée. Des failles emprunteraient le fond de vallée de la Sarthe (failles marquées ou supposées d'après la carte géologique).

### **Ces terrains conviennent pour construire un barrage en terre sur le site envisagé.**

Cependant les formations alluviales sablo-graveleuses de par leur nature et leur forte perméabilité devront être terrassées sur une hauteur évaluée à 2.50 m environ (d'après les études géotechniques<sup>(\*)</sup>).

L'ouvrage reposera de ce fait sur le substratum du Briovérien considéré comme indéformable.

Des sondages plus précis permettraient de s'assurer des caractéristiques mécaniques de flysch, formation qui peut présenter de par sa structure des phénomènes de glissement (existence de couches dites « couches savons<sup>(\*)</sup> »).

La composition du barrage en terre sera déterminée par la nature des matériaux d'emprunts disponibles sur le site envisagé, qui doit faire l'objet d'une étude complémentaire en fonction des disponibilités des terrains.

Les **études de fracturation** menées en 1989 <sup>(\*)</sup> dans la vallée de la Sarthe au Sud de Saint-Léonard-des-Bois montrent **qu'il peut y avoir localement des failles secondaires susceptibles de générer des altérations très localisées pouvant nécessiter de procéder à des purges avant mise en eau** (dans le cas d'une retenue permanente).

---

(\*) Sources études géologiques et géotechniques 1989 - SOPENA SA/ G. PIERSON

## D.II.5. OCCUPATION DES SOLS

Le fond de la vallée est occupé par des prés et des pâturages bocagers.

Quelques cultures sont présentes en haut de vallons.

## D.II.6. HABITAT

Deux fermes sont situées à proximité au niveau du site même (le « Petit Bois Ory » en rive gauche, la « Jarriais » en rive droite). Quelques granges pourraient être touchées par une retenue.

Le moulin de Linthe est situé au bord de la Sarthe (3 bâtiments, un gîte rural, une maison d'habitation, un(e) garage/grange). Il a été inondé en 1995 (jusqu'à 1.20 m d'eau dans les parties communes du gîte, 15 jours d'inondation).

Les Echarmeaux : deux habitations sont situées au bord de la Sarthe, mais ne sont pas vulnérables actuellement. Elles le deviendraient par une retenue de grande ampleur.

Saint-Léonard-des-Bois : trois habitations sont situées en bordure de Sarthe, en rive droite à l'aval du pont CD112, ainsi que quelques cabanons de jardin.

## D.II.7. VOIES DE COMMUNICATION

Les deux voies de communication principales situées à proximité du projet sont les suivantes :

- RD 112 (Sougé-le-Ganelon / de Saint-Léonard-des-Bois) : niveau min. : 92.80 m NGF
- RD 146 (St-Paul-le-Gaultier / de Saint-Léonard-des-Bois) : niveau min. : 93.89 m NGF

La coupure de ces voies réduirait considérablement l'accessibilité à de Saint-Léonard-des-Bois depuis le Sud (Fresnay, Sarthe, Le Mans). Les itinéraires de déviation possibles sont les suivants :

- Sougé-le-Canelon / Saint-Léonard-des-Bois (D112) : 6 km  
déviation via Moulin le Carbonnel (D259) : 11 km
- St-Paul-le-Gaultier / Saint-Léonard-des-Bois (D146-D112) : 6 km  
déviation via Gesvres : 10 km

Des voies communales sont également susceptibles d'être submergées :

- accès au lieu-dit « la Vente du Carrefour » (1 ferme)
- chemin rural n°47 : accès au lieu-dit « les Echarmeaux » (2 habitations)+sentier de randonnée pédestre
- voie communale n°3+chemin rural n°54 : voies reliant le hameau du Grand Coslin à Saint-Léonard-des-Bois (dessert également la ferme et l'élevage de Petit Colin).

Une coupure de ces voies serait donc pénalisante. Dans le cas d'une retenue à sec, leur relèvement au niveau des crues cinquantennales pourrait suffire. L'emprise disponible ne serait cependant sans doute pas suffisante (la RD 112 étant en deux points coincée entre la Sarthe et le coteau) : une coupure/déviations temporaire sera donc la seule solution.

Dans le cas d'une retenue permanente, ces voies doivent être relevées au moins au niveau d'exploitation, mais il serait préférable de les relever au niveau du déversoir de sécurité (crue centennale). Cela semble difficilement faisable et peu réaliste : des déviations permanentes seront à mettre en place.

- chemin rural n°35 : sentier de randonnée pédestre

#### D.II.8. ÉQUIPEMENTS - INFRASTRUCTURES

Les équipements suivants sont susceptibles d'être touchés par une retenue :

- station d'épuration de Saint-Léonard-des-Bois,
- camping de Saint-Léonard-des-Bois,
- aménagements de loisir des bords de Sarthe à St Léonard (aire de pique-nique, terrain de pétanque).

#### D.II.9. ACTIVITES

Pêche : la Sarthe est classée en 2<sup>ème</sup> catégorie piscicole.

Parcours de canoë-kayak (1 club)

Gîte rural du moulin de Linthe

Selon la DDASS de la Sarthe, il n'existe aucune prise d'eau directe en Sarthe au niveau du Gué Ory, ainsi que dans le Merdereau.

On recense les sentiers de randonnée pédestre suivants à Saint-Léonard-des-Bois :

- la Vallée de la Misère (6 km),
- le Haut Fourché (3 km).

Ainsi que plusieurs circuits balisés pour le V.T.T.

Les deux chemins de randonnée pédestre à Saint-Léonard-des-Bois longent la Sarthe ; ils risquent donc d'être impraticables sur ces portions, pendant la durée des crues en cas de retenue à vide et toute l'année dans le cas de retenue permanente.

Le GR 36 passe à Saint-Léonard-des-Bois, mais ne serait pas touché par la retenue.

## D.II.10. MILIEU NATUREL - PATRIMOINE

### D.II.10.1. LES ZONAGES

La Vallée de la Sarthe entre Saint-Léonard-des-Bois et Saint-Céneri est classée en ZNIEFF(\*) de type II. Les milieux considérés sont des pelouses sèches acidophiles, des landes à bruyères et genêts, des prairies tourbeuses et des forêts acidophiles. La Sarthe a dans cette zone un courant rapide.

#### Autres classifications

On ne recense aucune ZICO, ZPS ou arrêté de biotope sur la Sarthe au Gué Ory. Les Alpes Mancelles sont proposées au réseau Natura 2000 par la DIREN des Pays de la Loire ; la zone concernée présente une surface d'environ 1 155 ha.

La zone appartient au Parc Naturel Régional Normandie Maine.

### D.II.10.2. CONTRAINTES PISCICOLES

Les espèces présentes sur la Sarthe sont celles habituellement inféodées aux eaux calmes et se réchauffant facilement : cyprinidés d'eaux lentes (gardon, brème, carpe, ablette, barbeau) ou plus vives (Chevaine et vandoise), carnassiers (perche, brochet, sandre), migrateurs (anguilles), poissons d'accompagnement de la truite (vairon, chabot, loche, goujon).

On signale également la présence d'écrevisses américaines.

Selon le Conseil Supérieur de la Pêche, le peuplement piscicole de la Sarthe est classé comme normal sur tout son cours.

Les zones de frayères du brochet sont réparties sur tout le linéaire du cours d'eau (prairies inondables, fossés, bras morts). Il est à noter qu'une submersion minimale de deux mois est nécessaire au brochet pour se reproduire.

Au Gué Ory, la Sarthe est classée en 2<sup>e</sup> catégorie piscicole. La pêche y est praticable toute l'année, sauf pour le brochet (période de fermeture et taille limite de capture fixée à 50 cm).

Selon le CSP, le brochet est une espèce protégée à haute valeur patrimoniale et est actuellement classée vulnérable (livre rouge des espèces menacées de France - Ministère de l'Environnement, 1992) à cause des modifications des régimes hydrauliques naturels (recalibrages, drainage, ...). Le brochet représente de plus un enjeu halieutique et médiatique fort.

Selon le CSP, la préservation et la reconquête des milieux favorables au brochet est la meilleure garantie du développement du brochet.

La Sarthe fait l'objet du « Contrat Retour aux Sources ». Une étude réalisée en 1998 par la DIREN Pays de la Loire donnait les conditions de franchissement pour les poissons migrateurs (source : Fish-Pass). La scierie de Saint-Céneri y est classée comme obstacle majeur à la migration des anguilles.

---

(\*) ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Floristique Et Faunistique  
de type II : identifie un grand ensemble naturel, milieu dans lequel toute modification fondamentale des conditions écologiques doit être évitée.  
de type I : identifie un milieu homogène, plus ponctuel, d'intérêt remarquable du fait de la présence d'espèces protégées (rares ou menacées) caractéristique d'un milieu donné.



### *D.II.10.3. CONTRAINTES LIEES AU PATRIMOINE*

Selon la DRAC Pays de la Loire, on recense le Manoir de Linthe, inscrit par arrêté du 16 juillet 1984 comme monument historique dans la zone d'étude, ainsi que les sites inscrits suivants :

- la Butte de Narbonne à Saint-Léonard-des-Bois,
- le Déluge et le Moulin Neuf à Saint-Léonard-des-Bois,
- la Butte de Saint-Laurent à Saint-Léonard-des-Bois.

### *D.II.10.4. PAYSAGE*

La Sarthe dans ce secteur a un faciès de rivière tout à fait singulier, particulier à l'échelle de la Région des Pays de La Loire : son aspect de rivière sauvage et libre est remarquable dans sa traversée des Alpes Mancelles.

### *D.II.10.5. SDAGE*

Un schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux a été adopté sur le bassin Loire-Bretagne (juillet 1996). Il fait un certain nombre de recommandations pour la réalisation d'ouvrages d'écrêtement des crues :

- leur création doit être dûment justifiée par leur rôle sur les plans humains et économiques, et ils doivent être aussi peu que possible perturbateurs des écosystèmes.
- le caractère naturel, la qualité écologique et paysagère des champs d'expansion de crue doivent être sauvegardés voire retrouvés,
- les crues les plus fréquentes ne doivent pas être supprimées et les milieux y être soustraits : elles ont un rôle fondamental dans la dynamique géomorphologique des cours d'eau et pour la régénération des milieux.

### *D.II.10.6. SYNTHÈSE*

Le tableau ci-dessous synthétise les différentes contraintes sur le site de retenue projetée :

<b>Contraintes</b>	<b>Sarthe</b>
ECOLOGIQUES	Fortes en queue de retenue
PISCICOLES	Moyennes
USAGES	Fortes en queue de retenue
PATRIMOINE	Fortes, présence éventuelle de sites archéologiques à vérifier
PAYSAGE	Fortes

Les contraintes écologiques seront également fortes dans le cas d'une retenue permanente, induisant la destruction des prairies hygrophiles de fonds de vallée notamment.

Concernant les monuments historiques inscrits, il apparaît nécessaire de relever sur le terrain leur cote topographique, afin de vérifier s'ils sont hors d'eau pour chaque variante étudiée, ainsi que les chemins ou voies d'accès.

Concernant les contraintes piscicoles, l'installation d'un nouvel obstacle infranchissable sur la Sarthe sera préjudiciable au peuplement piscicole.

On peut également craindre le développement d'une faune piscicole de plans d'eau en cas de retenue permanente ; ce peuplement concurrencera alors celui existant et pourra aller jusqu'à le remplacer.

L'installation de passes à poissons pourrait pallier en partie à ce phénomène ; ces dispositifs ne sont cependant pas efficaces à 100 %.

En tout état de cause, il semble que la perturbation du milieu sera d'autant plus préjudiciable au peuplement piscicole et à la qualité des eaux qu'elle durera dans le temps. Dans cette optique, une retenue à sec semble la solution de moindre impact à retenir.

## *D.II.10.7. CONTRAINTES LIEES A UNE RETENUE PERMANENTE*

### *D.II.10.7.1. Généralités*

Les ouvrages seront dimensionnés pour la crue centennale. Au vu de la périodicité de ces événements, et sous réserve d'une absence de manœuvre de vannes hors période de  $Q_{100}$ , on peut avancer l'hypothèse que le milieu écologique subira selon les cas :

- des modifications brutales et soudaines dans le cas d'une retenue à sec, de même nature que l'effet naturel d'une crue mais notablement amplifiées et étendues ; on peut espérer un retour « à la normale » du milieu entre deux crues,
- une modification complète dans le cas d'une retenue permanente, le milieu existant étant totalement modifié.

### *D.II.10.7.2. Qualité des eaux*

Dans un plan d'eau à forte inertie, la répartition des températures n'est pas homogène dans la colonne d'eau. En effet, l'absorption plus rapide des radiations calorifiques solaires par les couches supérieures et la relation entre densité et température de l'eau peuvent provoquer un phénomène de stratification thermique.

De plus, la stagnation de l'eau dans un bassin provoque inévitablement une augmentation de la température de l'eau qui, lors des vidanges, peut provoquer une pollution thermique de l'exutoire.

L'augmentation progressive des éléments nutritifs, notamment azote et phosphore dans le plan d'eau pourra provoquer une multiplication explosive bactérienne et phytoplanctonique. Lors de grandes chaleurs, cela pourra aboutir à une eutrophisation de la colonne d'eau : consommation de tout l'oxygène dissoute par les micro-organismes et les phénomènes d'oxydation chimique. On pourra alors observer l'apparition, en fond de plan d'eau, d'une zone d'anoxie.

Ceci est d'autant plus sensible que, selon le CSP, l'agglomération d'Alençon dispose d'un système d'épuration vétuste et inadapté, et que la Sarthe présente déjà de fortes teneurs en azotes et en phosphore.

A plus ou moins long terme, les eaux de ruissellement permettront un enrichissement en matières nutritives de la retenue, élément de croissance bactérienne importante. Compte tenu de la profondeur du plan d'eau, il pourrait y avoir création d'une zone euphotique (la zone euphotique correspond à la profondeur à laquelle n'arrive plus que 1 % de la lumière incidente).

Enfin, dans le cas d'une retenue permanente, des vidanges périodiques (au moins décennales) seront nécessaires ; ces opérations provoqueront le relargage des sédiments accumulés pouvant conduire à l'asphyxie du milieu à l'aval. Le site est situé dans le Parc Régional Normandie-Maine.

#### D.II.11. COURBES HAUTEUR - VOLUME - SURFACE

Pour différentes hauteurs utiles, les surfaces inondées ont été reportées sur le levé topographique au 1/5000<sup>e</sup> ; préalablement agrandi au 1/10000<sup>e</sup>.

Ces surfaces ont été planimétrées. Les volumes ont été déduits par intégration.

Les valeurs ainsi calculées sont relativement précises ( $\pm 10\%$ ).

#### D.II.12. SYNTHÈSE

Les différentes possibilités d'écrêtement et de gestion vont être étudiées pour quatre tailles de barrage, ayant une hauteur utile (hauteur d'eau atteinte en crue centennale) variant de 6 m à 13 m, soit un niveau utile variant de 93 m NGF (limitation des impacts à l'amont) à 100 m NGF (niveau d'exploitation pris en compte dans l'étude du complexe de loisirs en 1988).

### D.III. HYDROLOGIE

Les débits de la Sarthe sont connus à la station de jaugeage du Moulin du Désert (M0050620, en fonctionnement depuis 1979).

Les débits caractéristiques de la Sarthe à cette station sont les suivants (source : étude des crises hydrologiques du bassin de la Maine - EPALA - DIREN Centre - CNR -1999) :

La Sarthe au Moulin du Désert :

surface bassin versant = 906 km<sup>2</sup>

Q<sub>10</sub> : 100 m<sup>3</sup>/s (ajustement de Gumbel)

Q<sub>50</sub> : 135 m<sup>3</sup>/s (ajustement de Gumbel)

Q<sub>100</sub> : 180 m<sup>3</sup>/s (méthode du Gradex)

Q<sub>1995</sub> : 144 m<sup>3</sup>/s

Au droit du projet, les débits de crue de période de retour faible à moyenne peuvent être estimés par la formule de Myer (proportionnalité des débits aux surface de bassin versant à la puissance 0,8). Ainsi :

La Sarthe au droit du projet :

surface bassin versant = 1206 km<sup>2</sup>

Q<sub>10</sub> : 126 m<sup>3</sup>/s

Q<sub>50</sub> : 170 m<sup>3</sup>/s

Q<sub>1995</sub> : 180 m<sup>3</sup>/s

Le débit de crue de fréquence centennial peut être estimé par deux méthodes :

- méthode de Myer : Q<sub>100</sub>=225 m<sup>3</sup>/s
- méthode du Gradex : Q<sub>100</sub>=223 m<sup>3</sup>/s (cf. ci-contre - les paramètres de la méthode sont ceux fournis dans l'étude de phase I déjà citée)

débit retenu : Q<sub>100</sub> : 225 m<sup>3</sup>/s

L'hydrogramme synthétique centennial à Moulin du Désert est obtenu en appliquant les critères suivants :

- temps de montée : 3 jours
- débit de pointe : 180 m<sup>3</sup>/s
- courbe de décrue : respect des débits moyens centennaux de la Sarthe sur plusieurs jours consécutifs (données banque Hydro) :

	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Volume correspondant (Mm <sup>3</sup> )
VCX2	119	20.6
VCX4	111	38.4
VCX6	104	53.9
VCX10	90	77.8

Les hydrogrammes au droit du projet sont obtenus par homothétie de ceux à Moulin du Désert.

## Crue de sécurité :

Le Service Hydrologique Centralisateur du bassin Loire Bretagne a réalisé en 1988 une estimation provisoire de la crue de projet sur la Sarthe au niveau du Gué Ory (crue décennale) ; cette étude a fait l'objet d'une note complémentaire du SRAE Pays de Loire.

L'estimation était provisoire car elle nécessitait une étude des pluies plus poussée au niveau de l'Avant Projet Sommaire : ceci reste valable encore ici.

Le calcul est basé sur la méthode du Gradex, appliqué aux deux sous-bassins versant caractéristiques de la Sarthe au Gué Ory : haut bassin, lent, à l'amont de Moulin de Désert (906 km<sup>2</sup>), bassin intermédiaire rapide traversant les Alpes Mancelles (300 km<sup>2</sup>).

L'estimation du débit décennal peut être actualisée en utilisant la dizaine d'année de mesure supplémentaires (pluie et débits) :

- haut bassin :

### Méthode du Gradex

	Calcul réalisé en 1988	Actualisation 1999
temps de base	48h	48h
débit seuil	Q30=75.5 m <sup>3</sup> /s	Q50=135 m <sup>3</sup> /s
rapport Qi/Qm	1.09	1.09
gradex des pluies	10.4	10
<b>Q<sub>10 000</sub></b>	<b>463 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>438 m<sup>3</sup>/s</b>

- bassin intermédiaire :

Le débit spécifique de ce bassin avait été évalué grâce à la station sur le Sarthon, qui n'est plus exploitée depuis 1984 : l'estimation du débit seuil sur ce bassin n'a donc pas été actualisée (2 autres stations ont été mises en service depuis, mais ont trop peu d'année d'existence). Quant au gradex des pluies, il avait été extrapolé des valeurs au Mans et à Alençon : justifier une autre valeur nécessiterait une étude poussée des pluies, ce qui ne fait pas l'objet de la présente étude. La valeur proposée en 1988 est donc toujours d'actualité à défaut d'une étude plus poussée :

$$Q_{10\ 000} = 349 \text{ m}^3/\text{s}$$

- débit de sécurité retenu , identique à l'estimation de 1988

$$Q_{10\ 000} = 825 \text{ m}^3/\text{s}$$

## D.IV. PREVISION DES CRUES

Une gestion de la retenue asservie en temps réel nécessite une prévision des crues de la Sarthe au Gué Ory précise et fiable, avec une avance de 12 à 24 h suivant les scénarios. Ceci nécessite la mise en place d'un réseau de mesure automatisé et la constitution d'un modèle de bassin versant :

Données nécessaires :

- Acquisition et traitement des pluies horaires sur le haut bassin de la Sarthe,
  - les écarts de pluviosité sur ce bassin versant de 1 200 km<sup>2</sup> rendent nécessaires au moins 2 ou 3 stations :
    - ⇒ une représentative des Alpes Mancelles (Pré en Pail par exemple, qui est automatisée depuis 1997),
    - ⇒ Alençon (automatisée depuis 1957).
  - une période minimale d'observation et d'accumulation de ces données est indispensable (5 à 10 ans minimum),
- Enregistrement des débits,
  - ceux de la Sarthe sont connus au Mêle / Sarthe et à Moulin du Désert, ce qui semble suffisant,
  - mesure des débits des affluents importants : les seuls affluents jaugés actuellement sont l'Ornette (depuis 1992) et le Terraçon (depuis 1998). Le plus important, le Sarthon n'est plus instrumenté depuis 1984 : cette station hydrométrique devrait être remise en service.

### Modélisation

Lorsqu'une quantité suffisamment importante de données pluviographiques et hydrométriques sera disponible (5 à 10 ans d'observation), une modélisation du bassin versant amont pourra être réalisée, couplant :

- des modèles pluie-débit sur les affluents et la Sarthe à l'amont du Mêle,
- un modèle de propagation sur la Sarthe. Une fois mis au point, un tel modèle pourra fournir des prévisions de crues précises, alimenté en temps réel par les données pluviométriques et hydrométriques mesurés.

### Conclusion

Disposer d'un tel outil de prévision des crues est envisageable à long terme, mais impossible à court terme. Cela nécessitera un réseau de télémesures plus dense que celui prévu actuellement (CRISTAL) ainsi qu'un fort budget du fonctionnement (astreinte d'équipes compétentes).

## D.V. MODALITES DE GESTION

### D.V.1. OBJECTIF D'ECRETEMENT

L'objectif de cet ouvrage est de générer un gain sur la crue centennale de la Sarthe.

### D.V.2. MODALITES DE GESTION ENVISAGEES

Les différentes hypothèses de gestion suivantes vont être analysées :

- gestion sans intervention (pertuis ouvert),
- gestion avec intervention : manœuvre des vannes de fond en crue
  - manœuvre manuelle,
  - manœuvre automatique.

#### *D.V.2.1. GESTION SANS INTERVENTION*

Dans cette hypothèse, il n'est pas prévu d'intervention en crue sur les vannes. Le fonctionnement de la retenue après saturation est automatique, conditionné par la dimension de l'ouvrage de rétablissement du cours l'eau servant de régulateur de débit, et par le déversoir.

L'ouvrage de rétablissement (pertuis de fond) est dimensionné pour écrêter de manière optimale des crues prédéfinies (centennales dans le cas présent). L'ouvrage fonctionne cependant pour des crues moins fortes, mais de manière moins efficace. Les crues courantes (de fréquence biennale) ne sont pas écrêtées.

Son rendement est donc bon que la solution avec intervention, et ce d'autant plus que le fond du bassin se remplit plus rapidement, en raison de la plus faible taille de l'ouvrage de sortie.

Cependant, ce mode de gestion présente l'énorme avantage de ne pas être soumis aux aléas de l'intervention humaine ou automatique, toujours importants en période de crue.

L'implantation d'une vanne peut-être intéressante, car elle permet, après observation de plusieurs crues, d'optimiser l'ouverture de l'ouvrage hydraulique, en ajustant la hauteur de la vanne, et ainsi d'obtenir un meilleur rendement de la retenue.

Les scénarios 1.1. à 1.4 modélisés ci-après (§ D.VI) permettent de tester l'efficacité de ce mode de gestion.

## *D.V.2.2. GESTION AVEC INTERVENTION*

Dans cette hypothèse, le pertuis de fond est équipé de vannes manœuvrées en crue afin d'optimiser l'écrêtement. L'ouvrage de rétablissement du cours d'eau est dimensionné de manière à pouvoir laisser passer le débit centennal.

Deux types d'interventions sur les vannes sont possibles :

### *D.V.2.2.1. Gestion manuelle*

C'est une équipe d'intervention qui est chargée de fermer/ouvrir les vannes. L'ordre peut être donné par dépassement d'une cote d'alerte ou par un service d'annonce de crue.

Prévision des crues de la Sarthe au Gué Ory ~ 6 à 24 h (suivant type de crue).

Les scénarios 2.1 à 2.4 (§ D.VI) permettent de tester l'efficacité de ce mode de gestion, dans les conditions suivantes :

Hypothèse de fermeture partielle des vannes : 12 h avant le maxi de la crue de la Sarthe.

La hauteur de fermeture est optimisée pour obtenir un remplissage maximum sans débordement en crue centennale, donc un écrêtement maximal pour cette crue.

Le délai de prévision des crues actuel permet de prévoir l'arrivée d'une crue, mais pas avec une précision suffisante son amplitude. Ainsi, la hauteur de fermeture des vannes devra être fixe quelque soit la crue : aussi, seuls les débits centennaux seront vraiment écrêtés malgré l'intervention.

Ce type de gestion n'offre pas de réel intérêt, puisqu'elle nécessite une astreinte permanente de personnel compétent, mais n'aura de réels effets que sur une crue de fréquence centennale.

### *D.V.2.2.2. Gestion asservie*

La fermeture des vannes est automatisée, asservie à un débit de fuite de consigne invariable (gestion en boucle ouverte) ou non (gestion en boucle fermée, asservie à ce qui se passe en temps réel sur la rivière).

Ici, le débit de fuite consigne  $Q_c$  a été optimisé, pour une crue centennale.

Les scénarios 3.1 à 3.4 (§ D.VI) permettent de tester l'efficacité de ce mode de gestion.



Règle de gestion :

Tant que (débit entrant <  $Q_c$ ) : (vannes ouvertes)

Dès que (débit entrant  $\geq Q_c$ ) : (fermeture progressive des vannes assurant débit sortant =  $Q_c$ )

Gestion en boucle ouverte :

Le débit de fuite de consigne  $Q_c$  est invariable. Ce type de gestion présente l'inconvénient de ne pas écrêter les débits inférieurs à celui-ci. Les plus petites retenues envisagées seraient restées quasi vides lors de la crue de 1995, pour un écrêtement minime voire nul. Un changement de consigne a donc été testé pour cette crue ; la mise en œuvre d'une telle gestion n'a pas été étudiée plus en détail.

Le gain de ce type de gestion par rapport à une gestion manuelle est de ne pas nécessiter d'intervention en période de crue (la régulation des forts débits est automatique) et ne nécessite pas de prévision des crues.

Gestion en boucle fermée :

Dans ce type de gestion, le débit de fuite de consigne peut être modifié au cours d'une crue. Différents types de crues pourront ainsi être écrêtés. Cependant, ce système nécessite une réelle prévision des crues à moyen / long terme.

Étant donné la dynamique des crues de la Sarthe amont, il faudra pouvoir disposer d'une prévision précise du maximum au Gué Ory, au moins 12 h à l'avance.

Cela signifie qu'il faudra identifier clairement le maximum de la crue de la Sarthe avant qu'il n'atteigne Alençon.

Cela demande la mise en place d'un modèle de prévision des crues sur la Sarthe amont, qui n'existe pas actuellement (cf. § IV.4).

### **D.V.3. FONCTIONS DOUBLES**

Ce paragraphe a pour objet d'analyser les autres fonctions que pourrait remplir une retenue au Gué Ory, et leur compatibilité avec la fonction première d'écrêtement des crues.

#### ***D.V.3.1. LOISIRS***

Le site du Gué Ory a déjà fait l'objet d'études il y a une dizaine d'années pour la création d'un plan d'eau, intégré à un complexe de loisirs. Il existe une réelle demande pour un tel pôle d'attraction touristique.

### *D.V.3.2. SOUTIEN D'ETIAGE*

La Sarthe est caractérisée par des étiages sévères. Un soutien d'étiage peut être considéré comme significatif à partir d'un dixième de module moyen interannuel.

A Montreuil :  $Q_M = 19.9 \text{ m}^3/\text{s}$   
Il faut donc  $Q_{\text{fuite}} > 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$

Et ce, pendant les mois d'étiage de la Sarthe : juillet, août et septembre.

Il faut donc au minimum le volume suivant :

$$V = 90 \times 3600 \times 24 \times 2 = 15.6 \text{ Mm}^3$$

Cette retenue ne peut donc pas réaliser à elle seule le soutien des étiages de la Sarthe. Elle peut tout de même y participer avec les contraintes de qualité des eaux et de double gestion que cela pose. De plus, un tel usage n'est pas compatible avec une utilisation loisir, le niveau d'eau devant alors être maintenu l'été.

### *D.V.3.3. EAU POTABLE*

En ce qui concerne le département de la Sarthe, il n'y a pas besoin de réserve d'eau brute particulière. La ville du Mans recherche une source complémentaire, mais la distance est trop grande (~45 km) pour que cette utilisation soit réaliste. De plus, les ressources préférentielles sont les nappes profondes.

### *D.V.3.4. IRRIGATION*

Il y a peu de culture dans le secteur envisagé, l'essentiel des terrains agricoles étant des pâturages. De plus, la culture la plus pratiquée est celle du blé et non du maïs, qui elle demande une forte irrigation.

### *D.V.3.5. REGLES DE GESTION*

Un éventuel usage comme plan d'eau de loisirs a été étudié plus en détail : il faut pour cela pouvoir concilier deux objectifs antagonistes :

- maintien d'un niveau d'exploitation pour l'usage courant,
- disposer d'un volume de réserve pour l'écrêtement des crues.

Une revanche est prise entre le niveau d'exploitation et le niveau du déversoir d'orage.

On pourrait envisager un fonctionnement saisonnier, avec vidange de la retenue pendant tous les mois de plus fort risque de crue (novembre à avril). Ceci est à exclure pour des raisons de site et d'environnement : le paysage si remarquable de la vallée serait « lunaire » six mois sur douze lorsque la retenue serait vide.

Deux types de gestion restent alors envisageables :

### 1. « Petite » retenue avec vidange préalable à l'arrivée d'une crue (scénario 4.1)

Puisqu'on envisage une retenue permanente, l'hypothèse choisie est celle qui minimise les nuisances, notamment au niveau de Saint-Léonard-des-Bois : « petite » digue de 11 m.

Cependant, afin de disposer d'un volume de stockage maximal au moment du passage du pic de crue, on peut envisager de vider la retenue avant son passage.

Les règles de gestion de base peuvent donc être les suivantes :

- exploitation hors alerte de crue : maintien du niveau d'exploitation constant dans la retenue,
- pointe de crue précise à  $t_0 + 24 \text{ h}$  :  $t = t_0 \Rightarrow$  ouverture (partielle) des vannes et débit lâché limité au  $Q_{10}$  ( $126 \text{ m}^3/\text{s}$ ),
- si  $Q > Q_{10}$  ou  $t = t_0 + 12 \text{ h}$  : fermeture des vannes pour limiter le débit de fuite de consigne prédéterminé.
- reprise du niveau d'exploitation après le passage de la crue.

Un tel système suppose :

- un modèle de prévision de crue automatisé sur la Sarthe à + 24 h qui n'existe pas actuellement (cf. § D.IV).
- un système de commande et d'asservissement des vannes.

Un problème important posé par cette gestion est la vidange préalable qui aura pour conséquence d'aggraver les inondations à l'aval.

Ce type de gestion ne semble donc pas envisageable.

## 2. Retenue moyenne, sans vidange préalable (scénario 4.2)

Le niveau est maintenu constant hors alerte de crue. En crue, le type de gestion envisagé est une gestion en boucle ouverte : débit de fuite de consigne fixe  $Q_c$ , déterminé pour un remplissage total de la retenue en crue centennale.

### Règles de gestion :

- tant que (débit entrant  $< Q_c$ ) : (maintien du niveau constant dans la retenue grâce aux vannes asservies)
- dès que (débit entrant  $\geq Q_c$ ) : (fermeture progressive des vannes asservies afin d'assurer débit sortant  $= Q_c$ )

En plus de disposer d'un volume de stockage moindre dû au remplissage initial de la retenue, ce type de gestion reprend les inconvénients d'une gestion asservie :

- avec une consigne fixe, les débits inférieurs au débit de consigne ne sont pas écrêtés,
- une adaptation du débit de consigne (gestion en boucle fermée) nécessite un modèle de prévision de crue précis de la Sarthe amont (cf. § IV.3).

Outre les problèmes écologiques posés par une telle retenue permanente, ses capacités d'écrêtement ne semblent pas en mesure de satisfaire aux objectifs de réduction des inondations à l'échelle du bassin (cf. § D.VI. : la crue de 1995 n'aurait pas été modifiée).

## D.VI. PREDIMENSIONNEMENT

### D.VI.1. DIGUE

La topographie du site ainsi que les études géologiques et géotechniques déjà réalisées ont conduit à adopter pour la retenue un endiguement de type digue souple, en terre, avec clef d'ancrage sous l'ouvrage (2,50m de profondeur) afin de bloquer les éventuelles circulations hydrauliques lors de la montée du plan d'eau. Les zones d'emprunts des matériaux constitutifs ainsi que leurs caractéristiques ne seront connues qu'après une campagne de reconnaissance géotechnique complémentaire.

- **Niveau utile de la digue**

C'est le niveau d'implantation du déversoir de sécurité, atteint en crue centennale. Dans le cas d'une retenue permanente, il s'agit du niveau de consigne. 4 niveaux différents ont été étudiés (93, 95, 97.50 et 100 m NGF). La hauteur utile en est déduite par soustraction du niveau du terrain naturel moyen au droit de la digue (= 87 m NGF).

- **Revanche**

Par rapport au niveau maximal des plus hautes eaux exceptionnelles, défini en fonction du déversoir de sécurité (lame d'eau maximale de 1,50m retenue ici), est ajoutée une revanche comprise entre 1.20 et 2.00 selon la taille de la digue, pour tenir compte de l'effet des vagues créées par le vent sur le plan d'eau.

- **Largeur en crête** : 5m

- **Fruit des talus** : (ordre de grandeur, à confirmer par une étude de stabilité)

- amont : 1/3
- aval : 1/3

Niveau digue (m NGF)	Hauteur/terrain naturel (m)	Longueur de la digue (m)	Largeur maximale dans l'axe (m)	Volume approché digue (m <sup>3</sup> )
96	9	190	59	45 000
98	11	210	71	71 000
100.5	13.5	260	86	114 000
103	16	300	101	178 000

### D.VI.2. PERTUIS DE FOND

Cet ouvrage est situé dans le talweg actuel du cours d'eau. Il traverse la digue de part en part et permet de rétablir les débits normaux. La cote de fond et la pente longitudinale coïncideront avec le fond et la pente existante du cours d'eau. Pour ces débits normaux et les crues fréquentes, l'ouvrage fonctionne en écoulement libre sans modification du régime actuel. À ce niveau d'étude, la crue fréquente choisie est la crue biennale. Lors des études ultérieures plus approfondies de ce projet, il conviendra de réétudier ce point (conformité avec le SDAGE).

Il s'agira d'ouvrages simples (buse ou dalot en béton armé) sans ou avec ouvrage vanné, équipés d'ouvrages de tête amont et aval en béton armé ainsi que de protections en enrochements.

### D.VI.3. DEVERSOIR DE SECURITE

Le niveau du déversoir de sécurité est calé au niveau atteint par le plan d'eau dans la retenue pour une crue centennale. Il n'entrera en fonctionnement que pour des crues supérieures.

Le déversoir est dimensionné pour permettre l'évacuation d'une crue de période de retour décennale ( $T = 10\ 000$  ans) : cette période a été choisie à ce niveau d'étude, étant donné la hauteur des digues projetées (9 à 19m) et leur mode de construction (digues souples) sensible aux submersions.

Pour des raisons de sécurité, la largeur de déversement est calculée pour permettre le passage de la totalité du débit décennal (afin de parer à un mauvais fonctionnement éventuel du pertuis de fond).

La hauteur maximale déversante sur l'ouvrage de sécurité a été prise égale à 1.50 m.

Par rapport au niveau maximal des plus hautes eaux exceptionnelles ainsi défini, a été ajoutée une revanche comprise entre 1.20 et 2.00 selon la taille de la digue, pour tenir compte de l'effet des vagues créées par le vent sur le plan d'eau.

Formule de seuil :

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

$\mu$  = coefficient de seuil

$h$  = hauteur sur le seuil

$L$  = largeur de seuil

$Q$  = débit de sécurité

Application numérique

$$Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = 1.5 \text{ m}$$

$$\mu = 0.385$$

$$\Rightarrow L = 200 \text{ m}$$

Étant donné la grande longueur nécessaire, il pourra s'agir d'un déversoir de surface implanté tangentiellement à l'ouvrage de fond (même type que les ouvrages préconisés sur l'Huisne). Les matériaux constitutifs pourront être des enrochements percolés au béton, ou des gabions. Il faudra également prévoir une fosse aval de dissipation de l'énergie, raccordée au cours d'eau au droit de la tête aval du pertuis de fond.

## D.VII. ECRETEMENTS

14 scénarios différents ont été testés, pour la crue centennale et pour la crue de janvier 1995. Ces scénarios combinent différents scénarios de gestion et hauteurs de digue. Les feuilles de calcul se trouvent en annexe B1.

Leur description et les résultats de l'écrêtement sont repris dans les tableaux de résultats suivants.

### Récapitulatif des résultats

Q<sub>100</sub> Sarthe sans écrêtement : 225 m<sup>3</sup>/s au droit du site.

- **Gestion sans intervention**

La retenue fonctionne sans intervention extérieure, pour tout type de crue. Cela permet déjà un gain sensible sur la pointe de crue centennale de la Sarthe au droit du projet :

Scénario n°	Hauteur digue (m)	Q <sub>100</sub> Sarthe au droit du site avec écrêtement (m <sup>3</sup> /s)	gain (m <sup>3</sup> /s)	%
1.1	9	211	14	6%
1.2	11	196	29	13%
1.3	13.5	176	49	22%
1.4	16	164	61	27%

Le gain varie de 14 à 61 m<sup>3</sup>/s suivant la hauteur de digue envisagée. Cependant seuls les 2 premiers scénarios n'atteignent pas le bourg de St-Léonard des Bois.

Il est à noter que pour une crue plus faible (type janvier 1995 par exemple), l'écrêtement est moindre.

- **Gestion manuelle**

Une telle gestion permet de concentrer l'action de la retenue au moment du passage de la pointe de la crue de la Sarthe :

Scénario n°	Hauteur digue (m)	Q <sub>100</sub> Sarthe au droit du site avec écrêtement (m <sup>3</sup> /s)	gain (m <sup>3</sup> /s)	%
2.1	9	208	17	8%
2.2	11	191	34	15%
2.3	13.5	171	54	24%
2.4	16	158	67	30%

Toutefois, le gain supplémentaire à attendre par rapport à la solution sans intervention est minime, limité entre 3 et 6 m<sup>3</sup>/s, avec les contraintes d'intervention qu'une telle gestion suppose.

Cependant la présence des vannes permet d'envisager un écrêtement meilleur des crues inférieures à la crue centennale, à condition de disposer d'une prévision des crues précise et fiable, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.

- **Gestion automatique**

Une telle gestion permet d'optimiser l'action de la retenue pour l'écrêtement de la crue centennale, en limitant le débit sortant à un débit de consigne :

Scénario n°	Hauteur digue (m)	Q <sub>100</sub> Sarthe au droit du site avec écrêtement (m <sup>3</sup> /s)	gain (m <sup>3</sup> /s)	%
3.1	9	189	36	11%
3.2	11	171	54	18%
3.3	13.5	153	72	28%
3.4	16	137	88	31%

Les gains obtenus sont intéressants, même pour les 2 plus petites retenues qui ont des conséquences faibles ou modérées sur l'inondabilité amont. Cependant, les débits inférieurs au débit de consigne ne sont pas écrêtés, à moins de mettre en œuvre un système en boucle fermée qui nécessite de disposer d'un modèle de prévision des crues précis et fiable.

- **Usage double**

Une retenue permanente peut contribuer à l'écrêtement des crues, à condition d'adopter une revanche supplémentaire sur le niveau d'exploitation.

Scénario n°	Hauteur digue (m)	Q <sub>100</sub> Sarthe au droit du site avec écrêtement (m <sup>3</sup> /s)	gain (m <sup>3</sup> /s)	%
4.1	11	180	45	20%
4.2	13.5	175	50	22 %

Cependant, la gestion étant automatique, les débits inférieurs au débit de consigne ne sont pas écrêtés (la crue de 1995 n'aurait pas été modifiée !) à moins de mettre en œuvre un système en boucle fermée qui nécessite de disposer d'un modèle de prévision des crues précis et fiable.



## D.VIII. EFFICACITE A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT

L'efficacité, à l'échelle du bassin, du projet de retenue du Gué Ory a été évaluée grâce au modèle sommaire de la Sarthe.

Deux scénarios ont été testés : scénarios 1.3 et 3.2.

### D.VIII.1. SCENARIO 1.3

Les principales hypothèses de ce scénario sont les suivantes :

- pertuis ouvert,
- hauteur de digue de 13.50 m.

Le modèle de la Sarthe a été modifié pour prendre en compte l'effet de cette retenue. Les hydrogrammes calculés par le modèle aux différents points de contrôle de la Sarthe se trouvent en annexe D2.1.

Les résultats sur les débits de pointe sont les suivants :

Retenue au Gué Ory (pertuis ouvert: scénario 1.3)

Localisation	Profil	Crue centennale (m <sup>3</sup> /s)				Crue de 1995 (m <sup>3</sup> /s)			
		Qinitial	Qaménagé	écart		Qinitial	Qaménagé	écart	
Mêle s/Sarthe	M0	71	71	0	<b>+0%</b>	52	52	0	<b>+0%</b>
St Cénéri	M407	179	179	0	<b>+0%</b>	133	133	0	<b>+0%</b>
Gué Ory	M55	222	177	-45	<b>-20%</b>	165	152	-13	<b>-8%</b>
Neuville s/Sarthe	M112	406	345	-61	<b>-15%</b>	307	288	-19	<b>-6%</b>
Spay	V1	546	491	-55	<b>-10%</b>	508	485	-23	<b>-5%</b>
Beffes	V66	663	618	-45	<b>-7%</b>	641	622	-19	<b>-3%</b>

L'écrêtement de crue généré est sensible à l'aval du Gué Ory en crue centennale. Il est moins fort pour une crue plus faible, type janvier 1995. Un point remarquable est que le gain en débit de pointe est plus fort au Mans qu'au droit du site : ceci est dû à la désynchronisation de la pointe de crue de la Sarthe avec celle des affluents situés entre le projet et le Mans (le débit de pointe naturel de la Sarthe est presque doublé entre le Gué Ory et le Mans).

Au Mans, l'effet retard créé par la retenue n'est plus sensible, du fait des apports de ces affluents.

De même que pour les levées transversales, l'ordre de grandeur de gain en hauteur d'eau généré dans les agglomérations principales peut être estimé par les courbes tarage :

Ordre de grandeur du gain en hauteur d'eau

	Q <sub>100</sub>	Q <sub>(1995)</sub>
Le Mans	30 cm	10 cm
Sablé-sur-Sarthe	15 cm	6 cm

Les gains que permet d'envisager cette solution commencent à être sensibles et intéressants. Ils ne suffisent pas cependant pour empêcher les débordements en fortes crues dans les zones vulnérables du bassin.

## D.VIII.2. SCENARIO 3.2

Les principales hypothèses de ce scénario sont les suivantes :

- gestion automatique des vannes en crue,
- débit de fuite de consigne fixe (171 m<sup>3</sup>/s),
- hauteur de digue de 11 m.

Le modèle de la Sarthe a été modifié pour prendre en compte l'effet de la retenue et de ces consignes de gestion spécifiques. Les hydrogrammes calculés par le modèles aux différents points de contrôle de la Sarthe se trouvent en annexe D2.2.

Les résultats sur les débits de pointe sont les suivants :

**Retenue au Gué Ory (gestion automatique: scénario 3.2)**

Localisation	Profil	Crue centennale (m <sup>3</sup> /s)				Crue de 1995 (m <sup>3</sup> /s)			
		Qinitial	Qaménagé	écart		Qinitial	Qaménagé	écart	
Mêle s/Sarthe	M0	71	71	0	<b>+0%</b>	52	52	0	<b>+0%</b>
St Cénéri	M407	179	179	0	<b>+0%</b>	133	133	0	<b>+0%</b>
Gué Ory	M55	222	170	-52	<b>-23%</b>	165	165	0	<b>+0%</b>
Neuville s/Sarthe	M112	406	374	-32	<b>-8%</b>	307	307	0	<b>+0%</b>
Spay	V1	546	516	-30	<b>-5%</b>	508	508	0	<b>+0%</b>
Beffes	V66	663	637	-26	<b>-4%</b>	641	641	0	<b>+0%</b>

Le débit de pointe de la crue de 1995 est inférieur au débit de consigne : cette crue n'est pas modifiée par le projet.

Pour une crue centennale, l'écrêtement est sensible au droit du barrage. En revanche, il est sensiblement assorti lors de la propagation de l'ordre de crue : contrairement au scénario précédent, il n'y a pas ici d'effet retard : le débit de la Sarthe à l'aval du Gué Ory est constant à partir du début de la fermeture des vannes.

L'absence d'effet retard entre le Gué Ory et le Mans ne permet pas de bénéficier de la désynchronisation des pointes de crue de la Sarthe et de ses affluents : non seulement le gain n'est pas augmenté, mais il est même réduit par amortissement. Au Mans et à Sablé, il est ainsi près de deux fois plus faible que dans le premier scénario, avec pourtant une gestion beaucoup plus élaborée et complexe à mettre en œuvre.

## D.IX. ESTIMATION SOMMAIRE DES COUTS

Une estimation sommaire des coûts des ouvrages prévus hors mesures compensatoires est décomposée en annexe B2. Voici la synthèse :

Scénario n°	Coût estimé hors mesures compensatoires (HT)	Mesures compensatoires et annexes	Autres mesures
1.1	16 MF	1200 m de RD à surélever/dévier	passer à poissons passer à kayak
1.2	21 MF	1300 m de RD à surélever/dévier 1 pont à reconstruire 300m de voie communale à surélever moulin de Linthe à protéger ( ?)	"
1.3	27 MF	1600 m de RD à surélever 1 pont à reconstruire 300m de voie communale à surélever 1 expropriation (moulin de Linthe) STEP à protéger/surélever	"
1.4	35 MF	2000 m de RD à surélever 2 ponts à reconstruire 300m de voie communale à surélever 8 expropriations STEP à déplacer	"
2.1	19 MF	idem 1.1 + astreinte de personnel	"
2.2	24 MF	idem 1.2+ astreinte de personnel	"
2.3	32 MF	idem 1.3+ astreinte de personnel	"
2.4	41 MF	idem 1.4+ astreinte de personnel	"
3.1	20 MF	idem 1.1+ astreinte de personnel	"
3.2	25 MF	idem 1.2+ astreinte de personnel	"
3.3	33 MF	idem 1.3+ astreinte de personnel	"
3.4	42 MF	idem 1.4+ astreinte de personnel	"
4.1	30 MF	1300 m de RD à surélever/dévier 1 pont à reconstruire 300m de voie communale à surélever 1 expropriation (moulin de Linthe) astreinte de personnel	"
4.2	39 MF	1600 m de RD à surélever/dévier 1 pont à reconstruire 300 m de voie communale à surélever 1 expropriation (moulin de Linthe) STEP à déplacer astreinte de personnel	"

Estimation des frais de fonctionnement des scénarios 2.1 à 4.2 :

- entretien des vannes et du système de commande ~150 kf/an
- équipe d'astreinte (3 personnes minimum) ~150 kf/an

Frais de fonctionnement : ~300 kf/an

## D.X. CONCLUSION

Le site du Gué Ory sur la Sarthe est potentiellement favorable à la création d'une retenue d'écrêtement des crues.

### Bassin versant

- superficie : 1206 km<sup>2</sup>
- Q<sub>10</sub> : 126 m<sup>3</sup>/s
- Q<sub>100</sub> : 225 m<sup>3</sup>/s

### Capacité

Hauteur de digue	Surface submergée (Q <sub>100</sub> )	Volume stocké (Q <sub>100</sub> )
9 m	67 ha	1.8 Mm <sup>3</sup>
11 m	94 ha	3.4 Mm <sup>3</sup>
13.50 m	122 ha	6.2 Mm <sup>3</sup>
16 m	150 ha	9.5 Mm <sup>3</sup>

### Contraintes

- Environnementales : fortes
- Piscicoles : moyennes
- Occupation des sols : moyennes à fortes en queue de retenue (une retenue importante atteint le bourg de Saint-Léonard-des-Bois)
- Usages : fortes en queue de retenue (une retenue importante atteint Saint-Léonard-des-Bois)

### Type de gestion

L'objectif de la retenue est de réduire le risque d'inondation de la Sarthe. La crue de projet est la crue centennale.

#### • Usage double

Une éventuelle double vocation (écrêtement et loisirs) a été étudiée : d'une part, cela provoquerait de fortes incidences négatives sur l'écologie du site, et d'autre part l'efficacité hydraulique n'est pas satisfaisante dans l'état actuel de la prévision de crues sur le bassin versant de la Sarthe amont :

- Le fonctionnement saisonnier de la retenue, avec vidange pendant la période de plus fort risque (novembre à avril) est à exclure pour des raisons de site et d'environnement,
- Une vidange préalable à l'arrivée d'une crue n'est pas envisageable dans l'état actuel des techniques de prévision des crues. Cela présenterait de plus le risque d'aggraver les dommages à l'aval,
- Le manque de précision et de fiabilité de la prévision des crues ne permet pas de mettre en œuvre une gestion automatique asservie à ce qui se passe en temps réel sur la Sarthe. Ainsi, seule une gestion en boucle ouverte serait possible (débit de fuite de consigne fixe) : les crues inférieures à la consigne ne seraient pas écrêtées.

Une retenue à double vocation semble difficilement compatible avec les fortes contraintes écologiques du site. Elle pourrait écrêter 50 m<sup>3</sup>/s au plus en crue centennale au Gué Ory (soit -22 %). Cependant, la crue de janvier 1995 serait inchangée.

- **Gestion active (automatique ou manuelle)**

Pour un ouvrage à vocation unique (l'écrêtement des crues), la possibilité de mise en place d'organes de manœuvre activés en période de crue a été étudiée :

- Une manœuvre automatique, asservie à ce qui se passe en temps réel dans la rivière, apporterait un écrêtement intéressant pour différents types de crues. Mais l'état actuel des prévisions de crue ne permet pas la mise en place d'un tel système à court terme,
- Une manœuvre manuelle éviterait la mise en place de système asservi, mais nécessiterait une astreinte de personnel compétent. Cependant, là encore, l'état actuel des prévisions de crue ne permet pas la mise en place d'un tel système à court terme,
- Un débit de fuite de consigne fixe peut être envisagé : l'écrêtement est optimal pour la crue centennale mais présente des inconvénients :
  - les crues inférieures à la consigne ne sont pas écrêtées,
  - l'écrêtement de la crue centennale, intéressant au droit du barrage, est plus limité à l'aval (au Mans notamment) par effet de resynchronisation avec les pointes de crue des affluents,
  - ce scénario entraîne un surcoût d'investissement (~ 1 à 2MF), et de fonctionnement (~300 kf/an) par rapport à l'hypothèse d'un pertuis ouvert.

Les scénarios les plus réalistes en terme de faisabilité (hauteur de digue limitée à 13,50 m, débit de fuite de consigne fixe) aboutissent aux écrêtements suivants :

N°	Hauteur de digue	Écrêtement Q <sub>100</sub> au Gué Ory		Écrêtement Q <sub>95</sub> au Gué Ory	
		gain	%	gain	%
3.1	9 m	36 m <sup>3</sup> /s	16 %	-	-
3.2	11 m	54 m <sup>3</sup> /s	24 %	9 m <sup>3</sup> /s	5 %
3.3	13,5 m	72 m <sup>3</sup> /s	32 %	27 m <sup>3</sup> /s	15 %

- **Gestion passive**

La solution qui semble la plus réaliste est de ne pas mettre en place d'organe à activer en période de crue : l'ouvrage est dimensionné pour écrêter les crues naturellement, sans intervention extérieure (pertuis ouvert).

Les scénarios les plus réalistes en terme de faisabilité (hauteur de digue limitée à 13,50 m) aboutissent aux écrêtements suivants :

N°	Hauteur de digue	Écrêtement Q <sub>100</sub> au Gué Ory		Écrêtement Q <sub>95</sub> au Gué Ory		Coût hors mesures compensatoires
		gain	%	gain	%	
1.1	9 m	14 m <sup>3</sup> /s	6 %	2 m <sup>3</sup> /s	1 %	~16 MF HT
1.2	11 m	29 m <sup>3</sup> /s	13 %	5 m <sup>3</sup> /s	3 %	~21 MF HT
1.3	13.5 m	49 m <sup>3</sup> /s	22 %	18 m <sup>3</sup> /s	10 %	~27 MF HT

Une digue de 13,50 m produit un écrêtement sensible de la crue centennale.

**Ordre de grandeur du gain en hauteur d'eau**

	<b>Q<sub>100</sub></b>	<b>Q<sub>(1995)</sub></b>
Le Mans	30 cm	10 cm
Sablé-sur-Sarthe	15 cm	6 cm

Il peut de plus être envisagé de garder ouverte la possibilité d'organes manoeuvrables, pour être mise en œuvre lorsque l'évolution des techniques de prévisions des crues de la Sarthe le permettra.

**Conclusion**

**Le site du Gué Ory présente une position plus favorable à une réduction directe de pointe de crue de la Sarthe que celui du Merdereau. Une digue de 13,50 m de haut à pertuis ouvert permet un gain sensible en débit au droit du site (jusqu'à -50 m<sup>3</sup>/s en crue centennale). Cet écrêtement de crue se traduit par des gains maximums de hauteur d'eau de l'ordre de 30 cm au Mans et 15 cm à Sablé/Sarthe (pour une crue centennale).**

## E. COMBINAISONS D'AMENAGEMENTS

## E.I. INTRODUCTION

L'objectif de cette partie est d'évaluer l'efficacité des combinaisons des aménagements envisagés sur la Sarthe, ainsi que des combinaisons avec les aménagements envisagés sur l'Huisne.

## E.II. COMBINAISONS D'AMENAGEMENTS SUR LA SARTHE

Deux combinaisons ont été modélisées :

1. Levées transversales + retenue au Gué Ory,
2. Levées transversales + retenue au Gué Ory + retenue sur le Merdereau.

### E.II.1. LEVEES TRANSVERSALES + RETENUE AU GUE ORY

Le scénario de gestion retenu pour la retenue au Gué Ory est le scénario 1.3 :

- pertuis ouvert,
- digue de 13.50 m de haut.

Les hydrogrammes aux points de contrôle sont en annexe E1.

Les écrêtements des débits de pointe sont les suivants :

**Retenue au Gué Ory (pertuis ouvert: scénario 1.3)**

Localisation	Profil	Crue centennale (m <sup>3</sup> /s)				Crue de 1995 (m <sup>3</sup> /s)			
		Qinitial	Qaménagé	écart		Qinitial	Qaménagé	écart	
Mêle s/Sarthe	M0	71	71	0	<b>+0%</b>	52	52	0	<b>+0%</b>
St Cénéri	M407	179	179	0	<b>+0%</b>	133	133	0	<b>+0%</b>
Gué Ory	M55	222	177	-45	<b>-20%</b>	165	152	-13	<b>-8%</b>
Neuvill s/Sarthe	M112	406	345	-61	<b>-15%</b>	307	288	-19	<b>-6%</b>
Spay	V1	546	491	-55	<b>-10%</b>	508	485	-23	<b>-5%</b>
Beffes	V66	663	618	-45	<b>-7%</b>	641	622	-19	<b>-3%</b>

Les levées transversales n'apportant pas de réelles améliorations par rapport à l'effet de la seule retenue de Gué Ory :

- Alençon bénéficie d'un léger écrêtement de crue (5 m<sup>3</sup>/s en crue décennale),
- Le gain à l'aval du Gué Ory est très peu différent de la solution retenue seule (1 à 3 m<sup>3</sup>/s d'écrêtement supplémentaire en crue centennale).

Cette solution n'apporte pas de gain par rapport au scénario d'une seule retenue au Gué Ory, et ce malgré le leur investissement des levées transversales.



## E.II.2. LEVEES TRANSVERSALES + RETENUE AU GUE ORY + RETENUE AU MERDEREAU

Ce scénario combine l'ensemble des aménagements envisagés.

Les scénarios de gestion des retenues sont les suivants :

- Gué Ory - scénario 1.3 :
  - pertuis ouvert,
  - digue de 13.50 de haut
- Merdereau - scénario 2.2 :
  - fermeture des vannes après passage de la crue du Merdereau,
  - digue de 14 m de haut.

Les hydrogrammes aux points de contrôles sont en annexe E2.

Les écrêtements des débits de pointe sont les suivants :

**Levées transversales + Retenue au Gué Ory (pertuis ouvert: scénario 1.3) + retenue sur le Merdereau (sc 2.2)**

Localisation	Profil	Crue centennale (m <sup>3</sup> /s)				Crue de 1995 (m <sup>3</sup> /s)			
		Qinitial	Qaménagé	écart		Qinitial	Qaménagé	écart	
Mêle s/Sarthe	M0	71	71	0	<b>+0%</b>	52	52	0	<b>+0%</b>
St Cénéri	M407	179	174	-5	<b>-3%</b>	133	130	-3	<b>-2%</b>
Gué Ory	M55	222	174	-48	<b>-22%</b>	165	150	-15	<b>-9%</b>
Aval Merdereau	M61	283	218	-65	<b>-23%</b>	208	196	-12	<b>-6%</b>
Neuville s/Sarthe	M112	406	332	-74	<b>-18%</b>	307	284	-23	<b>-7%</b>
Spay	V1	546	479	-67	<b>-12%</b>	508	475	-33	<b>-6%</b>
Beffes	V66	663	608	-55	<b>-8%</b>	641	613	-28	<b>-4%</b>

Ici encore, c'est la retenue au Gué Ory qui génère l'effet principal. Les deux autres aménagements permettent :

- d'écrêter légèrement les débits à Alençon (5 m<sup>3</sup>/s en crue centennale),
- d'écrêter légèrement plus les débits à l'aval (gain supplémentaire de 10 à 13 m<sup>3</sup>/s en crue centennale).

Cette solution n'apporte pas de gain sensible par rapport au scénario d'une seule retenue au Gué Ory.

Les levées transversales et la retenue du Merdereau ne permettaient pas d'augmenter l'abaissement des niveau d'eau maxi de plus de 3 à 6 cm.

### E.III. LES COMBINAISONS AVEC LES AMENAGEMENTS PROJETES SUR L'HUISNE

Pour ces combinaisons, seule la retenue du Gué Ory a été conservée (scénario de gestion 1.3. : digue de 13.50 m et pertuis ouvert). Celle-ci est associée successivement :

- aux retenues envisagées sur l'Huisne amont,
- aux levées transversales envisagées sur l'Huisne.

#### E.III.1. RETENUE AU GUE ORY ET RETENUES HUISNE AMONT

Les barrages considérés sur l'Huisne sont ceux de Margon et Mauves-sur-Huisne sélectionnés dans l'étude du bassin de l'Huisne (BRL, 1998).

La troisième retenue projetée par ailleurs sur le ruisseau de Boiscorde, affluent de l'Huisne à Rémalard est sans effet par rapport à ces deux premiers sur les hydrogrammes de crue de l'Huisne au Mans.

L'effet de ces deux retenues sur les hydrogrammes de l'Huisne au Mans a été calculé par BRL pour des crues décennales, vingtennales, cinquennales et centennales.

La crue centennale de la Sarthe construite en partie A va donc pouvoir être testée avec ces aménagements. Pour mémoire, cette crue est :

- une crue vingtennale de l'Huisne au Mans,
- une crue centennale de la Sarthe, à l'amont et à l'aval du Mans.

Une seconde crue a été construite et testée : elle vérifie une occurrence centennale sur l'Huisne au Mans et une occurrence centennale de la Sarthe à l'aval du Mans.

L'hydrogramme de crue de la Sarthe à l'amont du Mans a été ajusté grâce au modèle pour atteindre un tel résultat. La crue de la Sarthe à l'amont du Mans (Neuville-sur-Sarthe) doit être cinquennale. Pour construire un tel hydrogramme à l'amont du Mans, l'ensemble des hydrogrammes d'entrée du modèle amont a été transformé par homothétie (de même coefficient).

Les principales hypothèses de cette seconde crue sont donc :

- crue cinquennale de la Sarthe à l'amont du Mans,
- crue centennale de l'Huisne,
- crue centennale de la Sarthe à l'aval du Mans.

### *E.III.1.1. CRUE CENTENNALE SARTHE + CRUE VINGTENNALE HUISNE*

Pour prendre en compte l'effet des retenues sur l'Huisne amont, l'hydrogramme de l'Huisne au Mans a été modifié selon les résultats de la modélisation de l'Huisne (étude BRL phase I : modèle Muskingum).

Les hydrogrammes résultants calculés aux différents points de contrôle du modèle Sarthe sont en annexe E3.1.

Les résultats sur les débits de pointe sont les suivants :

**Barrages amont Huisne + retenue au Gué Ory (pertuis ouvert: scénario 1.3)**

Localisation	Profil	Crue centennale (m <sup>3</sup> /s)			
		Qinitial	Qaménagé	écart	
Mêle s/Sarthe	M0	71	71	0	<b>+0,0%</b>
Neuville s/Sarthe	M112	406	345	-61	<b>-15,0%</b>
Spay	V1	546	489	-57	<b>-10,4%</b>
Beffes	V66	663	616	-47	<b>-7,1%</b>
Huisne (Q20)	Huisne	152	151	-1	<b>-0,7%</b>

L'écrêtement à l'amont du Mans est généré par la seule retenue au Gué Ory. À l'aval de la confluence Sarthe-Huisne, les effets se cumulent.

L'effet des barrages de l'Huisne étant très peu sensible au Mans (-1 m<sup>3</sup>/s seulement sur la pointe !), les résultats à l'aval du Mans sont également très peu différents du scénarios considérant la seule retenue du Gué Ory. La combinaison a un léger effet positif sur une telle crue.

### *E.III.1.2. CRUE CINQUENTENNALE SARTHE AMONT + CRUE CENTENNALE HUISNE ⇒ CRUE CENTENNALE SARTHE AVAL*

L'état « initial » est différent pour cette crue des scénarios précédents. Les hydrogrammes entrant dans le modèle ont été modifiés pour aboutir à un hydrogramme de crue cinquantennale de la Sarthe à l'amont du Mans.

L'hydrogramme de l'Huisne « initial » est l'hydrogramme de crue centennale calculé par le modèle de l'Huisne (étude BRL phase II : modèle St-Venant complet).

L'état aménagé prend en compte l'effet d'une retenue au Gué Ory et l'effet des deux barrages sur l'Huisne amont : ce dernier point est évalué d'après les résultats de l'étude BRL (phase I) adaptés à l'hydrogramme de l'Huisne calculé en phase II de cette même étude (même réduction du débit de pointe et même volume d'écrêtement).

Les hydrogrammes calculés aux différents points de contrôle du modèle Sarthe sont en annexe E3.2.

Les résultats sur les débits de pointes sont les suivants :

**Barrages amont Huisne + retenue au Gué Ory (pertuis ouvert: scénario 1.3)**

Localisation	Profil	Crue centennale Sarthe aval (m <sup>3</sup> /s)			
		Qinitial	Qaménagé	écart	
Mêle s/Sarthe	M0	57	57	0	<b>+0,0%</b>
St Cénéri	M407	147	147	0	<b>+0,0%</b>
Gué Ory	M55	181	156	-25	<b>-13,8%</b>
Neuville s/Sarthe	M112	331	293	-38	<b>-11,5%</b>
Spay	V1	547	499	-48	<b>-8,8%</b>
Beffes	V66	668	628	-40	<b>-6,0%</b>
Huisne (Q100)	Huisne	226	216	-10	<b>-4,4%</b>

De même que précédemment, l'écrêtement à l'amont du Mans est généré par la retenue du Gué Ory. Le gain y est relativement moins efficace que lors d'une crue centennale : l'ouvrage a été optimisé pour une telle crue.

Au Mans et sur le bassin aval, les écrêtements se cumulent, les aménagements des deux bassins sont donc compatibles.

### E.III.2. RETENUE AU GUE ORY ET LEVEES TRANSVERSALES SUR L'HUISNE

Ce scénario combine l'effet d'une retenue au Gué Ory et de levées transversales sur l'Huisne. L'effet de ces dernières a été calculé dans l'étude de l'Huisne (phase II : modèle St-Venant complet) sur une crue centennale.

La crue testée est donc celle construite au § E.III.1.2 :

- crue cinquantiennale Sarthe amont,
- crue centennale de l'Huisne,
- crue centennale Sarthe aval.

Les hydrogrammes calculés aux différents points de contrôle sont en annexe E4.

Les résultats sur les débits de pointe sont les suivants :

**Levées Huisne + retenue au Gué Ory (pertuis ouvert: scénario 1.3)**

Localisation	Profil	Crue centennale Sarthe aval (m <sup>3</sup> /s)			
		Qinitial	Qaménagé	écart	
Mêle s/Sarthe	M0	57	57	0	<b>+0,0%</b>
St Cénéri	M407	147	147	0	<b>+0,0%</b>
Gué Ory	M55	181	156	-25	<b>-13,8%</b>
Neuville s/Sarthe	M112	331	293	-38	<b>-11,5%</b>
Spay	V1	547	478	-69	<b>-12,6%</b>
Beffes	V66	668	610	-58	<b>-8,7%</b>
Huisne (Q100)	Huisne	226	196	-30	<b>-13,3%</b>

L'écrêtement à l'amont du Mans est encore généré par la seule retenue du Gué Ory.

Au Mans et sur le bassin aval, les écrêtements générés par les deux aménagements se combinent pour devenir sensibles (-70 m<sup>3</sup>/s à l'aval du Mans).

En plus du seul écrêtement du débit de pointe, les levées sur l'Huisne ont pour effet de générer un retard de 30 h sur la pointe de crue de l'Huisne.

L'effet de déstockage de la retenue du Gué Ory ajouté à ce retard de la crue de l'Huisne, ont pour conséquence de retarder légèrement la pointe de crue de la Sarthe à l'aval du Mans (~+8 à 10 h), mais surtout d'augmenter les débits de décrue de la Sarthe. Ceci peut resynchroniser la crue de la Sarthe avec celle du Loir, et risque d'aggraver la crue de la Maine (allongement de sa durée ou augmentation du débit de pointe).

## E.IV. CONCLUSION

**Le projet de retenue d'écrêtement de crue de la Sarthe au Gué Ory est susceptible de réduire les inondations de manière sensible à l'échelle du bassin.**

Il convient cependant de souligner la complexité du contexte du projet, en matière d'environnement et de compatibilité d'éventuels usages multiples. Ce projet nécessite maintenant des études plus poussées : elles devraient débiter par un approfondissement de ces impacts potentiels, afin de préciser la faisabilité du projet et l'influence de ces contraintes sur le dimensionnement du projet.

Ce projet a été testé en combinaison avec les autres aménagements envisagés sur la Sarthe : ceci n'apporte pas de gain supplémentaire, malgré la lourdeur des investissements complémentaires que cela nécessite.

Le projet de retenue du Gué Ory a également été couplé aux aménagements envisagés sur l'Huisne :

- Barrages de Margon et Mauves sur l'Huisne amont. Ces aménagements sont compatibles et leurs effets se cumulent à l'aval du Mans,
- Levées transversales dans la plaine inondable de l'Huisne. L'écrêtement généré au Mans et à l'aval est sensible. Il faut noter cependant un risque de resynchronisation de la crue de la Sarthe avec celle du Loir, qui devrait conduire à éviter ce couplage, sauf à la réétudier, au moyen d'un modèle plus détaillé.

Le principal intérêt de ces combinaisons d'aménagement est d'agir à la fois sur les hauts bassins de la Sarthe et de l'Huisne, ce qui permet d'une part de réduire les inondations sur la Sarthe mancelle et sur l'Huisne et d'autre part d'avoir une action efficace sur différentes crues (dominante Sarthe ou dominante Huisne).