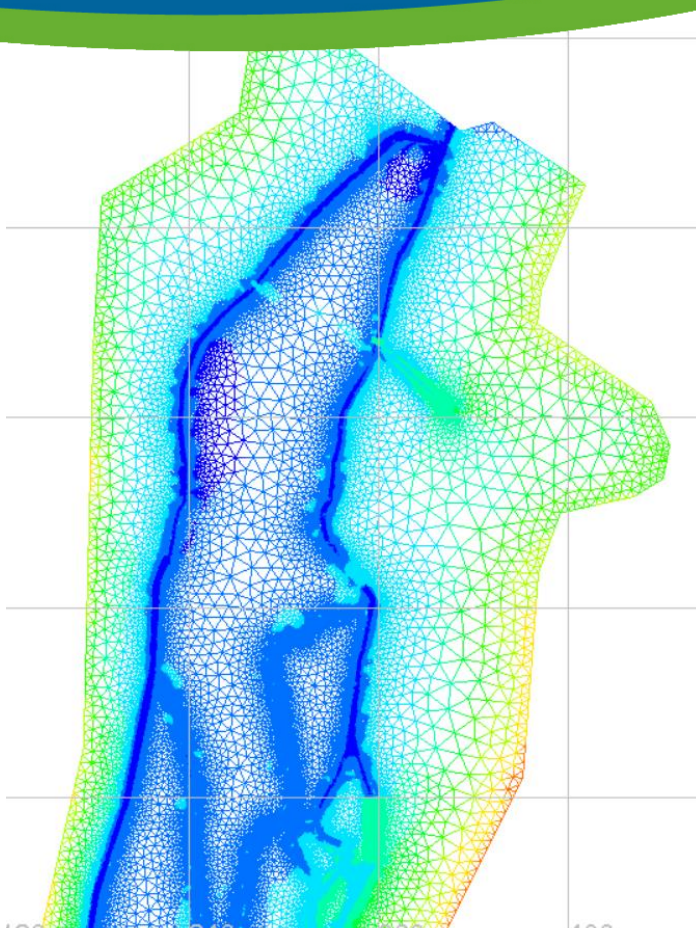




Exploitation des potentialités en termes de champs d'expansion des crues

Zone de Francueil – phase 3 : scénarios d'aménagement

Mars 2024

Références FISH-PASS

Titre court :	Exploitation des potentialités en termes de champs d'expansion des crues - Zone de Francueil – phase 3 : scénarios d'aménagement
Référencement étude :	CEC2022AF05_ZEC-Cher_EPTB Loire

Modifications et mises à jour

Indice d'évolution	Date de version	Chef de projet	Rédaction	Relecture
V1	04/03/2024	Guillaume Goodwin Julien Pineau	Guillaume Goodwin	

Citation

FISH-PASS (2024). Exploitation des potentialités en termes de champs d'expansion des crues - Zone de Francueil – phase 3 : scénarios d'aménagement.
--

Références client :

Maître d'ouvrage de l'étude :	EPTB Loire
Personne ressource :	Lulla GLACET

Sommaire

Sommaire	3
1 Introduction	4
2 Scénarios d'aménagement	5
2.1 Scénario 1 : favoriser l'écoulement vers le bief du moulin	6
2.1.1 Description du scénario	6
2.1.1 Effets du scénario d'aménagement	8
2.2 Scénario 2.1 : abaisser les berges du ruisseau de Francueil	9
2.2.1 Description du scénario	10
2.2.2 Effets du scénario d'aménagement	11
2.3 Scénario 2.2 : reconnecter le ruisseau à l'exutoire de l'étang	13
2.3.1 Description du scénario	13
2.3.2 Effets du scénario d'aménagement	14
2.4 Scénario 2.3 : reconnecter le ruisseau à son tracé historique en effaçant l'étang	15
2.4.1 Description du scénario	15
2.4.2 Effets du scénario	16
2.5 Scénario 3 : mobiliser les trois retenues de la commune de Luzillé pour du stockage	18
2.5.1 Description du scénario	18
2.5.2 Effets du scénario	19
2.1 Synthèse	21

1 Introduction

L'étude porte sur une zone d'expansion de crue (ZEC) située sur la commune de Francueil, dans le département d'Indre-et-Loire (37). Elle vise à fournir aux acteurs locaux des éléments de décision pour la gestion de ce périmètre.

L'étude est séquencée en trois phases :

- Phase 1 : état des lieux et description de la ZEC potentielle ;
- Phase 2 : analyse de la fonctionnalité de la ZEC par une modélisation hydraulique ;
- Phase 3 : proposition des scénarios d'aménagement.

Ce rapport présente les conclusions de la phase 3.

2 Scénarios d'aménagement

Les constats issus des résultats de la modélisation ont été présentés au comité de suivi de l'étude. Sur cette base une proposition collective de scénarios d'aménagement pour réduire le risque inondation dans le bourg de Francueil a été élaborée :

- **Scénario 1** : favoriser l'écoulement des crues vers le bief du moulin ;
- **Scénario 2** : améliorer la connexion entre la zone humide communale et le ruisseau de Francueil :
 - 2.1 : abaisser les berges du ruisseau ;
 - **2.1 - variante** : abaisser les berges du ruisseau de Francueil et abattre le mur bloquant le passage de l'eau par le Moulin Neuf
 - 2.2 : reconnecter le ruisseau à l'exutoire de l'étang ;
 - 2.3 : reconnecter le ruisseau à son tracé historique en effaçant l'étang.
- **Scénario 3** : mobiliser les trois retenues de la commune de Luzillé (scénario faisant l'objet d'une modélisation empirique).

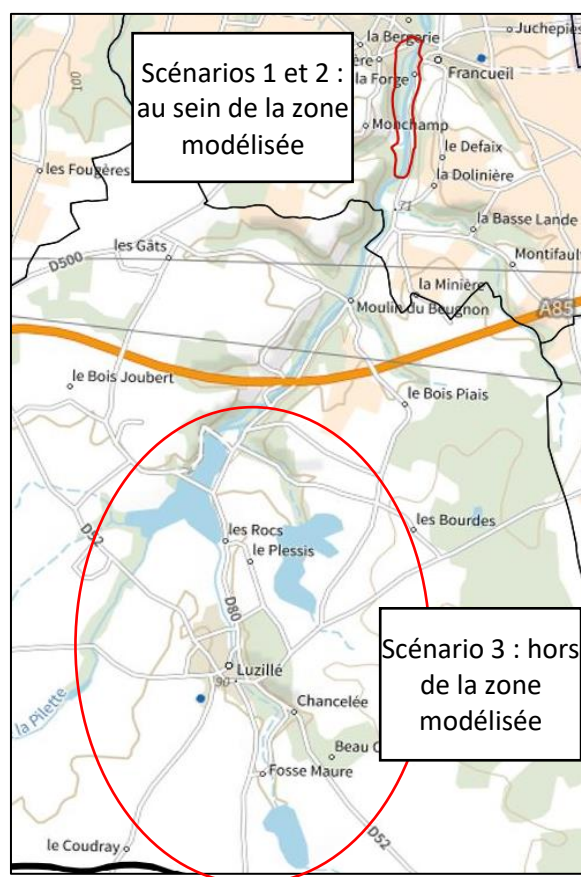


Figure 1. Localisation des scénarios d'aménagement.

Pour chaque scénario, la « maquette numérique » de la zone modélisée est modifiée selon les aménagements proposés (changements topographiques). Il est alors possible de simuler, pour des crues de différentes intensités, le débit du cours d'eau et la hauteur d'eau en tout point de la zone modélisée. Il est alors intéressant d'observer si les aménagements permettent :

- D'écarter la crue, c'est-à-dire **réduire le débit maximal** du cours d'eau (débit de pointe) ;
- De retarder le pic de crue ;
- De modifier les surfaces inondées.

2.1 Scénario 1 : favoriser l'écoulement vers le bief du moulin

2.1.1 Description du scénario

Le site concerné se trouve au sein de la zone modélisée, en amont de la zone humide communale.

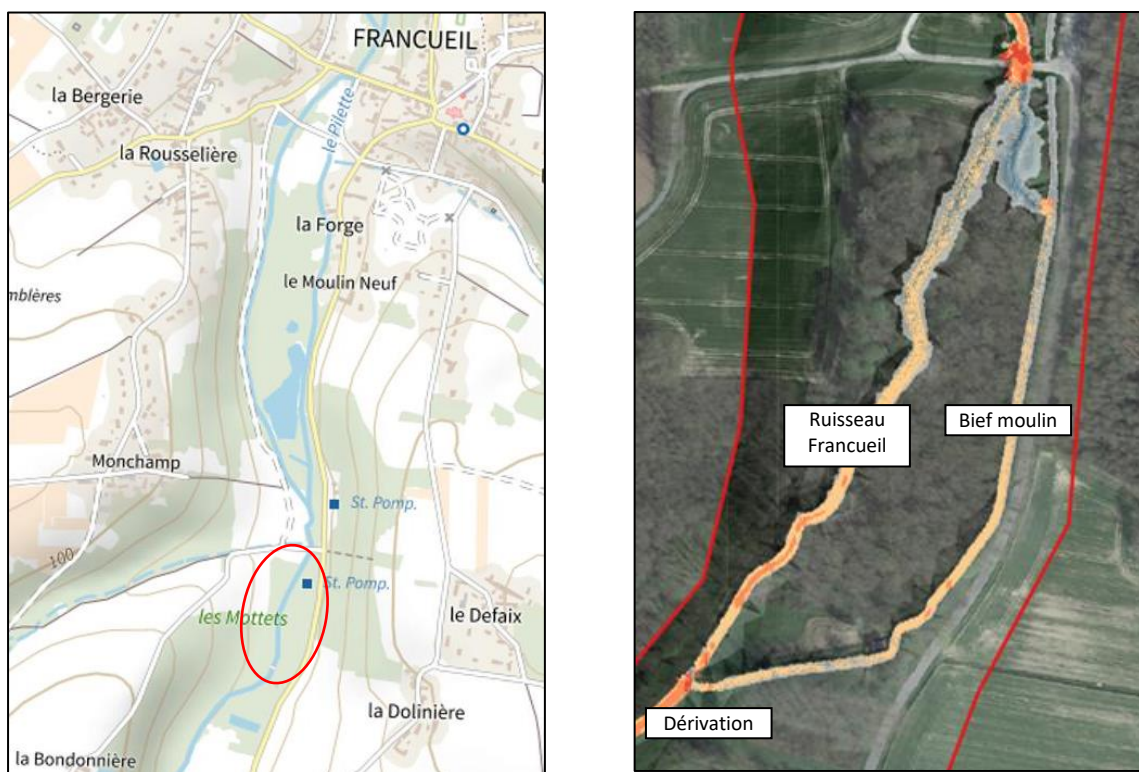


Figure 60. Localisation et configuration du site.

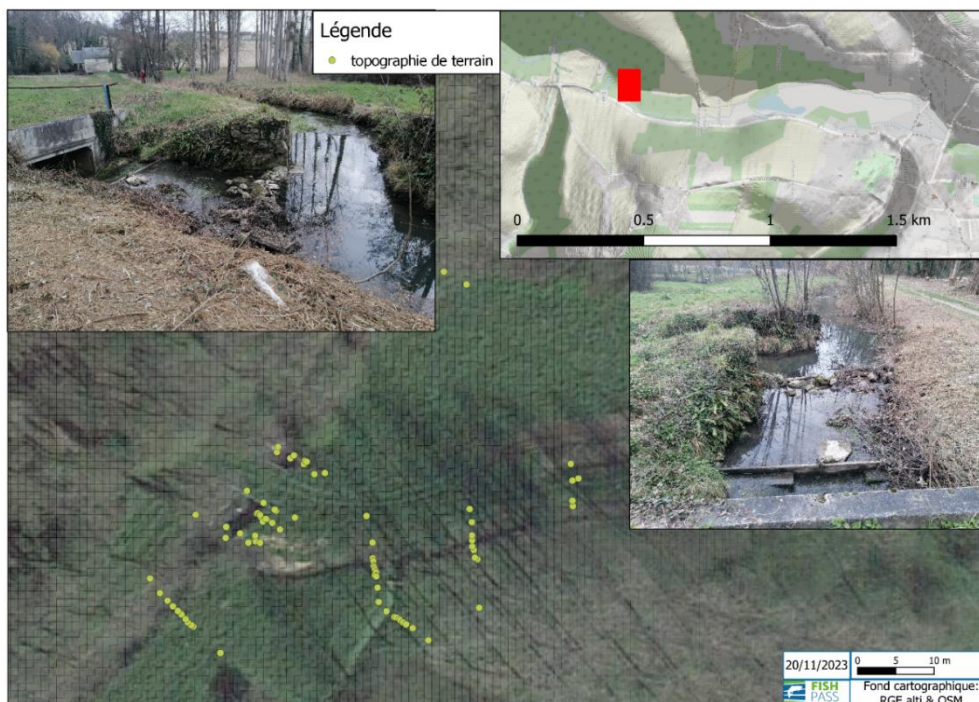


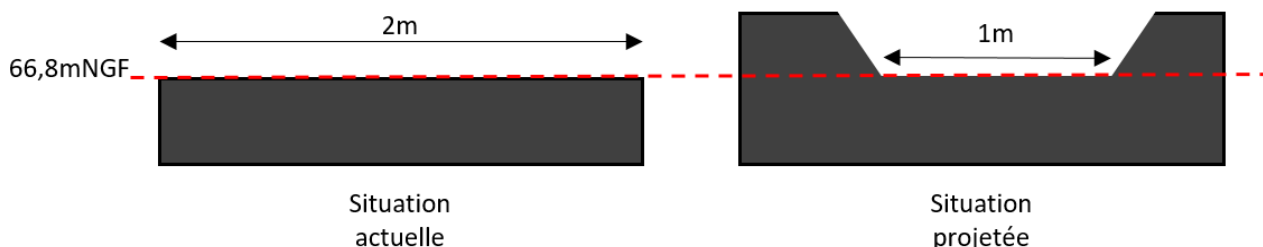
Figure 61. Localisation et photographies de l'ouvrage répartiteur entre le ruisseau et le bief.

Un système de seuils sur le ruisseau de Francueil dévie une partie du débit vers le bief du moulin. Un seuil en pierre est suivi d'un seuil en béton, avec une chute d'environ 30 cm (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ils ne sont pas franchissables pour la plupart des espèces piscicoles et constituent donc un obstacle à la continuité écologique.

La chute entraîne un encaissement du ruisseau de Francueil au sein de la zone boisée. Le cours d'eau est plus bas que le bief : il déborde donc peu dans la zone boisée, contrairement au bief.

Ce scénario consiste à **modifier l'ouvrage actuel afin de mieux gérer la répartition du débit**. En période de hautes eaux uniquement, le débit pourrait être principalement réparti vers le bief, afin de favoriser l'écoulement dans la zone boisée.

Concrètement, l'ouvrage répartiteur actuel serait remplacé par un seuil à échancrure. Le fond de l'échancrure est maintenu au niveau actuel du seuil (66,8m NGF) mais sa largeur est réduite à 1m, contre 2m actuellement. Le haut du seuil est amené au niveau du tablier du pont. Aucune autre modification n'est réalisée dans ce scénario.



Cet aménagement permet d'augmenter le débit dans le bief du moulin uniquement en période de hautes eaux. La modification du seuil pourrait être l'occasion d'améliorer la franchissabilité piscicole et sédimentaire. Cette option nécessite un accord avec les propriétaires et une gestion des niveaux d'eau.

2.1.1 Effets du scénario d'aménagement

La simulation du scénario à l'aide du modèle hydraulique donne les résultats suivants :

- L'écroulement est identique à celui de la situation actuelle, à 0,1 % près : l'aménagement **ne modifie pas de façon significative le débit maximal**, ni la distribution du débit dans le temps (Figure 62).
- Par ailleurs, la cartographie des niveaux d'eau montre très **peu de variations d'inondation**.

→ Le seuil actuel, quoique de construction peu stable, remplit donc bien son rôle de répartiteur. **Cette solution peut être écartée.**

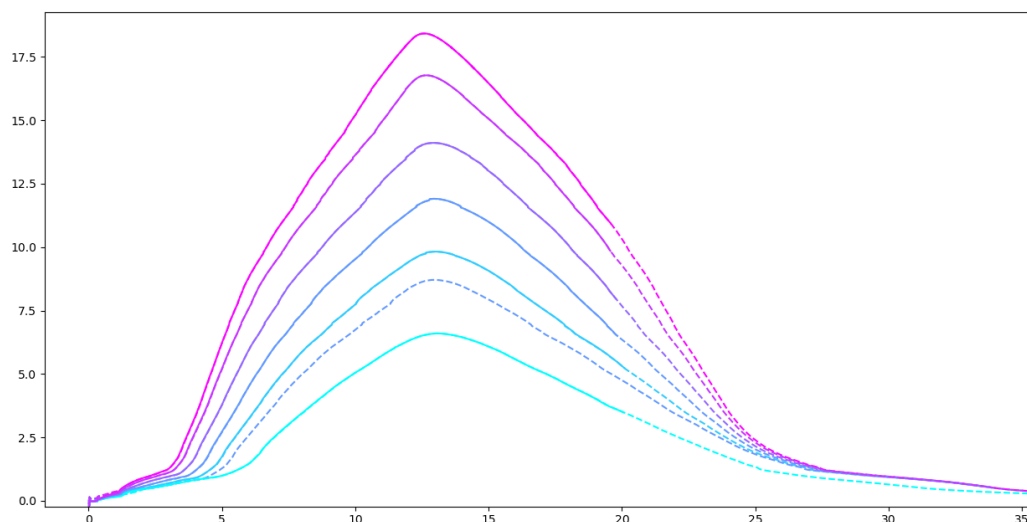


Figure 62. Abattement du débit à l'exutoire dans le modèle d'origine (pointillés) et le modèle modifié (trait plein) pour les débits Q2 (cyan), Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 (magenta). La courbe pointillée seule représente la crue de 2020, non simulée après aménagements. Les abscisses sont représentées le temps en heure depuis le début de la simulation.

2.2 Scénario 2.1 : abaisser les berges du ruisseau de Francueil

Les scénarios 2.1, 2.2 et 2.3 concernent un site appartenant à la commune de Francueil situé en amont du bourg. Ce site est une zone humide et un espace vert communal. Il est classé « espace naturel sensible ». Les trois scénarios consistent à améliorer la connexion entre le ruisseau de Francueil et la zone humide environnante.

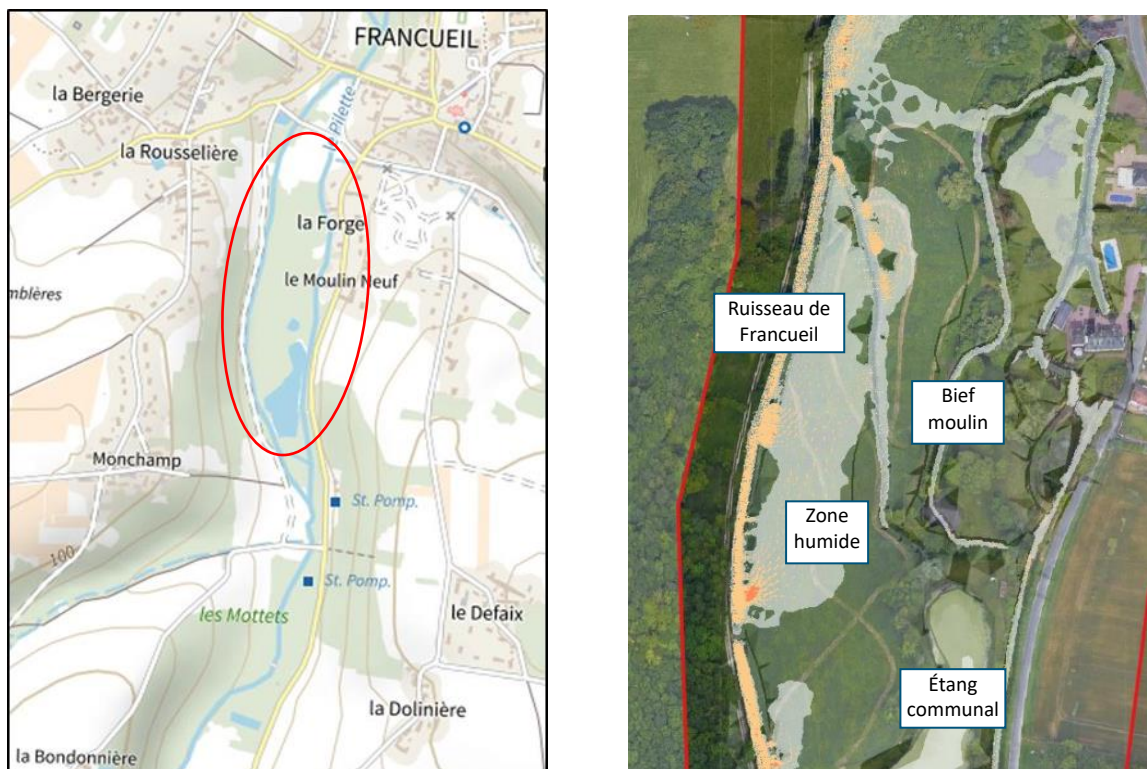


Figure 63. Localisation et configuration du site.

Actuellement, lors d'une crue, le ruisseau de Francueil déborde dans la zone humide sur sa rive droite. Les **berges sont surélevées** de 30 à 50 cm par rapport au terrain naturel derrière.

2.2.1 Description du scénario

Le scénario 2.1 consiste à **augmenter les débordements** du cours d'eau vers la zone humide **en abaissant les berges** (Figure 64). La suppression de merlons en berge est une pratique commune pour favoriser les débordements : elle permet à la berge de la rivière d'agir comme un déversoir latéral. Dans le modèle, la suppression des merlons est matérialisée par le nivellement de la bande sombre/grisée ci-dessous à 65.1m NGF. Ce nivellement ne prend pas en compte les arbres plantés en berges, dont l'emprise est considérée non significative.



Figure 64. Zones d'abaissement des merlons en berge.

Dans la variante, il est proposé d'ajouter au nivellement des merlons la suppression du mur de parpaings bloquant le passage de l'eau sous le Moulin Neuf. Cette modification s'accompagne d'un nivellement à 66.5 m NGF du bief d'alimentation du Moulin, représentant un curage dudit bief. Un approfondissement du bief n'est pas envisagé ici.

2.2.2 Effets du scénario d'aménagement

La simulation du scénario à l'aide du modèle hydraulique donne les résultats suivants :

- L'écêtement est identique à celui de la situation actuelle, à 0,1 % près : **le débit** du ruisseau de Francueil en sortie du modèle **n'est pas modifié par rapport à la situation actuelle** (Figure 65).

- Le modèle simule les débordements tout au long de l'épisode de crue. Dans le cadre de ce scénario, il montre que les **débordements sont plus précoces** que pour la situation actuelle. Cet effet peut être bénéfique pour l'inondation plus fréquente de la zone humide. En revanche, les surfaces inondées au pic de crue sont inchangées. La figure 66 illustre cette situation pour une crue biennale (Q2) : le constat est identique pour une crue plus importante.

→ **Le scénario 2.1 est peu utile à l'écêtement des crues biennales ou supérieures.** Il permettrait d'écêter des débits de crues annuelles. Il favoriserait l'inondation de la zone humide existante, et représente en ce sens une opportunité de mettre en eau plus fréquemment la zone humide et de favoriser son développement.

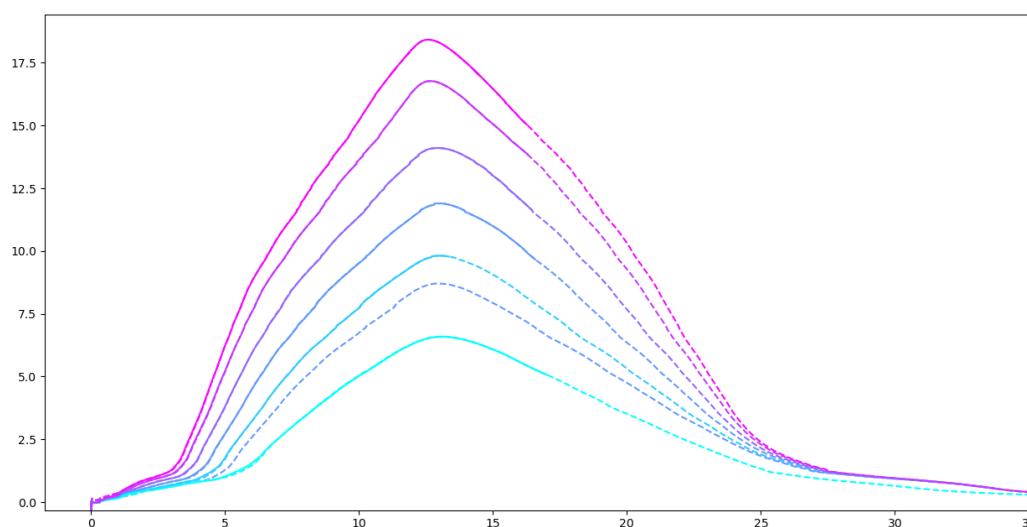


Figure 65. Abattement du débit à l'exutoire dans le modèle d'origine (pointillés) et le modèle modifié (trait plein) pour les débits Q2 (cyan), Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 (magenta)

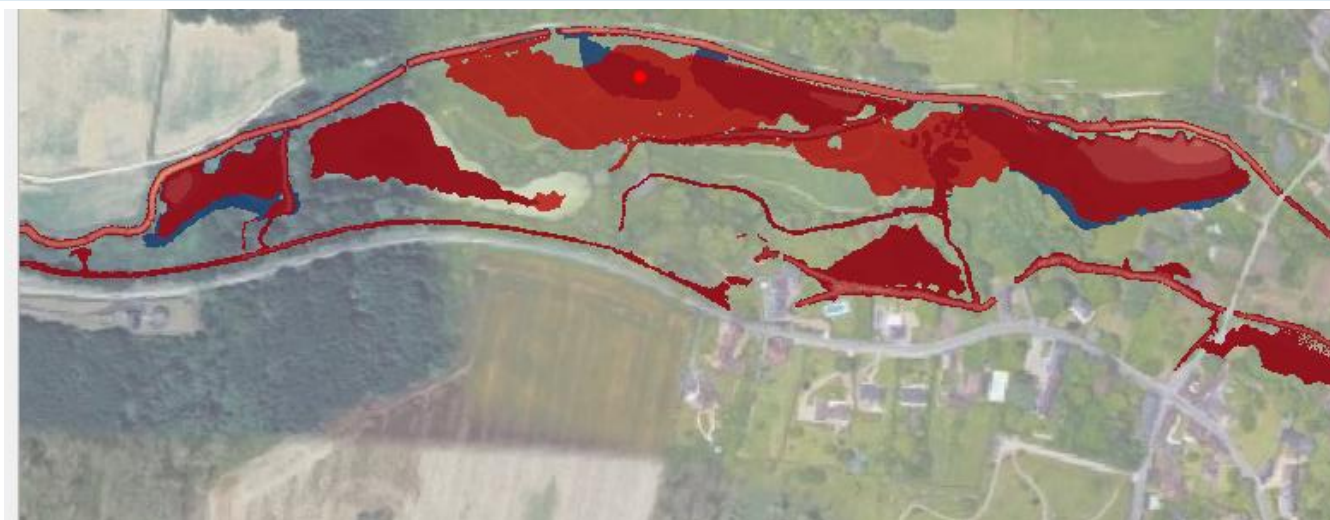


Figure 66. Carte des zones inondées à 1 jour, 3h et 20 minutes pour une crue biennale (Q2). Les zones bleues sont issues du modèle d'origine, et les zones rouges du modèle modifié.

La variante étudiée, où le bief est ouvert sous le Moulin Neuf, apporte très peu de modifications. En termes d'abattement du débit de pointe, en comparaison avec la solution 2.1, nous obtenons :

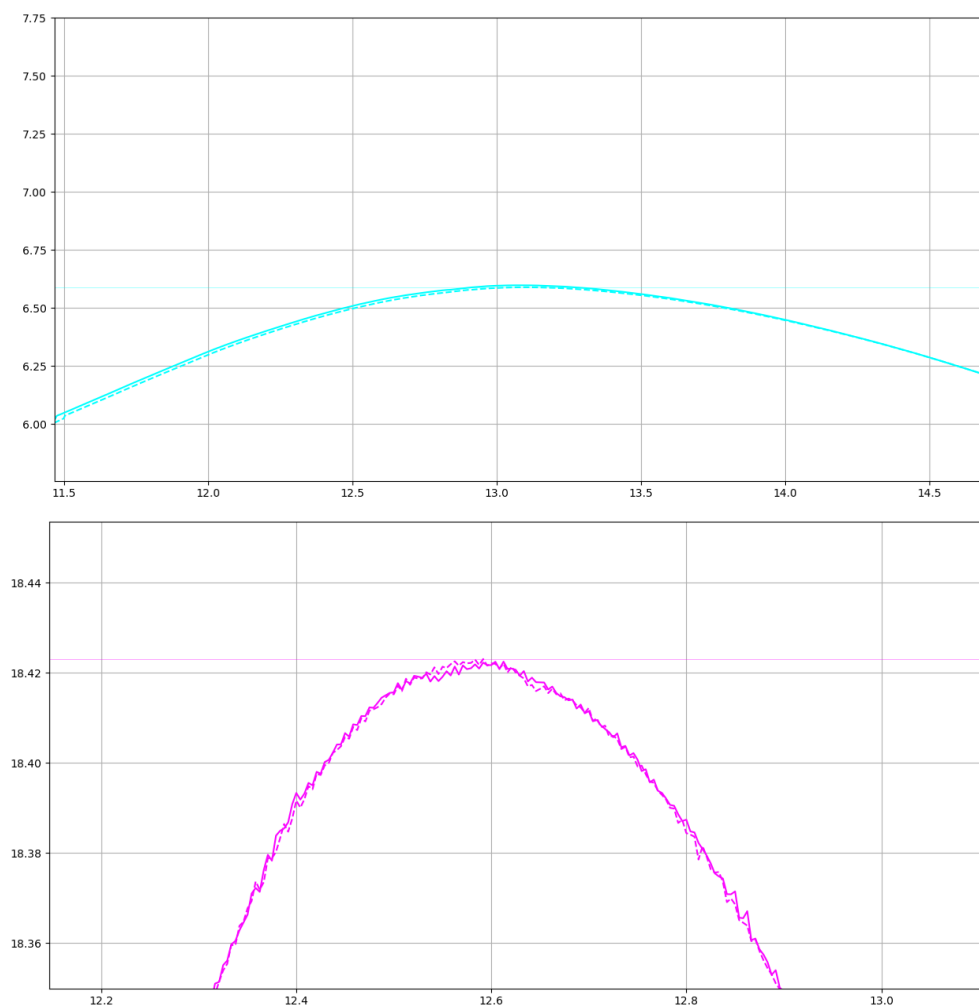


Figure 67. Débits de pointe à Q2 (haut) et Q100 (bas) pour l'option 2.1 (trait plein) et sa variante (trait pointillé)

Par ailleurs, les zones inondées lors de la montée en crue (1h40 après le début de la simulation) :



Figure 2. Zones inondées après 1h40 de simulation dans le scénario 2.1 (bleu) et sa variante (rouge)

La variante consistant à restaurer un écoulement sous le Moulin Neuf entraîne donc très peu de variations de débit de pointe (pour tous les débits considérés). En revanche, nous observons un transfert, lors de la montée en crue, des débordements depuis l'amont de la zone humide vers l'aval de la zone humide. Nous proposons comme explication pour ce phénomène l'augmentation légère des flux dans le bief du moulin. Comme pour le scénario 2.1, cet effet disparaît au pic de crue, où la zone humide de Francueil est transformée en plan d'eau.

2.3 Scénario 2.2 : reconnecter le ruisseau à l'exutoire de l'étang

2.3.1 Description du scénario

Cette solution consiste à reconnecter le chenal de l'ancien lit du ruisseau avec son chenal actuel, en créant un lit mineur courant le long de l'étang, comme illustré ci-dessous. L'aménagement est réalisé en nivellant les zones indiquées ci-dessous à 64.5m NGF, afin de constituer un chenal de topographie homogène traversant la zone humide. Notons qu'un chenal plus profond pourrait entraîner un drainage de la zone humide hors période de crue.



Figure 67. Reconnexion du lit ancien du ruisseau avec le ruisseau actuel par un chenal à 62.25m NGF d'altitude.

2.3.2 Effets du scénario d'aménagement

La simulation du scénario à l'aide du modèle hydraulique montre des résultats similaires à ceux du scénario précédent :

- **L'écrêtement est quasi identique** à celui de la situation actuelle : il y a très peu de changement du débit à l'exutoire du ruisseau dans le bourg de Francueil (Figure 68).
- En revanche, la cartographie montre que pour un même instant simulé au cours de la montée en crue, la **zone humide en aval de l'étang est bien plus inondée** que pour le modèle d'origine, ce qui décharge la zone humide en amont de l'étang (Figure 69), ce qui retarde quelque peu l'arrivée du pic de crue dans la zone humide et peut faciliter la mise en place des mesures d'urgence. Comme pour le scénario 2.1, la zone humide en aval de l'étang devient un plan d'eau, et dès lors, le routage des écoulements influence peu les débits dans le bourg.

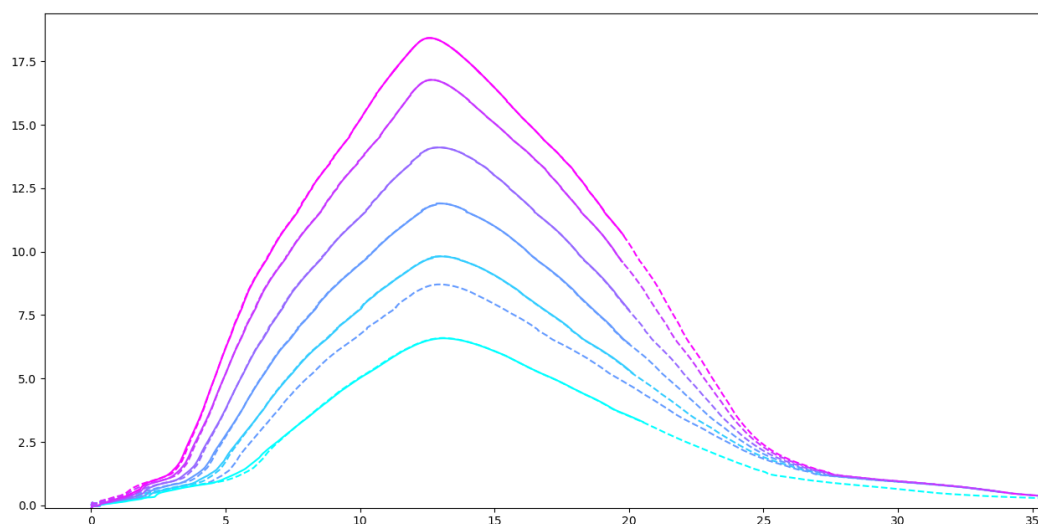


Figure 68. Abattement du débit à l'exutoire dans le modèle d'origine (pointillés) et le modèle modifié (trait plein) pour les débits Q2 (cyan), Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 (magenta)

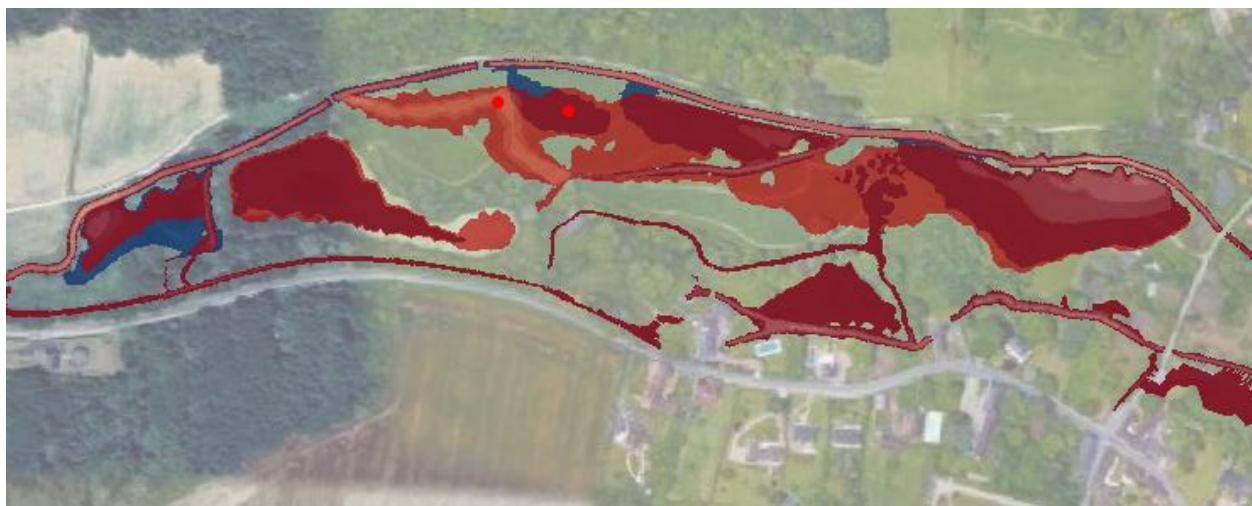


Figure 69. Carte des zones inondées à 1 jour, 3h et 20 minutes pour une crue biennale (Q2). Les zones bleues sont issues du modèle d'origine, et les zones rouges du modèle modifié.

2.4 Scénario 2.3 : reconnecter le ruisseau à son tracé historique en effaçant l'étang

2.4.1 Description du scénario

Le scénario 2.3 est similaire au 2.2, mais l'étang est effacé et remplacé par une zone humide dans laquelle court une nouvelle dérivation du cours du ruisseau. Cette opération peut être réalisée en arasant les merlons de l'étang et sans modifier la cote de fond.



Figure 70. Modification par création de lit mineur et zone humide en remplacement de l'étang actuel

2.4.2 Effets du scénario

La simulation du scénario à l'aide du modèle hydraulique montre des résultats similaires à ceux du scénario précédent :

- **L'écrêtement est quasi identique** à celui de la situation actuelle, bien qu'un peu plus important que les scénarios précédents : le débit de pointe est réduit au maximum de 0,8 % (Figure 71). Considérant les coûts occasionnés par une telle opération, la gestion des crues seule ne justifie pas sa réalisation.
- Le constat des scénarios 2.1 et 2.2 est à nouveau confirmé. Au pic de crue, la zone inondée de Francueil est assimilable à un plan d'eau, du fait des très faibles vitesses d'écoulement. A ce moment de la crue, toutes les zones inondables par le cours d'eau sont inondées et l'augmentation du volume de la crue résulte en une augmentation du niveau d'eau plus que d'une extension de l'inondation. Le gain de la surface représenté par la suppression de l'étang de pêche représente donc une part infime du volume à stocker pour écrêter la crue.

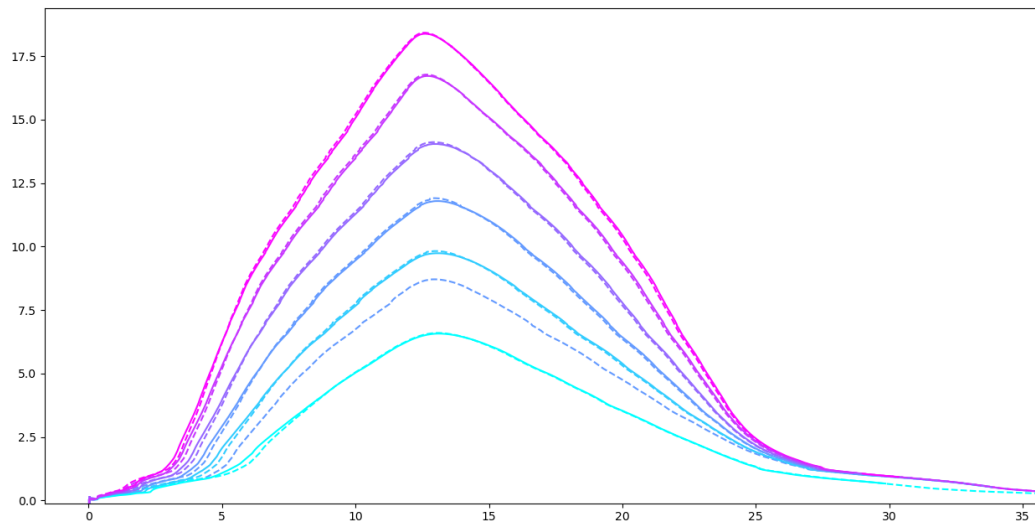


Figure 71. Abattement du débit à l'exutoire dans le modèle d'origine (pointillés) et le modèle modifié (trait plein) pour les débits Q2 (cyan), Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 (magenta)

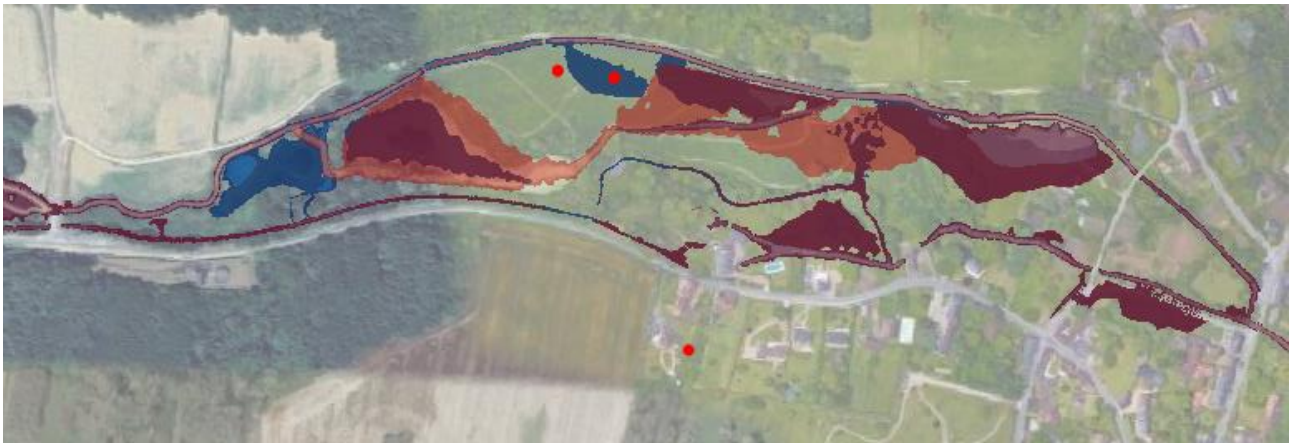


Figure 72. Carte des zones inondées à 1 jour, 3h et 20 minutes pour une crue biennale (Q2). Les zones bleues sont issues du modèle d'origine, et les zones rouges du modèle modifié.

2.5 Scénario 3 : mobiliser les trois retenues de la commune de Luzillé pour du stockage

2.5.1 Description du scénario

Ce scénario consiste à agir sur **trois retenues d'eau** situées sur la commune voisine de Francueil, **Luzillé**. Il s'agit de l'étang de Brosse et de deux retenues non nommées, l'une dans le hameau du Plessis et l'autre dans le hameau Fosse Maure. Dans ce scénario, ces trois retenues à la superficie importante jouent un rôle d'écrêteur de crue. Concrètement, le scénario modélisé pourrait correspondre :

- A une situation où les retenues seraient aménagées en zones humides (« retenues sèches ») ;
- A une situation où elles seraient gérées spécifiquement pour les crues et utilisées comme des bassins de stockage.

Actuellement, ces retenues ont probablement un usage agricole.

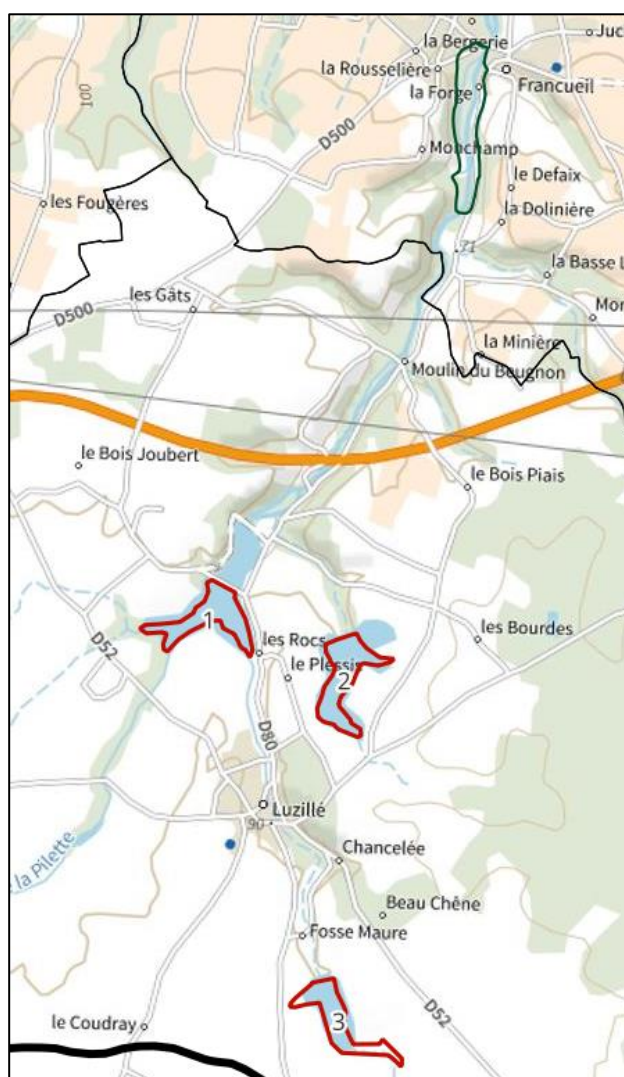


Figure 73. Localisation des retenues dans le bassin versant du ruisseau de Francueil ; 1/ Etang de Brosse ; 2/ non nommée (hameau du Plessis) ; 3/ non nommée (hameau Fosse Maure).

2.5.2 Effets du scénario

Il est important de noter que ces retenues sont situées **hors de la zone ayant fait l'objet d'une modélisation** hydraulique lors de la seconde phase de l'étude. Il n'a pas été trouvé de données bathymétriques concernant ces retenues. Contrairement aux autres scénarios, il n'est donc pas possible de modifier la « maquette numérique » pour observer l'impact sur l'écroulement des crues et les écoulements.

Ainsi, afin d'évaluer les conséquences de cet aménagement, c'est le **débit en entrée du modèle** qui est modifié. Ce débit « entrant » a été défini durant la phase 2 de l'étude à partir d'une approche statistique. En situation réelle, il est influencé par les retenues de la commune de Luzillé : plus l'eau est stockée au sein des retenues, moins le débit entrant est important.

Afin d'estimer le volume stocké par les retenues, il est fait l'hypothèse que chaque retenue peut stocker une hauteur moyenne de 0,5 m sur l'ensemble de sa surface. Le tableau suivant présente les surfaces de chaque retenue et une estimation des volumes stockés.

	Étang de Brosse	Retenue du Plessis	Retenue de Fosse Maure	Total
Surface de la retenue	14,3 ha	14,5 ha	10,4 ha	39,2 ha
Hauteur d'eau stockée (hypothèse)	0,5m			
Volume stocké (m³)	71 500	72 500	52 000	196 000

En comparaison, le volume d'eau entrant dans le modèle par le ruisseau de Francueil (hors affluents) est donné dans le tableau suivant, pour différentes intensités de crue :

	Crue biennale (Q2)	Crue quinquennale (Q5)	Crue décennale (Q10)	Crue vicennale (Q20)	Crue cinquantennale (Q50)	Crue centennale (Q100)
Volume total entrant (m³)	162 000	308 000	390 000	474 000	585 000	665 000

Le modèle hydraulique permet d'établir une relation de corrélation entre le débit de pointe sortant et le débit de pointe entrant, dans la configuration actuelle. Cette relation issue de la modélisation permet donc de calculer la réduction du débit de pointe pour les débits entrants réduits (par l'utilisation des retenues) sans effectuer de nouvelles simulations. La valeur du coefficient de corrélation ($R^2 = 0.999$) indique une fiabilité satisfaisante.

$$Q_{sortie} = -0.0085 * Q_{entrée}^2 + 0.969 * Q_{entrée} - 0.135$$

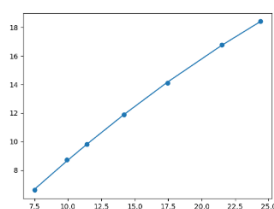


Figure 74. Débit en sortie (ordonnées) en fonction du débit d'entrée (abscisses) du modèle

L'utilisation des 3 retenues comme indiqué permet de réduire les débits entrants en faisant la différence des volumes de crue totaux entrants en prenant en compte les retenues ou non :

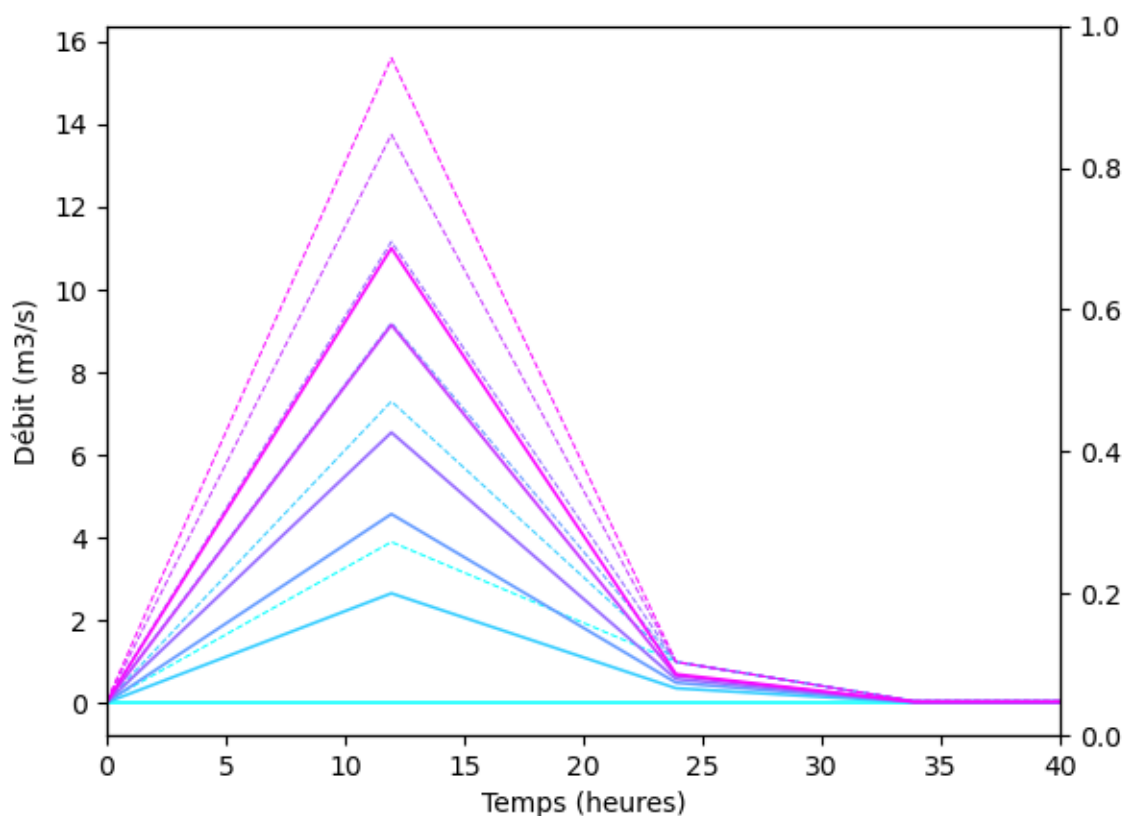


Figure 75. Débits entrants après utilisation des retenues

Ces réductions de débits entrants permettent de supposer, en utilisant la relation de corrélation ci-dessus et sous l'hypothèse que rien n'est modifié dans la zone modélisée, que les débits de pointe de crue sont abattus ainsi :

	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Réduction du débit de pointe	100%	100%	72%	43%	39%	20%

Les résultats ci-dessus sont obtenus avec la méthode suivante :

- Le volume total de la crue (sans utilisation des retenues) entrant dans le modèle est calculé pour chaque période de retour
- La surface totale des 3 retenues, multipliée par 0.5 (pour 50cm de remplissage dû à la crue) est déduit du volume de crue
- Si le reste est positif, le ratio du volume de crue avec et sans remplissage des retenues est calculé
- L'hydrogramme de crue en considérant le remplissage des retenues est celui d'origine, multiplié par ce ratio

Cette solution montre un abattement théorique maximal. Il est improbable que la mobilisation des retenues donne ces résultats de manière consistante, puisque l'effet actuel des retenues sur l'atténuation des crues est inconnu, faute de données sur les niveaux des retenues et des volumes surversés.

→ Cependant, il est possible de conclure qu'une **intervention de grand ampleur très en amont** des enjeux donne, en théorie, des **résultats intéressants** pour la gestion des crues. Ce type d'opération est plus efficace qu'une action proche des enjeux.

2.1 Synthèse

La réduction du pic de crue pour les deux premiers scénarios, par rapport à l'état actuel, est présentée dans le tableau ci-dessous :

Gain en abatement	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Option 1	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Option 2.1	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Option 2.2	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Option 2.3	0.4%	0.8%	0.8%	0.6%	0.3%	0.15%
Option 3	100%	100%	72%	43%	39%	20%
Option 4	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Figure 3. Tableau des gains en abatement des pics de crue

Globalement, les aménagements proposés **au sein de la zone modélisée ont peu d'impact** sur la réduction du débit de pointe. A l'inverse, le scénario 3 proposant une utilisation des retenues existantes pour stocker les crues génère, *a priori* et sans modélisation précise, une réduction significative des débits de pointe. Un routage très différent des écoulements est observé pour les scénarios modifiant la topographie de la zone humide de Francueil : les nivellements proposés modifient chacun les premiers points de débordement. En revanche, aucun ne modifie l'étendue de l'inondation au pic de crue. Ils présentent un intérêt pour la gestion de la zone humide proche du bourg de Francueil.

Le tableau ci-dessous synthétise les effets des solutions proposées sur la gestion des inondations. Par ailleurs, nous décrivons de manière sommaire l'impact écologique pressenti de chaque solution, et présentons une estimation du prix associé à chaque solution, sur la base du prix du m³ de terrassement (50€/m³).

- Scénarios d'aménagement -

	Seuil	merlons	Reconnection lit	Effacement étang	Gestion des retenues amont
Ecrêtement	0 - -0.1%	0 - 0.1%	0.1 – 0.2%	0.1 - 0.8%	20 – 100%
Déplacement du pic de crue	0min	0min	0min	0min	n/a
Inondation de nouvelles zones	non	non	oui	oui	oui
Impact environnemental	-	-	Inondation plus fréquente de la zone humide	Inondation plus fréquente de la zone humide	Selon gestion
Durée de mise en place					
Coût approximatif		< 10k€	~60k€	~300k€	n/a