

# EXPLOITATION DES POTENTIALITES EN TERMES DE CHAMPS D'EXPANSION DE CRUE

Déclinaison opérationnelle sur le territoire du SAGE Loir

Phase 2 — Analyse de la fonctionnalité des ZEC



Mai 2021





BRL ingénierie

1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001  
30001 NIMES CEDEX 5

Date du document	2021
Contacts	Marie-Christine GERMAIN / Céline BOSSCHAERT

Titre du document	EXPLOITATION DES POTENTIALITES EN TERMES DE CHAMPS D'EXPANSION DE CRUE - Déclinaison opérationnelle sur le territoire du SAGE Loir Phase 2 – Analyse de la fonctionnalité des ZEC
Référence du document :	A00515_Loir
Indice :	Vdef

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
24/02/2021	V1	Première version	CJO/MGU	CBS
17/03/2021	V2	Remarques de mars 2021 prises en compte	MGU/CBS	CBS
22/04/2021	V3	Remarques des acteurs de mars 2021 prises en compte	MGU/CBS	CBS
28/05/2021	Vdef	Dernières remarques des acteurs prises en compte	MGU/CBS	CBS



# EXPLOITATION DES POTENTIALITES EN TERMES DE CHAMPS D'EXPANSION DE CRUE

## Déclinaison opérationnelle sur le territoire SAGE Loir

### Phase 2 – Analyse de la fonctionnalité des ZEC

<b>1</b>	<b>SYNTHESE DE LA PHASE 1</b>	<b>3</b>
1.1	PRINCIPE	3
1.2	SELECTION DES SITES ETUDIES EN PHASE 1	4
1.3	SYNTHESE DES DESCRIPTIONS DE PHASE 1 ET SITES RETENUS POUR LA PHASE 2	7
<b>2</b>	<b>HYDROLOGIE</b>	<b>8</b>
2.1	DEBITS DE POINTE	8
2.2	VOLUMES DE CRUE	10
2.2.1	Analyse des évènements de crue mesurés	11
2.2.2	Construction des hydrogrammes fréquentiels	14
<b>3</b>	<b>DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES</b>	<b>16</b>
3.1.1	Données topographiques existantes	16
3.1.1.1	ZEC 5L Vendôme et ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir	16
3.1.1.2	ZEC 2L la Flèche	16
3.1.2	Données topographiques et bathymétriques complémentaires	16
<b>4</b>	<b>MODELISATION HYDRAULIQUE</b>	<b>20</b>
4.1	CONSTRUCTION DES MODELES HYDRAULIQUES	20
4.1.1	Type et structure des modèles	20
4.1.2	Modélisation des ouvrages	22
4.1.3	Zonage des coefficients de rugosité	23
4.2	CALAGE ET TESTS DE SENSIBILITE	27
4.2.1	Calage	27
4.2.1.1	Analyse préalable des repères de crue	27
4.2.1.2	Hydrogrammes de la crue de janvier 1995	28
4.2.1.3	Résultats du calage	29
4.2.2	Tests de sensibilité aux paramètres de rugosité	31
4.3	SIMULATIONS DES CRUES, FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE	32
4.3.1.1	ZEC 5L Vendôme	32
4.3.1.2	ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir	34
4.3.1.3	ZEC 2L la Flèche	36
<b>5</b>	<b>PISTES D'AMENAGEMENT OU DE GESTION</b>	<b>39</b>

5.1.1	ZEC 5L Vendôme.....	39
5.1.2	ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir .....	44
5.1.3	ZEC 2L la Flèche .....	47
5.1	CONCLUSION.....	51
ANNEXE 1.	FICHES ZEC .....	54
ANNEXE 2.	CALAGE DES MODELES DES ZEC DE VENDOME ET LA FLECHE.....	61
ANNEXE 3.	ANALYSE DE SENSIBILITE .....	64
ANNEXE 4.	ZEC 5L VENDOME - CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS DE CRUES DE PROJET .....	71
ANNEXE 5.	ZEC 5L VENDOME - CARTOGRAPHIE DES VITESSES DE CRUES DE PROJET .....	78
ANNEXE 6.	ZEC 4L MONTOIRE-SUR-LE-LOIR - CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS DE CRUES DE PROJET .....	85
ANNEXE 7.	ZEC 4L MONTOIRE-SUR-LE-LOIR - CARTOGRAPHIE DES VITESSES DE CRUES DE PROJET .....	92
ANNEXE 8.	ZEC 2L LA FLECHE - CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS DE CRUES DE PROJET.....	99
ANNEXE 9.	ZEC 2L LA FLECHE - CARTOGRAPHIE DES VITESSES DE CRUES DE PROJET .....	106

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Illustration du ralentissement dynamique .....	3
Figure 2 : Illustration de l'optimisation d'une ZEC par la construction d'une digue transversale .....	3
Figure 3 : Zone d'étude.....	6
Figure 4 : Localisation des ZEC retenues pour la phase 2 .....	8
Figure 5: Schéma de principe du ralentissement dynamique d'une crue .....	10
Figure 6 : Hydrogrammes de crue sélectionnés à Villavard sur le Loir .....	12
Figure 7 : Hydrogrammes centrés réduits et hydrogramme adimensionnel moyen à Villavard sur le Loir .....	12
Figure 8 : Hydrogrammes de crue sélectionnés à Durtal sur le Loir .....	13
Figure 9 : Hydrogrammes centrés et réduits et hydrogramme adimensionnel moyen à Durtal sur le Loir.....	13
Figure 10. Hydrogrammes de projet (T=2, 5, 10, 20, 50, 100 ans) à Villavard sur le Loir.....	14
Figure 11. Hydrogrammes de projet (T=2, 5, 10, 20, 50, 100 ans) à Durtal sur le Loir.....	15
Figure 12 : Localisation des données collectées et des besoins topographiques sur la ZEC 5L Vendôme .....	17
Figure 13 : Localisation des données collectées et des besoins topographiques sur la ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir .....	18
Figure 14 : Localisation des données collectées et des besoins topographiques sur la ZEC 2L La Flèche .....	19
Figure 15 : Modèle de la ZEC de Vendôme .....	20
Figure 16 : Modèle de la ZEC de Montoire-sur-le-Loir.....	21
Figure 17 : Modèle de la ZEC de la Flèche .....	21
Figure 18 : Exemple de variation et d'adaptation du maillage 2D.....	22
Figure 19 : Illustration des deux options de représentation des ouvrages dans le modèle hydraulique .....	23
Figure 20 : Zonage des coefficients de rugosité de la ZEC de Vendôme.....	24
Figure 21 : Zonage des coefficients de rugosité de la ZEC de Montoire-sur-le-Loir .....	25
Figure 22 : Zonage des coefficients de rugosité de la ZEC de la Flèche.....	26
Figure 23 : Repères de crue de janvier 1995 sur la ZEC de Vendôme .....	27
Figure 24 : Repères de crue de janvier 1995 sur la ZEC de la Flèche .....	28
Figure 25 : Hydrogrammes de la crue de janvier 1995 mesurés aux stations hydrométriques .....	29
Figure 26 : Pourcentage des écarts aux repères dans chaque intervalle .....	30
Figure 27 : Hydrogrammes des crues simulées .....	32
Figure 28 : Hydrogrammes des crues simulées .....	34
Figure 29 : Hydrogrammes des crues simulées .....	36
Figure 30 : Comparaison des résultats du modèle avec les observations terrains pour une crue d'occurrence 5/10 ans .....	37
Figure 31 : Occupation des sols de la ZEC de Vendôme .....	39
Figure 32 : Emprise de la zone inondable des crues 5, 10, 20, 50 et 100 ans au droit des enjeux exposés en aval de la ZEC .....	41
Figure 33 : Localisation du casier .....	42
Figure 34 : Localisation des casiers hydrauliques délimités en fonction des gravières .....	43
Figure 35 : Profil en long du champ majeur de la ZEC de Vendôme.....	43
Figure 36 : Occupation des sols de la ZEC de Montoire-sur-le-Loir .....	44
Figure 37 : Emprise de la zone inondable des crues 5, 10, 20, 50 et 100 ans au droit des enjeux exposés en aval de la ZEC .....	45
Figure 38 : Profil en long du champ majeur de la ZEC de Montoire-sur-le-Loir.....	46
Figure 39 : Occupation des sols de la ZEC de la Flèche.....	47
Figure 40 : Emprise de la zone inondable des crues 5, 10, 20, 50 et 100 ans au droit des enjeux exposés en aval de la ZEC .....	48
Figure 41 : Localisation du casier hydraulique délimité en fonction des gravières .....	49
Figure 42 : Profil en long du champ majeur de la ZEC de la Flèche.....	50

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : ZEC présélectionnées pour la phase 1 sur le territoire du SAGE Loir .....	5
Tableau 2. Quantiles des débits de pointe retenus en phase 1 .....	9
Tableau 3 : Résumé de l'analyse des hydrogrammes et de la construction de l'hydrogramme moyen.....	11
Tableau 4 : Date d'observation et valeurs des débits de pointe de la crue de 1995.....	29
Tableau 5 : Paramètres de rugosité retenu à l'issue du calage .....	30
Tableau 6 : Gammes de coefficients de Strickler testées sur les 3 ZEC .....	31
Tableau 7 : Tests d'augmentation de la rugosité effectués .....	39
Tableau 8 : Écrêtement et temps de propagation calculés pour chaque gamme de Strickler testée.....	40
Tableau 9 : Volume efficace à stocker.....	41
Tableau 10 : Hauteur d'eau permettant de stocker le volume efficace .....	42
Tableau 11 : Tests d'augmentation de la rugosité effectués .....	44
Tableau 12 : Écrêtement et temps de propagation calculés pour chaque gamme de Strickler testée.....	45
Tableau 13 : Volume efficace à stocker.....	46
Tableau 14 : Hauteur d'eau permettant de stocker le volume efficace .....	46
Tableau 15 : Tests d'augmentation de la rugosité effectués .....	47
Tableau 16 : Écrêtement et temps de propagation calculés pour chaque gamme de Strickler testée.....	48
Tableau 17 : Volume efficace à stocker.....	49
Tableau 18 : Hauteur d'eau permettant de stocker le volume efficace .....	49
Tableau 19 : Comparaison des résultats obtenus sur les 3 ZEC lors de la végétalisation de la zone agricole .....	51

# PREAMBULE

La présente étude s'inscrit dans le cadre du programme d'intervention du SAGE Loir. Elle porte sur l'analyse de sites potentiels d'expansion des crues sur le Loir préalablement sélectionnés suite à l'«Analyse exploratoire, à l'échelle de l'ensemble du bassin de la Loire, des potentialités en termes de champs d'expansion de crue » conduite entre 2016 et 2019 par l'EP Loire.

Le maintien des champs d'expansion des crues ou leur optimisation participent à maintenir le fonctionnement naturel des cours d'eau en crue et réduisent la vulnérabilité aux inondations des enjeux exposés situés plus en aval.

L'analyse approfondie de ces zones d'expansion de crues (ZEC) potentielles a pour objectif :

- D'approfondir la connaissance des ZEC ;
- D'évaluer leurs fonctionnalités à l'aide notamment de modélisations hydrauliques ;
- De définir, pour certaines d'entre elles, des scénarios d'actions différenciées :
  - Préservation des zones d'expansion efficaces ;
  - Optimisation de certaines ZEC par augmentation de leur caractère inondable ;
  - Réactivation du caractère inondable de certaines zones d'expansion ;
- D'en évaluer les coûts et bénéfices attendus ;
- D'apporter des éléments d'aide à la décision pour les acteurs locaux.

**L'étude s'articule en 3 phases :**

- Phase 1 : Description des ZEC ;
- Phase 2 : Analyse de la fonctionnalité des ZEC ;
- Phase 3 : Analyse approfondie des différents scénarios d'aménagement.

**Le présent rapport concerne la phase 2, réalisée sur 3 sites sélectionnés à la suite de la phase 1 qui a étudié 6 sites.**





# 1 SYNTHÈSE DE LA PHASE 1

## 1.1 PRINCIPE

Le principe de fonctionnement d'une zone d'expansion de crue (ZEC) est de limiter l'onde de crue en l'étalant dans le temps ; ce « ralentissement dynamique » s'obtient en retenant l'eau au maximum dans le champ majeur débordant.

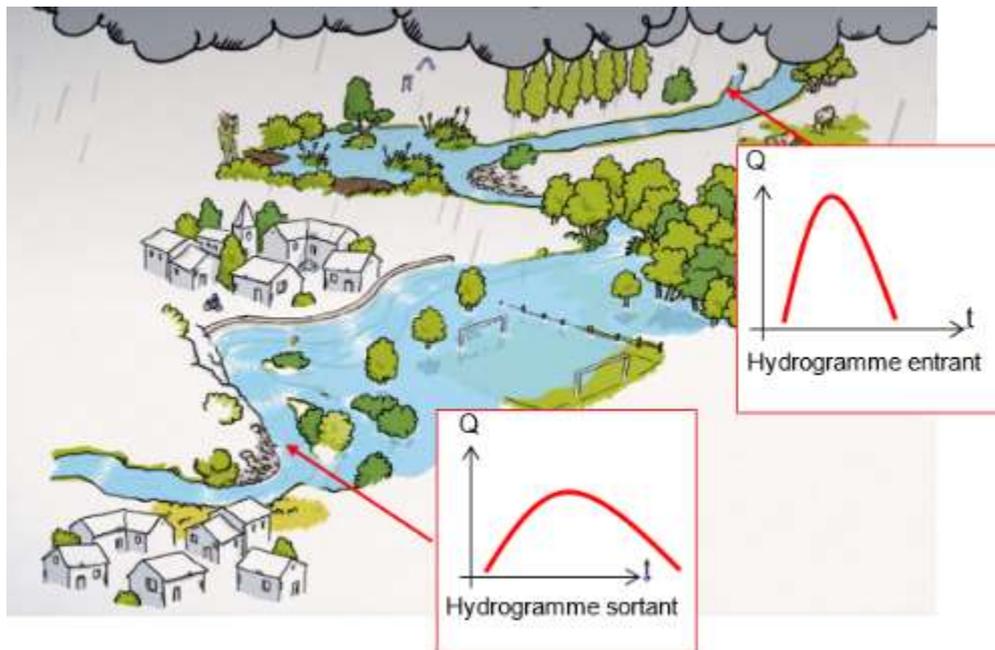


Figure 1 : Illustration du ralentissement dynamique

Source : © agence de l'eau du Rhône Méditerranée Corse / Big Bang Communication

L'optimisation ou la remobilisation de ZEC consiste en l'augmentation du volume stocké ou en la création de nouveaux champs d'expansion de crue (casier, champ d'inondation contrôlée) pour accroître l'efficacité du stockage. La remobilisation peut également être obtenue par la suppression de digues existantes.

Un aménagement de type structurel pour l'optimisation d'une zone d'écrêtement des crues (ou aire de ralentissement dynamique) consiste en l'installation d'une digue en travers des écoulements pour ralentir la crue et limiter les inondations en aval.

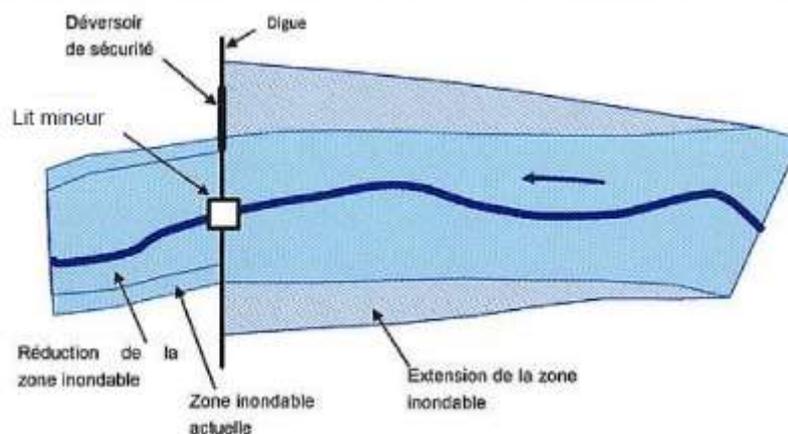


Figure 2 : Illustration de l'optimisation d'une ZEC par la construction d'une digue transversale



Des aménagements plus doux et plus diffus en adéquation avec le respect des habitats naturels et de la morphodynamie du cours d'eau doivent être recherchés prioritairement : réactivation de bras morts, aménagement de zones humides, diguettes transversales dans le lit majeur, réouverture de zones d'expansion protégées pour les crues fréquentes, ...

Il est également approprié de rechercher les synergies possibles avec d'autres objectifs : renaturation des cours d'eau, piège à embâcles, etc.

Le ralentissement dynamique des crues dans les zones d'expansion de crue n'est pas le seul outil de réduction du risque inondation. D'autres actions dans le domaine de la gestion du risque inondation peuvent être envisagées. Le Plan de Gestion du Risque Inondation Loire-Bretagne (application à l'échelle du district hydrographique de la directive européenne « Directive Inondation »), fixe les objectifs suivants pour la période 2016-2021 :

- Objectif n°1 : Préserver les capacités d'écoulement des crues ainsi que les zones d'expansion des crues et les capacités de ralentissement des submersions marines ;
- Objectif n°2 : Planifier l'organisation de l'aménagement du territoire en tenant compte du risque ;
- Objectif n°3 : Réduire les dommages aux personnes et aux biens implantés en zone inondable ;
- Objectif n°4 : Intégrer les ouvrages de protection contre les inondations dans une approche globale ;
- Objectif n°5 : Améliorer la connaissance et la conscience du risque d'inondation ;
- Objectif n°6 : Se préparer à la crise et favoriser le retour à la normale.

## 1.2 SELECTION DES SITES ETUDIÉS EN PHASE 1

La présente étude porte, en phase 1, sur 6 ZEC sélectionnées lors de la commission inondation du 19 mars 2019.

Cette sélection a été conduite sur des sites identifiés lors de « l'Analyse exploratoire à l'échelle du bassin de la Loire et de ses affluents des potentialités en termes d'exploitation de champs d'expansion de crues » réalisées par AnteaGroup en 2017.

La délimitation des ZEC a ensuite été affinée sur analyse hydrologique et hydraulique des sites en phase 1.

Une zone d'étude a été définie au droit de chaque ZEC, élargie au-delà de l'aléa de référence et dans les zones urbanisées aval.

Les 6 ZEC sélectionnées sont présentées dans le tableau ci-après et la carte suivante.

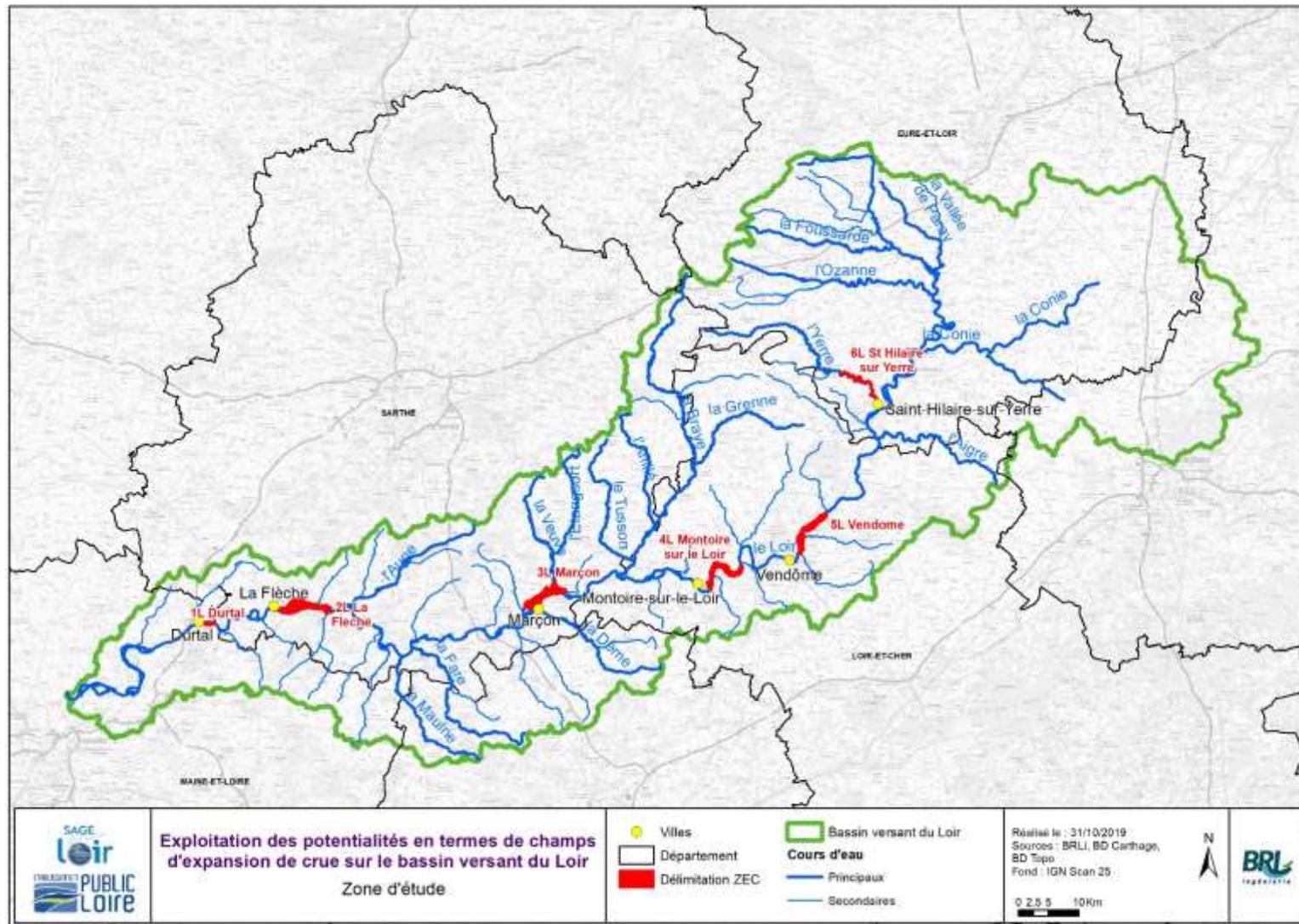


Tableau 1 : ZEC présélectionnées pour la phase 1 sur le territoire du SAGE Loir

COURS D'EAU	CODE ZEC ANTEA	CODE ZEC BRLI	REGION	DEPARTEMENT	COMMUNES	EPCI
Le Loir	5090, 5094, 5102, 5103	1L Durtal	Pays de la Loire	Maine-et-Loire (49)	Durtal	CC Anjou Loir et Sarthe
	5145	2L La Flèche	Pays de la Loire	Sarthe (72)	La Flèche, Clermont-Créans, Mareil-sur-Loir, Thorée-les-Pins, Luché-Pringé	CC du Pays Fléchois et CC Sud Sarthe
	5246	3L Marçon	Pays de la Loire	Sarthe (72)	Vouvray-sur-Loir, Marçon, Flée, Chahaignes, Lhomme, La Chartre-sur-le-Loir	CC Loir-Lucé-Bercé
	5176, 5201	4L Montoire-sur-le-Loir	Centre-Val de Loire	Loir-et-Cher (41)	Montoire-sur-le-Loir, Lavardin, Les Roches-l'Evêque, Villavard, Saint-Rimay, Thoré-la-Rochette	CA Territoires Vendômois
	5355, 5233	5L Vendôme	Centre-Val de Loire	Loir-et-Cher (41)	Naveil, Vendôme, Areines, Saint-Ouen, Meslay, Saint-Firmin-des-Prés, Lisle, Pezou, Lignières, Fréteval	CA Territoires Vendômois et CC du Perche et Haut Vendômois
L'Yerre	5543	6L Saint-Hilaire-sur-Yerre	Centre-Val de Loire	Eure-et-Loire (28)	Saint-Hilaire-sur-Yerre, Lanneray, Saint-Pellerin	CC du Grand Châteaudun



Figure 3 : Zone d'étude





## 1.3 SYNTHÈSE DES DESCRIPTIONS DE PHASE 1 ET SITES RETENUS POUR LA PHASE 2

Le tableau de synthèse suivant issu de la phase 1 met en évidence que ce sont les ZEC 5L Vendôme, puis 4L Montoire-sur-le-Loir et 2L La Flèche, qui présentent le plus d'intérêt à être étudiées en détail.

	Enjeux dans la ZEC	Efficacité hydraulique	Enjeux à l'aval de la ZEC	Bilan des + et -
1L Durtal	--	-	+	--
2L La Flèche	---	+	+++	+
3L Marçon	--	+	+	0
4L Montoire sur le Loir	--	++	++	++
5L Vendôme	---	++	+++	++
6L St Hilaire sur Yerre	-	+	-	-

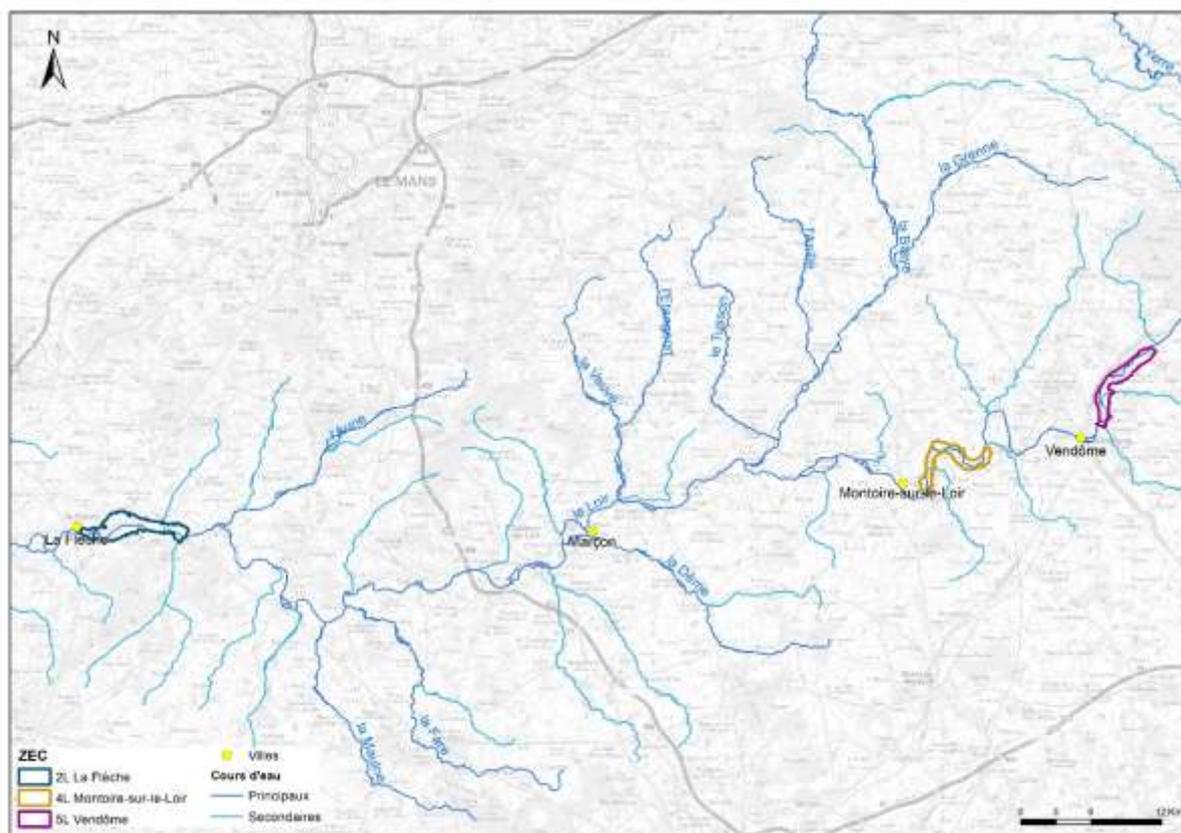
Les descriptions des trois ZEC réalisées en phase 1 sont synthétisées en annexe 1.

Les trois sites sélectionnés pour la phase 2 sont listés ci-dessous et localisés sur la carte suivante.

- **ZEC 2L : La Flèche**
- **ZEC 4L : Montoire-sur-le-Loir**
- **ZEC 5L : Vendôme.**



Figure 4 : Localisation des ZEC retenues pour la phase 2



8

### Remarque

Les effets des ZEC peuvent se faire sentir plus en aval que cette zone d'étude localisée, mais la présente étude se concentre sur certains sites d'expansion de crue, et ne peut appréhender le rôle de chacune des ZEC dans un fonctionnement global et cumulatif sans une modélisation complète du bassin versant.

C'est pourquoi, compte tenu du caractère opérationnel de l'étude, les effets des ZEC seront appréhendés sur les enjeux immédiatement exposés à l'aval des sites. Il n'en reste pas moins que l'impact des ZEC peut concerner des enjeux situés plus en aval que ceux sélectionnés dans le cadre de la présente étude.

## 2 HYDROLOGIE

### 2.1 DÉBITS DE POINTE

Les débits de pointe caractéristiques ont été étudiés en phase 1. Les valeurs retenues aux stations hydrométriques représentatives des sites sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2. Quantiles des débits de pointe retenus en phase 1

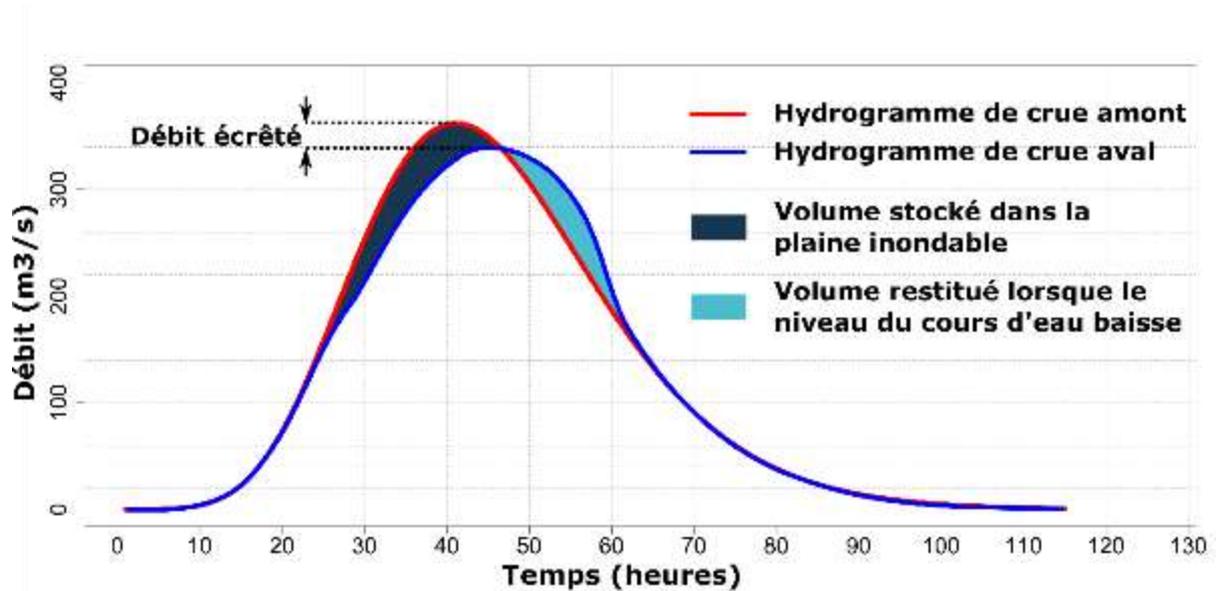
ZEC	STATIONS					Quantiles des débits de pointe [m3/s]					
Code ZEC	CODE	NOM	SURFACE (km <sup>2</sup> )	PERIODE (nombre d'années)	Plus forte crue mesurée	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
2L La Flèche	M1531610	<b>Durtal</b>	7920	1961 - 2020	<b>29/01/1995</b> Q <sub>JM</sub> : 451 m3/s Q <sub>X</sub> : 457 m <sup>3</sup> /s	164	239	289	336	398	590
4L Montoire-sur-le-Loir 5L Vendôme	M1151610	<b>Villavard</b>	4545	1966 - 2020	<b>11/04/1983</b> Q <sub>JM</sub> : 256 m3/s Q <sub>X</sub> : 259 m3/s	90	134	164	192	229	350



## 2.2 VOLUMES DE CRUE

Les caractéristiques des crues à prendre en compte pour l'étude des ZEC sont les débits de pointe mais aussi le volume des crues et la forme des hydrogrammes. En effet c'est le ralentissement et le stockage des volumes de la crue dans la ZEC qui permet d'écrêter le débit de pointe entre l'entrée et la sortie de la ZEC. Si les zones d'expansion sont déjà mobilisées (inondées) lorsque le débit de pointe de la crue arrive, l'écrêtement ne sera pas effectif.

Figure 5: Schéma de principe du ralentissement dynamique d'une crue



## 2.2.1 Analyse des évènements de crue mesurés

La durée des crues et la forme des hydrogrammes sont déterminées à partir d'une analyse des hydrogrammes mesurés aux stations hydrométriques.

Les hydrogrammes des principales crues (sélectionnées à l'aide d'un débit seuil correspondant à l'occurrence 2 ans), ont été extraits à chaque station, des bases de données de la Banque HYDRO, au pas de temps fixe d'1 heure (procédure QTFIXE).

Les hydrogrammes ont ensuite été adimensionalisés, dans l'objectif de déterminer un hydrogramme de crue moyen ainsi que sa durée caractéristique (à partir de la durée SOCOSE<sup>1</sup>).

Les hydrogrammes analysés et les hydrogrammes normalisés sont présentés pour chaque station ci-après.

L'événement majeur mesuré à pas horaire est celui d'avril 1983 avec un débit de pointe de 259 m<sup>3</sup>/s pour la station Villavard et celui de janvier 1995 pour la station Durtal avec un débit de pointe de 457 m<sup>3</sup>/s. L'événement de janvier 1995 n'a pas été retenu dans la construction de l'hydrogramme moyen de la station Durtal du fait de sa forme complexe (événement multi-pics).

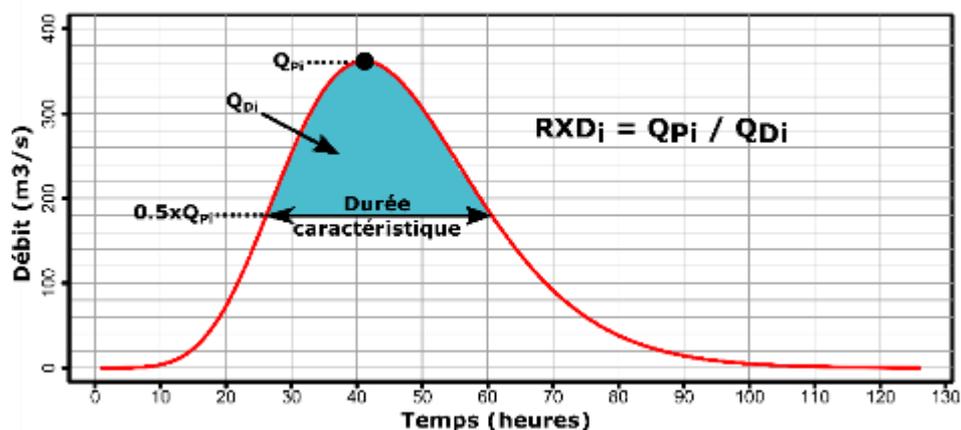
L'analyse saisonnière n'a pas été jugée pertinente après analyse des hydrogrammes de crues sélectionnés.

Les résultats de ces analyses sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Résumé de l'analyse des hydrogrammes et de la construction de l'hydrogramme moyen

CODE STATION	NOM STATION	COURS D'EAU	SURFACE DU BASSIN VERSANT [KM <sup>2</sup> ]	DEBIT SEUIL [M <sup>3</sup> /S]	NOMBRE DE CRUE RETENUES	DUREE SOCOSE MOYENNE [H]	DUREE ARRONDIE RETENUE [H]	PARAMETRE DE FORME RXD*
M1151610	Villavard	Loir	4545	90	19	94	96	1.32
M1531610	Durtal	Loir	7920	165	13	153	144	1.24

\* Le paramètre de forme RXD est un coefficient reliant le débit moyen volumique de durée D (temps caractéristique, ici, définie à partir de la durée Socose) au débit de pointe.



<sup>1</sup> La durée SOCOSE est définie par la durée pendant laquelle la moitié du débit de pointe de l'hydrogramme est dépassée



## Le Loir à Villavard (M1151610)

L'analyse a été menée avec un débit seuil de 90 m<sup>3</sup>/s et 19 évènements ont été sélectionnés entre 1967 et 2020. A noter que la crue de janvier 1995 est présentée dans la figure ci-dessous mais qu'elle n'a pas été retenue dans la construction de l'hydrogramme moyen du fait de sa forme complexe (multi-pics).

Figure 6 : Hydrogrammes de crue sélectionnés à à Villavard sur le Loir

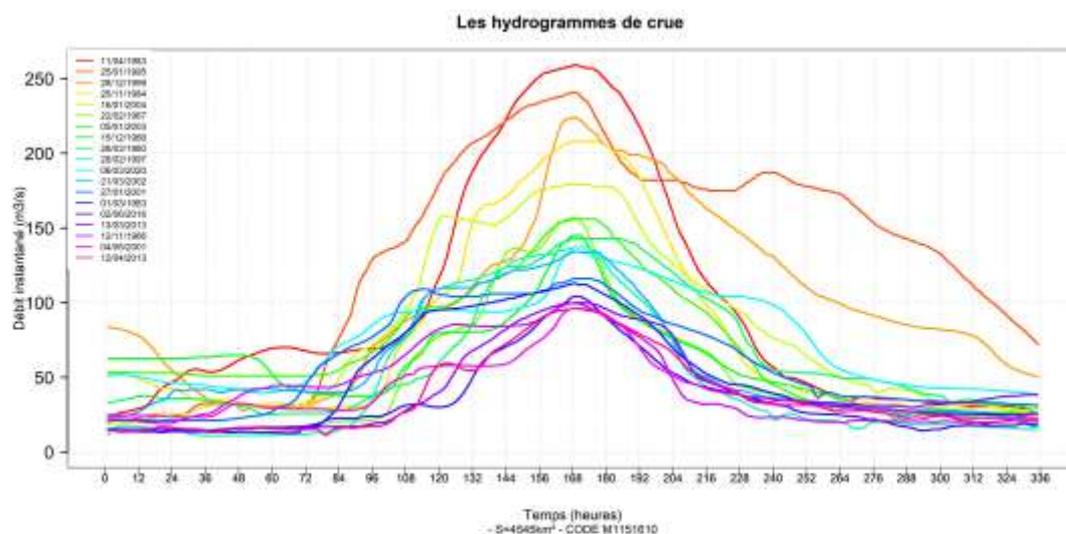
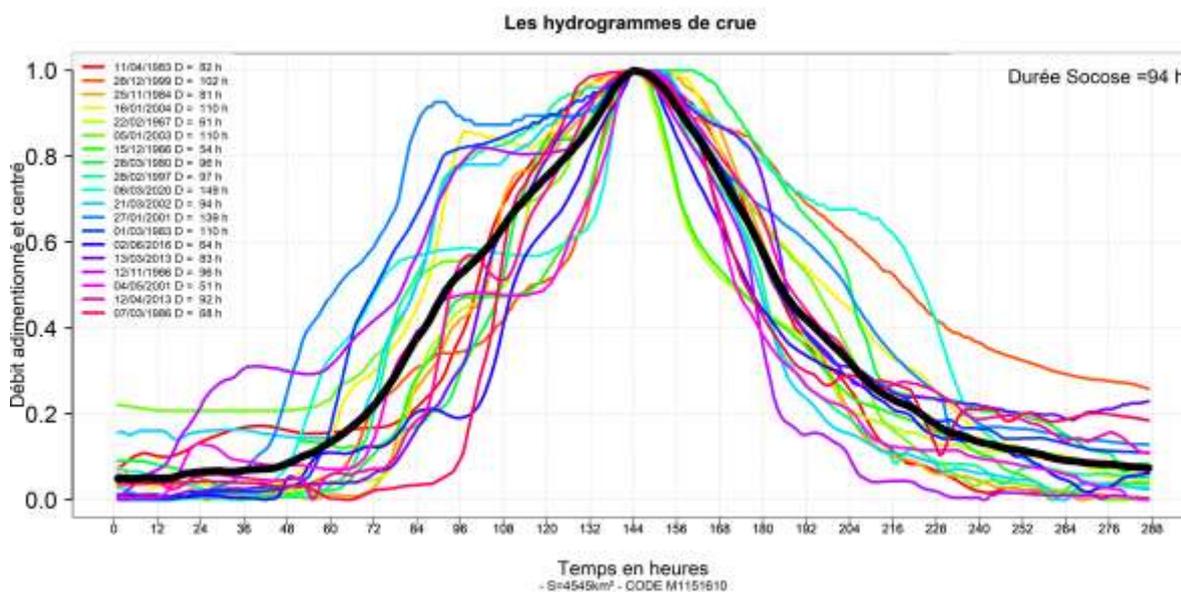


Figure 7 : Hydrogrammes centrés réduits et hydrogramme adimensionnel moyen à Villavard sur le Loir



L'hydrogramme moyen présente une durée caractéristique de 94 heures et un paramètre de forme de 1.32.

## Le Loir à Durtal (M1531610)

L'analyse a été menée avec un débit seuil de 165 m<sup>3</sup>/s et 13 évènements ont été sélectionnés entre 1993 et 2020.

Figure 8 : Hydrogrammes de crue sélectionnés à Durtal sur le Loir.

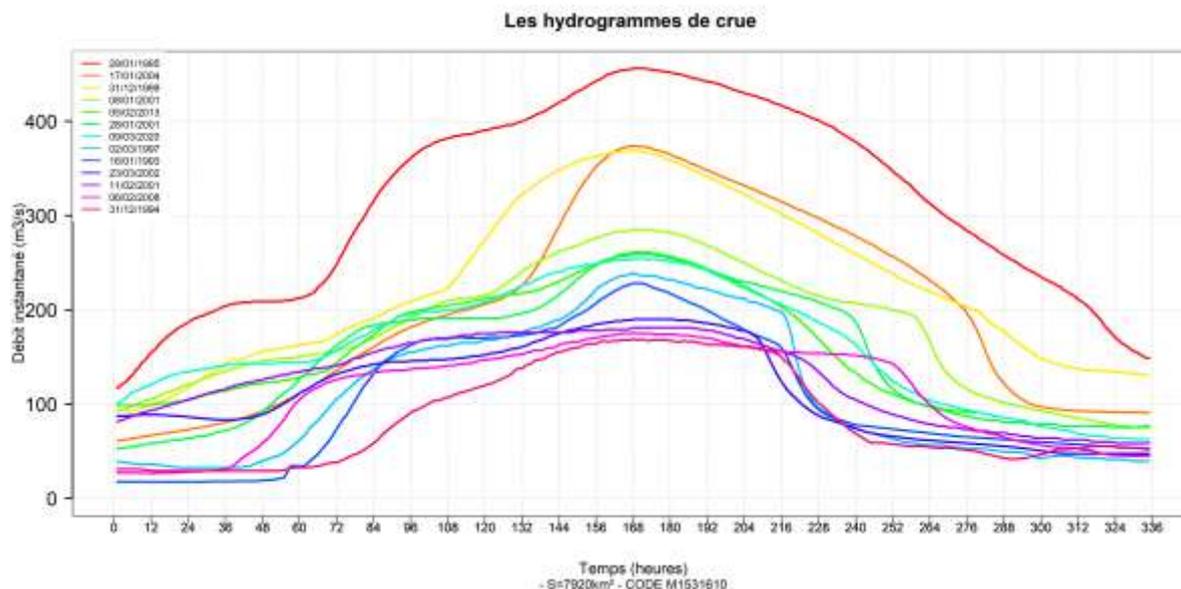
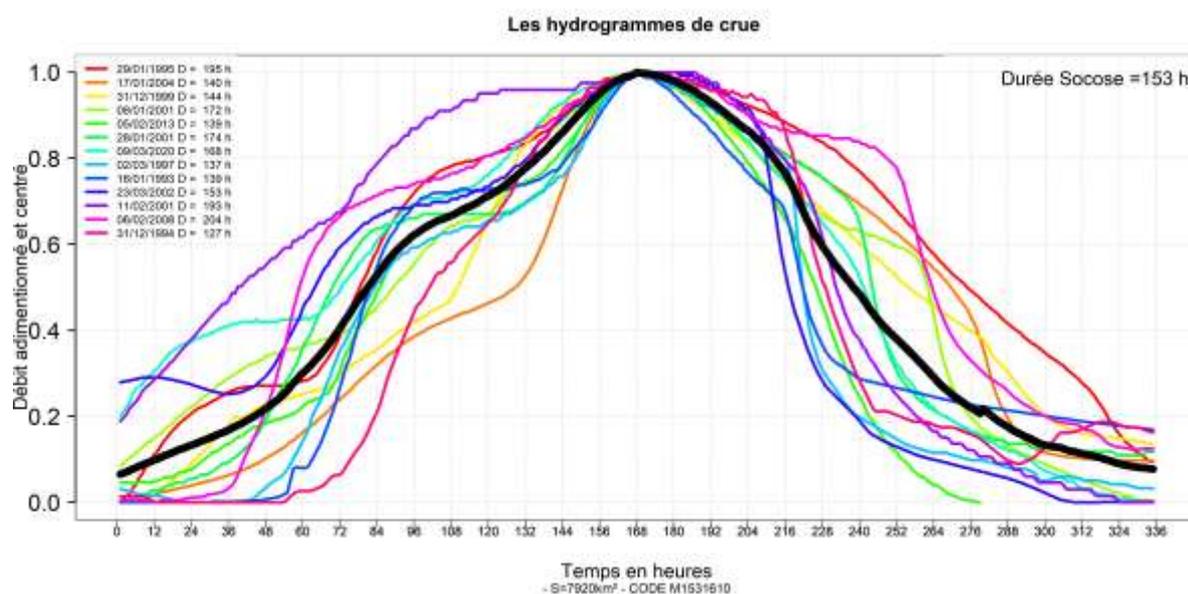


Figure 9 : Hydrogrammes centrés et réduits et hydrogramme adimensionnel moyen à Durtal sur le Loir.



L'hydrogramme moyen présente une durée caractéristique de 153 heures et un paramètre de forme de 1.24.

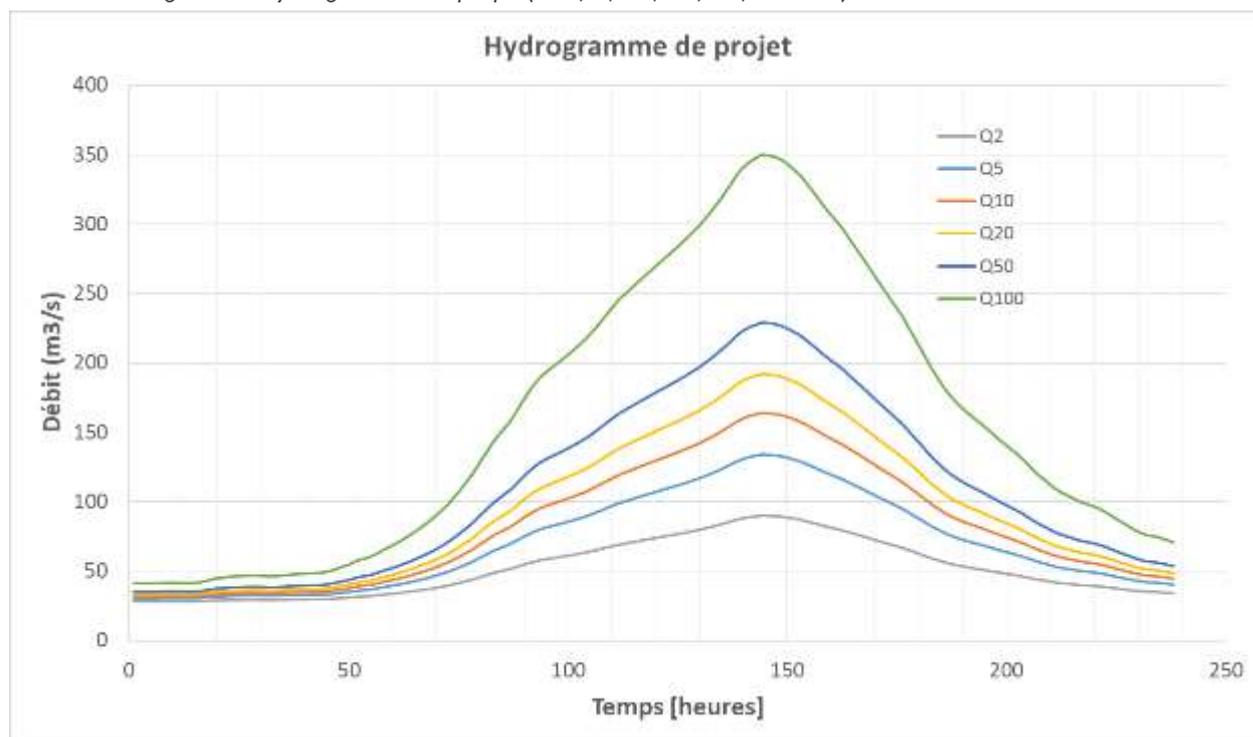


## 2.2.2 Construction des hydrogrammes fréquentiels

Les hydrogrammes de projets sont construits à partir des débits de pointe de référence pour les périodes de retour 2, 5, 10, 20, 50, 100 ans et des hydrogrammes adimensionnels moyens de crue présentés au chapitre précédent. Les hydrogrammes de projet sont présentés sur les figures ci-dessous.

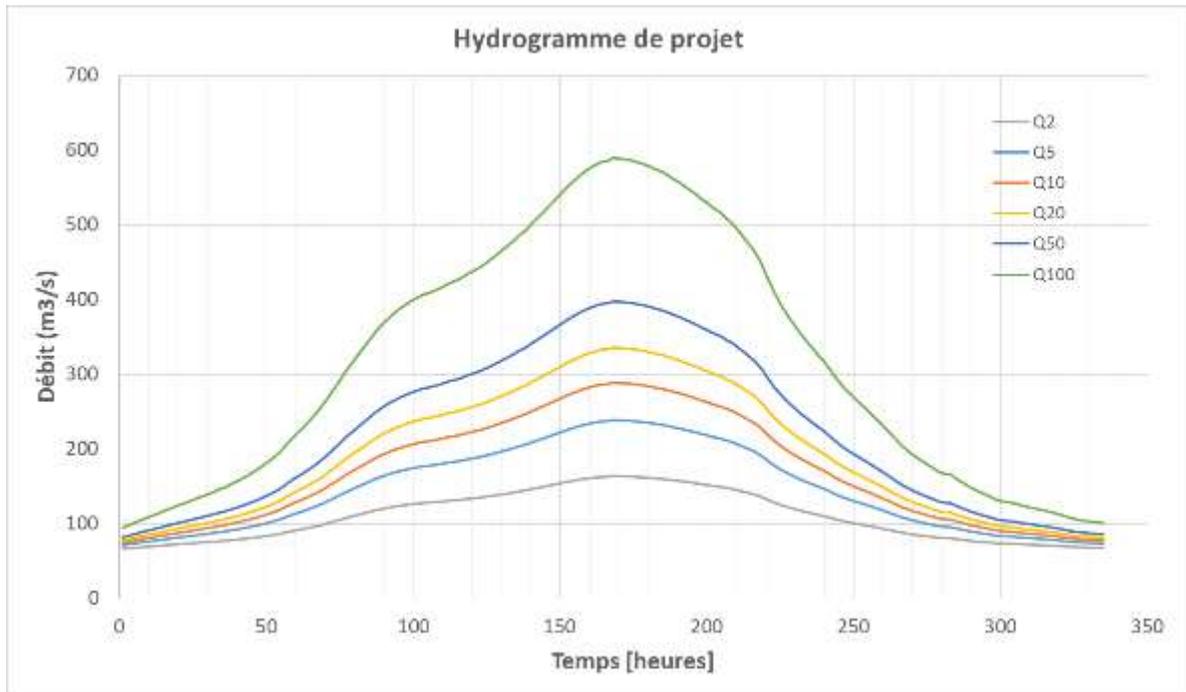
### Le Loir à Villavard (M1151610)

Figure 10. Hydrogrammes de projet ( $T=2, 5, 10, 20, 50, 100$  ans) à Villavard sur le Loir.



## Le Loir à Durtal (M1531610)

Figure 11. Hydrogrammes de projet (T=2, 5, 10, 20, 50, 100 ans) à Durtal sur le Loir.





## 3 DONNÉES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMÉTRIQUES

### 3.1.1 Données topographiques existantes

En champ majeur, on dispose pour les 3 sites du Modèle Numérique de Terrain (MNT) RGE alti au pas de 5 m de l'IGN, issu de levés LIDAR datant de 2011 et 2012. La précision altimétrique est inférieure à 20 cm.

#### 3.1.1.1 ZEC 5L Vendôme et ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir

Les données topographiques disponibles en lit mineur sont des profils en travers bathymétriques du Loir et levés d'ouvrages (source DDT41).

#### 3.1.1.2 ZEC 2L la Flèche

Les données topographiques disponibles en lit mineur sont les suivantes :

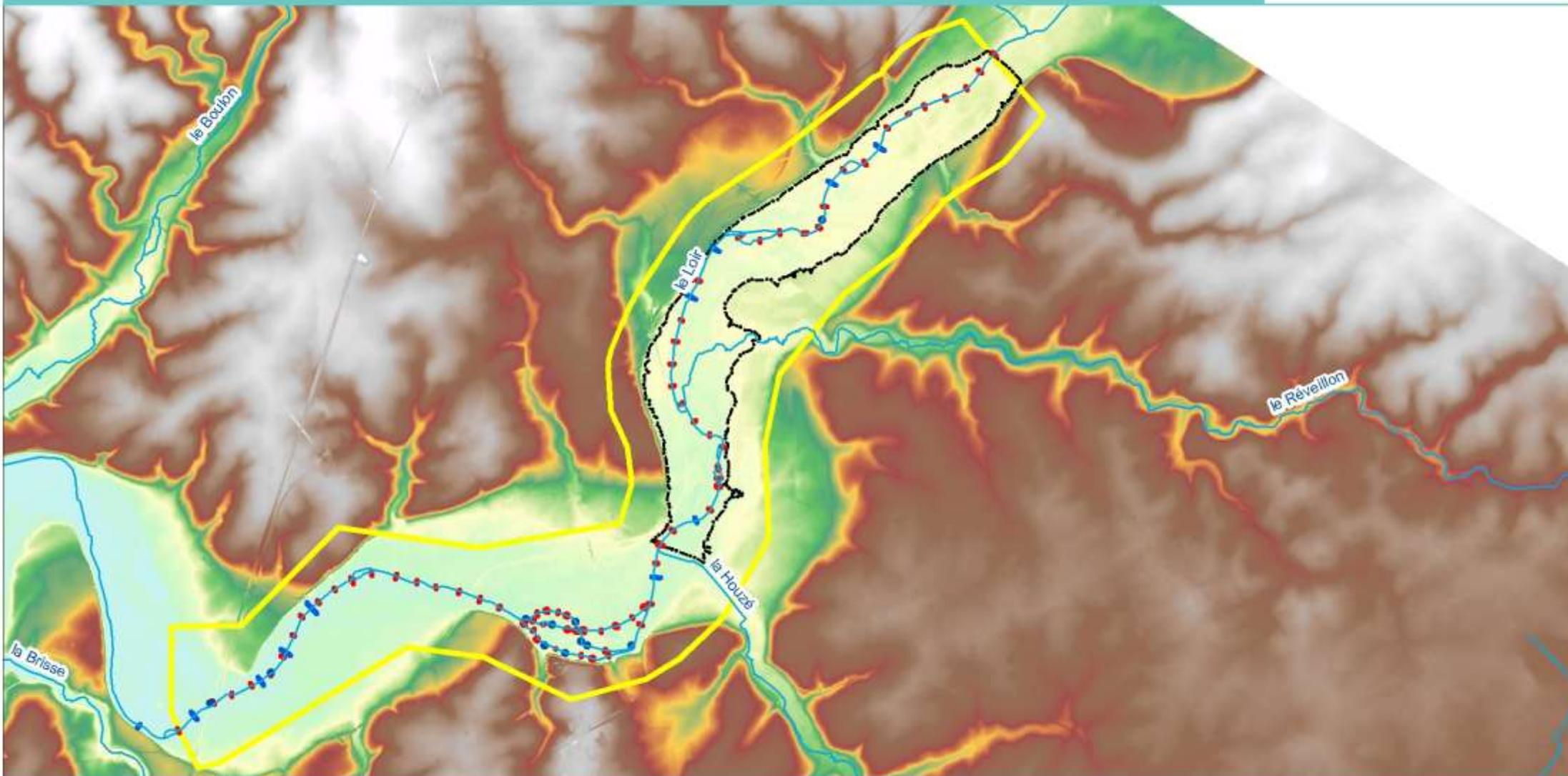
- Modèle hydraulique 1D de la commune de la Flèche réalisé par le CEREMA qui a servi à la DDT de la Sarthe à l'élaboration du PPRi de la Flèche : « Cartographie de la crue type centennale, commune de La Flèche », DDT 72, CEREMA, Octobre 2016. Ce modèle hydraulique, fourni par le CEREMA, comprend 90 profils en travers bathymétriques (dont 32 levés par des géomètres lors d'études antérieures, et 54 levés par le laboratoire de Blois) et 13 ponts et passerelles et 7 seuils caractérisés topographiquement.
- Des levés d'ouvrages issus de l'étude CG72 « Tranchée dans l'ouvrage SNCF de La Flèche, étude hydraulique », BCEOM, 2010.

### 3.1.2 Données topographiques et bathymétriques complémentaires

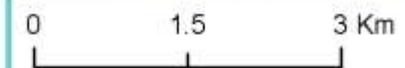
La modélisation hydraulique nécessite une représentation détaillée des écoulements en lit mineur. C'est pourquoi des données topographiques et bathymétriques complémentaires ont été relevées sur le secteur de Vendôme et Montoire-sur-le-Loir.

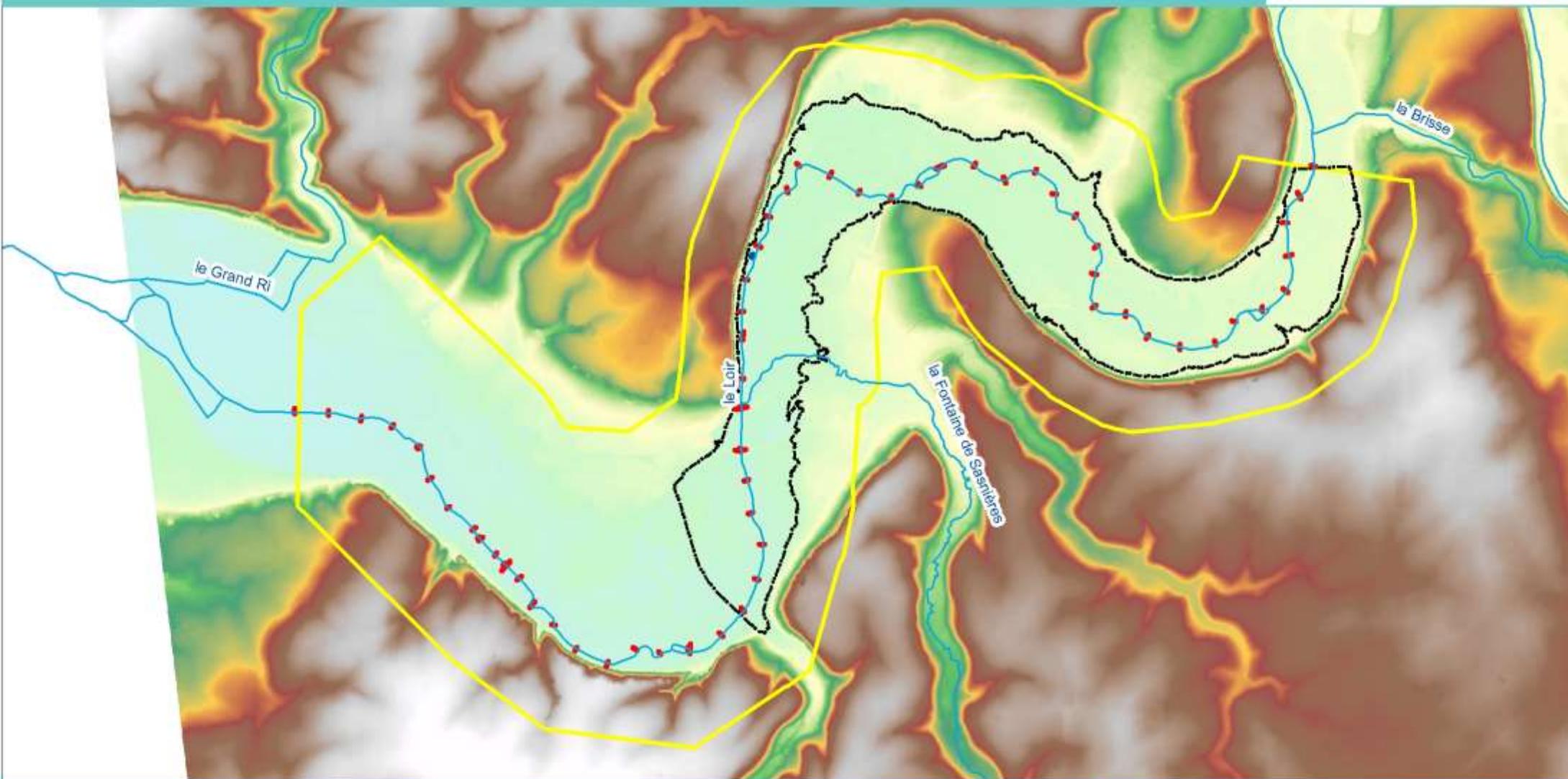
Les implantations des données collectées et des données complémentaires sont figurées sur les cartes ci-après.

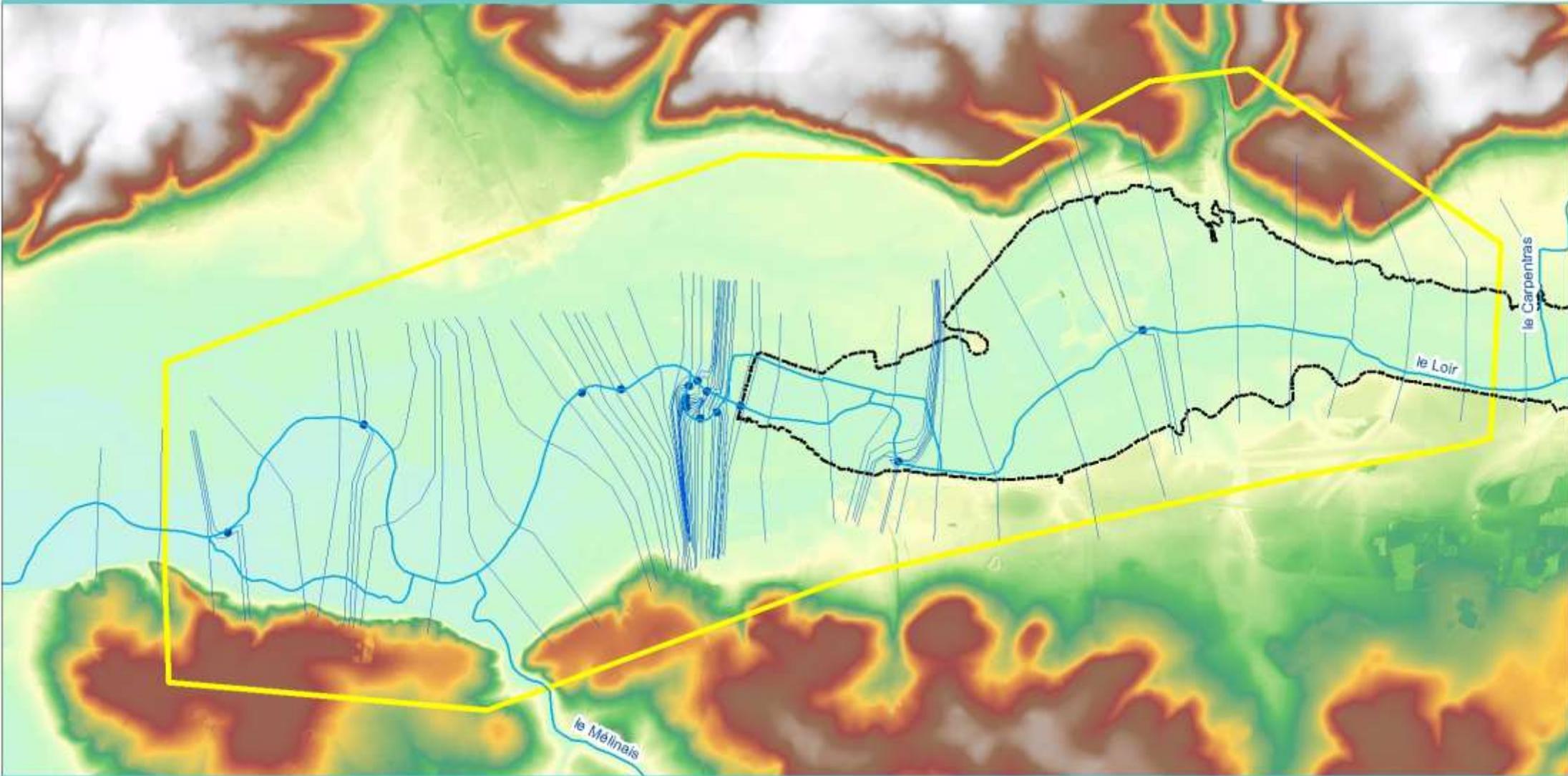
La représentation des principaux lits mineurs dans les ZEC est adaptée à la modélisation des écoulements de crue. En champ majeur, les MNT sont très raffinés (données Lidar) et permettent une représentation fine de la topographique.



- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| Cours d'eau        | Delimitation de la ZEC |
| Ouvrages relevés   | Emprise du modèle      |
| Ouvrages collectés | MNT RGE Alti 5m        |
| Profils collectés  | - Elevée : 149.5       |
| Profils relevés    | - Faible : 71.79       |







- Cours d'eau
- Ouvrages relevés
- Ouvrages collectés
- Profils collectés
- Profils relevés
- Delimitation de la ZEC
- Emprise du modèle
- MNT RGE Alti 5m
  - Elevée : 98.11
  - Faible : 24.06

0 1 2 Km



**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN RGE Alti  
Réalisé le 11/12/2020  
Nom du document :  
Topo\_ZEC\_Loir



# 4 MODELISATION HYDRAULIQUE

## 4.1 CONSTRUCTION DES MODELES HYDRAULIQUES

### 4.1.1 Type et structure des modèles

Les modèles construits sont des modèles bidimensionnels (2D) mis en œuvre avec le logiciel HEC-RAS.

La topographie en champ majeur est représentée par le MNT RGE Alti de l'IGN et les lits mineurs sont représentés par les données bathymétriques décrites au chapitre précédent.

Les modèles présentent un maillage déstructuré. Ce maillage s'appuie sur des lignes de structure représentant les berges, et les remblais en champ majeur (routes et voies ferrées en remblais, digues).

Figure 15 : Modèle de la ZEC de Vendôme

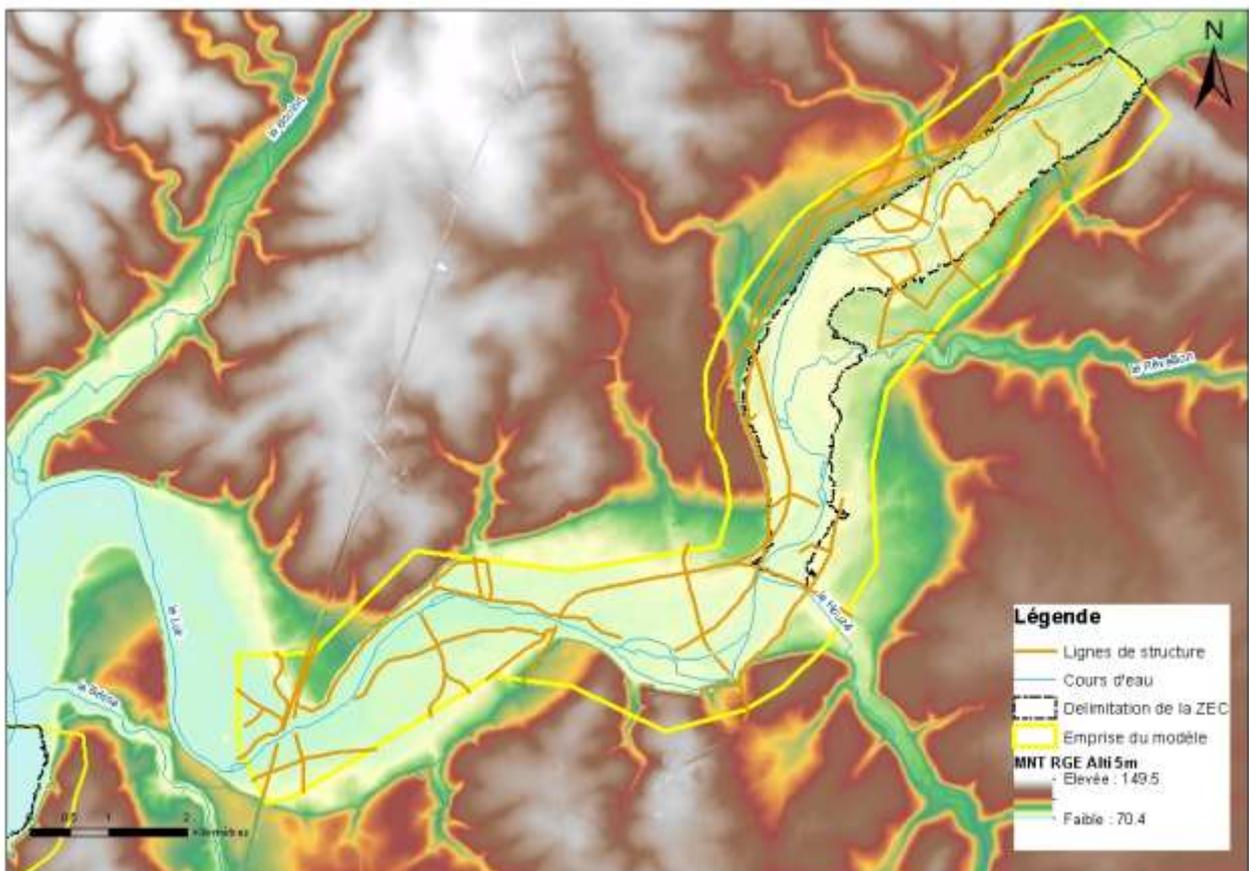




Figure 16 : Modèle de la ZEC de Montoire-sur-le-Loir

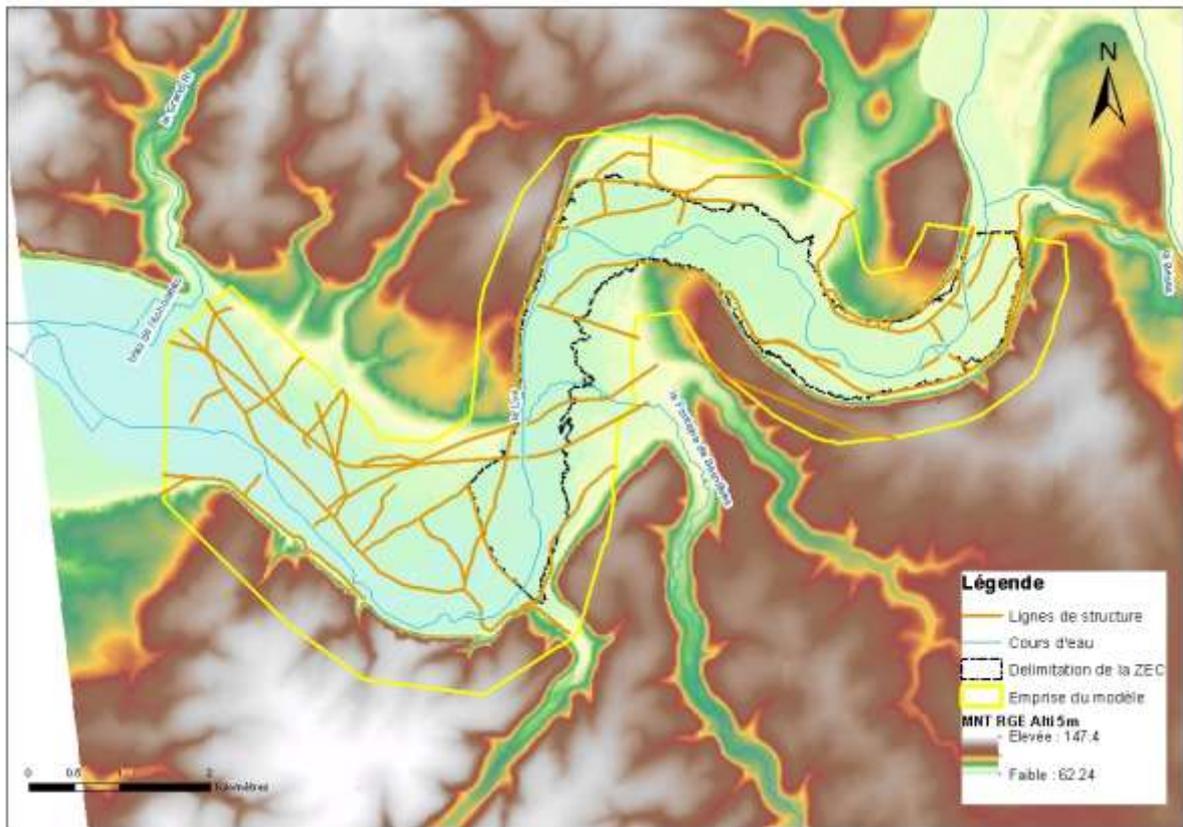
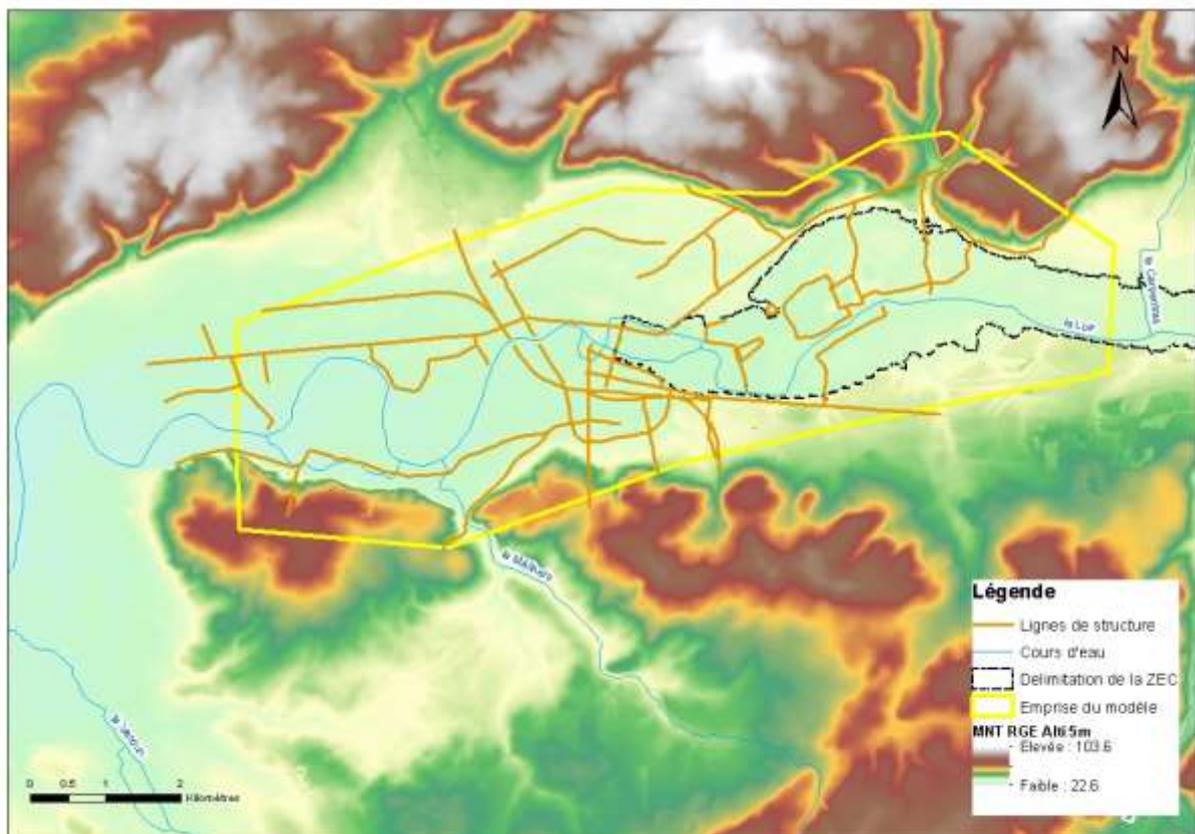


Figure 17 : Modèle de la ZEC de la Flèche





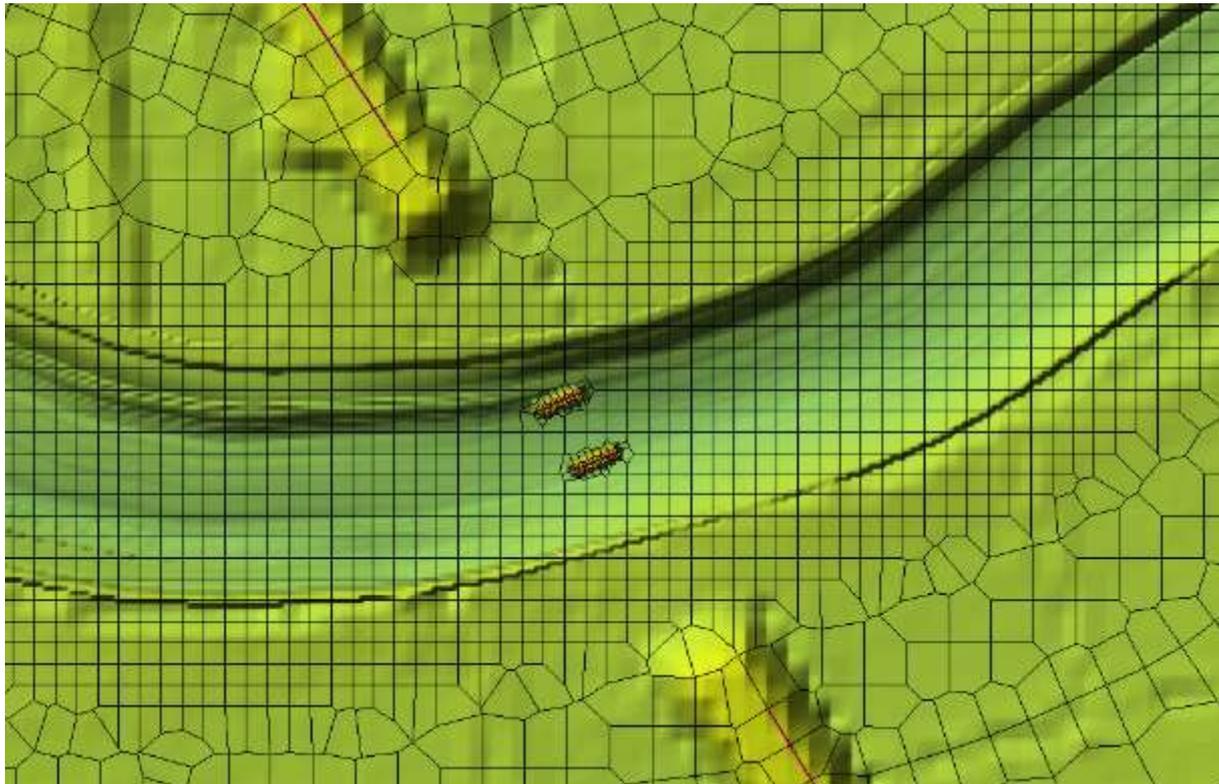
La taille des mailles varie selon les secteurs :

- En champ majeur, la taille de maille varie entre 20 et 10 m
- En lit mineur, la taille de maille est de 5m
- Au droit des singularités, des piles de ponts, des routes et voies ferrées, la taille de maille varie entre 1 et 10m

La figure ci-après illustre la variation de la taille des mailles et l'adaptation du maillage au droit des lignes de structure.

Les maillages ainsi construits comprennent environ 191 000 mailles pour le modèle de la Flèche, 137 000 mailles pour le modèle de Montoire-sur-le-Loir et 177 000 mailles pour le modèle de Vendôme.

Figure 18 : Exemple de variation et d'adaptation du maillage 2D



### 4.1.2 Modélisation des ouvrages

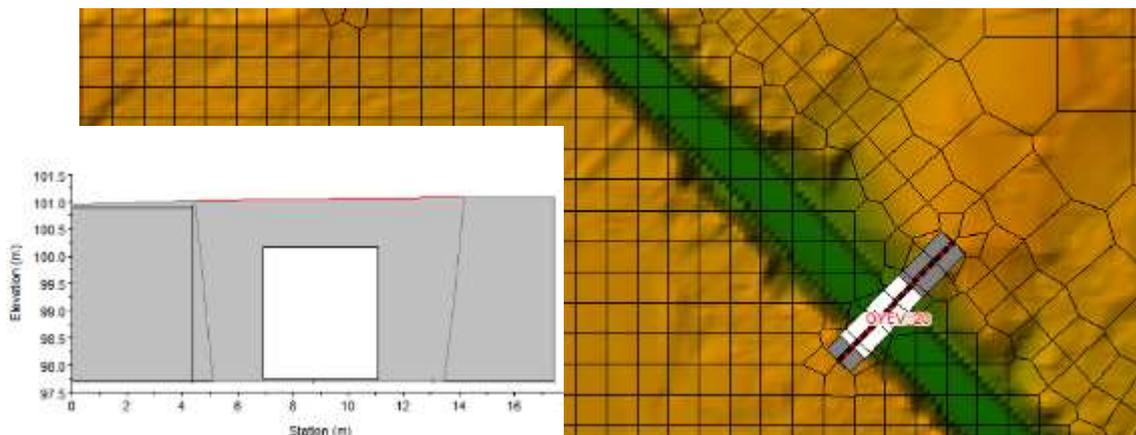
Deux options de représentation des ouvrages en lit mineur sont possibles selon les conditions d'écoulement observées pour les crues testées :

- Les ouvrages mis en charge dès les petites crues sont modélisés en mode 1D, avec prise en compte de la section d'écoulement de l'ouvrage sous le tablier,
- Pour les grands ouvrages, les culées et piles sont représentées en mode 2D (intégrées au MNT). Il est systématiquement vérifié après chaque simulation si ces ouvrages fonctionnent en charge, et si c'est le cas, le mode 1D est appliqué.

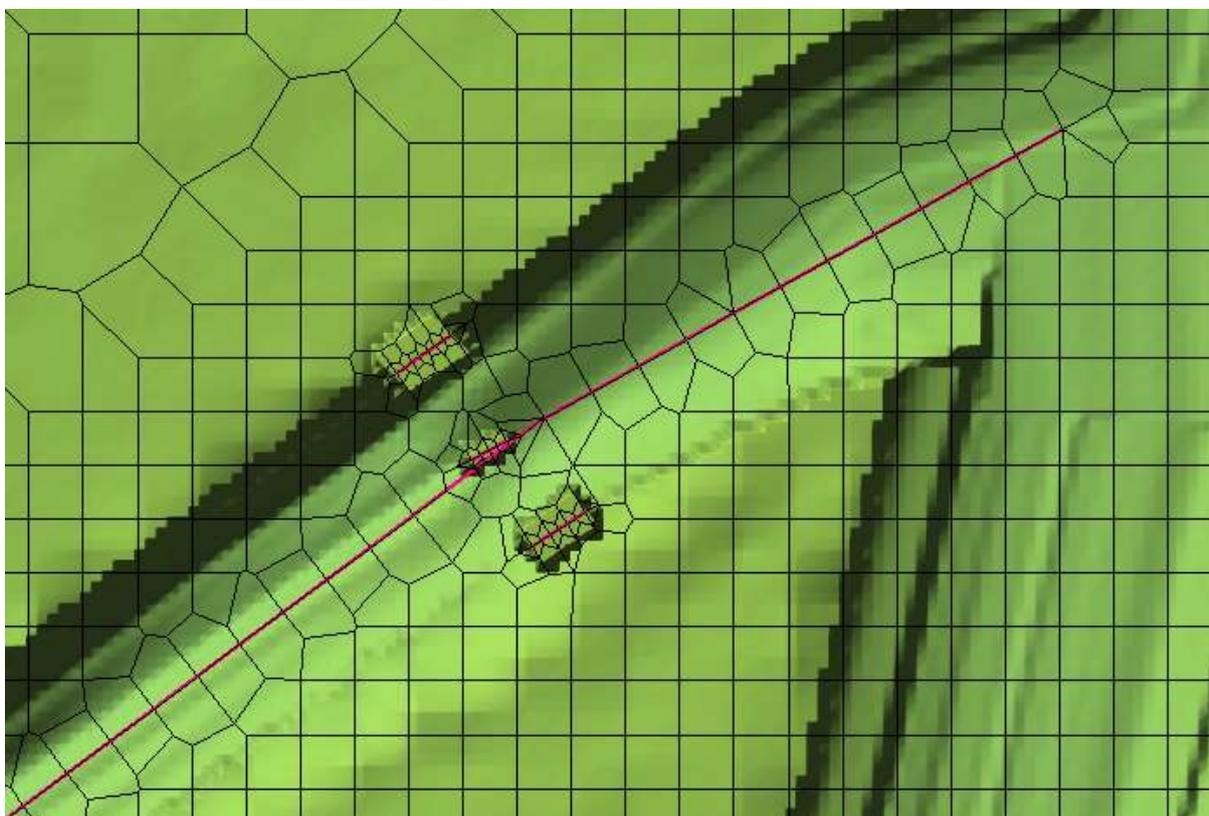


Figure 19 : Illustration des deux options de représentation des ouvrages dans le modèle hydraulique

Option 1 : Intégration en 1D de l'ouvrage



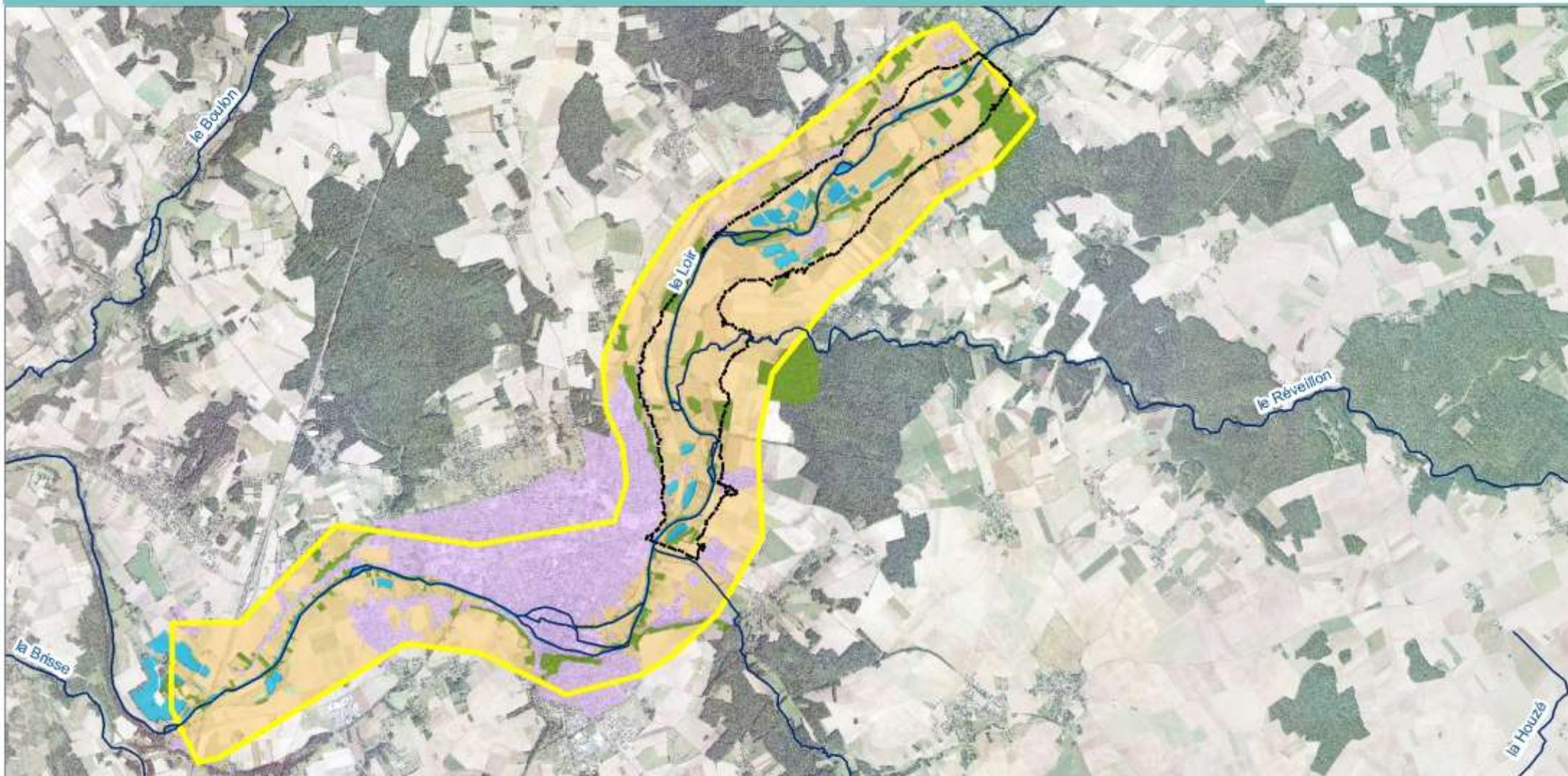
Option 2 : Intégration des culées et des piles au MNT



Les vannes associées aux seuils présentes sur les 3 secteurs sont considérées comme fermées. En effet, les vannes étant étroites, elles sont certainement obstruées par des embâcles lors des crues.

### 4.1.3 Zonage des coefficients de rugosité

Le zonage des coefficients de Strickler (paramètre de rugosité) a été délimité à partir de l'occupation des sols actuelle (photographie aérienne de 2019).



- Cours d'eau
- - - Delimitation de la ZEC
- ▭ Emprise du modèle

**Zonage Strickler**

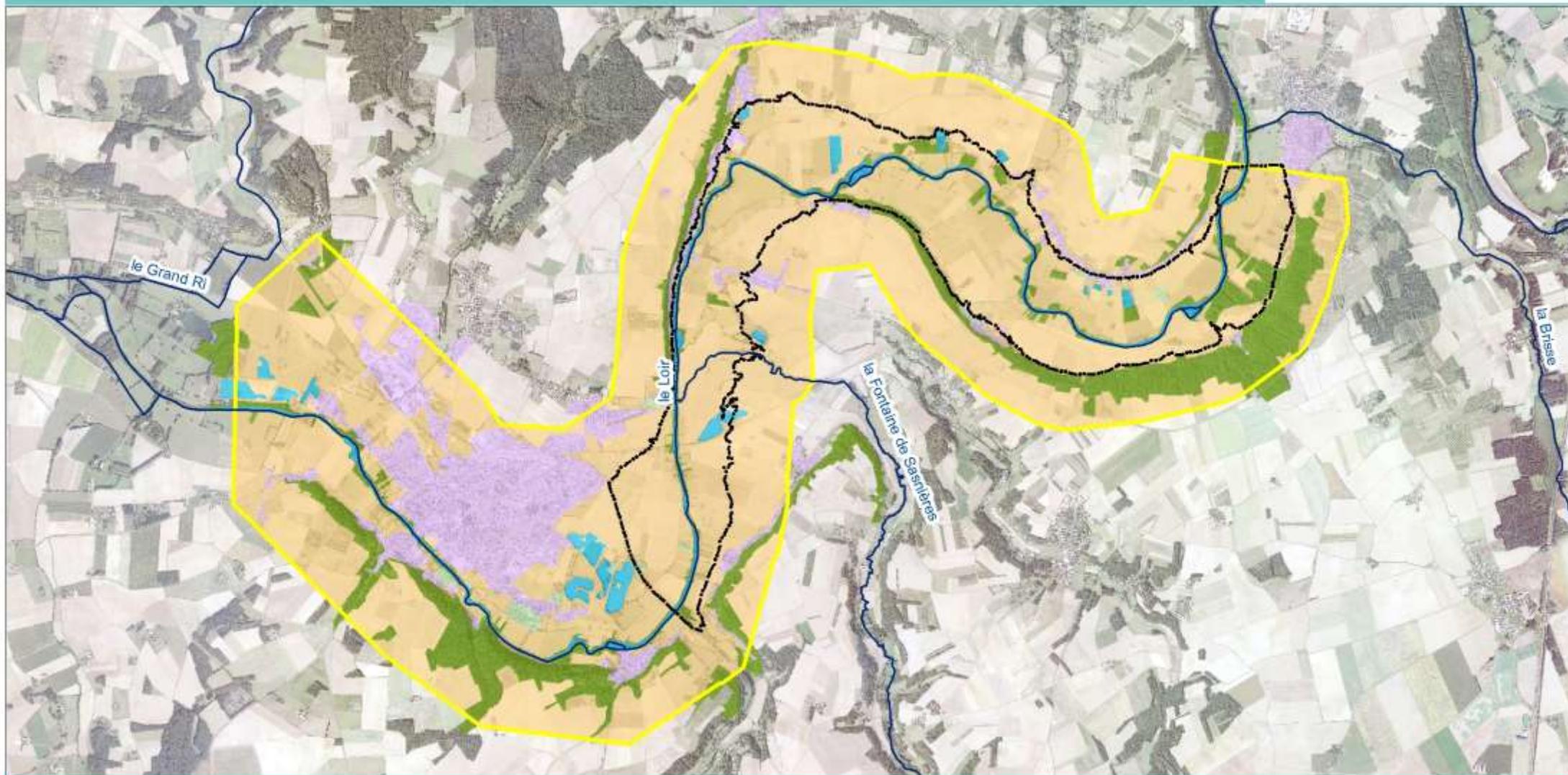
- ▭ Lit mineur ou plan d'eau
- ▭ Zone de végétation dense
- ▭ Zone agricole
- ▭ Zone de végétation moins dense
- ▭ Zone urbaine

0 1.5 3 Km



**BRL**  
Ingénierie

Sources : BDOrtho  
Réalisé le 15/12/2020  
Nom du document :  
Zonage\_Strickler\_ZEC\_Loir



- Cours d'eau
- - - Delimitation de la ZEC
- ▭ Emprise du modèle

**Zonage Strickler**

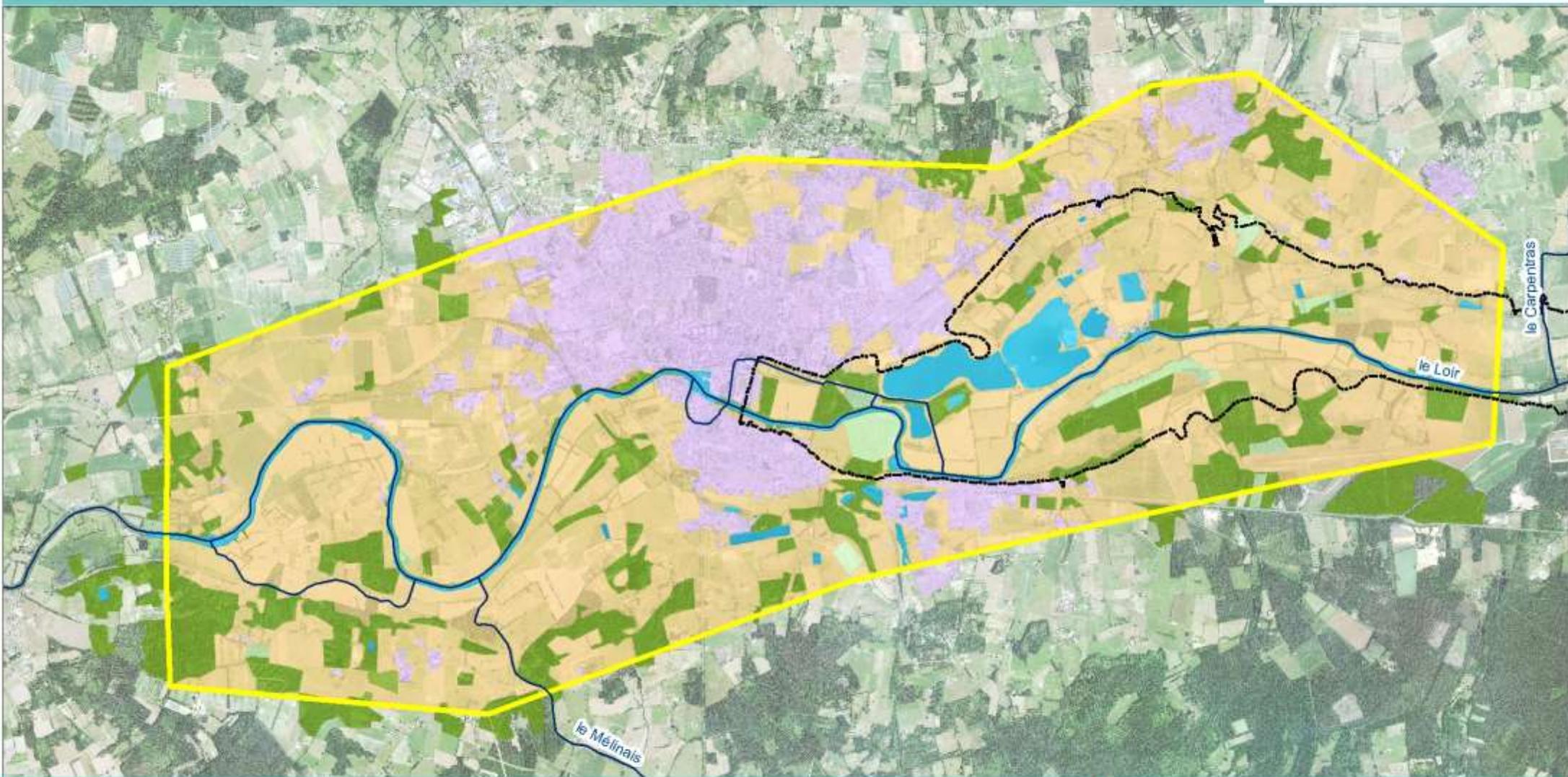
- ▭ Lit mineur ou plan d'eau
- ▭ Zone de végétation dense
- ▭ Zone agricole
- ▭ Zone de végétation moins dense
- ▭ Zone urbaine

0 1 2 Km



**BRL**  
Ingénierie

Sources : BDOrtho  
Réalisé le 15/12/2020  
Nom du document :  
Zonage\_Strickler\_ZEC\_Loir



- Cours d'eau
- - - Delimitation de la ZEC
- ▭ Emprise du modèle

**Zonage Strickler**

- ▭ Lit mineur ou plan d'eau
- ▭ Zone de végétation dense
- ▭ Zone agricole
- ▭ Zone de végétation moins dense
- ▭ Zone urbaine





## 4.2 CALAGE ET TESTS DE SENSIBILITE

### 4.2.1 Calage

#### 4.2.1.1 Analyse préalable des repères de crue

L'analyse de la base de données des repères de crue (PHE) met en évidence la crue de janvier 1995 pour laquelle il y a le plus de repères et la mesure de débit aux stations hydrométriques. Cette crue correspond à une période de retour entre 20 et plus de 50 ans selon le secteur et les estimations hydrologiques.

Sur la ZEC de Vendôme on dispose de 4 repères de la crue de 1995 nivelés en m NGF.

Sur la ZEC de la Flèche on dispose de 48 repères de la crue de 1995 transmis par le CEREMA dont 39 nivelés.

Sur la ZEC de Montoire-sur-le-Loir, aucun repère d'aucune crue n'est disponible.

Les cartes ci-dessous localisent les repères de crue sur les ZEC de Vendôme et la Flèche.

Figure 23 : Repères de crue de janvier 1995 sur la ZEC de Vendôme

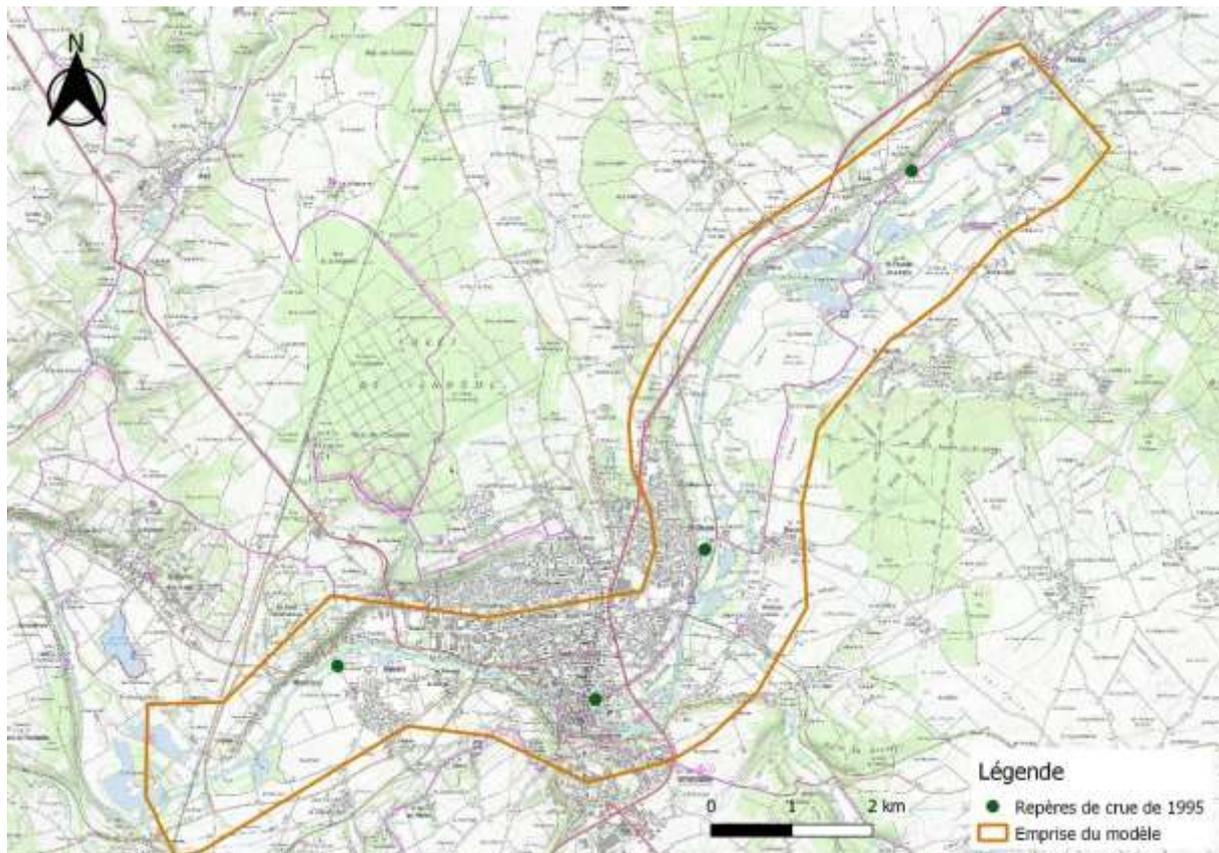
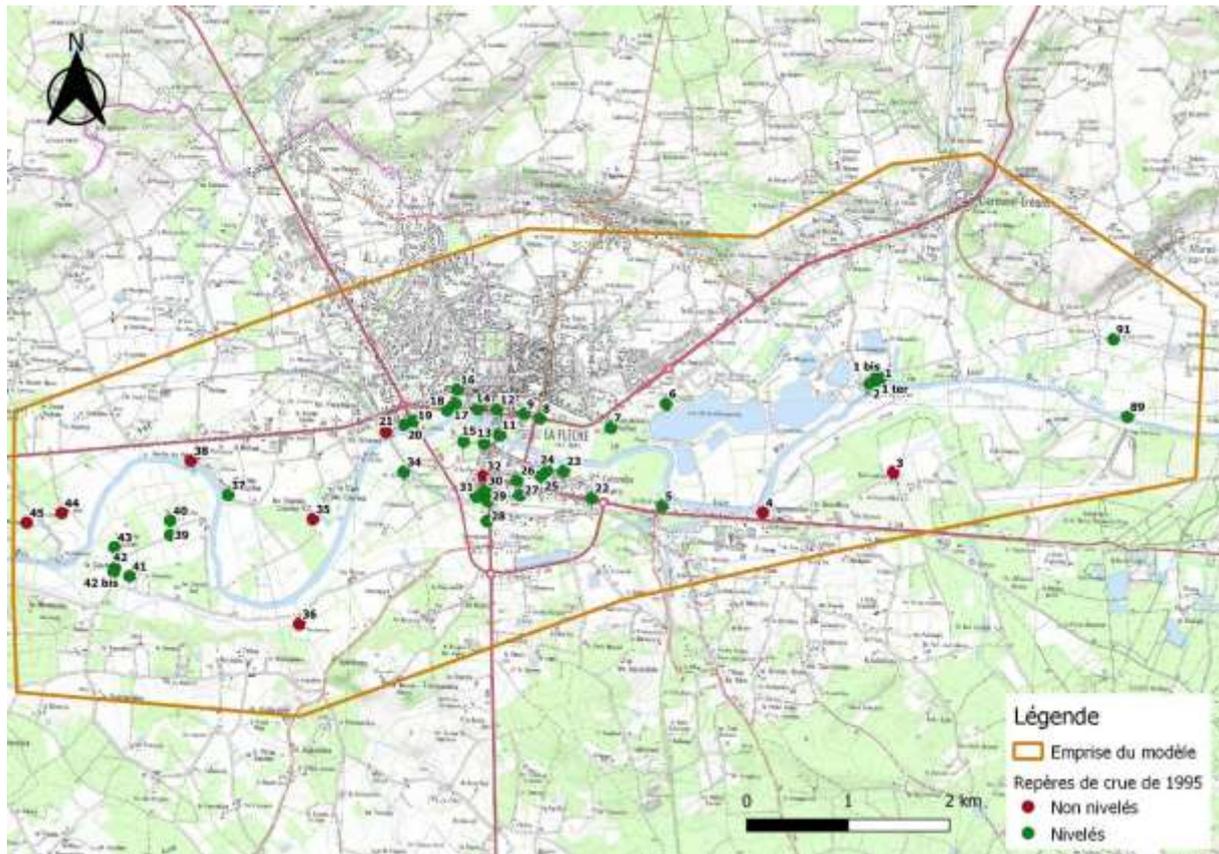




Figure 24 : Repères de crue de janvier 1995 sur la ZEC de la Flèche



28

Parmi les repères nivelés de la Flèche, deux ont été écartés avant d'effectuer le calage :

- Le repère n°29 : il présente une cote inférieure de 3.4m par rapport aux autres PHE à proximité
- Le repère n°37 : il présente une cote supérieure de 50, 60 cm par rapport aux autres PHE à proximité. Ce repère a également été écarté du calage par le CEREMA.

#### 4.2.1.2 Hydrogrammes de la crue de janvier 1995

La simulation de la crue de calage est menée en mode transitoire. Les hydrogrammes mesurés aux stations de Villavard et Durtal sont injectés dans les modèles correspondants.



Figure 25 : Hydrogrammes de la crue de janvier 1995 mesurés aux stations hydrométriques



Les dates d'observation et les valeurs des débits de pointe mesurées aux stations sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Date d'observation et valeurs des débits de pointe de la crue de 1995

CODE ZEC	CODE	STATION	DEBITS DE POINTES (M3/s)	DATE ET HEURE
2L La Flèche	M1531610	Durtal	457	29/01/1995 à 02:00
4L Montoire-sur-le-Loir 5L Vendôme	M1151610	Villavard	241	25/01/1995 à 19:00

### 4.2.1.3 Résultats du calage

Le calage consiste à régler les paramètres du modèle (coefficient de rugosité) pour ajuster les résultats afin de représenter au mieux une crue réelle observée.

Les coefficients de rugosité (Strickler) retenus sur les ZEC de Vendôme et de la Flèche à l'issue du calage sur la crue de janvier 1995 sont présentés dans le tableau ci-après. Ces valeurs ont également été utilisées pour la ZEC de Montoire-sur-le-Loir, pour laquelle la démarche de calage n'a pu être menée.

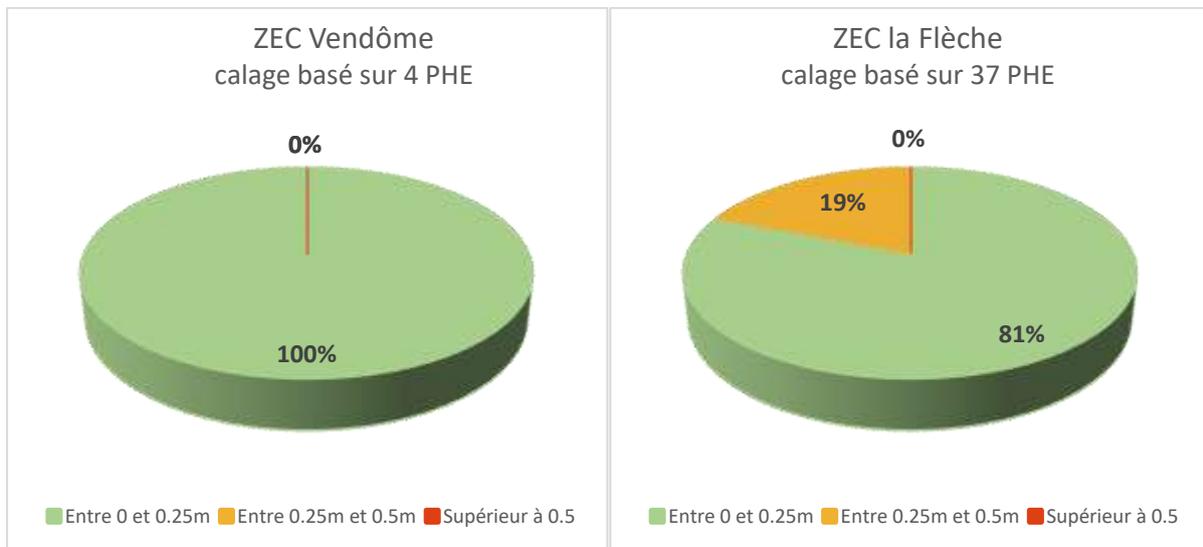


Tableau 5 : Paramètres de rugosité retenus à l'issue du calage

	PARAMETRES DE RUGOSITE (K) RETENUS POUR LES 3 ZEC
Lit mineur/ Plan d'eau	20
Zone agricole	15
Zone de végétation dense	8
Zone de végétation moins dense	10
Zone urbaine	8

Les résultats sont synthétisés via les diagrammes ci-dessous. Il présente le pourcentage de repères de crue selon l'écart entre la cote calculée et la cote observée.

Figure 26 : Pourcentage des écarts aux repères dans chaque intervalle



Les résultats sont également présentés sur les cartes en annexe 2.

Le calage est considéré comme satisfaisant pour les 2 modèles.



## 4.2.2 Tests de sensibilité aux paramètres de rugosité

L'analyse de sensibilité des modèles aux coefficients de Strickler a été effectuée sur la crue de projet vicennale. Les coefficients ont été augmentés et diminués de 20 %.

Tableau 6 : Gammes de coefficients de Strickler testées sur les 3 ZEC

		GAMMES DE COEFFICIENTS DE STRICKLER (K) TESTÉES		
		GAMME RETENUE (K)	GAMME 1 AUGMENTATION DE LA RUGOSITE (K-20%)	GAMME 2 DIMINUTION DE LA RUGOSITE (K+20%)
Lit mineur		20	16	24
Lit majeur	Zone agricole	15	12	18
	Zone de végétation dense	8	6.4	9.6
	Zone de végétation moins dense	10	8	12
	Zone urbaine	8	6.4	9.6

Les cartographies de l'impact de l'augmentation et de l'abaissement de la rugosité sont présentées en annexe 3.

Globalement, on constate que les impacts sur les hauteurs d'eau sont modérés, à l'exception de quelques secteurs localisés.

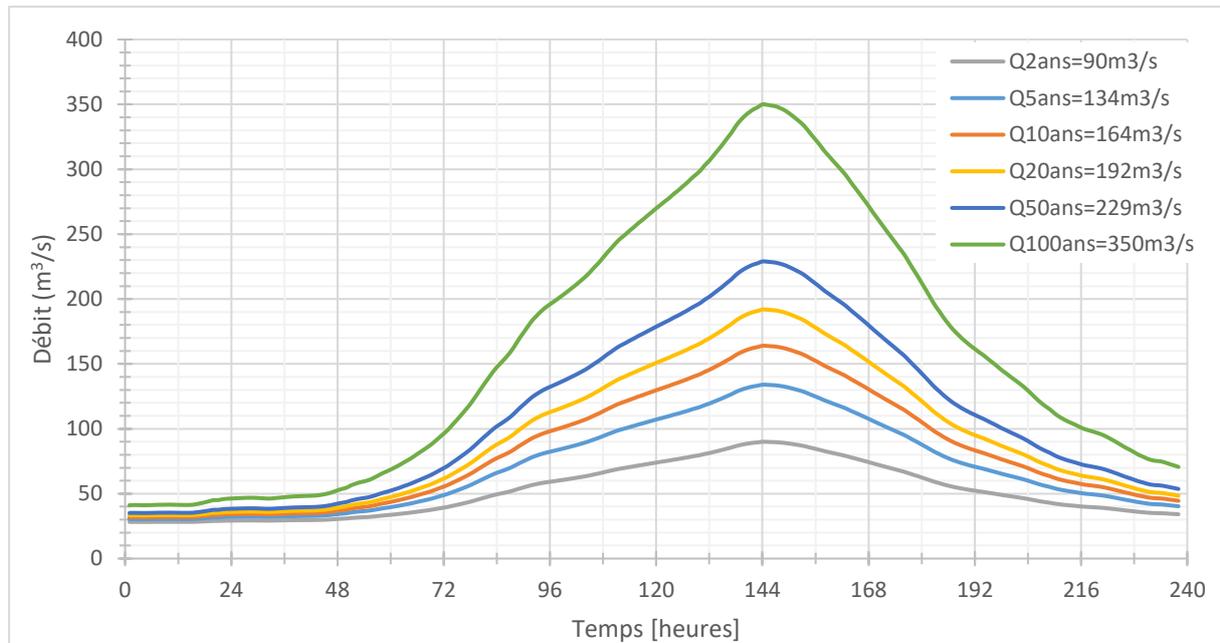


## 4.3 SIMULATIONS DES CRUES, FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

### 4.3.1.1 ZEC 5L Vendôme

Le graphe ci-dessous présente les hydrogrammes des crues de projet simulées dans la ZEC.

Figure 27 : Hydrogrammes des crues simulées



Les premiers débordements du Loir sont observés dès le scénario de crue de débit 90 m<sup>3</sup>/s (période de retour 2 ans) en zone agricole.

Dans ces secteurs inondés, les hauteurs d'eau sont faibles, majoritairement inférieures à 0,5 m.

L'emprise de la zone inondable et les hauteurs d'eau augmentent progressivement avec l'ampleur des crues.

Pour le scénario de crue 134 m<sup>3</sup>/s (5 ans), le Loir inonde les premiers bâtiments sur la ZEC dans le secteur de Fortunas (commune de Lisle) et en aval de la ZEC à la sortie de Vendôme, en rive droite et en amont de la voie ferrée.

Les crues de débits 164 m<sup>3</sup>/s et 192 m<sup>3</sup>/s (20 ans) débordent à l'entrée de la ville de Vendôme au niveau du pont RN10. Sur la commune de Naveil, la zone inondable est très proche des habitations.

Les hauteurs d'eau dans ces secteurs urbanisés sont globalement inférieures à 1 m.

Les débordements s'étendent d'avantage dans le centre de la ville de Vendôme à partir du scénario de crue 229 m<sup>3</sup>/s (50 ans).

Pour la crue de 350 m<sup>3</sup>/s (100 ans), sur la ZEC les secteurs suivants sont inondés :

- Quelques bâtiments dans le secteur de Fortunas sur la commune de Lisle
- Une partie d'un lotissement à Saint-Firmin-des-Près
- Quelques enjeux à Areines
- Quelques enjeux à Meslay
- Le lieu-dit de la Planchette à Saint-Ouen



En aval de la ZEC, les enjeux suivants sont inondés :

- Une grosse partie de la zone urbaine de Vendôme située en rive droite entre le Loir et la voie ferrée (comprenant hôpital, mairie, stade ...)
- Des habitations en bordure du Loir en rive gauche et droite sur la commune de Naveil

Les hauteurs peuvent atteindre 1 à 2m (hors zone de cuvette) en champ majeur et les vitesses d'écoulement sont majoritairement inférieures à 0.5m/s.

Les remous au droit des ouvrages de franchissement en charge sont très faibles.

Les cartes des hauteurs d'eau et des vitesses des crues de projet simulées sont fournies en annexe.

Les résultats obtenus pour chaque période de retour en termes de surface, volume, écrêtement sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

### DEBIT DE PREMIERS DEBORDEMENTS, SUPERFICIES ET VOLUMES D'INONDATION

Les premiers débordements en dehors du lit mineur s'observent à partir d'un débit du Loir de 60 m<sup>3</sup>/s, un peu avant le pic de la crue 2 ans.

T (PERIODE DE RETOUR EN ANNEES)	2	5	10	20	50	100
DEBIT DE POINTE (M <sup>3</sup> /S)	90	134	164	192	229	350
SURFACE TOTALE INONDEE (HA)	416	614	694	762	845	1070
VOLUME EN CHAMP MAJEUR* (MILLION DE M <sup>3</sup> )	2	4	5	6	7	12
VOLUME DE L'HYDROGRAMME DE CRUE AU-DESSUS DU DEBIT DES PREMIERS DEBORDEMENTS* (MILLION DE M <sup>3</sup> )	5	17	26	35	47	89

\*pour les maximums des hauteurs d'eau

### ECRETEMENT

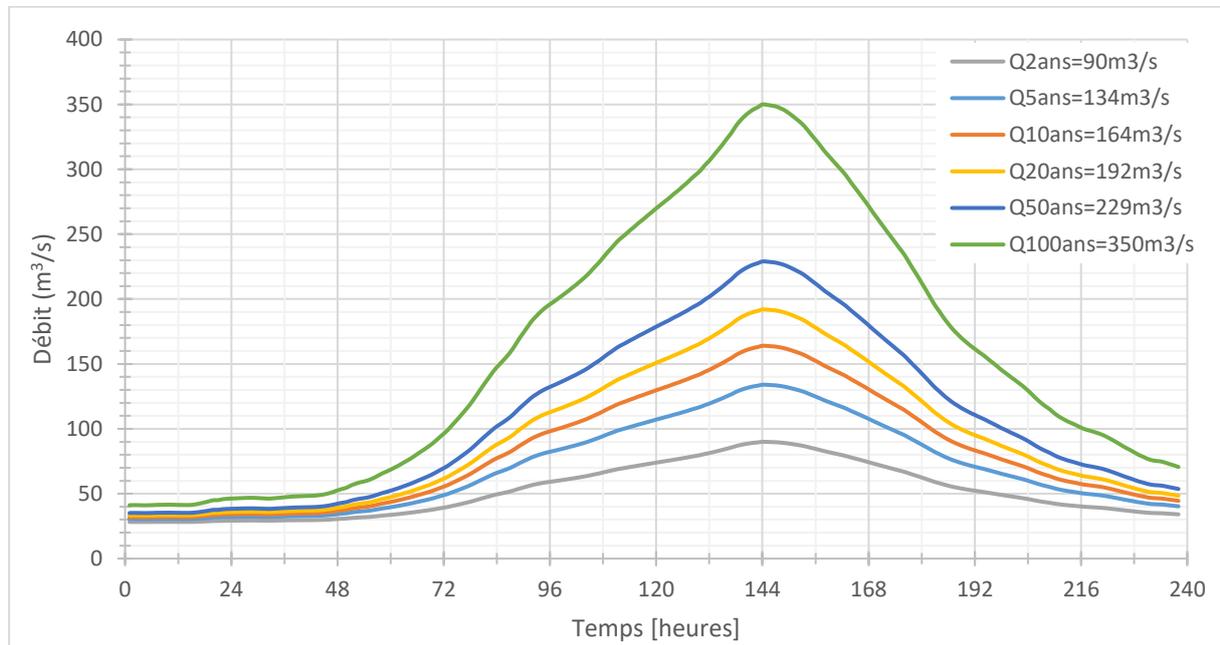
T (PERIODE DE RETOUR EN ANNEES)	2	5	10	20	50	100
DEBIT DE POINTE INJECTE (M <sup>3</sup> /S)	90	134	164	192	229	350
DEBIT CALCULE EN SORTIE DE LA ZEC (M <sup>3</sup> /S)	87	131	162	189	226	347
ECRETEMENT (M <sup>3</sup> /S)	3	3	2	3	3	3
ECRETEMENT (%)	3.3%	2.0%	1.4%	1.5%	1.1%	0.8%



### 4.3.1.2 ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir

Le graphe ci-dessous présente les hydrogrammes des crues de projet simulées dans la ZEC.

Figure 28 : Hydrogrammes des crues simulées



Les premiers débordements du Loir sont observés dès le scénario de crue de débit 90 m<sup>3</sup>/s (période de retour 2 ans) en zone agricole.

Dans ces secteurs inondés, les hauteurs d'eau sont faibles, majoritairement inférieures à 0,5 m.

L'emprise de la zone inondable et les hauteurs d'eau augmentent progressivement avec l'ampleur des crues.

Pour le scénario de crue 134 m<sup>3</sup>/s (5 ans), le Loir inonde, en sortie de ZEC, les premiers bâtiments à la traversée de Montoire-sur-le-Loir (dont un camping).

Les crues de débit 164 m<sup>3</sup>/s (10 ans) et de 192 m<sup>3</sup>/s (20ans) impactent les secteurs de La Folie sur la commune de Lavardin (aval de la ZEC) et de Saint-Nicolas à Saint-Rimay (sur la ZEC) respectivement.

Les hauteurs d'eau dans ces secteurs urbanisés sont globalement inférieures à 0.5 m.

Des débordements dans le centre de la ville de Montoire-sur-le-Loir s'observent à partir du scénario de crue 229 m<sup>3</sup>/s (50 ans).

Avec la crue de 350 m<sup>3</sup>/s (100 ans), une grande partie de Montoire-sur-le-Loir est inondée. Les hauteurs peuvent atteindre 1 à 2m (hors zone de cuvette) en champ majeur et les vitesses d'écoulement sont majoritairement inférieures à 0.5m/s.

Les remous au droit des ouvrages de franchissement en charge sont de 15 à 40 cm.

Les cartes des hauteurs d'eau et des vitesses des crues de projet simulées sont fournies en annexe.

Les résultats obtenus pour chaque période de retour en termes de surface, volume, écrêtement sont présentés dans les tableaux ci-dessous.



### DEBIT DE PREMIERS DEBORDEMENTS, SUPERFICIES ET VOLUMES D'INONDATION

Les premiers débordements en dehors du lit mineur s'observent à partir d'un débit du Loir de 60 m<sup>3</sup>/s, un peu avant le pic de la crue 2 ans.

T (PERIODE DE RETOUR EN ANNEES)	2	5	10	20	50	100
DEBIT DE POINTE (M <sup>3</sup> /S)	90	134	164	192	229	350
SURFACE TOTALE INONDEE (HA)	439	606	717	782	858	1037
VOLUME EN CHAMP MAJEUR* (MILLION DE M <sup>3</sup> )	2	3	5	6	7	11
VOLUME DE L'HYDROGRAMME DE CRUE AU-DESSUS DU DEBIT DES PREMIERS DEBORDEMENTS* (MILLION DE M <sup>3</sup> )	5	17	26	35	47	89

\*pour les maximums des hauteurs d'eau

### ECRETEMENT

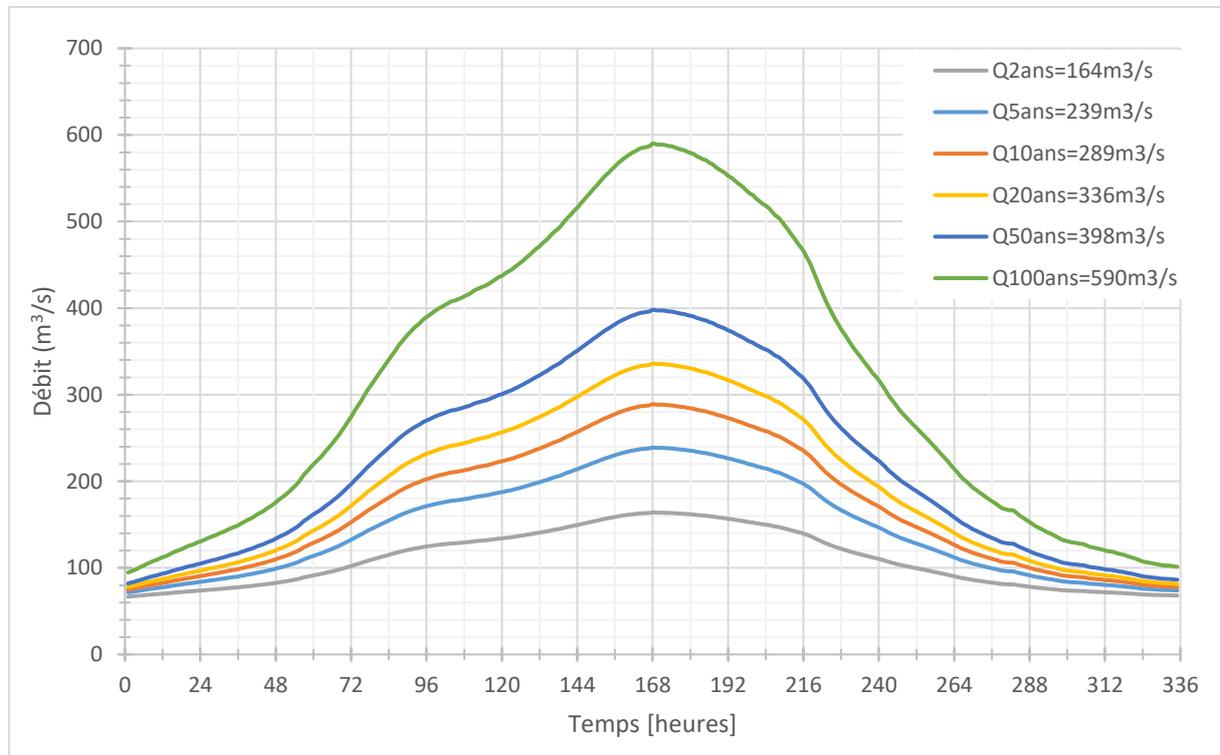
T (PERIODE DE RETOUR EN ANNEES)	2	5	10	20	50	100
DEBIT DE POINTE INJECTE (M <sup>3</sup> /S)	90	134	164	192	229	350
DEBIT CALCULE EN SORTIE DE LA ZEC (M <sup>3</sup> /S)	88	132	160	190	227	347
ECRETEMENT (M <sup>3</sup> /S)	2	2	4	2	2	3
ECRETEMENT (%)	1.9%	1.7%	2.4%	0.9%	0.9%	0.8%



### 4.3.1.3 ZEC 2L la Flèche

Le graphe ci-dessous présente les hydrogrammes des crues de projet simulées dans la ZEC de la Flèche.

Figure 29 : Hydrogrammes des crues simulées



Les premiers débordements du Loir sont observés dès le scénario de crue de débit  $164 \text{ m}^3/\text{s}$  (période de retour 2 ans) en zone agricole principalement. En aval de la ZEC, au niveau de la commune de la Flèche, le camping et le skate park sont touchés par ces débordements. Dans ces secteurs inondés, les hauteurs d'eau sont inférieures à 1 m.

L'emprise de la zone inondable et les hauteurs d'eau augmentent progressivement avec l'ampleur des crues.

Pour le scénario de crue  $289 \text{ m}^3/\text{s}$  (10 ans), le Loir inonde, à la traversée de la Flèche, le stade et les premières habitations en rive gauche et droite

La crue de débit  $336 \text{ m}^3/\text{s}$  (20 ans) impacte le secteur Les Belles Ouvrières sur la commune de Clermont-Créans sur la ZEC. En aval, la zone inondable s'étend un peu plus dans la ville de la Flèche en rive droite principalement avec notamment la sous-préfecture et une école touchées. Les hauteurs d'eau dans ces secteurs urbanisés sont globalement inférieures à 0.5 m. Au niveau du camping et du skate park, 1 à 2 m d'eau sont observés.

Des débordements importants rive gauche s'observent dans la zone urbaine de la Flèche à partir du scénario de crue  $398 \text{ m}^3/\text{s}$  (50 ans).

Avec la crue de  $590 \text{ m}^3/\text{s}$  (100 ans), le secteur de la Foussayere sur la commune de Clermont-Créans (ZEC) et une grande partie de la ville de la Flèche sont inondés. En champ majeur, les hauteurs peuvent atteindre 1 à 2m voire supérieur à 2 m. Les vitesses d'écoulement sont majoritairement inférieures à 0.5 m/s, mais elles sont plus élevées dans les lits mineurs et au niveau des ouvrages.

Les remous au droit des ouvrages de franchissement en charge sont très faibles.

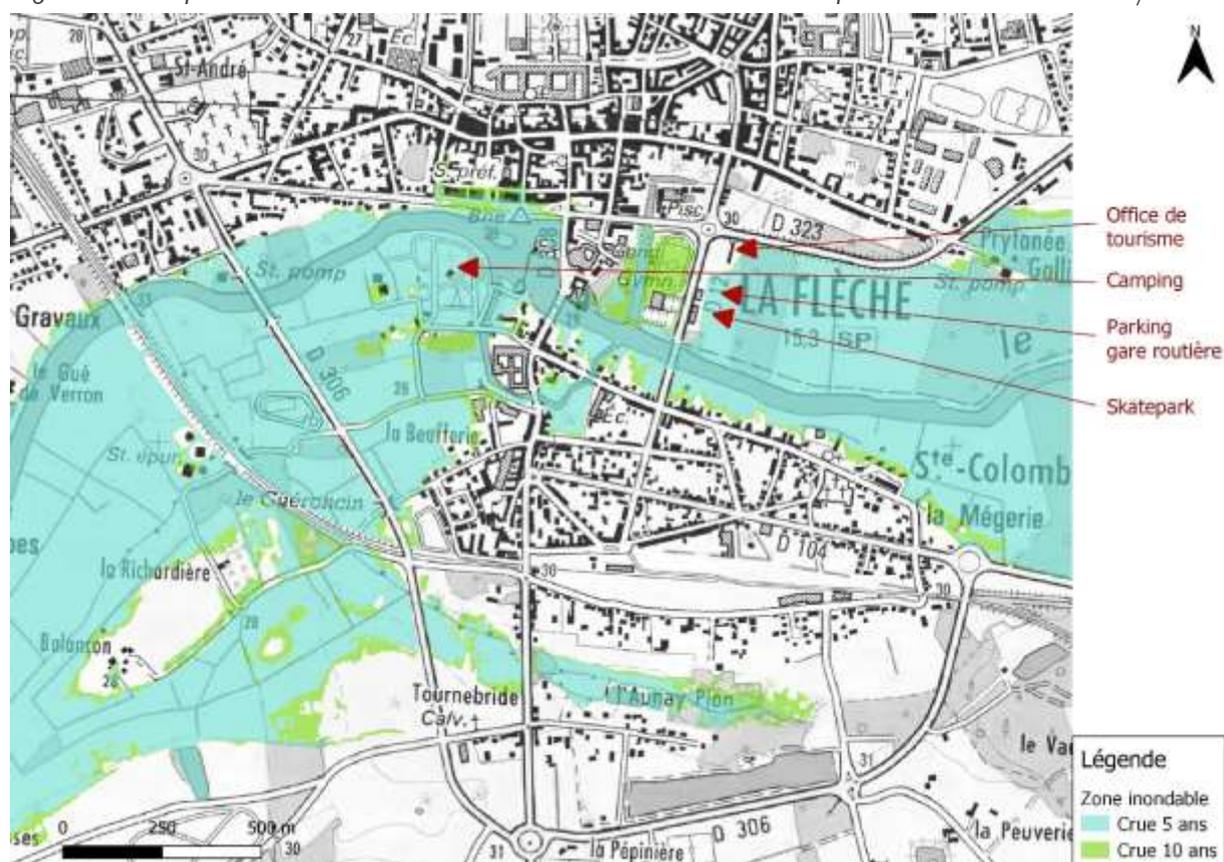
Les cartes des hauteurs d'eau et des vitesses des crues de projet simulées sont fournies en annexe.

### Crue de mars 2020

Les résultats du modèle hydraulique pour la crue 5 et 10 ans sont en adéquation avec les observations de terrain de la Communauté de Communes du Pays Fléchois (voir figure ci-dessous). En effet le 8 mars 2020, la commune de La Flèche est touchée par une crue de période de retour comprise entre 5 et 10 ans (débit de 256 m<sup>3</sup>/s mesuré à la station de Durtal).

D'après le témoignage et les photos recueillies, cet évènement a inondé le camping de La Flèche ainsi que le skatepark et le parking de la gare routière et de l'office de tourisme. Certaines caves ont été inondées, certaines rues dans le centre-ville également et la route départementale RD323 dans le centre de La Flèche a failli être coupée à quelques centimètres près (Axe Le Mans / Angers).

Figure 30 : Comparaison des résultats du modèle avec les observations terrains pour une crue d'occurrence 5/10 ans





Les résultats obtenus pour chaque période de retour en termes de surface, volume, écrêtement sont présentés dans les tableaux ci-après.

### DEBIT DE PREMIERS DEBORDEMENTS, SUPERFICIES ET VOLUMES D'INONDATION

Les premiers débordements en dehors du lit mineur s'observent à partir d'un débit du Loir de 100 m<sup>3</sup>/s, un peu avant le pic de la crue 2 ans.

T (PERIODE DE RETOUR EN ANNEES)	2	5	10	20	50	100
DEBIT DE POINTE (M <sup>3</sup> /S)	164	239	289	336	398	590
SURFACE TOTALE INONDEE (HA)	609	885	1009	1103	1221	1538
VOLUME EN CHAMP MAJEUR* (MILLION DE M <sup>3</sup> )	2	6	8	10	12	19
VOLUME DE L'HYDROGRAMME DE CRUE AU-DESSUS DU DEBIT DES PREMIERS DEBORDEMENTS* (MILLION DE M <sup>3</sup> )	24	63	90	116	151	262

\*pour les maximums des hauteurs d'eau

### ECRETEMENT

T (PERIODE DE RETOUR EN ANNEES)	2	5	10	20	50	100
DEBIT DE POINTE INJECTE (M <sup>3</sup> /S)	164	239	289	336	398	590
DEBIT CALCULE EN SORTIE DE LA ZEC (M <sup>3</sup> /S)	163	236	285	330	392	584
ECRETEMENT (M <sup>3</sup> /S)	1	3	4	6	6	6
ECRETEMENT (%)	0.7%	1.2%	1.3%	1.9%	1.5%	1%



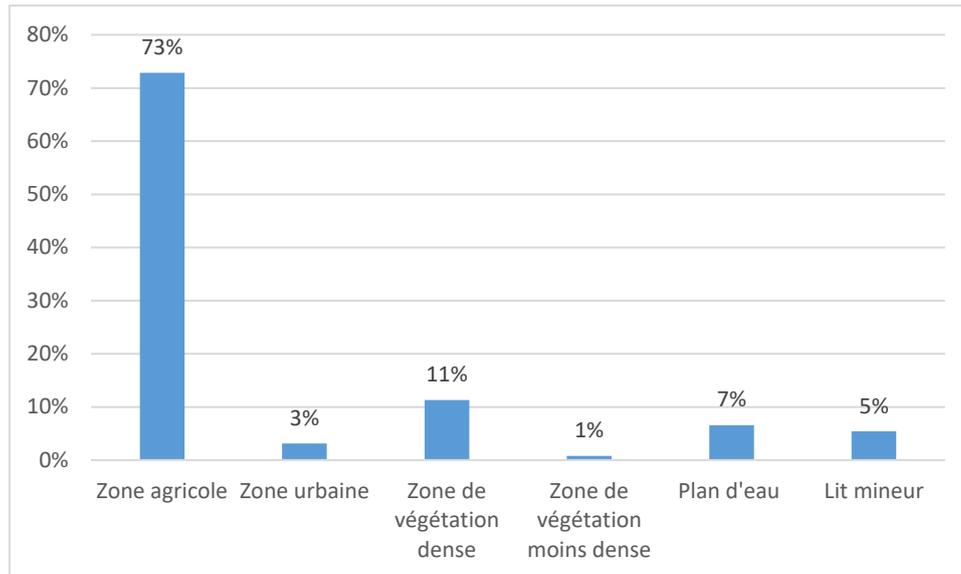
# 5 PISTES D'AMENAGEMENT OU DE GESTION

## 5.1.1 ZEC 5L Vendôme

### OCCUPATION DES SOLS

L'occupation des sols sur la ZEC est répartie de la manière suivante :

Figure 31 : Occupation des sols de la ZEC de Vendôme



Deux tests d'augmentation de la rugosité ont été effectués sur la crue vicennale :

- Remplacement de la rugosité des zones agricoles ( $K = 15$ ) par une rugosité correspondant à une végétalisation importante ( $K = 8$ ).
- Augmentation globale de la rugosité de 20%.

Tableau 7 : Tests d'augmentation de la rugosité effectués

		GAMMES DE COEFFICIENTS DE STRICKLER (K) TESTEES		
		GAMME RETENUE (K)	TEST 1 AUGMENTATION DE LA RUGOSITE DES ZONES AGRICOLES	TEST 2 AUGMENTATION GLOBALE DE LA RUGOSITE
Lit mineur		20	20	16
Lit majeur	Zone agricole	15	8	12
	Zone de végétation dense/Ripisylve	8	8	6.4
	Zone de végétation moins dense	10	10	8
	Zone urbaine	8	8	6.4

Les résultats mettent en évidence une augmentation limitée de l'écrêtement des crues. On constate que l'écrêtement passe de 1.5 à 2.5% au mieux avec le test 1.



On observe également un effet sur la propagation de la crue avec un ralentissement de 2 heures de la pointe de crue soit une vitesse de propagation de 1.1 km/h au lieu de 1.4 km/h.

Tableau 8 : Écrêtement et temps de propagation calculés pour chaque gamme de Strickler testée

	DEBIT INJECTE EN AMONT DU MODELE (m <sup>3</sup> /s)	DEBIT CALCULE EN SORTIE DE LA ZEC (m <sup>3</sup> /s)	ECRETEMENT (m <sup>3</sup> /s ET %) ENTRE LA SORTIE ET L'ENTREE DE LA ZEC	IMPACT SUR LES DEBITS EN SORTIE DE LA ZEC (m <sup>3</sup> /s)	TEMPS DE PROPAGATION DE LA POINTE DE CRUE (H)
<b>Gamme K retenue</b>	192	189	3 (1.5%)		7.5
<b>Test 2</b>	192	189	3 (1.6%)	0	9
<b>Test 1</b>	192	187	5 (2.5%)	-2	9.5

### MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU (MEANDRES, ANNEXES HYDRAULIQUES, ...)

A la traversée de la ZEC le loir est assez rectiligne. Il pourrait être envisagé de lui redonner un caractère plus naturel, mais il y a peu de formes alluviales (annexe hydraulique ou bras secondaires) sur lesquels s'appuyer pour concevoir un schéma de renaturation en lit moyen.

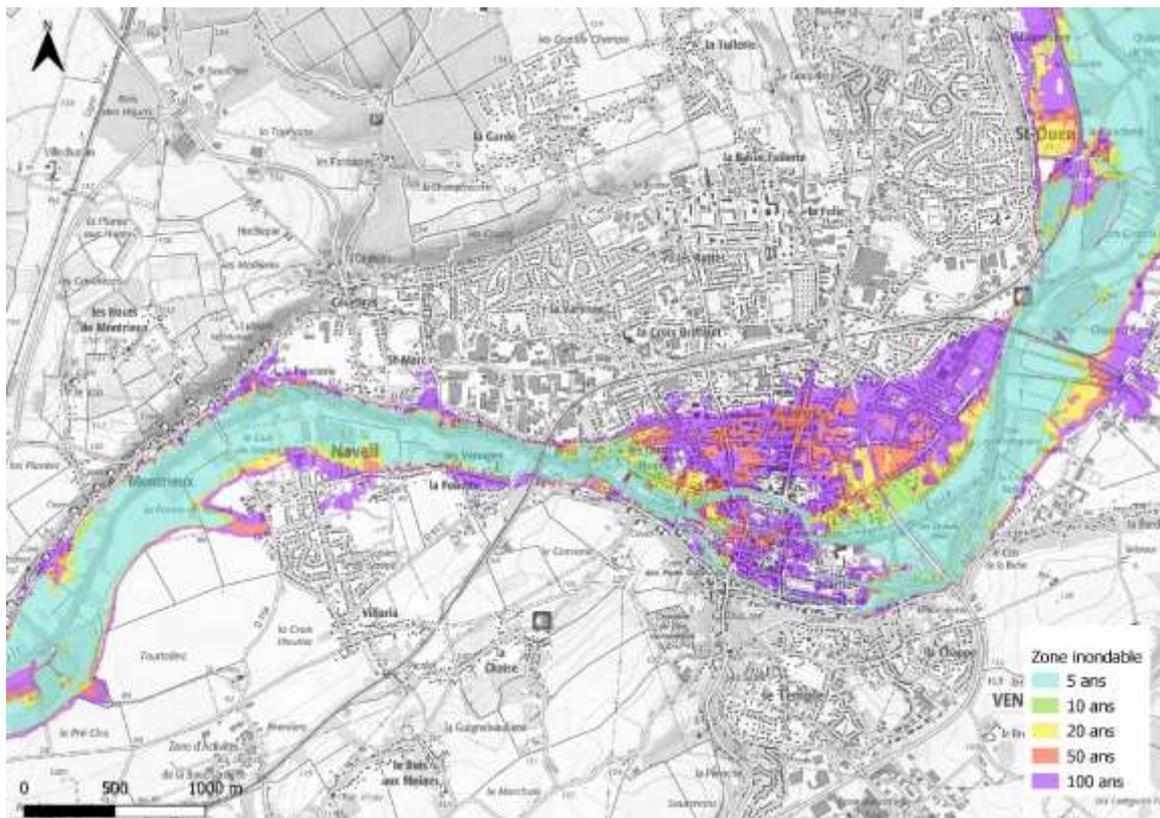
### POTENTIALITE DE SURSTOCKAGE

Une analyse des objectifs de protection a été effectuée sur les enjeux urbanisés exposés aux crues en aval immédiat de la ZEC (Vendôme et Naveil) afin de définir des volumes d'écrêtement intéressants vis-à-vis du risque inondation.

La crue impactant les premiers enjeux urbanisés est la crue de débit 134 m<sup>3</sup>/s (période de retour 5 ans), et les enjeux exposés restent assez limités jusqu'à la crue de 164 m<sup>3</sup>/s (10 ans). Ce sont donc ces deux débits qui sont des objectifs à atteindre (plus ambitieux pour le premier) en termes d'écrêtement en aval de la ZEC et représentant un gain hydraulique intéressant.



Figure 32 : Emprise de la zone inondable des crues 5, 10, 20, 50 et 100 ans au droit des enjeux exposés en aval de la ZEC



Le volume efficace à stocker pour écrêter les différentes crues a été estimé pour les deux hypothèses d'écrêtement :

Tableau 9 : Volume efficace à stocker

HYPOTHESES D'ECRETEMENT	ECRETER DEBIT 100 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS	ECRETER DEBIT 50 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS	ECRETER DEBIT 20 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS	ECRETER DEBIT 100 ANS AU DEBIT OBJECTIF 5 ANS	ECRETER DEBIT 50 ANS AU DEBIT OBJECTIF 5 ANS	ECRETER DEBIT 20 ANS AU DEBIT OBJECTIF 5 ANS
VOLUME EFFICACE A STOCKER (MILLION DE M <sup>3</sup> )	37	8	2	49	16	7

En première approche et à titre indicatif, ces différents volumes ont été répartis sur l'emprise de la ZEC et dans un casier hydraulique identifié à l'arrière de la voie ferrée à Saint-Ouen. Ils sont ensuite convertis en hauteurs de stockage à mobiliser.



Figure 33 : Localisation du casier

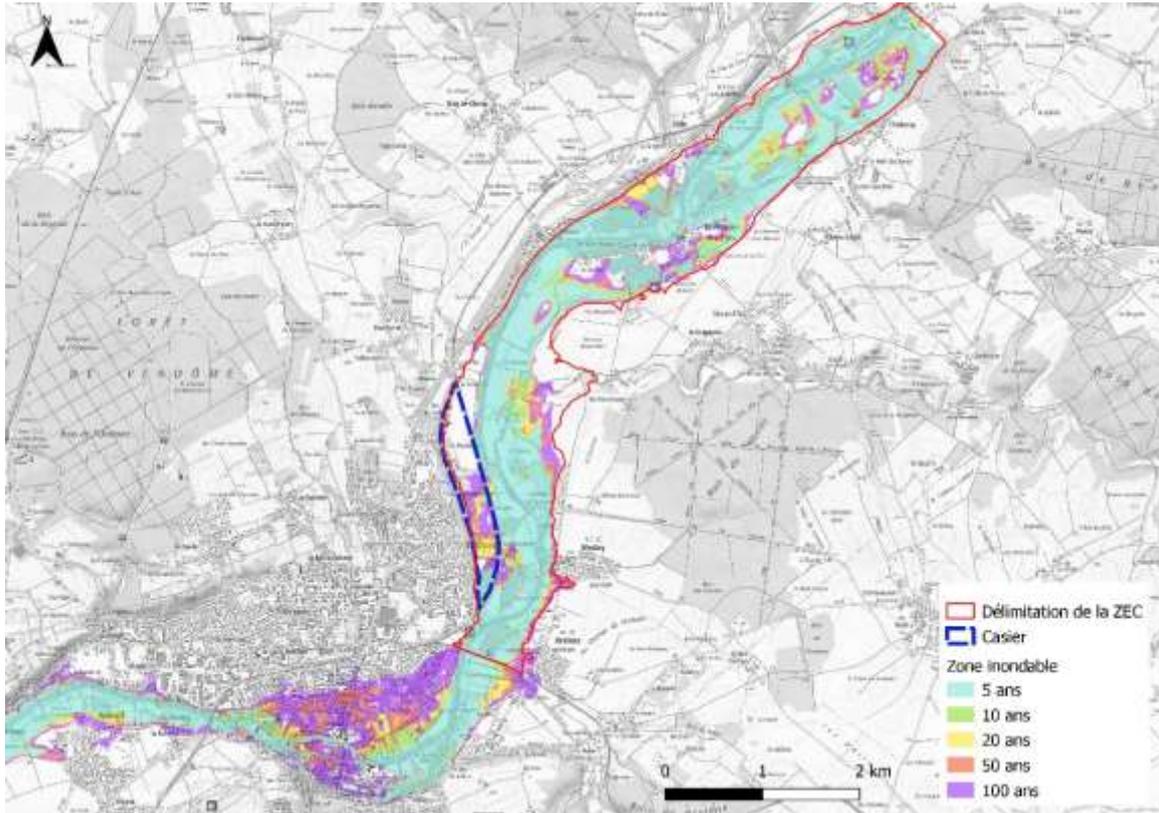


Tableau 10 : Hauteur d'eau permettant de stocker le volume efficace

	SURFACE (HA)	HAUTEUR POUR STOCKER Q100 AVEC QOBJ 10	HAUTEUR POUR STOCKER Q50 AVEC QOBJ 10	HAUTEUR POUR STOCKER Q20 AVEC QOBJ 10	HAUTEUR POUR STOCKER Q100 AVEC QOBJ 5	HAUTEUR POUR STOCKER Q50 AVEC QOBJ 5	HAUTEUR POUR STOCKER Q20 AVEC QOBJ 5
<b>ZEC</b>	736	5.0	1.1	<b>0.3</b>	6.6	2.1	1.0
<b>CASIER</b>	55	66.7	14.1	3.6	88.8	28.4	13.5

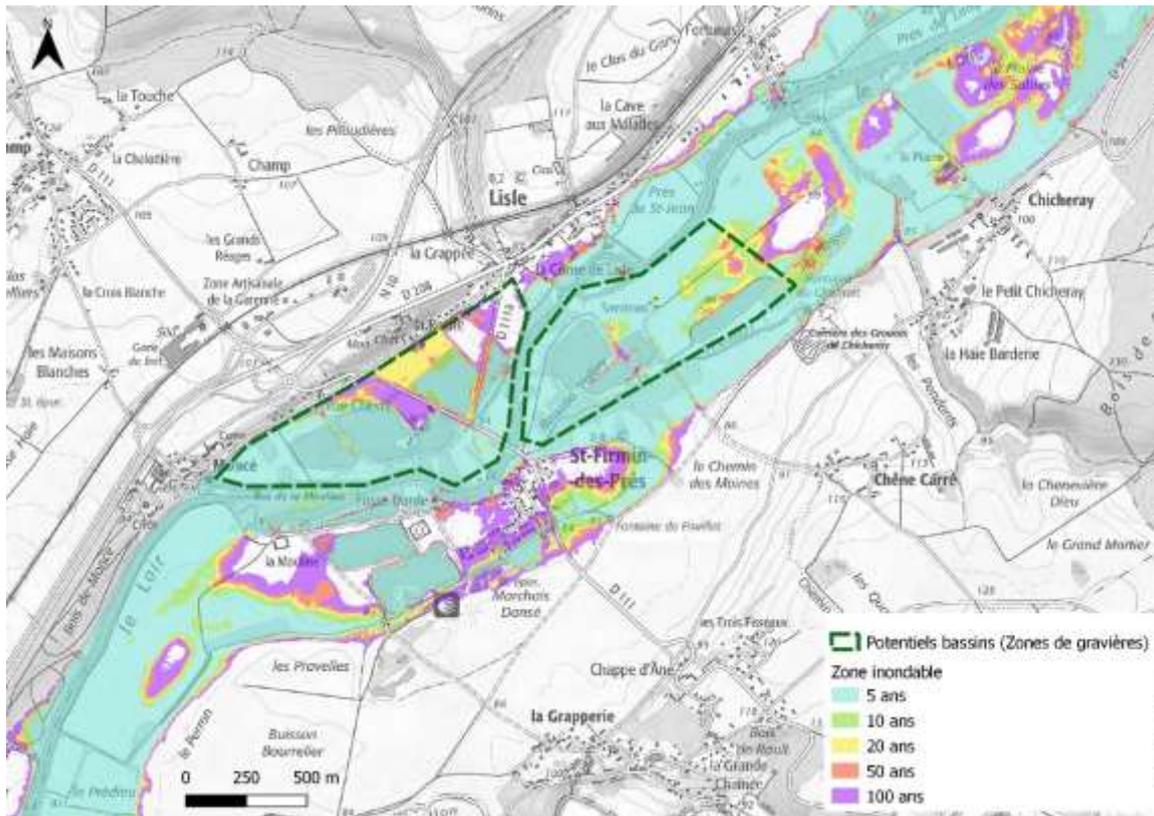
On constate que les hauteurs d'eau à stocker dans le casier, quel que soit le scénario d'écrêtement, ne sont pas envisageables.

Le scénario impliquant des hauteurs inférieures à 1 m dans la ZEC est la crue 20 ans écrêtée à une crue 10 ans. Ce scénario permet d'éviter l'inondation de quelques dizaines de bâtiments d'habitations à Vendôme. Le stockage correspond pour un bassin de rétention de 1 m de haut, à une emprise de 200 ha soit 27% de la superficie de la ZEC.

Il pourrait être envisagé de stocker du volume dans les anciennes gravières situées à Saint-Firmin-des-Prés. Cependant ces plans d'eau n'ont pas actuellement de potentiel de surstockage car ceux-ci sont déjà remplis lors du passage de la pointe de crue. Si on voulait les réaménager pour qu'ils aient un fonctionnement de type bassin de rétention, il faudrait les transformer en casiers hydrauliques isolés de la zone d'écoulement principale (endiguement, déversoirs latéraux...)



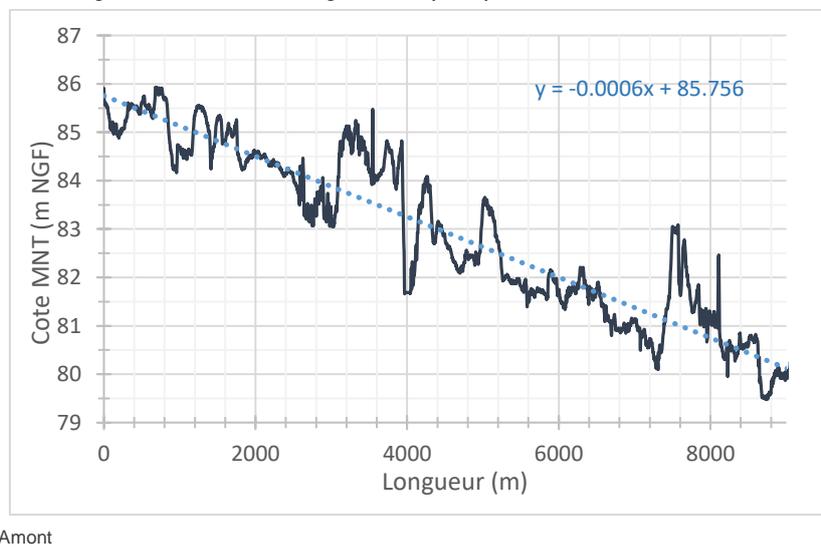
Figure 34 : Localisation des casiers hydrauliques délimités en fonction des gravières



Dans l'hypothèse où ces deux zones seraient aménagées en casiers hydrauliques, cela représenterait une hauteur de stockage pour la crue 20 ans écrêtée à une crue 10 ans de 4.2 m et 3.8 m pour le bassin rive gauche et droite respectivement.

Un profil en long du champ majeur de la ZEC est réalisé sur le graphique ci-après. Cette analyse permet de fournir un indicateur sur les potentialités de stockage envisageables. En effet, plus la pente est faible, plus des aménagements de faible hauteur ont la capacité de stocker en amont un volume important. Ainsi pour une hauteur de surélévation de niveau d'eau donnée au droit d'un transect de vallée, le volume stockable sera d'autant plus important que la pente de la vallée sera faible. La ZEC considérée ici présente une pente naturelle de 0.06 %. En première approximation mais pour fournir des ordres de grandeur, cela signifie qu'une rehausse de 6 cm est amortie (ou n'est plus « visible ») 100 m en amont.

Figure 35 : Profil en long du champ majeur de la ZEC de Vendôme



Amont

Aval

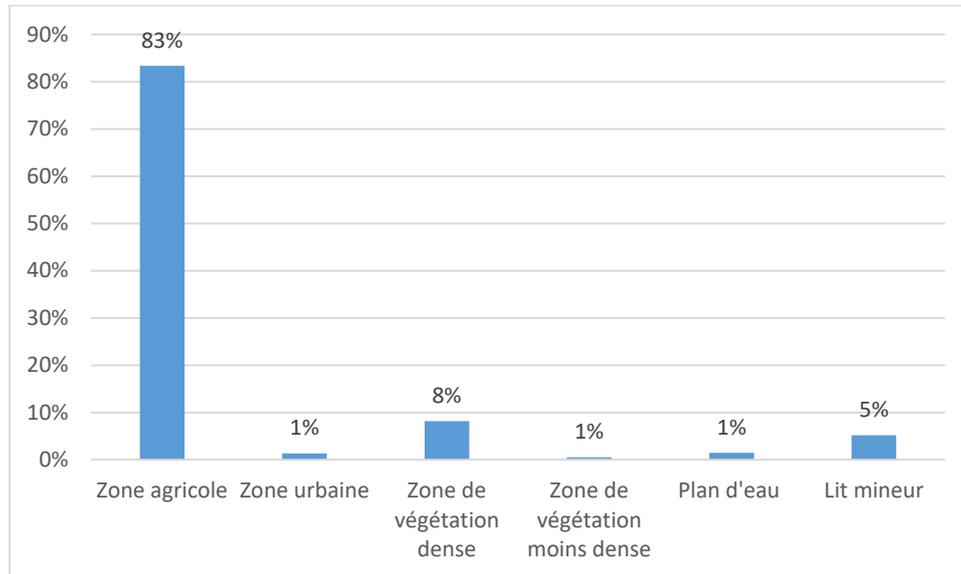


## 5.1.2 ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir

### OCCUPATION DES SOLS

L'occupation des sols sur la ZEC est répartie de la manière suivante :

Figure 36 : Occupation des sols de la ZEC de Montoire-sur-le-Loir



44

Deux tests d'augmentation de la rugosité ont été effectués sur la crue vicennale :

- Remplacement de la rugosité des zones agricoles (K retenu =15) par une rugosité correspondant à une végétalisation importante (K=8).
- Augmentation globale de la rugosité de 20%.

Tableau 11 : Tests d'augmentation de la rugosité effectués

		GAMMES DE COEFFICIENTS DE STRICKLER (K) TESTEES		
		GAMME RETENUE (K)	TEST 1 AUGMENTATION DE LA RUGOSITE DES ZONES AGRICOLES	TEST 2 AUGMENTATION GLOBAL DE LA RUGOSITE
Lit mineur		20	20	16
Lit majeur	Zone agricole	15	8	12
	Zone de végétation dense/Ripsisylve	8	8	6.4
	Zone de végétation moins dense	10	10	8
	Zone urbaine	8	8	6.4

Les résultats mettent en évidence une augmentation limitée de l'écrêtement des crues. On constate que l'écrêtement passe de 0.9 à 1.5% au mieux avec le test 1.

On observe également un effet sur la propagation de la crue avec un ralentissement de 2 heures de la pointe de crue soit une vitesse de propagation de 1.2 km/h au lieu de 1.4 km/h.



Tableau 12 : Écrêtement et temps de propagation calculés pour chaque gamme de Strickler testée

	DEBIT INJECTE EN AMONT DU MODELE (m3/s)	DEBIT CALCULE EN SORTIE DE LA ZEC (m3/s)	ECRETEMENT (m <sup>3</sup> /s ET %) ENTRE LA SORTIE ET L'ENTREE DE LA ZEC	IMPACT SUR LES DEBITS EN SORTIE DE LA ZEC (m <sup>3</sup> /s)	TEMPS DE PROPAGATION DE LA POINTE DE CRUE (H)
<b>Gamme K retenue</b>	192	190	2 (0.9%)		8
<b>Test 2</b>	192	190	2 (1.1%)	0	9
<b>Test 1</b>	192	189	3 (1.5%)	-1	10

### MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU (MEANDRES, ANNEXES HYDRAULIQUES, ...)

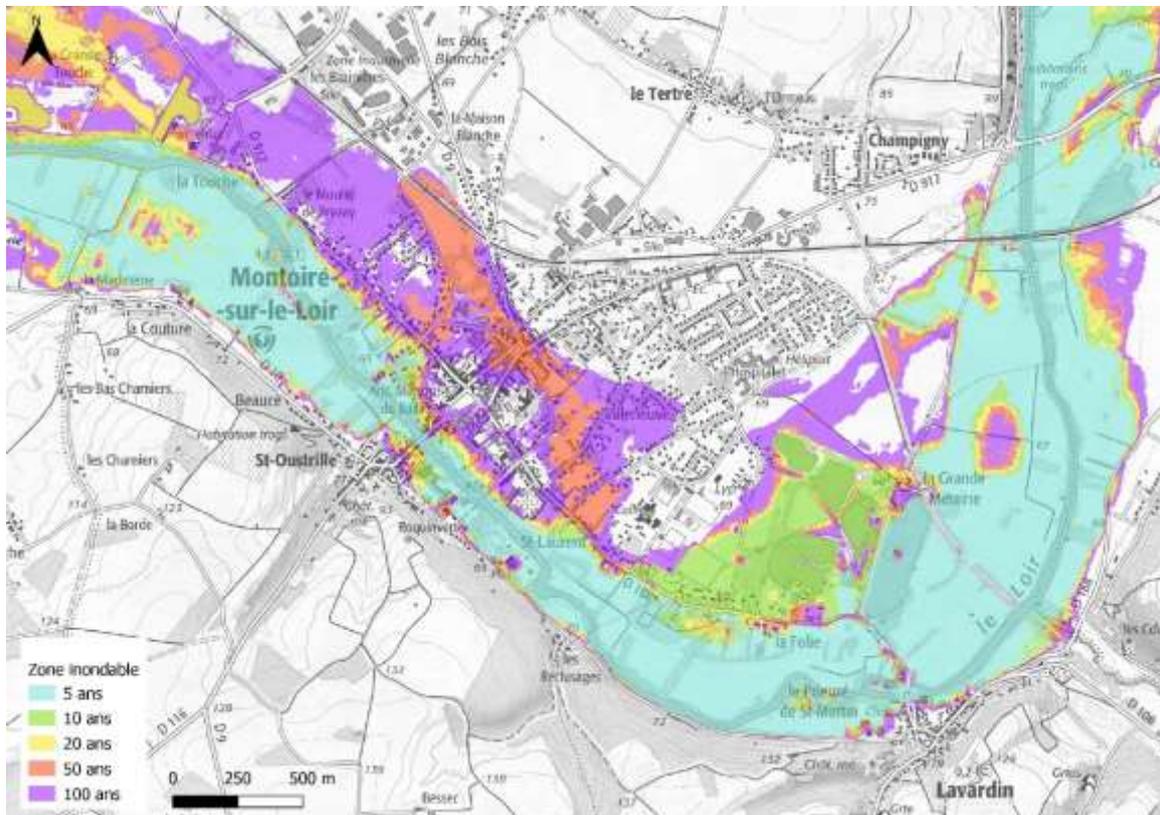
A la traversée de la ZEC le loir est assez rectiligne. Il pourrait être envisagé de lui redonner un caractère plus naturel, mais il y a peu de formes alluviales (annexe hydraulique ou bras secondaires) sur lesquels s'appuyer pour concevoir un schéma de renaturation en lit moyen.

### POTENTIALITE DE SURSTOCKAGE

Une analyse des objectifs de protection a été effectuée sur les enjeux urbanisés exposés aux crues en aval immédiat de la ZEC (Lavardin et Montoire-sur-le-Loir) afin de définir des volumes d'écrêtement intéressants vis-à-vis du risque inondation.

La crue impactant les premiers enjeux urbanisés exposés est la crue de débit 134 m<sup>3</sup>/s (période de retour 5 ans), et les enjeux exposés restent assez limités jusqu'à la crue de 164 m<sup>3</sup>/s (10 ans). Ce sont donc ces deux débits qui sont des objectifs à atteindre (plus ambitieux pour le premier) en termes d'écrêtement en aval de la ZEC et représentant un gain hydraulique intéressant.

Figure 37 : Emprise de la zone inondable des crues 5, 10, 20, 50 et 100 ans au droit des enjeux exposés en aval de la ZEC





Le volume efficace à stocker pour écrêter différentes crues a été estimé pour les deux hypothèses d'écrêtement :

Tableau 13 : Volume efficace à stocker

HYPOTHESES D'ECRETEMENT	ECRETER DEBIT 100 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS	ECRETER DEBIT 50 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS	ECRETER DEBIT 20 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS	ECRETER DEBIT 100 ANS AU DEBIT OBJECTIF 5 ANS	ECRETER DEBIT 50 ANS AU DEBIT OBJECTIF 5 ANS	ECRETER DEBIT 20 ANS AU DEBIT OBJECTIF 5 ANS
VOLUME EFFICACE A STOCKER (MILLION DE M <sup>3</sup> )	37	8	2	49	16	7

En première approche et à titre indicatif, ces différents volumes ont été répartis sur l'emprise de la ZEC. Ils sont ensuite convertis en hauteurs de stockage à mobiliser.

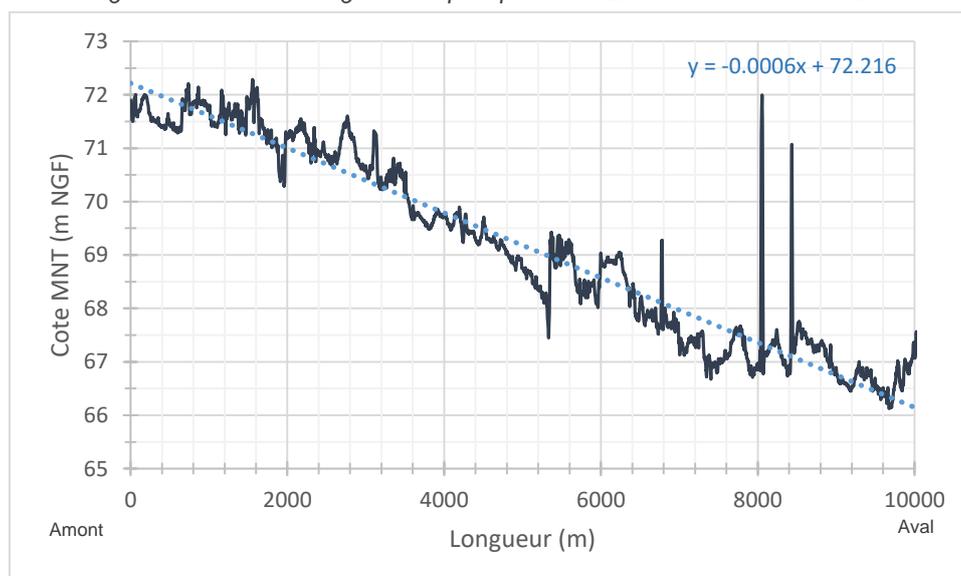
Tableau 14 : Hauteur d'eau permettant de stocker le volume efficace

	SURFACE (HA)	HAUTEUR POUR STOCKER Q100 AVEC QOBJ 10	HAUTEUR POUR STOCKER Q50 AVEC QOBJ 10	HAUTEUR POUR STOCKER Q20 AVEC QOBJ 10	HAUTEUR POUR STOCKER Q100 AVEC QOBJ 5	HAUTEUR POUR STOCKER Q50 AVEC QOBJ 5	HAUTEUR POUR STOCKER Q20 AVEC QOBJ 5
ZEC	726	5.0	1.1	<b>0.3</b>	6.7	2.2	1.0

Le scénario impliquant des hauteurs inférieures à 1 m est la crue 20 ans écrêtée à une crue 10 ans. Ce scénario permet d'éviter l'inondation de quelques habitations à Montoire-sur-le-Loir. Le stockage correspond pour un bassin de rétention de 1 m de haut, à une emprise de 200 ha soit 28% de la superficie de la ZEC.

Un profil en long du champ majeur de la ZEC est réalisé sur le graphique ci-après. Comme expliqué précédemment, cela donne un indicateur pour apprécier les potentialités de stockage. Dans le cas présent, la ZEC présente une pente naturelle de 0.06 % ce qui signifie qu'une rehausse de ligne d'eau de 6 cm en un point de la vallée est amortie (ou n'est plus « visible ») 100 m en amont.

Figure 38 : Profil en long du champ majeur de la ZEC de Montoire-sur-le-Loir



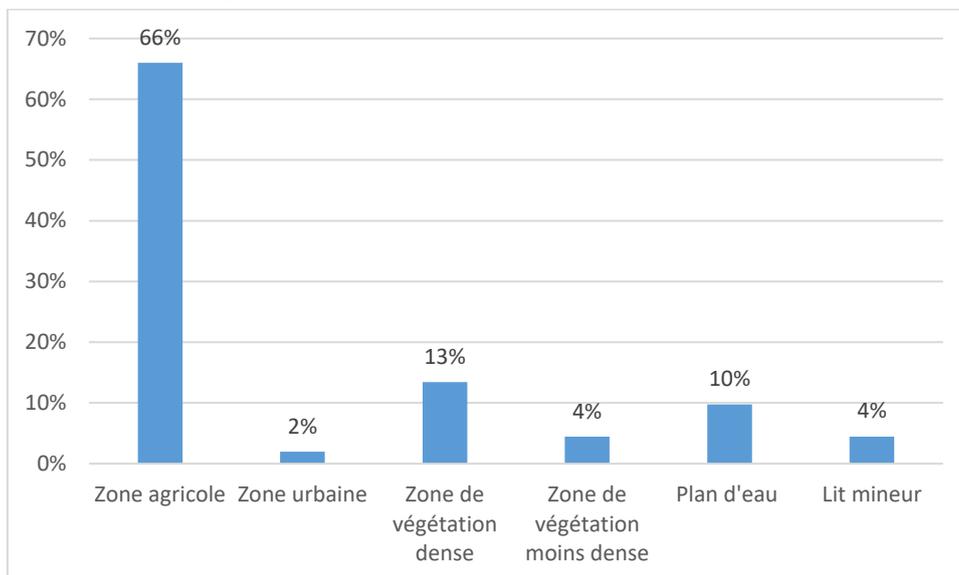


### 5.1.3 ZEC 2L la Flèche

#### OCCUPATION DES SOLS

L'occupation des sols de la ZEC est répartie de la manière suivante :

Figure 39 : Occupation des sols de la ZEC de la Flèche



Deux tests d'augmentation de la rugosité ont été effectués sur la crue vicennale :

- Remplacement de la rugosité des zones agricoles (K retenu =15) par une rugosité correspondant à une végétalisation importante du champ majeur (K=8).
- Augmentation globale de la rugosité de 20%.

Tableau 15 : Tests d'augmentation de la rugosité effectués

		GAMMES DE COEFFICIENTS DE STRICKLER (K) TESTEES		
		GAMME RETENUE (K)	TEST 1 AUGMENTATION DE LA RUGOSITE DES ZONES AGRICOLES	TEST 2 AUGMENTATION GLOBAL DE LA RUGOSITE
Lit mineur		20	20	16
Lit majeur	Zone agricole	15	8	12
	Zone de végétation dense/Ripsisylve	8	8	6.4
	Zone de végétation moins dense	10	10	8
	Zone urbaine	8	8	6.4

Les résultats (tableau ci-dessous) mettent en évidence une augmentation limitée de l'écrêtement des crues. On constate que l'écrêtement passe de 1.9 à 2.7% au mieux avec le test 1.

On observe également un effet sur la propagation de la crue avec un ralentissement de 2 heures de la pointe de crue soit une vitesse de propagation de 520 m/h au lieu de 600 m/h.



Tableau 16 : Écrêtement et temps de propagation calculés pour chaque gamme de Strickler testée

	DEBIT INJECTE EN AMONT DU MODELE (M3/s)	DEBIT CALCULE EN SORTIE DE LA ZEC (M3/s)	ECRETEMENT (M <sup>3</sup> /s ET %) ENTRE LA SORTIE ET L'ENTREE DE LA ZEC	IMPACT SUR LES DEBITS EN SORTIE DE LA ZEC (M <sup>3</sup> /s)	TEMPS DE PROPAGATION DE LA POINTE DE CRUE (H)
<b>Gamme K retenue</b>	336	330	6 (1.9%)		13
<b>Test 2</b>	336	329	7 (2.2%)	-1	15
<b>Test 1</b>	336	327	9 (2.7%)	-3	15

### MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU (MEANDRES, ANNEXES HYDRAULIQUES, ...)

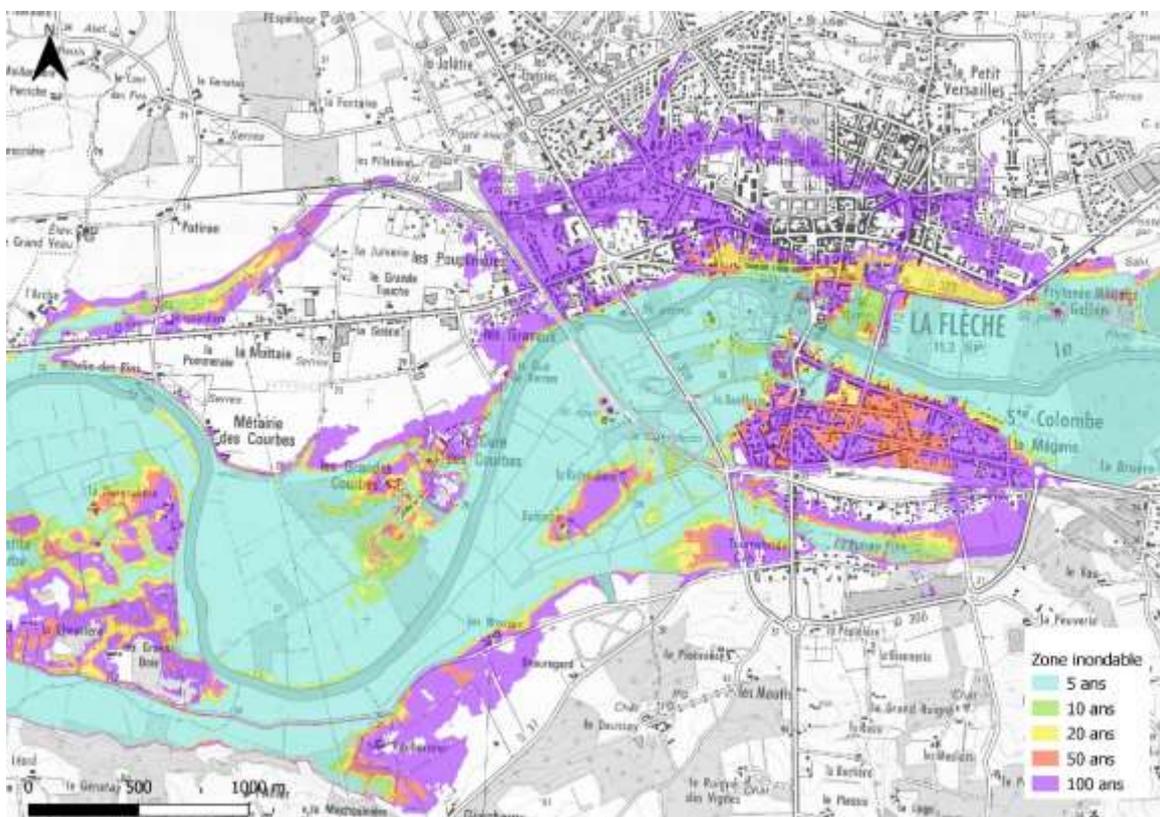
A la traversée de la ZEC le loir est assez rectiligne. Il pourrait être envisagé de lui redonner un caractère plus naturel, mais il y a peu de formes alluviales (annexe hydraulique ou bras secondaires) sur lesquels s'appuyer pour concevoir un schéma de renaturation en lit moyen.

### POTENTIALITE DE SURSTOCKAGE

Une analyse des objectifs de protection a été effectuée sur les enjeux urbanisés exposés aux crues en aval immédiat de la ZEC (La Flèche) afin de définir des volumes d'écrêtement intéressants vis-à-vis du risque inondation.

La crue impactant les premiers enjeux urbanisés exposés est la crue de débit 239 m<sup>3</sup>/s (période de retour 5 ans), et les enjeux exposés restent assez limités jusqu'à la crue de 336 m<sup>3</sup>/s (20 ans). Ce sont donc les débits 10 et 20 ans qui sont des objectifs à atteindre (plus ambitieux pour le premier) en termes d'écrêtement en aval de la ZEC et représentant un gain hydraulique intéressant.

Figure 40 : Emprise de la zone inondable des crues 5, 10, 20, 50 et 100 ans au droit des enjeux exposés en aval de la ZEC





Le volume efficace à stocker pour écrêter les différentes crues a été estimé pour les deux hypothèses d'écrêtement :

Tableau 17 : Volume efficace à stocker

HYPOTHESES D'ECRETEMENT	ECRETER DEBIT 100 ANS AU DEBIT OBJECTIF 20 ANS	ECRETER DEBIT 50 ANS AU DEBIT OBJECTIF 20 ANS	ECRETER DEBIT 100 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS	ECRETER DEBIT 50 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS	ECRETER DEBIT 20 ANS AU DEBIT OBJECTIF 10 ANS
VOLUME EFFICACE A STOCKER (MILLION DE M <sup>3</sup> )	80	10	107	25	7

En première approche et à titre indicatif, ces différents volumes ont été répartis sur l'emprise de la ZEC. Ils sont ensuite convertis en hauteurs de stockage à mobiliser.

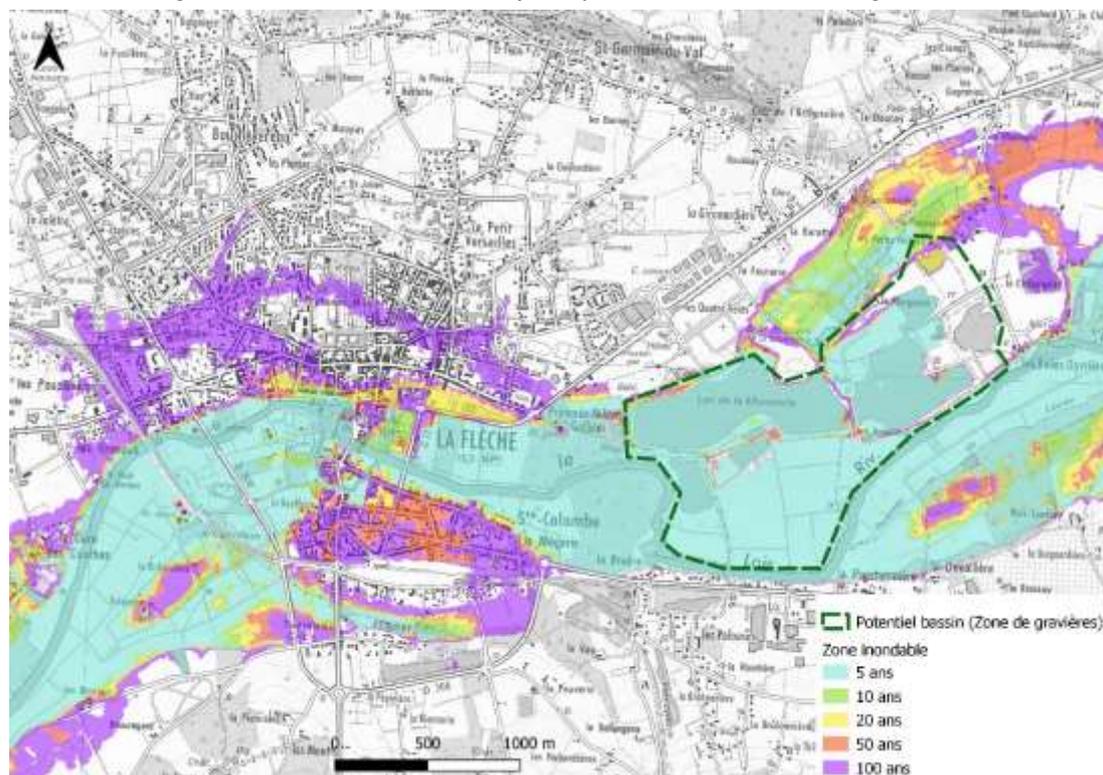
Tableau 18 : Hauteur d'eau permettant de stocker le volume efficace

	SURFACE (HA)	HAUTEUR POUR STOCKER Q100 AVEC QOBJ 20	HAUTEUR POUR STOCKER Q50 AVEC QOBJ 20	HAUTEUR POUR STOCKER Q100 AVEC QOBJ 10	HAUTEUR POUR STOCKER Q50 AVEC QOBJ 10	HAUTEUR POUR STOCKER Q20 AVEC QOBJ 10
ZEC	907	8.8	1.1	11.8	2.8	<b>0.8</b>

Le scénario impliquant des hauteurs inférieures à 1 m dans la ZEC est la crue 20 ans écrêtée à une crue 10 ans. Ce scénario permet d'éviter l'inondation de quelques enjeux urbains à la Flèche. Le stockage correspond, pour un bassin de rétention de 1 m de haut, à une emprise de 700 ha soit 77% de la superficie de la ZEC.

Il pourrait être envisagé de stocker du volume dans les anciennes gravières situées en amont de la zone urbaine de la Flèche. Cependant ces plans d'eau n'ont pas de potentiel de surstockage car ceux-ci sont déjà remplis lors du passage de la crue. Si on voulait les réaménager pour qu'ils aient un fonctionnement de type bassin de rétention, il faudrait les transformer en casiers hydrauliques, isolés de la zone d'écoulement principale (endiguement, déversoirs latéraux...)

Figure 41 : Localisation du casier hydraulique délimité en fonction des gravières

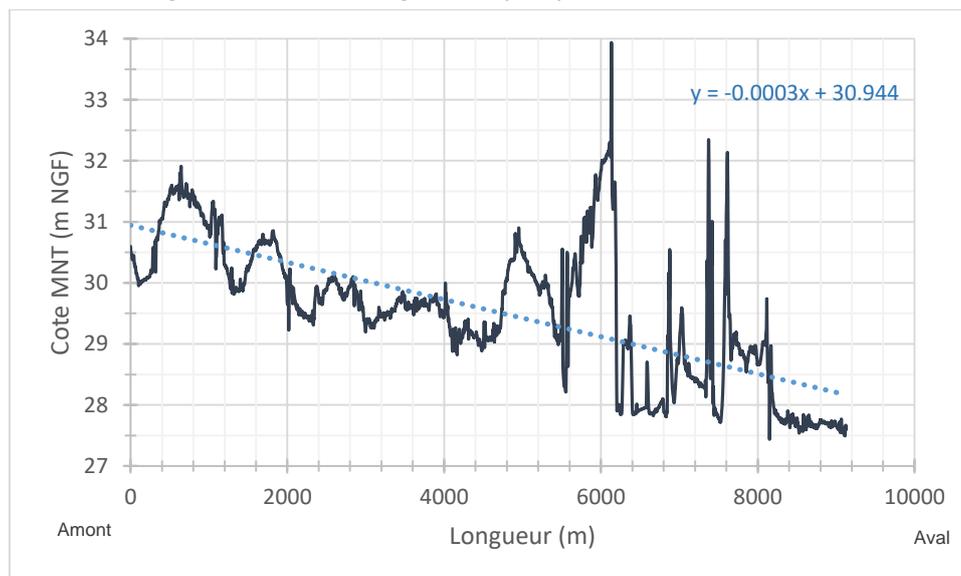




Dans l'hypothèse que cette zone soit aménagée en casier hydraulique cela représenterait une hauteur de stockage pour la crue 20 ans écrêtée à une crue 10 ans de 3.9 m. Un tel aménagement n'est pas sans conséquence en termes d'impact paysager et de sur-risque liée à la rupture de telles digues.

Un profil en long du champ majeur de la ZEC est réalisé sur le graphique ci-après. Comme expliqué précédemment, cela donne un indicateur pour apprécier les potentialités de stockage. Cette analyse met en évidence que la ZEC présente une pente naturelle de 0.03 %. Cet indicateur est donc comparativement légèrement plus favorable au stockage de volume de crue que sur les deux autres ZEC.

Figure 42 : Profil en long du champ majeur de la ZEC de la Flèche





## 5.1 CONCLUSION

En termes d'enjeux de protection en aval, les 3 secteurs urbanisés Montoire, Vendôme et La Flèche sont impactés à partir de la période de retour de 5 ans. Cependant les volumes de crue à ralentir restent très importants et les effets d'écrêtement modestes.

Le tableau ci-dessous rappelle les résultats obtenus en simulant la végétalisation des ZEC. Ces résultats mettent en évidence que les effets d'écrêtement sont limités à quelques pourcentages pour les 3 sites.

En termes de ralentissement de la vitesse de propagation, on constate que le pic de crue est ralenti de 2 heures, ce qui représente un gain intéressant vis-à-vis de l'organisation et de l'anticipation pour la gestion de crise.

Tableau 19 : Comparaison des résultats obtenus sur les 3 ZEC lors de la végétalisation de la zone agricole

	ECRETEMENT (M <sup>3</sup> /S ET %) ENTRE LA SORTIE ET L'ENTREE DE LA ZEC	IMPACT SUR LES DEBITS EN SORTIE DE LA ZEC (M <sup>3</sup> /S)	AUGMENTATION DU TEMPS DE PROPAGATION DE LA POINTE DE CRUE (H)
<b>Vendôme</b>	5 (2.5%)	-2	+ 2 heures
<b>Montoire-sur-le-Loir</b>	3 (1.5%)	-1	+ 2 heures
<b>La Flèche</b>	9 (2.7%)	-3	+ 2 heures

A la traversée des 3 ZEC le Loir est relativement rectiligne. Il pourrait être envisagé de lui redonner un caractère plus naturel, ce qui permettrait de ralentir davantage l'onde de crue, mais il y a peu de formes alluviales (annexes hydrauliques ou bras secondaires) sur lesquels s'appuyer pour concevoir un schéma de renaturation en lit moyen. Les potentiels de renaturation sont limités, dans le sens où un aménagement avec création de méandres impacterait le lit majeur agricole.

L'impact de cette renaturation sur l'écrêtement serait certainement très limité mais serait plus efficace sur le ralentissement de la propagation de l'onde de crue, ce qui est toujours intéressant vis-à-vis de l'anticipation et de la gestion de crise.

En terme d'aménagements de surstockage, on constate que sur les 3 ZEC les volumes à stocker sont très importants y compris pour des objectifs peu ambitieux de protection des zones urbanisées

De plus, ce stockage nécessite des aménagements spécifiques visant à compartimenter des casiers, avec :

- des endiguements très importants en linéaire et en hauteur,
- des déversoirs ou chenaux latéraux capables de contrôler et d'amener le débit à détourner dans les casiers d'écrêtement.

Au final sur les trois ZEC, l'analyse du fonctionnement actuel et des potentialités d'aménagement ne fait pas ressortir d'éléments de hiérarchisation technique particulièrement discriminants pour l'une ou l'autre ZEC. Le choix d'étudier 1 ou 2 sites en phase 3 pourrait s'appuyer sur des volontés politiques et des opportunités de synergies.

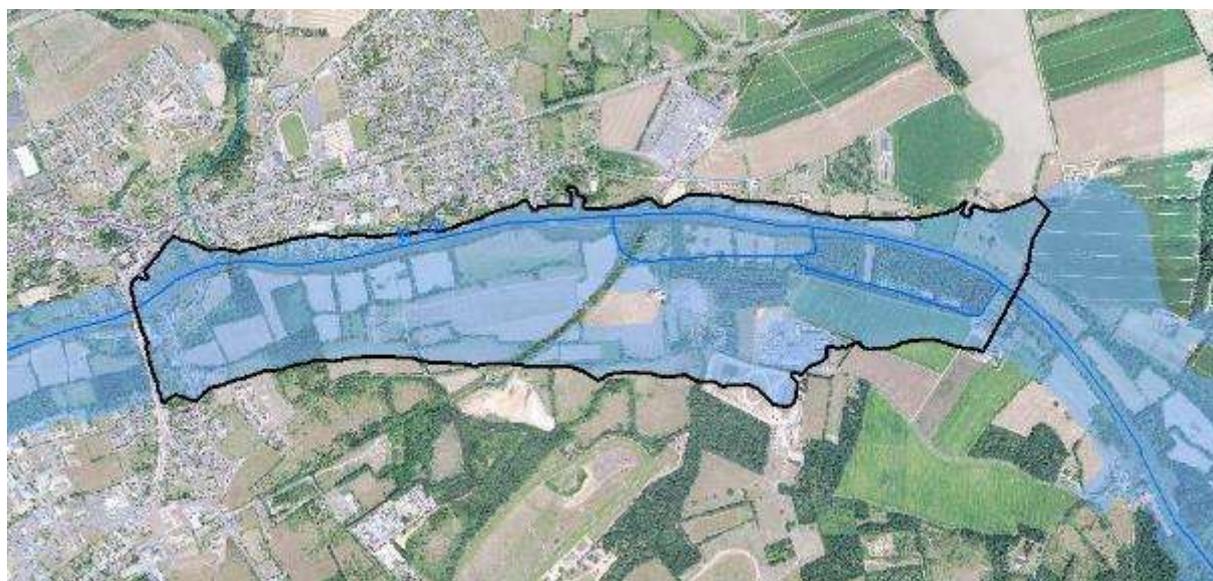
L'étude portant sur des sites déconnectés, l'effet cumulé des ZEC n'a pu être quantifié, mais doit être rappelé pour mettre en perspective des bénéfices localisés qui peuvent paraître faibles. Ainsi tout aménagement d'optimisation qui aboutirait à l'issue de cette démarche aurait un effet « vitrine » permettant de mettre en avant une gestion vertueuse souhaitable et reproductible dans d'autres secteurs.



# ANNEXES

## Annexe 1. Fiches ZEC

# ZEC 1L DURTAL



## ADMINISTRATIF

COURS D'EAU	CODE ZEC BRLI	REGION	DEPARTEMENT	COMMUNES	EPCI
Loir	1L Durtal	Pays de la Loire	MAINE ET LOIRE (49)	Durtal	CC Anjou Loir et Sarthe

## CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES

- Surface : 124 ha
- Volume potentiel de stockage : 2,4 million m<sup>3</sup>  
Soit 1% du volume de la crue de janvier 2004

## ENJEUX

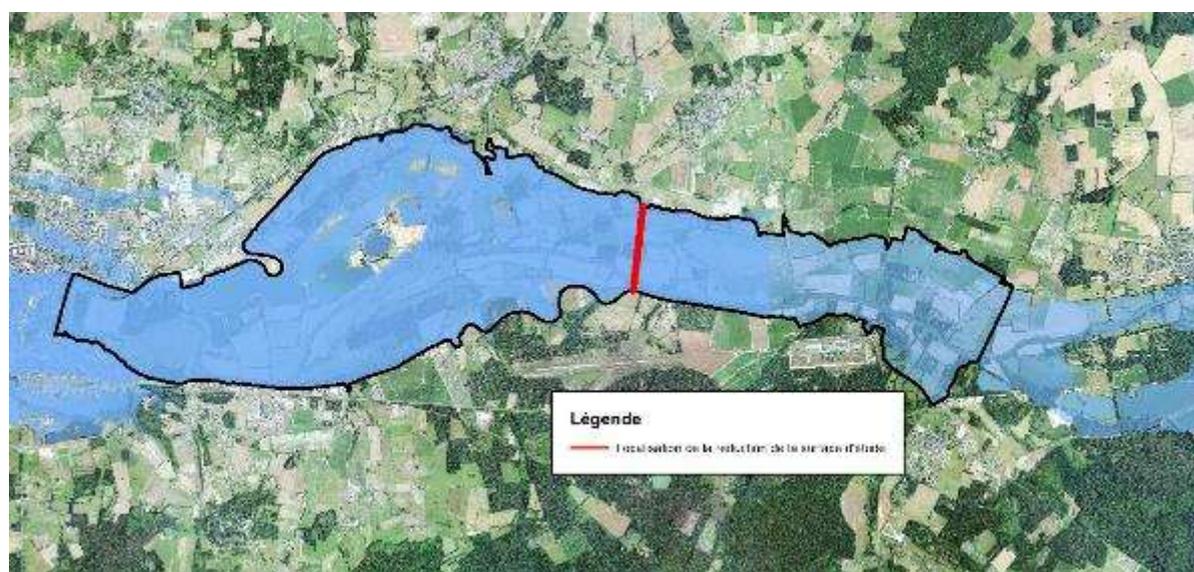
Enjeux dans la ZEC :

- 2 lieux-dits habités, 370 habitants

Enjeux à l'aval :

- zone urbanisée sur la commune de Durtal : 40 habitants.

# ZEC 2L LA FLECHE



## ADMINISTRATIF

COURS D'EAU	CODE ZEC BRLI	REGION	DEPARTEMENT	COMMUNES	EPCI
Loir	2L La Flèche	Pays de la Loire	SARTHE (72)	La Flèche, Clermont-Créans, Mareil-sur-Loir, Thorée-les-Pins, Luché-Pringé	CC du Pays Fléchois et CC Sud Sarthe

## CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES

- Surface : 1035,5 ha
- Volume potentiel de stockage : 17,3 million m<sup>3</sup>  
Soit 9% du volume de la crue de Janvier 2004

## ENJEUX

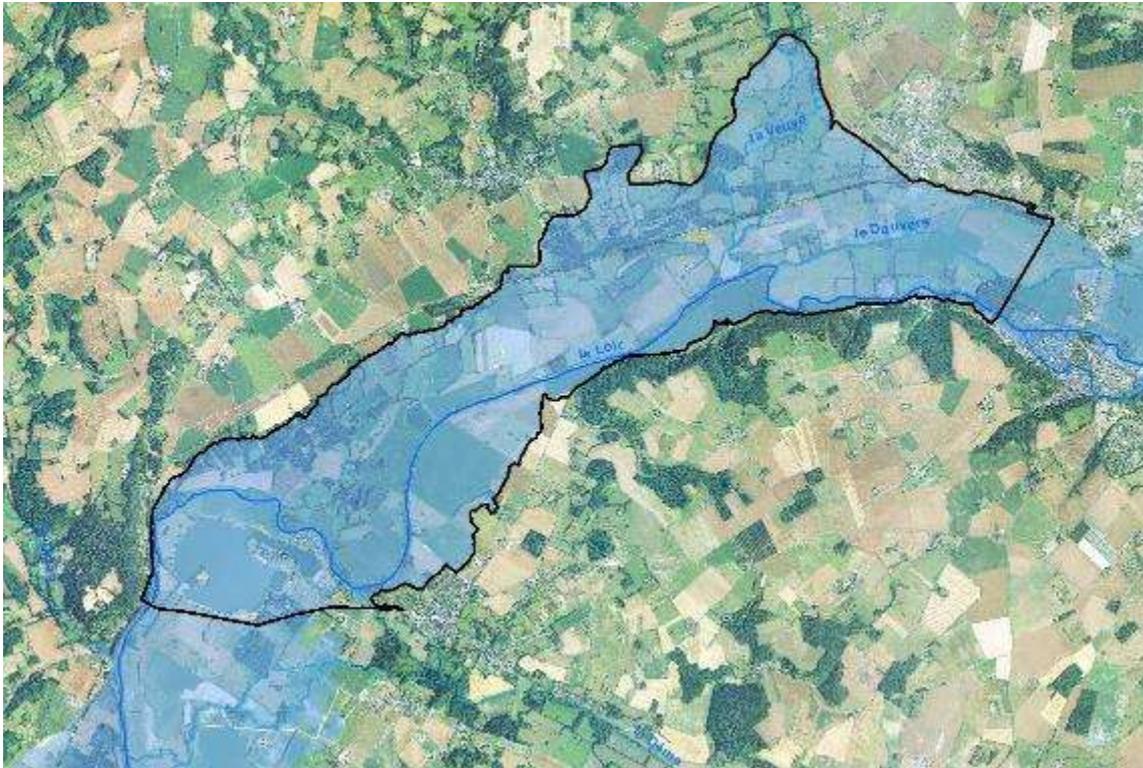
Enjeux dans la ZEC :

- 673 habitants
- 1 espace public, 1 musée et 1 office de tourisme

Enjeux à l'aval :

- commune de la Flèche : 1670 habitants, gendarmerie, mairie, 1 camping, 5 écoles, 2 ICPE.

# ZEC 3L MARÇON



## ADMINISTRATIF

COURS D'EAU	CODE ZEC BRLI	REGION	DEPARTEMENT	COMMUNES	EPCI
Loir	3L Marçon	Pays de la Loire	SARTHE (72)	Vouvray-sur-Loir, Marçon, Flée, Chahaignes, Lhomme, La Chartre-sur-le-Loir	CC Loir-Lucé-Bercé

## CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES

- Surface : 852,1 ha
- Volume potentiel de stockage : 9,3 million m<sup>3</sup>  
soit 8% du volume de la crue de Janvier 2004

## ENJEUX

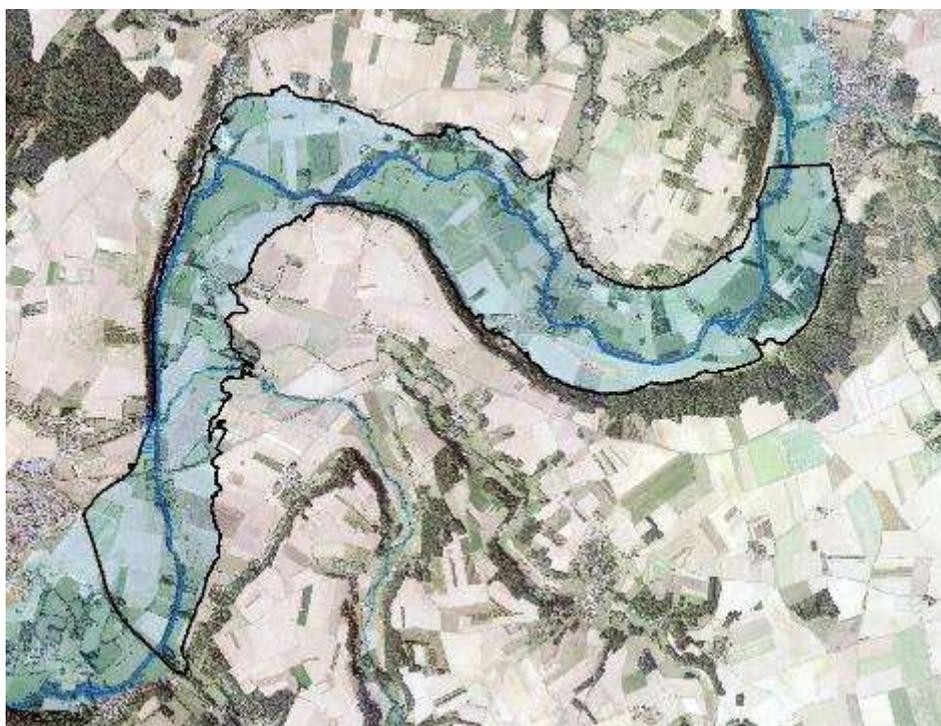
Enjeux dans la ZEC :

- 162 habitants
- 1 camping, 1 parc de loisir et 1 hippodrome

Enjeux à l'aval :

- zone urbanisée sur la commune de Vouvray-sur-Loir : 83 habitants, 1 carrière.

# ZEC 4L MONTOIRE-SUR-LE-LOIR



## ADMINISTRATIF

COURS D'EAU	CODE ZEC BRLI	REGION	DEPARTEMENT	COMMUNES	EPCI
Loir	4L Montoire-sur-le-Loir	Centre-Val de Loire	LOIR-ET-CHER (41)	Montoire-sur-le-Loir, Lavardin, Les Roches-l'Evêque, Villavard, Saint-Rimay, Thoré-la-Rochette	CA Territoires Vendômois

## CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES

- Surface : 726 ha
- Volume potentiel de stockage : 12,1 million m<sup>3</sup>  
soit 16% du volume de la crue de Janvier 2004

## ENJEUX

Enjeux dans la ZEC :

- 9 lieux-dits habités, 313 habitants
- 1 camping

Enjeux à l'aval :

- commune de Montoire-sur-le-Loir : 1140 habitants, mairie, camping, 1 école, 1 hopital, 1 EPCI

# ZEC 5L VENDOME



## ADMINISTRATIF

COURS D'EAU	CODE ZEC BRLI	REGION	DEPARTEMENT	COMMUNES	EPCI
Loir	5L Vendôme	Centre-Val de Loire	LOIR-ET-CHER (41)	Naveil, Vendôme, Areines, Saint-Ouen, Meslay, Saint-Firmin-des-Prés, Lisle, Pezou, Lignières, Fréteval	CA Territoires Vendômois et CC du Perche et Haut Vendômois

## CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES

- Surface : 735,9 ha
- Volume potentiel de stockage : 10,5 million m<sup>3</sup>

Soit 14% du volume de la crue de Janvier 2004

## ENJEUX

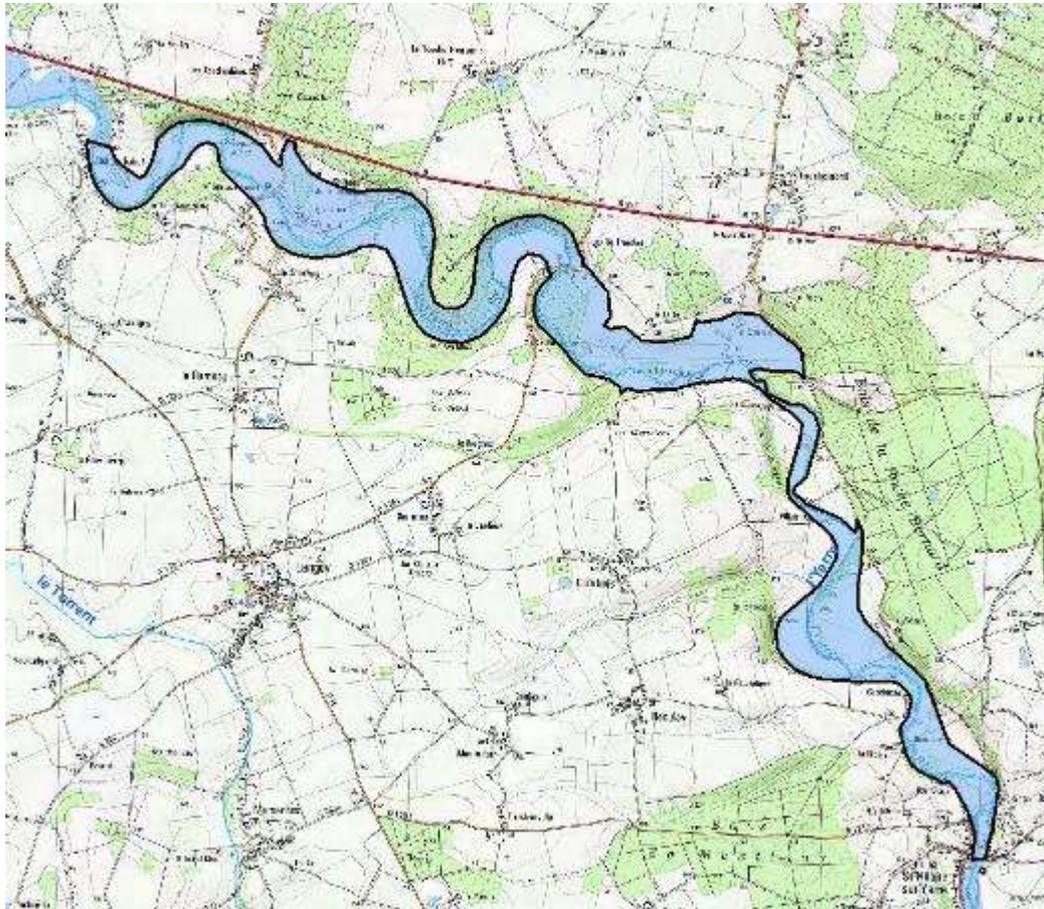
Enjeux dans la ZEC :

- 9 lieux-dits habités, 852 habitants

Enjeux à l'aval :

- commune de Vendôme : 3500 habitants, gendarmerie, mairie, police, 1 école, 1 hôpital, 5 EPCI

## ZEC 6L SAINT-HILAIRE-SUR-YERRE



### ADMINISTRATIF

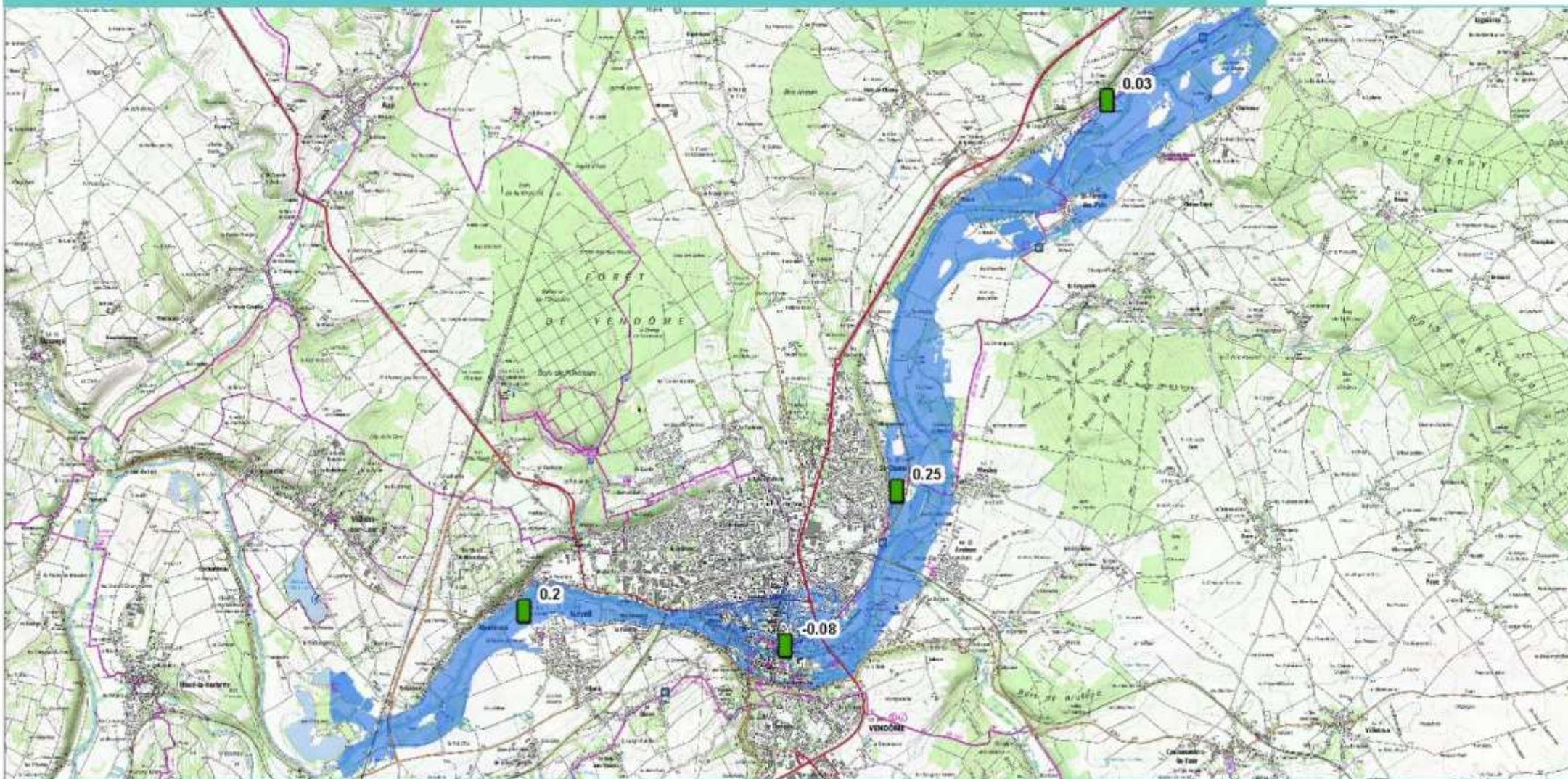
COURS D'EAU	CODE ZEC BRLI	REGION	DEPARTEMENT	COMMUNES	EPCI
Yerre	6L Saint-Hilaire-sur-Yerre	Centre-Val de Loire	EURE-ET-LOIR (28)	Saint-Hilaire-sur-Yerre, Lanneray, Saint-Pellerin	CC du Grand Châteaudun

### CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES

- Surface : 201 ha
- Volume potentiel de stockage : 1 million de m<sup>3</sup>

Soit 11% du volume de la crue de Janvier 2004

## **Annexe 2. Calage des modèles des ZEC de Vendôme et la Flèche**



Différence cote d'eau calculée - cote PHE observée (m)

-  < -0.5
-  -0.5 ; -0.25
-  -0.25 ; 0.25
-  0.25 ; 0.5
-  > 0.5

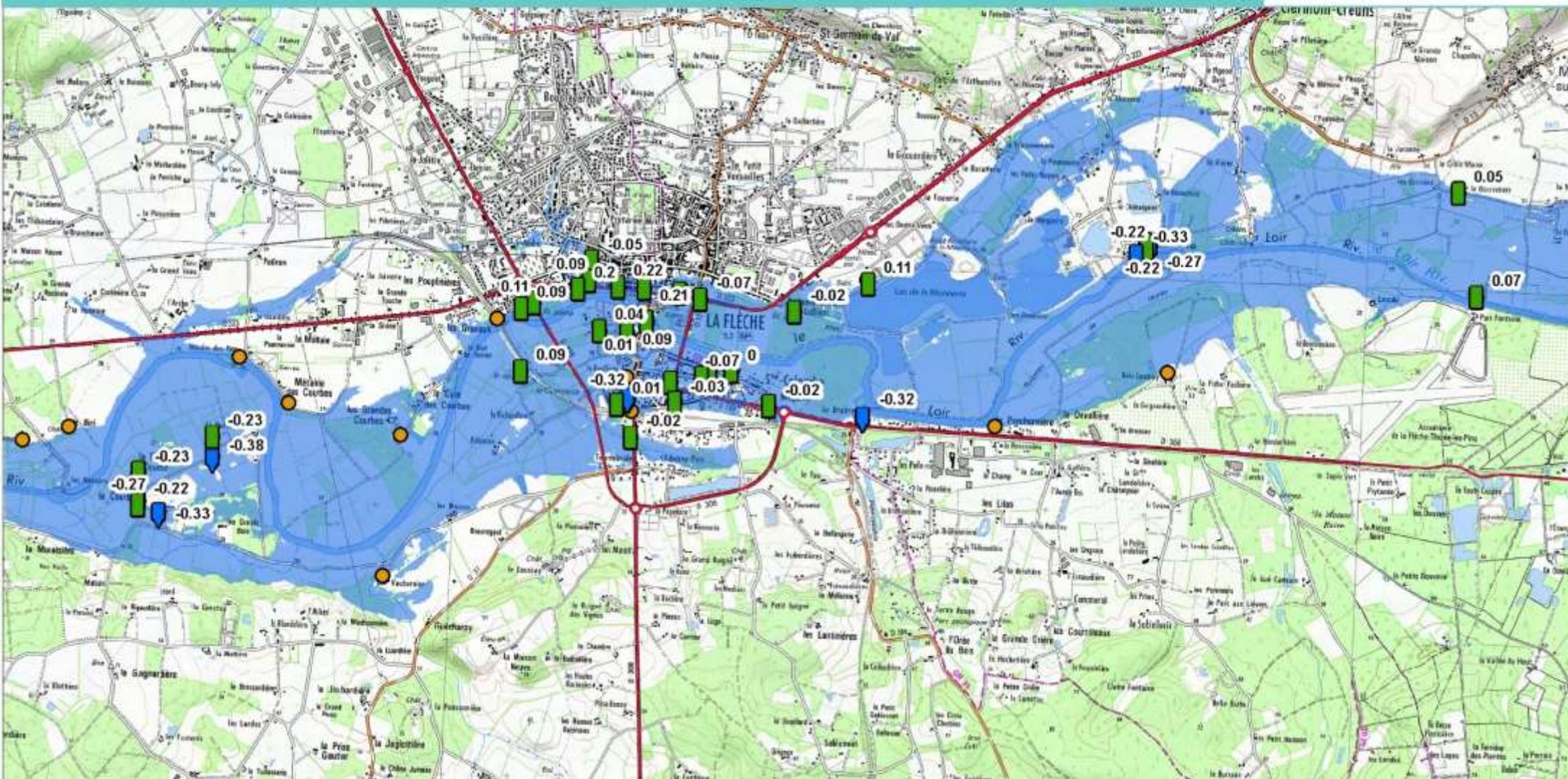
 Zone inondable calculée

0 1 2 Km

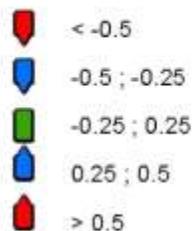


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 02/02/2021  
Nom du document :  
Carte\_calage\_ZEC\_Loir



Différence cote d'eau calculée - cote PHE observée (m)



● PHE non nivelées ou non retenues pour le calage

■ Zone inondable calculée

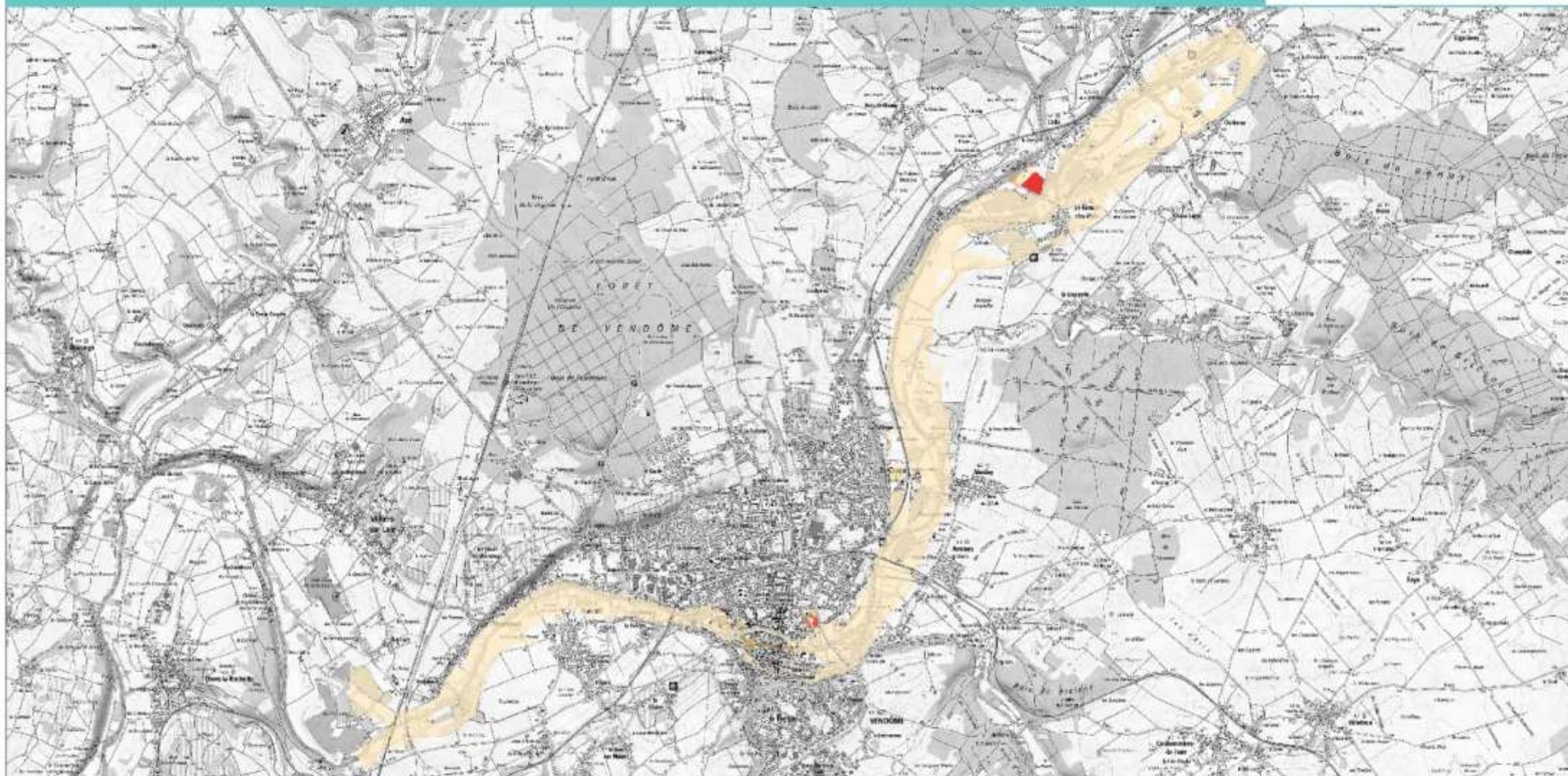
0 0.5 1 Km



**BRL**  
Ingénierie

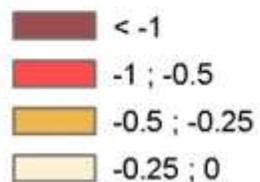
Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 02/02/2021  
Nom du document :  
Carte\_calage\_ZEC\_Loir

## Annexe 3. Analyse de sensibilité



**Impact de la diminution de la rugosité sur le niveau d'eau**

Ecarts en mètres (scénario gamme 2 - scénario gamme retenue)

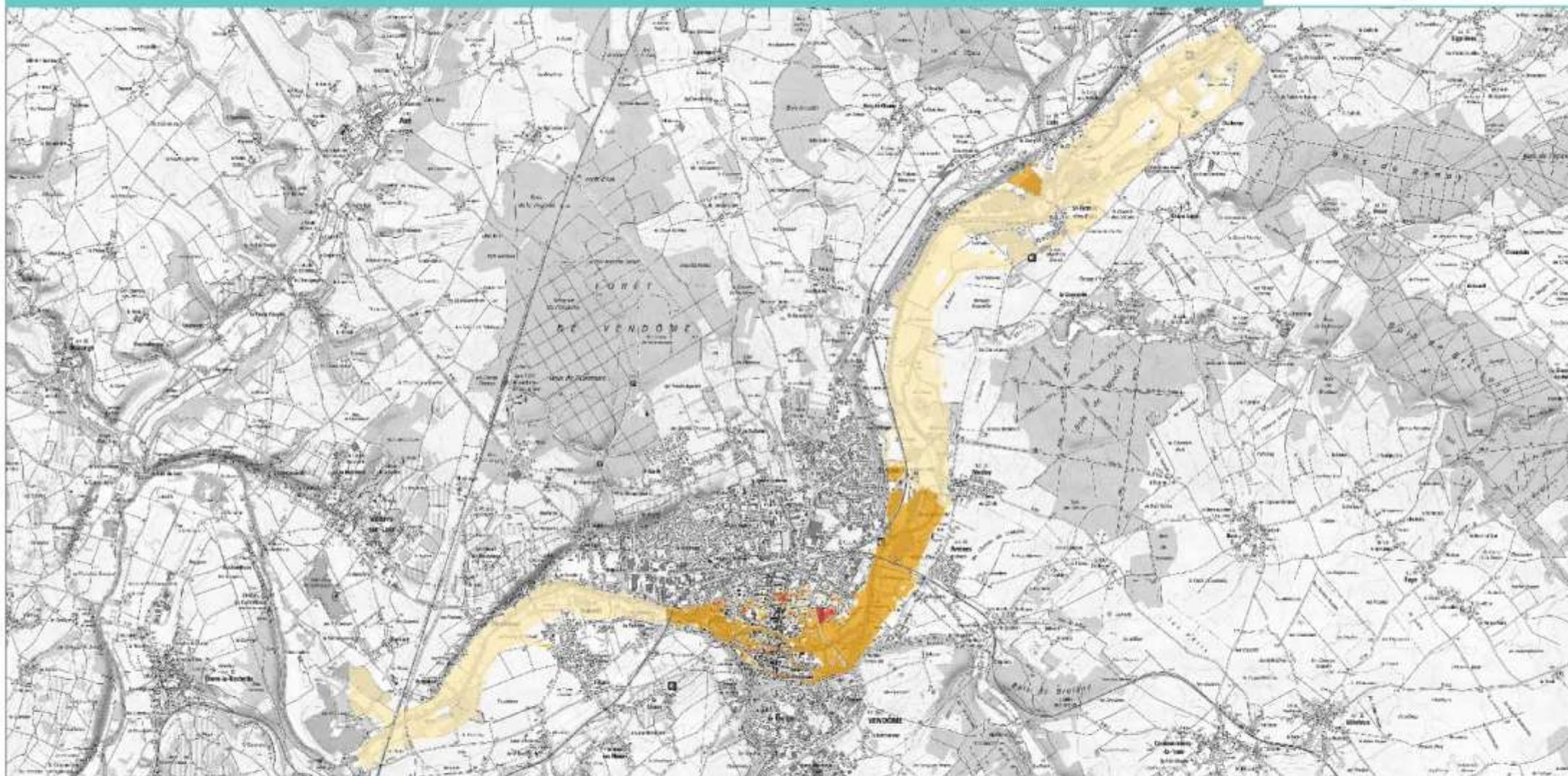


0 1.5 3 Km

**BRL**  
Ingénierie

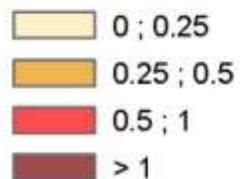
Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 16/02/2021  
Nom du document :  
Carte\_impact\_sensibilite\_Ks\_Vendome





**Impact de l'augmentation de la rugosité sur le niveau d'eau**

Ecarts en mètres (scénario gamme 1 - scénario gamme retenue)



0 1.5 3 Km

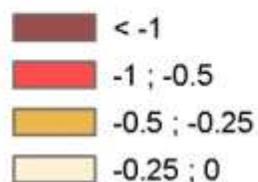
**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 16/02/2021  
Nom du document :  
Carte\_impact\_sensibilite\_Ks\_Vendome

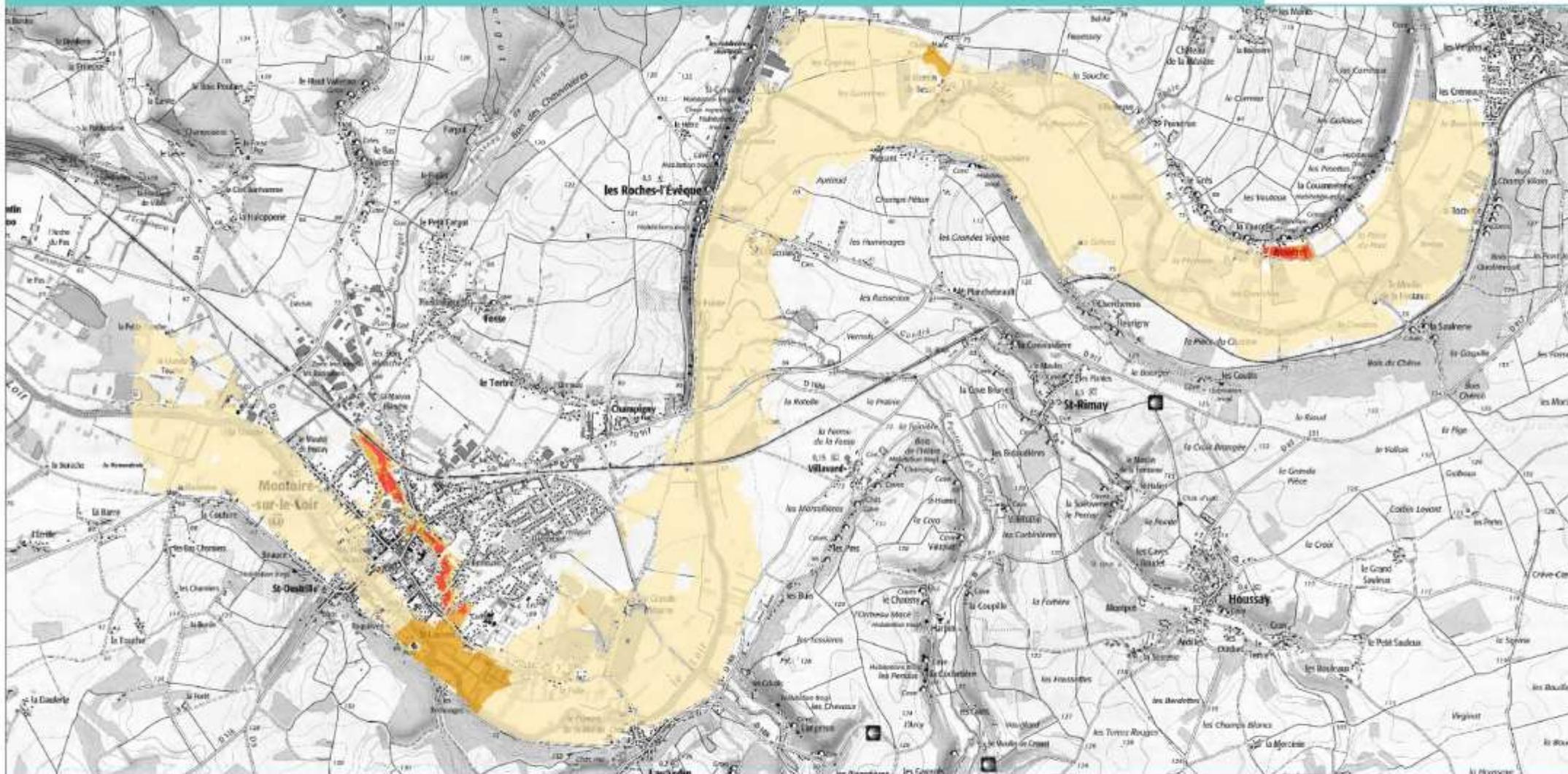




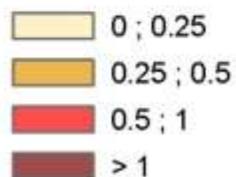
**Impact de la diminution de la rugosité sur le niveau d'eau**  
Ecart en mètres (scénario gamme 2 - scénario gamme retenue)



Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 16/02/2021  
Nom du document :  
Carte\_impact\_sensibilite\_Ks\_Montoire



**Impact de l'augmentation de la rugosité sur le niveau d'eau**  
Ecart en mètres (scénario gamme 1 - scénario gamme retenue)

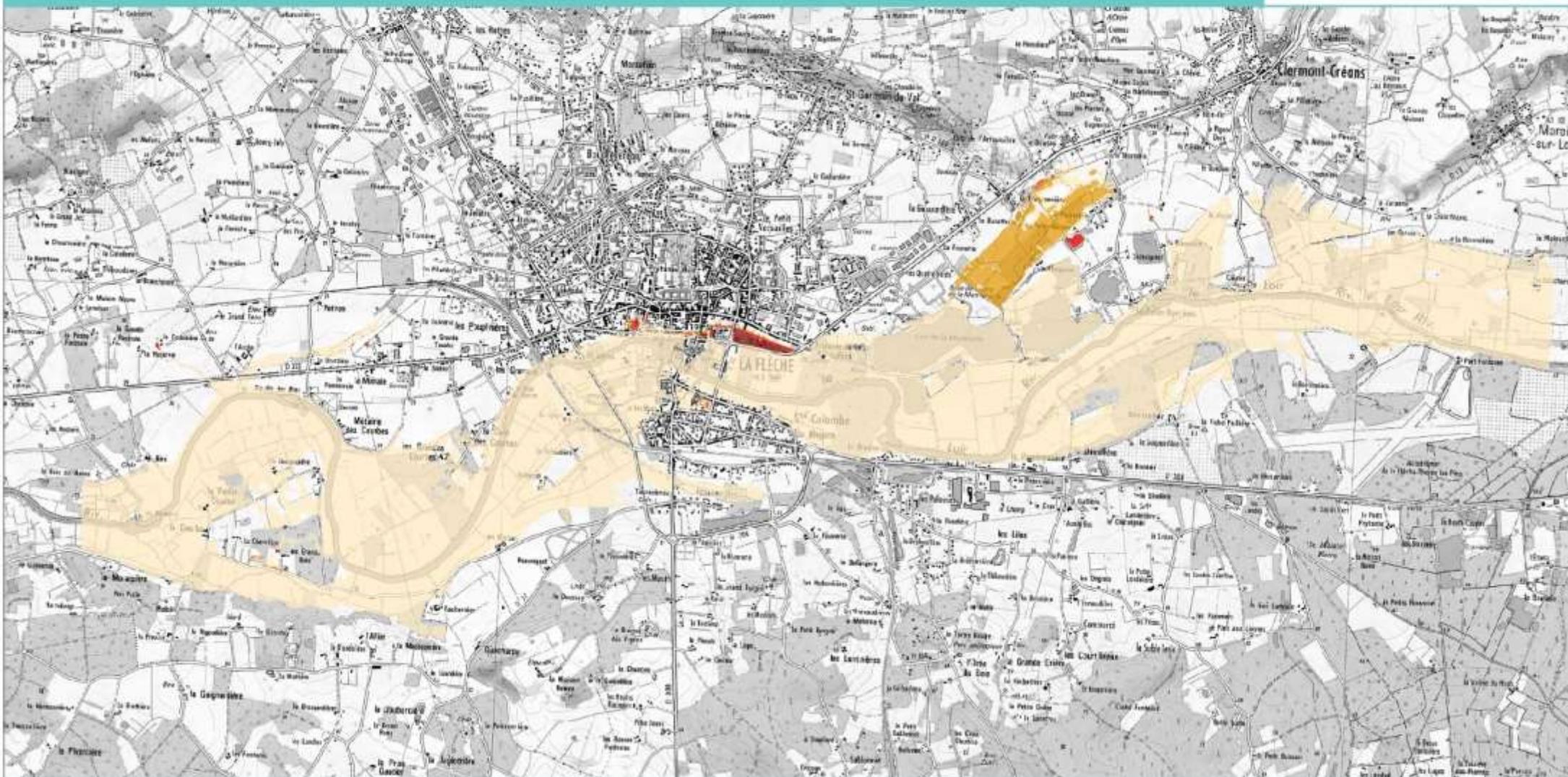


0 1 2 Km

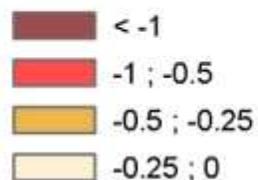


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 16/02/2021  
Nom du document :  
Carte\_impact\_sensibilite\_Ks\_Montoire



**Impact de la diminution de la rugosité sur le niveau d'eau**  
Ecart en mètres (scénario gamme 2 - scénario gamme retenue)

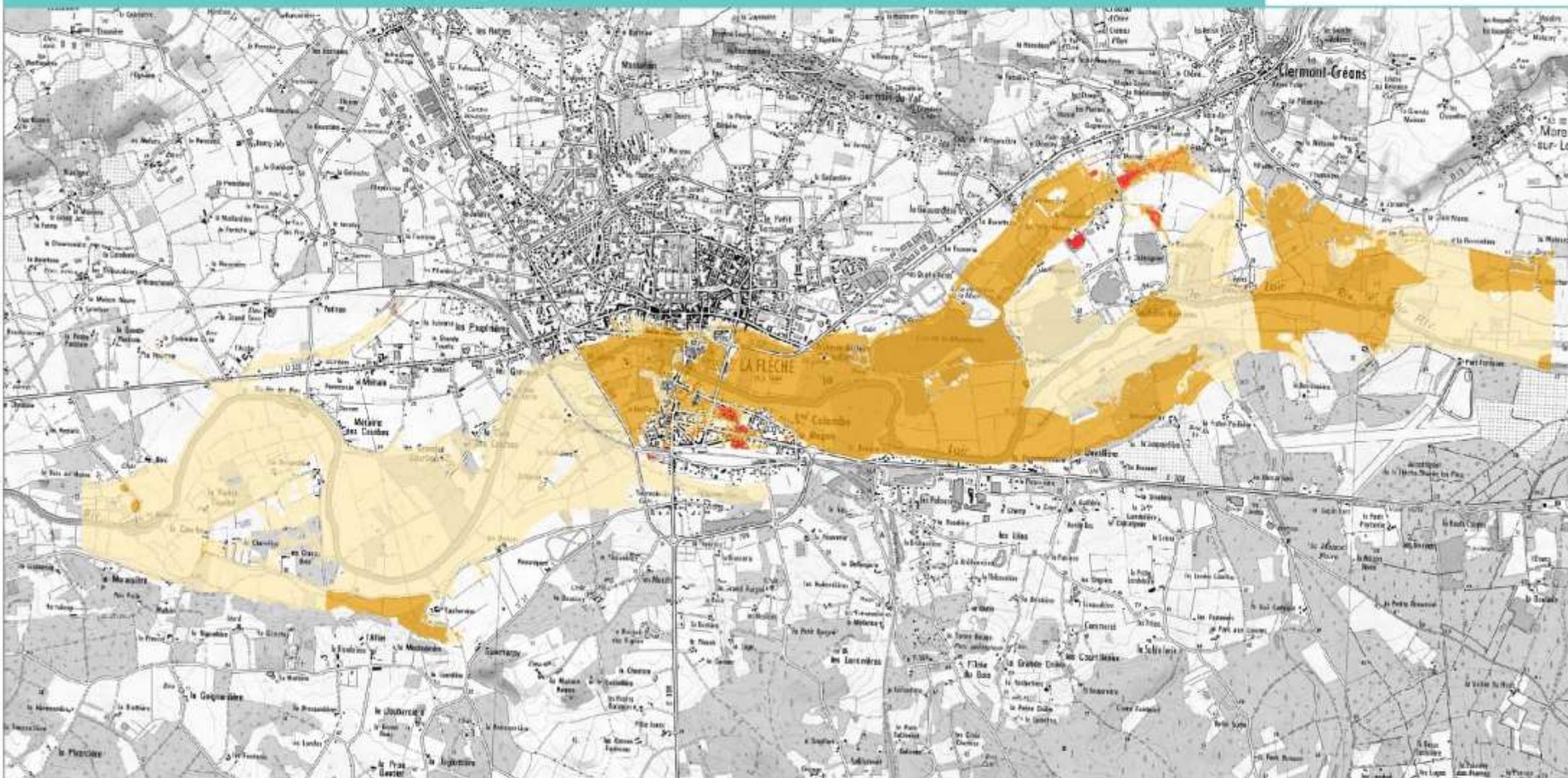


0 1 2 Km



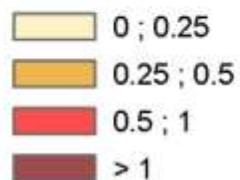
**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 16/02/2021  
Nom du document :  
Carte\_impact\_sensibilite\_Ks\_LaFleche



**Impact de l'augmentation de la rugosité sur le niveau d'eau**

Ecarts en mètres (scénario gamme 1 - scénario gamme retenue)



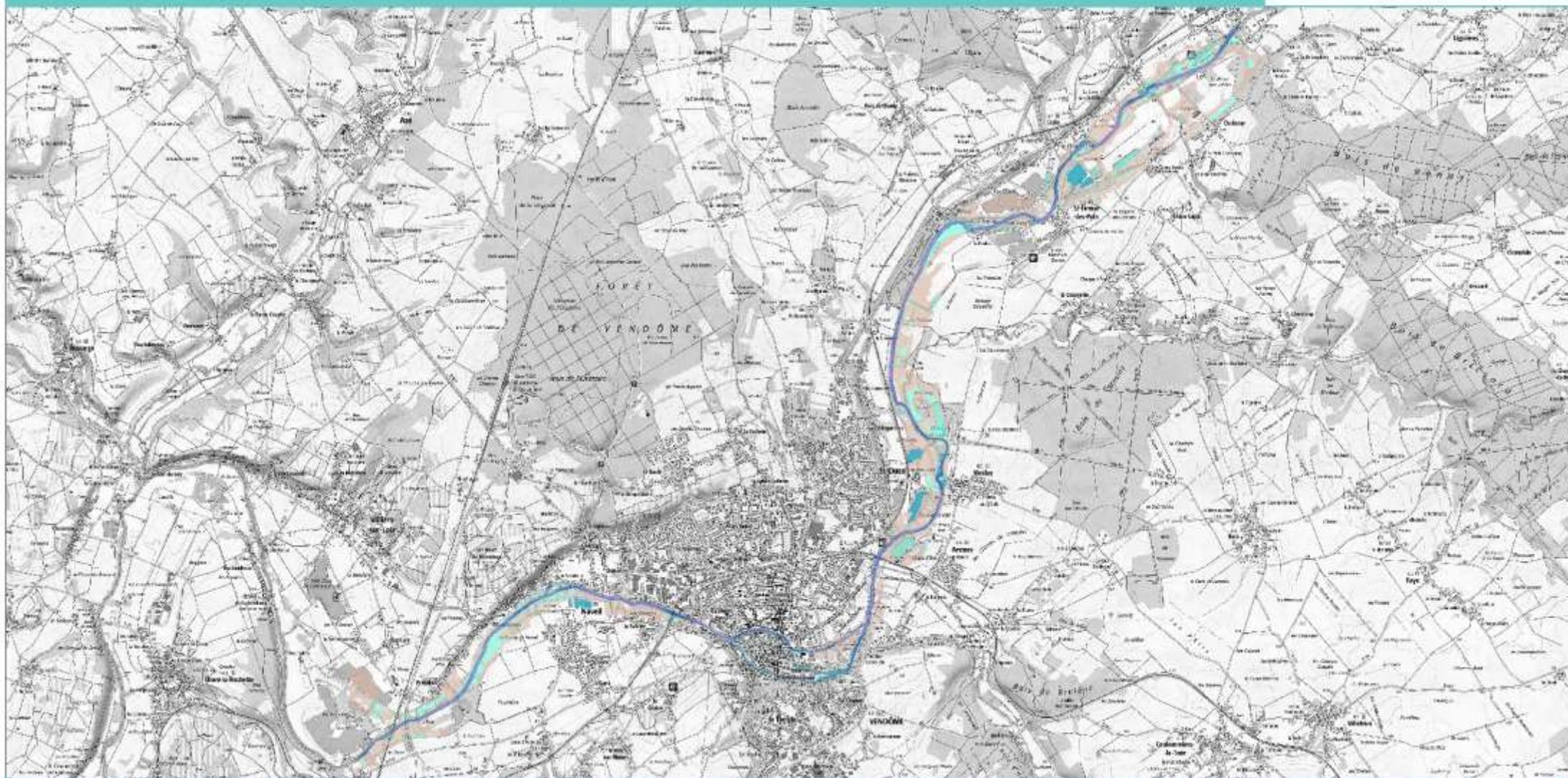
0 1 2 Km



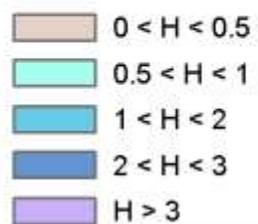
**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 16/02/2021  
Nom du document :  
Carte\_impact\_sensibilite\_Ks\_LaFleche

## Annexe 4. ZEC 5L Vendôme - Cartographie des hauteurs de crues de projet



Hauteurs d'eau (m)

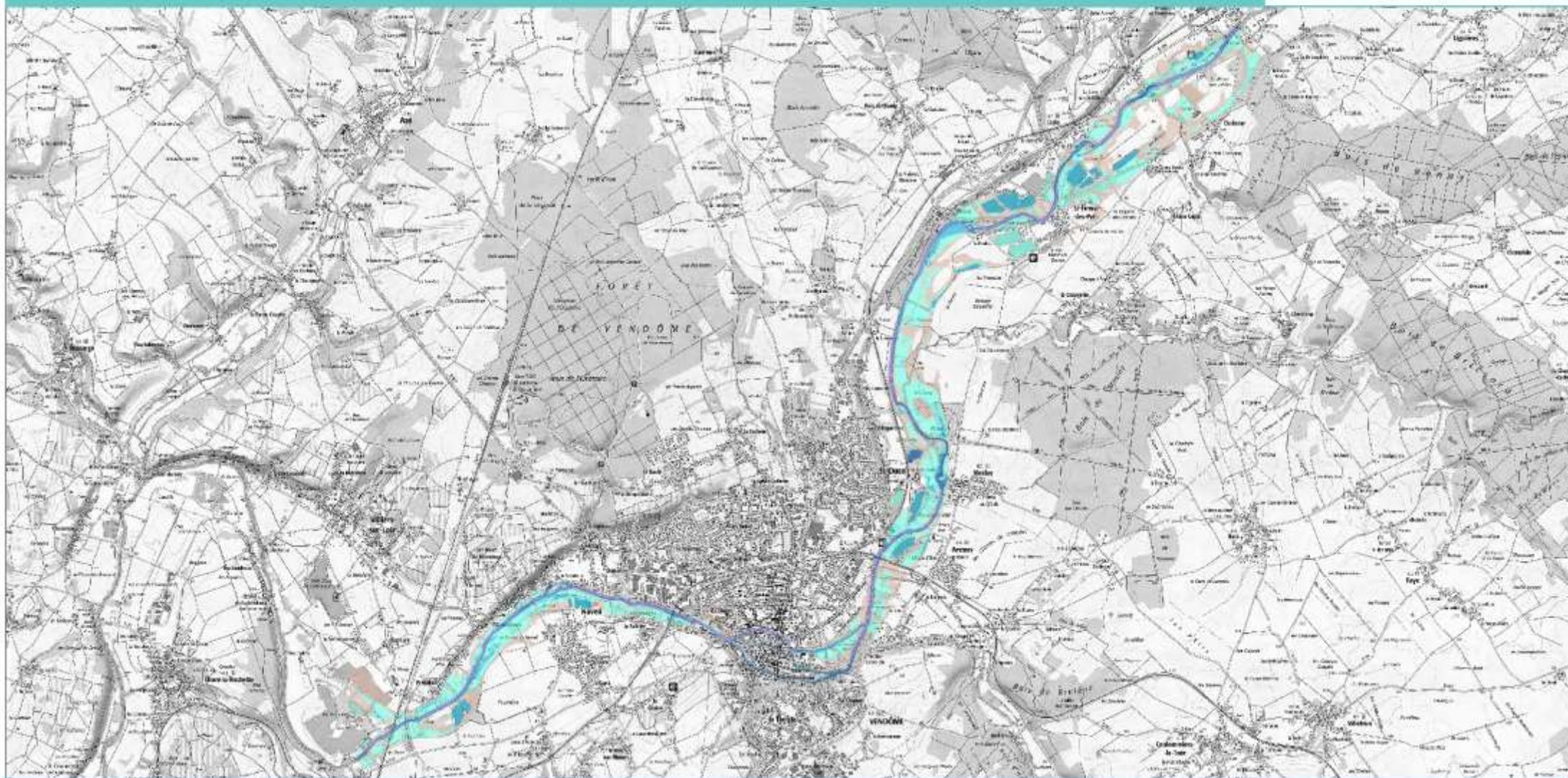


0 1.5 3 Km



**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Hauteurs d'eau (m)

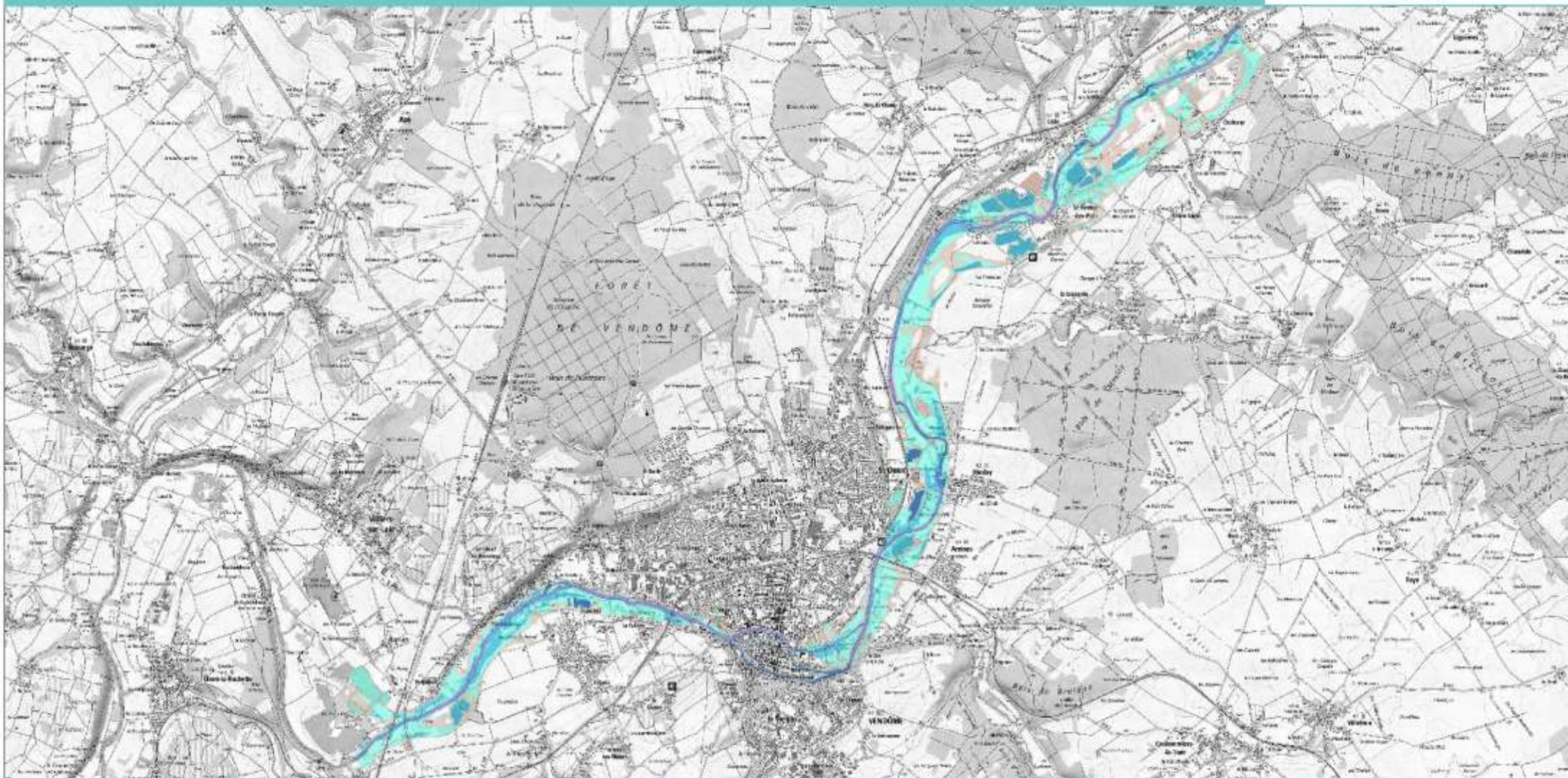
- 0 < H < 0.5
- 0.5 < H < 1
- 1 < H < 2
- 2 < H < 3
- H > 3

0 1.5 3 Km

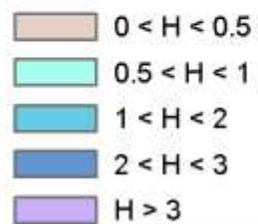


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Hauteurs d'eau (m)

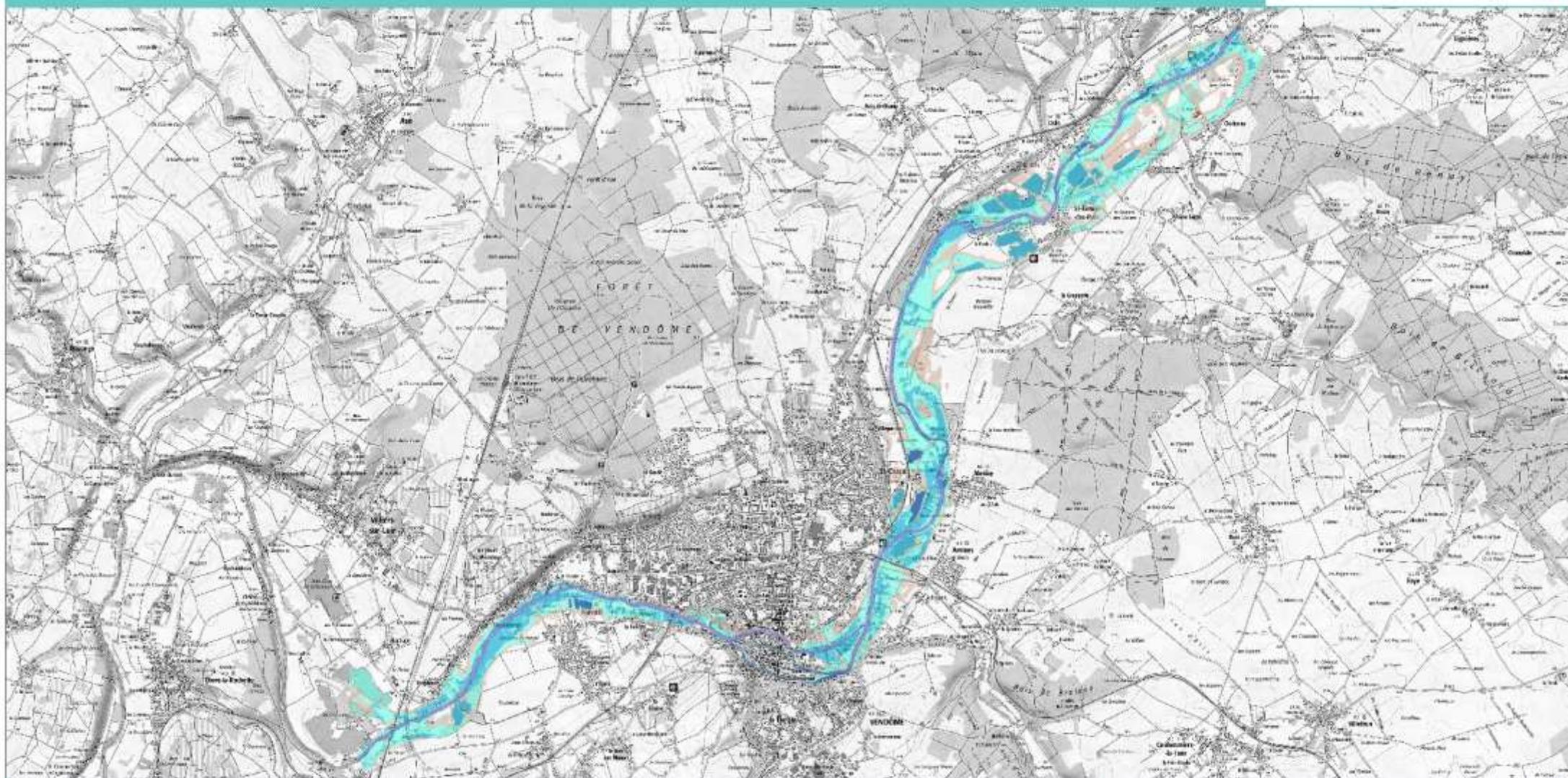


0 1.5 3 Km

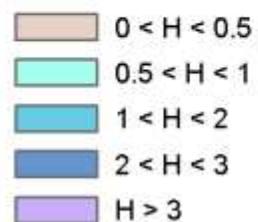


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Hauteurs d'eau (m)

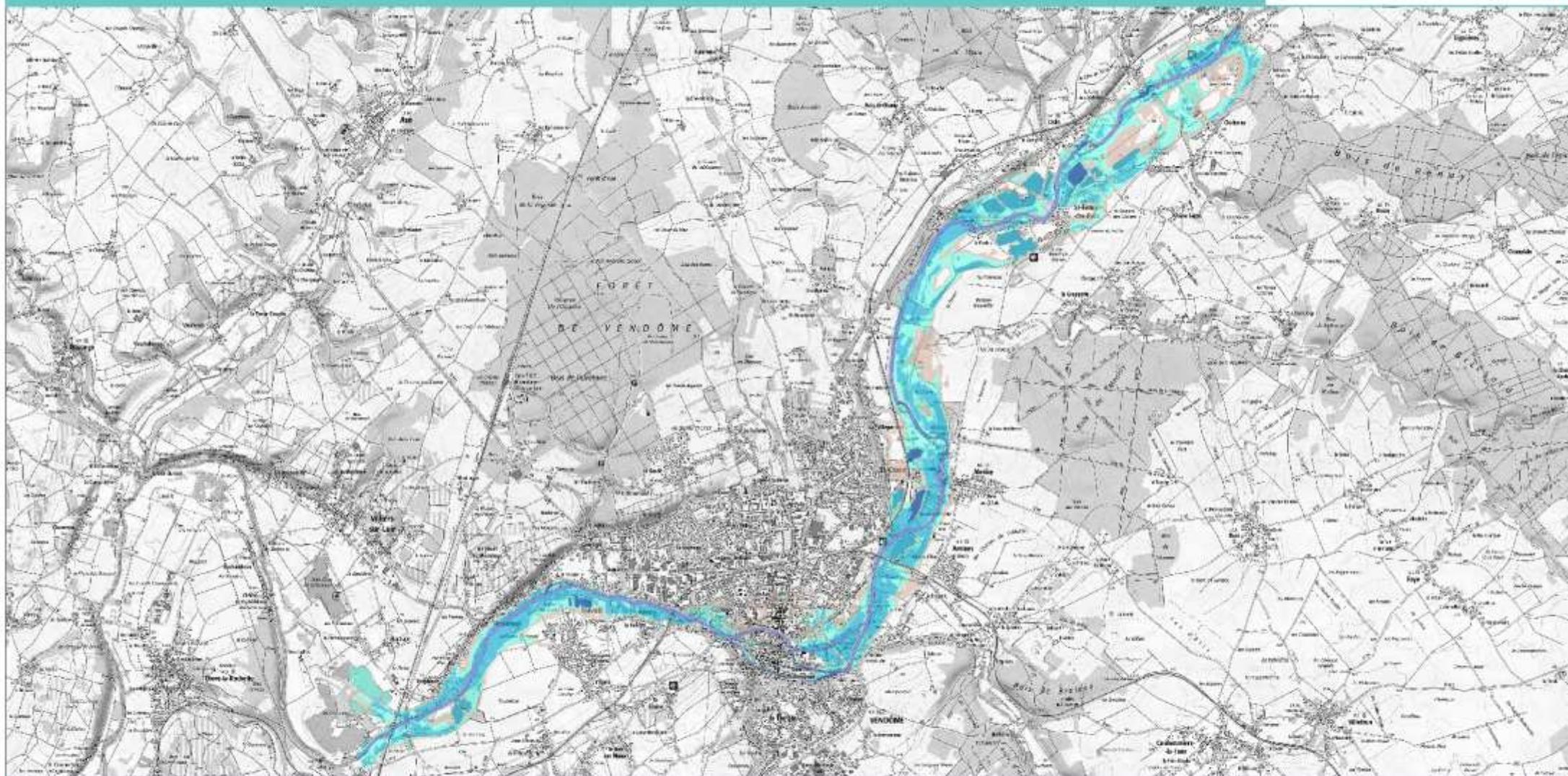


0 1.5 3 Km

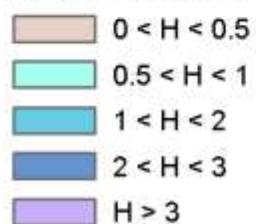


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Hauteurs d'eau (m)

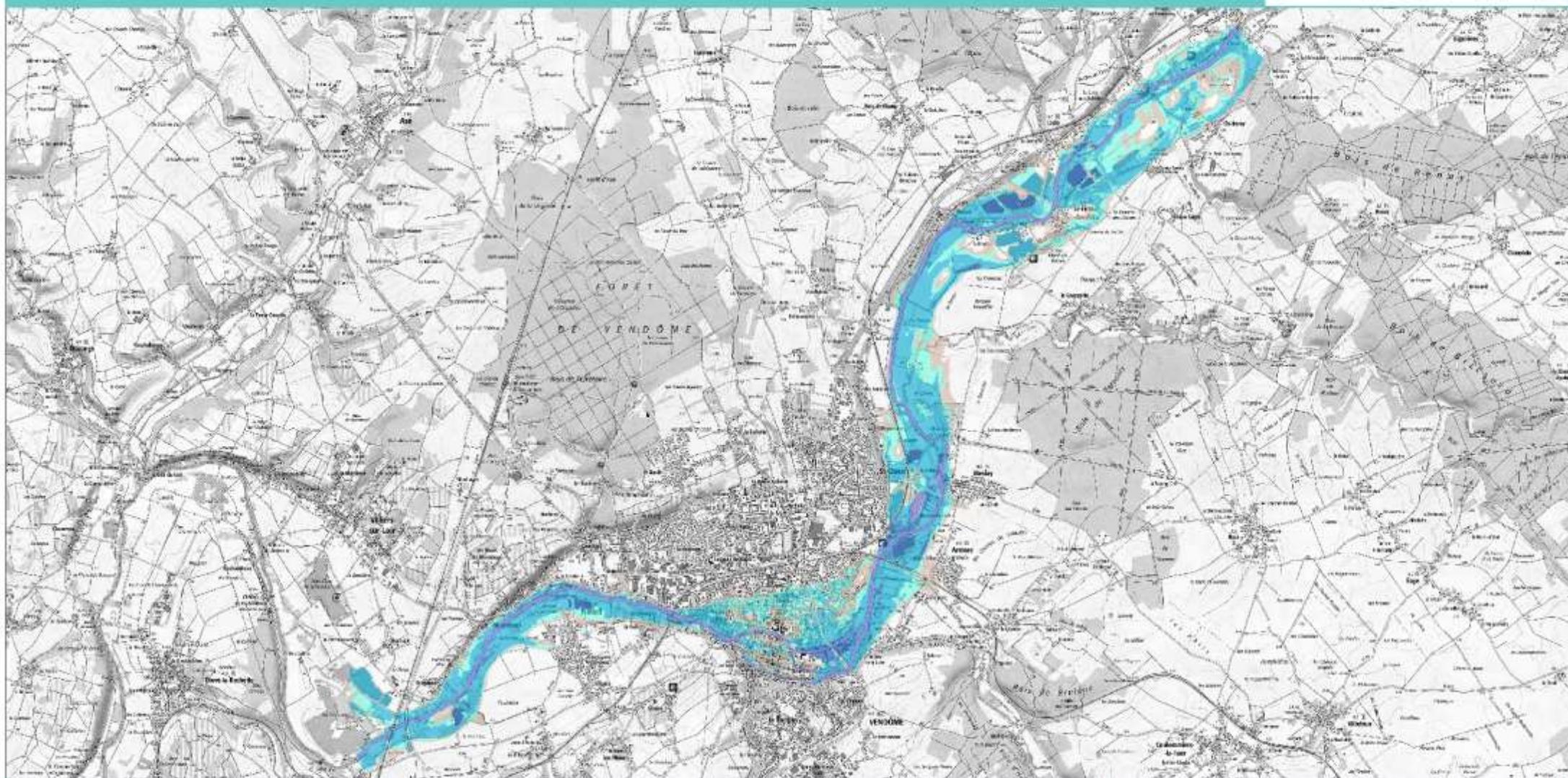


0 1.5 3 Km

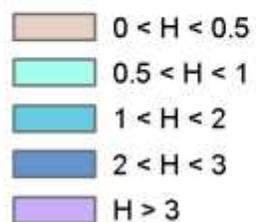


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Hauteurs d'eau (m)



0 1.5 3 Km



**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir

## Annexe 5. ZEC 5L Vendôme - Cartographie des vitesses de crues de projet



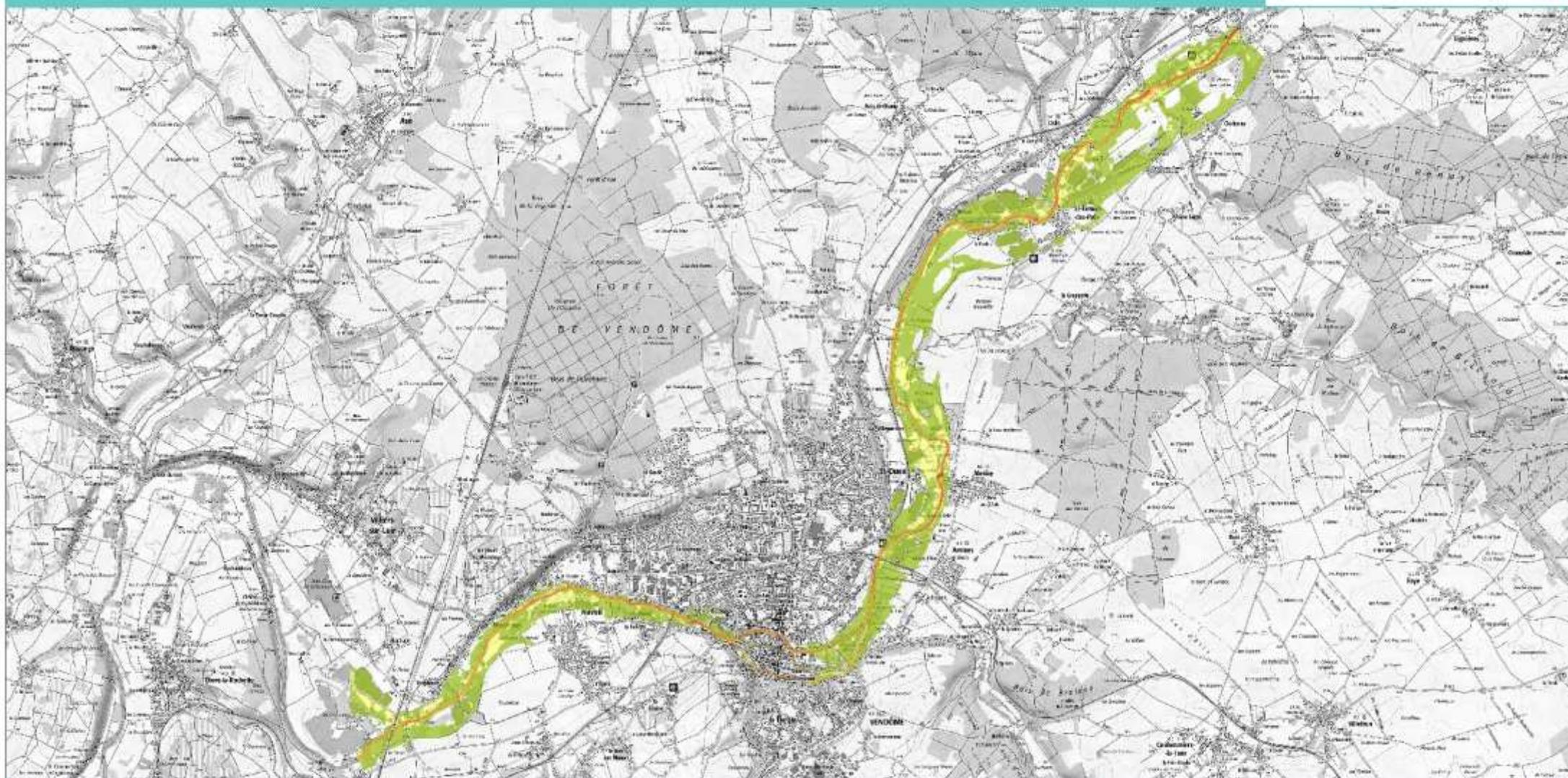
Vitesses (m/s)

-  0 < V < 0.25
-  0.25 < V < 0.5
-  0.5 < V < 1
-  1 < V < 2
-  V > 2

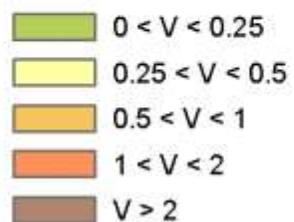
0 1.5 3 Km



Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Vitesses (m/s)

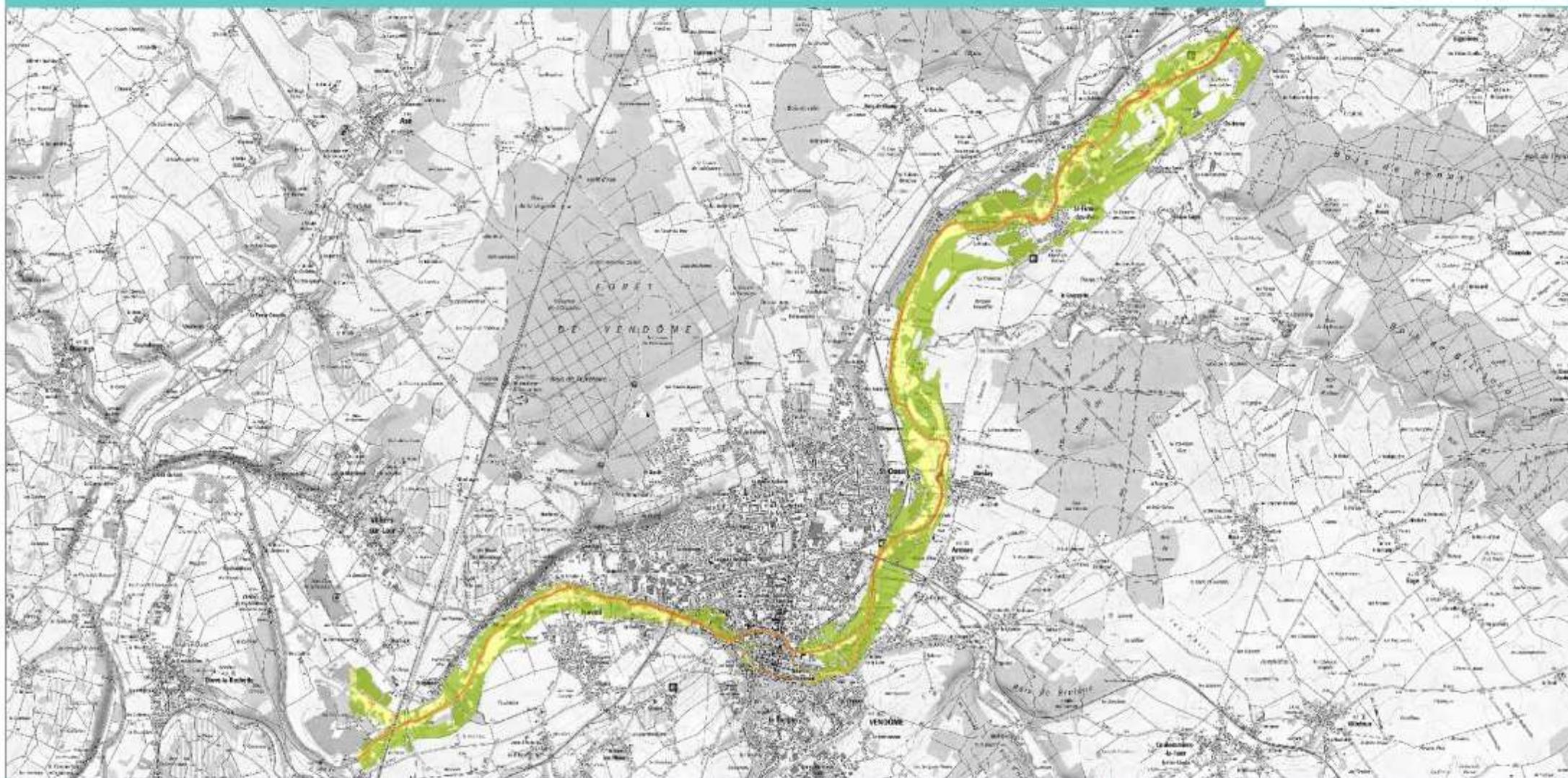


0 1.5 3 Km

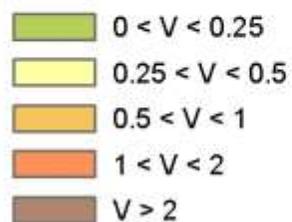


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Vitesses (m/s)

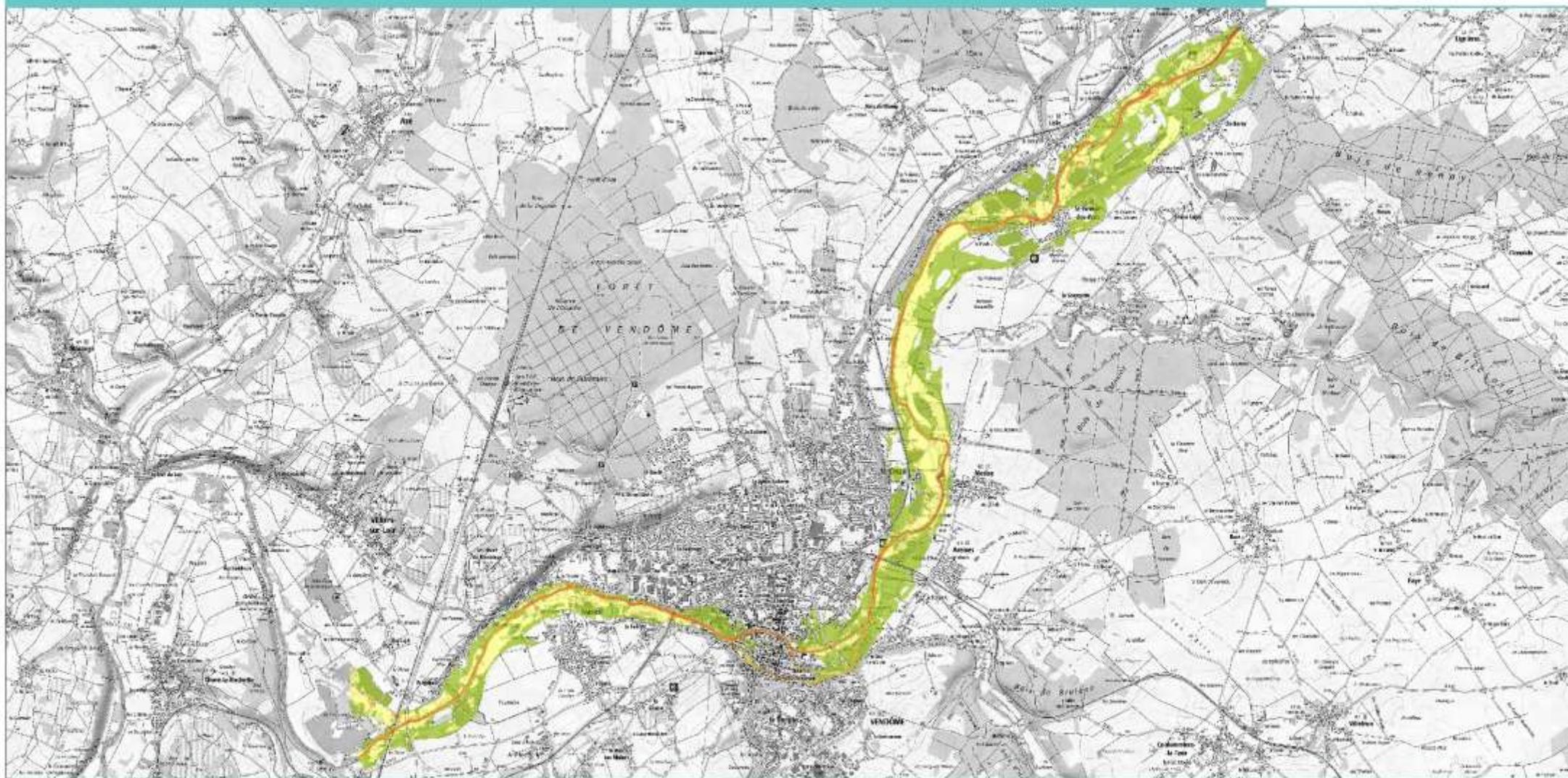


0 1.5 3 Km

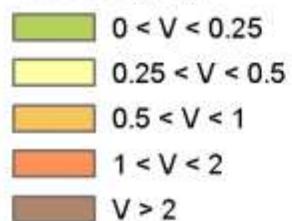


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Vitesses (m/s)

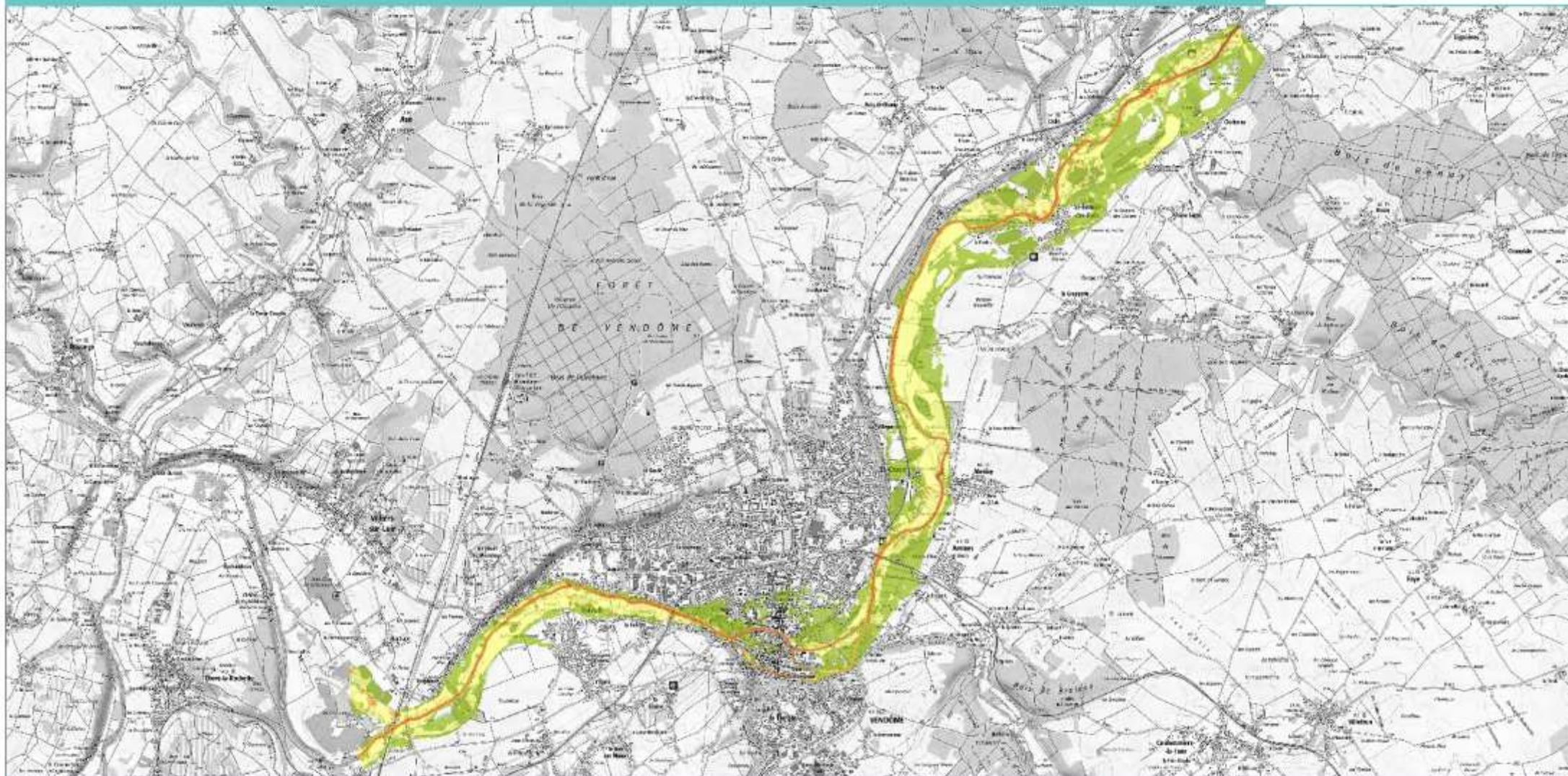


0 1.5 3 Km

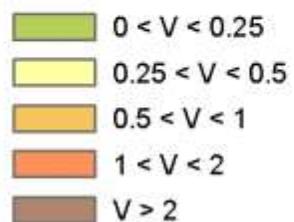


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Vitesses (m/s)

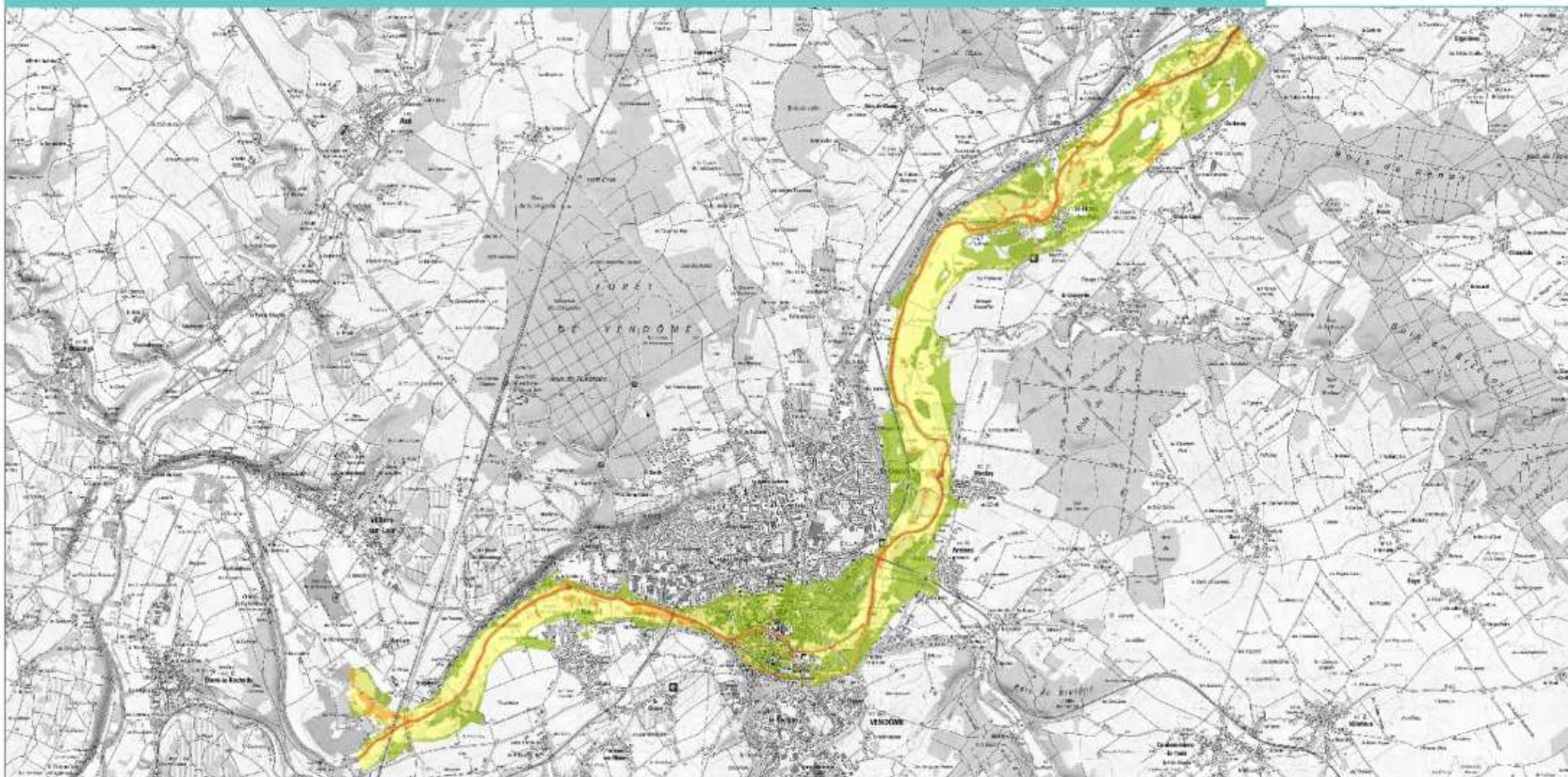


0 1.5 3 Km

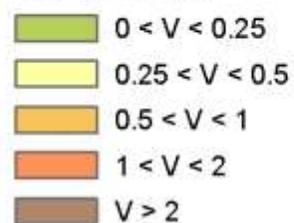


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir



Vitesses (m/s)



0 1.5 3 Km



**BRL**  
Ingénierie

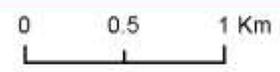
Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 03/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Vendome\_Loir

## Annexe 6. ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir - Cartographie des hauteurs de crues de projet



Hauteurs d'eau (m)

- $0 < H < 0.5$
- $0.5 < H < 1$
- $1 < H < 2$
- $2 < H < 3$
- $H > 3$

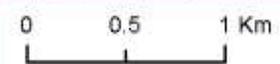


Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 05/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Montoire\_Loir



Hauteurs d'eau (m)

-  0 < H < 0.5
-  0.5 < H < 1
-  1 < H < 2
-  2 < H < 3
-  H > 3

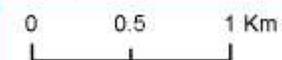
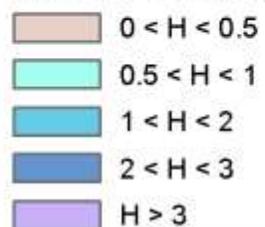


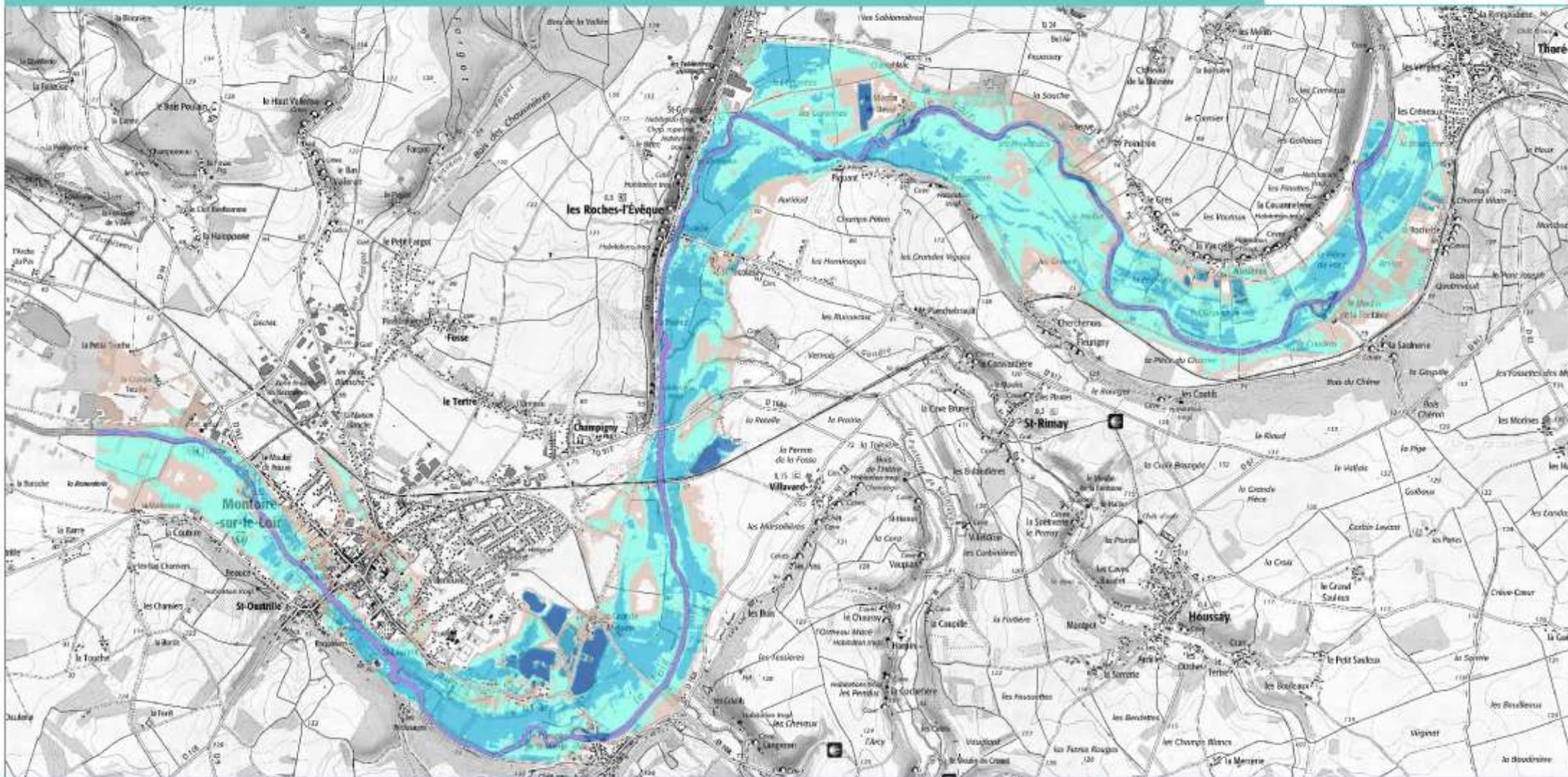
Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 05/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Montoire\_Loir



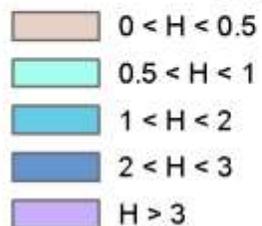


Hauteurs d'eau (m)





Hauteurs d'eau (m)

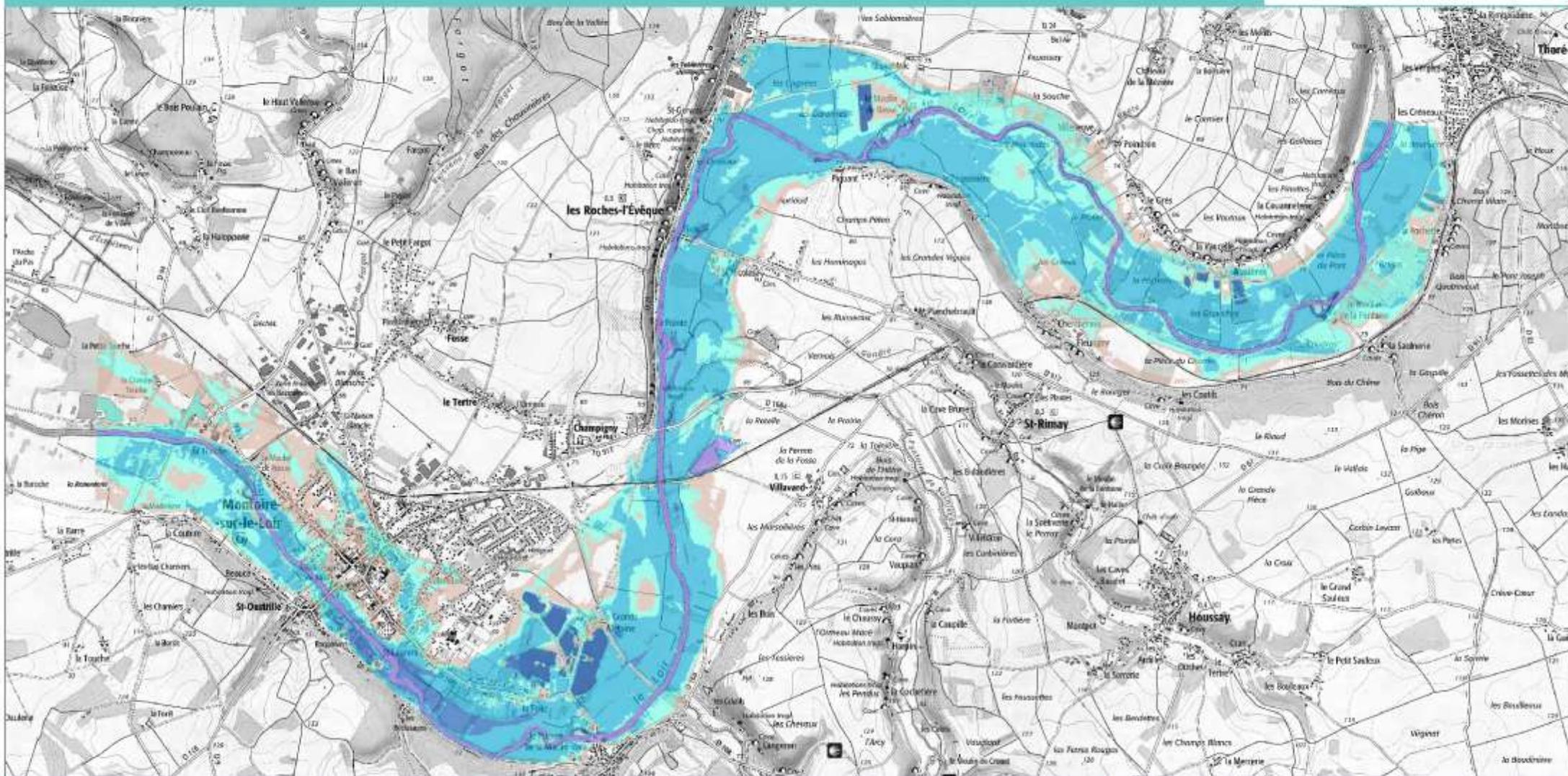


0 0.5 1 Km

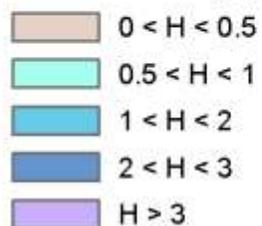


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 05/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Montoire\_Loir



Hauteurs d'eau (m)



0 0.5 1 Km



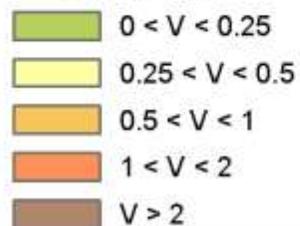
**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 05/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Montoire\_Loir

## Annexe 7. ZEC 4L Montoire-sur-le-Loir - Cartographie des vitesses de crues de projet



Vitesses (m/s)



0 0.5 1 Km

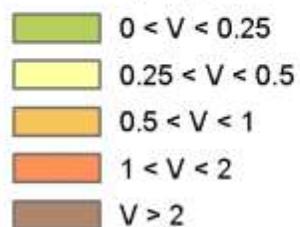


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 05/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Montoire\_Loir



Vitesses (m/s)



0 0.5 1 Km

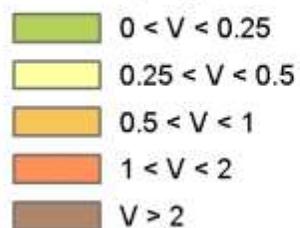


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 05/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Montoire\_Loir



Vitesses (m/s)



0 0.5 1 Km

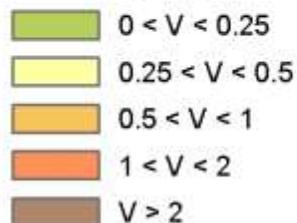


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 05/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_Montoire\_Loir



Vitesses (m/s)

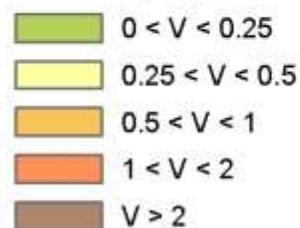


0 0.5 1 Km

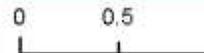


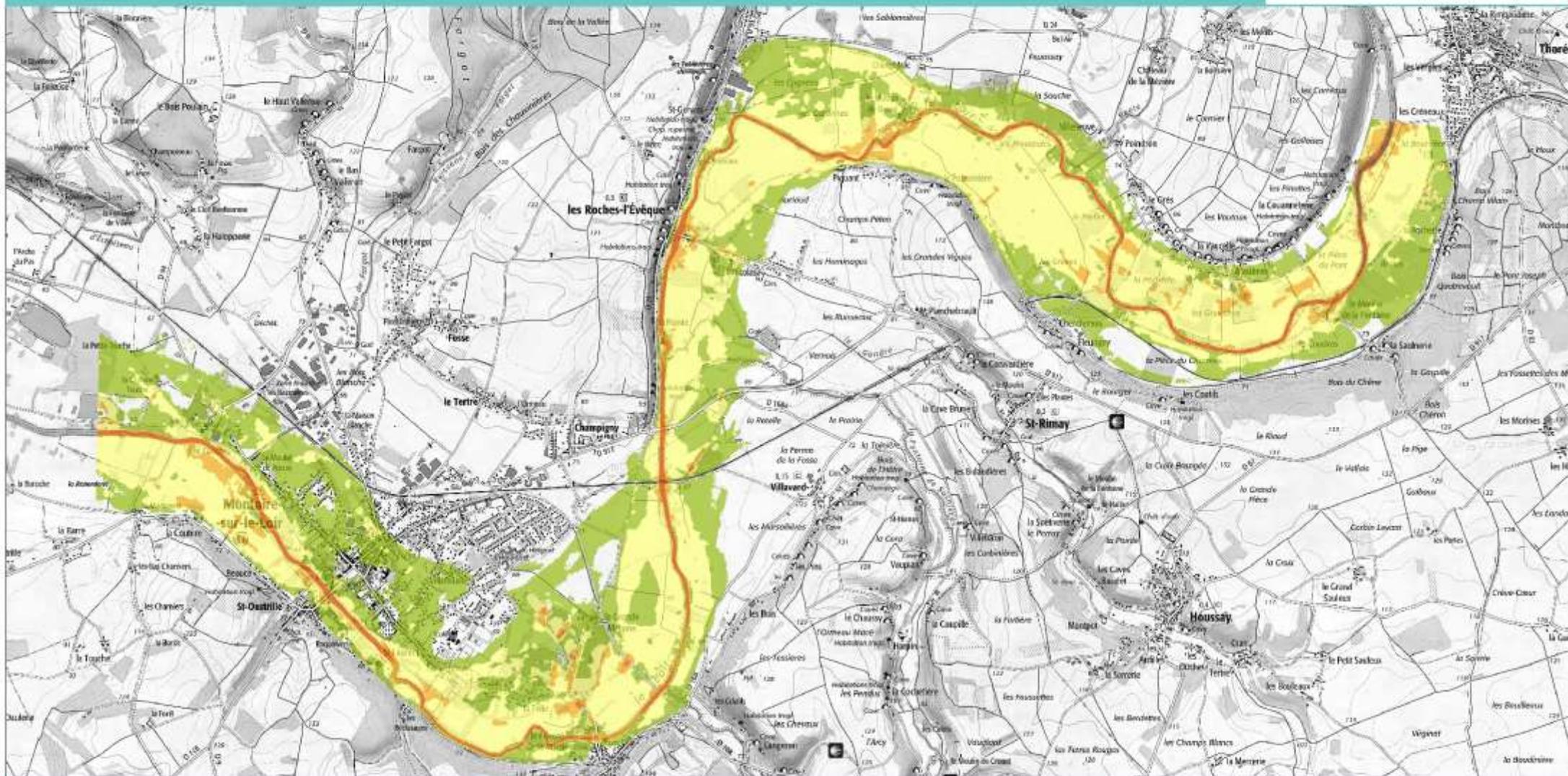


Vitesses (m/s)

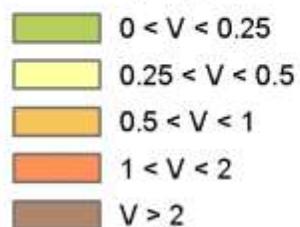


0 0.5 1 Km





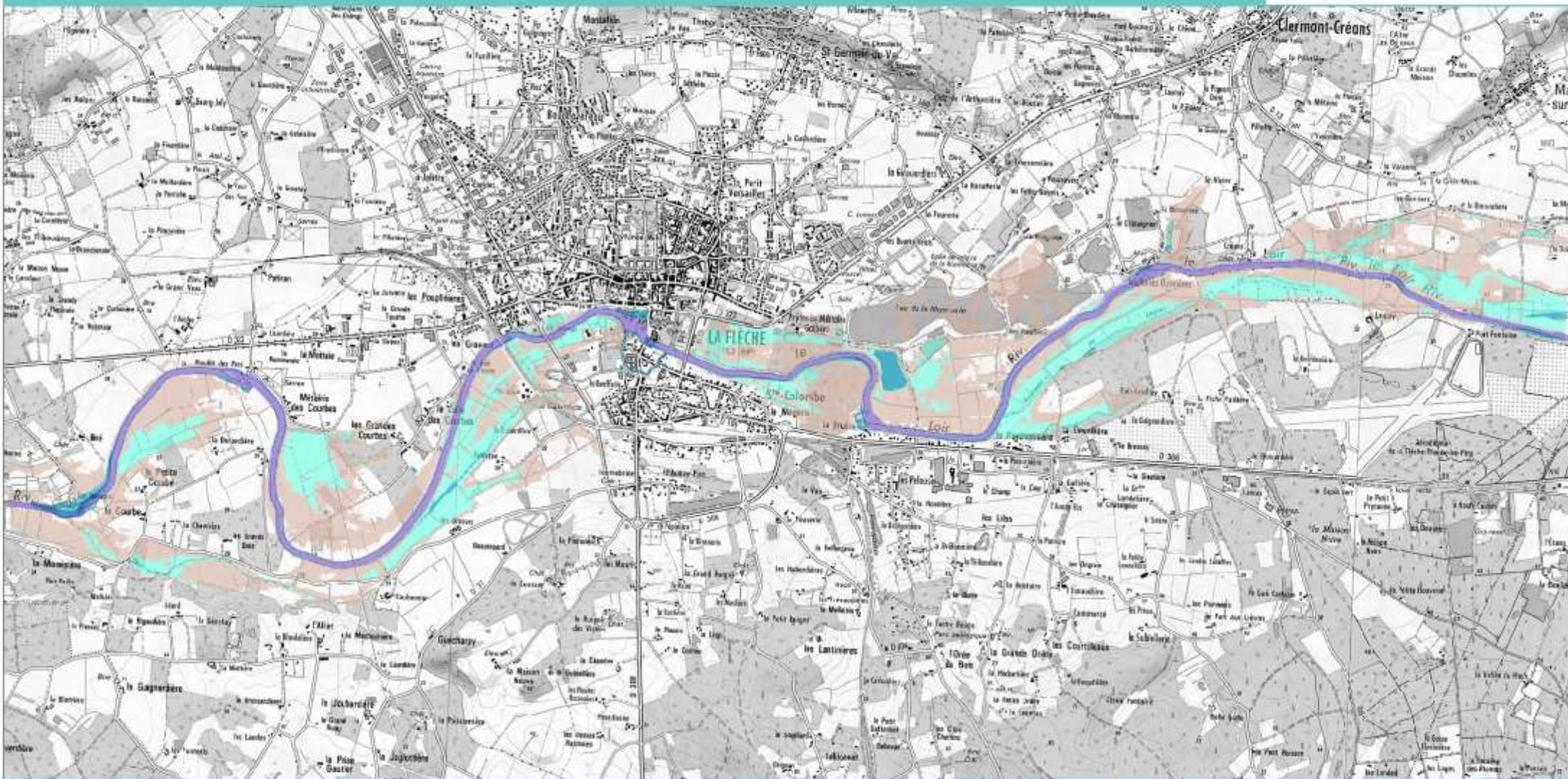
Vitesses (m/s)



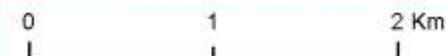
0 0.5 1 Km

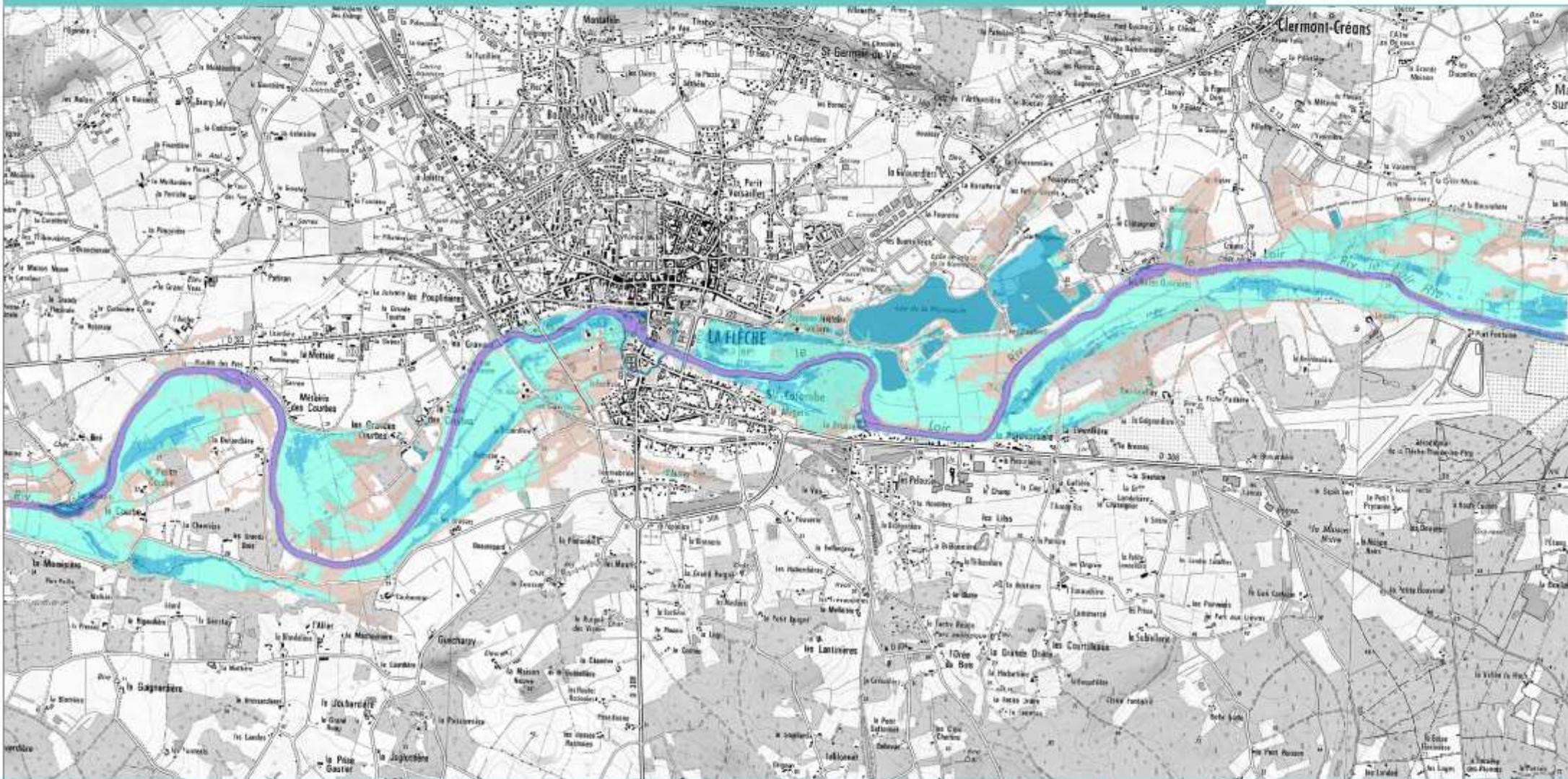


## Annexe 8. ZEC 2L La Flèche - Cartographie des hauteurs de crues de projet

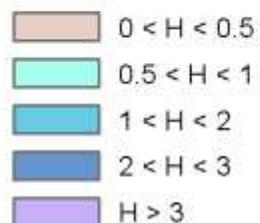


Hauteurs d'eau (m)





Hauteurs d'eau (m)

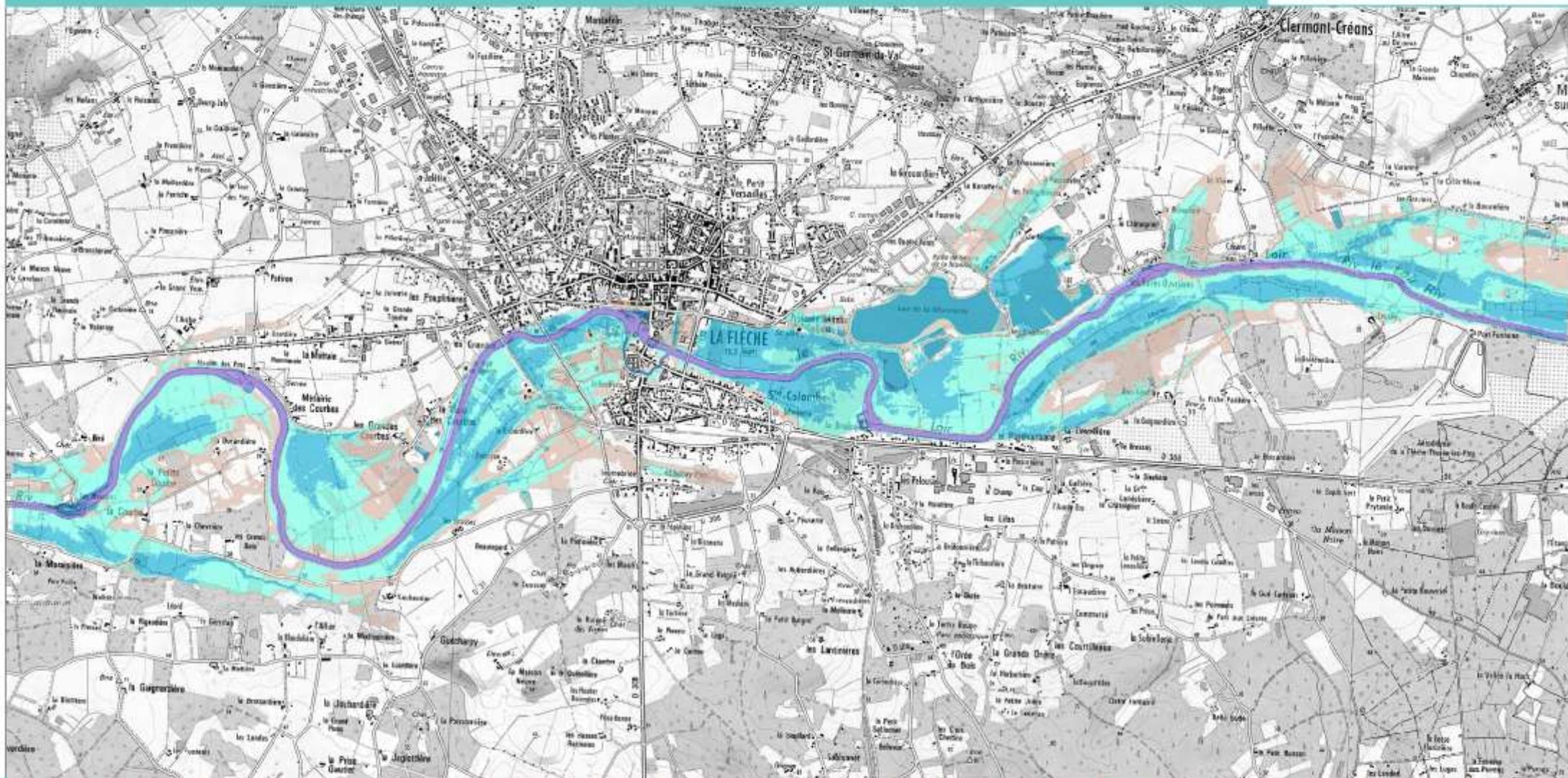


0 1 2 Km

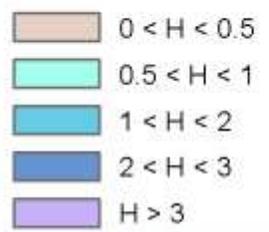


**BRL**  
Ingénierie

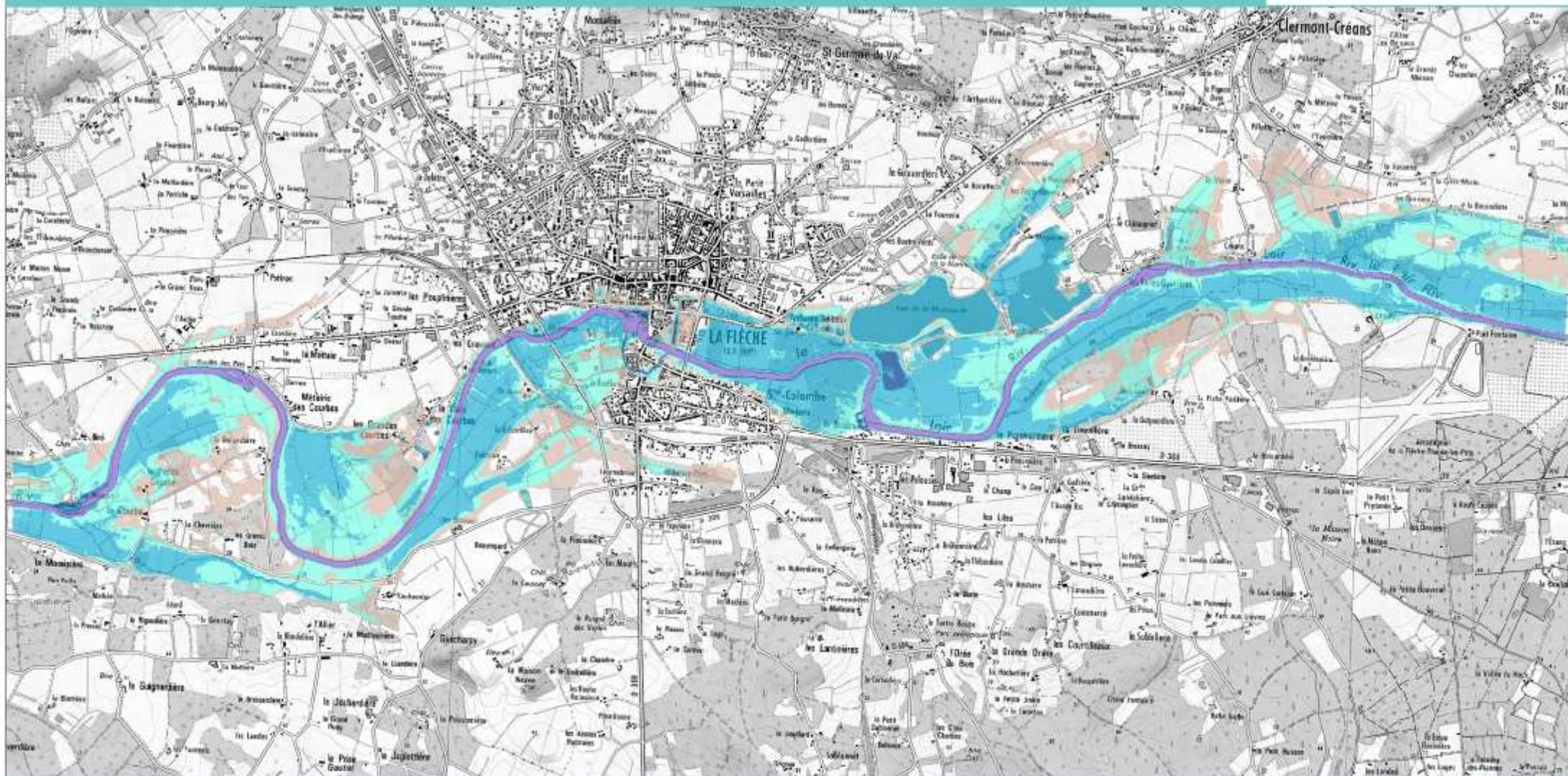
Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFleche\_Loir



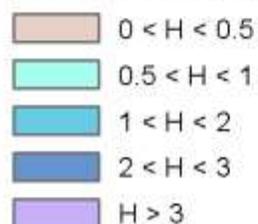
Hauteurs d'eau (m)



Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFleche\_Loir



Hauteurs d'eau (m)

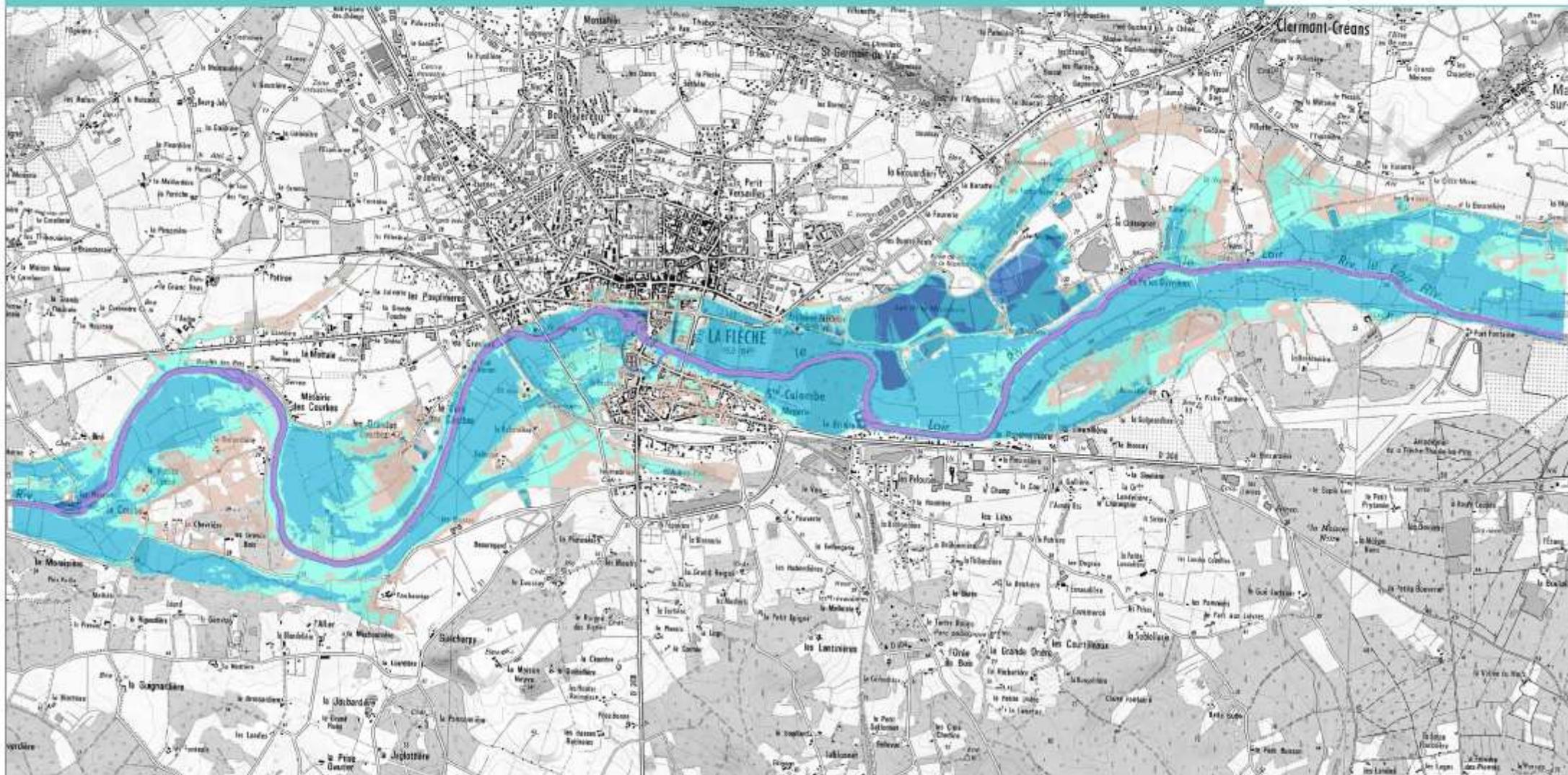


0 1 2 Km



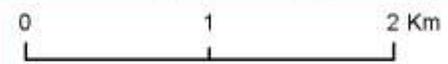
**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFleche\_Loir

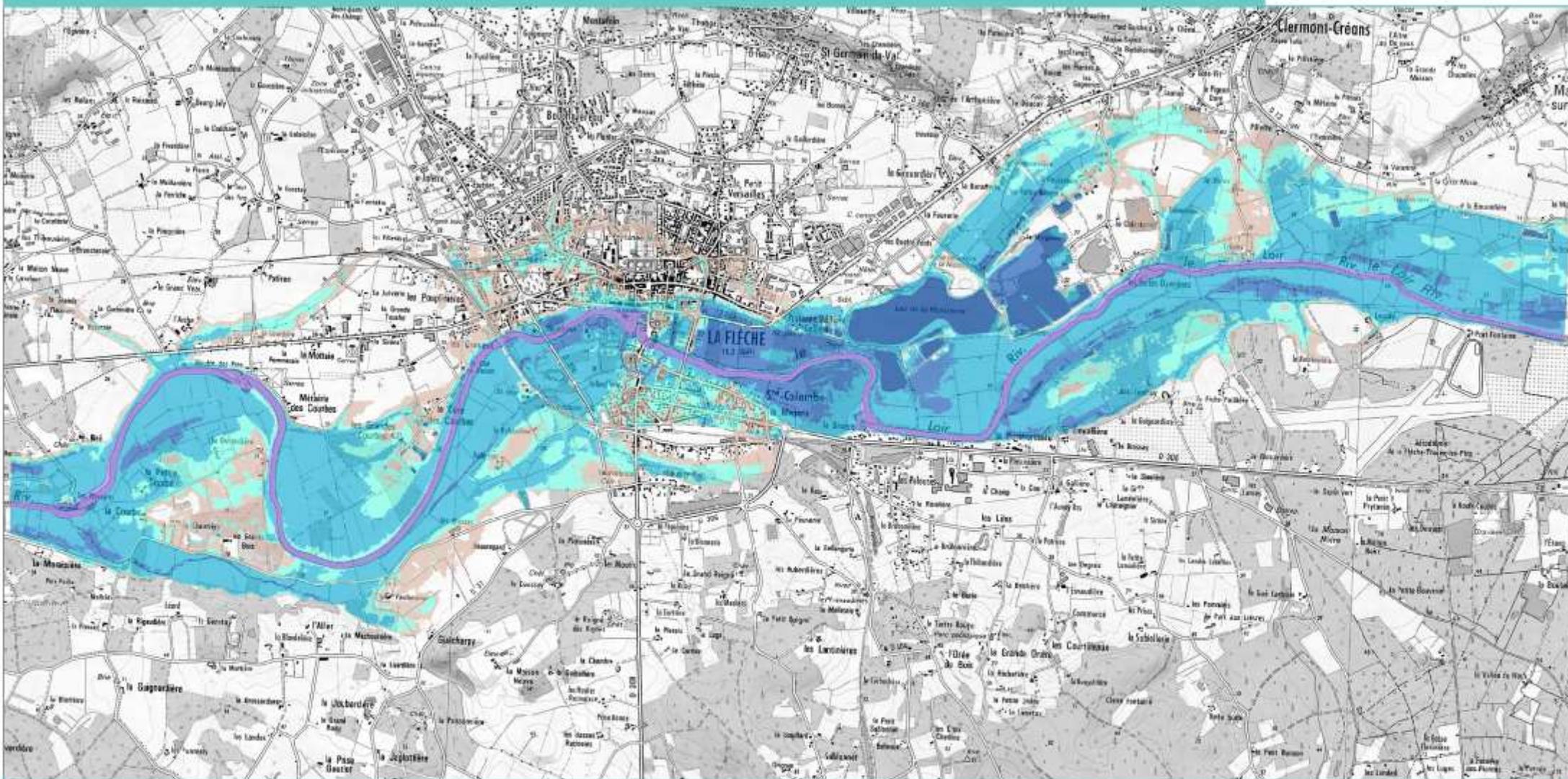


Hauteurs d'eau (m)

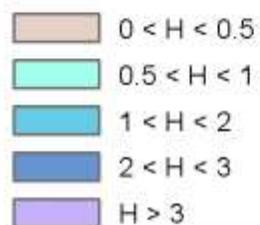
- 0 < H < 0.5
- 0.5 < H < 1
- 1 < H < 2
- 2 < H < 3
- H > 3



Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFlèche\_Loir



Hauteurs d'eau (m)



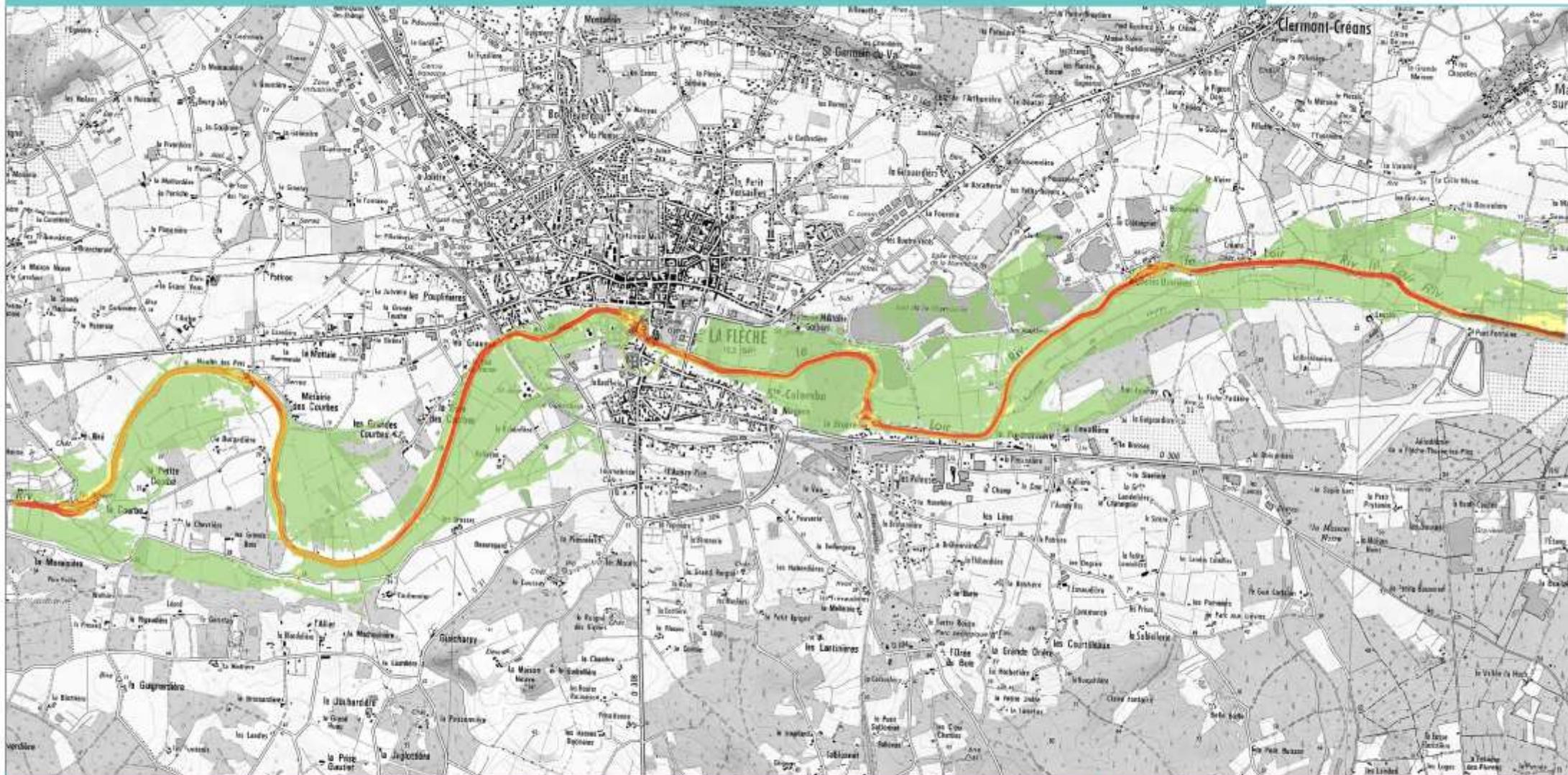
0 1 2 Km



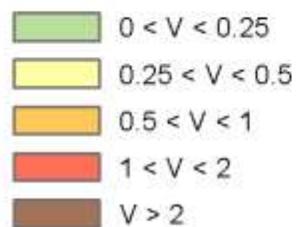
**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFleche\_Loir

## Annexe 9. ZEC 2L LA Flèche - Cartographie des vitesses de crues de projet



Vitesses (m/s)

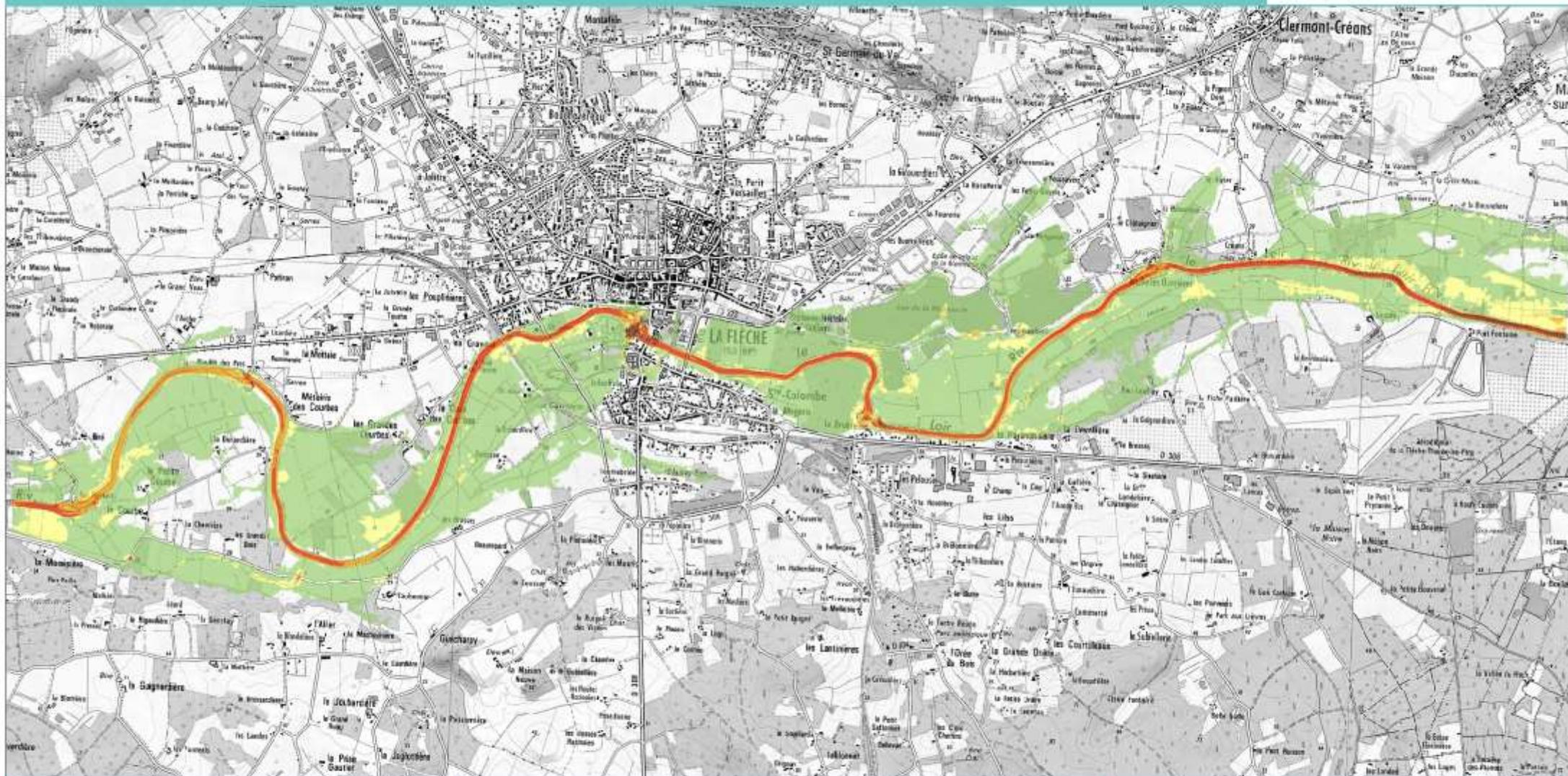


0 1 2 Km

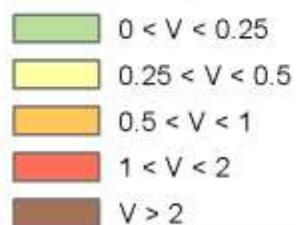


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFleche\_Loir



Vitesses (m/s)

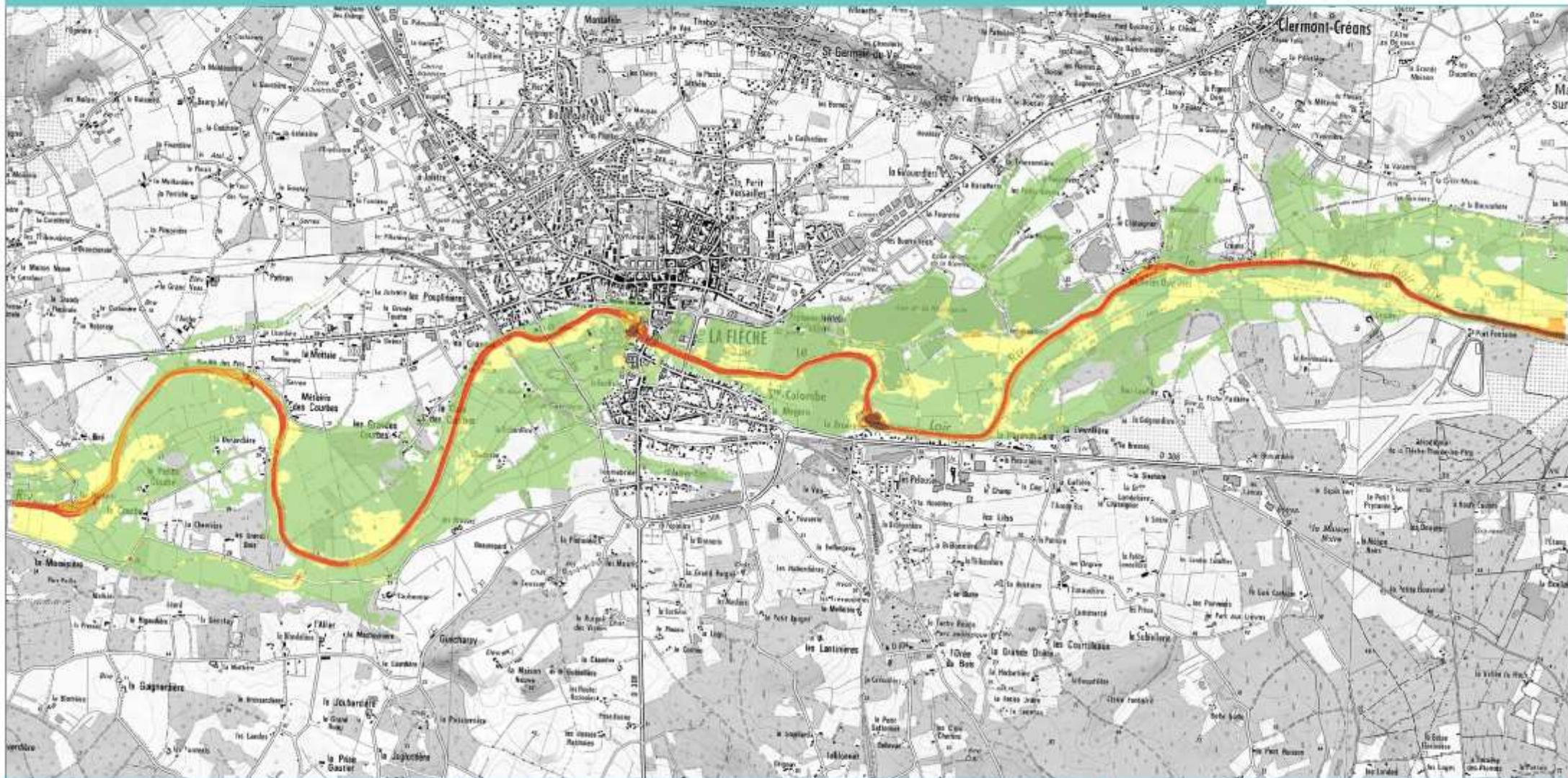


0 1 2 Km

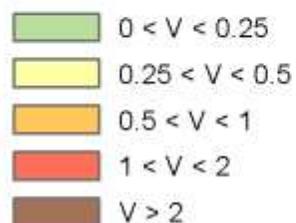


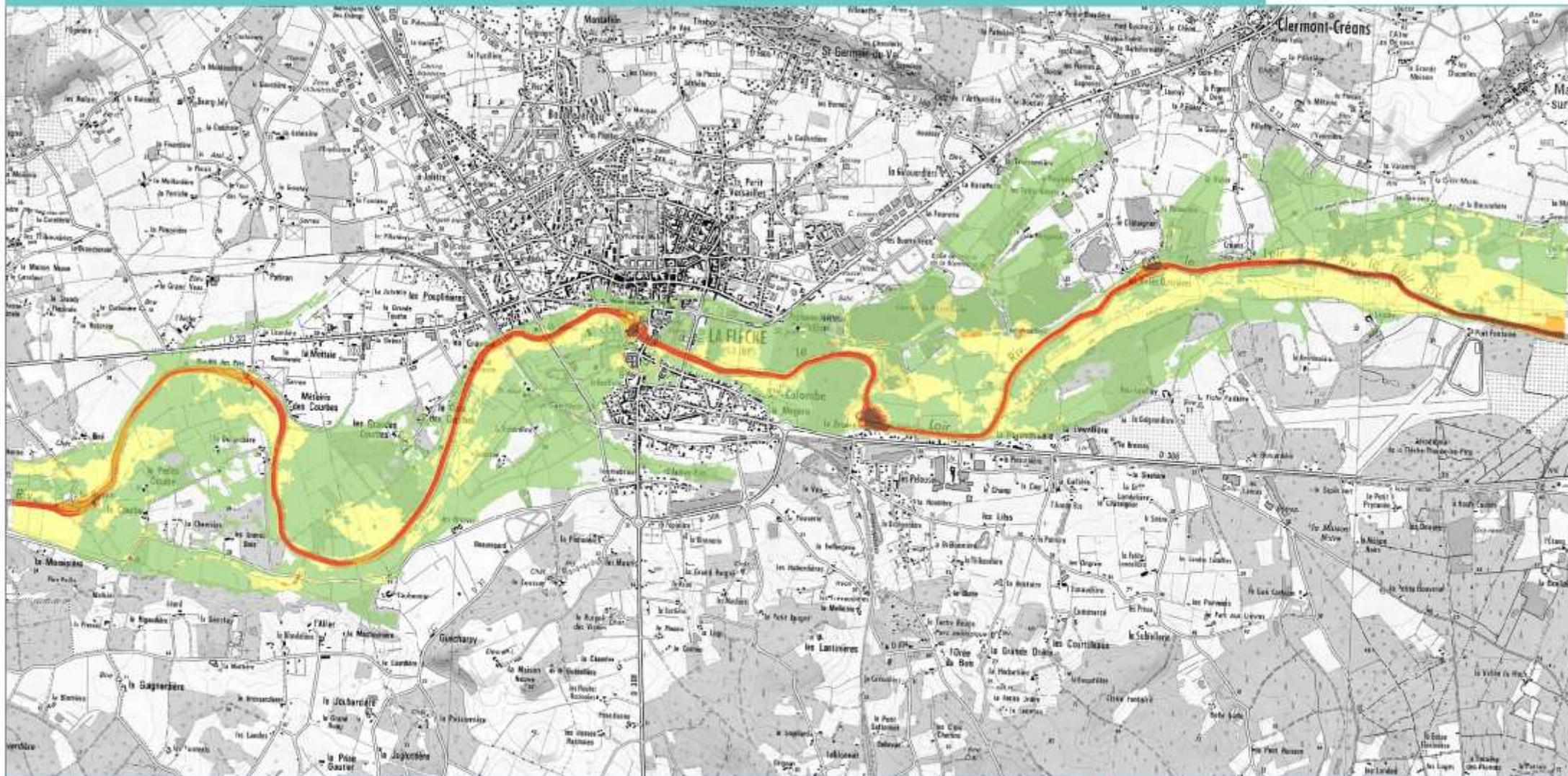
**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFleche\_Loir

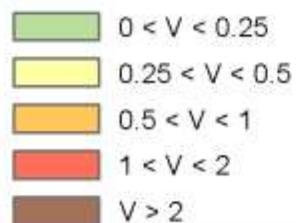


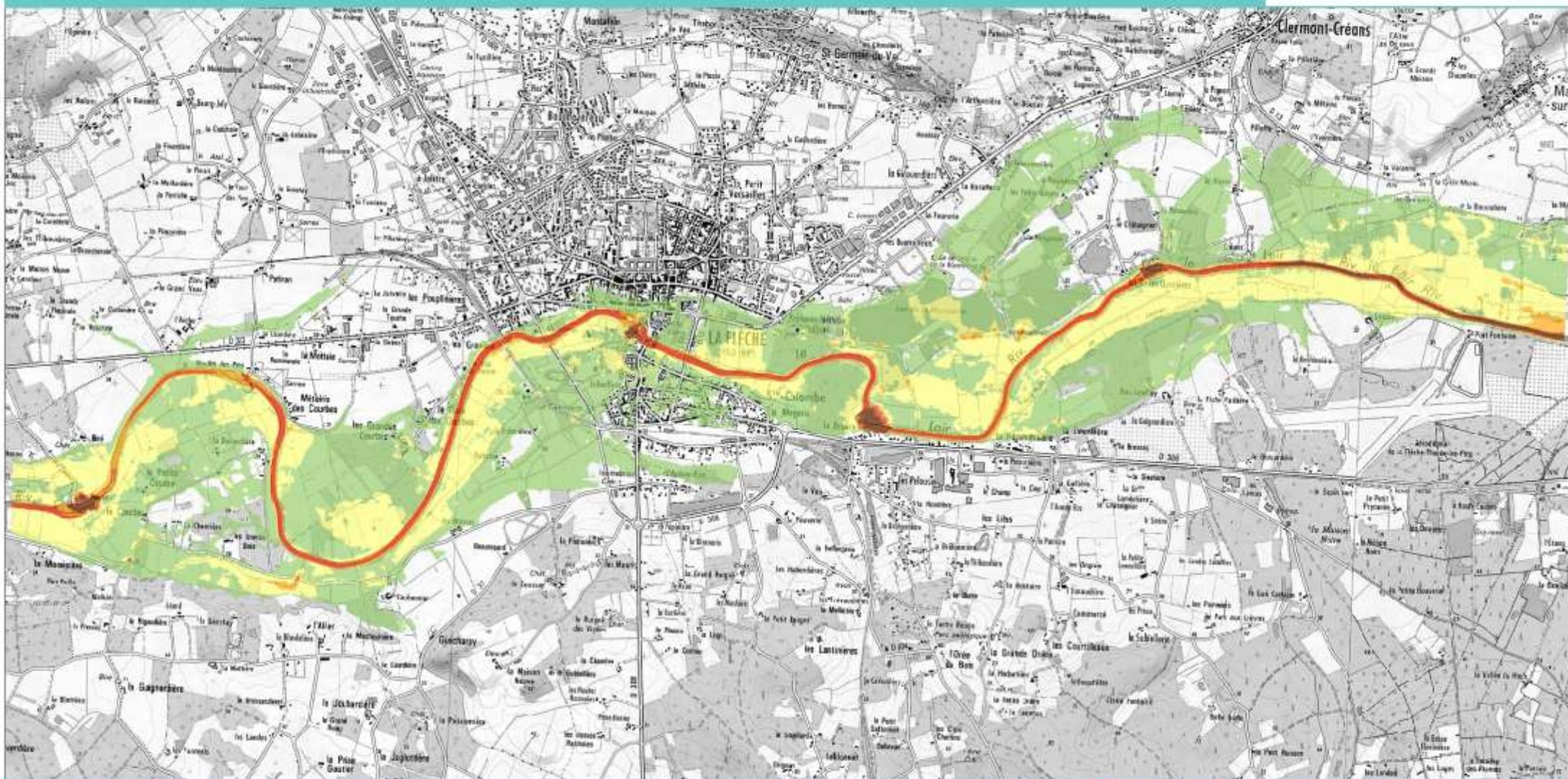
Vitesses (m/s)



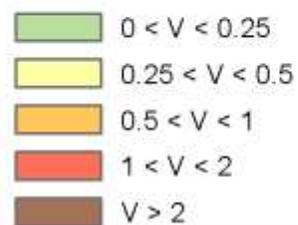


Vitesses (m/s)





Vitesses (m/s)

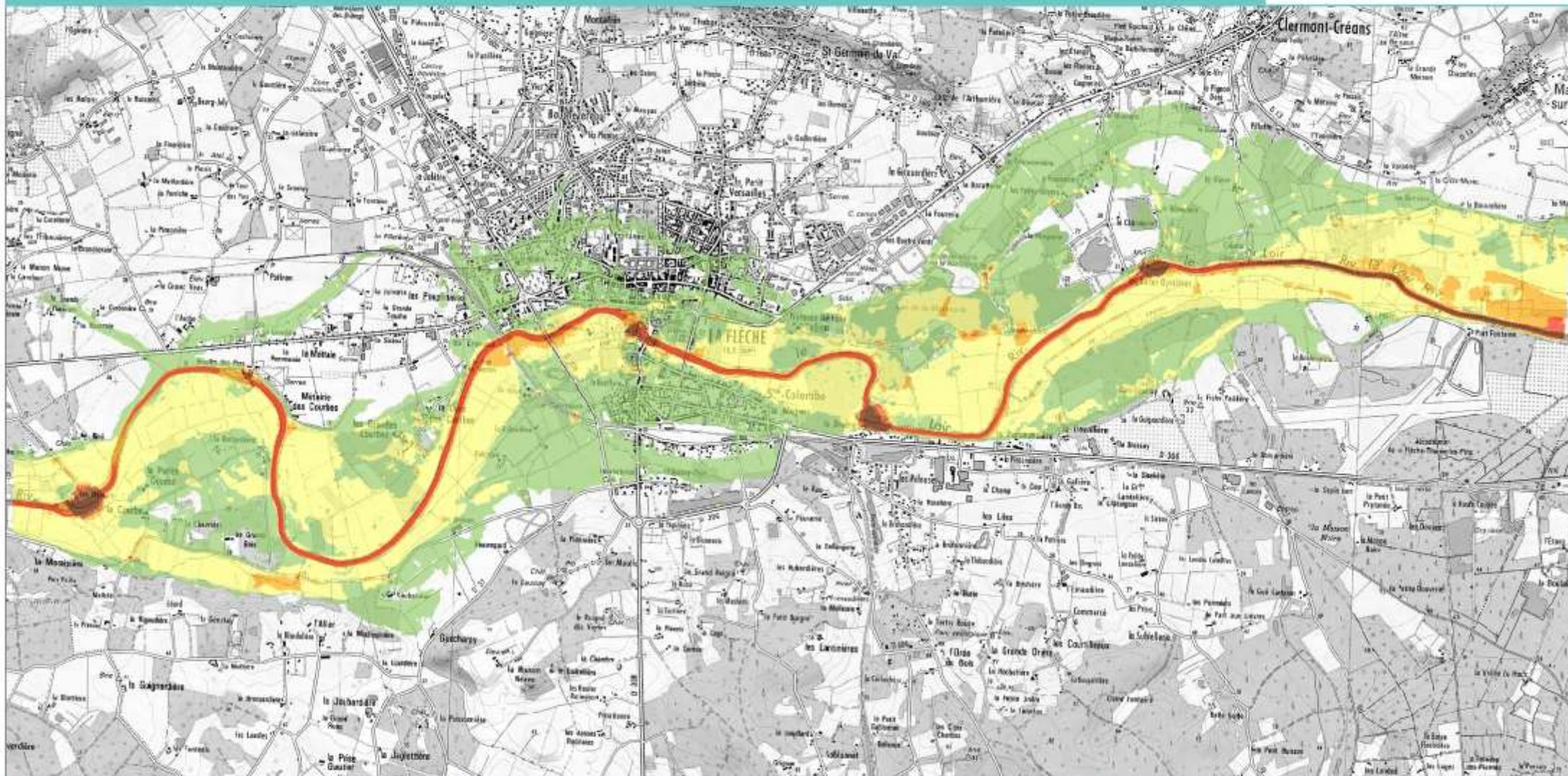


0 1 2 Km

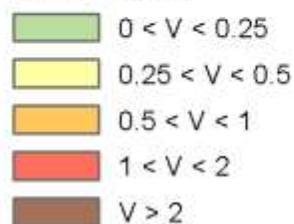


**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFleche\_Loir



Vitesses (m/s)



0 1 2 Km



**BRL**  
Ingénierie

Sources : IGN Scan 25  
Réalisé le 15/02/2021  
Nom du document :  
Cartes\_H\_V\_ZEC\_LaFlèche\_Loir



**BRL**  
*Ingénierie*



[www.brl.fr/brli](http://www.brl.fr/brli)

*Société anonyme au capital de 3 183 349 euros  
SIRET : 391 484 862 000 19 - RCS : NÎMES B 391 484 862  
N° de TVA intracom : FR 35 391 484 862 000 19*

1105, avenue Pierre Mendès-France  
BP 94001 - 30 001 Nîmes Cedex 5  
FRANCE  
Tél. : +33 (0) 4 66 87 50 85  
Fax : +33 (0) 4 66 87 51 09  
e-mail : [brli@brl.fr](mailto:brli@brl.fr)