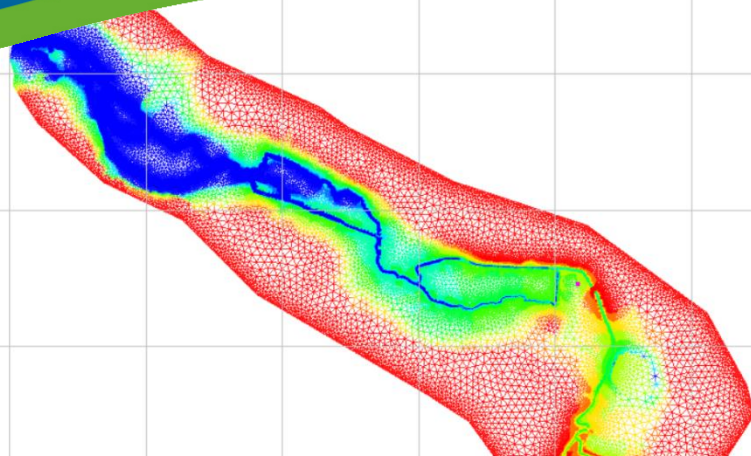




Exploitation des potentialités en termes de champs d'expansion
des crues

Zone de Graçay – phase 2 : modélisation

Novembre 2023

Références FISH-PASS

Titre court :	Exploitation des potentialités en termes de champs d'expansion des crues - PHASE 1 Modèles de crues – ZEC de Graçay
Référencement étude :	CEC2022AF05_ZEC-Cher_EPTB Loire

Modifications et mises à jour

Indice d'évolution	Date de version	Chef de projet	Rédaction	Relecture
V1	11/11/2023	Guillaume Goodwin Julien Pineau	Guillaume Goodwin	

Citation

FISH-PASS (2022). Exploitation des potentialités en termes de champs d'expansion des crues - PHASE 1 MODELES DE CRUES – ZEC DE GRACAY. 42 p.
--

Références client :

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

Sommaire

Sommaire	3
Table des figures	4
Table des tableaux	4
1 Introduction	6
2 Préambule	7
2.1 ZEC – Définition et cadre réglementaire	7
2.2 Contexte de l'étude	8
2.3 Localisation du site d'étude	9
3 Hydrologie pertinente à la modélisation	10
3.1 Contexte hydrologique	10
3.2 Chroniques et statistiques de débit	11
3.3 Synthèse des événements de crue	14
4 Topographie	16
4.1 Données existantes à l'échelle nationale	16
4.2 Campagne de terrain complémentaire pour l'acquisition de données topographiques	18
4.3 Modèle topographique corrigé	20
5 Description du modèle	21
5.1 Géométrie	21
5.2 Données d'entrée	23
5.3 Calage du modèle	24
6 Simulations	25
6.1 Ecrêtement des crues	25
6.2 Cartes de profondeur d'eau maximales sur le Fouzon	26
6.2.1 Crue biennale (Q2)	26
6.2.2 Crue quinquennale (Q5)	28
6.2.3 Crue décennale (Q10)	29
6.2.4 Crue vicennale (Q20)	31
6.2.5 Crue cinquanteennale (Q50)	32
6.2.6 Crue centennale (Q100)	34
6.1 Cartes de profondeur d'eau maximales sur le Pozon	36
6.1.1 Crue biennale (Q2)	36
6.1.2 Crue quinquennale (Q5)	37
6.1.3 Crue décennale (Q10)	38
6.1.4 Crue vicennale (Q20)	39
6.1.5 Crue cinquanteennale (Q50)	40
6.1.6 Crue centennale (Q100)	41
7 Conclusion	42

Table des figures

Figure 1 : Carte positionnement contextuel ZEC Graçay et ZEC de l'axe Cher.	8
Figure 2 : Carte localisation de la zone d'étude.	9
Figure 3 : Localisation du bassin versant du Fouzon au sein du bassin versant du Cher	10
Figure 4 : Localisation des stations météorologiques, hydrométriques et piézométriques	11
Figure 5 : Chronique de débit sur le Fouzon à Meusnes.....	12
Figure 6 : Hydrogramme de crue du Fouzon à Meusnes de mai 2016.	14
Figure 7: Hauteur d'eau approximative (témoignage antequaire)	15
Figure 8: Hauteur d'eau approximative (témoignage bar-tabac).....	15
Figure 9 : Capteurs ayant servi à l'acquisition des données topographiques	16
Figure 10. Cartographie des points acquis lors des levés topographiques de terrain.....	18
Figure 11. Détail des points acquis sur un pont du Pozon.....	19
Figure 12. Détail des points acquis sur un pont et une prise d'eau du Fouzon	19
Figure 13. Comparaison du MNT IGN brut (gauche) et du MNT corrigé par les levés de terrain (droite)	20
Figure 14. Collage des modèles d'amont en aval	21
Figure 15. Zoom sur le maillage dans les bourgs de Graçay et Saint-Outrille. Les couleurs indiquent l'altitude.....	22
Figure 16. Résultats de calage des modèles – erreur moyenne = 19cm (dont +-8cm de mesure)	24
Figure 17. Ecrêtement des crues à la sortie du modèle Amont.....	25
Figure 18. Ecrêtement des crues à la sortie du modèle ZEC.....	26
Figure 19. Ecrêtement des crues à la sortie du modèle Aval	Erreur ! Signet non défini.

Table des tableaux

Tableau 1. Débits utilisés lors des simulations. Les débits sont exprimés en m ³ /s et représentent, pour les crues, le débit de pointe. Les débits de calage ont été mesurés entre le 3 et le 5 mars 2023.	23
---	----

- Table des tableaux -

1 Introduction

L'étude porte sur une zone d'expansion de crue (ZEC) située sur les communes de Graçay, Nohant-en-Graçay et Saint-Outrille, dans le département du Cher (18). 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 2. Il analyse le fonctionnement actuel de la ZEC à partir d'une modélisation hydraulique.

2 Préambule

2.1 ZEC – Définition et cadre réglementaire

La circulaire du 24 janvier 1994 relative à la définition des inondations et à la gestion des zones inondables définit la notion de « Zones d'Expansion de Crues » (ZEC). Il s'agit de « *secteurs non ou peu urbanisés et peu aménagés, et où la crue peut stocker un volume d'eau important, comme les zones naturelles, les terres agricoles, les espaces verts urbains et périurbains, les terrains de sports, les parcs de stationnement...* ». Ces zones « *jouent un rôle déterminant en réduisant momentanément le débit à l'aval, mais en allongeant la durée de l'écoulement. Les crues peuvent ainsi dissiper leur énergie au prix de risques limités pour les vies humaines et les biens. Ces zones d'expansion jouent aussi le plus souvent un rôle important dans la structuration du paysage et l'équilibre des écosystèmes [...]. Il faut aussi éviter tout endiguement ou remblaiement nouveau qui ne serait pas justifié par la protection de lieux fortement urbanisés. Ces aménagements sont susceptibles d'aggraver les risques en amont et en aval.* »

L'enjeu de préservation des zones d'expansion de crue est reconnu comme prioritaire dans les documents suivants :

- Le SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027, à travers son orientation fondamentale « *Préserver les capacités d'écoulement des crues ainsi que les zones d'expansion des crues et des submersions marines* ». Le concept de ZEC est l'un des éléments du SDAGE visant à la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau, tout en prenant en compte les adaptations nécessaires au changement climatique.
- Le Plan de Gestion du Risque Inondation (PGRI) Loire-Bretagne 2016-2021, à travers son objectif de « *préservation des capacités d'écoulement des crues ainsi que des zones d'expansion des crues* ».
- Le Programme Opérationnel Interrégional (POI) FEDER Bassin de la Loire 2014-2020, qui précise que la préservation, la reconquête et la gestion des ZEC relèvent d'une action interrégionale de première importance, au nom de la solidarité amont-aval.

Par ailleurs, la Commission Locale de l'Eau (CLE) du SAGE Cher aval, à travers son Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD), préconise l'identification, la protection et la gestion des ZEC (disposition 16).

2.2 Contexte de l'étude

De septembre 2016 à mars 2018, l'Établissement public Loire a conduit, à l'échelle du bassin de la Loire, une analyse des potentialités en termes de champs d'expansion de crues, dans une optique de réduction du risque inondation. L'analyse a permis d'identifier 6 300 ZEC potentielles.

Dans la continuité de ces travaux, l'Établissement a réalisé des études « zooms », afin d'apprécier localement le potentiel et la faisabilité d'aménagement des ZEC pré-identifiées. La ZEC de Graçay n'est pas directement concernée par l'un de ces « zoom ». Elle se situe cependant en amont de l'étude zoom « *Le Fouzon en amont de sa confluence avec le Cher* » (zoom n°6_2021), sur l'axe du Fouzon présentant un intérêt identifié d'écêtement des crues de l'axe Cher. Plus localement, le site d'étude peut également agir en amont immédiat du bourg de Graçay, exposé à plusieurs reprises à des épisodes de crues.

Cette étude localisée est motivée par :

- L'occurrence de plusieurs épisodes majeurs de crues ayant affectés les bourgs de Graçay et Saint-Outrille, le domaine du château de Coulon et le hameau de Lenay sur la commune de Nohant-en-Graçay ;
- Une volonté locale de réduire le risque inondation ;
- La présence de plusieurs unités naturelles à caractère humide (peupleraies, saulaies, mégaphorbiaie, prairies) et d'espaces d'expansion potentielle publics (marais de Graçay : zone naturelle avec un parcours pédestre pédagogique) ou privés (prairies et pièces d'eau du domaine du château de Coulon).

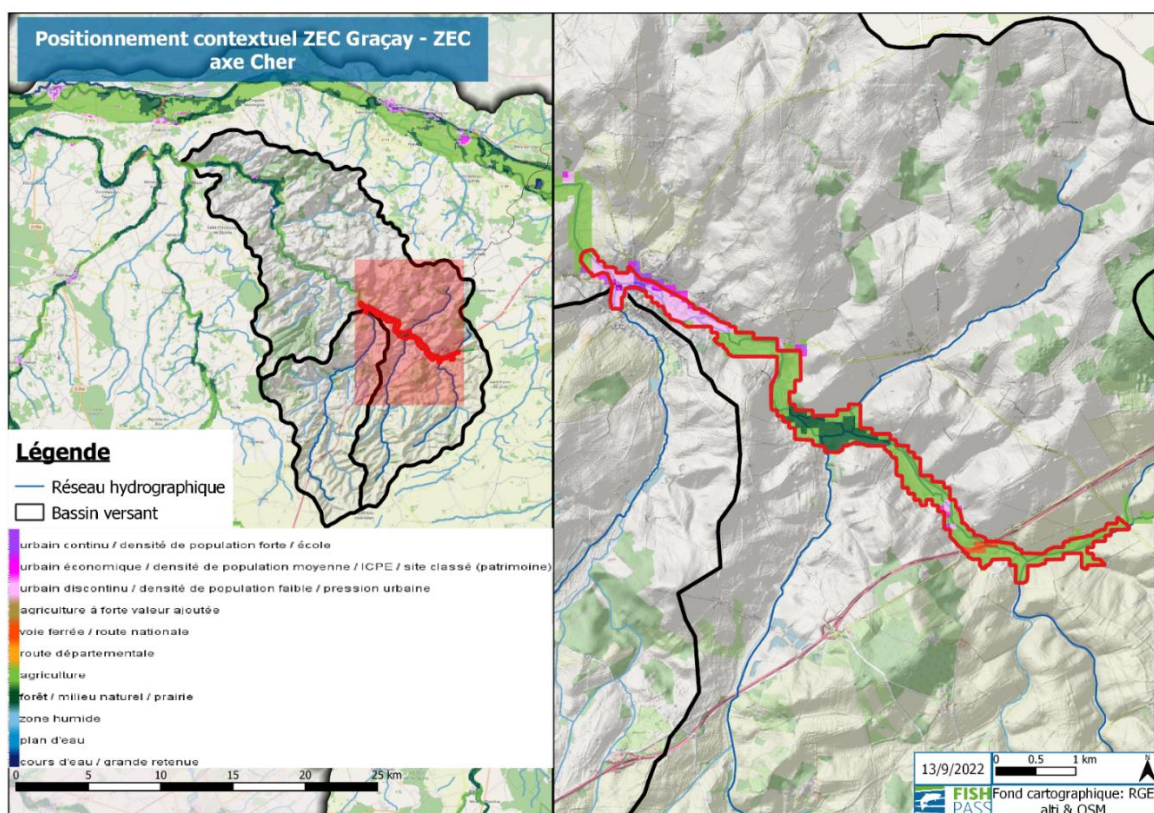


Figure 1 : Carte positionnement contextuel ZEC Graçay et ZEC de l'axe Cher.

2.3 Localisation du site d'étude

La zone d'étude correspond à la pré-localisation de la ZEC. Le périmètre d'étude couvre trois communes, d'amont en aval : Nohant-en-Graçay, Graçay, Saint-Outrille. Sa superficie est de 310,3 hectares.

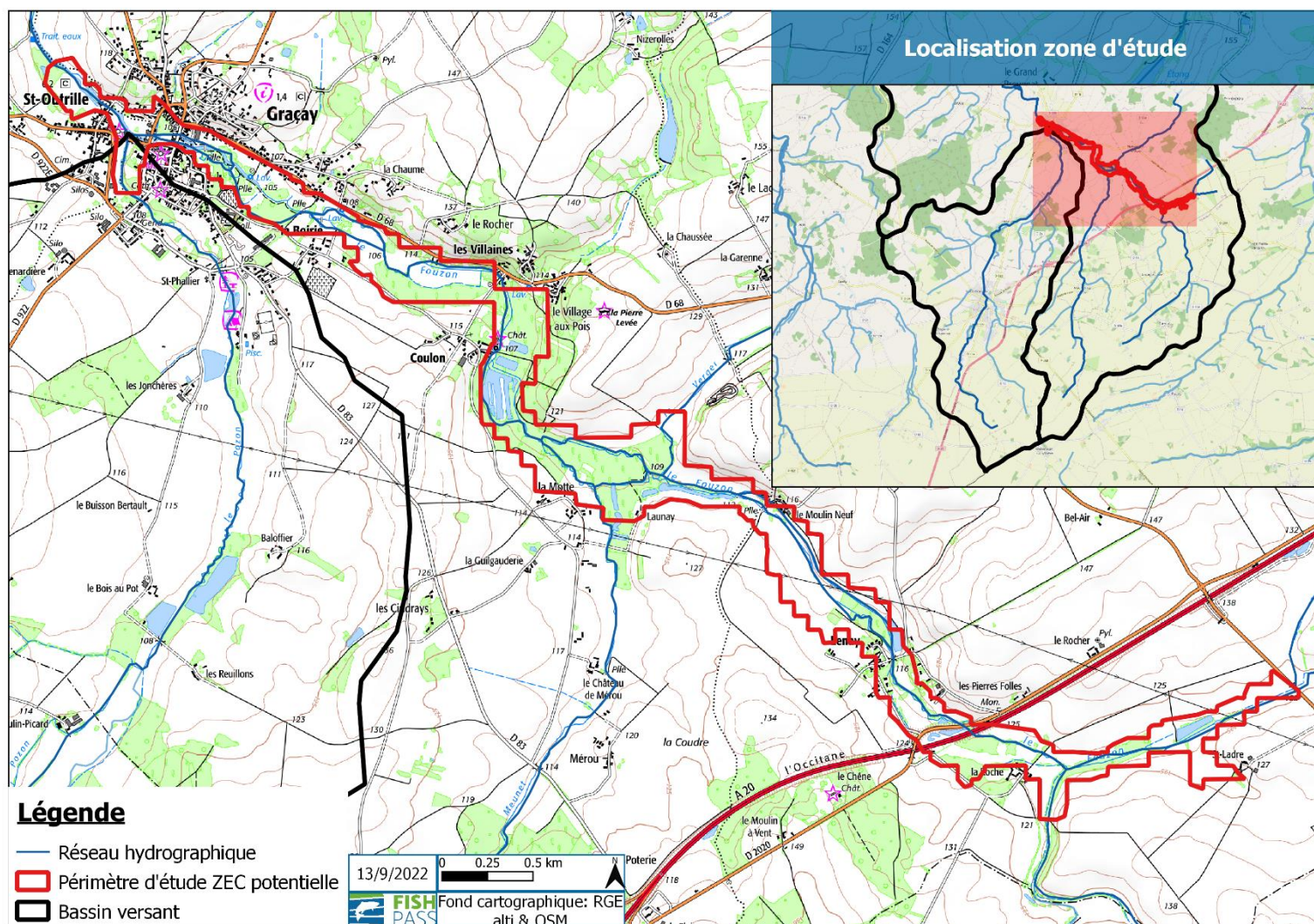


Figure 2 : Carte localisation de la zone d'étude.

3 Hydrologie pertinente à la modélisation

3.1 Contexte hydrologique

Le Fouzon est un affluent direct du Cher, dans sa partie aval (Figure 3). La superficie du bassin du Fouzon, jusqu'à la confluence avec le Renon, est de 300 km². La superficie du bassin du Fouzon au droit de la zone d'étude est de 164,30 km².

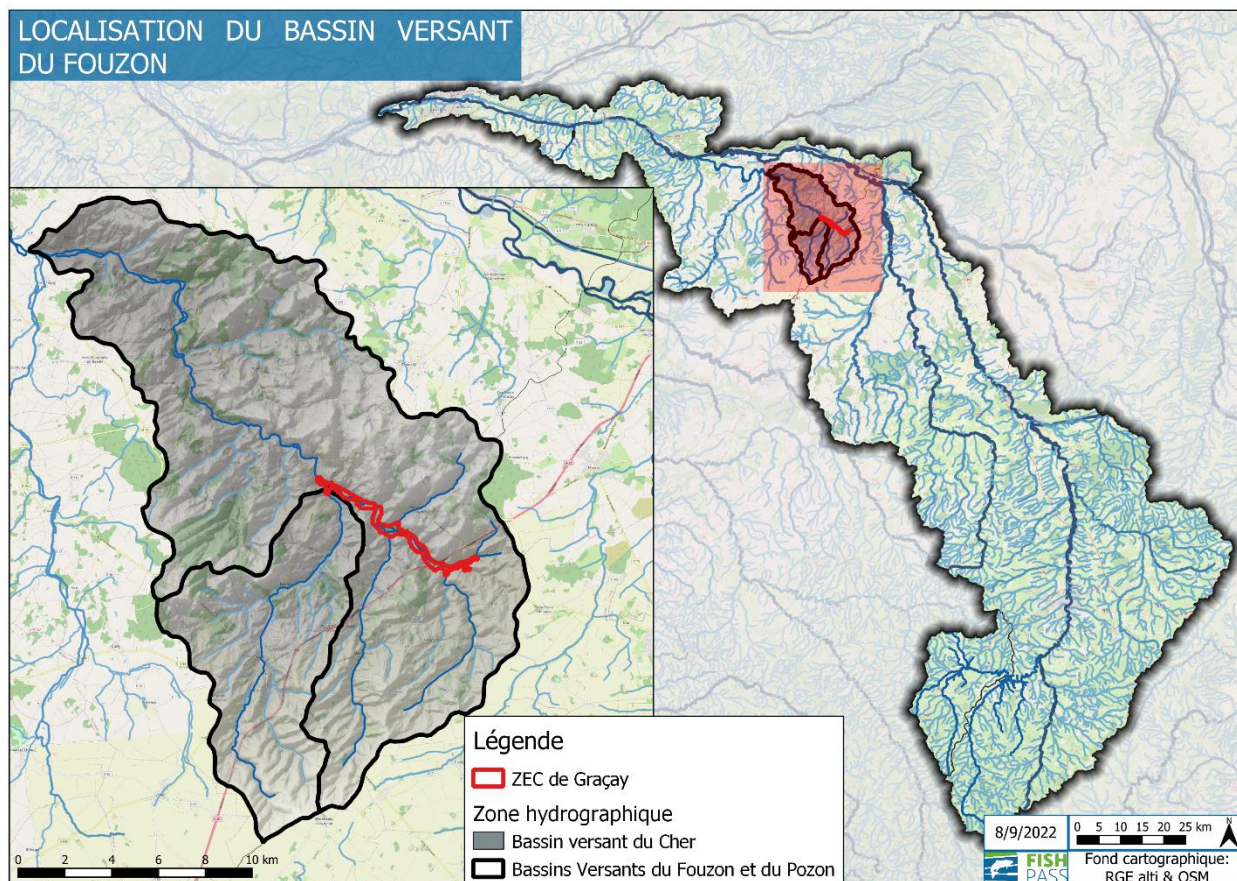


Figure 3 : Localisation du bassin versant du Fouzon au sein du bassin versant du Cher

3.2 Chroniques et statistiques de débit

Le Fouzon, de sa source jusqu'à l'aval de la zone d'étude, ne présente aucune instrumentation permettant de disposer de chroniques de débit.

Les chroniques suivantes ont donc été collectées (Figure 4) :

- Chroniques de débits mesurés à la station hydrométrique « *Le Fouzon à Meusnes – le Gué au loup* » (K659302001). Les données proviennent d'HydroPortail. Cette station est située sur le même bassin versant, mais couvre une surface plus importante que la zone d'étude (300km² contre 164 km² au droit de la zone d'étude) ;
- Chroniques de débits simulés : données LOIEAU le long du cours d'eau du Fouzon. La méthodologie utilisée est disponible en ligne (<https://doi.org/10.1051/lhb/2020034>).

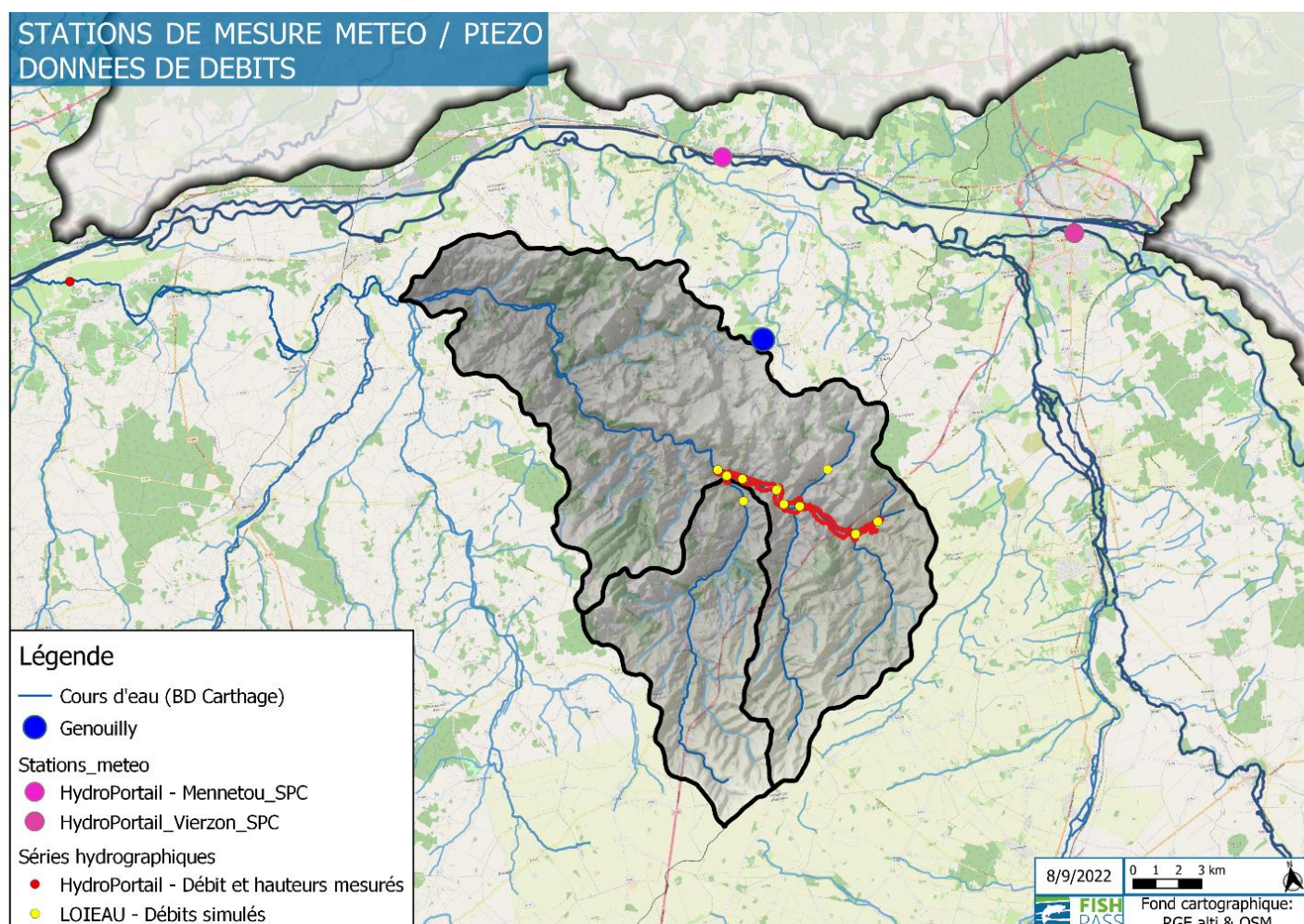


Figure 4 : Localisation des stations météorologiques, hydrométriques et piézométriques

- Hydrologie pertinente à la modélisation -

Ainsi, en l'absence de chroniques de débits au droit du site d'étude, les données de débit utilisées proviennent de la station de mesure située sur le Fouzon, à proximité de son exutoire, avant la confluence avec le Cher (Figure 5).

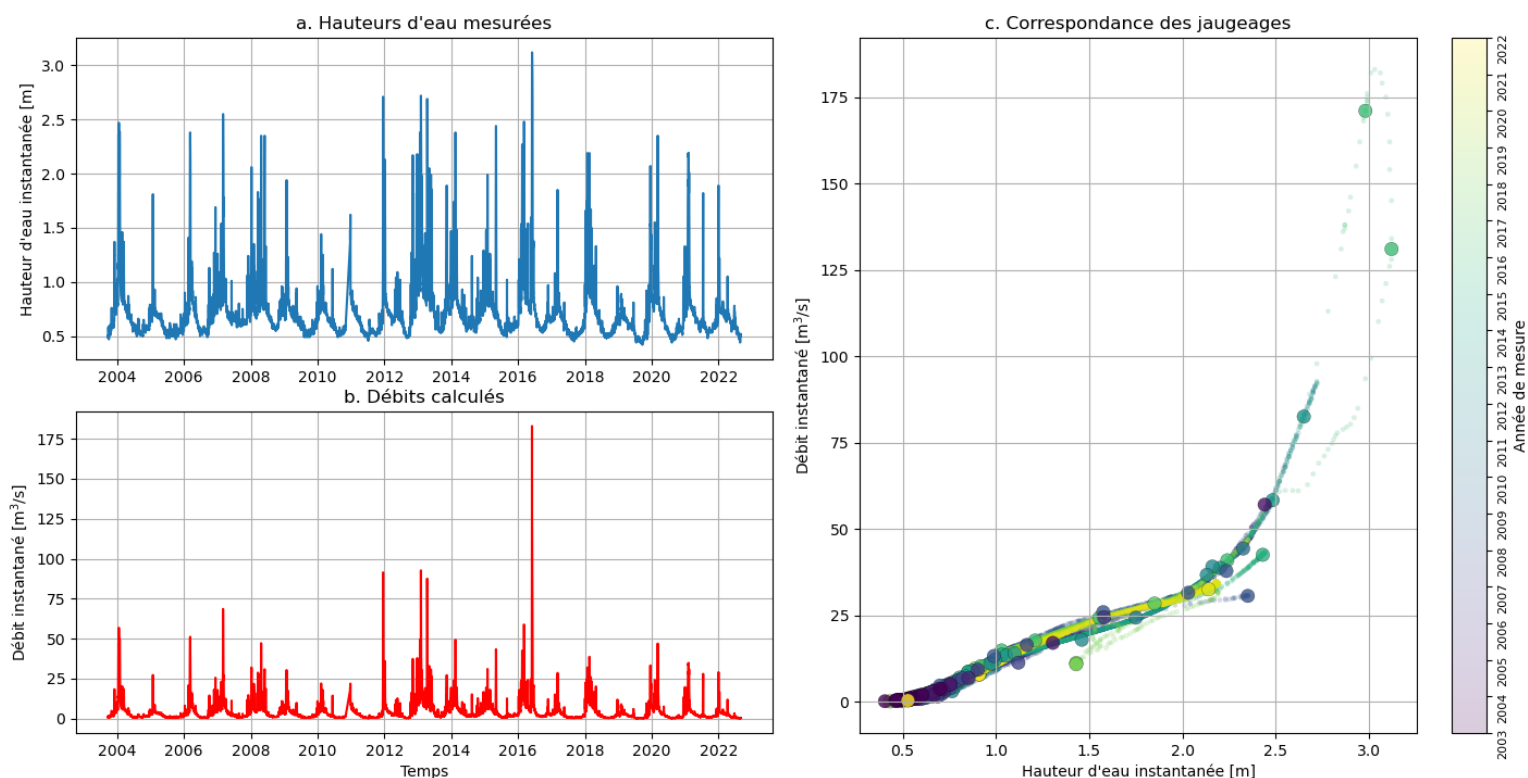


Figure 5 : Chronique de débit sur le Fouzon à Meusnes

Les débits mensuels associés sont les suivants :

	QmM	Qsp	Lame d'eau
	Débit moyen mensuel (m³/s)	Débit spécifique (l/s/km²)	(mm)
Janvier	9,22	9,2	25
Février	12	12,0	29
Mars	9,59	9,6	26
Avril	6,91	6,9	18
Mai	5,54	5,5	15
Juin	3,12	3,1	8
Juillet	1,61	1,6	4
Août	1,36	1,4	4
Septembre	1,35	1,3	3
Octobre	1,94	1,9	5
Novembre	3,37	3,4	9
Décembre	6,54	6,5	17
Année	5,18	5,2	163

Les débits de crue statistiques sont les suivants :

(23 points de donnée)	Débits Hydroportail (m3/s)	Débits calculés FishPass (m3/s)
Biennale (médiane)	44,9	44,7
	[33,5 ; 57,6]	[32.0 ; 59.1]
Quinquennale	72,7	72,6
	[54,3 ; 93,2]	[50.5 ; 98.5]
Décennale	91,1	91,1
	[67,7 ; 118]	[62.7 ; 124.5]
Vicennale	109	108.7
	[79,2 ; 143]	[74.5 ; 149.4]
Cinquantennale	132	131.6
	[95,3 ; 174]	[89.6 ; 181.7]
Centennale	n/a	148.7
		[100.9 ; 205.8]

Ces débits sont calculés avec les méthodes de Gumbel et Gringorten, avec un coefficient A = 0.44. Dans le cadre de la modélisation, les valeurs calculées par FishPass sont utilisées comme débits de crue de pointe. Le calcul du débit de pointe de crue centennale est réalisé moyennant une conversion liée à la surface du bassin versant (cf. débits d'entrée).

3.3 Synthèse des événements de crue

Afin de faire fonctionner un modèle hydraulique, il est nécessaire de le « caler » avec des données réelles, constatées lors d'épisodes de crues. A cet effet, les repères de crue et des photographies permettent de collecter certaines informations utiles :

- Niveau d'eau sur une infrastructure pouvant faire l'objet d'un levé topographique ;
- Niveau d'eau dans un cours d'eau pouvant faire l'objet d'un levé topographique / montrant le non-débordement pour un événement donné ;
- Étendue d'eau non ou peu courante permettant de cartographier une étendue inondée ;
- Conditions d'écoulement (embâcles, rupture d'ouvrage...).

Les mesures locales de précipitations ne sont disponibles qu'à partir de 2013. Par conséquent, parmi les épisodes de crue majeure passés, seul l'événement du 28 et 29 mai 2016 peut être étudié.

Pour cet épisode, le débit au droit du site d'étude peut être « reconstitué » à partir du débit mesuré au niveau de la station hydrométrique du Fouzon à Meusnes. L'analyse de cet événement montre que l'onde de crue est décalée, avec un pic à Graçay le 28 mai, et à Meusnes les 2 et 3 juin. Pour Graçay, les témoignages relatent une montée des eaux rapide, suivie d'une décrue également rapide. A Meusnes, la décrue s'échelonne sur près d'une semaine.

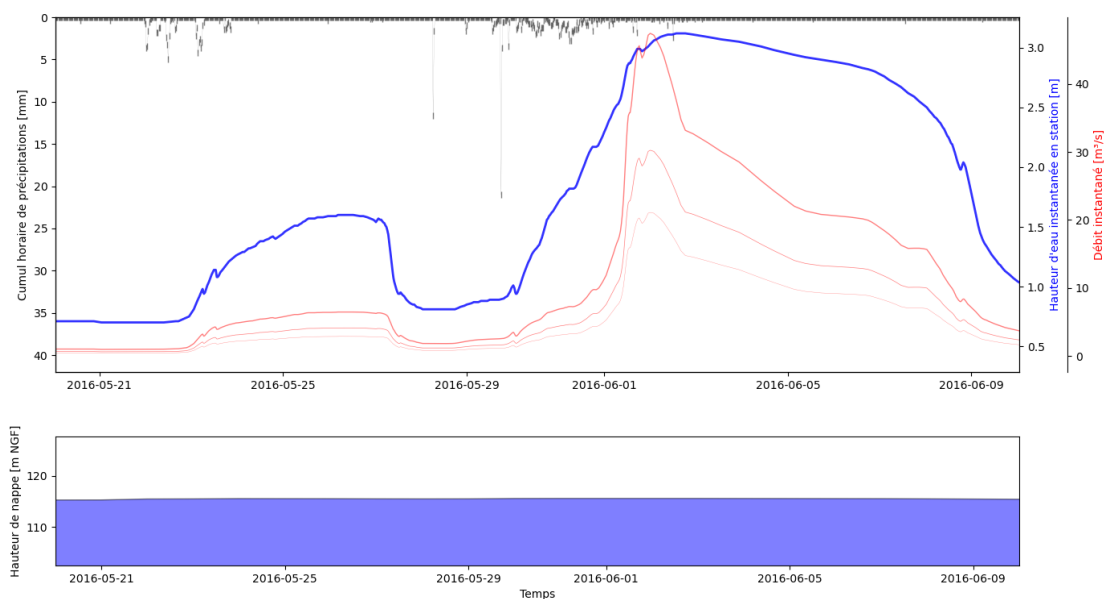


Figure 6 : Hydrogramme de crue du Fouzon à Meusnes de mai 2016.

- Hydrologie pertinente à la modélisation -



Figure 7 : Hauteur d'eau approximative (témoignage antiquaire)

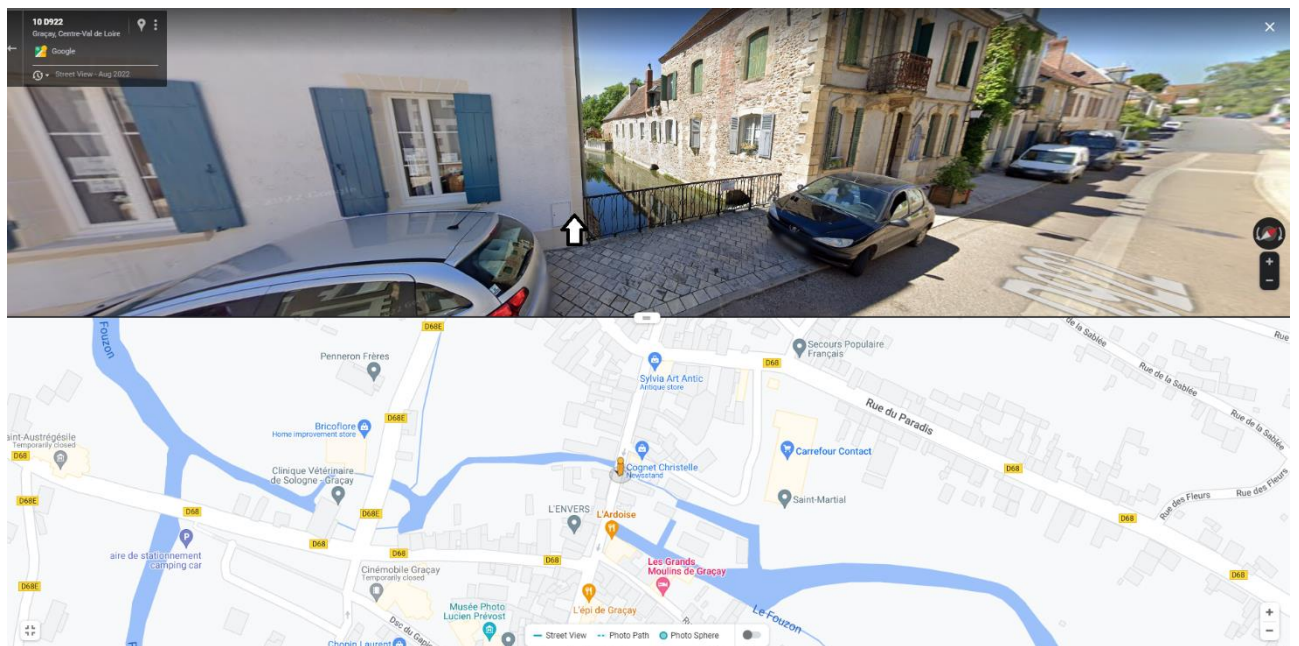


Figure 8 : Hauteur d'eau approximative (témoignage bar-tabac)

4 Topographie

4.1 Données existantes à l'échelle nationale

L'élaboration du modèle nécessite de disposer de données topographiques, c'est-à-dire de connaître précisément l'altitude du sol, des berges, et la profondeur du lit du cours d'eau sur la zone d'étude. Ces données sont généralement représentées sous la forme d'un « modèle numérique de terrain » (MNT).

Des données topographiques existent à l'échelle nationale : il s'agit des modèles numériques de terrain RGEAlti produits par l'IGN. La résolution spatiale affichée est de 1 mètre, par souci d'homogénéité sur le territoire français. Cependant, les capteurs utilisés (Figure 9) ne permettent pas d'obtenir cette résolution à la source. La résolution des données disponibles est inférieure à celle affichée. Par ailleurs, la prise en compte de la végétation dans le RGEAlti peut donner lieu à des imprécisions locales de l'altimétrie. En conclusion, la topographie des berges et du lit des cours d'eau peut très rarement être déterminée par le simple emploi du RGEAlti.

La consultation des acteurs locaux n'a pas permis de collecter de données topographiques complémentaires. Il était donc nécessaire d'intégrer à la prestation une campagne de terrain afin de réaliser des mesures de l'altitude du sol, des berges, et de la profondeur du lit.

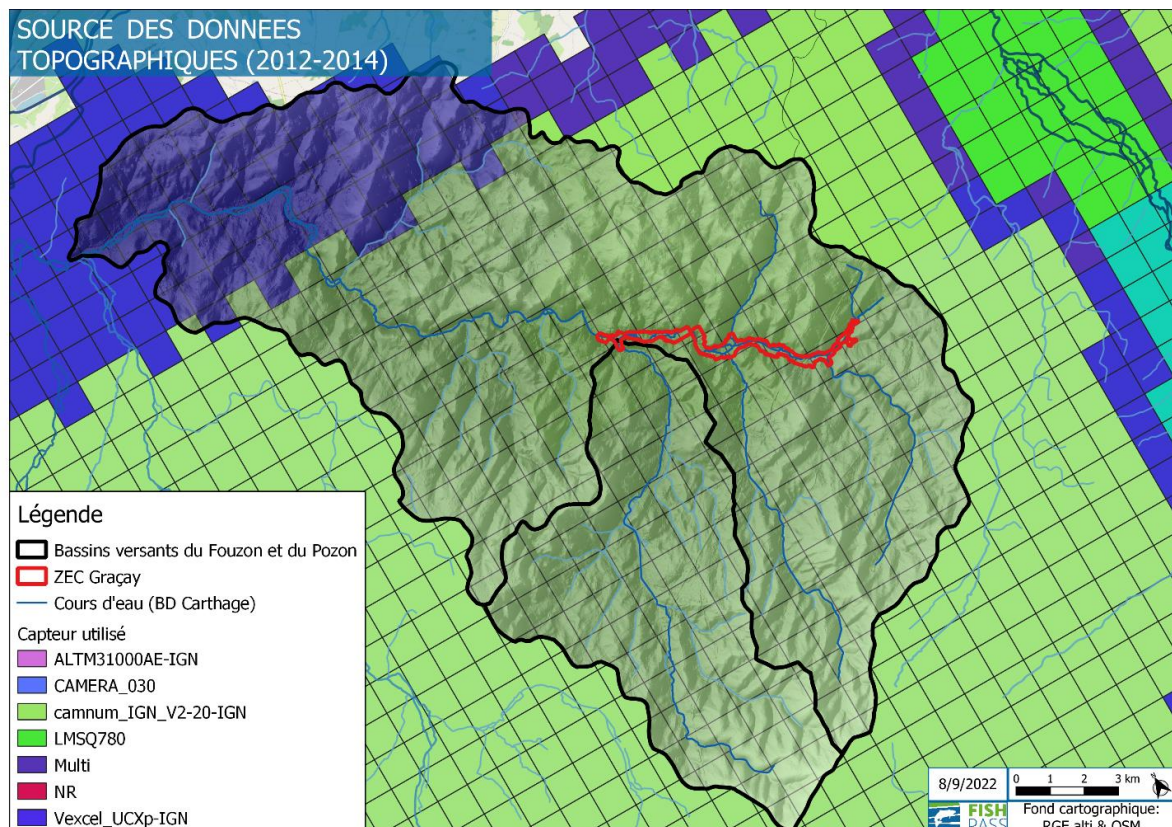


Figure 9 : Capteurs ayant servi à l'acquisition des données topographiques

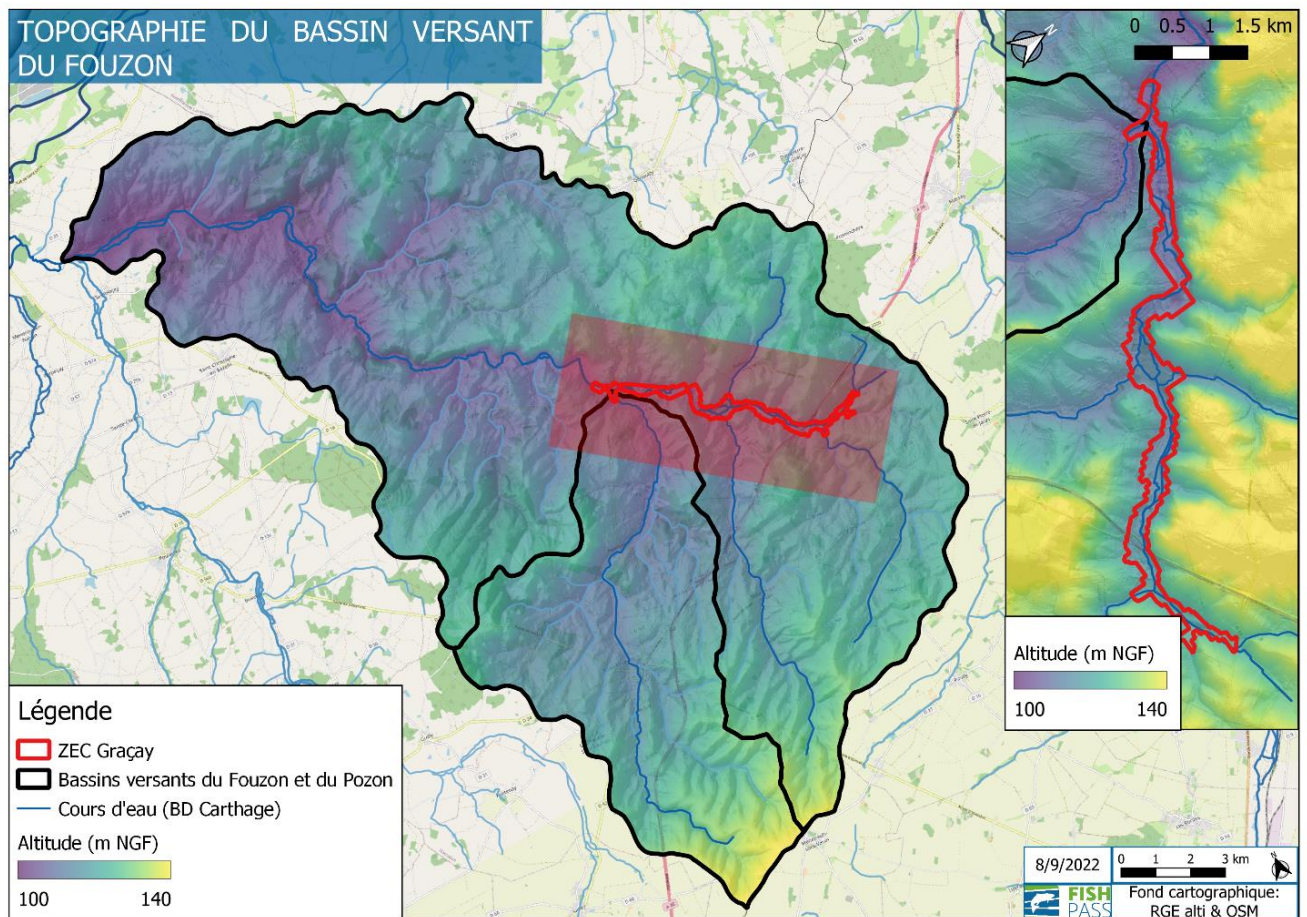


Figure 10. Topographie du bassin versant du Fouzon, et de son affluent le Pozon

4.2 Campagne de terrain complémentaire pour l'acquisition de données topographiques

Du 7 au 11 mars 2023, Fish pass a mené une campagne de terrain mobilisant 2 opérateurs et une station GNSS Trimble R12 (munie d'un RTK) permettant de lever des points topographiques avec une précision subcentimétrique. La campagne a permis de lever 1 958 points topographiques, localisés en Figure 11. Les points ont été levés dans le lit des cours d'eau et sur les ouvrages hydrauliques (ponts et seuils) (Figure 12 et Figure 13).

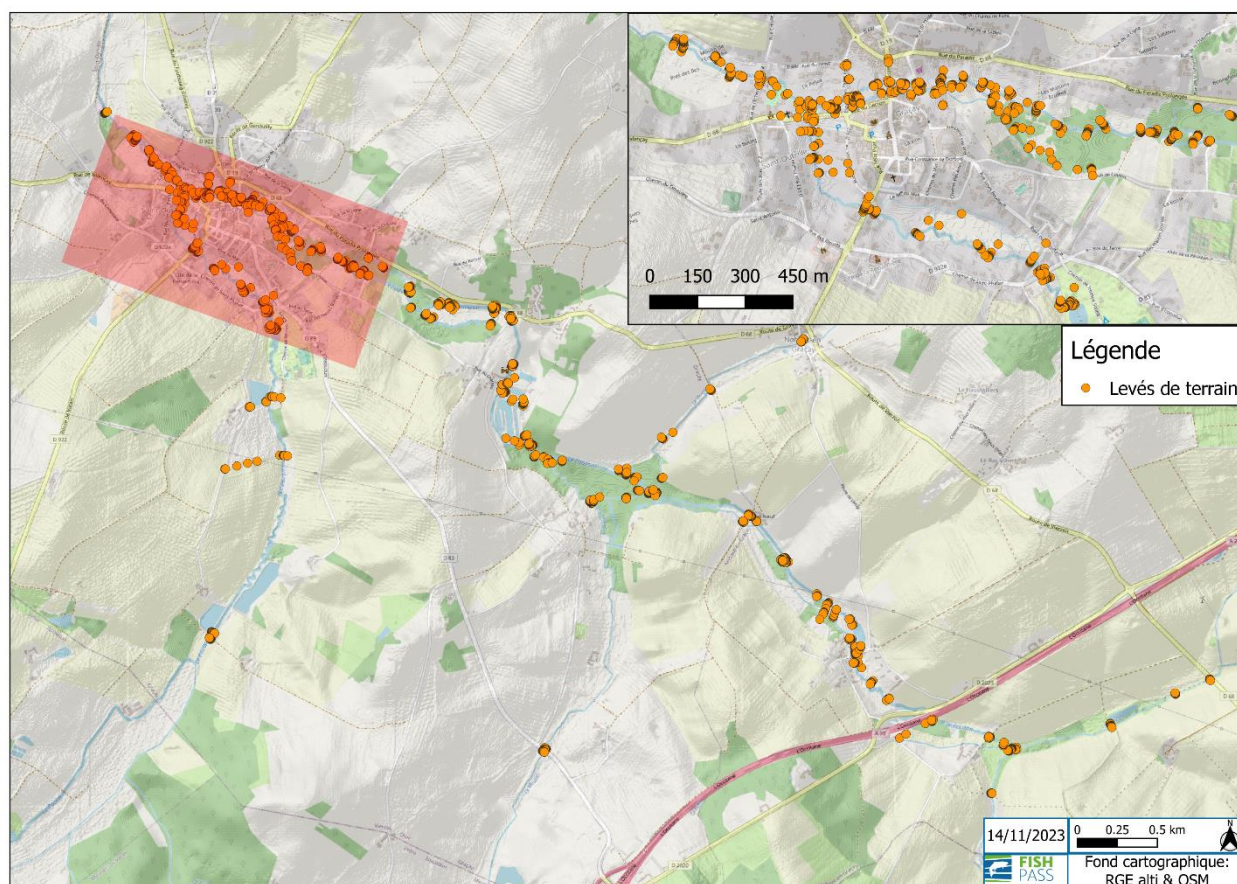


Figure 11. Cartographie des points acquis lors des levés topographiques de terrain



Figure 12. Détail des points acquis sur un pont du Pozon

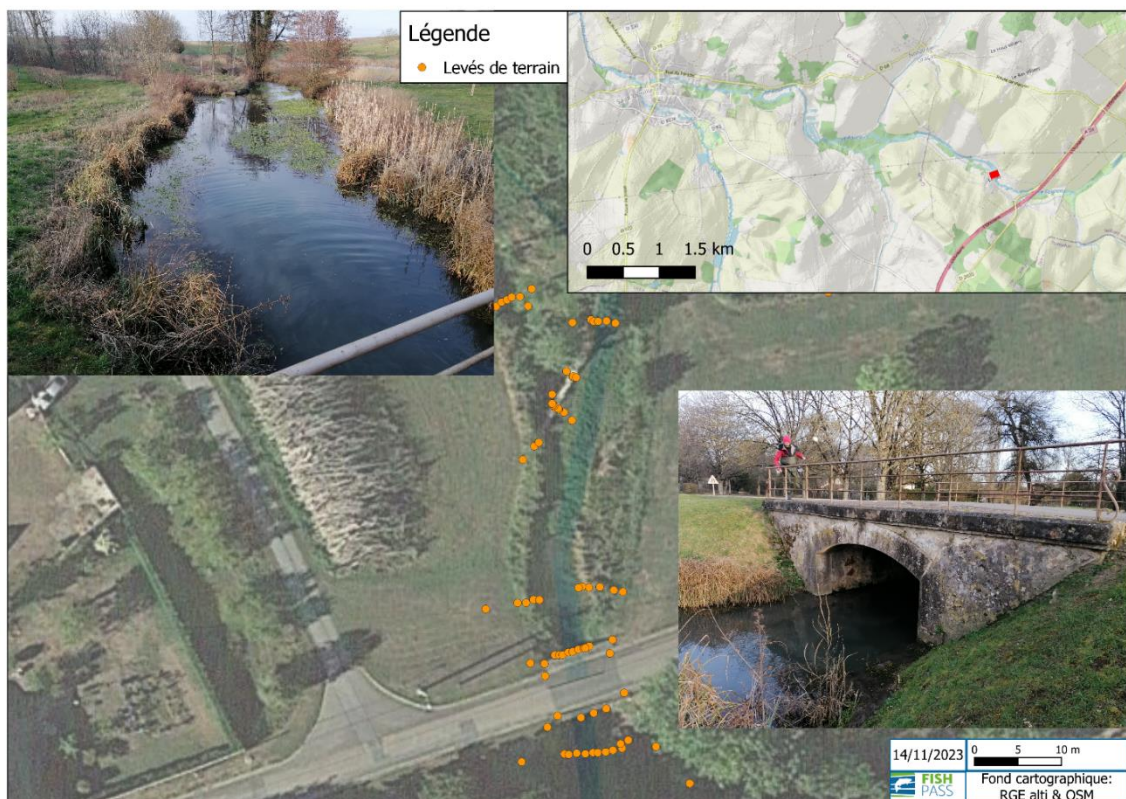


Figure 13. Détail des points acquis sur un pont et une prise d'eau du Fouzon

4.3 Modèle topographique corrigé

La Figure 14 présente une comparaison entre le modèle numérique de terrain issu des données à l'échelle nationale (RGEAlti de l'IGN), et sa version corrigée grâce à l'acquisition de données sur le terrain.

Le modèle topographique corrigé sert de base à la modélisation du fonctionnement de la ZEC.

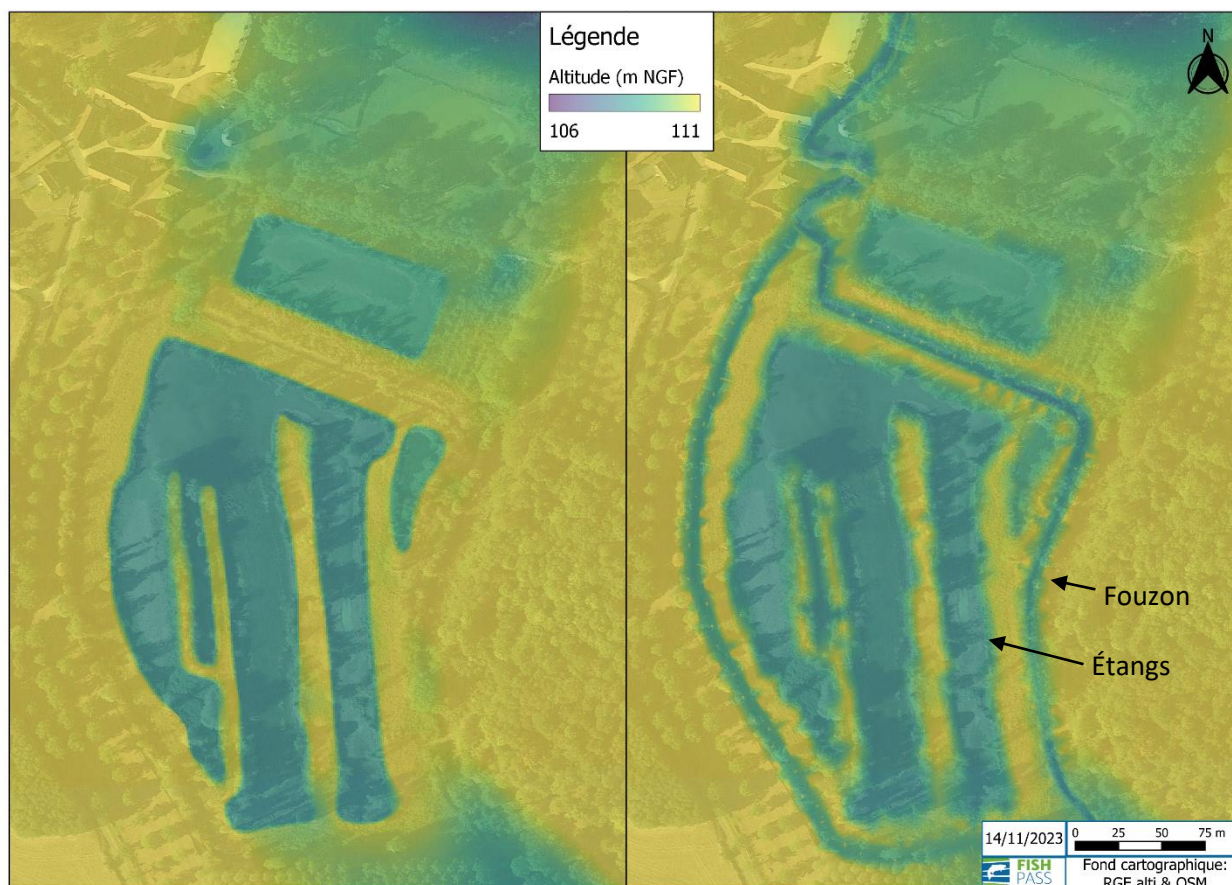


Figure 14. Comparaison du modèle numérique de terrain IGN brut (gauche) et du modèle numérique de terrain corrigé par les levés de terrain (droite), au niveau du domaine du château de Coulon. La différence majeure est le tracé du Fouzon, plus précis sur le modèle de droite.

5 Description du modèle

Il existe plusieurs logiciels de modélisation hydraulique à même de simuler les écoulements. Du fait de la complexité des écoulements et du système de distribution des débits, le logiciel TELEMAC (2D) a été favorisé à HEC-RAS (1D+casiers) pour la présente étude. Ce choix permet de mieux mettre en évidence les échanges de flux entre les divers canaux et organes de répartition.

Du fait de l'étendue de la surface à modéliser et dans l'optique de réduire les temps de calcul, le modèle a été séparé en trois parties, ci-après nommées « amont », « ZEC » et « aval ». Les deux premières comprennent les ZEC du Fouzon, la troisième les ZEC du Pozon et les zones à enjeu fort (plus densément peuplées). Chacun de ses modèles agit comme une sorte de « maquette » numérique du terrain. Il prend en donnée d'entrée le débit de crue des cours d'eau (Fouzon et affluents), puis permet, en tout point de son domaine, d'apprécier les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement, ainsi que les débits d'entrée et sortie.

Chacun des modèles opère en régime transitoire, c'est-à-dire qu'il subit une variation dans le temps des écoulements. Par ailleurs, les modèles sont interdépendants dans le sens amont - aval : les modèles « aval » et « ZEC » sont respectivement tributaires des modèles « ZEC » et « amont » pour leurs débits d'entrée.

5.1 Géométrie

Les éléments ci-après servent à la visualisation, et non à l'analyse de la géométrie du modèle, qui à cette échelle est difficile. Les fichiers bruts peuvent être lus sous QGIS au moyen du plugin PostTelemac (gratuit). Les figures suivantes montrent les géométries respectives de chaque modèle, ainsi que leurs conditions aux limites, qui sont :

- Un débit pour les limites liquides amont (le Fouzon, Le Pozon et leurs affluents) ;
- Un cote altimétrique pour les limites liquides aval (la « sortie » de chaque modèle).

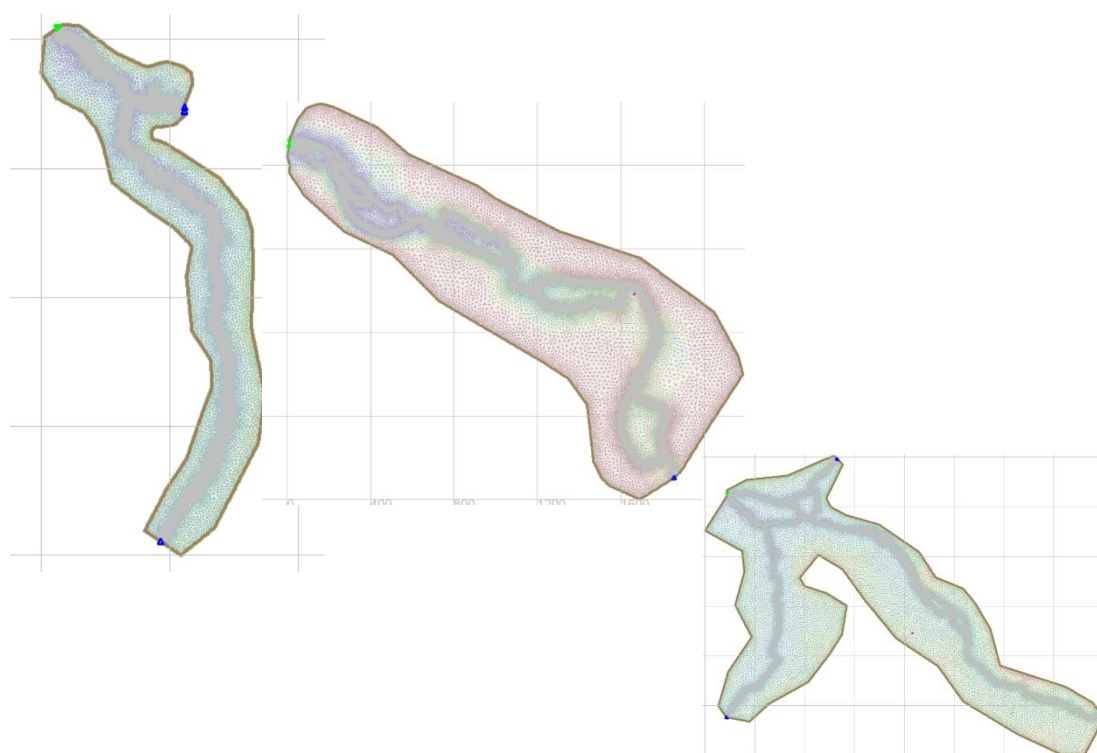


Figure 15. Collage des modèles d'amont en aval

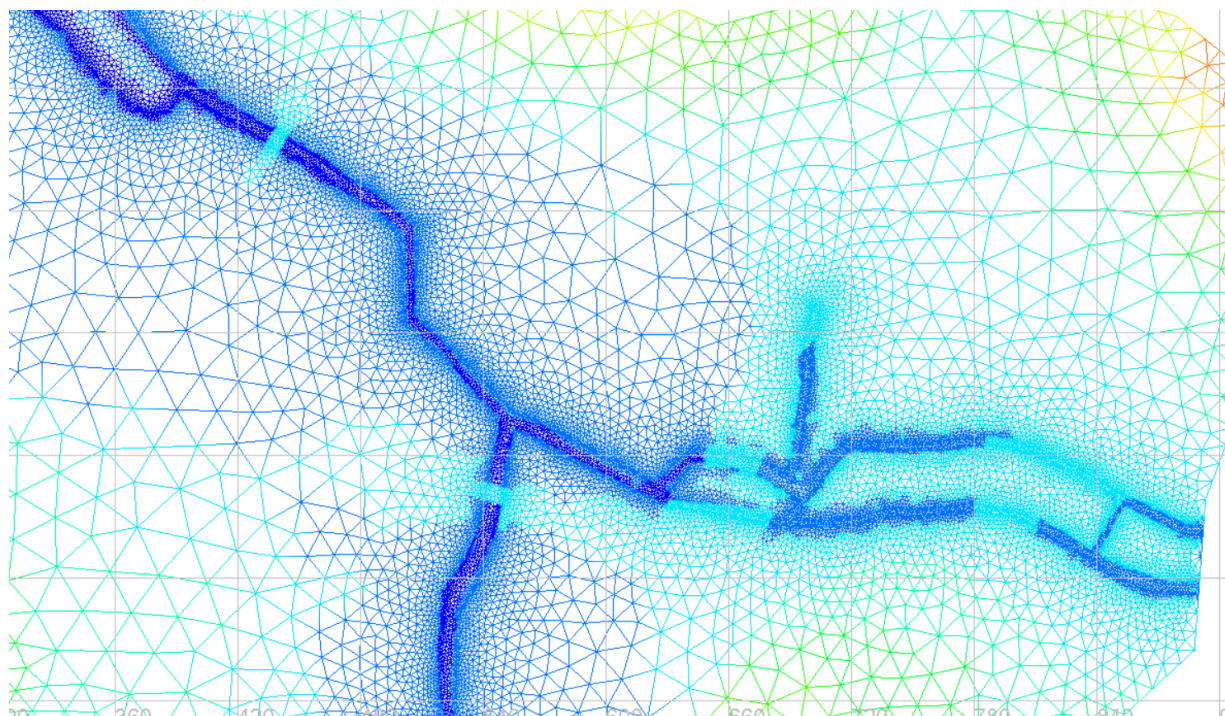


Figure 16. Zoom sur le maillage dans les bourgs de Gracay et Saint-Outrille. Les couleurs indiquent l'altitude.

5.2 Données d'entrée

Pour faire fonctionner le modèle et simuler une crue, il est nécessaire de fournir, en données d'entrée, des valeurs de débit pour le Fouzon et ses affluents à l'extrémité amont du modèle.

Comme il n'existe pas de station de mesure au niveau de la zone d'étude, ces débits sont calculés à partir des débits de crue du Fouzon à Meunes, en se basant sur le rapport mathématique entre débits et surfaces de bassin (méthode de transfert de Myer). Ainsi, pour des bassins versants morphologiquement similaires :

$$Q_{BV2} = Q_{BV1} * (S_{BV2}/S_{BV1})^\alpha$$

Avec : Q le débit, S la surface du bassin versant, $BV1$ le bassin versant du Fouzon à Meunes, $BV2$ le bassin du versant étudié, et α un coefficient dont la valeur est issue de la bibliographie ($\alpha=0.8$ en période de crue).

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de superficie des bassins versants de chaque affluent simulé, et les débits utilisés pour le calage du modèle.

Tableau 1. Débits utilisés lors des simulations. Les débits sont exprimés en m³/s et représentent, pour les crues, le débit de pointe. Les débits de calage ont été mesurés entre le 3 et le 5 mars 2023.

	S (km ²)	Q calage	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Fouzon (Meunes)	1002	n/a	44.7	72.6	91.1	108.7	131.6	148.7
Débit sortant (Saint-Outrille)	164	0.337	10.51	17.07	21.41	25.55	30.93	34.95
Ruisseau des Meunets	29	0.08	2.63	4.27	5.35	6.39	7.74	8.74
Pozon (Saint-Outrille)	66.7	0.16	5.12	8.31	10.43	12.44	15.06	17.02
Verger	11.3	0.02	1.24	2.01	2.52	3.01	3.64	4.11
Fouzon (A20)	42.55	0.08	3.57	5.80	7.28	8.68	10.51	11.88

Pour les crues, une période de crue de 6h est simulée, suivie d'une étaie d'1h et d'une décrue de 12h.

5.3 Calage du modèle

Pour s'assurer du bon fonctionnement du modèle, il est nécessaire de le « caler ». Ce calage consiste à entrer dans le modèle des valeurs pour lesquelles une donnée de sortie est connue, grâce à des mesures de terrain. Une campagne de terrain a donc été effectuée du 3 au 5 mars au sein de la ZEC, afin de mesurer les données d'entrée (débits du Fouzon et des affluents à l'amont) et une donnée de sortie (la hauteur de la ligne d'eau). Une comparaison est réalisée entre les hauteurs d'eau mesurées et les hauteurs d'eau modélisées. Pour parvenir à une adéquation entre les deux, il est possible de modifier un paramètre de calage : la rugosité du lit majeur et mineur. La comparaison permet ainsi de déterminer si les valeurs de rugosité choisies sont acceptables.

Lors de la campagne de terrain, les conditions hydrologiques correspondaient à des valeurs de débit de fréquence de non-dépassement de 3 %. En cela, elles n'ont permis de caler les coefficients de rugosité que dans le lit mineur : le calage a permis de confirmer l'utilisation du coefficient de rugosité de Manning ($n = 0.035$), qui correspond à la valeur la plus commune pour les rivières alluviales. En l'absence de calage sur le lit majeur, nous retenons $n = 0.05$, valeur communément utilisée pour les pâturages et forêts entretenues.

Les résultats du calage sont présentés dans les graphes suivants, avec en abscisses les niveaux d'eau mesurés (station GNSS) et en ordonnées les niveaux d'eau simulés :

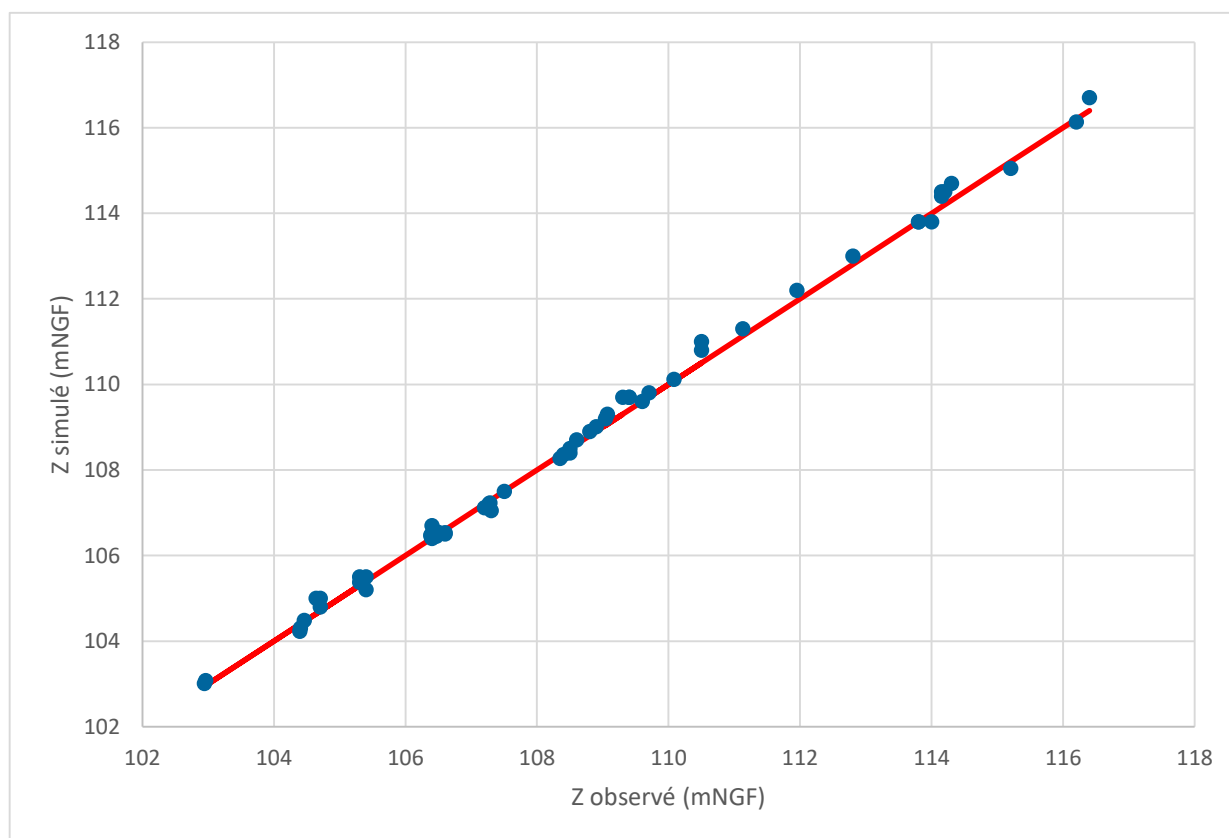


Figure 17. Résultats de calage des modèles – erreur moyenne = 19cm (dont +8cm de mesure)

6 Simulations

6.1 Ecrêtement des crues

L'écrêtement de crue correspond à la limitation du débit maximum (débit de pointe) de la crue.

Les graphiques suivants montrent la variation du débit en fonction du temps pour chacun des trois modèles. Les courbes en pointillées correspondent au débit à l'extrémité amont du périmètre d'étude, les courbes en trait plein correspondent à l'extrême aval du périmètre modélisé. Les différentes couleurs représentent l'intensité de la crue : d'une crue biennale (qui a 50 % de risque de survenir pour une année donnée), jusqu'à une crue centennale (qui a 1 % de risque de survenir pour une année donnée).

Ces graphiques illustrent donc l'écrêtement des crues permis par la zone modélisée, c'est-à-dire la réduction du débit permise par le débordement dans cette zone. L'écrêtement va donc croissant de modèle en modèle.

Il peut être constaté que les zones d'expansion de crues aux abords du Fouzon sont fonctionnelles, et permettent un écrêtement significatif des crues.

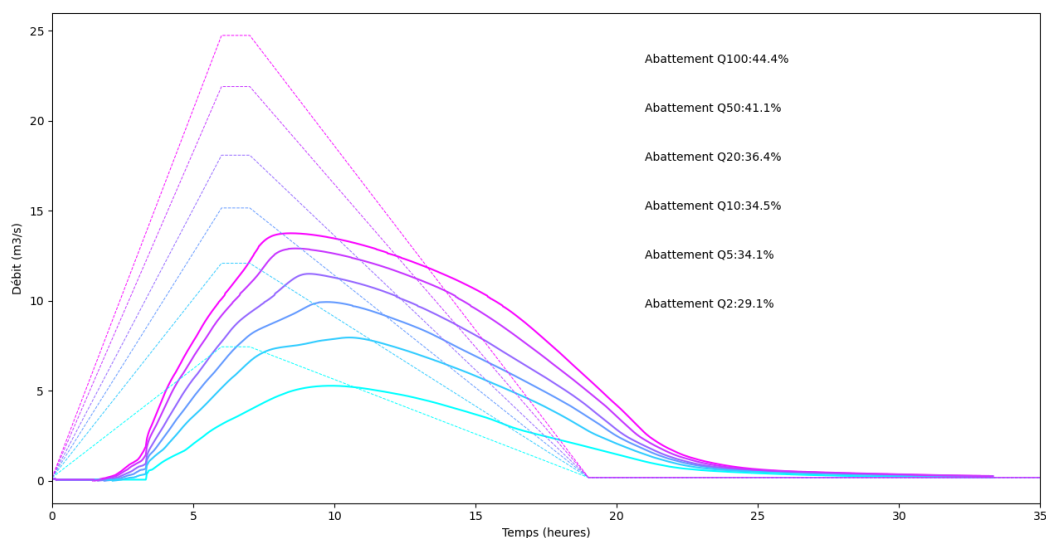


Figure 18. Ecrêtement des crues à la sortie du modèle « amont »

- Simulations -

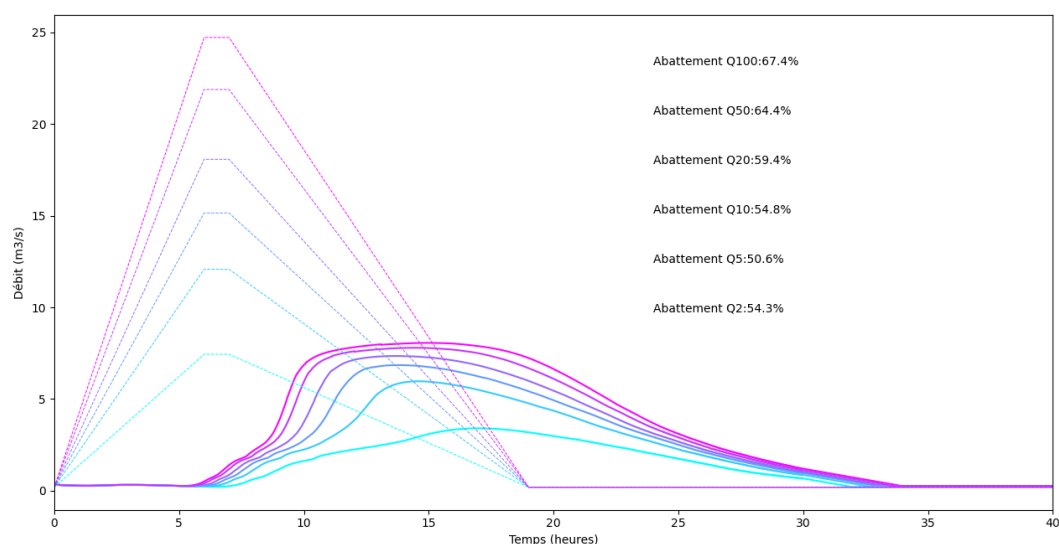
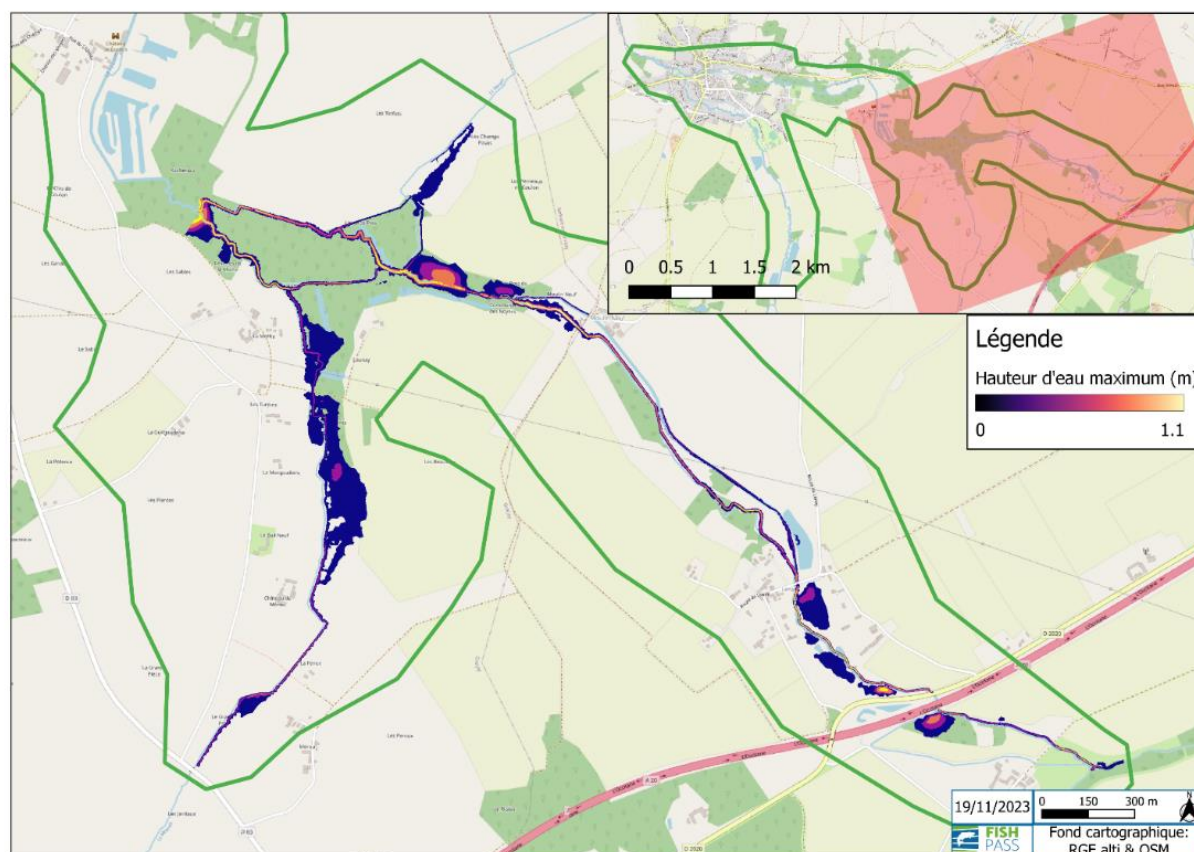


Figure 19. Ecrêtement des crues à la sortie du modèle « ZEC »

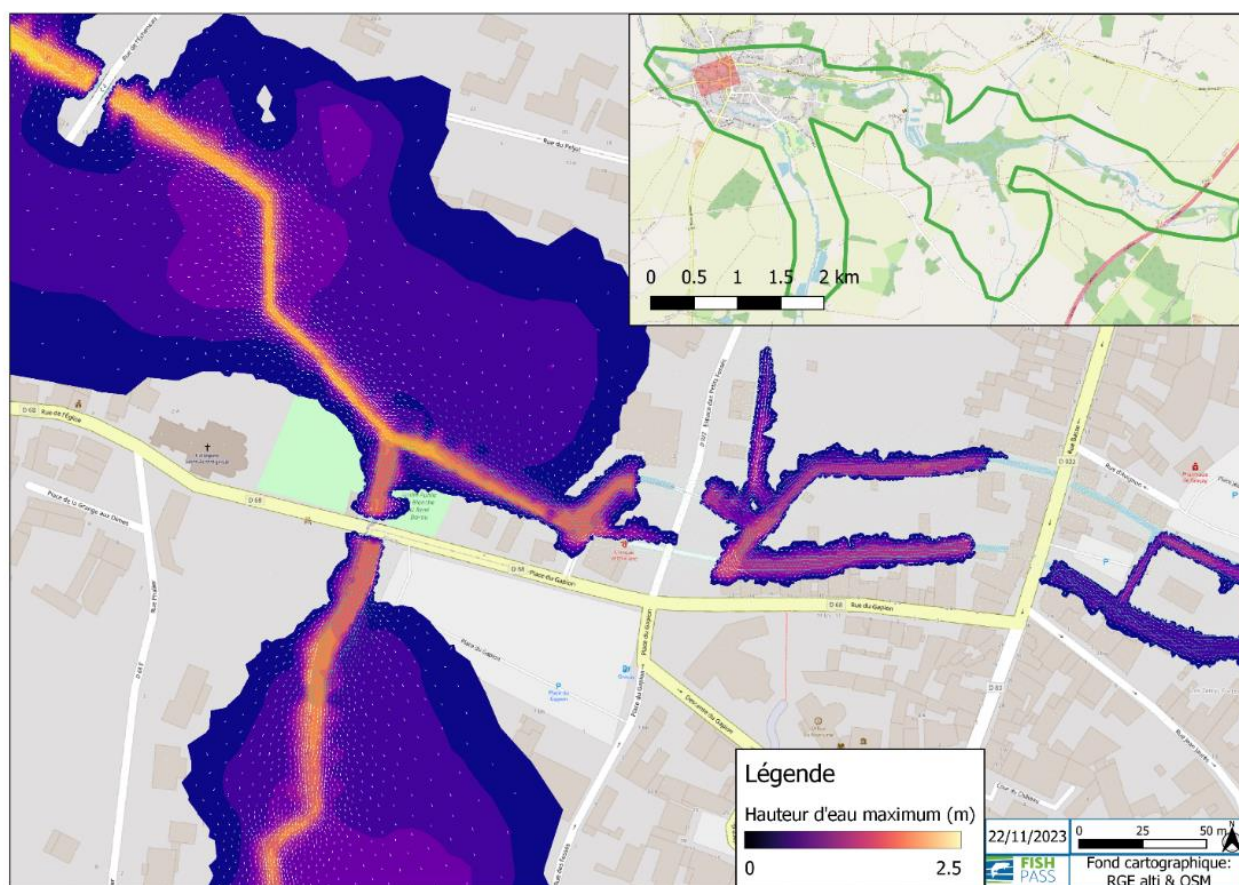
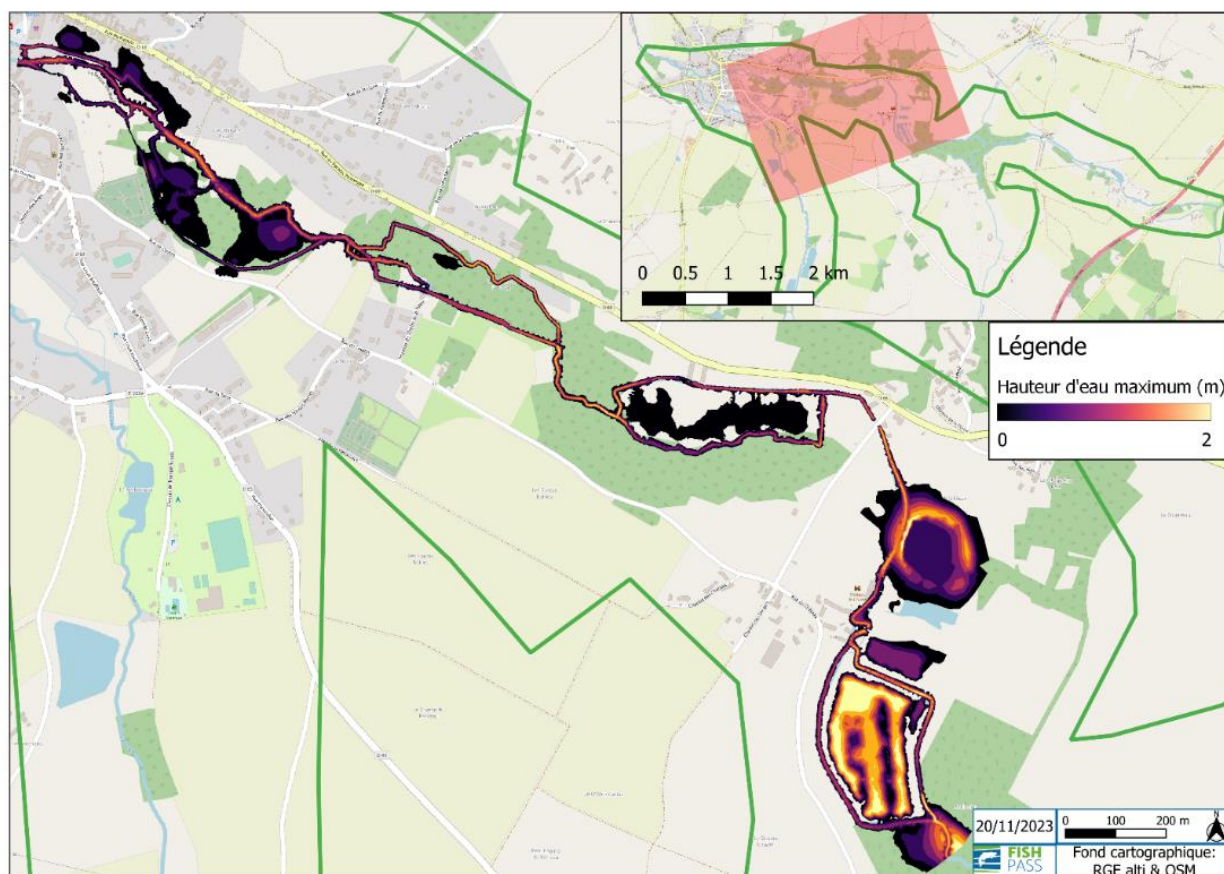
6.2 Cartes de profondeur d'eau maximales sur le Fouzon

Les cartes suivantes représentent, pour chaque modèle et pour chaque intensité de crue, la profondeur d'eau maximale attendue, et donc l'étendue maximale de la crue. Les hypothèses sur la gestion des ouvrages supposent l'absence d'opération.

6.2.1 Crue biennale (Q2)

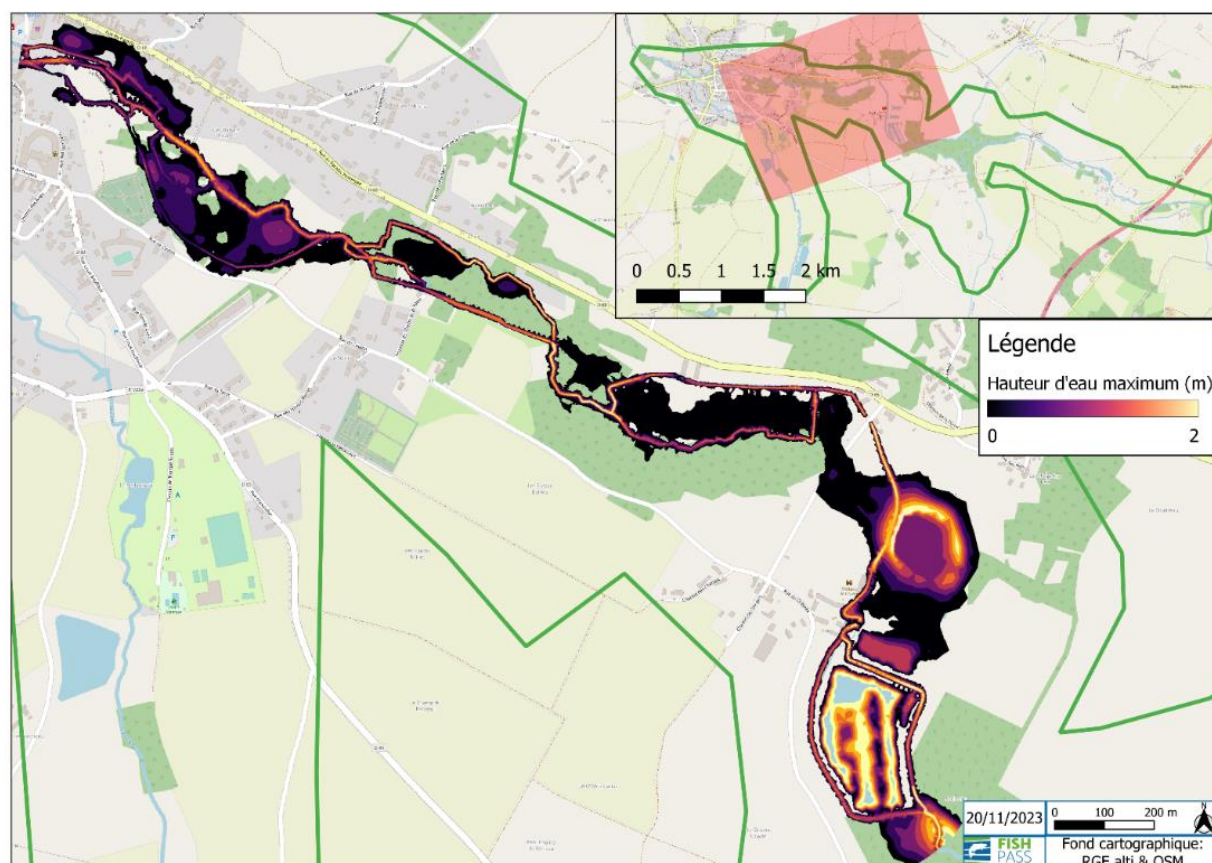
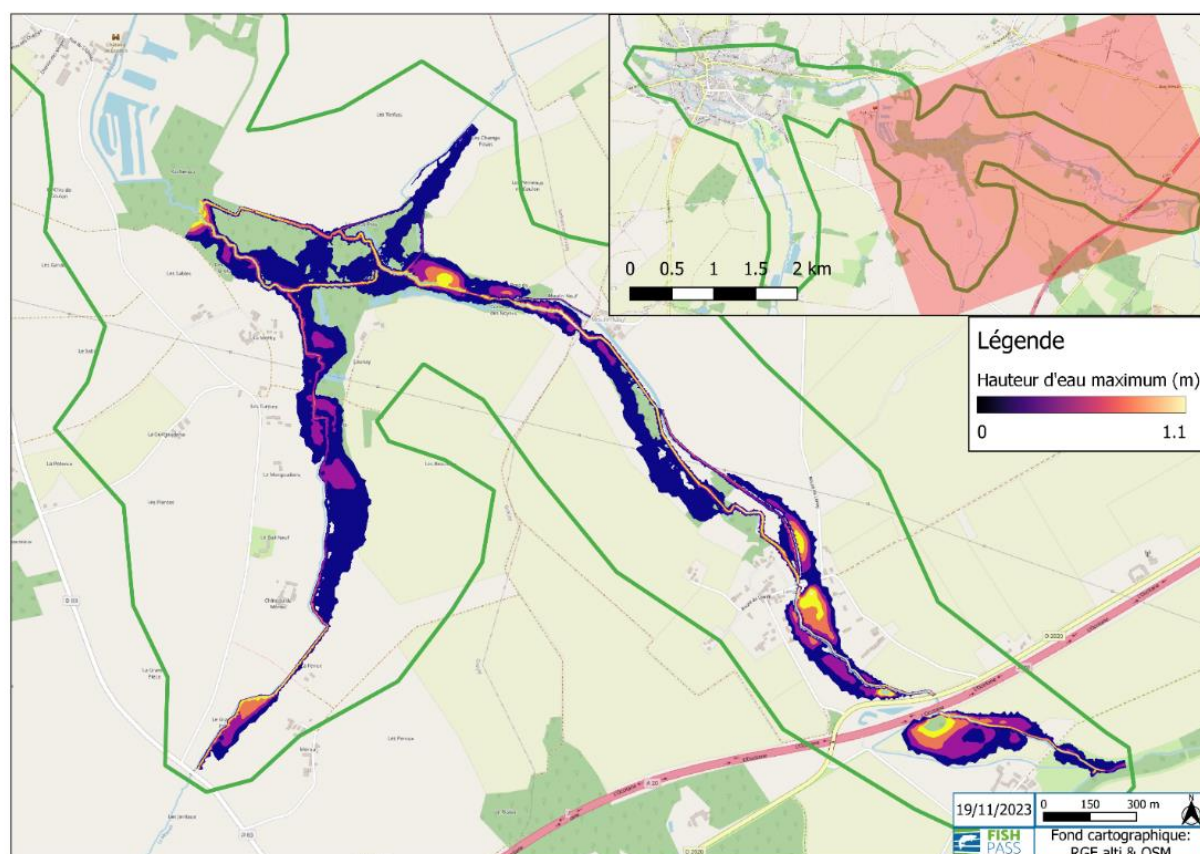


- Simulations -

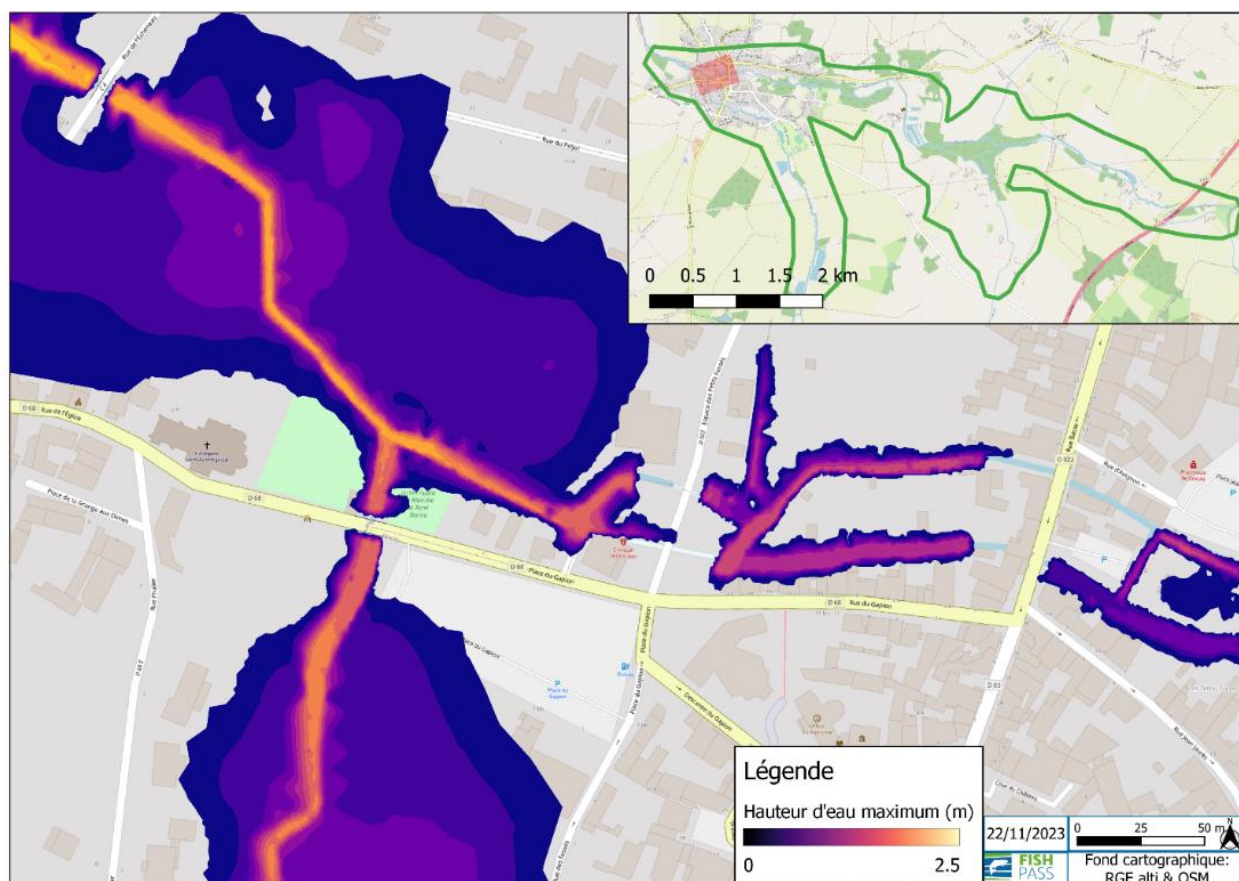


- Simulations -

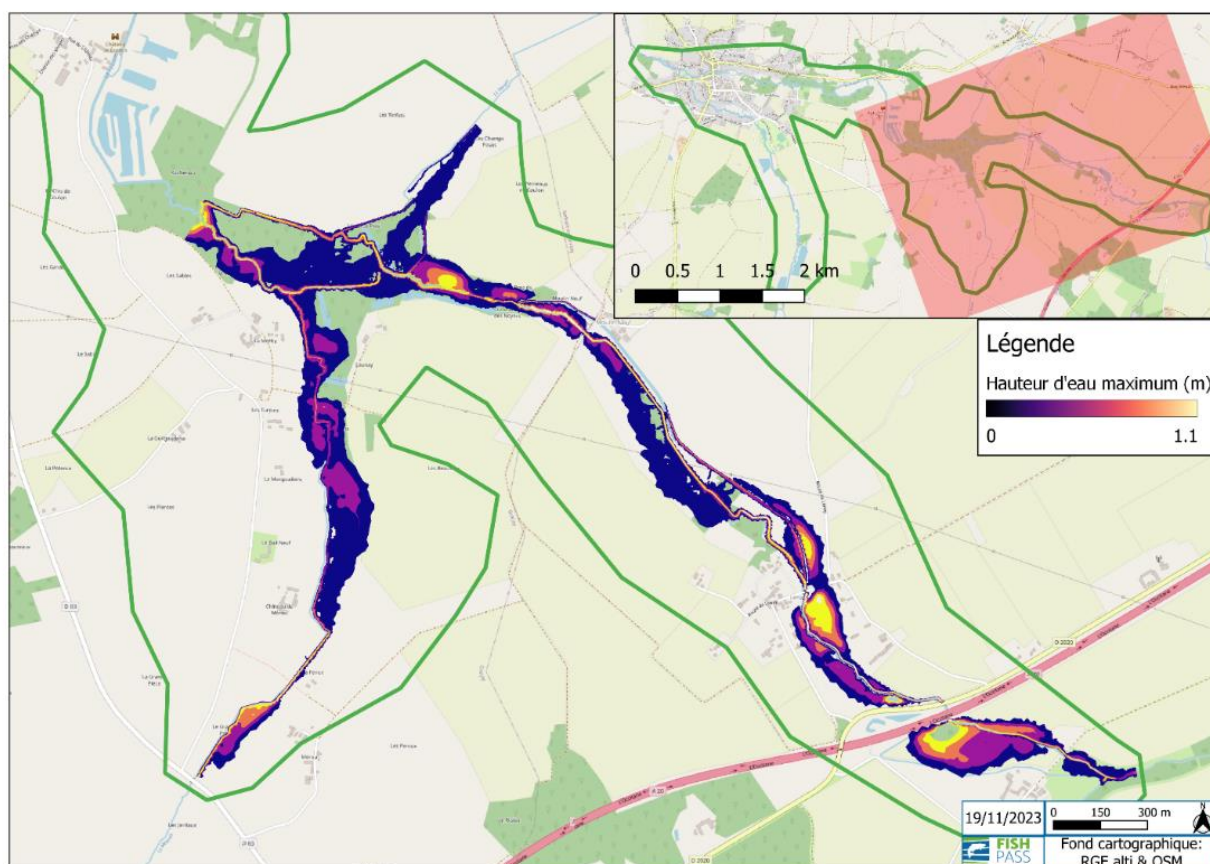
6.2.2 Crue quinquennale (Q5)



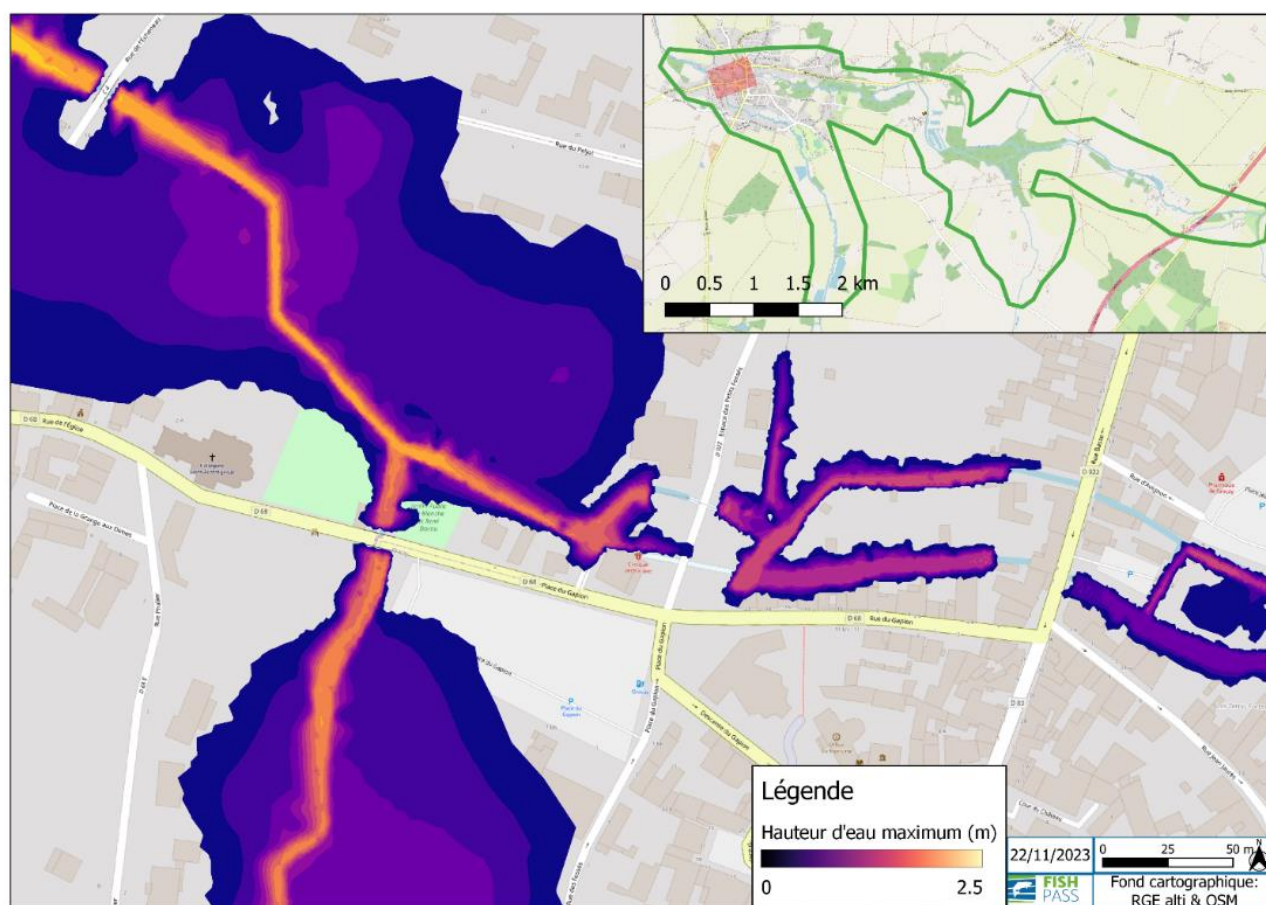
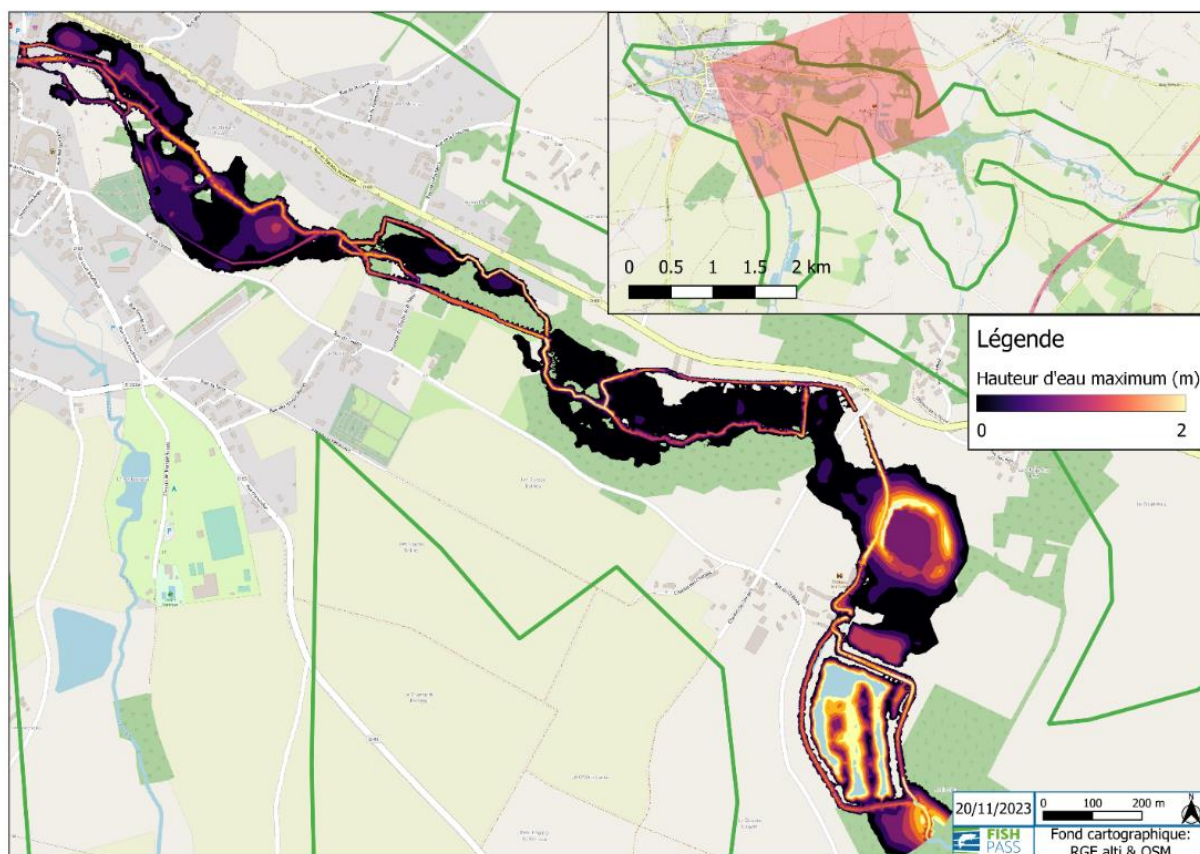
- Simulations -



6.2.3 Crue décennale (Q10)

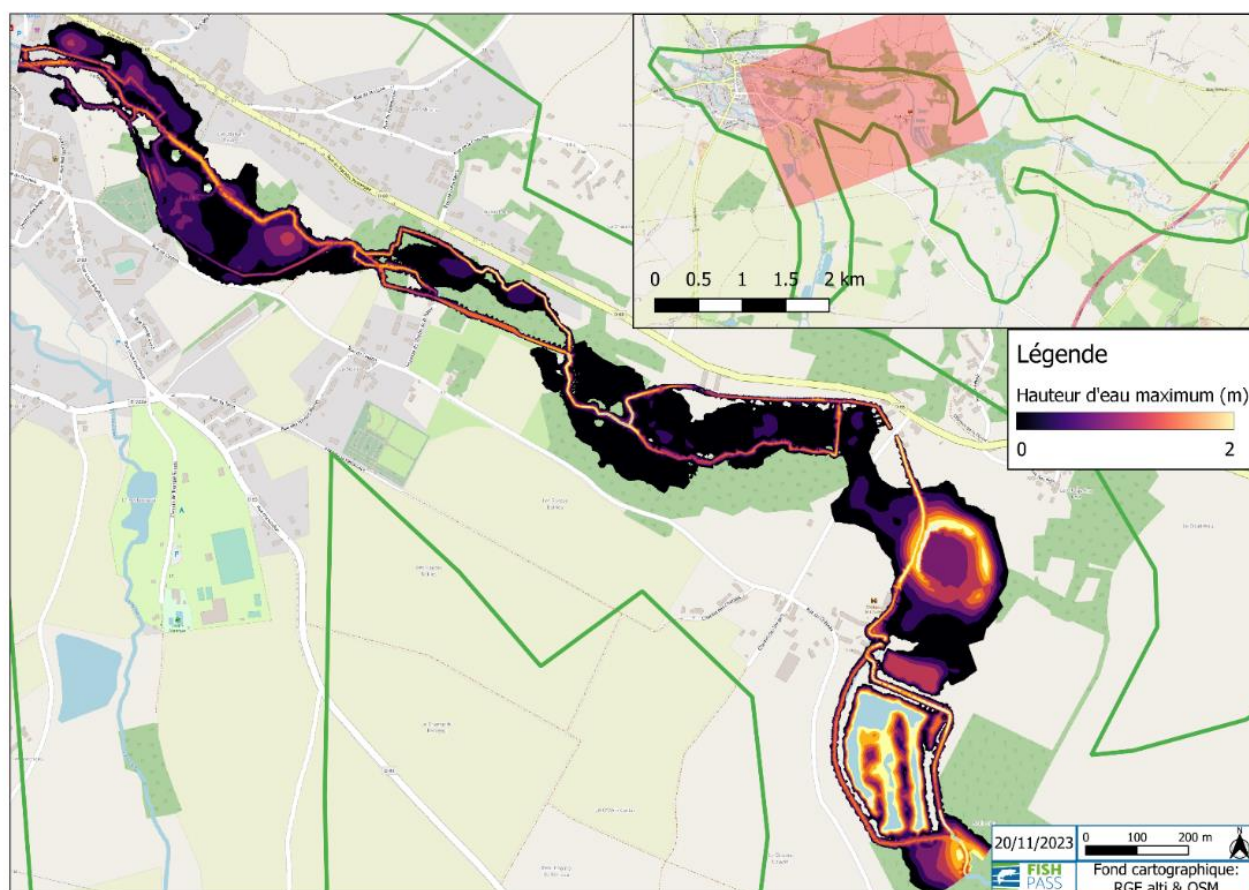
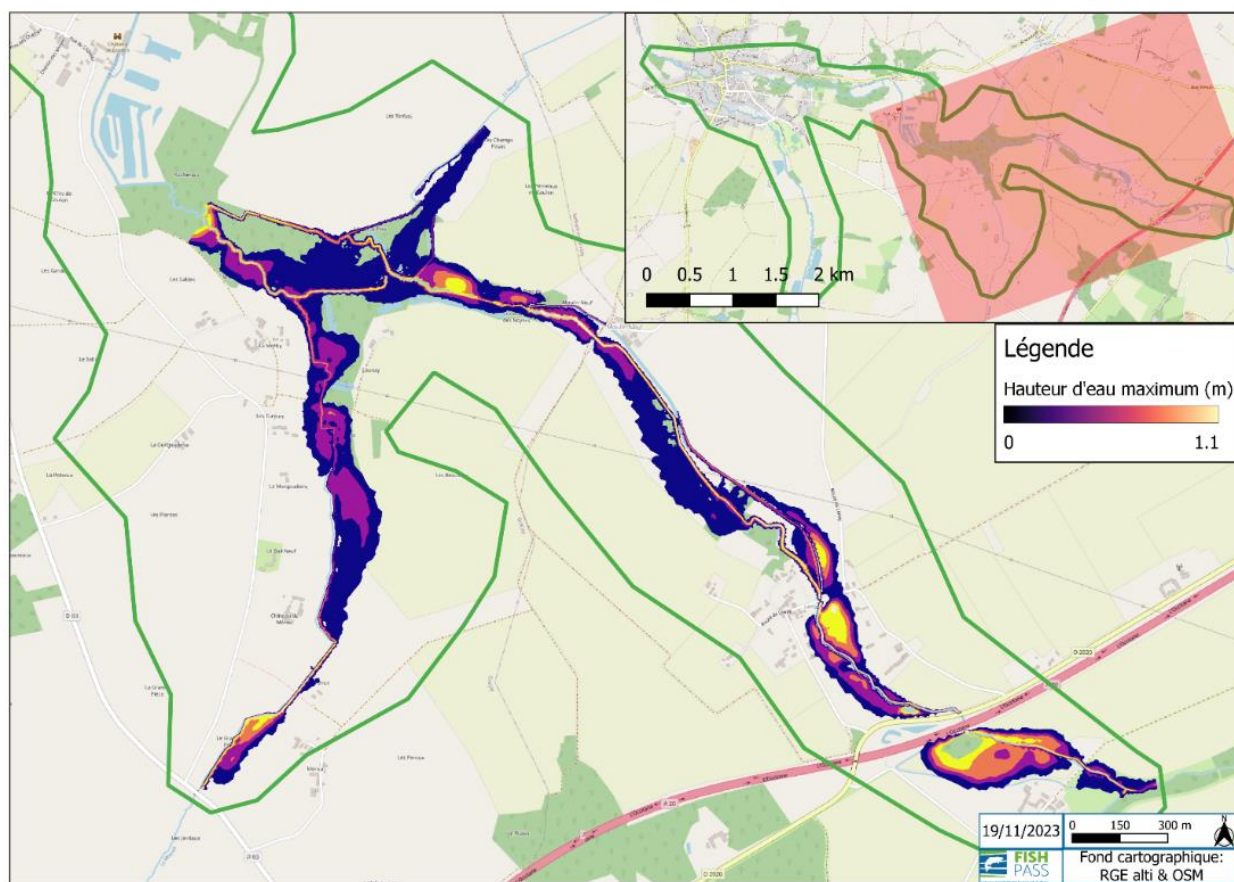


- Simulations -

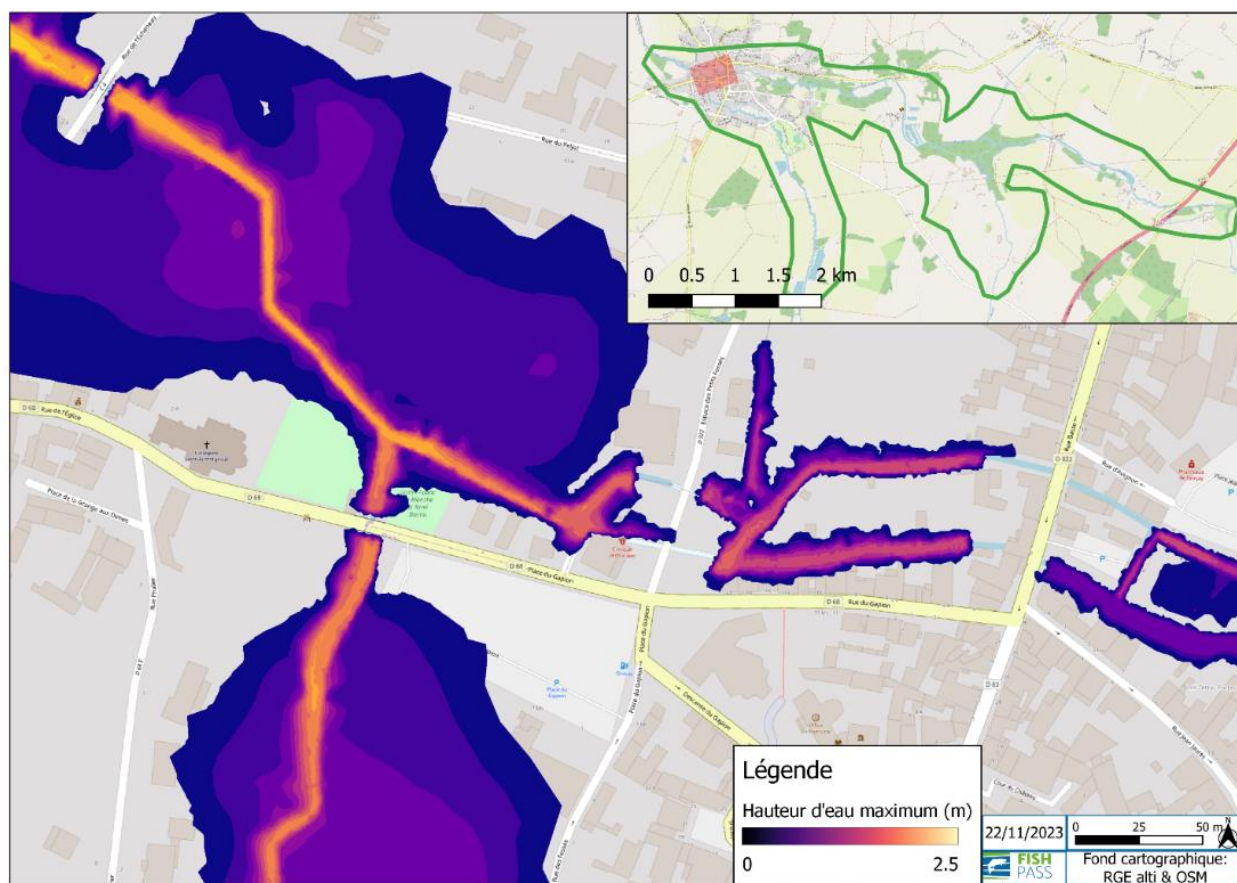


- Simulations -

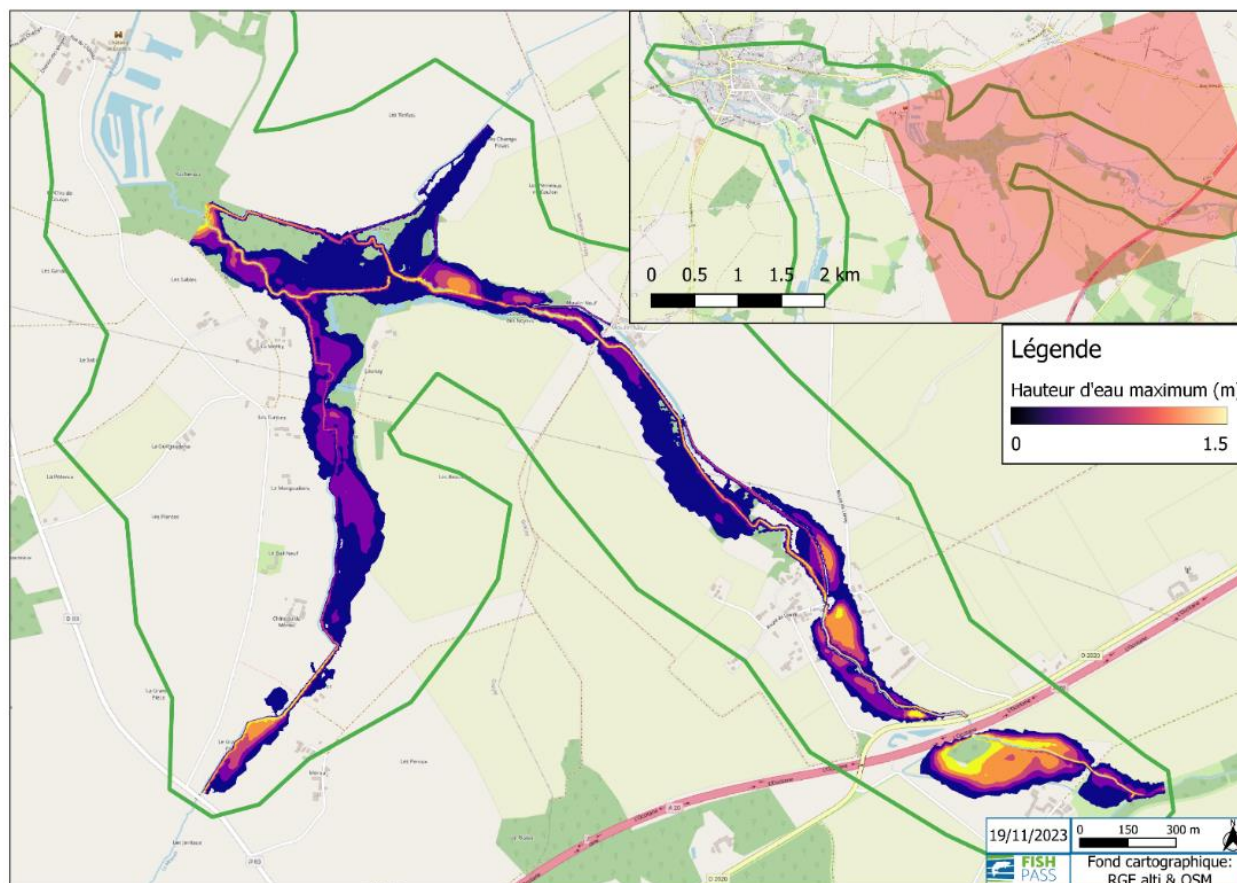
6.2.4 Crue vicennale (Q20)



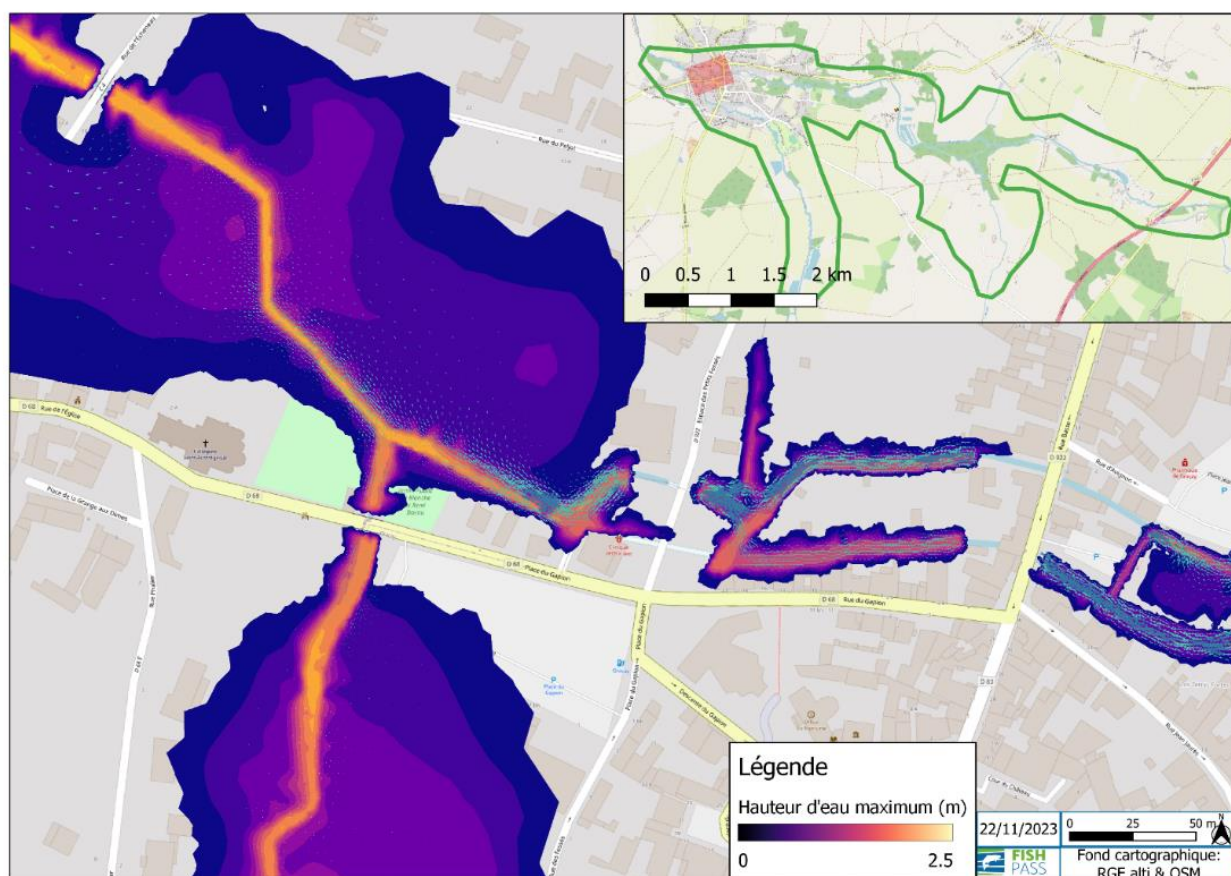
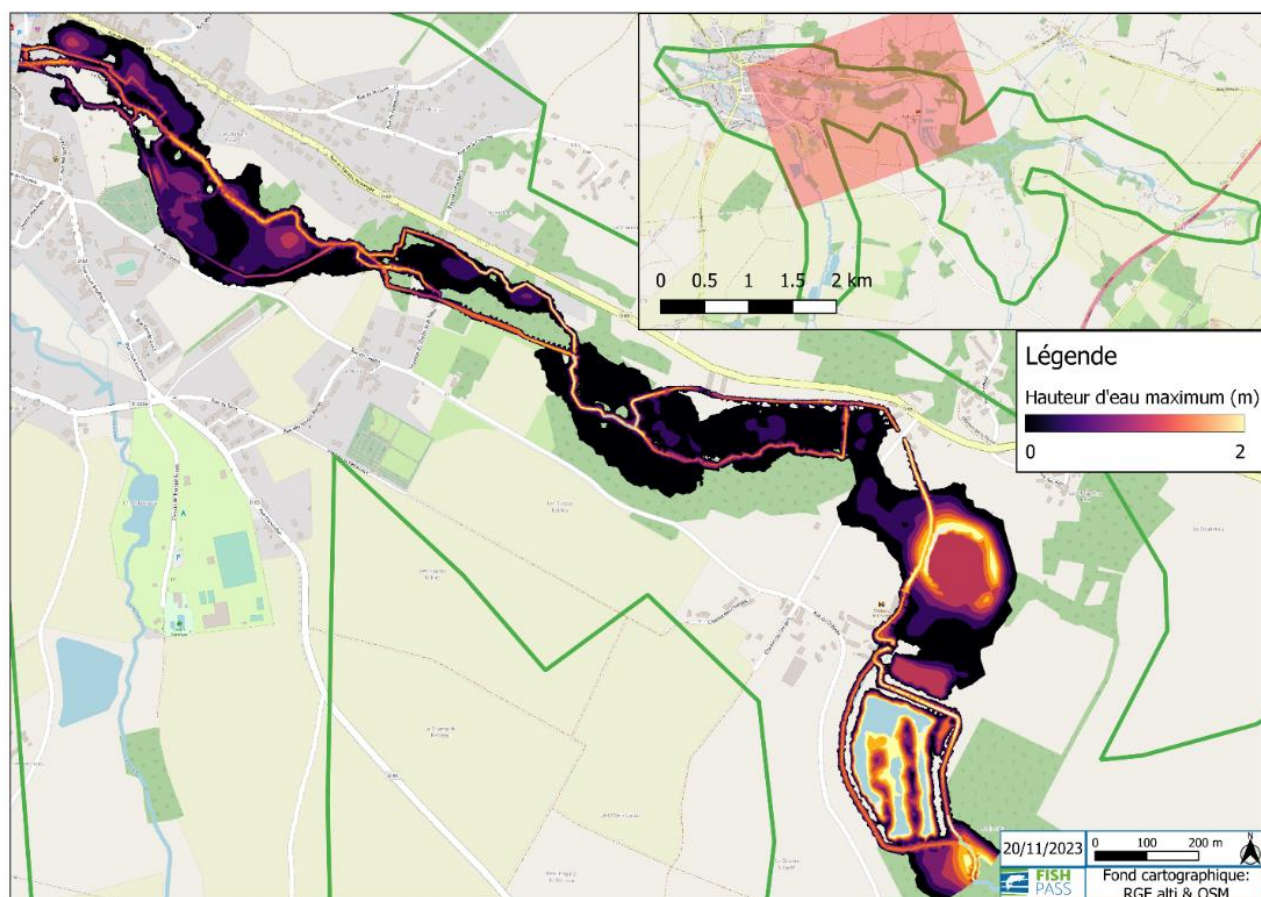
- Simulations -



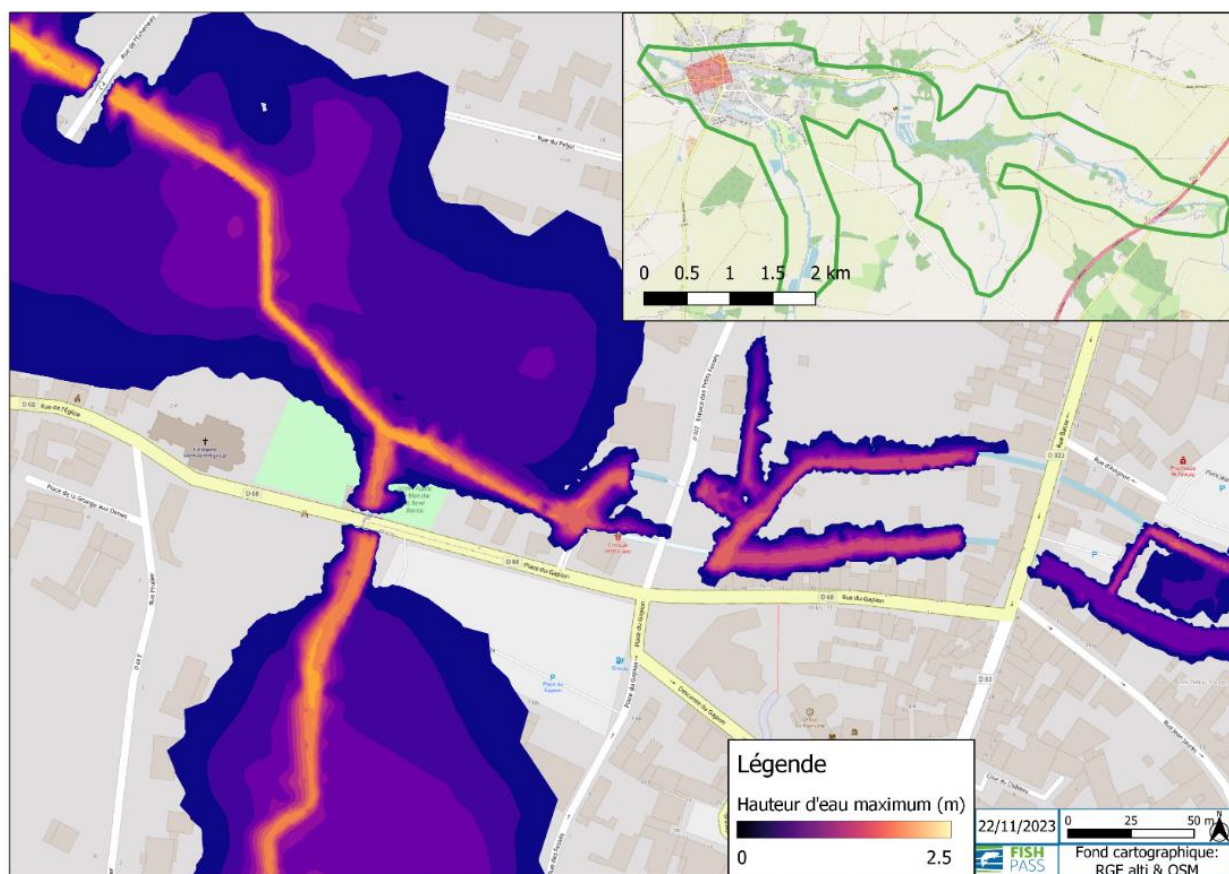
6.2.5 Crue cinquantennale (Q50)



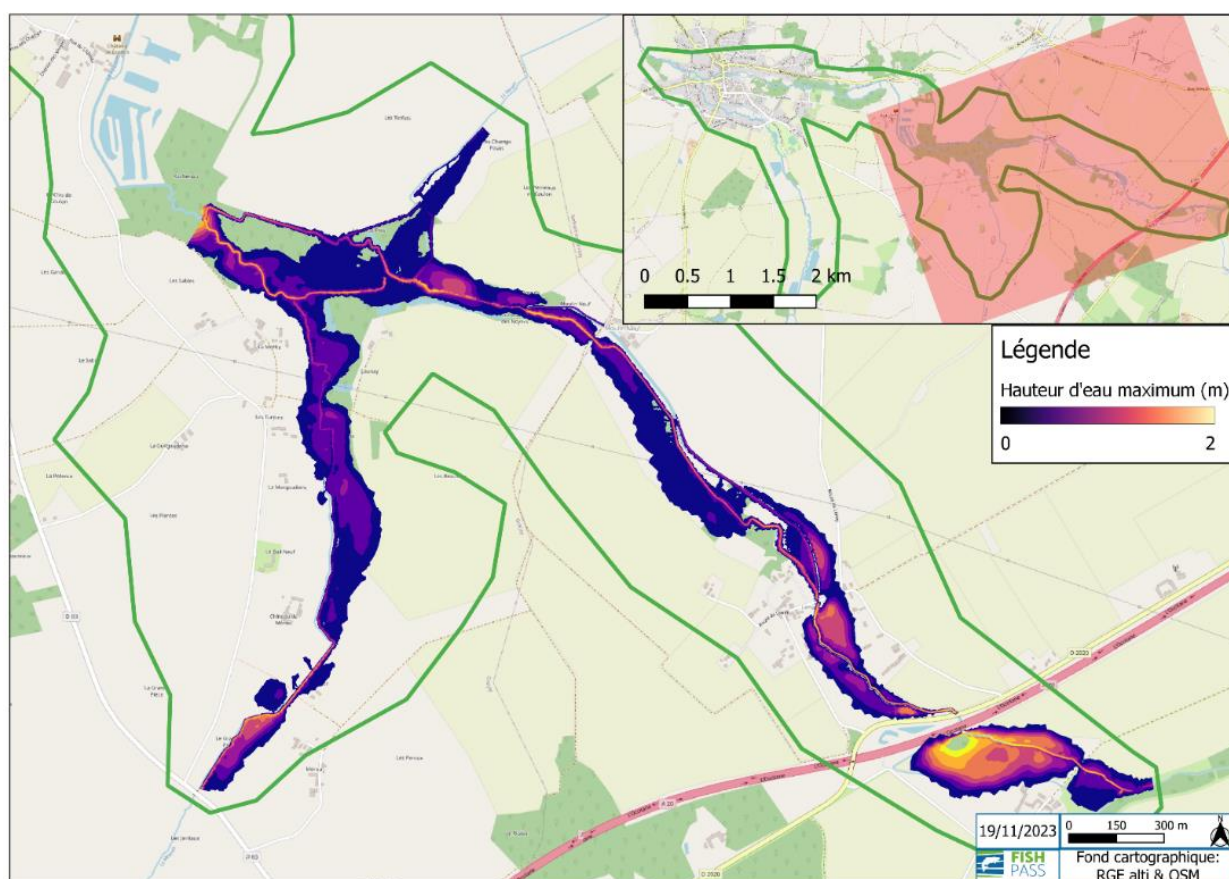
- Simulations -



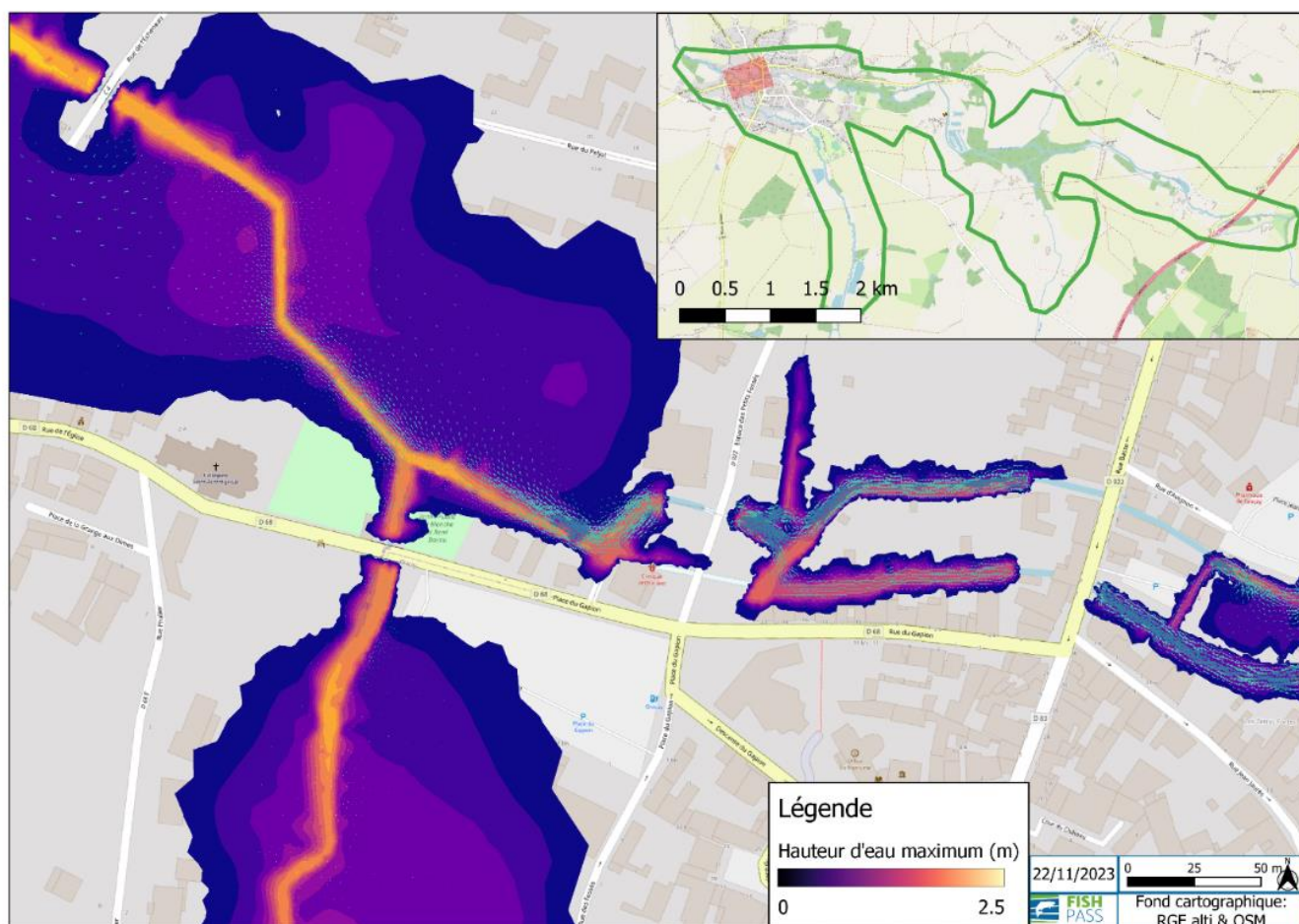
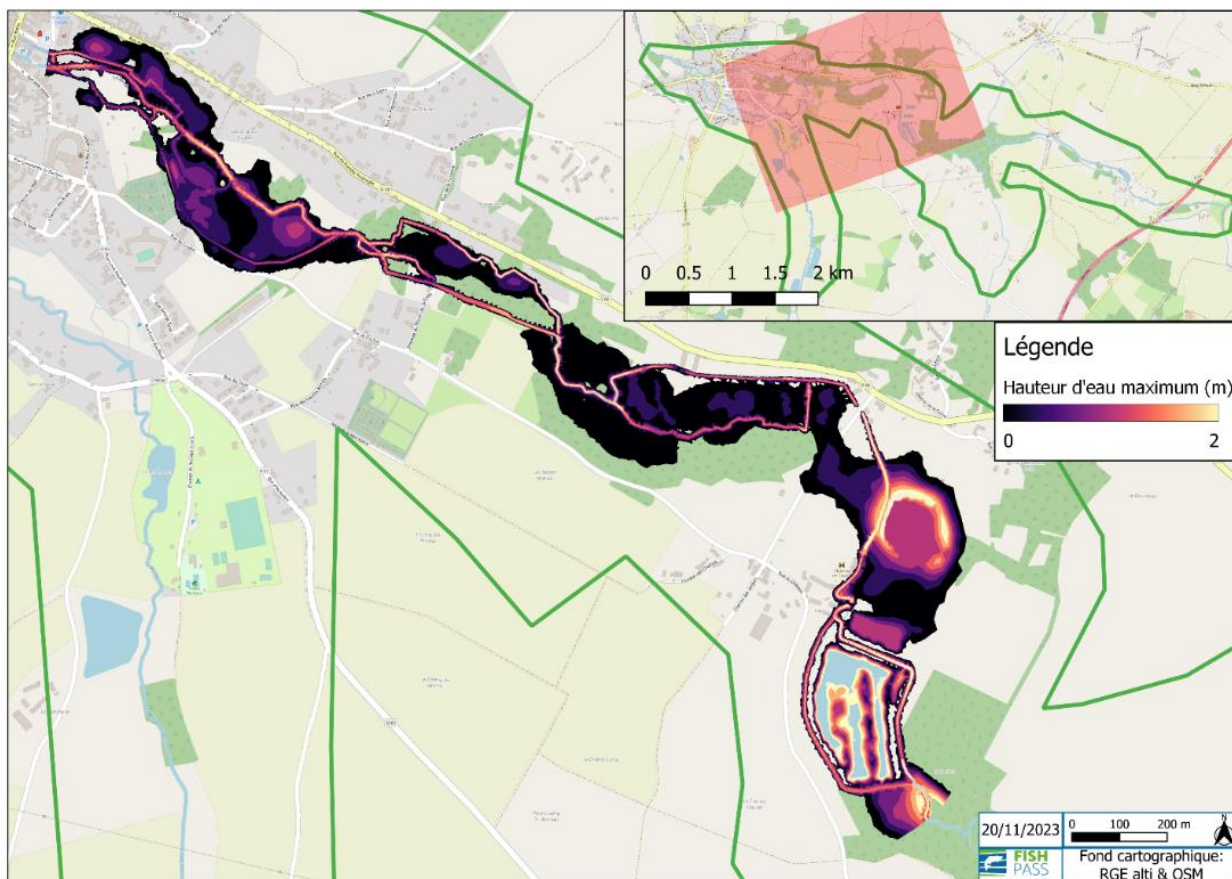
- Simulations -



6.2.6 Crue centennale (Q100)



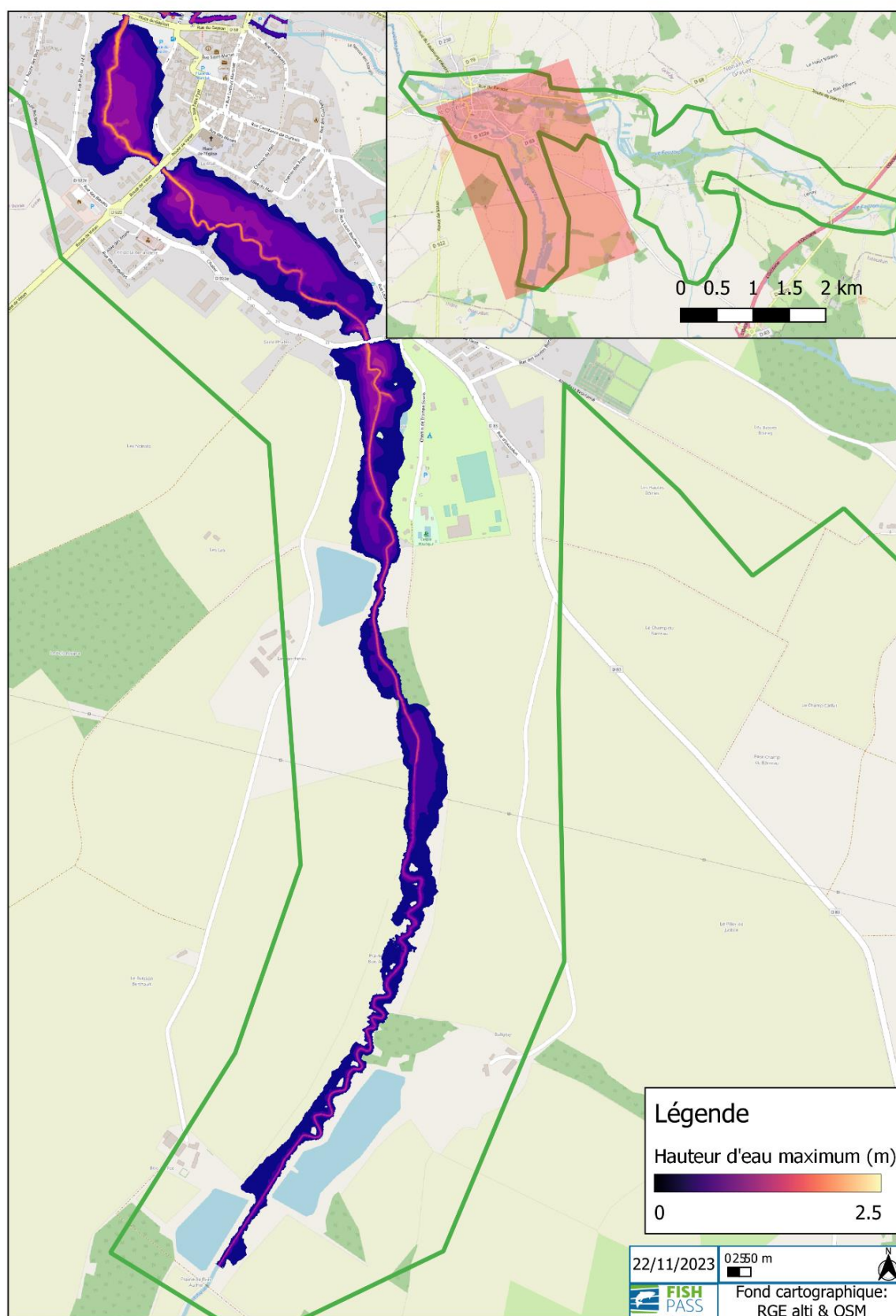
- Simulations -



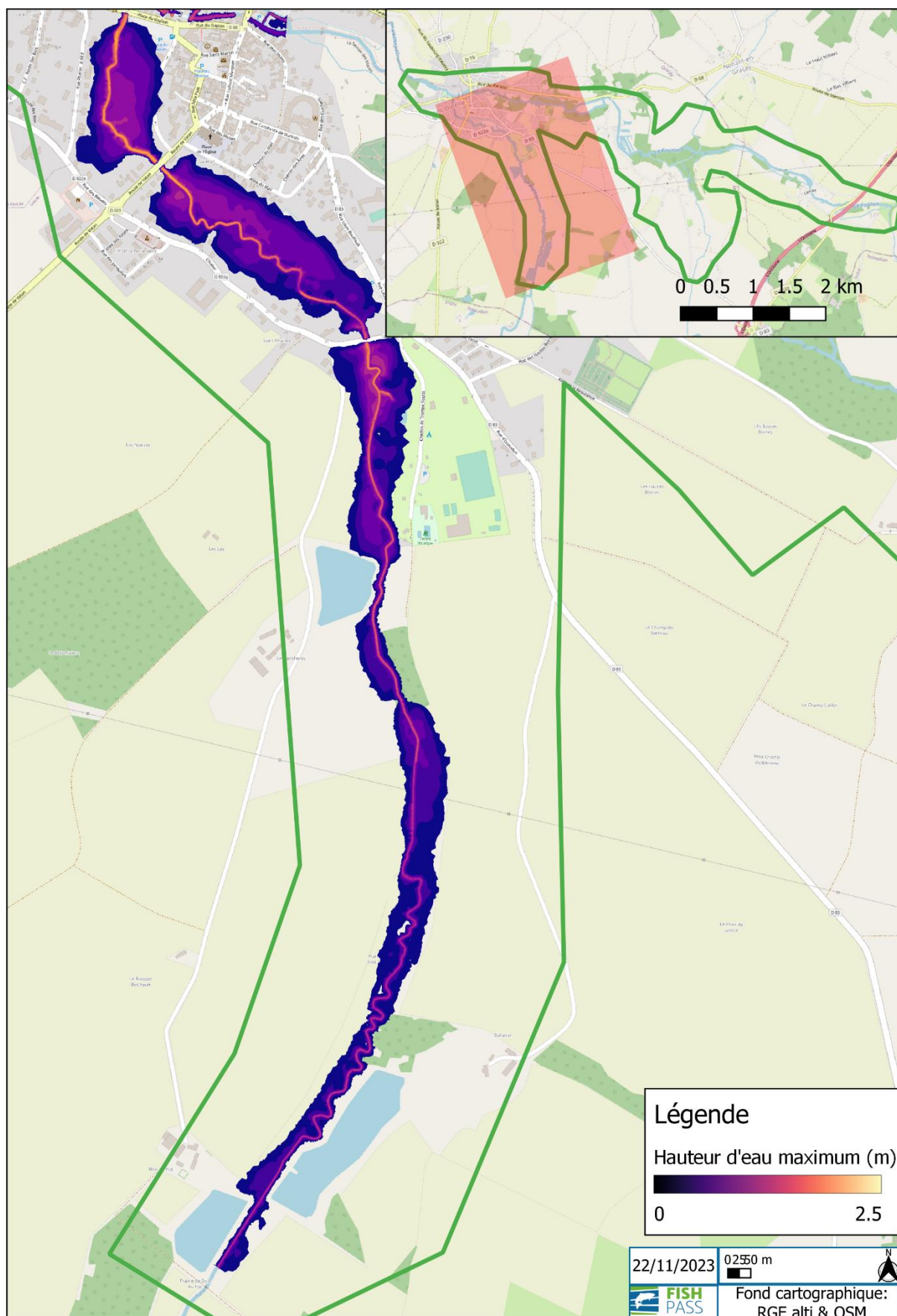
- Simulations -

6.1 Cartes de profondeur d'eau maximales sur le Pozon

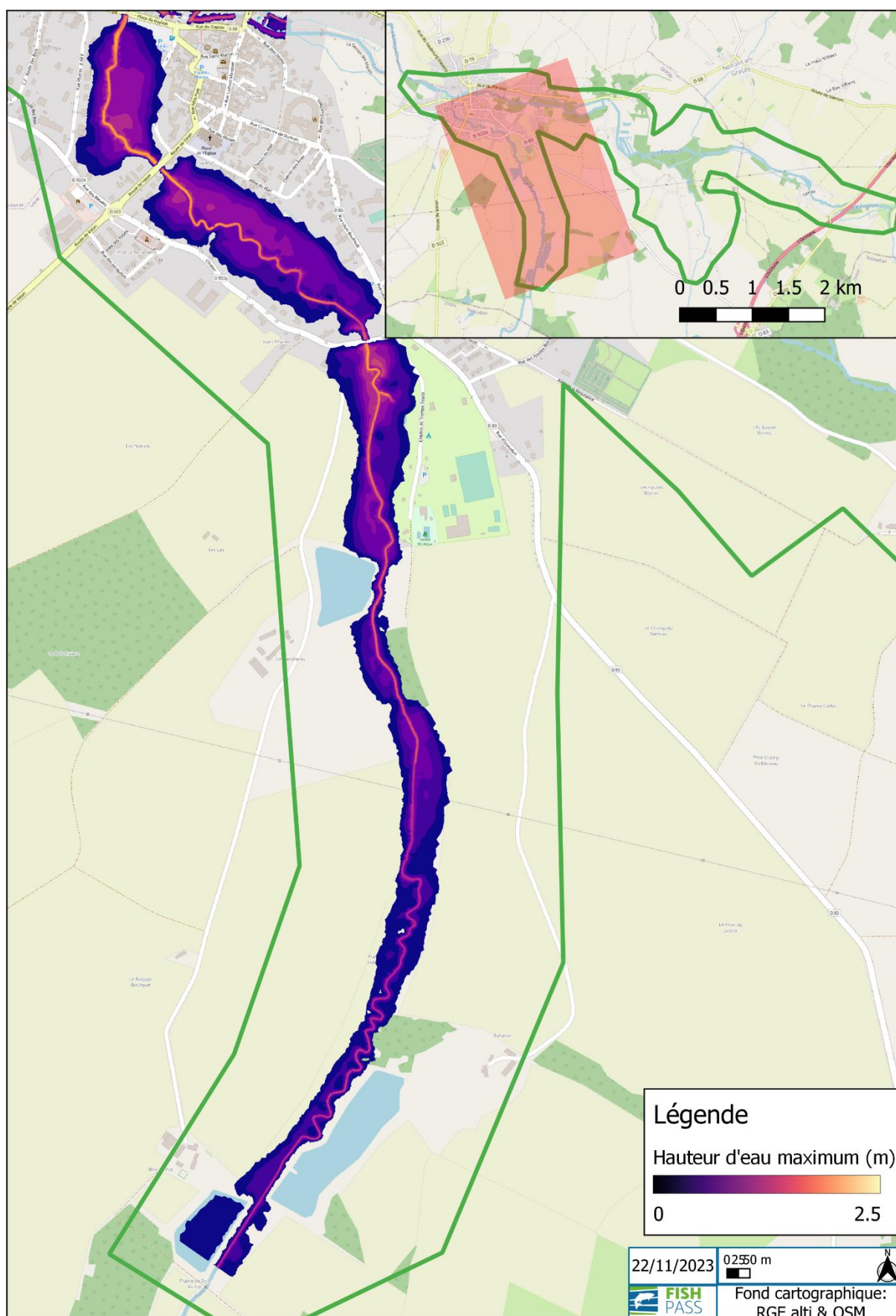
6.1.1 Crue biennale (Q2)



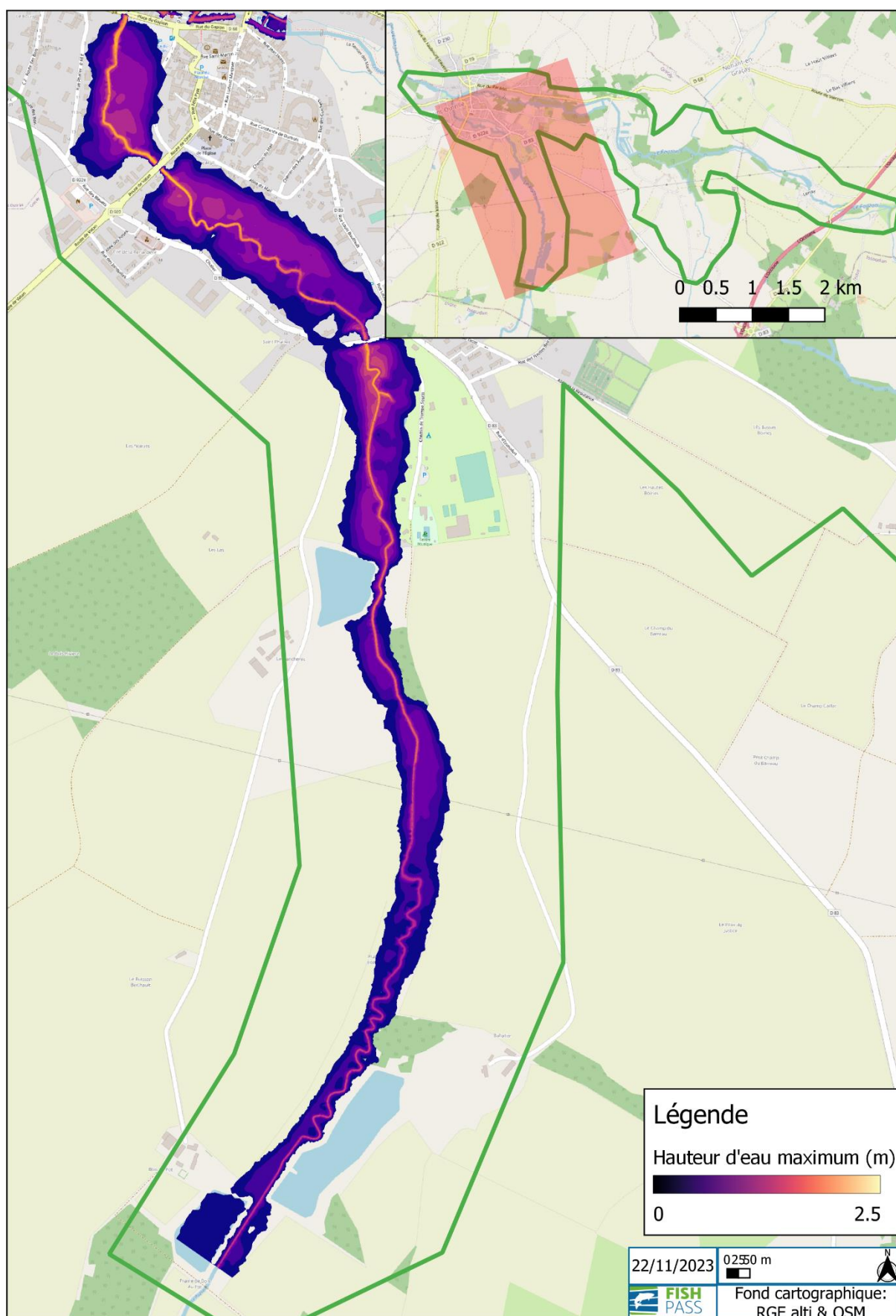
6.1.2 Crue quinquennale (Q5)



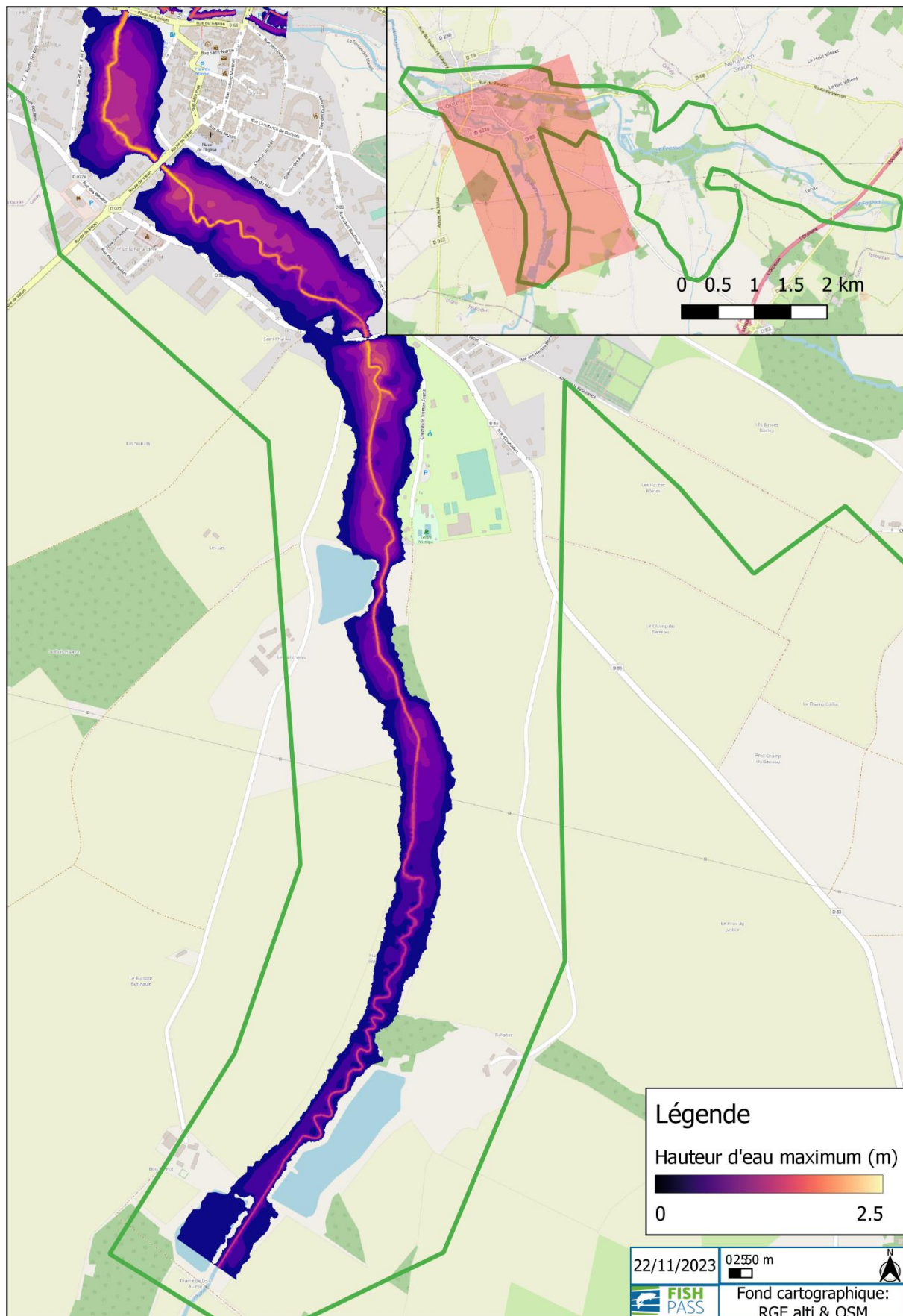
6.1.3 Crue décennale (Q10)



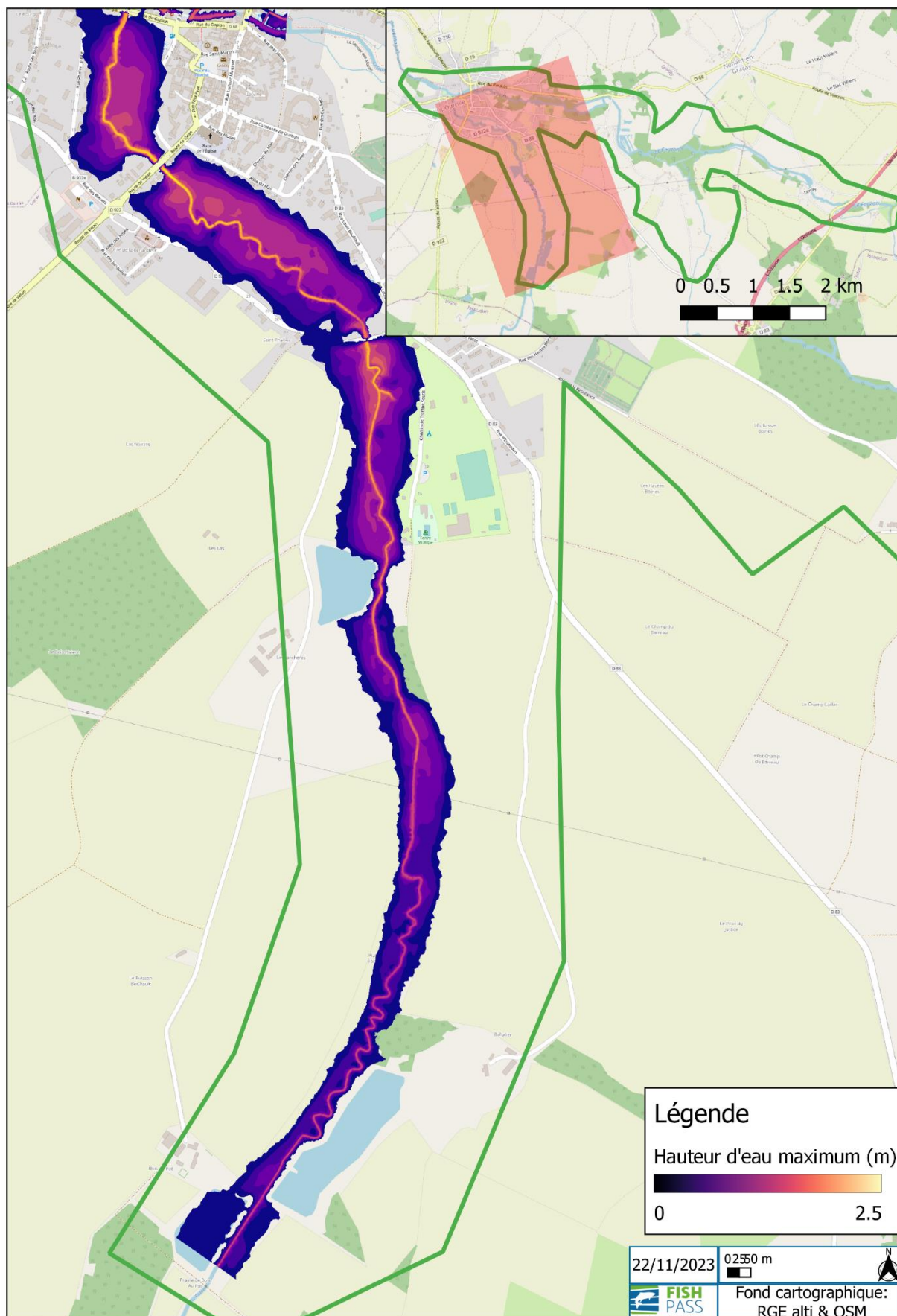
6.1.4 Crue vicennale (Q20)



6.1.5 Crue quinquantennale (Q50)



6.1.6 Crue centennale (Q100)



7 Conclusion

Cette seconde phase d'étude a permis la modélisation de crue sur les secteurs pré-identifiés de ZEC, en amont de Graçay et de Saint-Outrille, ainsi que dans les secteurs à enjeux : les centre-bourgs. Les modèles ont été divisés en 3 parties : 2 parties comprenant les ZEC du Fouzon, et une partie comprenant les ZEC du Pozon et les zones à enjeu fort (plus densément peuplées). Les données de terrain (topographie, jaugeages) ont informé la géométrie du modèle et les simulations de calage, lesquelles donnent des résultats suffisants pour juger de l'effet des ZEC. Les simulations portent sur des crues de différentes intensités (Q2, Q5, Q10, Q20, Q50 et Q100). Les hypothèses sur la gestion des ouvrages supposent l'absence d'opération.

Nous observons les effets suivants des ZEC :

- Les ZEC du Fouzon permettent, combinées, de réduire le débit de pointe de la crue de 54 % (Q2) à 67% (Q100), et induisent un décalage de ce pic. Cet effet d'atténuation du pic de crue est le signe d'un **bon fonctionnement des ZEC** : par débordement en amont, elles réduisent les aléas à l'aval.
- Le décalage du pic de crue peut prévenir la concomitance des pics de crue du Fouzon et du Pozon, supposant que la crue initiale aux limites du modèle soit concomitante.
- Les parcs de Graçay et Saint-Outrille sont inondés dès la crue biennale (Q2). Par ailleurs, les crues du Pozon seules suffisent à inonder ces zones. Les jardins en bordure du Pozon et du Fouzon dans les bourgs sont inondés. La connaissance topographique du terrain ne permet pas de déterminer si l'eau atteint les habitations.
- Les **enjeux (rue Basse) à Graçay ne sont pas inondés en deçà d'une crue quinquennale (Q5)**. En crue centennale, les enjeux peuvent être inondés. Une connaissance plus fine de la topographie permettrait de connaître l'étendue précise des zones submergées.
- La crue de mai/juin 2016, qui peut constituer un événement de référence pour la prévention des risques, avait un débit de pointe de 175m³/s sur le Fouzon à Meunes, soit 22m³/s de plus que la crue centennale calculée. L'intensification des crues prévues en conséquence du changement climatique pourra rendre ces événements plus fréquents, mais **la crue observée en 2016 reste un événement statistiquement très rare**. Par ailleurs, des témoignages montrent qu'un imprévu du service d'astreinte a empêché l'ouverture du vannage en amont de Graçay, prévu pour abaisser la ligne d'eau avant l'arrivée d'une crue.
- Le Pozon, dont la vallée est plus encaissée que le Fouzon, ne présente pas de lit majeur étendu ni de flux entre différents canaux. Son fonctionnement est plus proche d'une rivière naturelle, et est fortement impacté par la **présence de ponts qui créent des retenues d'eau lors de crues**. La vallée amont du modèle, particulièrement encaissée, ne ralentit que peu les écoulements.

Les modèles ne prennent pas en compte **l'apport des nappes de surface**. En crue, les échanges d'eau peuvent induire des remontées de nappe de longue durée et causer des inondations, notamment par les caves d'habitations, particulièrement là où se trouvent d'anciens puits. Ces inondations par les nappes ne peuvent être simulées par un modèle d'hydraulique à surface libre.

Au vu des résultats observés, nous concluons que **les nombreuses ZEC du Fouzon remplissent leur rôle d'écêtement**. Les **ZEC du Pozon**, réparties sur un linéaire plus faible et contraintes par l'étroite vallée amont (dans les limites du modèle), sont de **moindre étendue** et sont surtout **concentrées en aval**, très proches des enjeux.