

Programme d'Etudes Préalables au PAPi du Bassin de la Sarthe

*Axe 6 – Ralentissement des écoulements*

## Caractérisation de la fonctionnalité de la zone d'expansion des crues sur la haute vallée de la Sarthe

*Synthèse des principaux résultats établis*



Syndicat du bassin de la  
**Sarthe**

**SYNDICAT DU BASSIN DE LA SARTHE**

1 place Saint Léonard/ 72130 Saint-Léonard-des-Bois

# Avant-propos

La présente étude portant sur la caractérisation des zones d'expansion des crues sur la haute vallée de la Sarthe s'inscrit dans le cadre du Programme d'Etude préalable au PAPI du bassin de la Sarthe et particulièrement de l'axe 6 de ce programme, dédié au ralentissement des écoulements. Le choix de ce secteur pour cette étude est motivé par des études antérieures réalisées par Hydratec en 2007 et l'Ecole Supérieure des géomètres et topographes (ESGT) du Mans en 2020 l'ayant identifiée comme étant la zone la plus favorable à l'expansion des crues sur le bassin versant Sarthe Amont.

Cette étude s'est déroulée en trois parties distinctes. La première a consisté à établir un état des lieux de la zone d'étude, puis elle s'est concentrée sur la modélisation du secteur d'étude en déterminant l'hydrologie de la zone et le comportement hydraulique de celle-ci. Enfin, suite aux différents résultats obtenus, des propositions d'action ont été présentées afin d'améliorer le fonctionnement actuel du site.

Ce document est une synthèse de l'étude menée. Seuls les éléments principaux sont rappelés.

---

## Table des matières

Avant-propos.....	2
I. Localisation et illustration des problématiques du site.....	3
II. Analyse hydrologique : Débits de crues déterminés.....	7
III. Modélisation hydraulique.....	8
IV. Analyse et interprétation des résultats.....	12
V. Propositions d'actions et tests de scénarios.....	15
VI. Incidences de l'arasement des merlons.....	18
Conclusion.....	19

# I. Localisation et illustration des problématiques du site

## Localisation

La zone étudiée est située dans le territoire de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, au Nord-Est à la limite du périmètre de l'Agence Seine-Normandie. Elle fait partie de l'unité hydrographique du bassin de la Sarthe.

La Sarthe est un cours d'eau de 314 km. Elle prend sa source à Saint-Aquilin-de-Corbion et draine une surface de 16 374 km<sup>2</sup>. La Sarthe est alimentée par les eaux de l'Huisne au Mans puis conflue avec la Mayenne au nord d'Angers pour former le Maine. Peu avant cette confluence, le Loir se jette dans la Sarthe. Il est son principal contributeur.

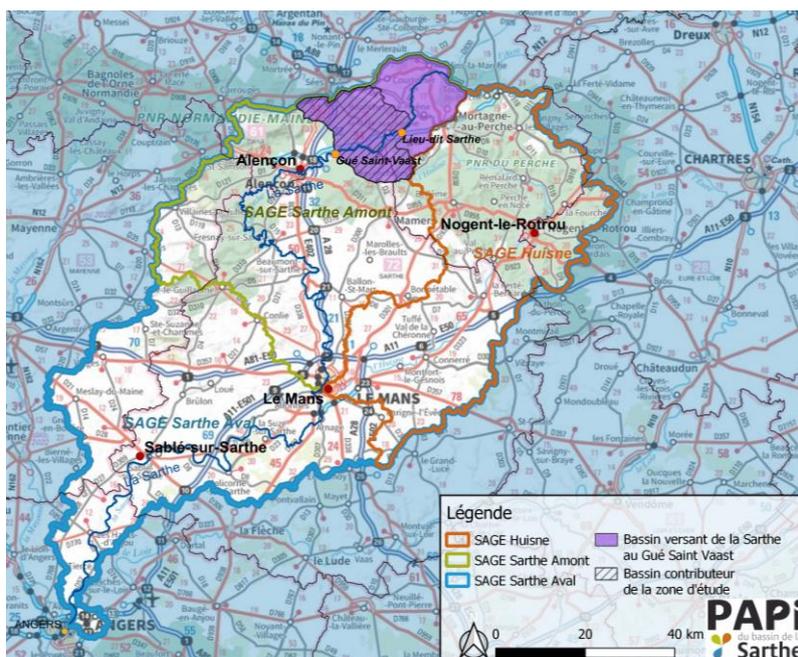


Figure 1 : Zoom départemental du territoire dont le SBS à la charge

Le secteur d'étude (contenu dans la zone hachurée violette) porte sur le tronçon de la Sarthe situé entre les communes de Buré (lieu-dit : Sarthe, limite amont de la zone d'étude) et de Hauterive (lieu-dit : le gué de Saint-Vaast, limite aval de la zone d'étude). Le bassin versant du secteur d'étude est présenté en bleu dans la figure précédente. Au droit de l'amont de la zone d'étude, le bassin versant a une superficie de 267 km<sup>2</sup>. Au droit de l'exutoire de la zone d'étude, 600 km<sup>2</sup> contribuent à alimenter la Sarthe.

La zone étudiée est encadrée par plusieurs entités paysagères. Au Nord la forêt de Bourse, au Sud, la forêt de Perseigne et Nord-Ouest la forêt d'Ecouves bordent le secteur d'étude. A l'Ouest, l'agglomération d'Alençon clôtüre le périmètre et à l'Est se situe la commune du Mêle sur Sarthe. Le territoire étudié est traversé par la nationale N12 bordant la Sarthe à partir de la forêt de Bourse.

Les communes situées au sein de la zone étudiée sont les suivantes : Barville, Buré, Coulonges-sur-Sarthe, Hauterive, Laleu, Le Mêle-sur-Sarthe, Le Ménil-Broût, les Ventes-de-Bourse, Saint-Julien-sur-Sarthe, Saint-Léger-sur-Sarthe et Villeneuve-en-Perseigne.

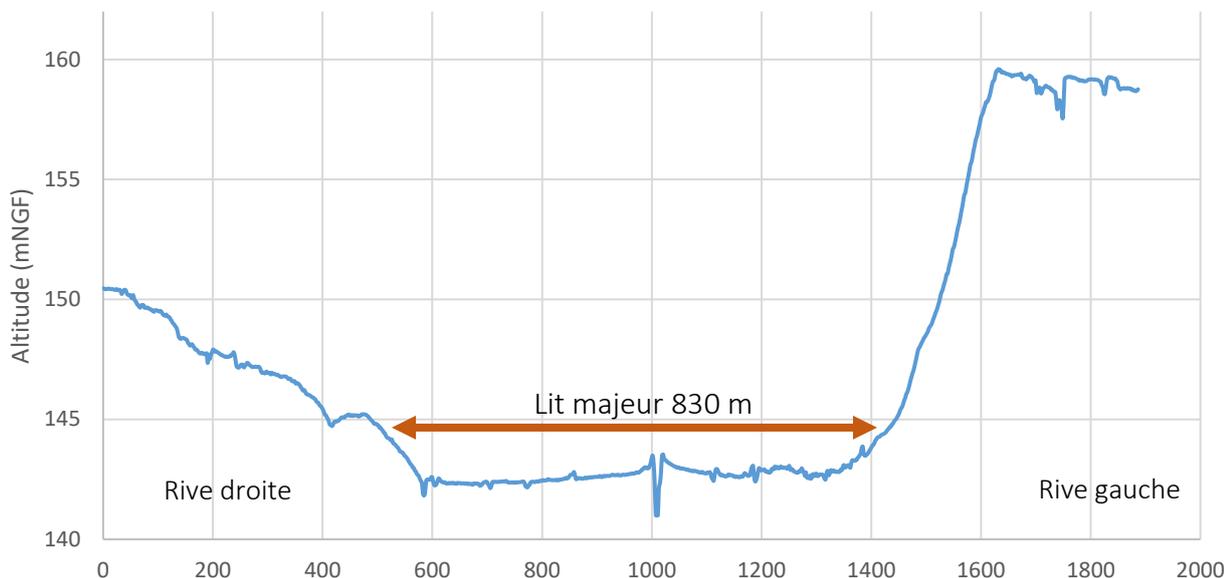
## Pentes et reliefs

Les zones de fortes pentes se situent principalement au niveau des massifs forestiers (forêt de Bourse et de Perseigne) et en amont de la zone d'étude (Laleu, Coulonges-sur-Sarthe).

Le lit majeur de la Sarthe sur la zone d'étude est peu pentu (inférieur à 2%). Sa largeur est en moyenne de 720 m. Un lit majeur large permet lors d'épisode de crue d'étaler la lame d'eau au sein de cette zone et ainsi diminuer les hauteurs en aval.

La pente de la vallée de la Sarthe sur le linéaire concerné par l'étude est de 0,576‰. Celle du linéaire de cours d'eau est quant à elle de 0,570‰. La pente longitudinale de la Sarthe (0,570‰) est du même ordre de grandeur que celle des berges (0,576‰) du cours d'eau. La pente du cours d'eau et celle des berges doivent être du même ordre de grandeur pour considérer la pente du premier comme correcte. C'est le cas sur le secteur étudié.

En moyenne, le lit majeur sur le secteur d'étude est de 720m de large. Sur le profil caractéristique du secteur d'étude présenté ci-après, sa largeur est de 830m.



### Occupation du sol

L'occupation du sol sur l'ensemble du secteur étudié a été déterminée grâce à l'utilisation des bases de données nationales. Cela a permis de définir le caractère freinant ou non (rugosité) des surfaces selon ce qui les recouvre et également de connaître les principales activités sur le secteur. La répartition obtenue donne au global 47% de prairies, 20% de forêts, 20% de cultures d'hiver, 10% de cultures de printemps, 2% de surfaces urbaines. La nature du sol est quant à elle principalement argileuse. Le secteur se situe à la limite entre le massif armoricain et le bassin parisien.

Par ailleurs, aux abords du linéaire de la Sarthe, l'évolution du maillage bocager a été étudiée et un recul moyen de 30% est à noter, il faut cependant garder à l'esprit que cette moyenne cache de grandes disparités selon les secteurs et que les têtes de bassin plus sujettes à l'implantation de grandes cultures n'ont pas été considérées dans cette évaluation. A noter que les linéaires aux abords des cours d'eau semblent plus fournis actuellement qu'en 1950.

### Affluents

Au sein du périmètre du secteur d'étude, plusieurs cours d'eau confluent avec la Sarthe et contribuent à apporter des volumes à ceux initialement présents dans le cours d'eau. Les cours d'eau principaux sont les suivants : la Vézone, la Tanche, la Paillerotte, la Pervenche et le Chédouet.

### Ouvrages

Différents ouvrages sont présents sur le linéaire d'étude : des ponts, distinguables en trois catégories, les ponts de type agricole, les ponts départementaux et ceux de la nationale 12 ; des ouvrages liés aux moulins, ceux du moulin de Saint-Léger, de Blavette, de Roullée et de Bouveuche.

### Merlons de curage

Sur une grande partie du linéaire de la Sarthe sur le secteur d'étude, des merlons de curage sont présents sur les berges en rive droite comme en rive gauche sur des linéaires importants. Ces merlons sont issus de l'ancienne politique de gestion des cours d'eau du syndicat de rivière, qui pour l'entretien des cours d'eau curait

le fond de la rivière et déposait les volumes ramassés sur les berges immédiates. Ceux-ci sont bien visibles sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) et donc sur les profils en travers de la Sarthe comme le présente la figure ci-après. Leur hauteur peut aller d'une trentaine de centimètre à au moins 1,3m localement.

Ces merlons ont plusieurs effets et notamment hydraulique. En effet, les merlons disposés de part et d'autre des bords de Sarthe ont pour conséquences de retarder le débordement de la Sarthe lors de crue, puisqu'ils agissent comme une digue mais également d'augmenter le temps de séjour des eaux sur les zones d'expansion de crue puisqu'elles ne peuvent se retirer étant donné que les merlons agissent comme un barrage. Par ailleurs, les crues débordent pour des débits plus importants ce qui peut, lors de crues moyennes, avoir des conséquences négatives en termes d'inondation pour les populations en aval, notamment l'agglomération d'Alençon.

Leur effet est visible notamment lors des crues moyennes, comme montré sur la figure suivante lors du plein bord de la Sarthe en janvier 2023. L'illustration montre la Sarthe lors de la décrue. L'eau est bloquée par les merlons et l'empêchent de quitter les parcelles inondées ce qui retarde la décrue.



Figure 2 : Illustration des effets des merlons sur les crues

Concernant leur composition, plusieurs relevés de tarière ont été réalisés dans les merlons le long du linéaire de la Sarthe. Ces relevés montrent que les merlons sont composés des matériaux de curage de la Sarthe, une très forte proportion d'argiles, avec quelques résidus sableux au plus profond de l'échantillonnage et également des résidus de coquillage.

L'élévation des merlons peut localement atteindre des hauteurs relativement importantes comme l'illustre la figure suivante, où les merlons sont plus haut que la prairie environnante de près de 1,40m, à d'autres places leur hauteur est plus raisonnable, de l'ordre de 40 cm mais cela suffit pour causer un retardement des débordements.



Figure 3 : Photographie des merlons à Fournival

### La Vieille Sarthe

La Sarthe entre la vanne de la Motte et le moulin de Bouveuche est scindée en deux bras, l'un étant le cours principal de la Sarthe, l'autre étant la Vieille Sarthe. Au-delà de la particularité de scinder la Sarthe en deux, la Sarthe qui est, sur le reste du linéaire, située au point bas de la vallée se retrouve alors perchée par rapport au talweg. La Vieille Sarthe est, elle, située dans le talweg et d'autres dépressions propices à la formation de canaux d'écoulement sont également remarquables dans la plaine située entre la Sarthe et la Vieille Sarthe comme le montre la figure suivante.

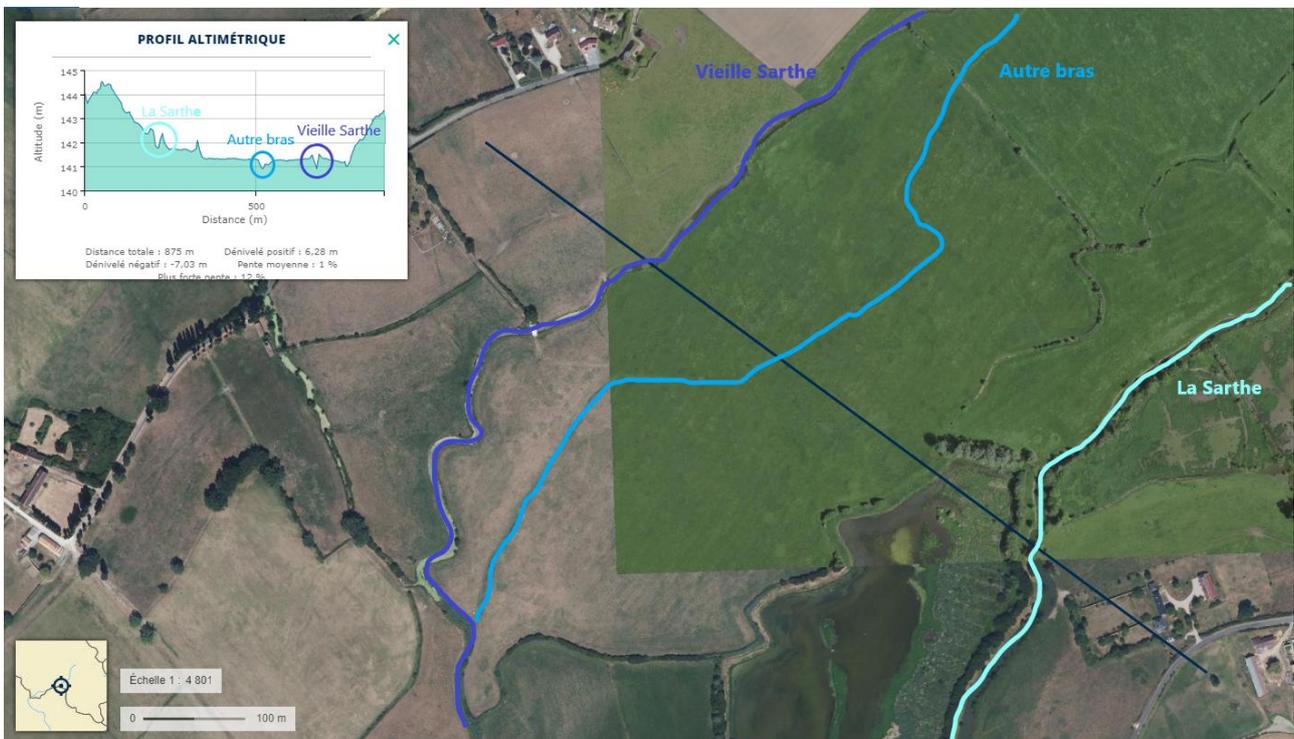


Figure 4 : Vue aérienne et profil transversal, secteur de la Vieille Sarthe

## II. Analyse hydrologique : Débits de crues déterminés

Les débits de crue de la Sarthe ont été déterminés grâce aux données d'hydroportail de la station de Saint-Céneri-le-Gérei. Ceux-ci ont été rapportés à l'amont du site d'étude, au lieu-dit Sarthe. Ils sont récapitulés dans le tableau ci-après :

Tableau 1 : Récapitulatif des débits de crue de la Sarthe

	Lieu-dit Sarthe
Crue	Débit (m <sup>3</sup> /s)
Module	2.0
Biennale	16.6
Décennale	28.5
Cinquantennale	36.5
Centennale	48

Par ailleurs, les hydrogrammes des crues biennale, décennale, cinquante et centennale de la Sarthe ont également été déterminés et ramenés au lieu-dit Sarthe, leur forme est donnée par la figure suivante.

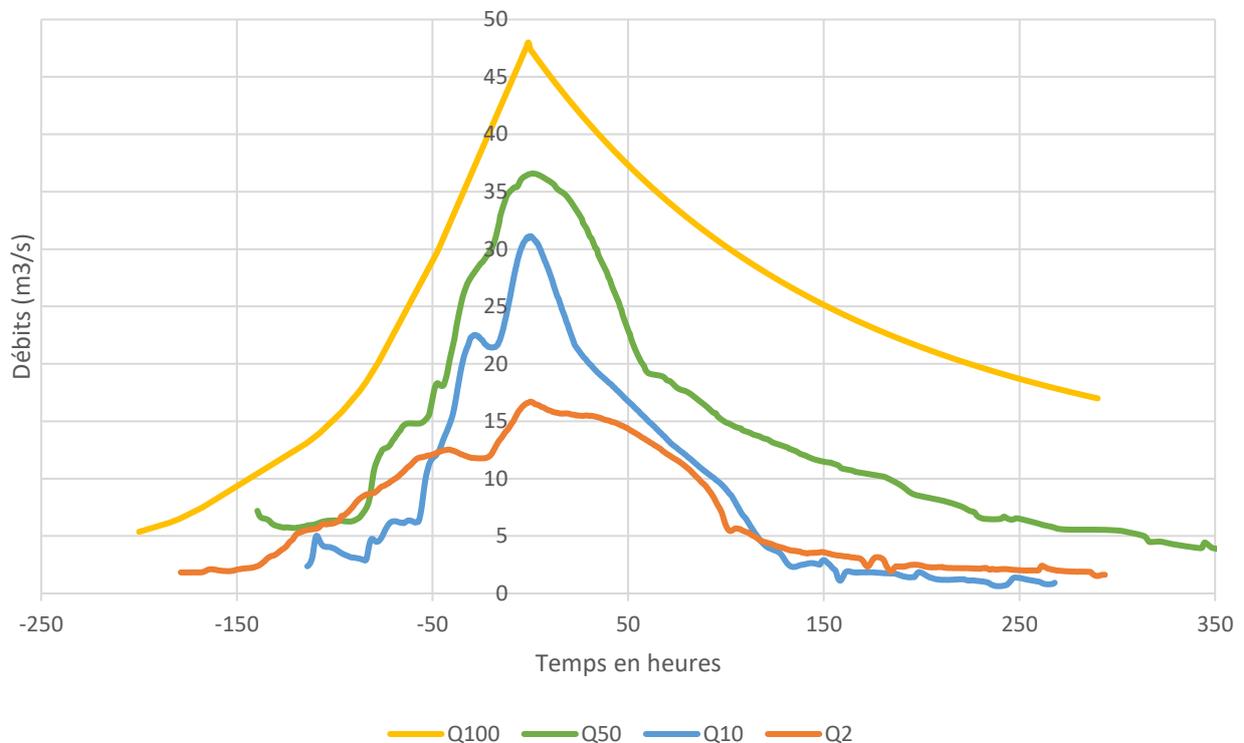


Figure 5 : Hydrogrammes des crues pour T=100, 50, 10 et 2 ans

Afin de déterminer les apports des affluents lors des crues de la Sarthe ainsi que la période de retour correspondante à ces événements, leurs débits de crue ont été étudiés. Ces différents cours d'eau ne possèdent pas de station de mesure afin de déterminer ces débits. Il s'agit donc de bassins versants non-jaugés. Ceux-ci sont de superficie moindre que la Sarthe, la méthode rationnelle se basant sur l'occupation du sol, l'intensité de pluie et la superficie du bassin versant sera utilisée afin de déterminer les débits de pointe de crues ayant des temps de retour entre 10 et 100 ans.

Les débits obtenus pour chacun des affluents sont les suivants.

Tableau 2 : Débits décennaux et centennaux des affluents de la Sarthe par la méthode rationnelle

	Vézouze	Tanche	Paillerotte	Pervenche	Chédouet
Q10 (m <sup>3</sup> /s)	8,8	5,8	1,1	14,4	1,6
Q100 (m <sup>3</sup> /s)	14,4	9,4	1,8	23,9	2,6

### III. Modélisation hydraulique

Afin de caractériser le fonctionnement hydraulique de la zone d'étude, une modélisation de celle-ci a été effectuée sous le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System). Cette modélisation a aussi permis d'évaluer l'efficacité des aménagements proposés et également d'affiner leur positionnement.

La construction des modèles s'appuie sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) 1m de l'IGN. Le modèle a été calé avec les données de la crue de juin 2018 de période de retour 10 ans.

#### Profil en long des crues biennale, décennale, cinquantennale, centennale

Les différentes crues de période de retour 2, 10, 50 et 100 ans ont été modélisées afin de déterminer les différentes zones inondées et l'impact des merlons lors de ces crues sur le débordement de la Sarthe. Le profil en long suivant (Figure 7) récapitule les différences de hauteur d'eau entre les crues où les quatre sont représentées sur le même profil. Au-delà des différences de hauteurs d'eau entre les crues, certains secteurs apparaissent comme plus sensibles aux crues comme le secteur du Mêlé où les différences de hauteur d'eau entre les crues sont plus importantes (écart entre les courbes plus important). Le point de décrochement se situe au niveau du pont de Grande Rue qui a donc une influence sur le niveau d'eau situé en amont de cet ouvrage, cependant le pont n'est pas mis en charge lors des crues.

#### Visualisation des surfaces ennoyées

En plus du tracé des lignes d'eau, il est possible de visualiser les surfaces mises en eau lors d'une crue. La figure suivante présente les surfaces mises en eau lors de la modélisation de la crue décennale.

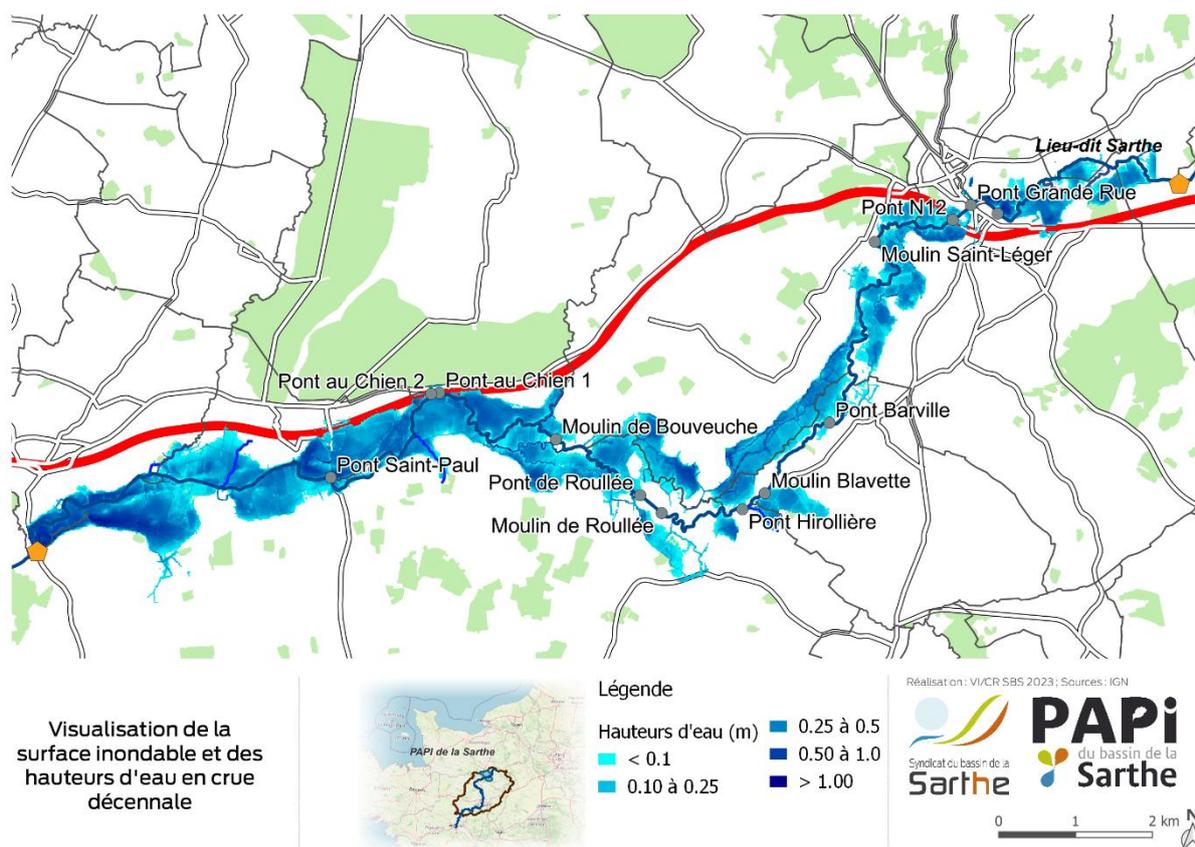


Figure 6 : Emprise de la modélisation de la crue décennale et indication d'hauteurs d'eau sur le secteur d'étude

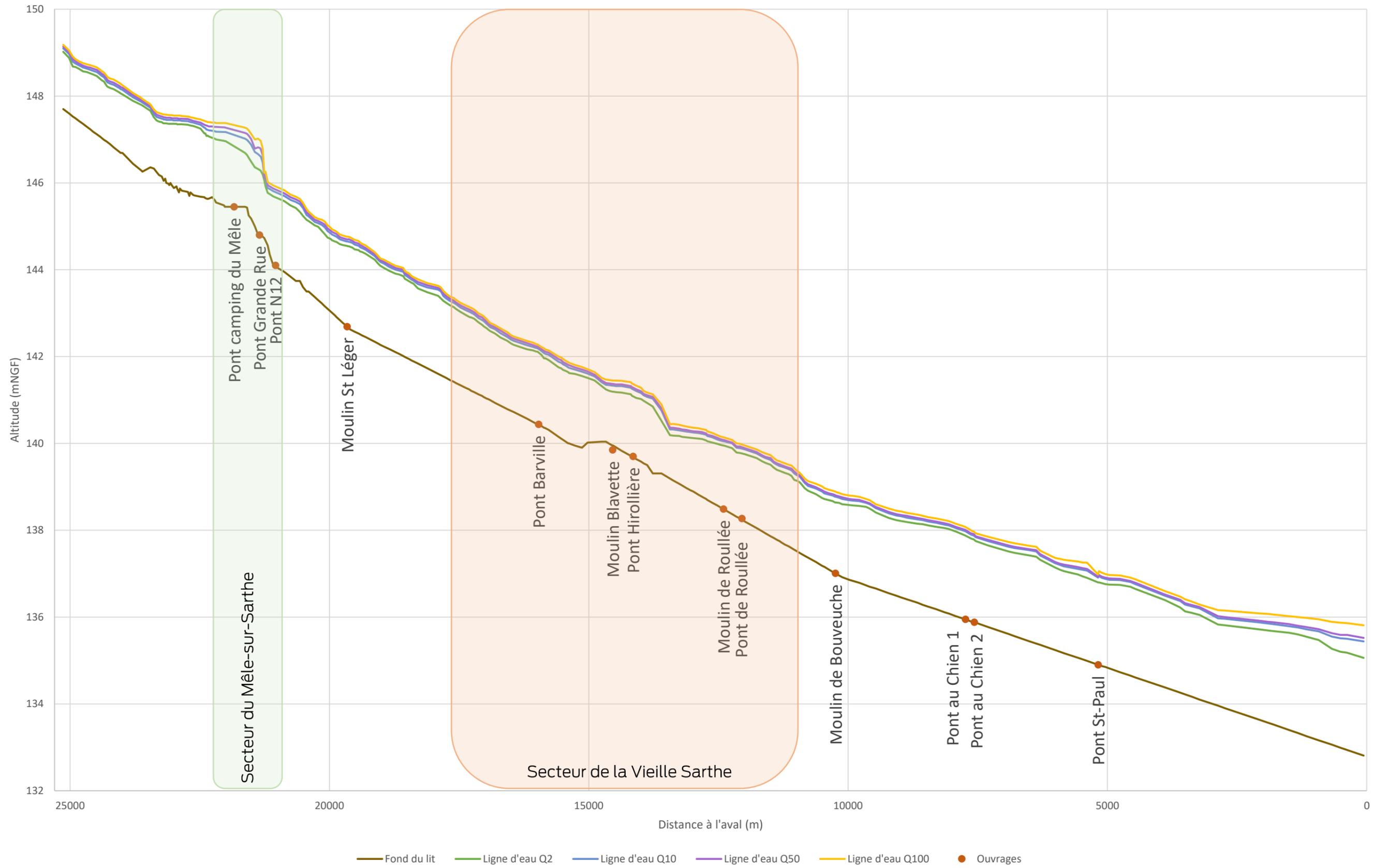


Figure 7 : Profil en long de la Sarthe représentant les hauteurs d'eau des crues biennale, décennale, cinquantennale et centennale

## Comparaison de la modélisation avec des relevés photographiques et le PPRI

Le comportement des crues dans le secteur de la Vieille Sarthe n'est pas représenté correctement du fait des multiples voies d'écoulement dont la représentation n'est pas adaptée en 1D. Ce secteur sera par la suite modélisé en 2D. Cependant, dans les secteurs où l'écoulement n'est pas complexe, le modèle est tout à fait représentatif. Les figures suivantes (Figure 8 et Figure 9) permettent de comparer la vue aérienne de la modélisation de la crue biennale entre le moulin de Hauterive et le château des Loges et une prise de vue au drone de cette même localisation lors d'observations de terrain mi-janvier 2023.

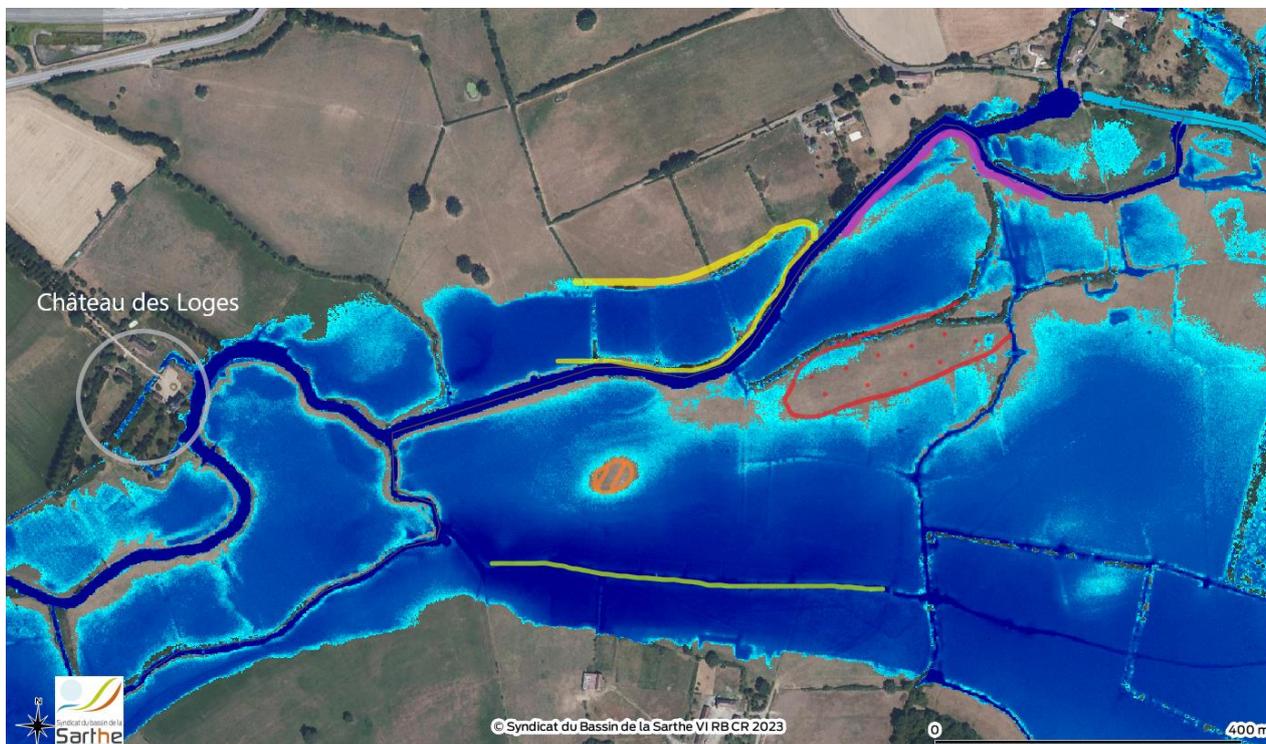


Figure 8 : Modélisation crue biennale, secteur du château des Loges



Figure 9 : Prise de vue au drone, secteur des Loges, mi-janvier 2023

Le comportement de la zone lors des petites crues, avec de faibles débordements est très bien représenté par le modèle comme le montre la correspondance entre les zones ennoyées (poche en jaune et la haie en vert clair) et dénoyées (îlots orange, rouge et merlon violet) sur la première figure par rapport à la seconde.

Grâce à l'emprise de la modélisation de la crue centennale, il est possible de comparer les résultats de la modélisation avec le zonage PPRI établi suite à la crue de 1995. La Figure 10 présente cette comparaison.

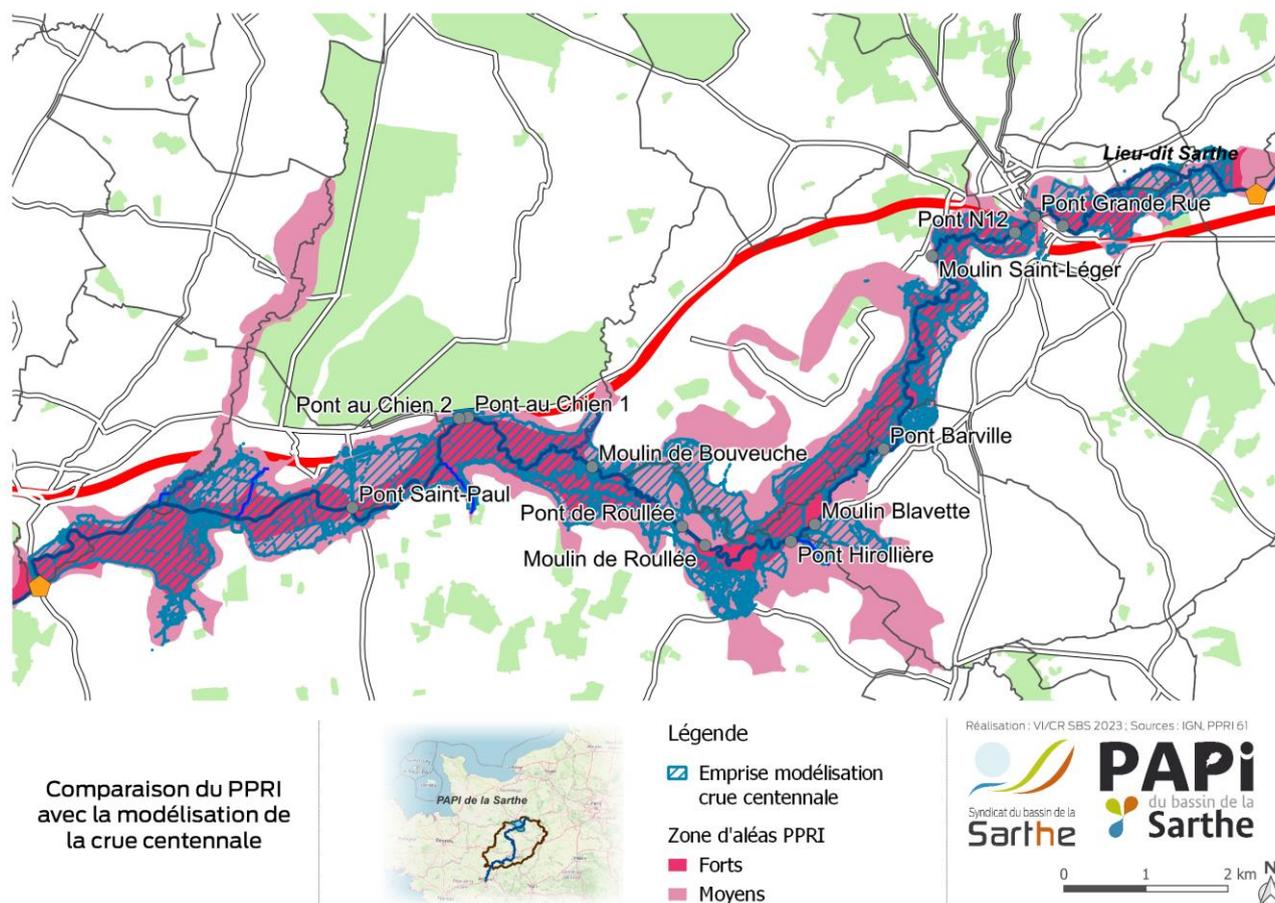


Figure 10 : Comparaison des emprises du PPRI et de la modélisation de la crue centennale

Le zonage PPRI est légèrement plus étendu que les surfaces mises en eau lors de la modélisation. Cette observation est notamment valable dans les secteurs situés à l'amont de confluence des affluents de la Sarthe, particulièrement pour la Pervenche, le Boulay, le Beaumanoir et la Vézone. Les zones d'aléas forts du PPRI ainsi que la plupart des zones d'aléas moyens sont couvertes par la modélisation. La modélisation actuelle est réalisée sur le territoire tel qu'il est actuellement et donc avec les transformations qui l'ont modifié depuis 1995 ainsi que le comportement des différents cours d'eau.

Cette comparaison permet de valider les résultats obtenus par le modèle dans la continuité grâce aux résultats des précédentes études réalisées sur ce secteur.

## IV. Analyse et interprétation des résultats

### Description de la dynamique de crue et effet des ouvrages

La modélisation des différentes crues fait ressortir une dynamique de fonctionnement du secteur étudié. Lors des crues le débordement de la Sarthe se fait d'abord par l'aval, en amont du gué Saint-Vaast jusqu'à la confluence de la Sarthe et de la Vézère. Puis le débordement se poursuit en remontant vers l'amont, en aval du moulin de Bouveuche jusqu'au secteur du Pont Saint-Paul. Le comportement du secteur de la Vieille Sarthe n'étant pas correctement rendu lors de la modélisation 1D, le positionnement de son débordement par rapport aux autres secteurs n'est pas évaluable en l'état, celui-ci fera donc le sujet d'une modélisation 2D. Enfin c'est au tour de la zone située en amont du Mêle de déborder.

Par ailleurs, lors des crues, deux ouvrages ont un effet notable sur la ligne d'eau. Tout d'abord, le pont du Mêle crée une perte de charge à son passage, le niveau d'eau en amont est relevé par sa présence. Cependant, celui-ci n'est pas mis en charge lors des différentes crues modélisées. Ensuite le pont du Gué Saint-Vaast ainsi que la route départementale D209 longeant le cours de la Sarthe sur 300 m ont un effet tampon sur la ligne d'eau. La route a l'effet d'une digue sur les écoulements empêchant le débordement en rive droite. En rive gauche, la topographie est caractérisée par une forte pente, le passage de la Sarthe sous le pont du Gué Saint-Vaast est contraint entre la colline et la RD209. L'écoulement passe uniquement à travers le pont et a pour effet de relever la ligne d'eau en amont du pont comme présenté sur la Figure 11.

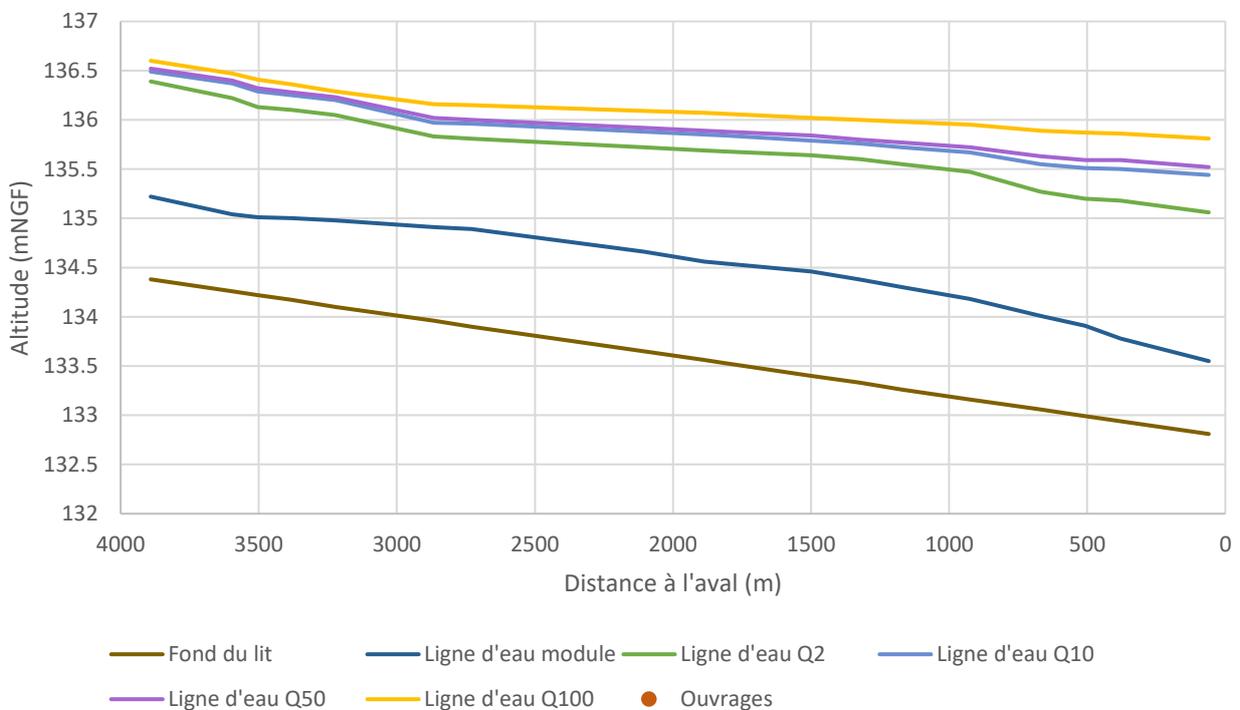


Figure 11 : Lignes d'eau au Gué Saint-Vaast

Les autres ouvrages présents sur le linéaire étudié n'ont pas d'impact sur la ligne d'eau et dès la crue biennale. La figure suivante (Figure 12) présente un focus des lignes d'eau au moulin de Saint-Léger.

L'effet des ouvrages est notable lors de la modélisation du module et celui-ci n'est plus notable dès la modélisation de la crue biennale.

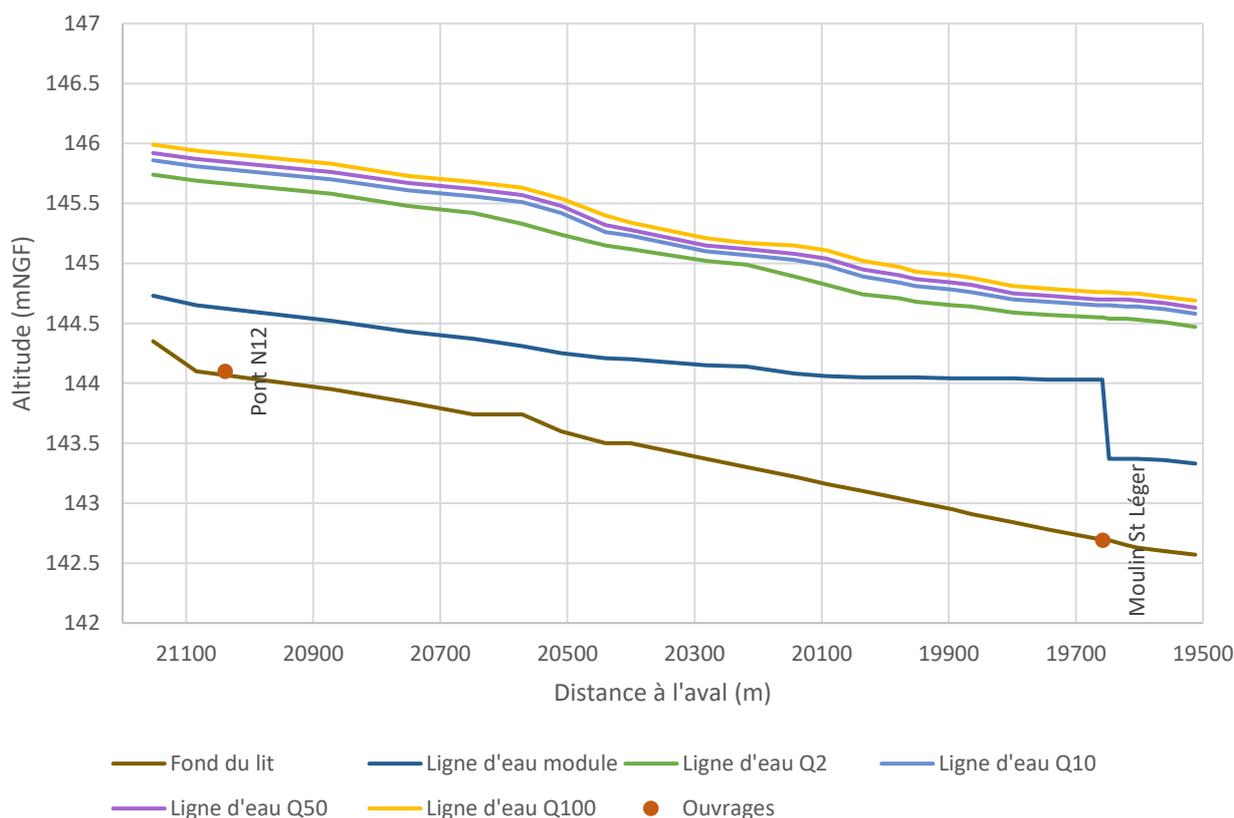


Figure 12 : Lignes d'eau au moulin de Saint-Léger

### Surfaces inondées et volumes envoyés

Afin de suivre l'évolution des surfaces inondées lors des différentes crues, l'emprise de la modélisation des zones inondées a permis de les déterminer. Il est également possible de déterminer les volumes envoyés. Les surfaces et volumes obtenus sont récapitulés ci-dessous.

Tableau 3 : Surfaces inondées et volumes envoyés lors des différentes crues

	Q <sub>2</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
Surface inondée (km <sup>2</sup> )	6,25	8,41	9,48	10,07
Volumes envoyés (millions de m <sup>3</sup> )	1,113	2,036	2,382	3,234

La différence de surfaces inondées se fait principalement entre la crue biennale et la crue décennale. Il y a peu d'écart, sur l'ensemble du linéaire, entre les surfaces inondées par la crue cinquantennale et celle centennale. A noter que si la différence de surface envoyées entre la crue cinquantennale et centennale n'est pas très importante, l'écart entre les volumes envoyés l'est.

### Effets des merlons sur le débordement

Lors des crues de la Sarthe, les merlons de curage ont pour effet de retarder le débordement. En effet, les merlons ont un effet de digue sur les écoulements de la Sarthe, les débits doivent être plus importants pour que la crue déborde en lit majeur. L'étude des débits de débordement sur plusieurs tronçons de la Sarthe a permis d'établir que l'arasement de 30-40cm de hauteur de merlon permet d'avoir un débit de débordement 25% plus faible. L'effet sur les vitesses en lit mineur n'est pas notable, la réduction n'étant que de 3%.

Un tel écart entre les débits de débordement avec et sans merlon montre l'intérêt de leur arasement pour écrêter les petites crues. En effet, les débordements ayant lieu plus rapidement dans les zones d'expansion des crues, des volumes seront stockés et réduiront l'élévation de la ligne d'eau en aval sur des zones à enjeux (par exemple Alençon, ou le Mêle pour les arasements les plus en amont).

La figure suivante illustre le phénomène. Afin d'obtenir cette figure, le débit actuel de débordement de la Sarthe au niveau de ce profil a été déterminé, puis ce débit a été injecté dans le profil dont la topographie a été modifiée afin de simuler l'arasement du merlon. La ligne d'eau représentée est donc celle qui se produirait une fois les merlons arasés au débit auquel la Sarthe commence tout juste à déborder actuellement à cause des merlons. La mobilisation de la zone d'expansion des crues est donc plus rapide et permet ainsi d'étaler la lame d'eau beaucoup plus rapidement et sur une large surface.

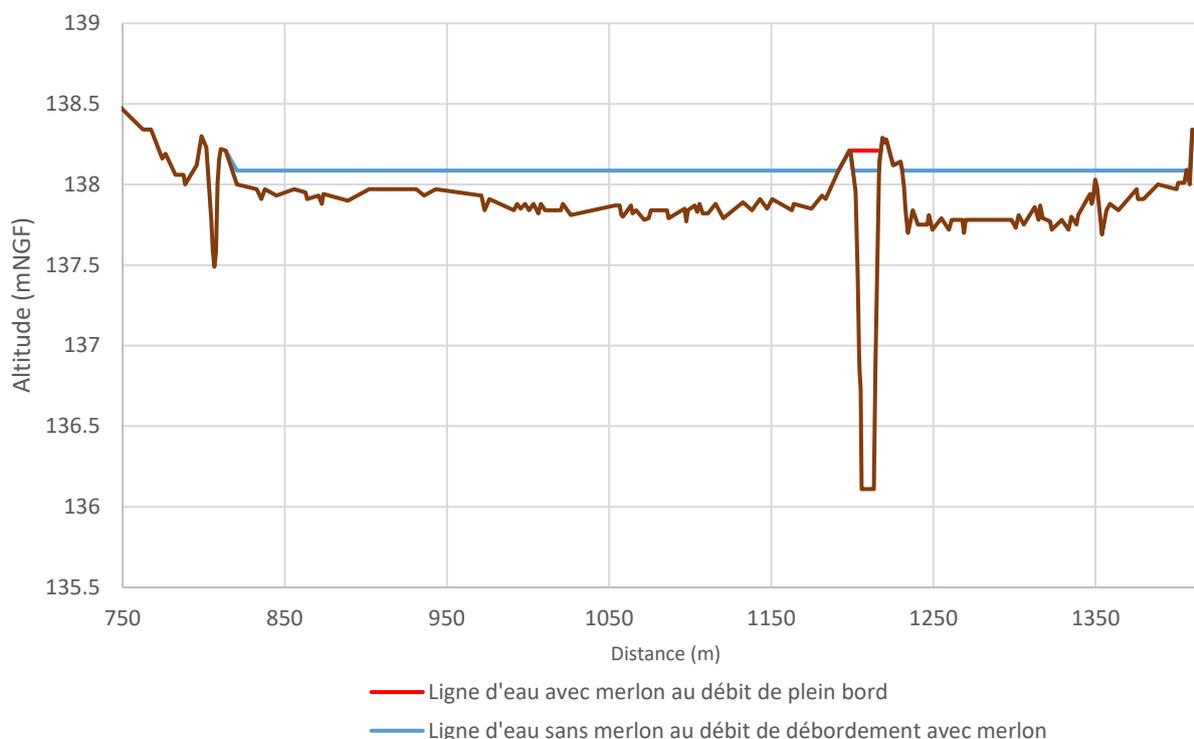


Figure 13 : Profil transversal de la Sarthe au débit de plein bord avec merlons, ligne d'eau en l'absence de merlon

Par ailleurs, au-delà de l'effet local portant sur le retard des débordements des crues, les merlons représentent un volume conséquent qui n'est pas occupé par l'eau lors des crues et qui donc diminue le volume de stockage de la zone. Les merlons ayant des volumes notables sont présents sur près de 17 km au sein de la zone d'étude sur les 25 qui la constituent. Les merlons ont en moyenne une emprise trapézoïdale de 10 m à la base, 2 m en toit et une hauteur comprise en moyenne entre 0,5m et 0,8m. Les volumes correspondant à ces deux valeurs de hauteur de merlon sont 110 000 m<sup>3</sup> et 175 000 m<sup>3</sup>.

### Modélisation 2D

Le secteur compris entre le Mêle-sur-Sarthe et l'aval de la confluence entre la Sarthe et la Vieille Sarthe a été modélisé en 2D. Ce secteur étant à enjeux (le Mêle) et ayant un fonctionnement complexe (Vieille Sarthe), il a été choisi pour être modélisé en 2D afin d'affiner les résultats et également modéliser les propositions d'aménagements. L'objectif étant d'identifier les brèches déjà présentes dans les merlons et par lesquelles l'eau pénètre dans les parcelles mais également d'identifier les linéaires où l'arasement de merlons serait propice.

### Dysfonctionnement de la dynamique de mobilisation des zones d'expansion des crues

La modélisation permet de confirmer les observations réalisées sur le terrain, à savoir l'eau rempli les parcelles non par débordement des merlons mais par remontée des couloirs humides collectant les eaux de la parcelle. Ceux-ci, lorsqu'ils rejoignent la Sarthe, en sont séparés par une marche d'environ 1,6m.

Les merlons étant assez importants dans ce secteur, le lit majeur est comme une cuvette qui n'est pas remplie tant que la remontée à travers les couloirs humides dans les parcelles n'a pas lieu. Ce fonctionnement est particulièrement visible lors de la modélisation de la crue biennale, sa phase de montée étant plus lente et le débit moindre que pour les autres crues. Le niveau d'eau dans la Sarthe est pourtant plus important que celui du terrain naturel de l'autre côté des merlons comme le montre la Figure 14. Le fonctionnement hydraulique de

la zone est donc bien perturbé par la présence des merlons et les zones d'expansion des crues ne sont pas mobilisées par débordement de la Sarthe.

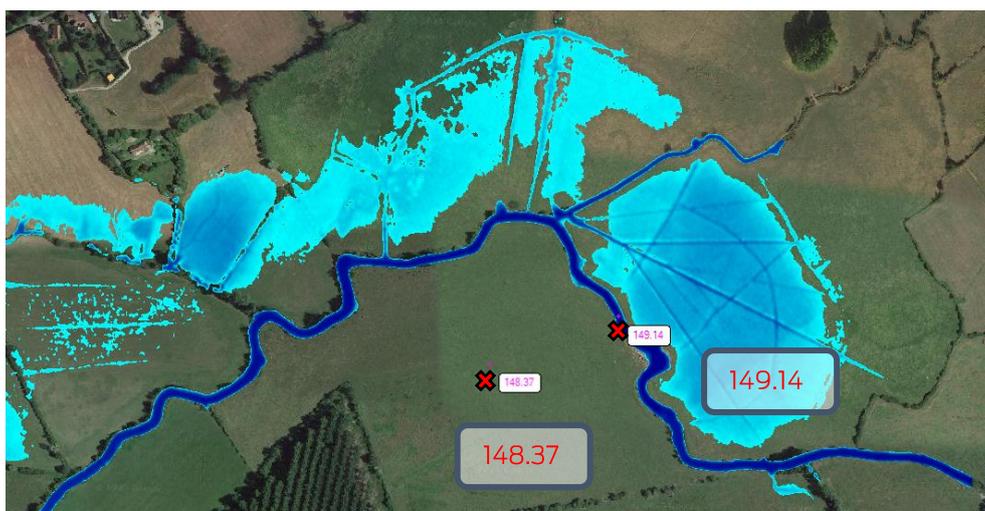


Figure 14 : Illustration de l'écart entre le niveau d'eau dans la Sarthe et l'altitude du lit majeur (Fournival, amont du Mêle), modélisation 2D de la crue biennale

## V. Propositions d'actions et tests de scénarios

Agir à l'interface lit mineur/lit majeur

Un aménagement à mettre en place à l'interface entre le lit mineur et le lit majeur est l'arasement total ou partiel des merlons sur une distance d'au moins la largeur moyenne du cours d'eau<sup>1</sup>. Le bénéfice hydraulique d'arasement des merlons n'est pas identique en tout point du linéaire. En effet, certains merlons empêchent l'expansion des crues sur des surfaces plus ou moins valorisables hydrauliquement. Il est donc nécessaire d'identifier les zones qui pourraient être mises en eau plus rapidement afin de mobiliser ces surfaces pour écrêter en partie les crues. Pour cela, les tronçons où le niveau d'eau dans la Sarthe est plus important que l'élévation du terrain naturel en lit majeur ont été identifiés. Les tronçons intéressants se situent principalement en amont du Mêle-sur-Sarthe et entre Barville et le Moulin de Bouveuche. Le secteur en amont du Gué Saint-Vaast serait également intéressant mais comme celui-ci joue le rôle de tampon hydraulique, ces surfaces seront mises en eau plus rapidement, le fonctionnement hydraulique actuel de la zone le démontrant.

L'arasement des merlons a été modélisé afin de quantifier leur effet.

### Bilan de l'aménagement

L'arasement des merlons aux emplacements indiqués a permis de gagner des zones qui n'étaient auparavant pas mises en eau ou qui l'étaient plus tardivement. Par ailleurs, la conquête de ces surfaces lors des crues ne suit plus le même fonctionnement. Avant l'arasement des merlons, ces surfaces étaient envoyées lorsque l'eau remontait les canaux évacuant les eaux des parcelles. Suite à l'arasement, l'eau conquiert ces espaces par débordement du cours d'eau.

Cela a deux effets principaux. Le premier est la baisse du niveau d'eau au sein du lit mineur du cours d'eau, puisque pour un même débit la surface à travers laquelle a lieu l'écoulement est bien plus étendue. Cette baisse du niveau d'eau dans le lit mineur ne se note pas uniquement au niveau de l'arasement du merlon mais elle se propage également en amont. L'écoulement étant fluvial, le contrôle de celui-ci se fait par l'aval donc une modification du niveau d'eau à un point donné se ressent en amont. La quantification précise de cette influence n'a pas été réalisée mais elle a lieu sur quelques centaines de mètre et est fonction du linéaire arasé ainsi que des surfaces mises en eau par cet arasement.

Le second effet est l'augmentation de la surface d'expansion de la crue et donc des volumes écrêtés. Si pour une même crue (même débit d'entrée) le volume stocké avant/après arasement est plus faible, c'est parce

<sup>1</sup> Demande d'autorisation environnementale pour la mise en œuvre du Programme Pluriannuel de Gestion (2018 – 2024) Bassin versant du Trec et de la Canaule, Document 4 : Fiches Actions, Fiche action L2 : Ouverture de merlons par brèches, Syndicat Mixte pour l'Aménagement des Bassins Versants du Trec, de la Gupie et de la Canaule.

que les hauteurs d'eau atteintes par cette crue sont elles-mêmes moins importantes donc le volume stocké pour cette crue diminue notamment dans les zones ennoyées par remontée de la Sarthe. Pour pouvoir comparer la capacité de stockage de la zone, il ne faut pas prendre un débit identique en entrée mais le moment de l'atteinte des pics de crue. Les hauteurs d'eau identiques correspondent, après travaux d'arasement, à des débits plus importants.

Les figures suivantes permettent d'illustrer que pour une même hauteur d'eau en lit mineur les volumes ennoyés sont différents avant/après arasement dans le secteur en amont du Mêle.

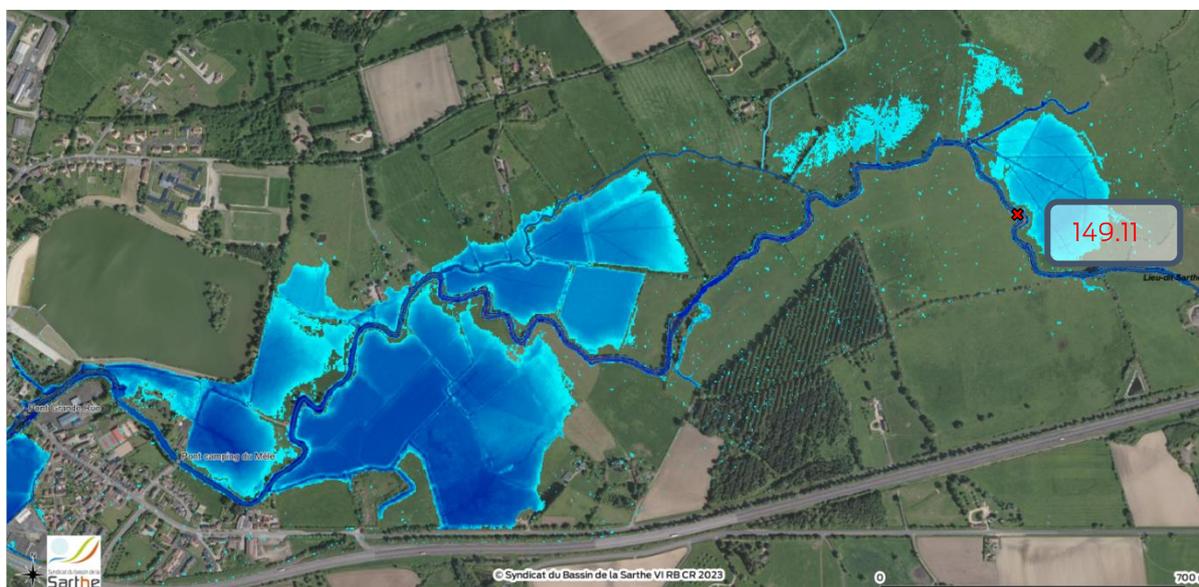


Figure 15 : Emprise (avec terrain d'avant aménagement) crue biennale à la hauteur maximale dans la Sarthe suite à l'arasement des merlons, secteur de Fournival

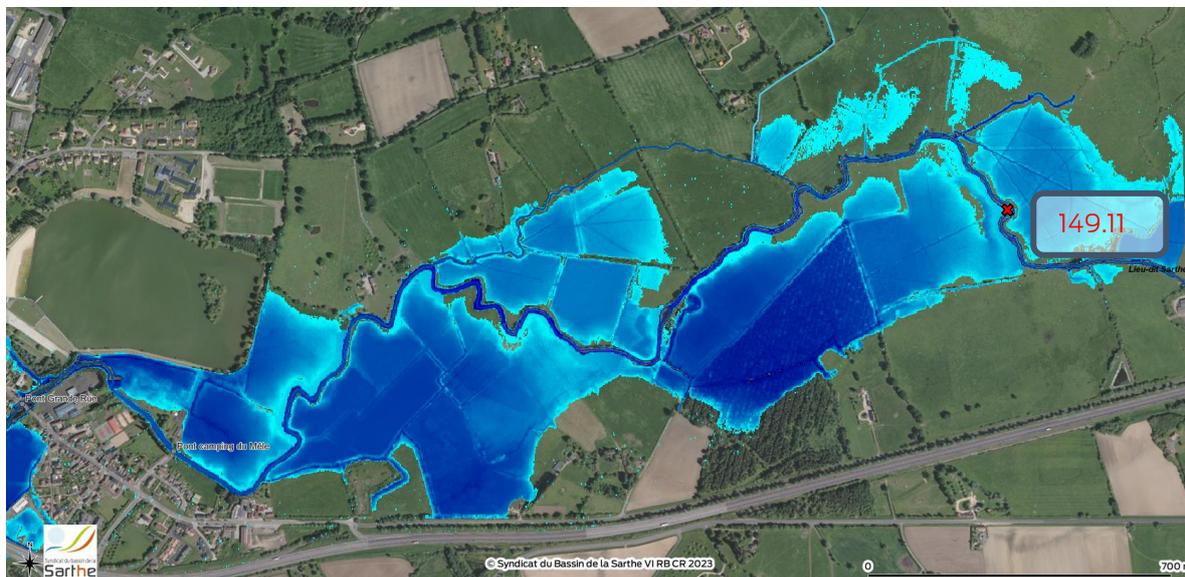


Figure 16 : Emprise maximale crue biennale avec arasement des merlons, secteur de Fournival

Sur le secteur en amont du Mêle, pour une même hauteur d'eau en amont, les surfaces occupées sont bien supérieures après arasement (1 010 900 m<sup>2</sup>) des merlons qu'avant (654 200 m<sup>2</sup>). En crue biennale, le gain surfacique est de 54,5%. Par ailleurs, l'atteinte de ces niveaux d'eau n'ont pas lieu au même moment lors de la crue. Entre la Figure 15 et la Figure 16, **trois jours et une heure** séparent les deux prises, la Figure 16 étant celle plus tardive. En termes de volumes, en comparant ceux mis en eau au maximum de la crue avant/après arasement, le gain est de 13 000 m<sup>3</sup>.

En moyenne, sur le linéaire modélisé, la ligne d'eau en lit mineur est abaissée d'une vingtaine de centimètres lors de la crue biennale et décennale. L'effet de l'arasement des merlons est donc perceptible pour des crues de période de retour au moins 10 ans. La Figure 17 montre l'abaissement de cette ligne d'eau modélisée en 2D entre le début de la zone d'étude et le Mêle.

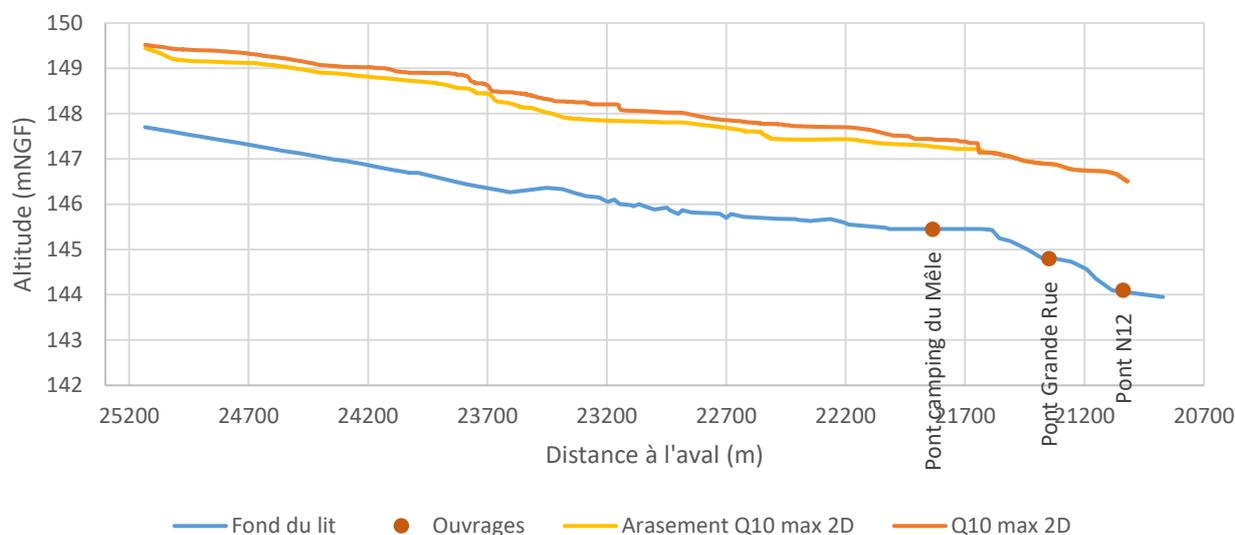


Figure 17 : Ligne d'eau maximale pour la crue décennale avec et sans merlon entre Fournival et le Mêle

Par ailleurs, la comparaison des hauteurs d'eau entre avant/après aménagement a permis de mettre en lumière l'impact de la N12 au niveau du Mêle. En effet, si le pont n'a pas d'influence hydraulique en ne créant pas de perte de charge lors de son franchissement, il n'en est pas de même pour la portion indiquée sur la Figure 18.



Figure 18 : Localisation du tronçon de la N12 faisant levée transversale

Cette portion de la N12 est surélevée par rapport au reste de la vallée et fait office de levée transversale. Elle contraint l'écoulement à passer sous le pont ce qui a pour effet de contenir les eaux à son amont immédiat, l'influence se fait sentir jusqu'au niveau de la prise d'eau du pompage du lac.

#### Agir sur le lit majeur

L'objectif en lit majeur est de maintenir ou d'augmenter la rugosité afin de permettre le ralentissement des écoulements. Pour ce faire, il est nécessaire de maintenir les prairies actuellement en place pour que lorsque des fortes pluies ou une crue surviennent le sol soit toujours couvert, ce qui est possible avec les prairies permanentes. Puisque le lit majeur est quasi-exclusivement composé de prairies, il est nécessaire d'agir sur un autre levier. Afin d'augmenter la rugosité en lit majeur, il est possible de mettre en place des haies perpendiculaires à l'écoulement, suffisamment denses pour qu'elles contribuent à le ralentir. Actuellement, les haies existantes en lit majeur sont principalement présentes aux limites de parcelles mais ce n'est pas le cas pour l'ensemble des parcelles. Également, elles ne sont pas toutes très denses ce qui limite leur efficacité hydraulique. Une proposition serait de les densifier afin de les rendre plus efficace sans avoir à en créer de

nouveaux linéaires. Pour aller plus loin et augmenter l'efficacité des zones d'expansion, des crues des haies intra-parcellaires pourraient être mises en place perpendiculaires aux voies d'écoulement de l'eau.

### Agir sur les affluents et les versants

Afin de ralentir les crues de la Sarthe, il est également possible d'agir sur ses affluents afin qu'eux aussi contribuent moins rapidement aux apports de débit.

Tout d'abord, concernant les affluents, certains, comme la Tanche, ont été entretenus comme l'a été la Sarthe. Des merlons relativement imposants sont présents ce qui limite son débordement. De même que le travail effectué sur la Sarthe, il conviendrait d'identifier les secteurs d'arasement les plus favorables. Un autre travail sur les affluents (Pervenche, Tanche...) pouvant être effectué est la renaturation de ceux-ci en les remettant dans leur lit non rectifié. L'objectif étant de redonner au cours d'eau sa longueur naturelle, ainsi les écoulements sont ralentis car la distance à parcourir est plus importante.

Ensuite concernant les versants, une évaluation des axes de ruissellement sur le bassin versant serait intéressante afin d'identifier le positionnement des aménagements limitant le ruissellement. La restauration du maillage bocager par l'aménagement de haies ou la mise en place de bandes enherbées, fossés tampons afin de ralentir le ruissellement est intéressant suivant les préconisations de la CATER dans leur guide « Restauration du Bocage » notamment sur l'intérêt hydraulique de la haie. Des vérifications sur le positionnement des entrées de champ pourront également être effectuées. L'objectif de ces vérifications est de pouvoir les repositionner (créer une nouvelle entrée et remblayer l'ancienne) dans le cas où elles sont situées dans des couloirs préférentiels de ruissellement et notamment s'ils débouchent sur la voirie (risque de coulées de boues et les routes vont concentrer les écoulements et les accélérer puisque qu'imperméable et avec une faible rugosité). De même ces identifications ne seront pas réalisées dans cette étude.

### Réutilisations possibles des matériaux des merlons

Les matériaux des merlons peuvent être réutilisés dans le cadre de projet de restauration ou de restitution d'un gabarit adapté au cours d'eau en période d'étiage notamment en aménageant des banquettes, lits emboîtés pour concentrer la ligne d'eau. La possibilité de les réutiliser dépendra de leur composition pour connaître leur tenue vis-à-vis de la puissance développée par le cours d'eau lors d'épisode de crue.

Il est également possible de régaler ces merlons à proximité de leur zone d'arasement cependant différentes contraintes se posent. Il ne faut pas que la zone de régilage soit située en zonage PPRI, ni en zone Natura 2000, ni en zone humide qui sont particulièrement présentes à proximité de la Sarthe.

## VI. Incidences de l'arasement des merlons

L'arasement des merlons permettra de réduire la hauteur des berges qui limitent actuellement le débordement de la Sarthe au sein de sa zone d'expansion de crue.

Ainsi, cela permettra de redonner à la Sarthe un gabarit plus naturel sur les tronçons concernés. Les merlons donnent à la Sarthe la morphologie d'un cours d'eau incisé du fait de la hauteur des berges. Cette hauteur de berge trop importante ne permet pas un fonctionnement correct de la dynamique dépôt/érosion du cours d'eau. Par ailleurs, le débit morphogène est moins fréquemment atteint la dynamique latérale est ralentie.

L'arasement des merlons va permettre de reconnecter plus régulièrement des zones humides situées en lit majeur avec la Sarthe. Actuellement, les merlons perturbent les échanges entre le cours d'eau et les zones humides en créant un obstacle topographique, ces dernières étant moins fréquemment ennoyées puisque le débordement n'est pas facilité. Permettre un débordement plus fréquent est un moyen passif de restaurer les zones humides présentes tout le long du linéaire étudié.

Les merlons, en limitant le débordement de la Sarthe, accélèrent l'écoulement au sein du cours d'eau et les eaux atteignent plus rapidement les zones situées en aval (commune du Mêle, agglomération d'Alençon notamment). Leur arasement total ou partiel permettra donc d'augmenter le stockage naturel en amont de ces zones à enjeu, sur les zones débordées et également sur l'emprise qu'ont actuellement les merlons.

Par ailleurs, l'arasement des merlons va permettre en écrétant le début de la crue de gagner du temps pour l'organisation et l'intervention des secours potentiellement nécessaires puisque l'atteinte des forts débits sera ainsi ralentie.

## Conclusion

Les objectifs de cette étude étaient d'appréhender les avantages et les contraintes de fonctionnement des zones d'expansion des crues situées entre les communes de Buré et d'Hauterive le long du linéaire de la Sarthe et d'évaluer les coûts et gains liés à l'aménagement des sites, aux impacts du stockage des eaux et aux impacts de l'inondation vis-à-vis des zones situées en aval. Elle a permis d'établir les conclusions suivantes sur le fonctionnement hydraulique de la zone d'étude.

A savoir, que les **merlons** situés sur les deux rives de la Sarthe sur une très grande partie du linéaire (18km sur les 25 km de cours d'eau modélisés) constituent un **obstacle au débordement** de la Sarthe. Les merlons agissent comme de petites digues et **retardent l'expansion des crues ainsi que leur retrait**, par ailleurs, ils représentent également un volume non mobilisable puisqu'étant déjà occupés. Des brèches naturelles sont présentes dans les merlons, cependant leur emplacement ne permet pas d'assurer l'expansion efficace des crues. La **large vallée de la Sarthe**, sur le secteur étudié, pouvant servir à écrêter les crues, est donc **mobilisée plus tardivement** que si les merlons n'étaient pas présents. **En mobilisant plus rapidement ces surfaces, il est possible de ralentir la montée de la crue et donc de gagner du temps pour la prévention et/ou l'évacuation des populations dans les zones à enjeu.** Cependant, les surfaces mobilisées ne permettent pas d'écrêter une crue, seulement à ralentir la phase de montée et atténuer le pic.

Une autre des conclusions de cette étude porte sur le rôle des ponts et moulins lors des crues. Les ponts de type "pont cadre agricole" ne représentent pas un obstacle aux crues, ils sont transparents vis-à-vis de celles-ci. **Le pont en centre-ville du Mêle** a lui une **influence sur la ligne d'eau**, il génère une perte de charge. La ligne d'eau est donc surélevée en amont du pont et a pour conséquence d'augmenter le niveau d'eau dans le camping (celui-ci étant situé au même niveau voire en dessous du niveau de la Sarthe). L'élévation de la ligne d'eau à ce niveau est également renforcée par le tracé de la nationale N12 qui fait office de levée transversale en contraignant l'écoulement à ne passer que sous le pont de la N12. De manière similaire, **le pont du Gué Saint-Vaast** a également une **influence sur la ligne d'eau**. Son effet est notamment dû à la route longeant la Sarthe en rive droite et au terrain naturel qui remonte rapidement en rive gauche. **La route fait office de digue** et bloque l'écoulement forçant le débit à passer uniquement sous le pont. Concernant les **moulins**, leur impact lors des crues n'est pas notable, ils se retrouvent **tous mis en transparence dès la crue biennale** et ne constituent donc **pas un moyen de lutte contre les inondations**.

Les objectifs auxquels il a été convenu de répondre et de proposer des aménagements portent sur :

- Les inondations, en mobilisant plus rapidement les zones d'expansion des crues et en ralentissant les écoulements sur le versant comme au niveau du cours d'eau pour augmenter le laps de temps entre l'alerte de la crue et son arrivée sur les zones à enjeux.
- Le milieu, en reconnectant le lit majeur pour améliorer son fonctionnement et celui de l'écosystème associé et pour rendre un profil hydro-morphologiquement plus naturel.
- La préservation des pratiques agricoles en diminuant la durée de rétention des eaux pour préserver la qualité de l'herbe notamment lors de crues de printemps type 'crue de 2018'.

Afin de répondre à ces objectifs, travailler sur plusieurs localisations du bassin versant a été retenu. L'interface lit majeur/lit mineur, le lit majeur, les versants ainsi que les affluents. Dans le cadre de ce stage, seuls les scénarios relatifs à l'interface lit mineur/lit majeur ainsi que lit majeur ont été modélisés et dont l'efficacité a été évaluée.

Les modélisations d'état avant et après travaux ont permis d'établir que l'arasement de merlons en des secteurs tardivement mis en eau lors des crues entraîne un **abaissement de la ligne d'eau en lit mineur d'en moyenne 20 cm**. Par ailleurs, l'évaluation de l'arasement de merlons de 30-40 cm permet de **mobiliser les ZEC pour un débit en moyenne 25% plus faible**. L'arasement des merlons en amont de la principale zone à enjeu qu'est le secteur du Mêle permet **d'augmenter le volume de stockage de 13 000 m<sup>3</sup>** par rapport à l'état actuel pour une **crue biennale**. L'arasement des merlons permet une modification de la dynamique de la mobilisation de la zone lors des crues. Dans les secteurs qui ont été arasés, la **mobilisation des surfaces d'expansion des crues se fait lors du débordement du cours d'eau et non plus par remontée du niveau d'eau par l'aval**.

Lors de la décrue, l'arasement des merlons n'entraînera pas un retour des eaux plus rapide pouvant entraîner une inondation à l'aval. En effet, l'**écoulement** dans la Sarthe étant de type « fluvial » le **pilotage du niveau de l'eau se fait par l'aval** et donc pour que le niveau d'eau **baisse en amont** il faut que le **niveau d'eau en aval ait également baissé**. Par ailleurs, comme la connexion hydraulique entre la Sarthe est les zones d'expansion des crues est maintenue plus longtemps grâce à l'arasement des merlons, le reflux des eaux par pilotage de la Sarthe aura lieu plus longtemps.