



**PRÉFÈTE  
DU LOIRET**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Porter à Connaissance n°1**

# ***Révision du PPRi de la Vallée de la Loire « Vals de Gien – Briare »***



**Reconstitution des plus hautes eaux  
connues (PHEC)**

## **Atlas des Zones Inondées**

Secteur des vals de Ousson-sur-Loire, de Châtillon-sur-Loire, de Saint-Firmin-sur-Loire, de Briare et de Gien.

***I – Rapport Technique  
DREAL centre Val de Loire (Mars 2022)***





**PRÉFET  
DE LA RÉGION  
CENTRE-VAL  
DE LOIRE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Direction régionale de l'environnement  
de l'aménagement et du logement**

## **RAPPORT**

Service Hydrométrie Prévision des Étiages, des Crues et des Inondations  
Département Prévision des Étiages, des Crues et des Inondations

### **Reconstitution des plus hautes eaux connues**

La Loire entre Beaulieu-sur-Loire (45) et Saint-Gondon (45)

Secteur des vals de Ousson-sur-Loire, de Châtillon-sur-Loire,  
de Saint-Firmin-sur-Loire, de Briare et de Gien

## Historique des versions du document

| Version | Date       | Commentaire                                                                            |
|---------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.1     | 13/10/2020 | Note d'avancement                                                                      |
| 1.0     | 21/05/2021 | Première version du rapport                                                            |
| 1.1     | 23/08/2021 | Ajouts de précisions sur la reconstitution de chaque secteur<br>Modifications mineures |
| 1.2     | 16/12/2021 | Prises en compte remarques DDT45                                                       |
| 1.3     | 02/02/2022 | Intégration du linéaire entre Beaulieu-sur-Loire et Bonny-sur-Loire                    |
| 1.4     | 10/03/2022 | Document final                                                                         |

## Affaire suivie par

|                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pierre-Adrien HANS</b> - Service Hydrométrie Prévision des Étiages, des Crues et des Inondations |
| Tél. : 02 36 17 42 69                                                                               |
| Courriel : pierre-adrien.hans@developpement-durable.gouv.fr                                         |

## Rédacteur

**Pierre-Adrien HANS** - Service Hydrométrie Prévision des Étiages, des Crues et des Inondations – DREAL Centre-Val de Loire

## Relecteur

**Ludovic BERNICOT** – Service Loire Risque Transport – DDT du Loiret  
**Thierry EMERET** – Service Loire Risque Transport – DDT du Loiret  
**Guillaume GAUTRAIS** – Service Loire Risque Transport – DDT du Loiret  
**David SEGONS** – Service Loire Risque Transport – DDT du Loiret

## Référence(s)

<http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/mise-a-jour-de-la-connaissance-des-plus-hautes-a883.html>

# SOMMAIRE

|                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 - INTRODUCTION.....</b>                                                                                  | <b>7</b>  |
| <b>2 - DONNÉES UTILISÉES ET TRAITEMENTS PRÉALABLES.....</b>                                                   | <b>9</b>  |
| 2.1 - Topographie.....                                                                                        | 9         |
| 2.1.1 - Plusieurs modèles numériques de terrain à disposition.....                                            | 9         |
| 2.1.2 - Compléments aux modèles de terrain existants.....                                                     | 11        |
| 2.2 - Données relatives aux processus d'inondation des crues historiques.....                                 | 12        |
| 2.2.1 - Repères de crues.....                                                                                 | 12        |
| 2.2.2 - Cartes anciennes.....                                                                                 | 13        |
| 2.2.3 - Profils en long de la Loire.....                                                                      | 14        |
| 2.2.4 - Autres documents historiques.....                                                                     | 16        |
| 2.2.5 - Conversion des systèmes de nivellement.....                                                           | 17        |
| 2.3 - Études de danger.....                                                                                   | 18        |
| <b>3 - DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ENDIGUEMENT.....</b>                                                          | <b>19</b> |
| 3.1 - Val d'Ousson-sur-Loire.....                                                                             | 19        |
| 3.2 - Val de Châtillon-sur-Loire.....                                                                         | 19        |
| 3.3 - Val de Briare.....                                                                                      | 21        |
| 3.4 - Val de Saint-Firmin.....                                                                                | 22        |
| 3.5 - Val de Gien.....                                                                                        | 24        |
| <b>4 - RECONSTITUTION DES PLUS HAUTES EAUX CONNUES.....</b>                                                   | <b>25</b> |
| 4.1 - Méthodologie générale.....                                                                              | 25        |
| 4.2 - Hiérarchisation des crues aux échelles de la zone d'étude.....                                          | 28        |
| 4.3 - Analyse et reconstitution des cotes des plus hautes eaux connues.....                                   | 29        |
| 4.3.1 - Généralités.....                                                                                      | 29        |
| 4.3.2 - Évaluation succincte des PHEC de l'AZI de 1995.....                                                   | 30        |
| 4.3.3 - Secteur de Beaulieu-sur-Loire et Bonny-sur-Loire.....                                                 | 31        |
| 4.3.4 - Secteur de Ousson-sur-Loire et Châtillon-sur-Loire.....                                               | 32        |
| 4.3.4.1 - Centre bourg de Ousson-sur-Loire.....                                                               | 32        |
| 4.3.4.2 - Incertitude relative au remous dans l'Ousson.....                                                   | 33        |
| 4.3.4.3 - Val d'Ousson.....                                                                                   | 33        |
| 4.3.4.4 - Val de Châtillon-sur-Loire.....                                                                     | 34        |
| 4.3.4.5 - Centre bourg de Châtillon-sur-Loire.....                                                            | 37        |
| 4.3.4.6 - Bilan de la reconstitution des PHEC dans le secteur de Ousson-sur-Loire et Châtillon-sur-Loire..... | 38        |
| 4.3.5 - Secteur de Saint-Firmin-sur-Loire et Briare.....                                                      | 38        |
| 4.3.5.1 - Val de Briare.....                                                                                  | 38        |
| 4.3.5.1.1 Bief des Combles.....                                                                               | 38        |
| 4.3.5.1.2 Centre bourg de Briare.....                                                                         | 40        |
| 4.3.5.2 - Val de Saint-Firmin-sur-Loire.....                                                                  | 41        |
| 4.3.5.3 - Bilan de la reconstitution des PHEC dans le secteur de Briare et de Saint-Firmin-sur-Loire.....     | 42        |
| 4.3.6 - Secteur de Saint-Brissson-sur-Loire.....                                                              | 43        |

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.7 - Secteur de Saint-Martin-sur-Ocre, Gien, Poilly-lez-Gien, Nevoy et Saint-Gondon..... | 44        |
| 4.3.7.1 - Cotes dans le lit endigué et en rive droite à Gien.....                           | 44        |
| 4.3.7.2 - Reconstitution dans le val de Gien.....                                           | 46        |
| 4.3.7.2.1 Informations sur les brèches dans la levée en rive gauche.....                    | 46        |
| 4.3.7.2.2 Écoulements dans le val de Gien : appui sur les modélisations existantes.....     | 46        |
| 4.3.7.2.3 Hypothèse retenue pour le val de Gien.....                                        | 49        |
| 4.3.7.2.4 Cas des cours d'eau en rive gauche du val de Gien.....                            | 50        |
| 4.3.7.3 - Bilan de la reconstitution des PHEC dans le val de Gien.....                      | 51        |
| 4.4 - Synthèse des hauteurs de submersion provoquées par les PHEC.....                      | 52        |
| <b>5 - INCERTITUDE GÉNÉRALE ET INCERTITUDES LOCALES DE LA MÉTHODE. .</b>                    | <b>53</b> |
| 5.1 - Incertitude sur la reproduction des niveaux atteints par l'eau.....                   | 53        |
| 5.2 - Incertitude sur la topographie.....                                                   | 53        |
| 5.3 - Incertitude résultante sur les hauteurs de submersion.....                            | 54        |
| <b>6 - CONCLUSION.....</b>                                                                  | <b>55</b> |

# Index des figures et des illustrations

|                                                                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Illustration 1: Présentation synthétique du linéaire d'étude.....</i>                                                      | <i>8</i>  |
| <i>Illustration 2: Extrait du semis de point et du MNT.....</i>                                                               | <i>9</i>  |
| <i>Illustration 3: MNT disponibles sur la zone d'étude.....</i>                                                               | <i>10</i> |
| <i>Illustration 4: Différence d'altitude entre les deux MNT.....</i>                                                          | <i>10</i> |
| <i>Illustration 5: Localisation des levés terrestres de contrôle par DGPS en avril 2021.....</i>                              | <i>11</i> |
| <i>Illustration 6: Intégration des ponts dans la topographie.....</i>                                                         | <i>11</i> |
| <i>Illustration 7: Repères des crues du XIX<sup>ème</sup> siècle sur le linéaire d'étude.....</i>                             | <i>13</i> |
| <i>Illustration 8: Extrait de la carte de Coumes à Gien.....</i>                                                              | <i>14</i> |
| <i>Illustration 9: Extrait du nivellement sur les deux rives dans le secteur de Gien.....</i>                                 | <i>15</i> |
| <i>Illustration 10: Hauteurs observées aux échelles de la Loire en 1846 et 1856.....</i>                                      | <i>15</i> |
| <i>Illustration 11: Extrait du profil en long de la crue de septembre 1866.....</i>                                           | <i>16</i> |
| <i>Illustration 12: Réparation d'une brèche à Gien.....</i>                                                                   | <i>17</i> |
| <i>Illustration 13: Localisation des brèches le long du val de Gien.....</i>                                                  | <i>18</i> |
| <i>Illustration 14: Système d'endiguement et val d'Ousson-sur-Loire.....</i>                                                  | <i>19</i> |
| <i>Illustration 15: Configuration au niveau de Châtillon-sur-Loire au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle.....</i>             | <i>20</i> |
| <i>Illustration 16: Système d'endiguement et val de Châtillon-sur-Loire.....</i>                                              | <i>20</i> |
| <i>Illustration 17: Système d'endiguement et val de Briare.....</i>                                                           | <i>21</i> |
| <i>Illustration 18: Écluse de Baraban submergée pendant la crue de décembre 2003.....</i>                                     | <i>22</i> |
| <i>Illustration 19: Configuration du val de Saint-Firmin-sur-Loire au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle.....</i>             | <i>23</i> |
| <i>Illustration 20: Système d'endiguement et val de Saint-Firmin-sur-Loire.....</i>                                           | <i>23</i> |
| <i>Illustration 21: Système d'endiguement et val de Gien.....</i>                                                             | <i>24</i> |
| <i>Illustration 22: Inondation du val de Gien lors de la crue de décembre 2003.....</i>                                       | <i>24</i> |
| <i>Illustration 23: Principes de reconstitution d'une ligne d'eau à partir de repères de crues.....</i>                       | <i>26</i> |
| <i>Illustration 24: Génération de la surface des plus hautes eaux connues.....</i>                                            | <i>27</i> |
| <i>Illustration 25: Principe de lissage des couches.....</i>                                                                  | <i>27</i> |
| <i>Illustration 26: Comparaison de la ligne d'eau de l'AZI de 1995 avec les repères des crues historiques.....</i>            | <i>30</i> |
| <i>Illustration 27: Localisation des zones où la ligne d'eau évolue sensiblement par rapport à l'AZI de 1995.....</i>         | <i>31</i> |
| <i>Illustration 28: Reconstitution des PHEC sur le secteur de Neuvy-sur-Loire, Beaulieu-sur-Loire et Bonny-sur-Loire.....</i> | <i>31</i> |
| <i>Illustration 29: Repères présents dans le bourg d'Ousson.....</i>                                                          | <i>32</i> |
| <i>Illustration 30: Compléments topographiques pour estimer le remous de la Loire dans l'Ousson.....</i>                      | <i>33</i> |
| <i>Illustration 31: Plan présentant la limite de l'inondation de 1866 dans le val d'Ousson.....</i>                           | <i>33</i> |
| <i>Illustration 32: Extrait des dommages de la crue de 1866.....</i>                                                          | <i>34</i> |
| <i>Illustration 33: Variabilité des cotes des repères aux abords du bassin des Mantelots.....</i>                             | <i>35</i> |
| <i>Illustration 34: Synthèse des processus d'inondation de la partie amont du val de Châtillon-sur-Loire.....</i>             | <i>36</i> |
| <i>Illustration 35: Repères de crues au niveau du port et du pont de Châtillon-sur-Loire.....</i>                             | <i>37</i> |
| <i>Illustration 36: Hiérarchisation des crues au niveau de Châtillon-sur-Loire.....</i>                                       | <i>37</i> |
| <i>Illustration 37: Le manque de topographie à Châtillon-sur-Loire est limité aux zones orangées et jaunes encadrées.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Illustration 38: Reconstitution des PHEC sur le secteur de Ousson-sur-Loire et Châtillon-sur-Loire.....</i>                | <i>38</i> |
| <i>Illustration 39: Pont de Beauget et repères de crues.....</i>                                                              | <i>39</i> |
| <i>Illustration 40: Compléments topographiques le long du canal, au niveau de la ferme du Buisson.....</i>                    | <i>39</i> |
| <i>Illustration 41: Repères de la crue de 1856 à Briare.....</i>                                                              | <i>40</i> |
| <i>Illustration 42: Repères dans le centre de Saint-Firmin.....</i>                                                           | <i>41</i> |
| <i>Illustration 43: Repère de 1846 dont le nivellement est douteux en aval de Saint-Firmin.....</i>                           | <i>42</i> |

|                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Illustration 44: Reconstitution des PHEC sur le secteur de Briare et Saint-Firmin-sur-Loire.....</i>                 | <i>42</i> |
| <i>Illustration 45: Ligne d'eau reconstituée dans le secteur de Saint-Brisson-sur-Loire.....</i>                        | <i>43</i> |
| <i>Illustration 46: Reconstitution des PHEC sur le secteur de Saint-Brisson-sur-Loire.....</i>                          | <i>43</i> |
| <i>Illustration 47: Repères de crues et isocotes de l'AZI de 1995 dans le secteur de Gien.....</i>                      | <i>44</i> |
| <i>Illustration 48: Limnigrammes au pont de Gien des crues de 1856 (à g.) et 1866 (à d.).....</i>                       | <i>44</i> |
| <i>Illustration 49: Modification de la ligne d'eau des PHEC dans la traversée de Gien.....</i>                          | <i>45</i> |
| <i>Illustration 50: Évolution de l'emprise inondable dans le centre de Gien.....</i>                                    | <i>45</i> |
| <i>Illustration 51: Repères et topographie au niveau de la brèche du Colombier.....</i>                                 | <i>46</i> |
| <i>Illustration 52: PK le long du val de Gien.....</i>                                                                  | <i>47</i> |
| <i>Illustration 53: Différence de cotes entre la Loire et le val pour les simulations Q100 et Q170.....</i>             | <i>48</i> |
| <i>Illustration 54: Profils en long des PHEC reconstituées dans le val de Gien et de la levée.....</i>                  | <i>48</i> |
| <i>Illustration 55: Débit le long du val de Gien pour un scénario Q500 avec le modèle LM10 EDD.....</i>                 | <i>49</i> |
| <i>Illustration 56: Lignes d'eau modélisées et reconstituée dans le lit de la Loire sur l'amont du val de Gien.....</i> | <i>50</i> |
| <i>Illustration 57: Résultats d'un scénario Q500 avec la modèle LM10 modifié dans le cadre de l'EDD.....</i>            | <i>50</i> |
| <i>Illustration 58: Remous dans les cours d'eau de la rive gauche du val de Gien.....</i>                               | <i>51</i> |
| <i>Illustration 59: Reconstitution des PHEC dans le val de Gien.....</i>                                                | <i>51</i> |
| <i>Illustration 60: Synthèse des hauteurs d'eau sur la zone d'étude dans le contexte des PHEC.....</i>                  | <i>52</i> |

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tableau 1: Hauteurs aux échelles de la zone d'étude, issues des informations des documents historiques...</i> | <i>28</i> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

# 1 - Introduction

L'amélioration des connaissances relatives aux niveaux d'eau atteints par les crues passées sur la Loire et à la topographie du terrain naturel sur le lit majeur du fleuve, ainsi que la perspective de la révision des plans de prévention du risque inondation (PPRi) sur la Loire à l'amont du département du Loiret, conduit la DREAL Centre-Val de Loire à y actualiser la cartographie des plus hautes eaux connues (PHEC).

Le présent rapport technique traite de la reprise de la cartographie des PHEC le long de la Loire entre les communes de Beaulieu-sur-Loire (Loiret) et Saint-Gondon (Loiret). Le linéaire entre Beaulieu-sur-Loire et Bonny-sur-Loire a été traité dans la reconstitution des PHEC de la Loire sur les départements du Cher et de la Nièvre<sup>1</sup>. Ce linéaire figure dans la présente étude afin de faciliter son utilisation dans les cadres de la révision des PPRi du département du Loiret, en fournissant une information unique sur l'amont du département. Les informations sur les crues passées relatives à ce linéaire sont rappelées dans la présente étude ; les résultats sont repris à l'identique de la reconstitution précédente.

Ce travail met à profit de nouvelles données disponibles depuis la publication de l'édition précédente des atlas des zones inondables<sup>2</sup> :

- Niveaux d'eau atteints lors des grandes crues historiques : amélioration du recensement des repères de crues existants, numérisation de documents anciens, recueil de données et témoignages anciens ;
- Topographie locale : La DREAL Centre-Val de Loire dispose depuis 2003 d'un levé topographique haute résolution sur le secteur d'étude (au moins 1 point au sol pour 4 m<sup>2</sup>, précision altimétrique  $\pm 15$  cm, disponible sous forme de grille de résolution spatiale 1 m). À titre de comparaison, les précédentes cartographies d'aléas se basaient sur de la BD Alti (grille de résolution spatiale de 25 m, précision altimétrique  $\pm 50$  cm) ;
- Fonctionnement hydraulique : amélioration de la connaissance des écoulements par le biais de modélisations issues de diverses études.

Les PHEC sont une synthèse des différents niveaux les plus hauts, pouvant résulter de crues différentes. Sur la Loire moyenne, les PHEC sont d'une manière générale issues des crues du XIX<sup>ème</sup> siècle : octobre 1846, mai-juin 1856 et septembre 1866. Il est possible qu'à l'occasion de crues plus anciennes, pour lesquelles il n'existe pas d'information, des hauteurs plus importantes aient pu être atteintes localement.

Les hauteurs cartographiées sont générées à partir des niveaux constatés (altitude absolue de la nappe d'eau) dans les conditions hydrauliques de l'époque, indépendamment de l'évolution de la topographie (enfouissement du lit, système d'endiguement, etc.), appliqué sur la topographie actuelle. **Les hauteurs calculées peuvent donc différer des hauteurs réellement atteintes au cours des crues du XIX<sup>ème</sup> siècle.**

---

1 <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/mise-a-jour-de-la-connaissance-des-plus-hautes-a883.html>. De Nevers à Neuvy-sur-Loire, 2013.

2 <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/atlas-des-zones-inondables-de-la-vallee-de-la-a80.html>. Éditions de 2003, basées sur les AZI originaux de 1995.

La note présente les données utilisées et les choix méthodologiques effectués pour reconstituer les cotes des plus hautes eaux connues. Elle commente ensuite les résultats obtenus, tout en indiquant les incertitudes qui y sont attachées. On se reportera utilement aux annexes pour la situation des divers lieux-dits cités dans le rapport, ainsi que les limites de l'étude.

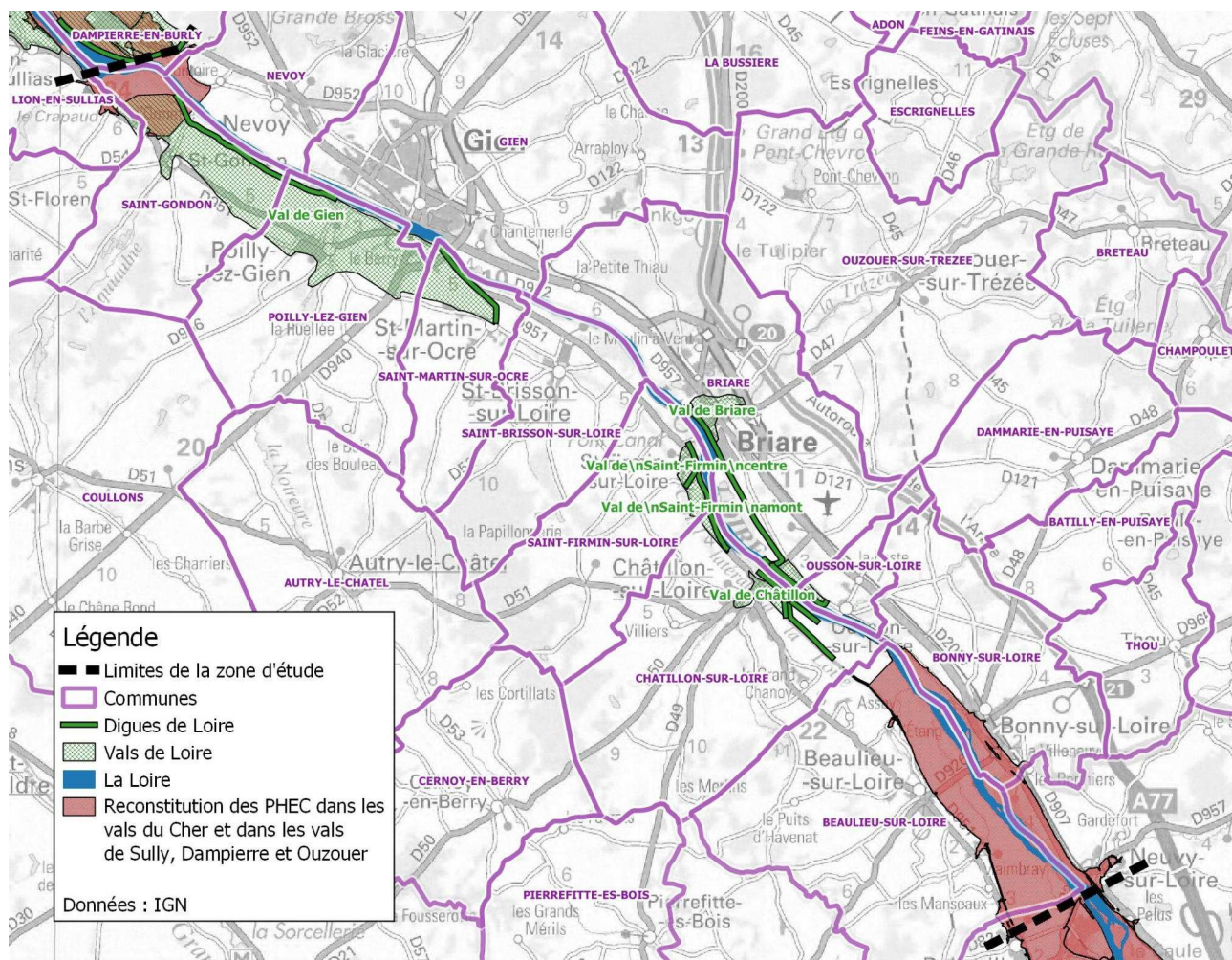


Illustration 1: Présentation synthétique du linéaire d'étude

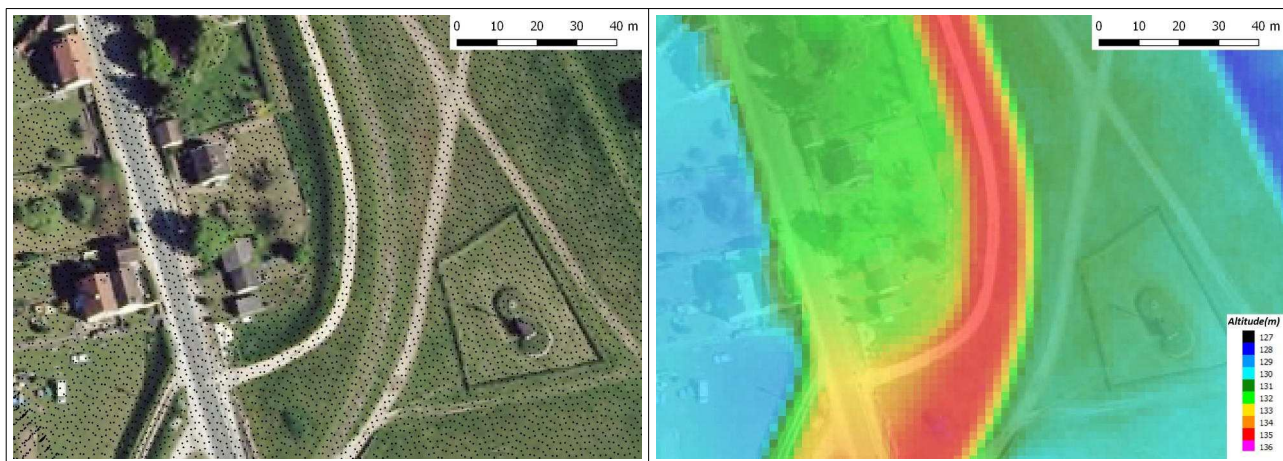
## 2 - Données utilisées et traitements préalables

### 2.1 - Topographie

#### 2.1.1 - Plusieurs modèles numériques de terrain à disposition

La topographie des vals de la Loire moyenne est bien connue depuis l'acquisition par la DIREN Centre en 2002-2003 d'un levé LIDAR<sup>3</sup>, dont les caractéristiques sont :

- densité de points mesurés : 1 point par 4 m<sup>2</sup> minimum (y compris sous couvert végétal), atteignant 1 point par m<sup>2</sup> hors couvert végétal
- précision altimétrique :  $\pm 15$  cm
- précision planimétrique :  $\pm 30$  cm
- résolution du modèle numérique de terrain (MNT) : 1 m<sup>2</sup>



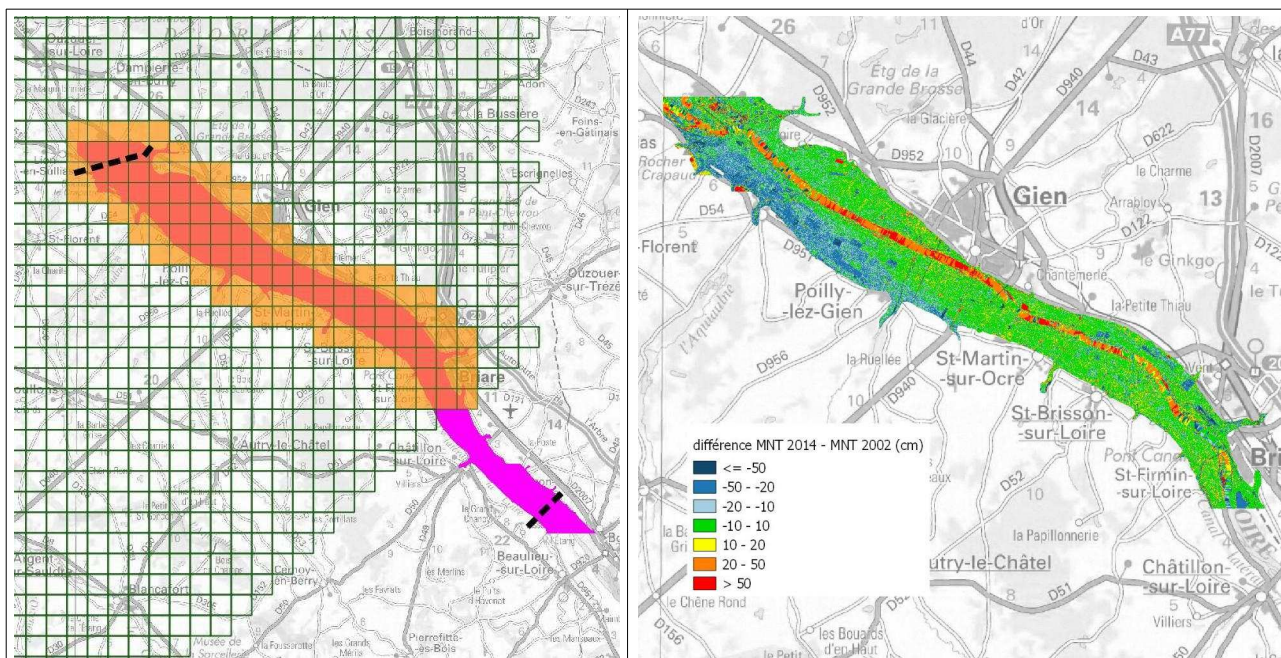
*Illustration 2: Extrait du semis de point et du MNT*

*Secteur du val de Saint-Firmin-sur-Loire. À gauche, chaque point noir représente une impulsion au sol. À droite, l'altitude est interpolée entre les points au sol pour obtenir une surface continue*

La zone d'étude a également été partiellement couverte par un levé LIDAR de l'IGN en 2014, en aval de Briare, qui présente des caractéristiques similaires à celui déjà disponible.

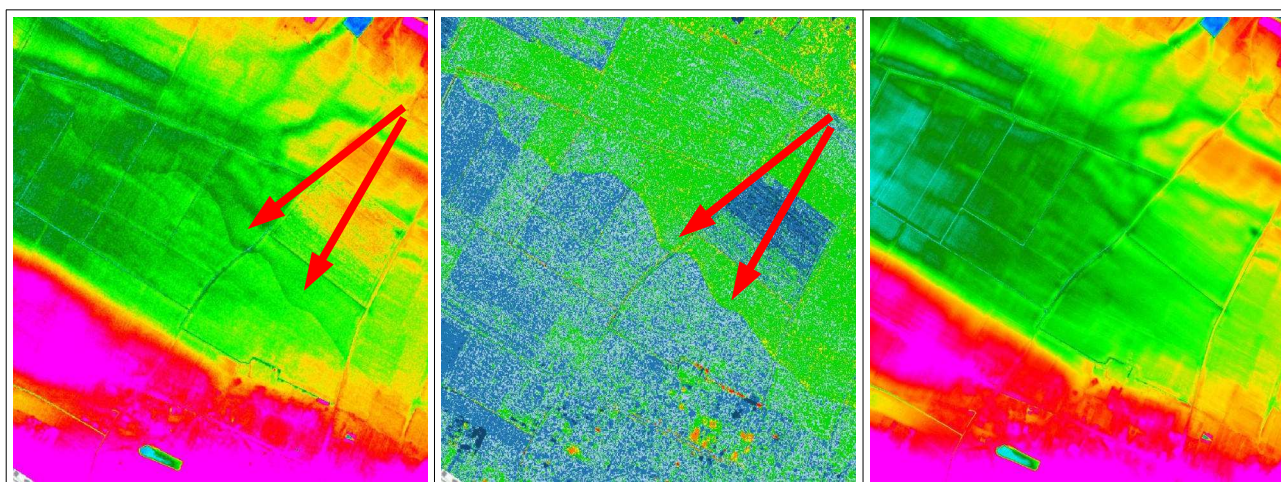
En comparant ces deux MNT (Illustration 3), on observe que sur la majorité du secteur les altitudes des deux MNT sont proches. On note un secteur en rive gauche dans le val de Gien où le MNT de 2014 est sensiblement plus bas que le MNT de 2002. Il s'étend en rive gauche dans le val de Gien, entre la D940 à Poilly-lez-Gien et Lion-en-Sullias. Sur cette zone particulière, on peut observer (Illustration 4) sur le MNT de 2002 une délimitation qui ne correspond à aucun élément physique présent sur le terrain.

3 Accès libre à l'adresse : <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-modeles-numeriques-de-terrain-r564.html>



*Illustration 3: MNT disponibles sur la zone d'étude*

À gauche, le MNT de 2014 (dallage) couvre une partie du secteur d'étude ; le LIDAR de 2002 (violet) est la seule donnée topographique disponible sur l'amont du secteur d'étude. À droite, la différence entre les deux MNT fait apparaître une vaste zone avec des écarts pouvant parfois atteindre 50 cm.



*Illustration 4: Différence d'altitude entre les deux MNT*

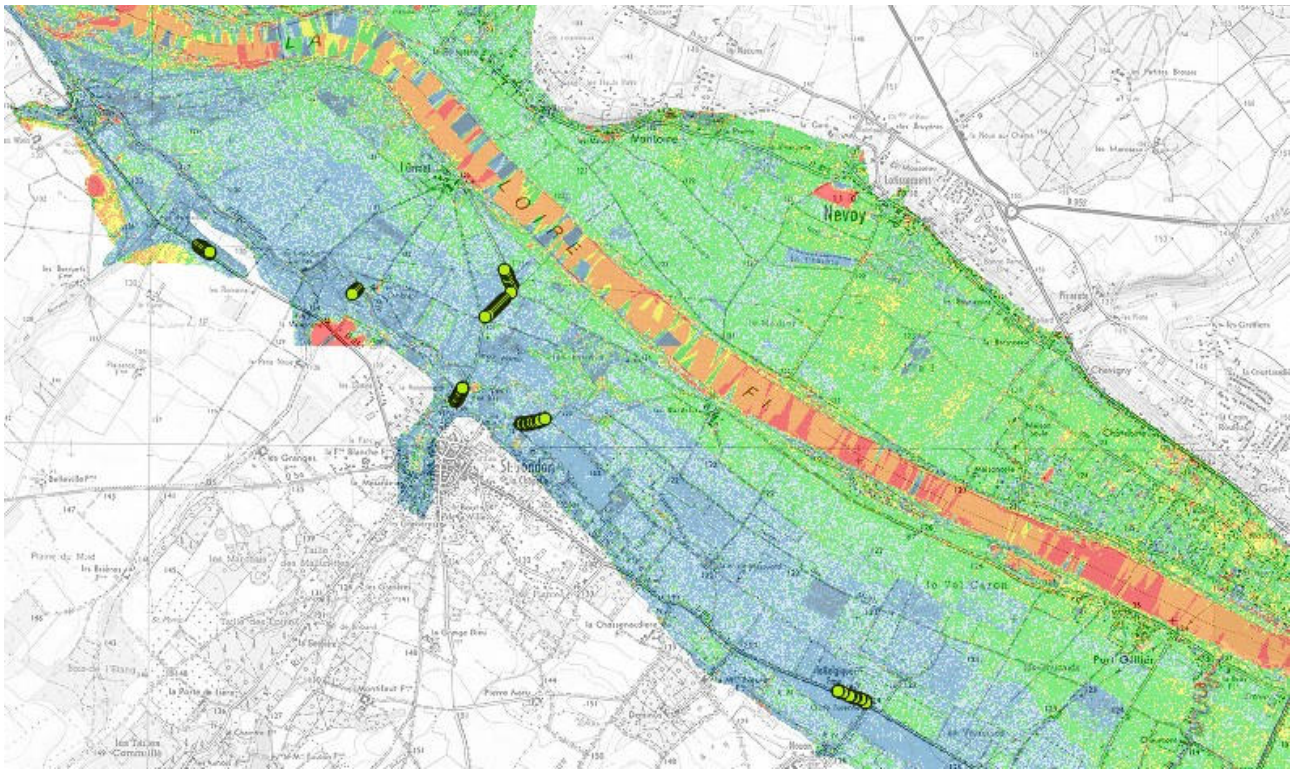
À gauche, le MNT de 2002 fait apparaître une délimitation qui n'existe pas dans le MNT de 2014 (à droite). Cette délimitation est davantage visible sur la différence entre MNT (au centre).

Des levés terrains ponctuels dans les zones en question ont été entrepris en avril 2021. Ils se sont concentrés sur six portions relativement plates de routes, où on peut supposer que l'altitude a peu varié entre 2002 et 2014 (Illustration 5). Sur les 92 points levés au sol par DGPS<sup>4</sup>, il ressort :

- l'écart avec le MNT de 2014 est en moyenne de 3 cm, avec un écart-type de 14 cm.
- l'écart avec le MNT de 2002 est en moyenne de 24 cm, avec un écart-type de 18 cm.

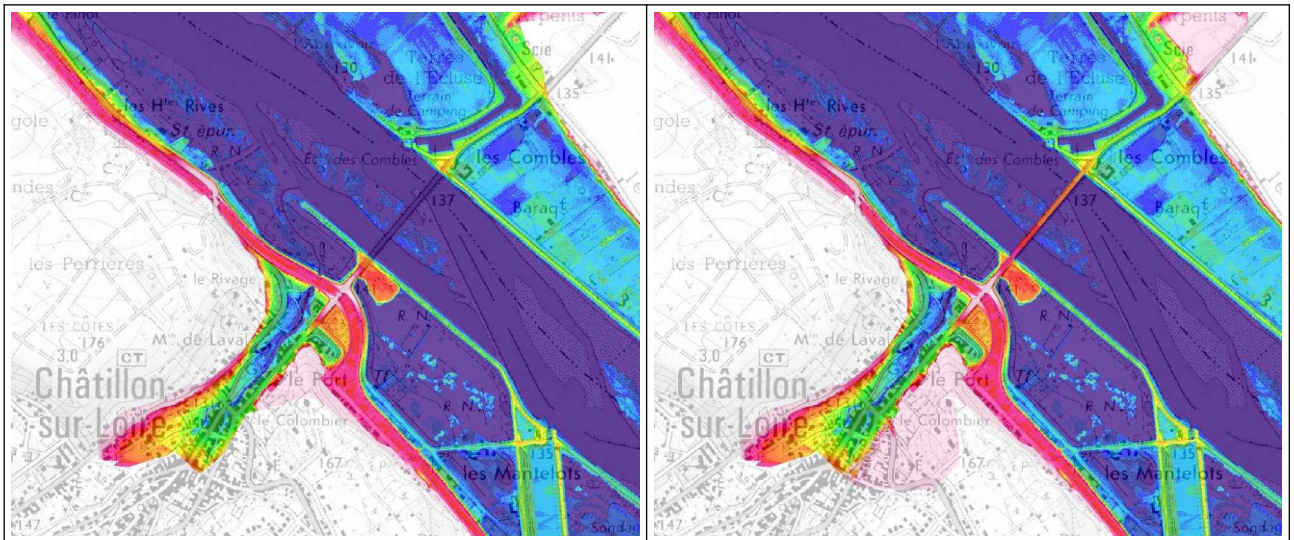
**Le MNT de 2014 apparaît plus réaliste que le MNT de 2002. Il est donc utilisé là où il existe.**

<sup>4</sup> La précision altimétrique habituelle pour un levé par DGPS est de l'ordre de 1 à 2 cm.



*Illustration 5: Localisation des levés terrestres de contrôle par DGPS en avril 2021*

Les tabliers des ponts ne sont pas représentés dans les MNT (2002 et 2014). Afin de ne pas laisser croire à une submersion abusive des ponts, le MNT est modifié. La surface générée est basée sur l'altitude de chaque rive au niveau des culées et la largeur indiquée dans la BDTopo®, afin que le rendu final traduise l'état réel de submersion de ces ouvrages.



*Illustration 6: Intégration des ponts dans la topographie*

*Exemple sur le pont de Châtillon-sur-Loire. On peut également observer sur le côté sud-est du centre-bourg une zone complétée à partir du semi de point brut (voir 2.1.2)*

## 2.1.2 - Compléments aux modèles de terrain existants

En aval de Briare, le MNT de 2014 couvre complètement la zone d'étude, et il n'y a donc pas besoin de compléments. En revanche, sur la portion amont où seul le MNT de 2002 existe, il existe de rares secteurs où la couverture du MNT n'est pas suffisante pour permettre de cartographier l'aléa.

- En rive gauche :
  - très localement sur la commune de Beaulieu-sur-Loire, au lieu-dit *L'Étang*
  - dans Châtillon-sur-Loire, à l'est du carrefour entre la D50 et la D951, le MNT n'est pas tout à fait assez couvrant
- En rive droite :
  - à la limite entre les communes de Neuvy-sur-Loire (58) et Bonny-sur-Loire (45), le long de la Cheuille
  - très localement dans le centre-bourg de Bonny-sur-Loire
  - en aval de Bonny-sur-Loire, sur le coteau au niveau du lieu-dit Les Ratats
  - en amont de Ousson-sur-Loire, le long de l'Ousson
  - sur la commune de Briare, le long du canal latéral côté nord-est en aval de la D50 et de l'écluse des Combles, jusqu'à la ferme du Buisson

Le semi de points bruts de levé LIDAR de 2002 permet de compléter la topographie. En effet, le levé est légèrement plus étendu que le MNT final pour ne conserver que les points acquis le plus à la verticale possible de l'avion. L'incertitude sur ces secteurs sera plus importante, car la précision altimétrique des points en bords de levé est moindre.

La méthode utilisée pour compléter le MNT est la suivante :

1. récupération des points de dernière impulsion du levé LIDAR
2. suppression des points à l'emplacement des bâtiments, récupérés depuis la BDTopo®
3. triangulation des points selon une grille de 2 m de côté
4. filtrage des pentes fortes (> 10 %), liées en général à la végétation ou au bâti
5. ré-interpolation pour combler les vides issus du filtrage

Les zones complétées et les résultats de la reconstitution sont précisées dans les paragraphes de la partie 4. La source de la topographie est visualisable sur l'annexe 9.

Dans ces secteurs, la délimitation de la zone inondable comporte plus d'incertitudes, le MNT y étant moins précis. L'altitude reconstituée de l'eau en revanche y est aussi fiable que sur l'ensemble de la zone d'étude.

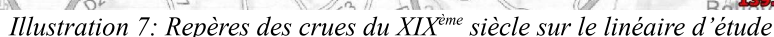
## 2.2 - Données relatives aux processus d'inondation des crues historiques

### 2.2.1 - Repères de crues

La plateforme nationale des repères de crues<sup>5</sup> permet d'identifier plus de 300 repères sur le linéaire d'étude, dont environ 230 concernent les crues du XIX<sup>ème</sup> siècle (Illustration 7), et plusieurs repères supplémentaires en amont et en aval. On trouve des informations sur

<sup>5</sup> [www.reperesdecrues.developpement-durable.gouv.fr](http://www.reperesdecrues.developpement-durable.gouv.fr)

Il existe un recensement de repères le long du canal latéral à la Loire pour la crue de mai-juin 1856. Ces repères ont été utilisés lors de l'actualisation de l'AZI des vals de la Loire dans le Cher et la Nièvre (2013<sup>1</sup>). Cependant, la source de ces informations n'a pas été retrouvée dans le cadre de la présente étude.



Les cartes de 1850<sup>6</sup> (carte de Coumes), dans leur version surcouchée, indiquent les limites des inondations des trois crues du XIX<sup>ème</sup> siècle, ainsi que les brèches. Elles permettent également de localiser les bornes repères et kilométriques, sur lesquelles s'appuient les nivellements des crues. Ces cartes ne sont disponibles qu'en aval de Saint-Firmin-sur-Loire. En amont, pour les vals de Châtillon-sur-Loire et de Ousson-sur-Loire, on ne dispose que des cartes de 1850 brutes en noir et blanc, qui indiquent seulement les éléments de la crue de 1846 (contour, brèches).

6 Accès libre à l'adresse : <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-cartes-de-1850-r565.html>



Illustration 8: Extrait de la carte de Coumes à Gien

On observe les brèches en rive gauche de 1856 (flèches jaune traversant la levée) et le contour de l'inondation, avec le remous provoqué dans Le Rousson. Les brèches de 1846 sont aussi indiquées en noir.

Les informations figurant sur les cartes ne sont pas très précises, en particulier le contour des inondations. Ces données sont donc principalement informatives et il convient prendre toutes les précautions nécessaires pour les comparer à l'enveloppe reconstituée.

### 2.2.3 - Profils en long de la Loire

On dispose de plusieurs informations nivelées le long de la Loire :

- Le nivellement sur les deux rives entre Briare et Candes<sup>7</sup>, présente le profil en long des levées ainsi que les profils en long du fil de l'eau des crues de 1856 et 1866 (Illustration 9). Ces éléments sont géoréférencés à partir de la position des bornes encore existantes et des échelles limnimétriques, ou bien en recherchant leurs emplacements sur les cartes de 1850. Les altitudes indiquées sont exprimées dans le système de nivellement Bourdalouë.

<sup>7</sup> Collin (1862). *Nivellement sur les deux rives de la Loire entre Briare et Nantes*. Paris : Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics. <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/nivellement-de-la-loire-1854-1862-r1282.html>

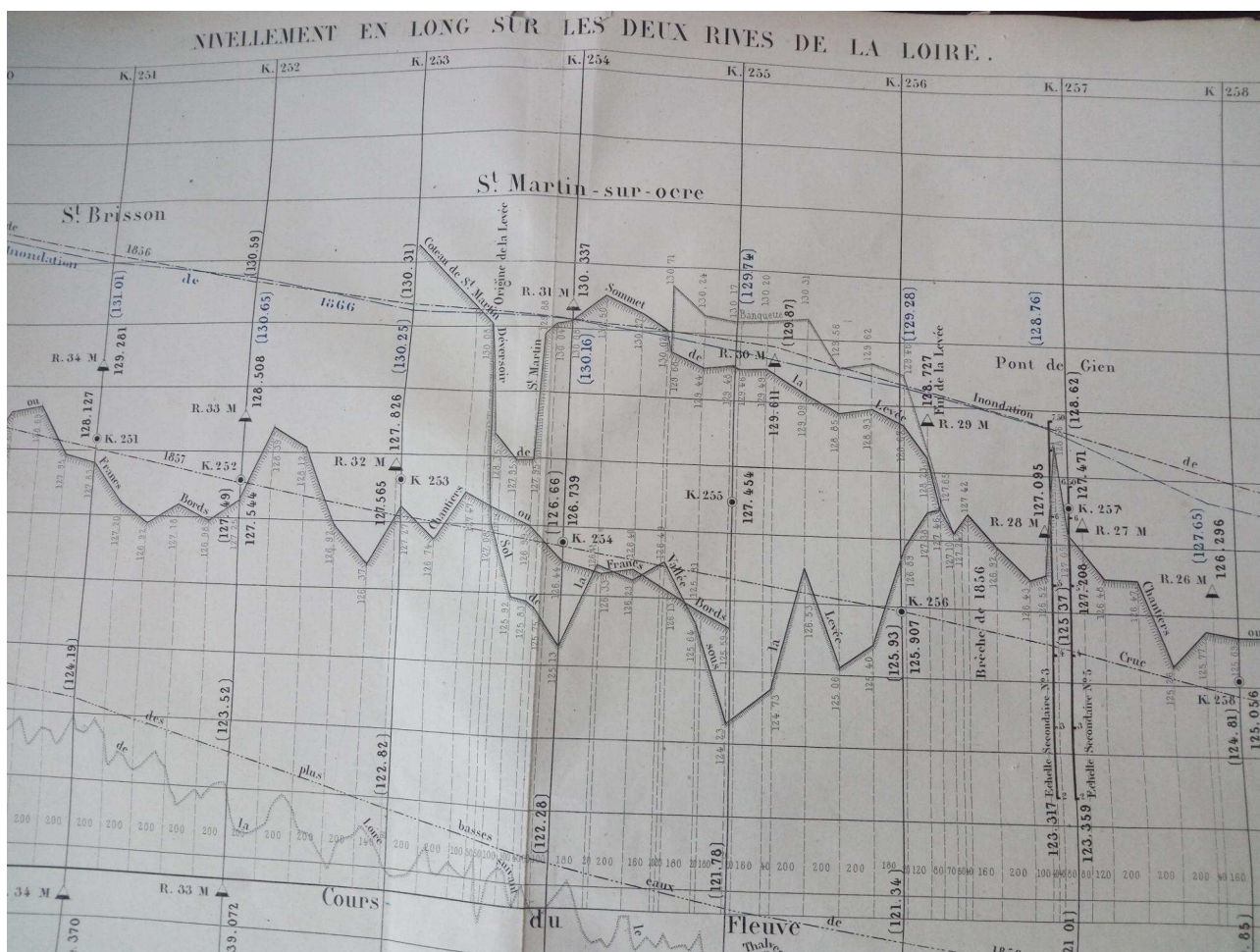


Illustration 9: Extrait du nivellement sur les deux rives dans le secteur de Gien  
Pour chaque rive, on y trouve les bornes repères et kilométriques, les profils en long des levées, les profils en long des crues de mai-juin 1856 et septembre 1866 avec les cotes correspondantes aux différents points de repère

- Entre le Bec d'Allier et l'écluse de Baraban à Briare, le nivellement aux différentes échelles des crues de 1846 et 1856, qui permettent de comparer ces deux crues (Illustration 10).

|                | Hauteur<br>du<br>maximum. |       | Date<br>et<br>Heure du maximum                              |
|----------------|---------------------------|-------|-------------------------------------------------------------|
|                | 1846.                     | 1856. |                                                             |
| Bec d'Allier   | (non observé)             | 5.40  | 1 <sup>re</sup> Juin. - midi.                               |
| Fourchambault  | - id -                    | 6.02  | 2 <sup>e</sup> . - 4 <sup>h</sup> soir                      |
| La Charité     | 5.83                      | 5.85  | On n'a pu faire de registre<br>pour cette station, en 1856. |
| St Chibault    | 6.07                      | 6.10  | idem -                                                      |
| Coque          | 5.90                      | 6.18  | idem -                                                      |
| Châtillon      | 6.80                      | 6.89  | 1 <sup>re</sup> Juin. - 11 <sup>h</sup> soir                |
| Briare (quai). | 6.95                      | 6.85  | Cotes relevées sur le registre<br>de nivellement.           |

Illustration 10: Hauteurs observées aux échelles de la Loire en 1846 et 1856

- Entre le Bec d'Allier et l'écluse de Baraban à Briare, le nivellement de la crue de 1866 sur les bornes kilométriques (Illustration 11).

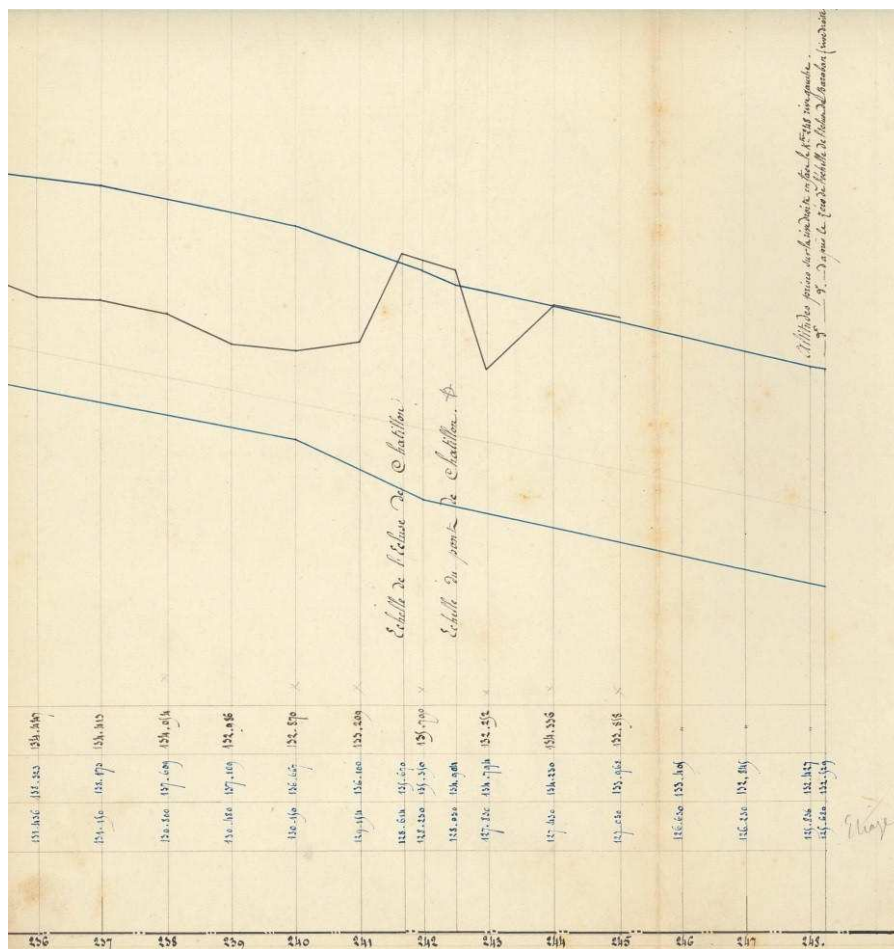


Illustration 11: Extrait du profil en long de la crue de septembre 1866

## 2.2.4 - Autres documents historiques

On dispose sur la zone d'étude des éléments disponibles dans le fond Guillon (médiathèque d'Orléans) et dans les archives départementales du Loiret. On y trouve notamment des informations sur les brèches (localisation, dimensions) pour chacune des crues. Parfois des cotes sont aussi indiquées (Illustration 12).

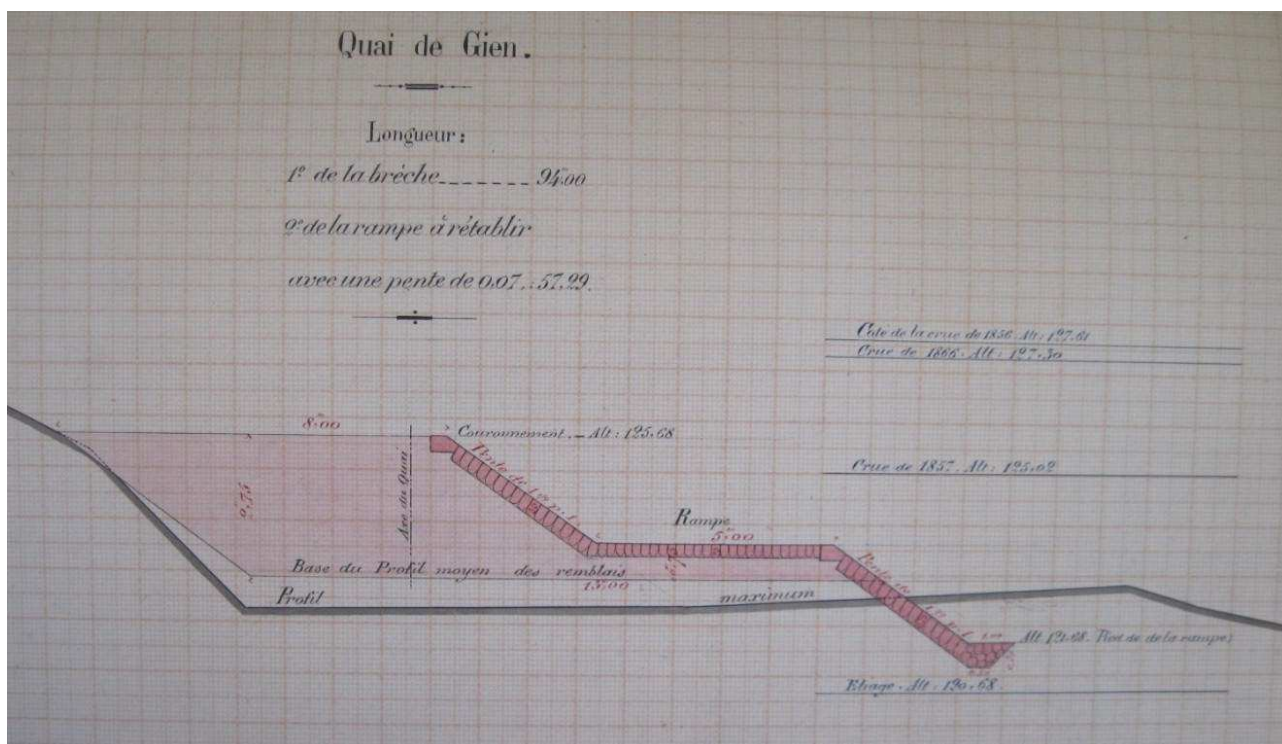


Illustration 12: Réparation d'une brèche à Gien  
On peut observer les cotes des crues de mai-juin 1856 et septembre 1866, ainsi que celle de 1857.  
Source : archives départementales du Loiret

## 2.2.5 - Conversion des systèmes de nivellement

Les altitudes indiquées dans les documents anciens sont exprimées dans le système altimétrique Bourdalouë. La conversion dans le système altimétrique actuellement en vigueur (IGN 69) s'effectue en deux étapes :

- une conversion du système Bourdalouë vers le système Lallemand (NGF Ortho), au moyen d'une carte accessible sur le site de l'IGN<sup>8</sup>, qui donne un écart de l'ordre de 60 cm<sup>9</sup>. Si on observe les altitudes des bornes kilométriques situées entre Briare et Gien exprimées dans les deux systèmes de nivellement<sup>10</sup>, on retrouve cet écart moyen de 60 cm, soit  $Z_{\text{Ortho}} \approx Z_{\text{bourdalouë}} - 0,60$ <sup>11</sup>.
- une conversion du système Lallemand vers le système normal, à partir d'une grille de conversion fournie par l'IGN<sup>12</sup>. Sur la zone d'étude, l'écart est de 25 cm, soit  $Z_{\text{IGN69}} = Z_{\text{Ortho}} + 0,25$ .

In fine, on obtient la conversion suivant, qui est appliquée à l'ensemble des nivellements anciens. Cette relation introduit une incertitude de l'ordre de 10 cm.

$$Z_{\text{IGN69}} \approx Z_{\text{bourdalouë}} - 0,35$$

8 [https://geodesie.ign.fr/index.php?page=histoire\\_du\\_nivellement](https://geodesie.ign.fr/index.php?page=histoire_du_nivellement)

9 Sur la partie amont, traitée dans l'AZI du Cher et de la Nièvre, l'écart est plus proche des 55 cm. Dans ce cas, le différentiel devient  $Z_{\text{IGN69}} = Z_{\text{bourdalouë}} - 0,30$ .

10 Nivellement de la Loire entre Briare et Candes, réalisé au début du XX<sup>ème</sup> dans le système Lallemand.

11 Sur le nivellement des échelles et des crues, on trouve un calcul manuscrit à l'écluse de Baraban qui semble indiquer une différence de 0,747 m entre les nivellements ortho et Bourdalouë.

12 <https://geodesie.ign.fr/contenu/images/grilleorthonormale.jpg>

## 2.3 - Études de danger

Les digues des vals présents sur le territoire de l'étude ont fait l'objet d'études de dangers, dont les rapports ont été livrés en 2014<sup>13</sup>. Elles fournissent des éléments sur les défaillances historiques, et des scénarios d'inondation suivant certaines hypothèses de brèches. Ces scénarios fournissent des informations sur l'écoulement, mais restent toutefois à considérer avec prudence, en raison **(i)** des modifications des conditions d'écoulement entre aujourd'hui et le XIX<sup>ème</sup> siècle, **(ii)** du modèle utilisé, de type 1D à casiers sur la plupart des vals. Les études de dangers indiquent les brèches suivantes :

- Sur le val d'Ousson-sur-Loire, six brèches sont identifiées pour la crue de 1856, mais seule la position de celle située au pont de Châtillon est connu, au niveau de l'actuelle D50. Elle a alimenté le canal latéral en rive droite vers Briare. Il n'y a pas d'information pour les crues de 1846 et 1866 dans l'EDD. Sur la carte ancienne de 1850, le contour de la crue de 1846 s'étend jusqu'au coteau en rive droite.
- Sur le val de Châtillon-sur-Loire, l'EDD n'identifie pas d'information sur d'éventuelles brèches. Il est précisé que les cotes atteintes par les crues du XIX<sup>ème</sup> siècle ont dépassé les crêtes des levées, et que l'absence de brèche identifiée est étonnante. Sur la carte ancienne, le contour de la crue de 1846 s'étend jusqu'au canal latéral à la Loire, a minima par remous depuis l'aval du pont.
- Le val de Saint-Firmin-sur-Loire n'était pas coupé en deux, comme actuellement, car la levée d'enceinte date de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Des brèches sont identifiées pour 1846 et 1856. L'EDD indique également des brèches en 1866 dans la partie amont, mais d'après des informations trouvées dans le fond Guillon il n'est pas certain que la digue a rompu pendant cette crue.
- Au niveau de Briare, seule une brèche de 1846 en aval de l'écluse de Baraban est identifiée sur les cartes anciennes. L'EDD n'identifie pas d'autres brèches. Cependant, une comparaison rapide entre les cotes des repères et l'altitude de la levée du canal entre l'écluse des Combles et Briare montre que les trois crues ont vraisemblablement déversé dans le canal et contribué ainsi à l'inondation.
- Le système d'endiguement du val de Gien a subi plusieurs brèches pour chacune des crues du XIX<sup>ème</sup> siècle, aux extrémités amont et aval du val principalement.

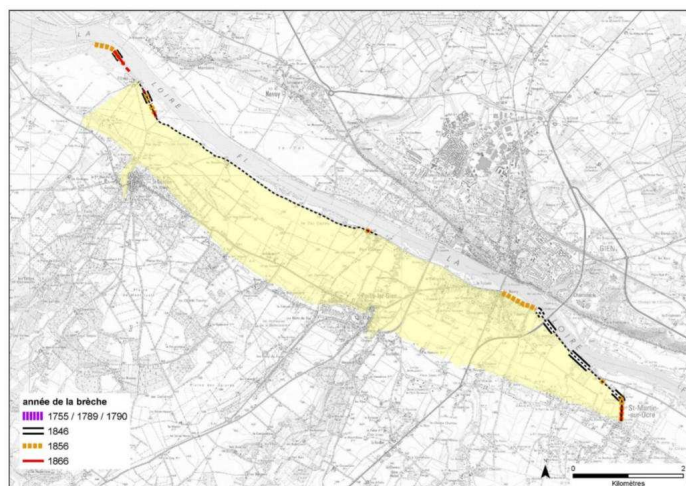


Illustration 13: Localisation des brèches le long du val de Gien  
Source : étude de dangers

13 Accessibles via le portail des services de l'État dans le département du Loiret :  
<https://www.loiret.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-eau-foret-chasse-peche/Loire-gestion-entretien-digues-de-protection-contre-les-inondations/Les-digues-de-Loire-et-le-risque-inondation>

### 3 - Description du système d'endiguement

Cette section présente les différents systèmes d'endiguement présents sur le linéaire d'étude. La plupart des informations sont reprises des études de dangers<sup>13</sup>.

#### 3.1 - Val d'Ousson-sur-Loire

Le système d'endiguement du val d'Ousson est constitué de :

- la levée d'Ousson, qui borde la Loire sur environ 1 700 m entre Ousson-sur-Loire et la route départementale 50.
- la route départementale 50, qui sépare le val d'Ousson-sur-Loire du bief des Combles.

Le val protégé est de taille réduite, de l'ordre de 0,4 km<sup>2</sup>.

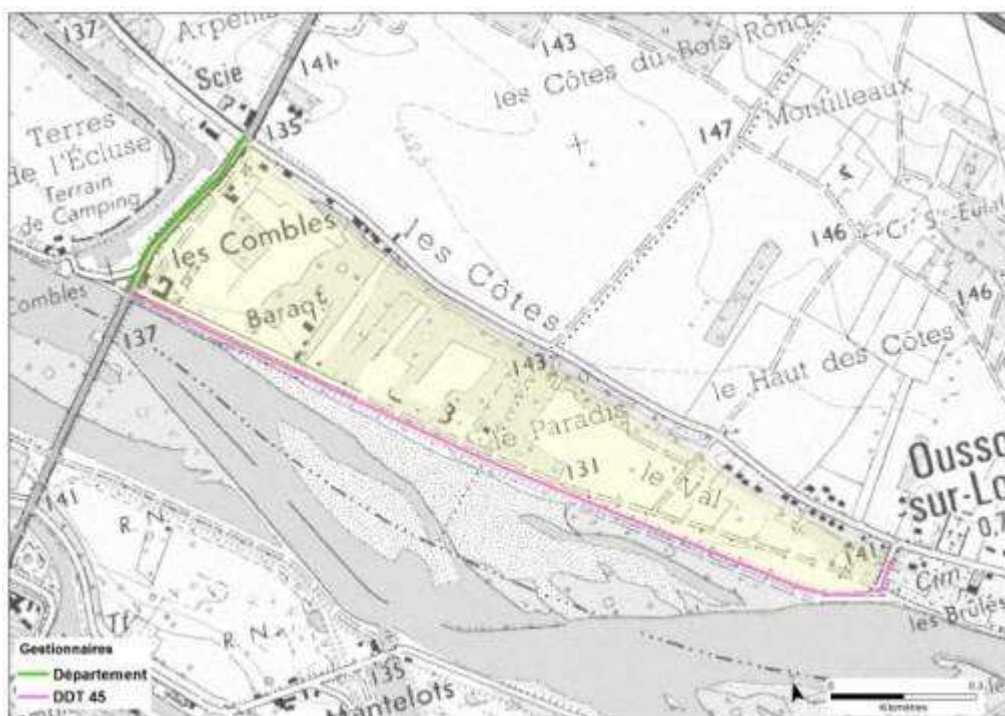


Illustration 14: Système d'endiguement et val d'Ousson-sur-Loire  
Source : EDD.

#### 3.2 - Val de Châtillon-sur-Loire

Le système d'endiguement du val de Châtillon-sur-Loire a fortement évolué par rapport à la situation au moment des crues de 1846, 1856 et 1866. À cette époque, le canal latéral s'arrêtait en rive gauche au niveau de l'écluse des Mantelots. La navigation s'effectuait en Loire jusqu'à l'écluse des Combles en rive droite, à partir de laquelle le canal latéral poursuit jusqu'à Briare. Le centre-bourg de Châtillon-sur-Loire était directement soumis aux aléas de la Loire.

Avec la construction du pont canal de Briare à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, le canal latéral est prolongé en rive gauche et vient totalement séparer le centre de Châtillon-sur-Loire de la Loire.



Illustration 15: Configuration au niveau de Châtillon-sur-Loire au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle  
Le centre-bourg n'était pas protégé des inondations car la digue n'était pas continue

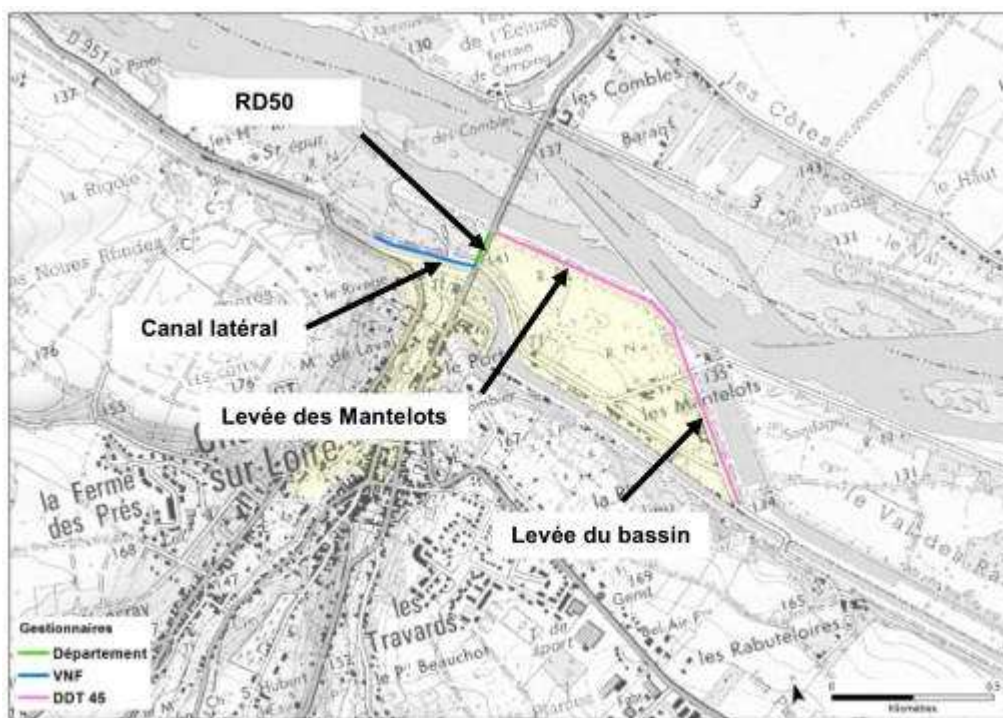


Illustration 16: Système d'endiguement et val de Châtillon-sur-Loire  
Le canal vient ceinturer complètement le centre-bourg. Source : EDD.

Le système d'endiguement de Châtillon-sur-Loire se compose :

- de la levée du bassin et de la levée des Mantelots, d'un linéaire d'environ 1 200 m entre le canal latéral à la Loire et la route départementale 50. Cette levée existait déjà lors des crues de 1846, 1856 et 1866.
- de la route départementale 50, sur environ 100 m de longueur.
- du canal latéral à la Loire, qui vient ceinturer le centre-bourg. Pour permettre l'évacuation du cours d'eau l'Ethelin, un ouvrage traverse le canal. Il est muni de portes de garde pour empêcher le remous de la Loire vers le centre-bourg.

La taille du val protégé est de l'ordre de 0,5 km<sup>2</sup>.

### 3.3 - Val de Briare

La levée ne ferme pas totalement le val de Briare. Pour des crues relativement fréquentes, comme celle de décembre 2003, la Loire peut atteindre par remous le port de plaisance, notamment à travers l'écluse de Baraban (Illustration 18). Le centre-bourg de Briare est donc soumis à l'inondation malgré le système d'endiguement.

Ce système se compose, d'amont en aval :

- de la levée du parking, au niveau de l'écluse des Combles et de la route départementale 50.
- de la levée de Briare, qui borde le canal latéral pendant environ 4,3 km jusqu'au pont canal.
- de la levée du canal, entre le pont canal et l'écluse de Baraban à Briare.
- en aval de l'écluse de Baraban, une ancienne levée borde l'ancien canal, jusqu'au lieu-dit « Rivotte ». Cette digue est contournée rapidement par le remous de la Loire depuis le secteur de « Rivotte », puis par l'inondation par l'écluse de Baraban. Elle ne joue donc pas de rôle majeur pour des crues fortes de la Loire.

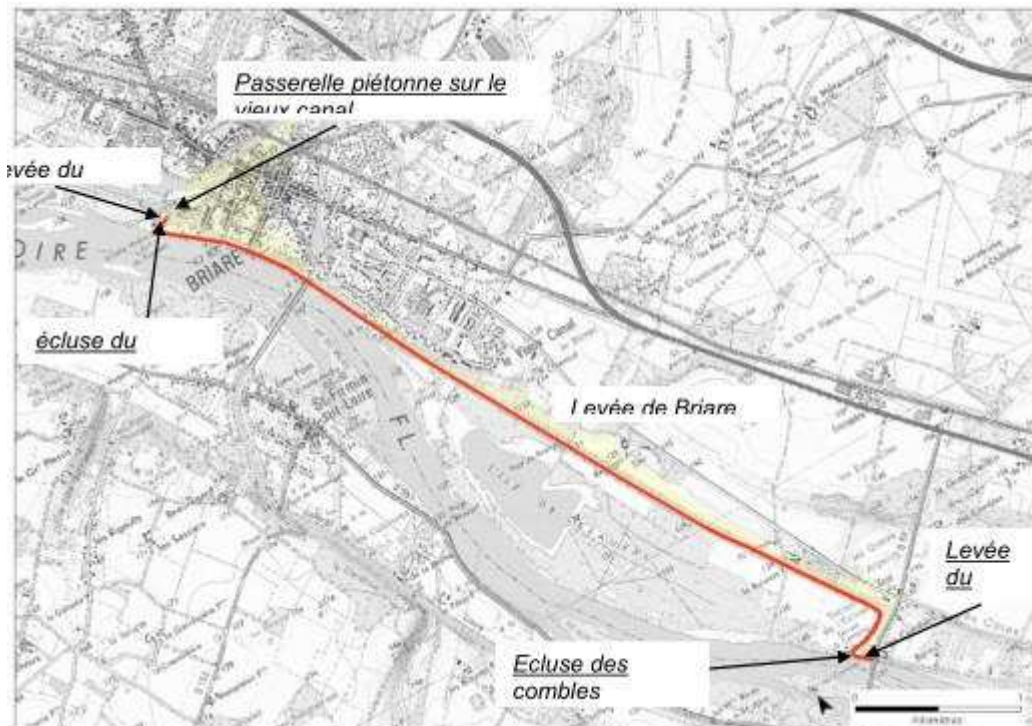


Illustration 17: Système d'endiguement et val de Briare  
Source : EDD.

La taille du val protégé est de l'ordre de 0,8 km<sup>2</sup>, mais dont une part importante peut être inondée par remous à Briare, à travers l'écluse de Baraban et le seuil sur la Trézée, dès une crue de l'ordre de 3 000 m<sup>3</sup>/s (soit un peu plus faible que la crue de décembre 2003).



*Illustration 18: Écluse de Baraban submergée pendant la crue de décembre 2003*

### 3.4 - Val de Saint-Firmin

Le système d'endiguement du val de Saint-Firmin-sur-Loire a évolué par rapport à la situation du milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, notamment en raison de la construction du pont-canal de Briare, qui a entraîné la construction d'un bief en remblai. Ce remblai vient fermer totalement le val.

Le système d'endiguement dans son état actuel est formé de trois levées :

- la levée de Saint-Firmin, qui longe la Loire sur environ 1 700 m, jusqu'au carrefour entre les D951 et D153. Cette levée existait déjà au XIX<sup>ème</sup> siècle.
- La levée d'enceinte, qui sépare le val en deux parties distinctes (Saint-Firmin amont et Saint-Firmin centre) et se prolonge en aval du carrefour D951-D153 jusqu'au canal latéral. Sa longueur atteint 1 100 m.
- le canal latéral à la Loire, dont la hauteur dépasse 8 m, sur environ 800 m. La D951 la traverse ; ce passage est muni de portes de garde.

La taille du val protégé est de l'ordre de 0,85 km<sup>2</sup>.



Illustration 19: Configuration du val de Saint-Firmin-sur-Loire au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle  
Le val était ouvert par l'aval, avec une digue s'interrompant au niveau de l'actuel pont-canal

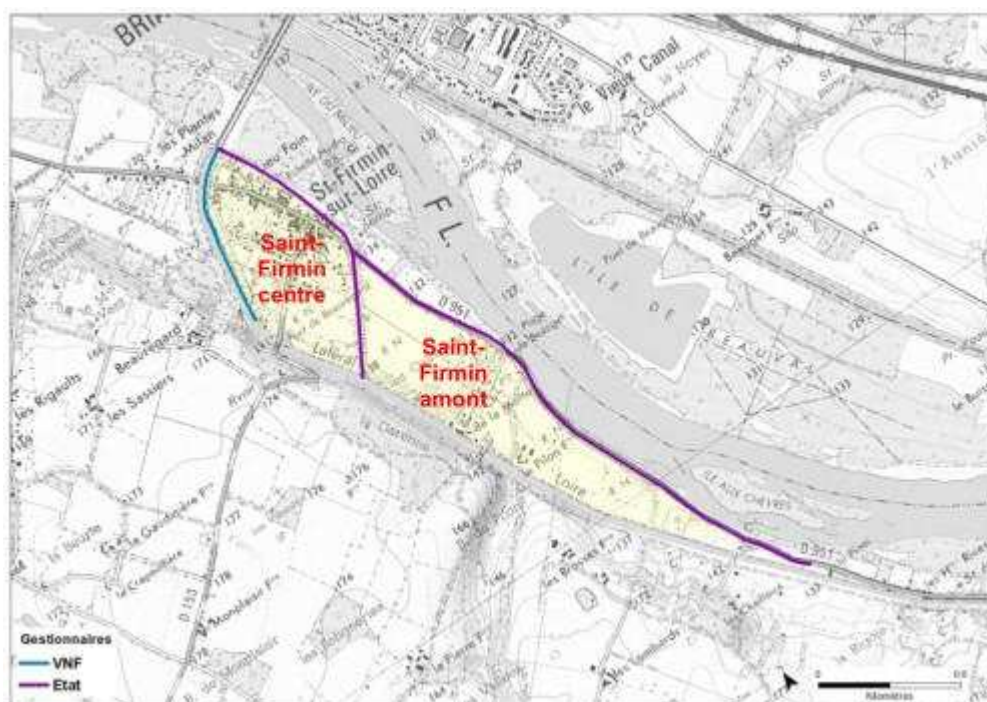


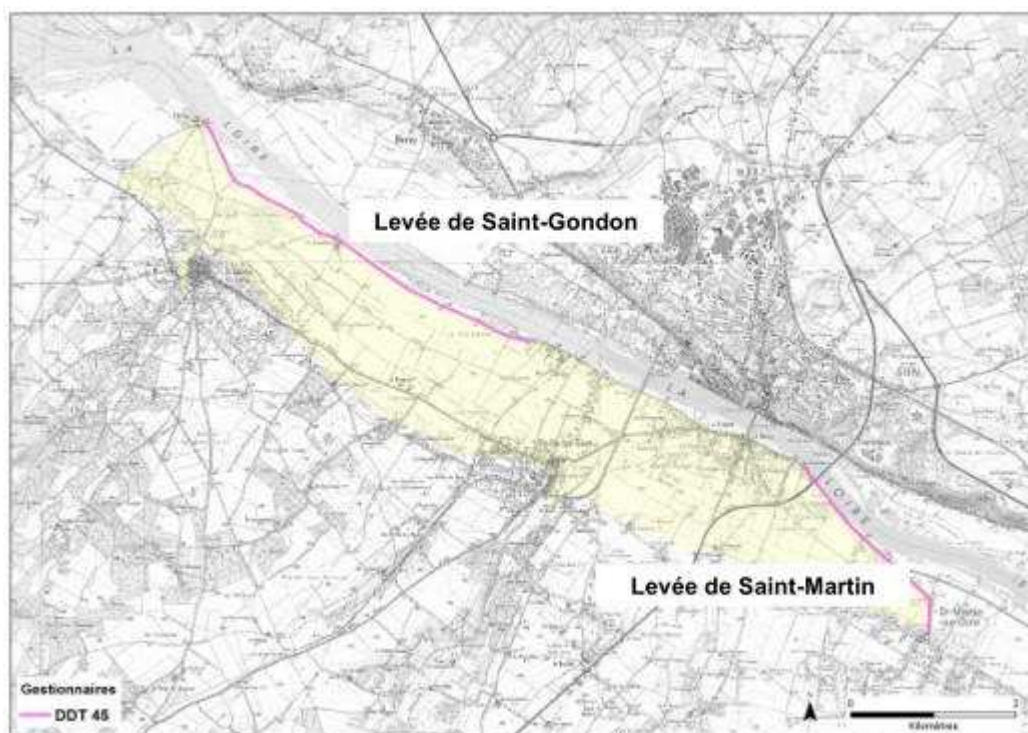
Illustration 20: Système d'endiguement et val de Saint-Firmin-sur-Loire  
Source : EDD.

### 3.5 - Val de Gien

Le val de Gien s'étend en rive gauche de la Loire et concerne les communes de Saint-Martin-sur-Ocre, Gien, Poilly-lez-Gien et Saint-Gondon. La taille du val est de l'ordre de 13 km<sup>2</sup>.

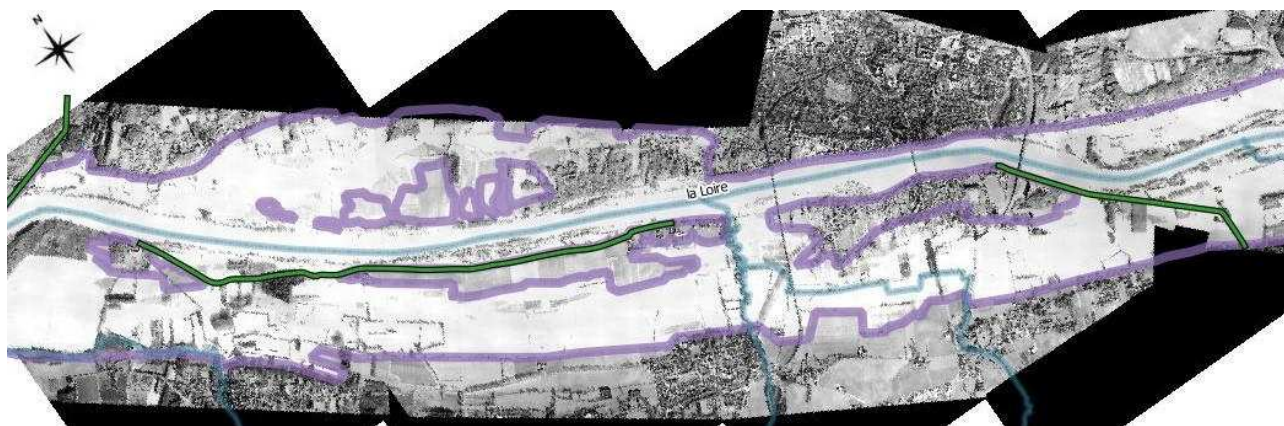
Deux levées forment le système d'endiguement :

- la levée de Saint-Martin, qui borde la partie amont sur environ 2 500 m jusqu'au lieu-dit du Colombier. Cette levée est dotée d'un déversoir à son extrémité amont, d'une longueur de 225 m.
- la levée de Saint-Gondon sur près de 5 km sur la partie aval du val.



*Illustration 21: Système d'endiguement et val de Gien  
Source : EDD.*

Le système d'endiguement n'est pas continu. Le remous de la Loire peut concerner la partie aval. Le déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre entraîne l'inondation de la partie amont pour des crues d'ampleur modérées, comme celle de décembre 2003<sup>14</sup>.



*Illustration 22: Inondation du val de Gien lors de la crue de décembre 2003*

<sup>14</sup> Photographies aériennes de la crue de décembre 2003 en Loire moyenne accessibles librement à l'adresse : <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/la-loire-moyenne-de-2000-a-2009-a1686.html>

## 4 - Reconstitution des plus hautes eaux connues

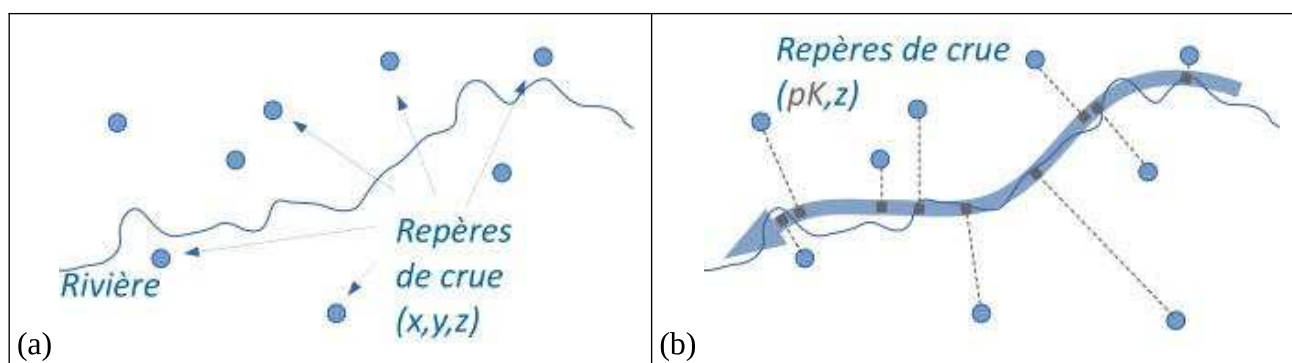
### 4.1 - Méthodologie générale

La cartographie des hauteurs de submersion provoquées par les PHEC se base sur trois étapes (méthodologie générale présentée ici) :

#### 1. Détermination des altitudes atteintes lors de chacun des principaux événements

Le travail s'effectue sur des secteurs « hydrauliquement homogènes » (c'est-à-dire sans discontinuité hydraulique), et dans les conditions de l'époque que l'on peut reconstituer (sur la zone d'étude, ces secteurs correspondent à chacun des vals et au lit majeur endigué). Cette reconstitution se concrétise par le tracé de lignes d'égale altitude de l'eau (ou « isocotes »), suivie de leur interpolation spatiale. Elle nécessite en elle-même les trois étapes suivantes :

- Une exploitation des repères et marques de crue, pour estimer l'altitude atteinte, complétée par une analyse de la pente du val là où l'on manque de données. En effet, dans l'hypothèse d'un écoulement uniforme et permanent, la pente de l'écoulement est identique à la pente du terrain<sup>15</sup>. La position et le tracé des isocotes conditionnent la qualité du résultat de la démarche. Il est primordial de les placer de façon à représenter au mieux les phénomènes hydrauliques particuliers (pertes de charges représentées par des isocotes très rapprochées, déviations de l'écoulement représenté par des isocotes perpendiculaire au champ de vitesse, etc.) pour contraindre l'étape d'interpolation. Les éventuelles imprécisions restantes sont alors considérées comme négligeables devant l'incertitude générale (incertitude sur les cotes et sur le positionnement des isocotes) ;
- Une interpolation linéaire et non lissée des isocotes reconstituées, adaptées aux données d'altimétrie. Elle respecte également les données mesurées et ne provoque pas d'anomalie aberrante ;
- Une vérification de la cohérence spatiale de la reconstitution et la représentation correcte des phénomènes aux différentes échelles (ligne de pente globale, pertes de charges locales, etc.)



<sup>15</sup> En fait, c'est la pente de la ligne de charge qui est identique à celle du terrain, et par approximation, la surface libre et le fond sont considérées parallèles dans un écoulement uniforme et permanent.

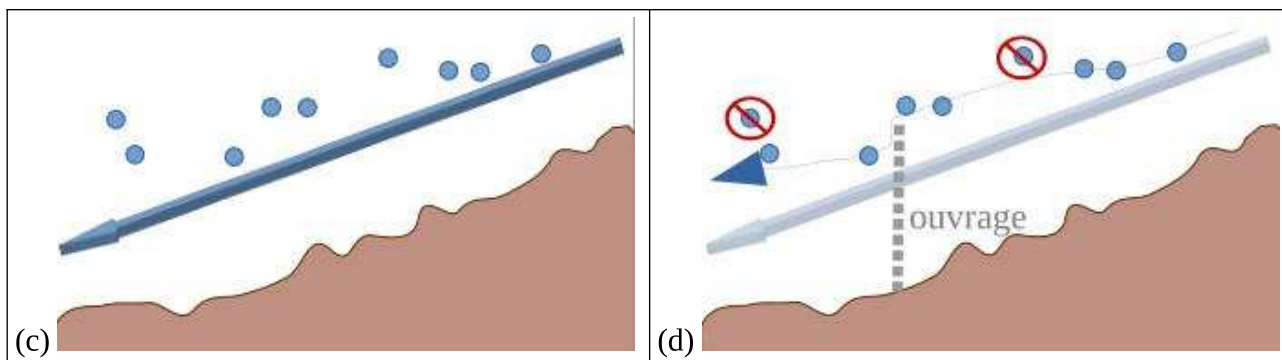


Illustration 23: Principes de reconstitution d'une ligne d'eau à partir de repères de crues

(a) les repères de crues et la rivière sont affichées dans une vue en plan

(b) la rivière est simplifiée selon un axe d'écoulement préférentiel, sur lequel sont projetés les repères de crues

(c) les repères projetés sont affichés dans une vue de profil, où on affiche également la topographie

(d) les repères de crues sont analysés, pour éliminer ceux qui sont douteux. Les ouvrages comme des barrages sont pris en compte pour reconstituer la ligne d'eau de la crue

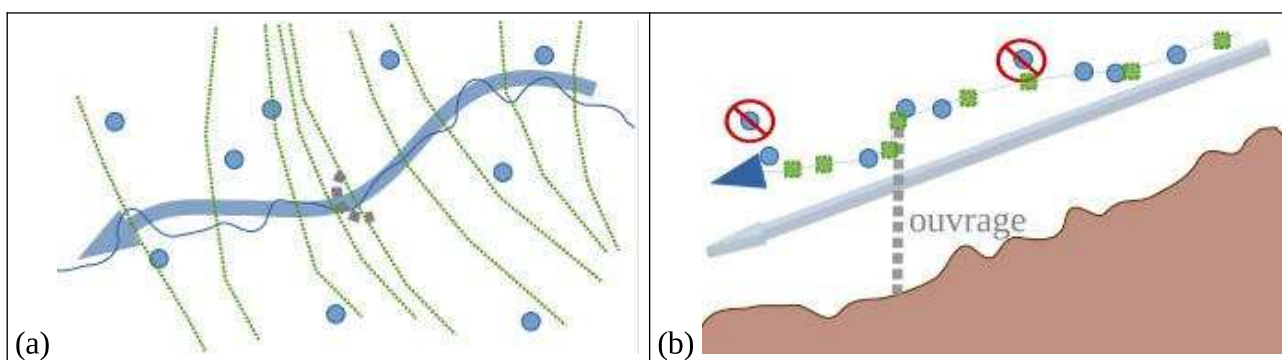
## 2. Synthèse et détermination de l'altitude de PHEC

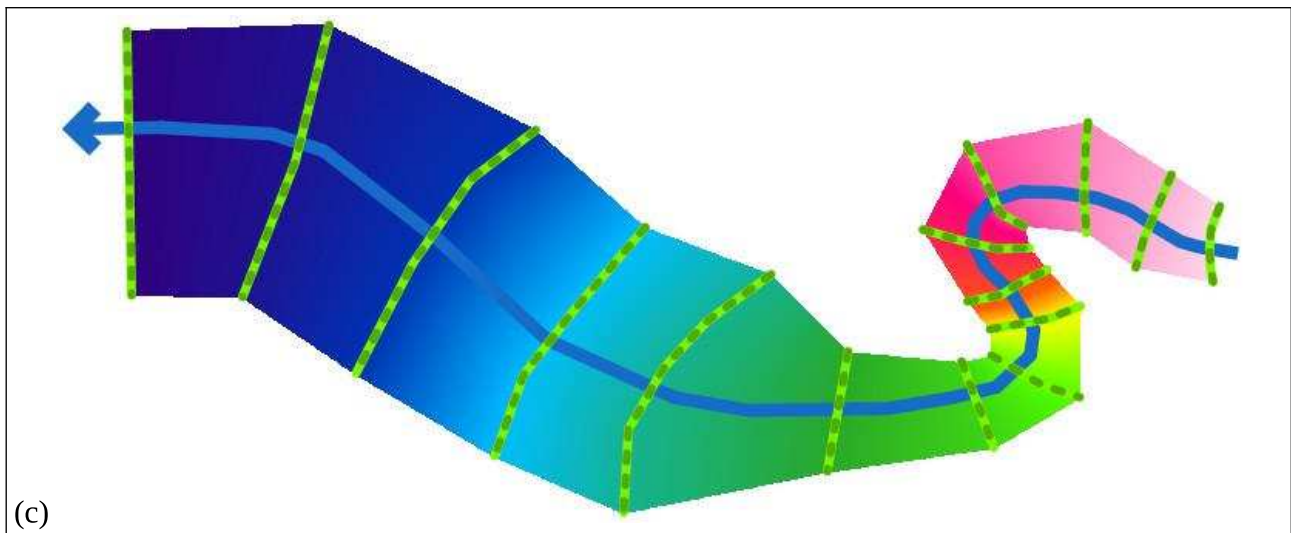
En combinant des reconstitutions obtenues à l'étape précédente sur chaque sous-secteur de travail, on obtient l'altitude des PHEC selon un profil en long. Cette synthèse peut ne pas correspondre à un événement unique mais à une combinaison d'événements.

Pour obtenir l'altitude des PHEC en tout point, on projette à travers toute la vallée inondable des lignes auxquelles on affecte l'altitude reconstituée selon le profil en long. Ces lignes isocotes (d'égale altitude) sont ensuite interpolées linéairement, ce qui permet d'obtenir une représentation surfacique et continue de l'altitude de l'eau.

L'interpolation purement géostatistique des isocotes ne reproduit pas exactement les processus hydrauliques. Toutefois, si les isocotes ont correctement été tracées et placées pour représenter l'ensemble des processus (pertes de charges, rupture de pente, etc), alors l'interpolation respecte ces éléments et le résultat obtenu constitue une approximation très réaliste de la surface d'eau.

La résolution de la surface est fixée par rapport à la résolution du MNT.





*Illustration 24: Génération de la surface des plus hautes eaux connues*

- (a) des profils en travers de la vallée (vert) sont tracés pour représenter les écoulements*
- (b) à chaque profil en travers, on affecte la cote reconstituée correspondant à sa position*
- (c) les altitudes des profils en travers sont interpolées pour créer une surface sur tout la vallée*

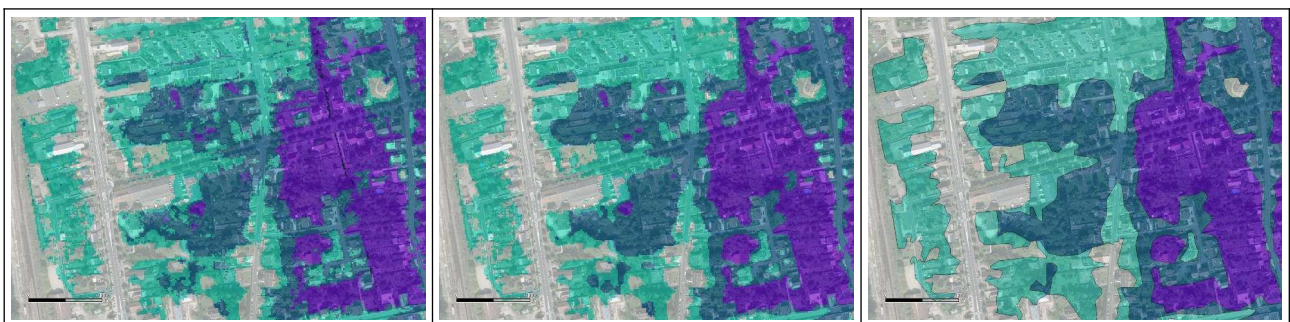
### 3. Calcul de la hauteur de submersion correspondant aux PHEC

Les hauteurs de submersion sont générées par soustraction de la synthèse obtenue à l'étape précédente avec le terrain naturel, correspondant à la soustraction de l'altitude des PHEC (altitude absolue, en mNGF) avec celle du terrain connue via le modèle numérique de terrain, pour obtenir la hauteur de submersion. Soit en chaque point :

$$H_{\text{eau}} = Z_{\text{eau}} - Z_{\text{terrain}}$$

avec par convention, H une hauteur d'eau relative au terrain, et Z des altitudes absolues.

Du fait de la finesse de la résolution de la donnée, un « bruit » persiste qui, au-delà de sa non-représentativité (quelques pixels et donc quelques mètres carrés de surface), laisse croire à une faible incertitude de la représentation des plus hautes eaux connues. Par conséquent, la donnée raster brute est l'objet d'un lissage, puis d'une vectorisation (passage à des polygones de classes de hauteurs [0 ; 0,5 m], [0,5 m ; 1 m], [1 m ; 1,5 m], [1,5 m ; 2 m], [2 m ; 2,5 m], [> 2,5 m]). Une étape de lissage des polygones est enfin effectuée. Elle consiste en une suppression des polygones les plus petits, dont la surface est inférieure à 500 m<sup>2</sup>, suivi d'un lissage des contours afin de limiter l'effet de créneau.



*Illustration 25: Principe de lissage des couches*

À gauche, les hauteurs sont classées mais encore pixelisées. Au centre, les pixels isolés sont supprimés. À droite, la donnée finale vectorielle présente des contours adoucis, et les petites zones sont intégrées dans les zones plus grandes.

## 4.2 - Hiérarchisation des crues aux échelles de la zone d'étude

Les documents historiques fournissent différentes informations aux échelles de crues présentent sur le linéaire d'étude, dont la synthèse est fournie dans le Tableau 1. On constate des écarts entre les différentes valeurs. Les cotes indiquées suivies d'un astérisque sont exprimées dans le système Bourdalouë. La conversion vers le système actuel IGN69 s'effectue par une soustraction de 35 cm environ.

| Source                                                                                                                                                                   | Échelle                                                             | 1846                          | 1856                               | 1866                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Relevé des hauteurs maximales pour les crues de 1846 et 1856                                                                                                             | Châtillon-sur-Loire (on ne sait pas de quelle échelle il s'agit)    | 6,8 m                         | 6,89 m (1 <sup>er</sup> juin 23 h) |                                                   |
|                                                                                                                                                                          | Briare (quai)                                                       | 6,95 m                        | 6,85 m                             |                                                   |
| Nivellement en long comprenant les altitudes des zéros des échelles, des plus basses eaux et des crues de 1846 et 1856 (départements du Cher, de la Nièvre et du Loiret) | BR51 rive droite (Bonny-sur-Loire)                                  | 138,382* – 131,436* = 6,946 m | 138,436* – 131,436* = 7 m          |                                                   |
|                                                                                                                                                                          | Quai d'Ousson, rive droite                                          | 136,098* – 129,828* = 6,27 m  | 136,478* – 129,828* = 6,65 m       |                                                   |
|                                                                                                                                                                          | Écluse de Châtillon                                                 | 135,4* – 128,61* = 6,79 m     | 135,6* – 128,61* = 6,99 m          |                                                   |
|                                                                                                                                                                          | Pont de Châtillon                                                   | 135,114* – 128,204* = 6,91 m  | 135,189* – 128,204* = 6,985 m      |                                                   |
|                                                                                                                                                                          | Écluse des combles (RD)                                             | 134,946* – 128,116* = 6,83 m  | 134,986* – 128,116* = 6,87 m       |                                                   |
|                                                                                                                                                                          | Écluse de Baraban                                                   | 132,745* – 125,645* = 7,1 m   | 132,645* – 125,645* = 7 m          |                                                   |
| Profils en long des crues de 1846, 1856 et 1866 (3 documents)                                                                                                            | Châtillon (Pont de Châtillon d'après le 0 de l'échelle à 128,204 m) | 6,8 m (135,004* – 128,204*)   | 6,89 m (135,094* – 128,204*)       | 6,7 m (134,904* – 128,204*) le 27 septembre 11 h  |
|                                                                                                                                                                          | Briare (écluse de Baraban d'après le 0 de l'échelle à 125,645 m)    | 6,95 m (132,595* – 125,645*)  | 6,85 m (132,495* – 125,645*)       | 6,74 m (132,385* – 125,645*) le 27 septembre 14 h |
| Nivellement sur les deux rives                                                                                                                                           | Briare (écluse de Baraban)                                          | 6,82 m                        | 6,9 m                              | 6,74 m                                            |
|                                                                                                                                                                          | Gien                                                                | 7,13 m                        | 7,19 m                             | 7,19 m                                            |
| Nivellement des bornes kilométriques de la crue de 1866                                                                                                                  | Écluse de Châtillon                                                 |                               |                                    | 135,67*                                           |
|                                                                                                                                                                          | Pont de Châtillon                                                   |                               |                                    | 134,9*                                            |
|                                                                                                                                                                          | Écluse de Baraban                                                   |                               |                                    | 132,53*                                           |

Tableau 1: Hauteurs aux échelles de la zone d'étude, issues des informations des documents historiques

\* : altitude exprimée dans le système Bourdalouë, utilisé au XIX<sup>ème</sup> siècle

On peut constater que toutes les informations ne sont pas concordantes, avec des différences supérieures à 10 cm entre les références d'une même crue à une même échelle.

La crue de 1856 est plus forte que la crue de 1846, sauf dans le secteur de Briare et de Saint-Firmin, où la crue de 1846 est une dizaine de centimètres plus haute. La crue de 1866 semble relativement équivalente à la crue de 1856 sur la zone d'étude. Elle est légèrement plus forte à l'amont de la zone d'étude (environ 5 à 10 cm plus haut à Bonny-sur-Loire). À partir d'Ousson, les crues de 1856 et 1866 sont très proches.

## 4.3 - Analyse et reconstitution des cotes des plus hautes eaux connues

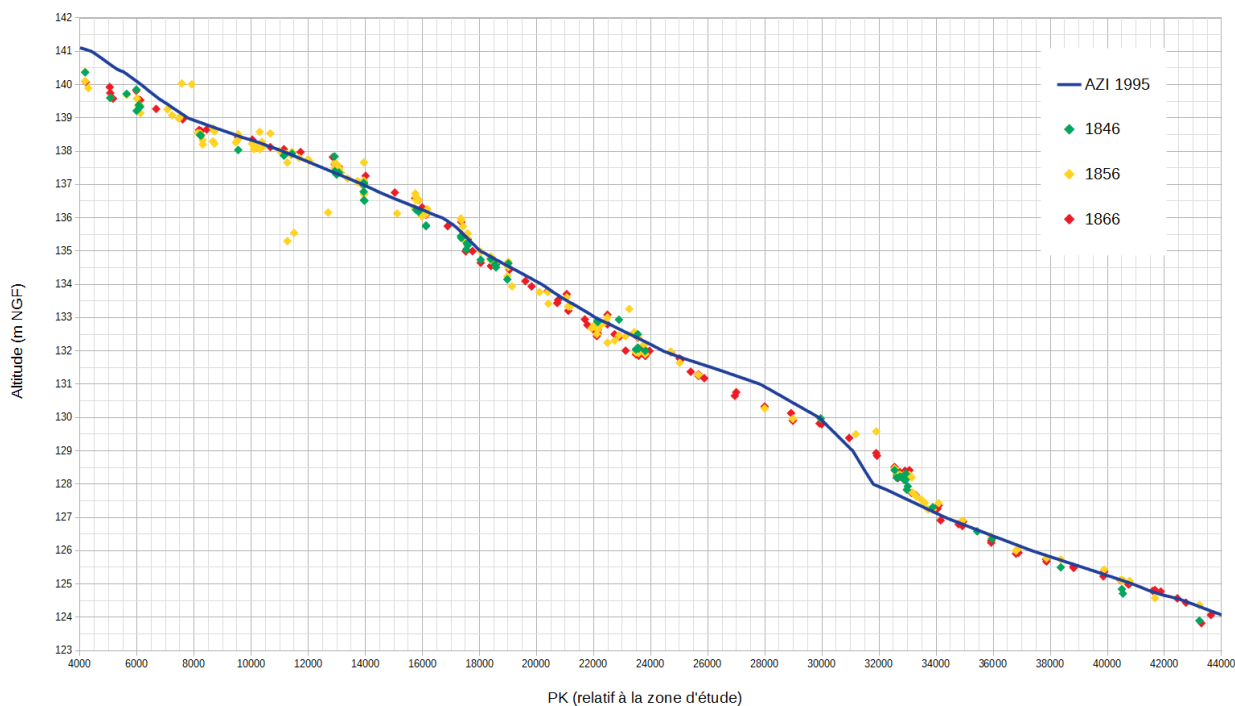
### 4.3.1 - Généralités

- Les épisodes de crue permettant la reconstitution des plus hautes eaux connues correspondent aux crues du milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle (1846, 1856, 1866) qui sont les plus hautes et les mieux connues sur le secteur, au moins lors de la période historique (le système d'endiguement, responsable de l'augmentation des niveaux, atteignant presque son ampleur et sa disposition actuelles à cette époque). Des crues plus grandes encore ont pu avoir lieu antérieurement, mais au sujet desquelles aucune description précise n'est disponible. La localisation des brèches connues pour ces trois grandes crues sur le secteur est consultable dans les annexes, ainsi que les laisses de crue.
- Les PHEC de la Loire sont habituellement formées par le maximum des trois grandes crues. Sur la zone d'étude, les cotes des trois grandes crues sont proches d'une manière générale, et fréquemment on observe des inversions dans la hiérarchie des crues (par exemple : la crue de 1856 est plus forte que la crue de 1866 pour quelques centimètres, et quelques centaines de mètres en aval c'est l'inverse qui se produit). Étant donné les incertitudes sur le nivellement des repères, chacune des crues ne sera pas reconstituée séparément. **Les PHEC sont directement reconstituées en prenant en compte les repères de chacune des crues et en utilisant la valeur la plus forte à chaque fois que plusieurs cotes seront disponibles.**
- Dans les parties suivantes, différentes illustrations présentent des données relatives aux informations des crues du XIX<sup>ème</sup> siècle. Le code couleur adopté est à chaque fois le suivant :  
 pour la crue de 1846     pour la crue de 1856     pour la crue de 1866
- Les laisses et repères des grandes crues du XIX<sup>ème</sup> siècle utilisés pour la reconstitution sont présentés en annexes.

### 4.3.2 - Évaluation succincte des PHEC de l'AZI de 1995

Sur le secteur d'étude, les AZI de 1995<sup>2</sup> considèrent que les cotes de la Loire se retrouvent dans les vals (pas d'effet de perte de charge latérale). En interpolant les isocotes, on peut générer la nappe d'eau et la comparer aux repères sur la zone d'étude (Illustration 26).

- On observe sur un secteur s'étendant de Saint-Brisson-sur-Loire jusqu'en aval du vieux pont de Gien (Illustration 26, entre les PK<sup>16</sup> 25 000 et 35 000) des différences marquées entre les repères de crues et la ligne d'eau de 1995, allant jusqu'à 1 m. Une visualisation géographique des cotes de l'ancien AZI ainsi que des données sur les crues est proposée sur l'Illustration 27. **La reconstitution de la présente étude entraîne donc une évolution sensible de la ligne d'eau – parfois à la hausse, parfois à la baisse – sur ces secteurs.**
- En dehors de cette portion, les cotes de 1995 sont plutôt cohérentes avec les repères de crues, ce qui se traduit par des cotes reconstituées proches de celles de l'ancien AZI.



*Illustration 26: Comparaison de la ligne d'eau de l'AZI de 1995 avec les repères des crues historiques  
Des différences importantes apparaissent entre les PK 25 000 et 35 000. Les écarts en amont du PK 5 000 sont traités  
dans la reconstitution des PHEC dans les départements du Cher et de la Nièvre.*

16 Ces PK ne correspondent pas aux points kilométriques de la Loire, mais servent uniquement de référence dans le cadre de l'étude. Il s'agit de la distance le long d'une portion de la Loire, dont le point initial (PK = 0) se situe au niveau de La-Celle-sur-Loire. L'annexe 5 présente le positionnement des PK le long de la zone d'étude.

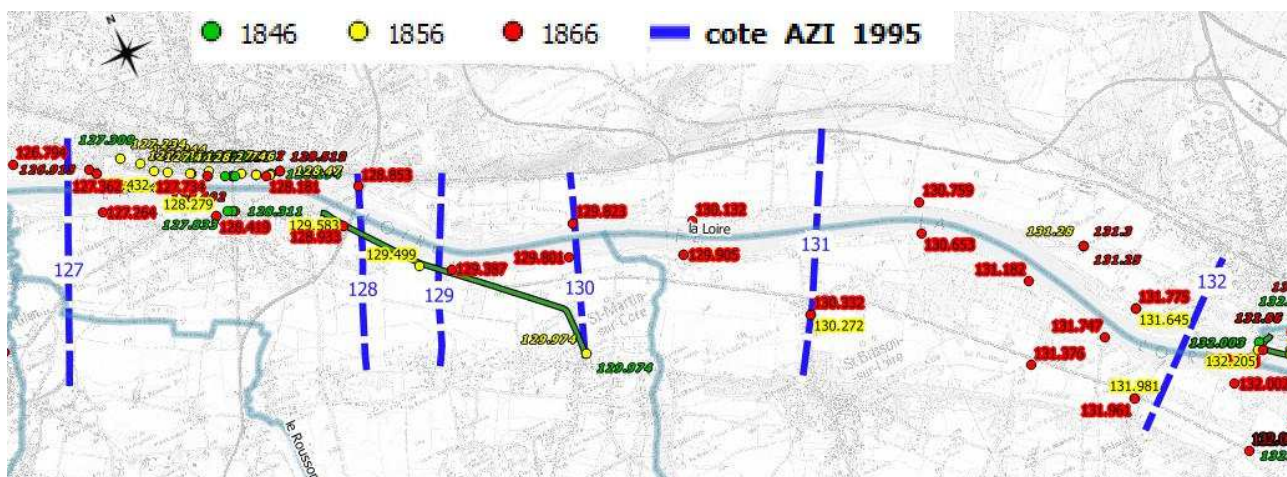


Illustration 27: Localisation des zones où la ligne d'eau évolue sensiblement par rapport à l'AZI de 1995  
 Au niveau de Saint-Brissson, les cotes de l'AZI de 1995 sont trop hautes par rapport aux repères répertoriés (mise en évidence en rouge, pour la crue de 1866) ; à l'inverse, à Gien, les cotes de 1995 sont trop faibles par rapport aux repères de crues : toutes les cotes historiques dépassent les 128 m alors que l'ancien AZI indique entre 127 et 128 m.

### 4.3.3 - Secteur de Beaulieu-sur-Loire et Bonny-sur-Loire

Ce linéaire n'a pas été retravaillé dans le cadre de la présente étude. Les résultats sont issus de la reconstitution des PHEC sur les départements du Cher et de la Nièvre, auquel le lecteur est invité à se référer. Un extrait du rapport sur le secteur de Neuvy-sur-Loire – Belleville-sur-Loire – Bonny-sur-Loire est rappelé ci-dessous.

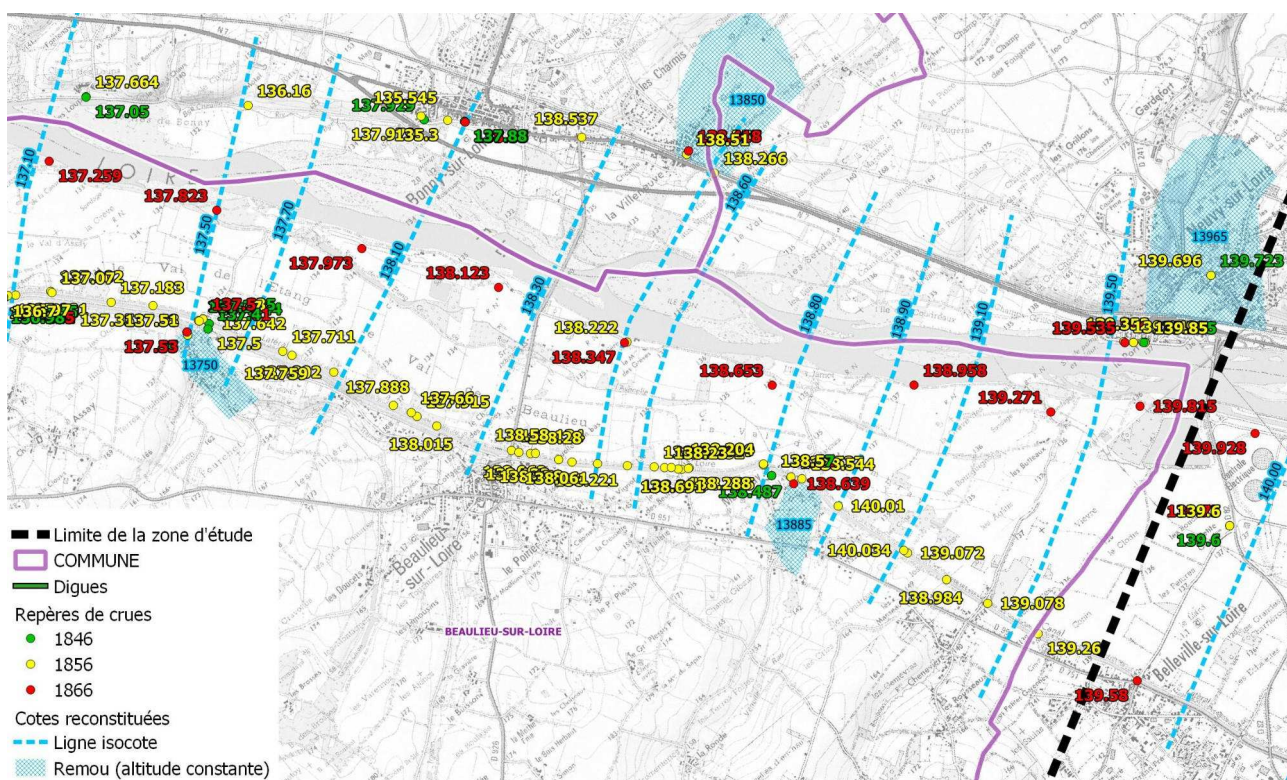


Illustration 28: Reconstitution des PHEC sur le secteur de Neuvy-sur-Loire, Beaulieu-sur-Loire et Bonny-sur-Loire

« La reproduction des niveaux de Loire dans ce secteur est possible pour les trois crues grâce à de nombreux repères à Neuvy-sur-Loire, à Bonny-sur-Loire, en rive droite, et le long du canal, en rive gauche (Belleville-sur-Loire, Maimbray, Beaulieu-sur-Loire, l'Etang). Néanmoins, les laisses de

1856, très nombreuses le long du canal (un nivellement a été réalisé au droit de chaque ouvrage), s'avèrent souvent un peu basses par rapport aux laisses de la rive droite (c'est en particulier le cas dans le secteur de Maimbray, au regard des repères de la Villeneuve, en amont de Bonny-sur-Loire). Peut-être le repérage effectué à l'époque n'a-t-il pas été réalisé au maximum de l'événement.

De manière générale, les trois crues ont atteint des niveaux équivalents, la plus forte étant celle de 1846 à l'amont de Belleville-sur-Loire (jusqu'à 0,5 m à la fin de la levée du val de Léré), et celle de 1866 plus à l'aval (au maximum de 0,2 m). »

#### 4.3.4 - Secteur de Ousson-sur-Loire et Châtillon-sur-Loire

##### 4.3.4.1 - Centre bourg de Ousson-sur-Loire

Le bourg d'Ousson n'est pas protégé par une digue. Les cotes sont donc celles du lit mineur de la Loire. D'après les repères et les données anciennes, les crues de 1856 et 1866 sont comparables au niveau d'Ousson (Illustration 29), et sont plus fortes que la crue de 1846. Il est à noter que d'après les repères présents, la cote varierait de manière forte : la différence est de l'ordre de 40 cm sur environ 400 m dans la traversée d'Ousson, que l'on retrouve pour les trois crues. De nouvelles mesures réalisées en avril 2021 ont confirmé les altitudes.

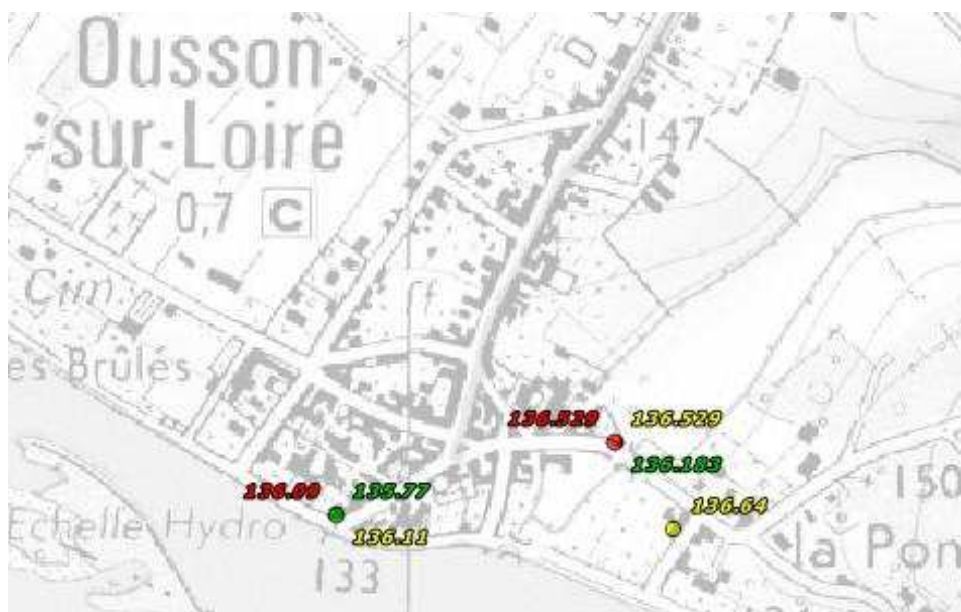


Illustration 29: Repères présents dans le bourg d'Ousson  
Les différences importantes malgré des distances courtes semblent peu réalistes.

Même si les marques sont gravées et semblent donc a priori fiables, il n'y a pas d'évolution brusque de la section d'écoulement et une telle variation semble peu réaliste à cet endroit. La pente de la Loire est plutôt de l'ordre de 40 cm par kilomètre, soit une différence attendue de l'ordre de 20 cm. La reconstitution s'appuie également sur les repères en rive gauche, et tente de passer au plus proche des repères mais **un écart avec les repères existants de 10 à 20 cm reste présent.**

#### 4.3.4.2 - Incertitude relative au remous dans l'Ousson

L'évaluation du remous de la Loire dans l'Ousson s'effectue par un complément topographique à partir du semi de points bruts. L'incertitude sur la topographie a peu d'impact sur la délimitation de la zone inondée résultante.



Illustration 30: Compléments topographiques pour estimer le remous de la Loire dans l'Ousson

#### 4.3.4.3 - Val d'Ousson

La carte ancienne montre la limite de l'inondation de 1846 à l'intérieur du val. En 1856, sept brèches sont identifiées<sup>17</sup>. Les six premières se sont formées après submersion de la levée ; la dernière est située au niveau du pont suspendu et correspond au reversement des eaux vers le bief des Combles. Un plan de 1866 indique également que le val a été inondé, et le rapport de l'ingénieur en chef indique une « rupture de la levée d'Ousson ». Le val d'Ousson a donc été totalement inondé pour chacune des crues du XIX<sup>ème</sup> siècle. Il n'existe cependant pas de repère à l'intérieur du val d'Ousson.

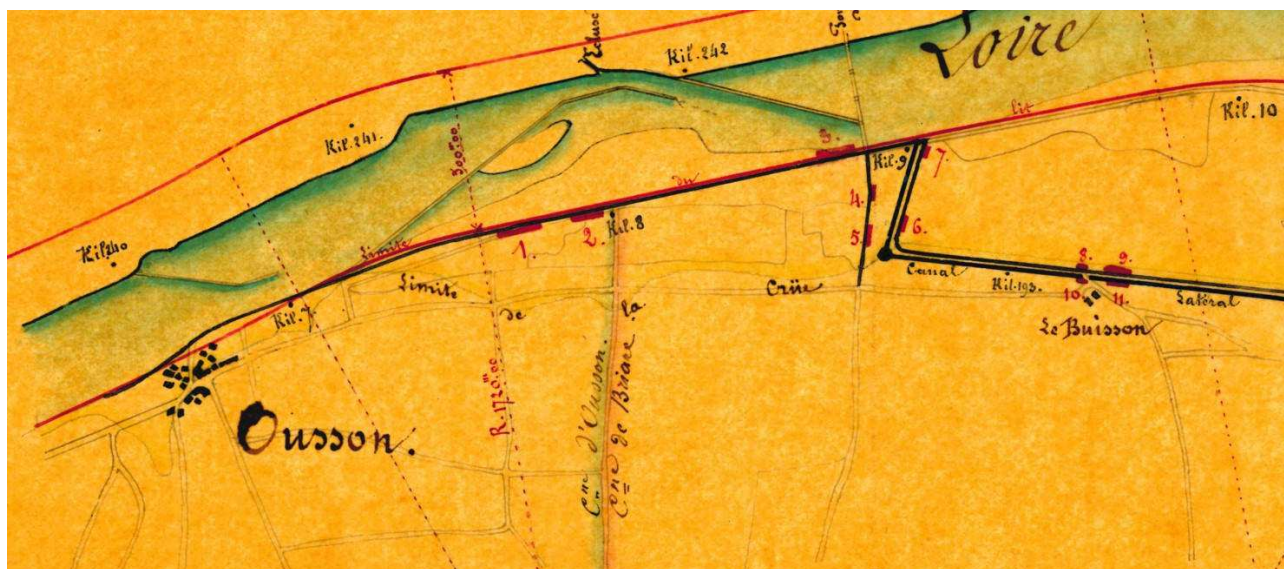


Illustration 31: Plan présentant la limite de l'inondation de 1866 dans le val d'Ousson

L'étude de dangers fournit un scénario<sup>18</sup> de brèche sur l'amont du val, correspondant à la localisation d'une des brèches indiquée pour 1856 dans le recensement de la DREAL. La modélisation indique une surface variant de 135,3 m en amont à 135,1 m en aval. Dans

<sup>17</sup> Source : informations du fond Guillon

<sup>18</sup> Voir la section 8.3.2.1 (Scénario n°1 : brèche en amont du val) de l'étude de dangers du val d'Ousson

cette simulation, il y a une légère perte de charge en amont entre le lit de la Loire et le val ; en aval la cote dans le val est plus élevée que dans le lit de la Loire, car le val se remplit jusqu'à déverser par-dessus la D50. Il est probable qu'une configuration analogue se soit produite en 1856 (brèches sur l'amont du val à la suite du déversement par-dessus la levée). On ne dispose ni d'information pour évaluer la perte de charge sur l'amont du val, ni de l'altitude du terrain naturel de l'époque au niveau de l'actuelle D50 qui fixerait approximativement la cote de l'eau en aval du val. **Bien qu'approximative, l'inondation est reconstituée par projection de la ligne d'eau du lit de la Loire à travers le val.** Cette approche sur-estime vraisemblablement de quelques centimètres l'inondation sur l'amont, et la sous-estime en aval. On notera toutefois que sur la majorité du val, les hauteurs de submersion calculées dépassent les 2,50 m, au regard desquelles l'impact de l'incertitude est finalement faible.

#### 4.3.4.4 - Val de Châtillon-sur-Loire

- Dommages recensés lors de la crue de 1866

Pour la crue de 1866, le rapport de l'ingénieur en chef indique des dégradations sur le canal latéral aux abords de Châtillon-sur-Loire : déchirures dans les levées du canal, ensablements dans la gare de Châtillon et dans la branche des Combles, destruction des levées aux abords du pont suspendu de Châtillon, avaries aux abords des écluses de Châtillon et des Combles. Un document ancien (Illustration 32) détaillant les dommages évoquent des déchirures dans le canal en amont de l'écluse des Mantelots : remblais pour comblement de quatre brèches et des déchirures (gare de Châtillon côté droit de cette gare), comblement d'une brèche (côté gauche de la gare de Châtillon et levée de ceinture), comblements de quelques brèches, déchirures, affouillements (écluse de Châtillon), comblements d'une brèche et de déchirures (côté gauche du pont suspendu).

| Reports                                                  |                                                                                                   |           |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Gare de Châtillon et côté droit de cette gare            | Remblais pour comblement de 4 brèches et de déchirures enlèvement ensemble 10849 <sup>m³</sup> 00 | 8882. 00  |
|                                                          | Enlèvement d'affouillements                                                                       | 2880. 00  |
|                                                          | Construction de caisses                                                                           | 339. 00   |
| Côté gauche de la gare de Châtillon et levée de ceinture | Remblais pour comblement d'une brèche et reconstruction de la plateforme (8880 <sup>m³</sup> 00)  | 34806. 00 |
|                                                          | Reconstruction de 64 <sup>m²</sup> de parois y compris moellons                                   | 965. 00   |
|                                                          | Construction de chaussées                                                                         | 276. 00   |
| Ecluse de Châtillon en amont de la 1 <sup>re</sup> 191   | Parois et garages (104 <sup>m²</sup> )                                                            | 125. 00   |
|                                                          | Comblement de quelques brèches, déchirures et affouillements                                      | 1975. 00  |
|                                                          | Rétablissement de chaussées                                                                       | 248. 00   |
| Côté gauche du pont suspendu                             | Comblement d'une brèche et de déchirures                                                          | 2022. 00  |
|                                                          | Construction de parois en moellons ord <sup>res</sup> (860 <sup>m²</sup> 00)                      | 662. 00   |

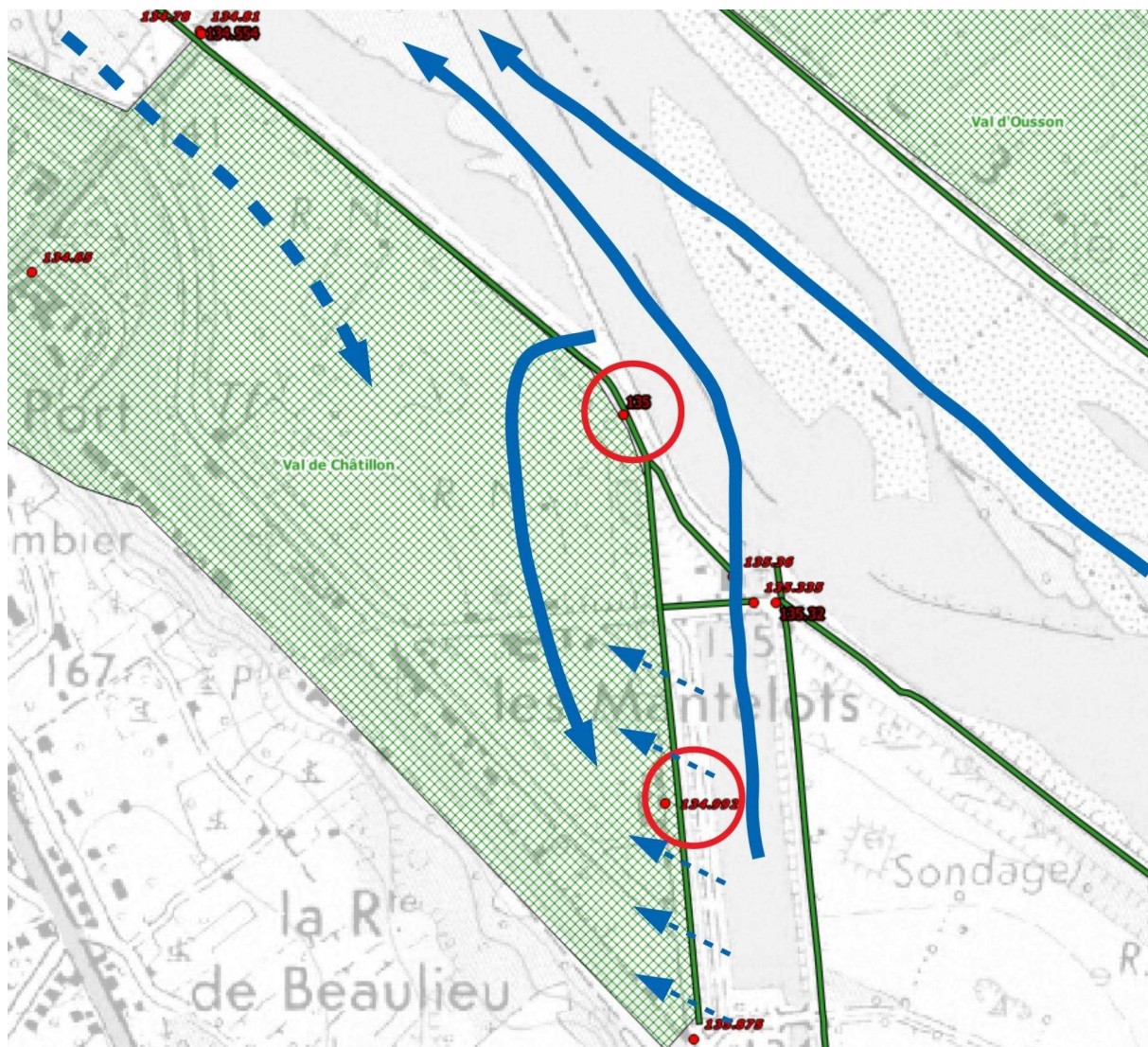
Illustration 32: Extrait des dommages de la crue de 1866



- Représentation retenue

À partir des processus d'inondation identifiables (Illustration 34) et en considérant que la seule information disponible dans le val concerne la crue de 1866, on retient pour les PHEC le fonctionnement suivant :

- pas de défaillance notable au niveau du bassin des Mantelots, malgré des écoulements possibles vers le val à cet endroit ;
- hypothèse d'une petite brèche en aval de l'écluse, selon les documents anciens. On considère que cette entrée d'eau fixe principalement le niveau maximal obtenu, soit 135 m d'après le repère de 1866 ;
- sur la partie aval, on considère une égalité de cote entre la Loire et le val.



*Illustration 34: Synthèse des processus d'inondation de la partie amont du val de Châtillon-sur-Loire  
Seuls les repères de la crue de 1866 sont affichés.*

D'une manière générale, la reconstitution de cotes est délicate dans le val de Châtillon-sur-Loire et les incertitudes résultantes atteignent plusieurs dizaines de centimètres, notamment sur l'amont du val au niveau des Mantelots. On notera que les résultats des EDD ne peuvent être exploités à Châtillon en raison des évolutions topographiques<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Le val est aujourd'hui fermé, la cote finale atteinte dans le val en cas de brèche est constante et correspond à la cote en Loire au droit de la brèche modélisée.

#### 4.3.4.5 - Centre bourg de Châtillon-sur-Loire

La carte ancienne montre la limite de l'inondation de 1846 au niveau du coteau, en arrière du canal, au niveau des Mantelots. Les cotes des repères au niveau du Port de Châtillon-sur-Loire<sup>21</sup> sont du même ordre de grandeur que celles au pont, confirmant l'inondation de la zone. La crue de 1856 est la plus forte au niveau de Châtillon, d'après les repères du port et les cotes à l'échelle du pont de Châtillon (Illustration 35 et Illustration 36).



*Illustration 35: Repères de crues au niveau du port et du pont de Châtillon-sur-Loire*

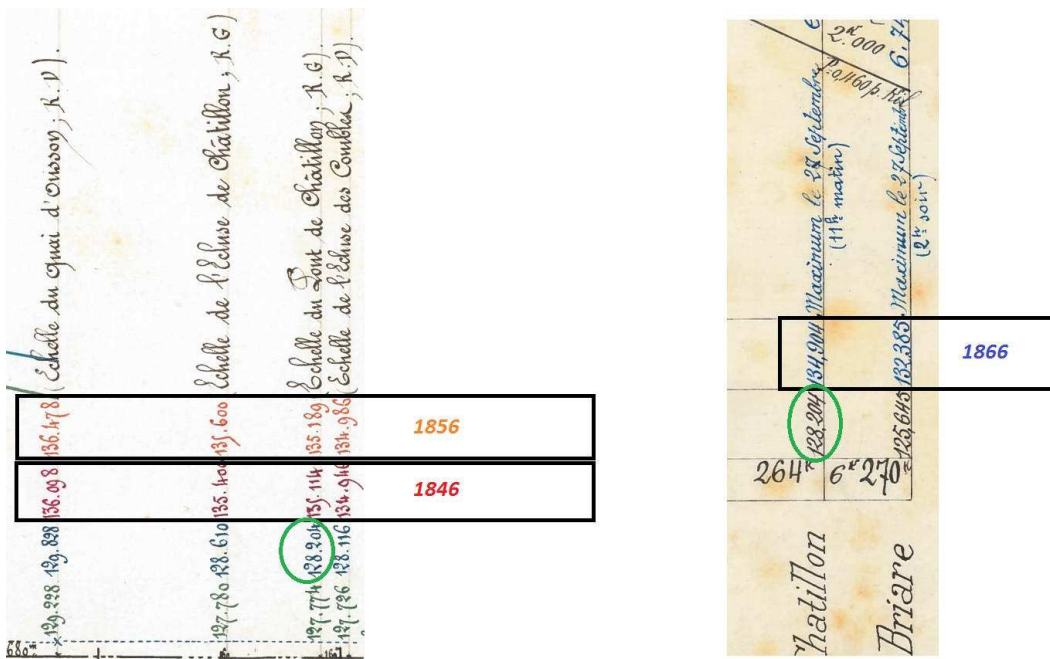


Illustration 36: Hiérarchisation des crues au niveau de Châtillon-sur-Loire

21 <https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr/site/port-de-chatillon>

Dans le centre du bourg, on observe un manque de topographie limité, comblé par interpolation du semi de points bruts (Illustration 37). La zone reconstituée soumise à l'inondation par les PHEC (cote de 134,85 m) est limitée et concerne peu de bâtiments. **Un ajustement manuel de la limite de l'inondation est réalisé pour s'affranchir des bâtiments.**

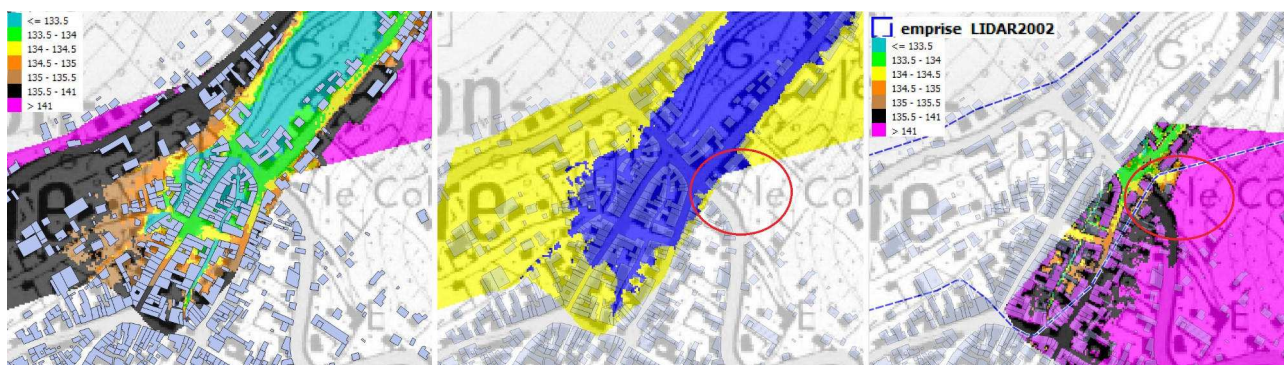


Illustration 37: Le manque de topographie à Châtillon-sur-Loire est limité aux zones orangées et jaunes encadrées

#### 4.3.4.6 - Bilan de la reconstitution des PHEC dans le secteur de Ousson-sur-Loire et Châtillon-sur-Loire

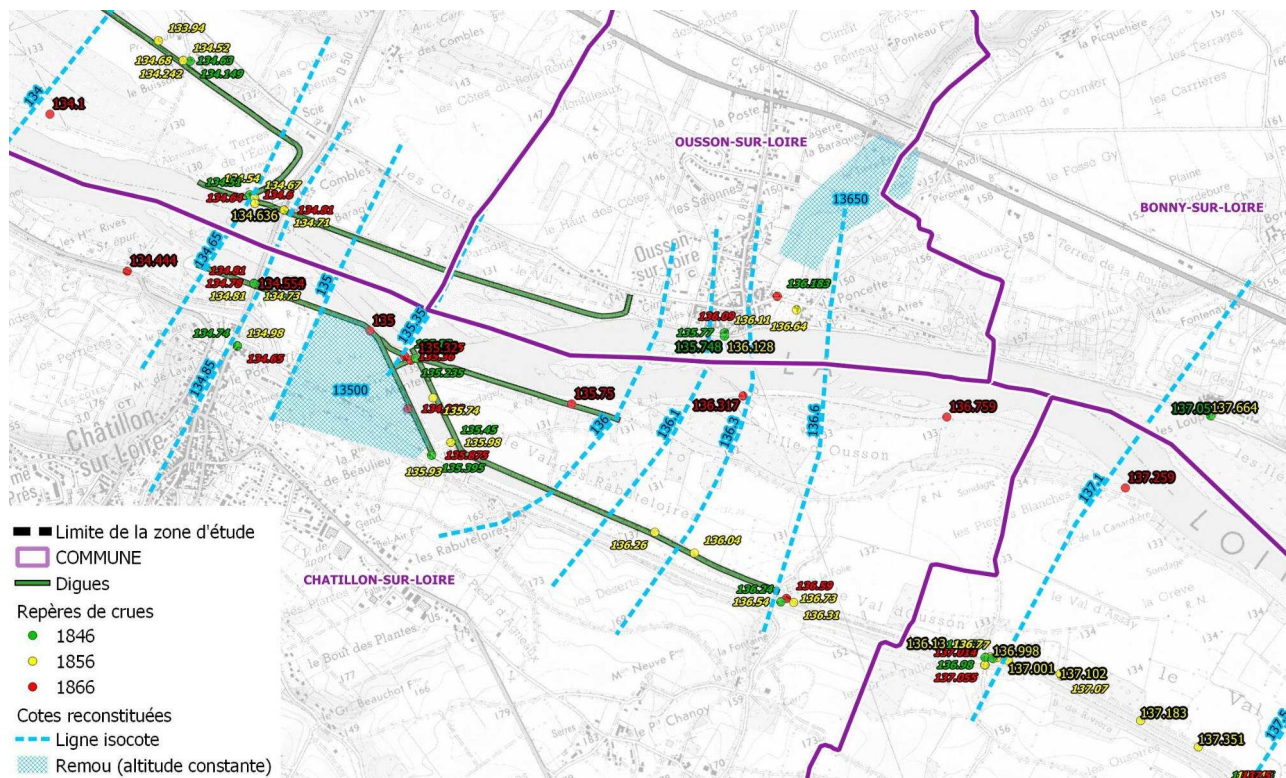


Illustration 38: Reconstitution des PHEC sur le secteur de Ousson-sur-Loire et Châtillon-sur-Loire

### 4.3.5 - Secteur de Saint-Firmin-sur-Loire et Briare

#### 4.3.5.1 - Val de Briare

##### 4.3.5.1.1 Bief des Combles

En 1856, la brèche en retours depuis le val d'Ousson vers le bief des Combles a vraisemblablement permis une inondation en arrière rive droite du canal. Des repères de

la crue de 1866 sont aussi recensés sur le plan des surfaces submersibles sur les ponts au-dessus du bief des Combles, confirmant que le bief a également été alimenté. Les cotes des repères en Loire sont aujourd'hui plus hautes que la digue de protection du canal ; on peut supposer que la digue n'était pas plus haute au XIX<sup>ème</sup> siècle<sup>22</sup> et qu'elle a donc été submergée lors de la crue, en général de 30 à 50 cm. Pourtant, les cotes des repères le long du bief des Combles sont plus élevées que les cotes dans la Loire. Au niveau des ponts au-dessus du bief, on pourrait postuler une mise en charge locale, expliquant une surélévation sur l'amont des ouvrages. Par exemple, au pont de Beauget<sup>23</sup> (Illustration 39), il est indiqué une différence de 25 cm entre l'amont et l'aval de l'ouvrage. **On considérera que les cotes dans le canal sont celles de la Loire, et que les écarts sont localisés au niveau des ouvrages.**

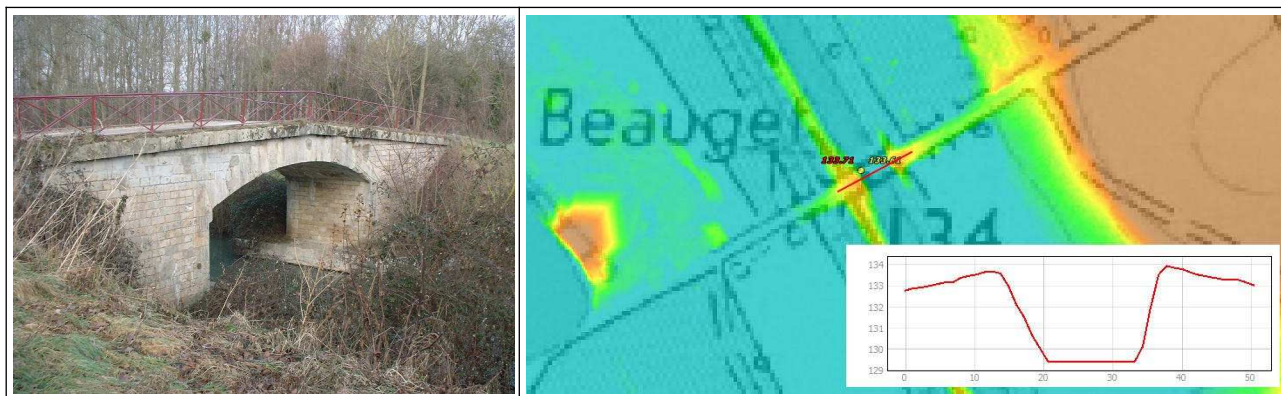


Illustration 39: Pont de Beauget et repères de crues.

Les cotes de repères sont proches des cotes du terrain naturel sur les culées (133.6 m- 134 m, visible sur le graphique), ce qui laisse supposer une mise en charge

À l'extrémité amont du bief, il existe un manque de topographie au niveau de la ferme du Buisson. Le complément à partir du semi de points bruts ne permet pas de conclure avec certitude sur l'atteinte des bâtiments en dehors de l'emprise initiale du MNT (Illustration 40).

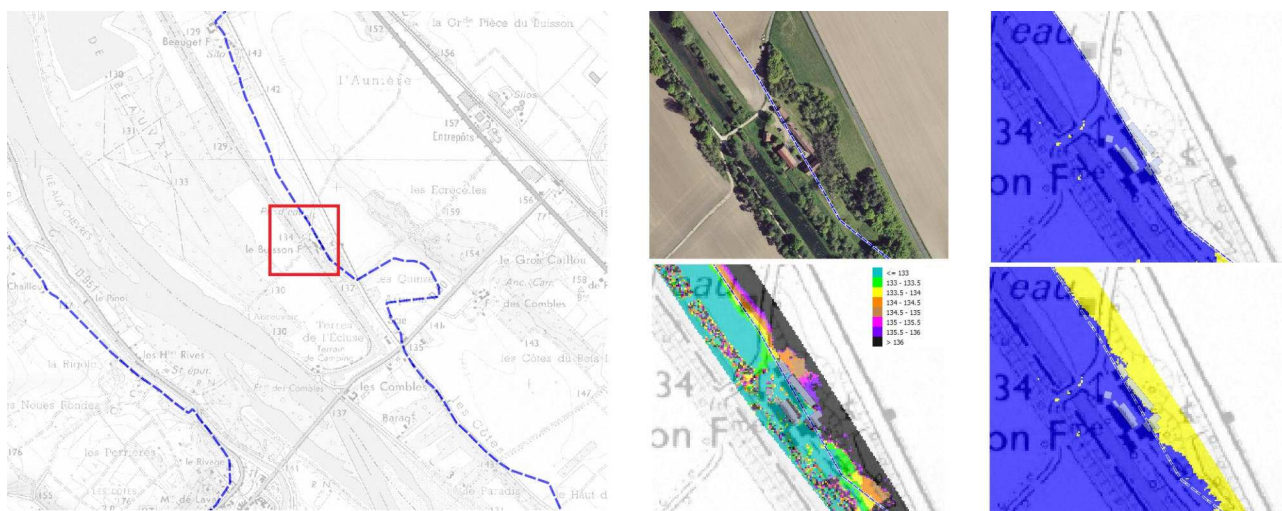


Illustration 40: Compléments topographiques le long du canal, au niveau de la ferme du Buisson.

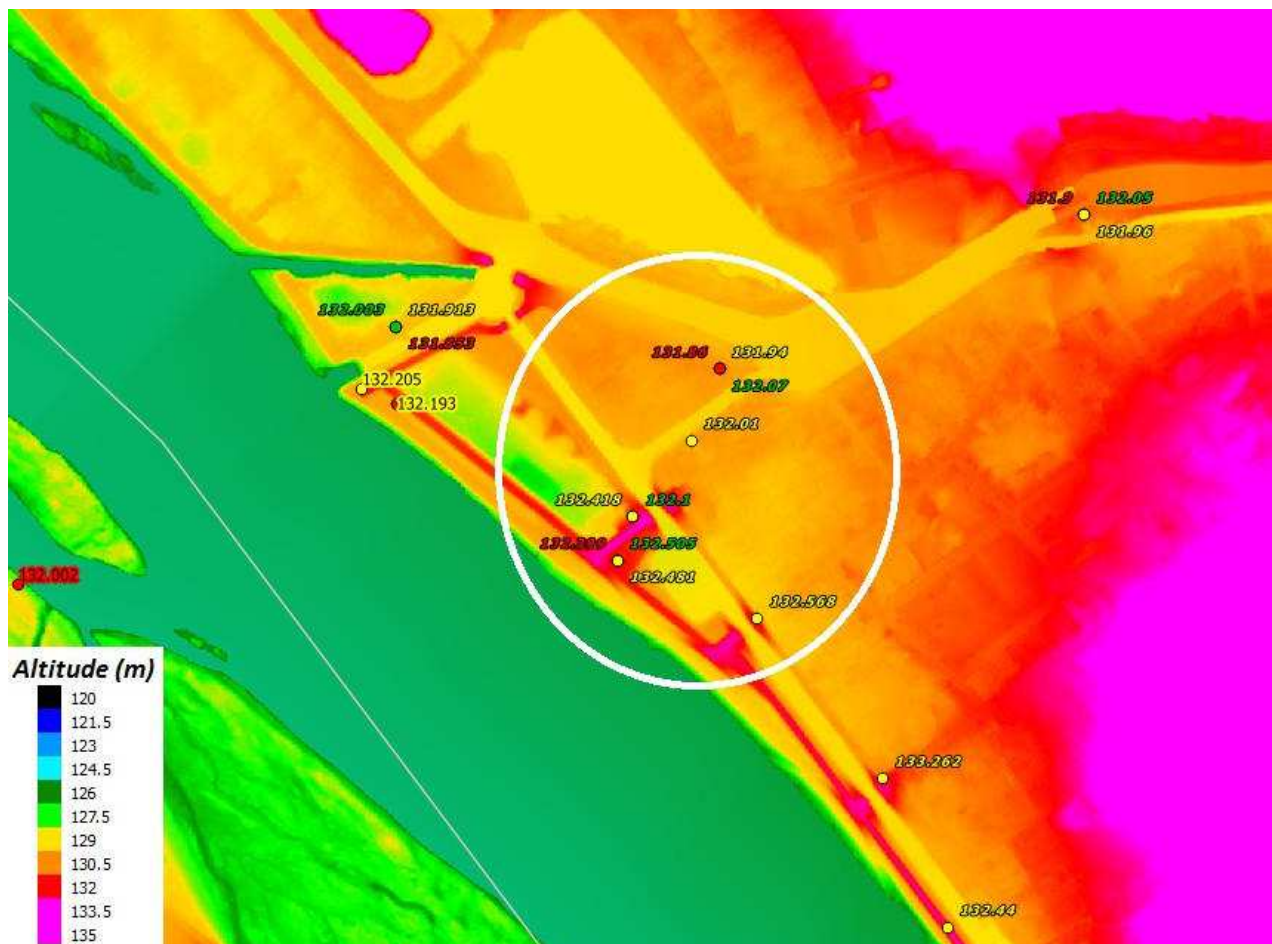
22 Les nivellements d'époque et actuels des BR et BK, souvent proches du sommet des levés, fournissent des valeurs proches de celles du MNT actuel, ce qui semble indiquer que la levée n'a pas beaucoup évolué.

23 <https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr/site/pont-de-beauget-sur-le-canal>

#### 4.3.5.1.2 Centre bourg de Briare

Dès les crues moyennes (équivalentes à celle de décembre 2003) le centre-ville de Briare est inondé par remous depuis l'écluse de Baraban et la Trézée. Pour les trois grandes crues du XIX<sup>ème</sup> siècle, les différents repères<sup>24</sup> en arrière de la levée s'accordent pour une cote de l'ordre 132 m, mais il existe des différences importantes (près de 50 cm) avec certains repères de 1856 matérialisés à proximité de la Loire et du canal (Illustration 41).

- Les cotes des repères rue et pont des Grandes Allées comprises entre 132,4 m et 132,5 m (voir cercle blanc sur l'illustration 41) sont difficiles à expliquer. Les marques sont gravées (donc fiables a priori), mais pour 1866 il faut remonter au niveau de l'actuel pont canal – environ 700 m en amont – pour que les nivellements de la crue atteignent une cote aussi haute. Le nivellement sur les deux rives ne montre pas non plus d'inflexion des lignes d'eau dans ce secteur et ne fournit pas d'information supplémentaire.
- Le nivellement du repère à 132,418 m rue des Grandes allées semble erroné. Sur les photographies présentes sur la plateforme de repères de crues<sup>25</sup>, la crue de 1856 est sur une pierre plus basse que la crue de 1846, elle-même référencée à 132,1 m. La cote du terrain naturel est de l'ordre de 132 m à cet endroit : il pourrait donc s'être produit une inversion de cotes entre les crues de 1846 et 1856. Dans tous les cas, la cote de 132,418 m semble forte et ne permet pas d'expliquer les repères à environ 132 m dans Briare.



#### 4.3.5.2 - Val de Saint-Firmin-sur-Loire

La configuration au niveau de Saint-Firmin a fortement évolué : la levée d'enceinte, le canal en provenance de Châtillon et le pont canal n'existaient pas pendant les trois grandes crues du XIX<sup>ème</sup> siècle. La carte ancienne indique quatre brèches pour 1846 et pour 1856 ; on trouve également traces de plusieurs brèches dans les documents des archives départementales et le fond Guillon.

- Pour 1846, les documents d'archives indiquent que la brèche la plus en amont s'est produite suite au déversement par-dessus la levée, tandis que pour les autres brèches les levées n'ont pas été submergées.
- Les documents historiques indiquent 4 brèches pour 1856, tandis que l'EDD en recense 5.
- Les documents du fond Guillon évoquent des dégradations mais pas de brèche sur la levée de Saint-Firmin pour la crue de 1866, en amont du val et à proximité du Château de la Motte. La carte de 1850 surcouchée est en accord avec ces éléments. L'EDD identifie la zone dégradée comme une brèche.

Le val a été complètement inondé pour les trois crues. Les repères dans l'église de Saint-Firmin indiquent que la crue de 1846 est la plus forte dans le bourg (Illustration 42). Les repères dans la partie protégée montrent que le niveau dans le val était comparable au niveau atteint par la Loire dans le lit endigué.

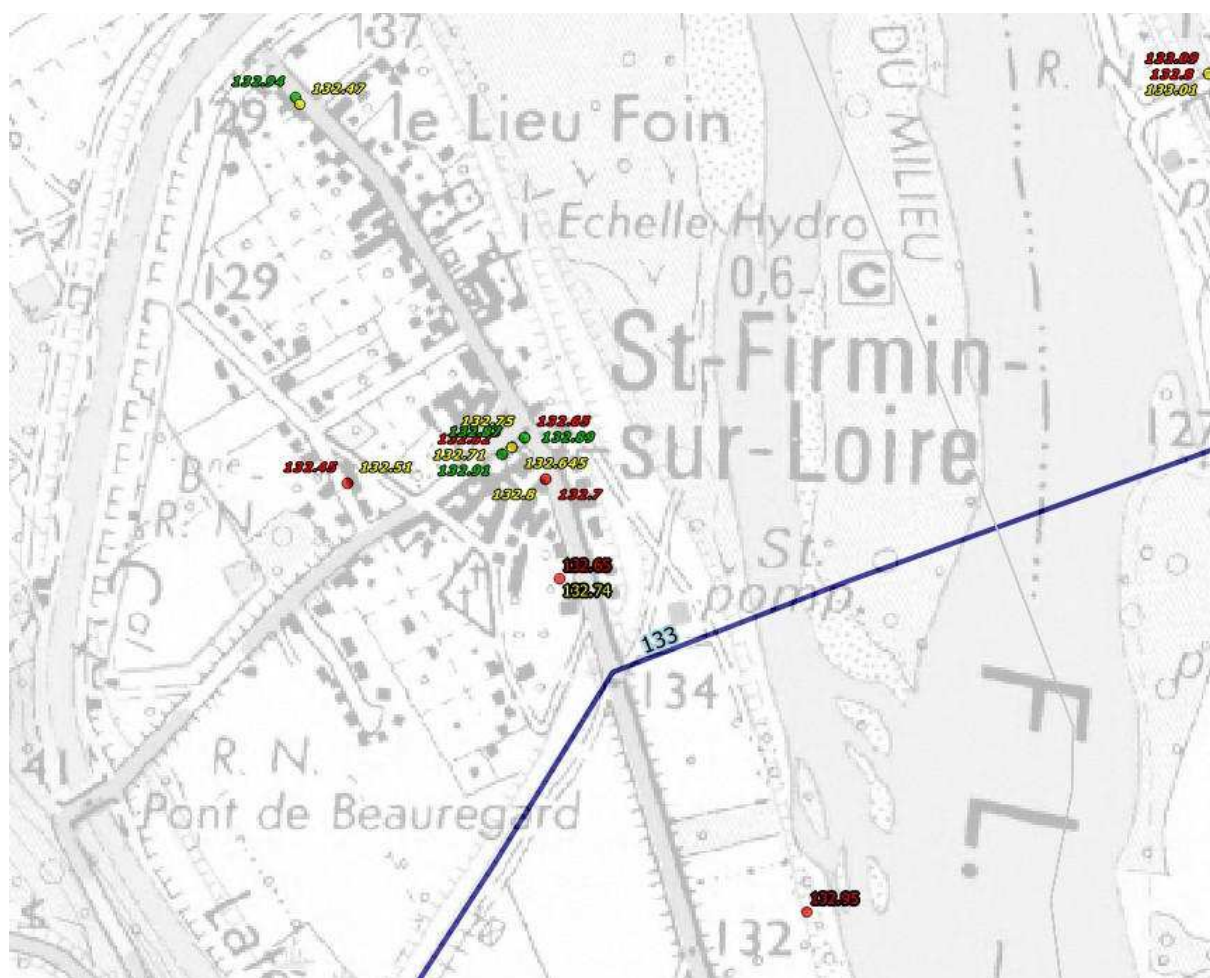


Illustration 42: Repères dans le centre de Saint-Firmin.

La crue de 1846 (vert) est la plus forte. L'isocote 133 m est issue de l'ancienne reconstitution des PHEC

En aval du bourg, l'altitude du repère de 1846<sup>26</sup> était évaluée à 132,94 m, ce qui semblait trop fort par rapport aux repères environnant. En avril 2021, un nivellement au DGPS a donné une altitude de 132,74 m, davantage cohérente avec la topographie locale (Illustration 43 ; le sol est à environ 131 m et le repère à environ 1,6 m au-dessus du sol). La reconstitution s'appuie donc sur ce repère, avec une altitude de 132,74 m.



Illustration 43: Repère de 1846 dont le nivellement est douteux en aval de Saint-Firmin

Dans le secteur de Saint-Firmin, on applique la même cote dans le val et dans le lit endigué de la Loire.

#### 4.3.5.3 - Bilan de la reconstitution des PHEC dans le secteur de Briare et de Saint-Firmin-sur-Loire

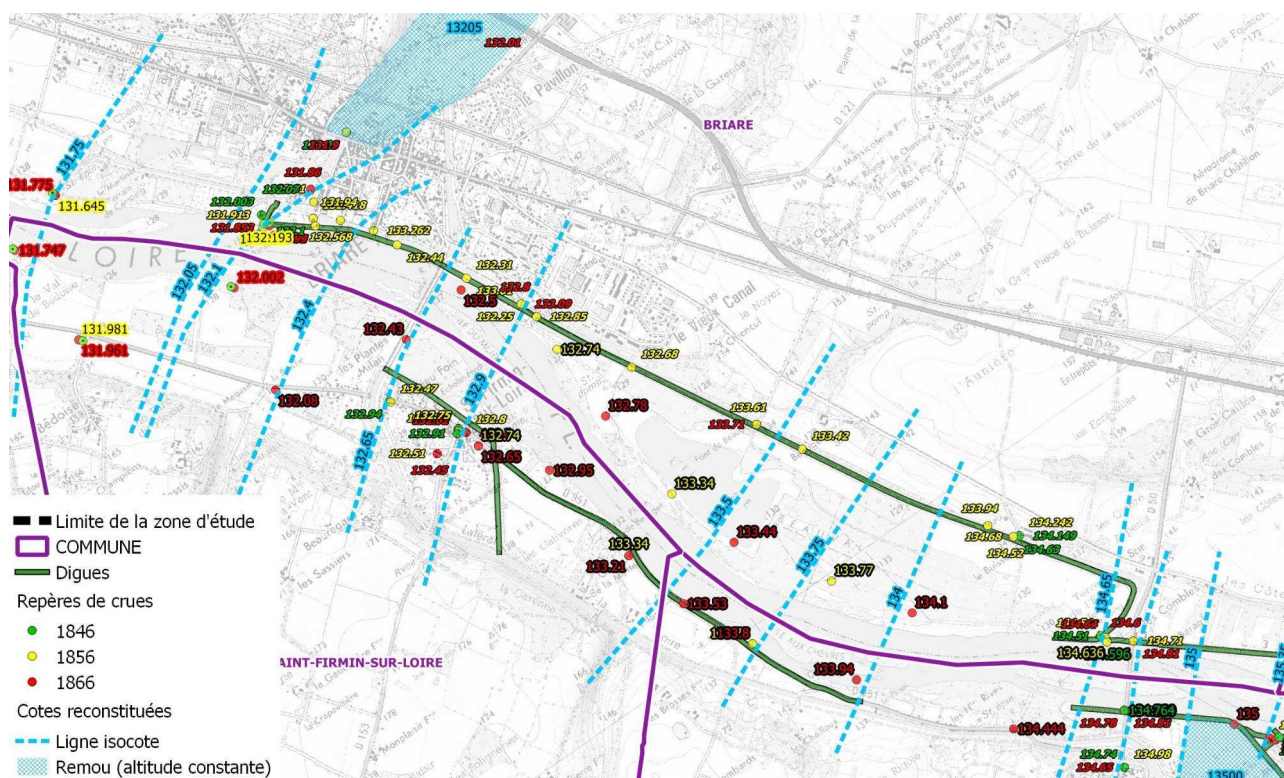


Illustration 44: Reconstitution des PHEC sur le secteur de Briare et Saint-Firmin-sur-Loire

26 <https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr/site/cd-951-route-de-gien-ndeg77>

#### 4.3.6 - Secteur de Saint-Brissson-sur-Loire

Ce secteur ne présente pas d'endiguement. On dispose des lignes d'eau des crues de 1856 et 1866, dont les niveaux sont proches. La reconstitution s'appuie sur ces éléments, qui sont globalement cohérents entre eux. La ligne d'eau résultante est plus basse que celle de 1995.

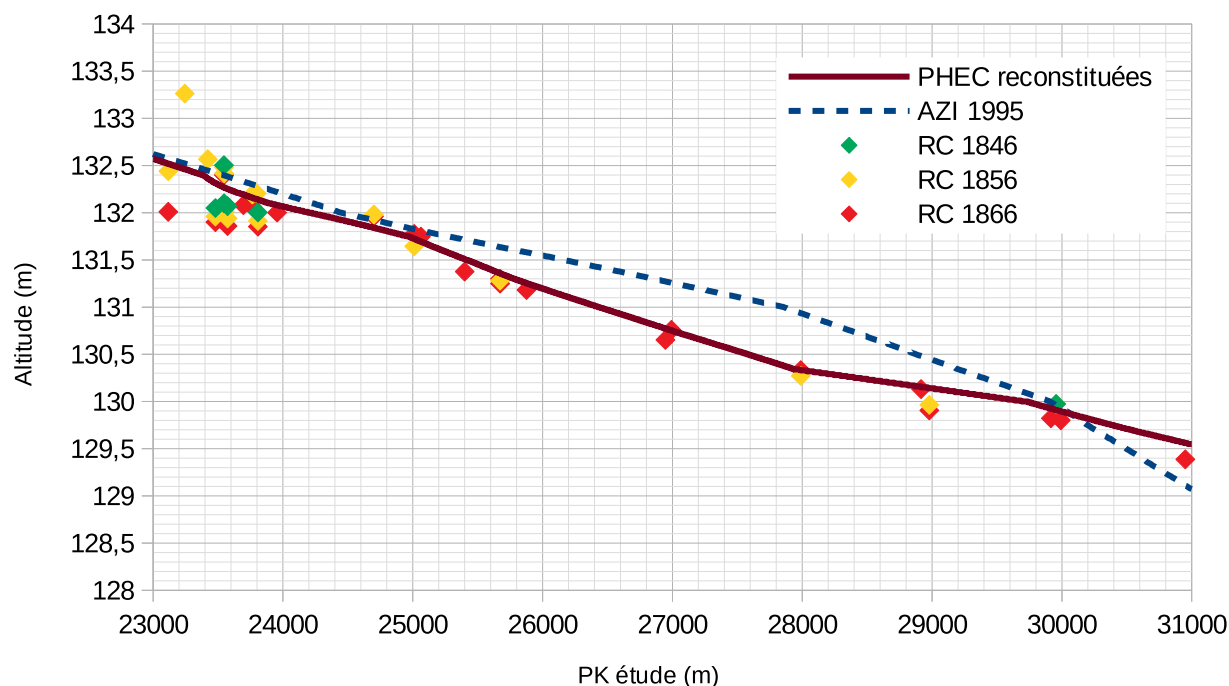


Illustration 45: Ligne d'eau reconstituée dans le secteur de Saint-Brissson-sur-Loire

La forte densité de repères entre les PK 23 000 et 24 000 sont ceux de Briare. On constate une évolution nettement à la baisse de la ligne d'eau des PHEC sur ce secteur (-60 cm à Saint-Brissson-sur-Loire, entre les PK 27 000 et 28 000)

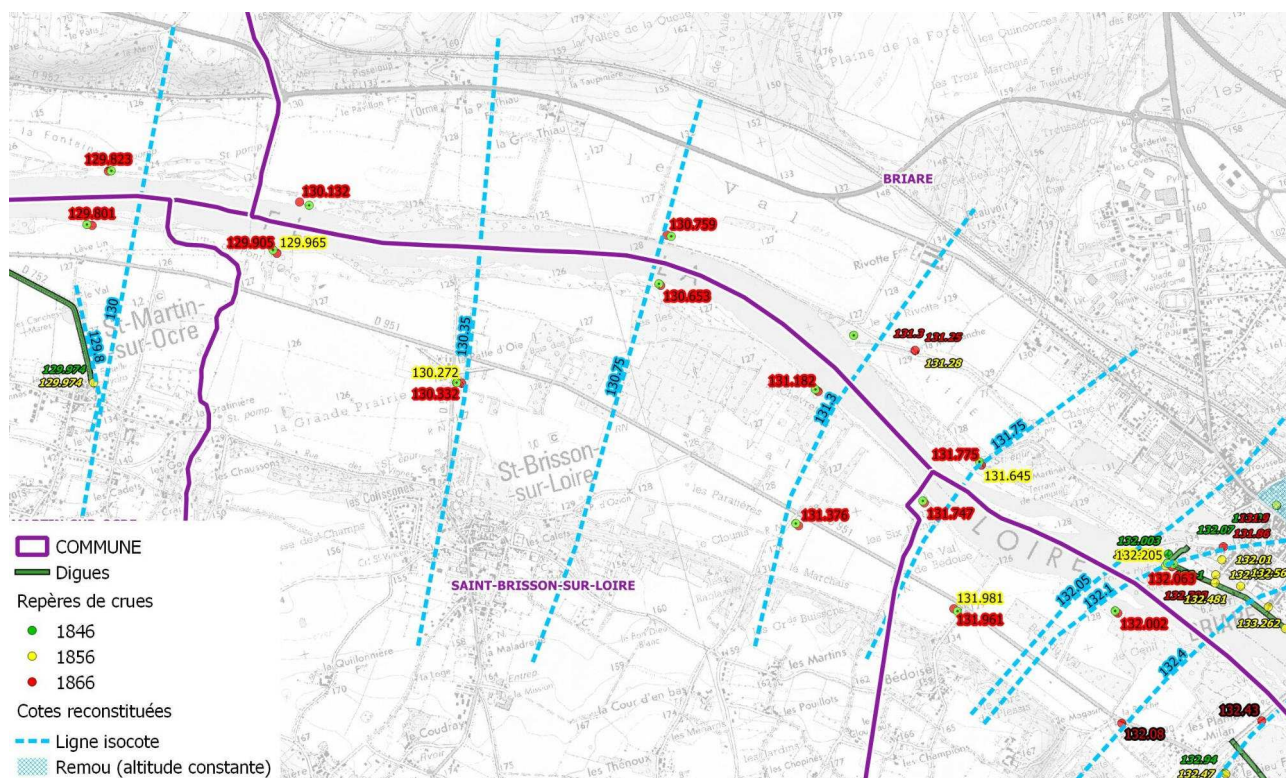


Illustration 46: Reconstitution des PHEC sur le secteur de Saint-Brissson-sur-Loire

## 4.3.7 - Secteur de Saint-Martin-sur-Ocre, Gien, Poilly-lez-Gien, Nevoy et Saint-Gondon

### 4.3.7.1 - Cotes dans le lit endigué et en rive droite à Gien

On dispose de nombreuses informations sur les crues du XIX<sup>ème</sup> siècle dans la zone urbaine de Gien, en rive droite de la Loire. Les cotes de 1995 annoncent des altitudes variant de 128 m au niveau du pont de la D940 et 127 m au niveau de la faïencerie, avec une cote de l'ordre de 127,5 m au niveau du pont de Gien. Ces valeurs sont trop faibles par rapport aux repères existants pour le lit endigué (Illustration 47).

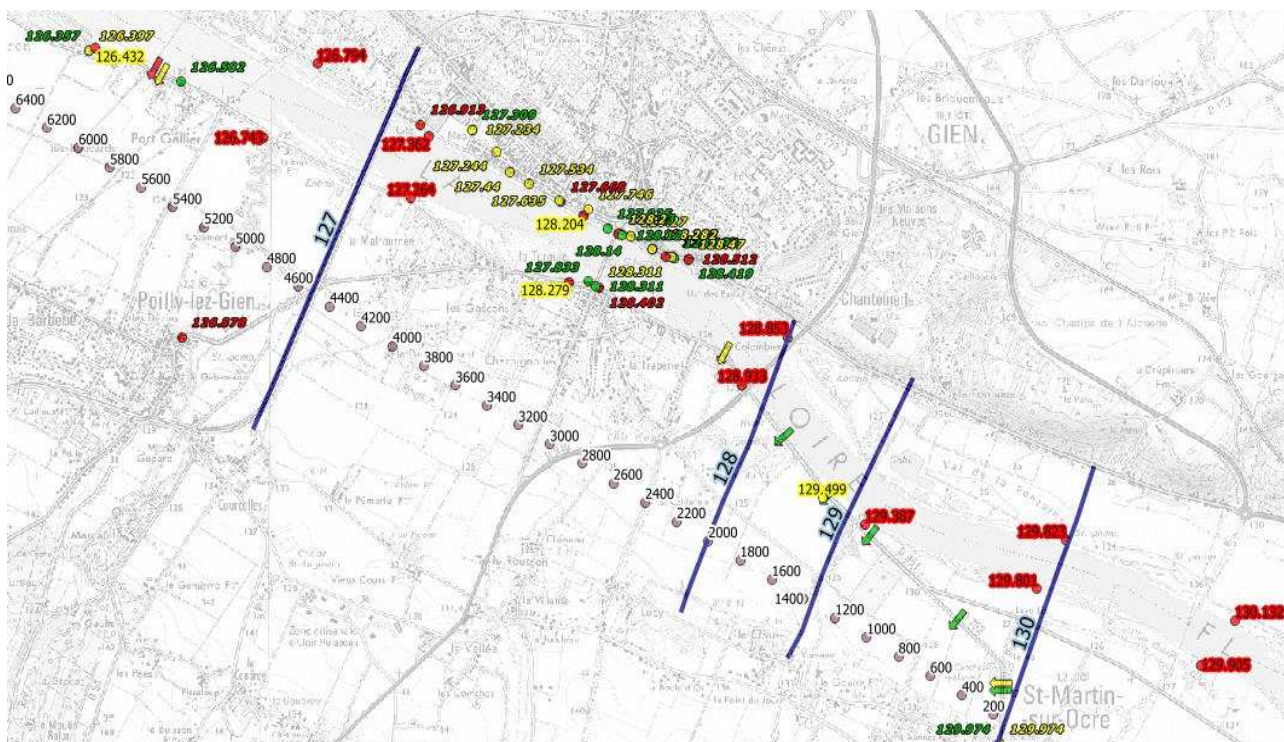


Illustration 47: Repères de crues et isocotes de l'AZI de 1995 dans le secteur de Gien  
Les PHEC doivent être rehaussées en Loire et en rive droite par rapport aux isocotes de l'ancien AZI.

L'équipe pluridisciplinaire<sup>27</sup> indique à l'échelle de Gien une cote de 128,21 m pour les crues de 1856 et 1866, et 128,14 m pour la crue de 1846. Les limnigrammes des crues de 1856 et 1866 au pont de Gien (Illustration 48), de l'ordre de 7,2 m pour un 0 de l'échelle de 120,97 m.

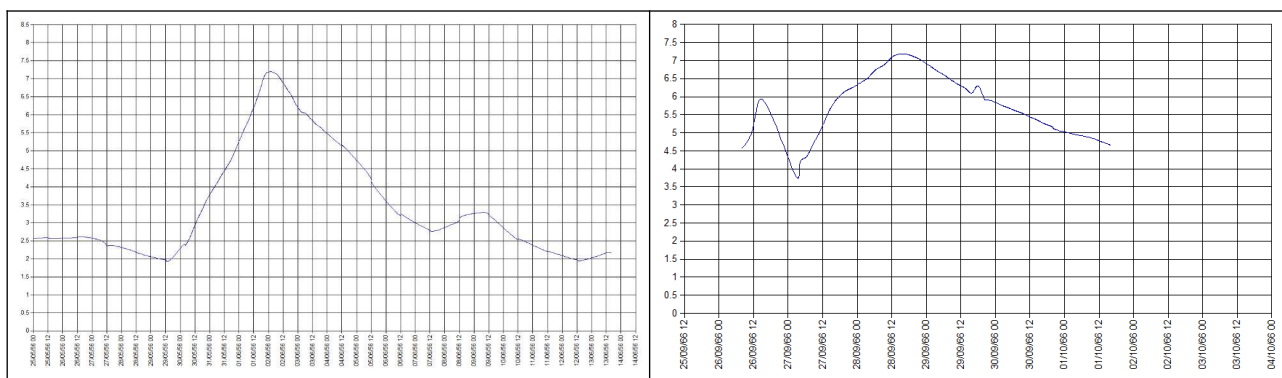


Illustration 48: Limnigrammes au pont de Gien des crues de 1856 (à g.) et 1866 (à d.)

27 <https://www.eptb-loire.fr/etudes-loire-moyenne/>

Malgré l'augmentation de la ligne d'eau dans le lit endigué de la Loire dans la traversée de Gien (Illustration 49), l'impact sur l'enveloppe inondable reste relativement limité (Illustration 50).

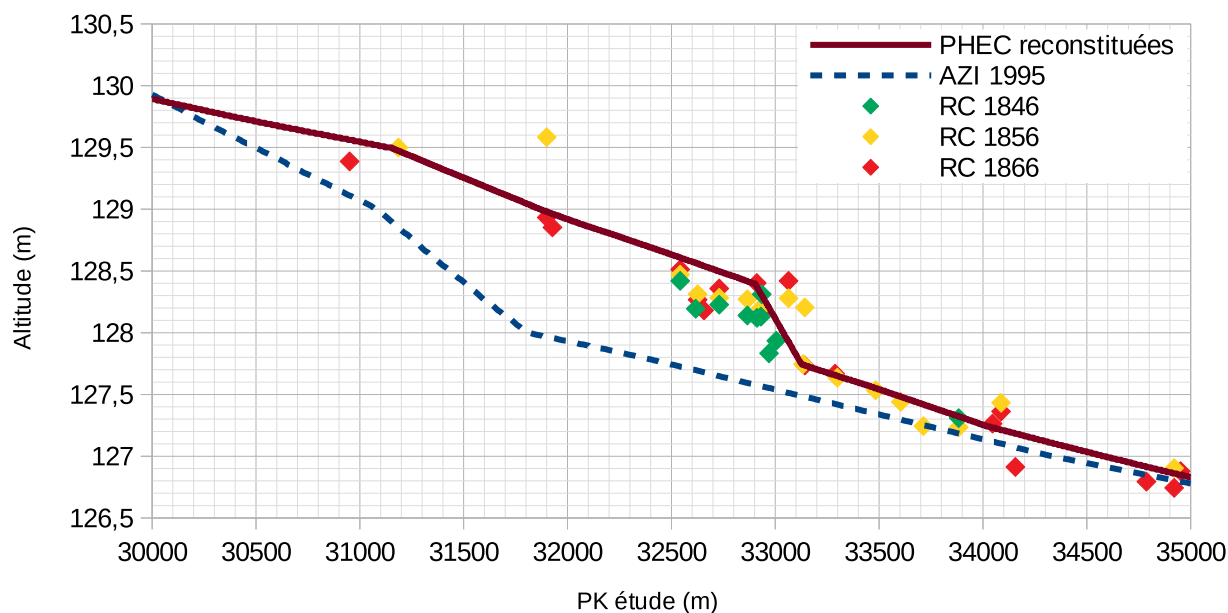


Illustration 49: Modification de la ligne d'eau des PHEC dans la traversée de Gien  
La déviation D940 est au PK 32000 ; le pont de Gien au PK 33000 ; la faïencerie au PK 34000

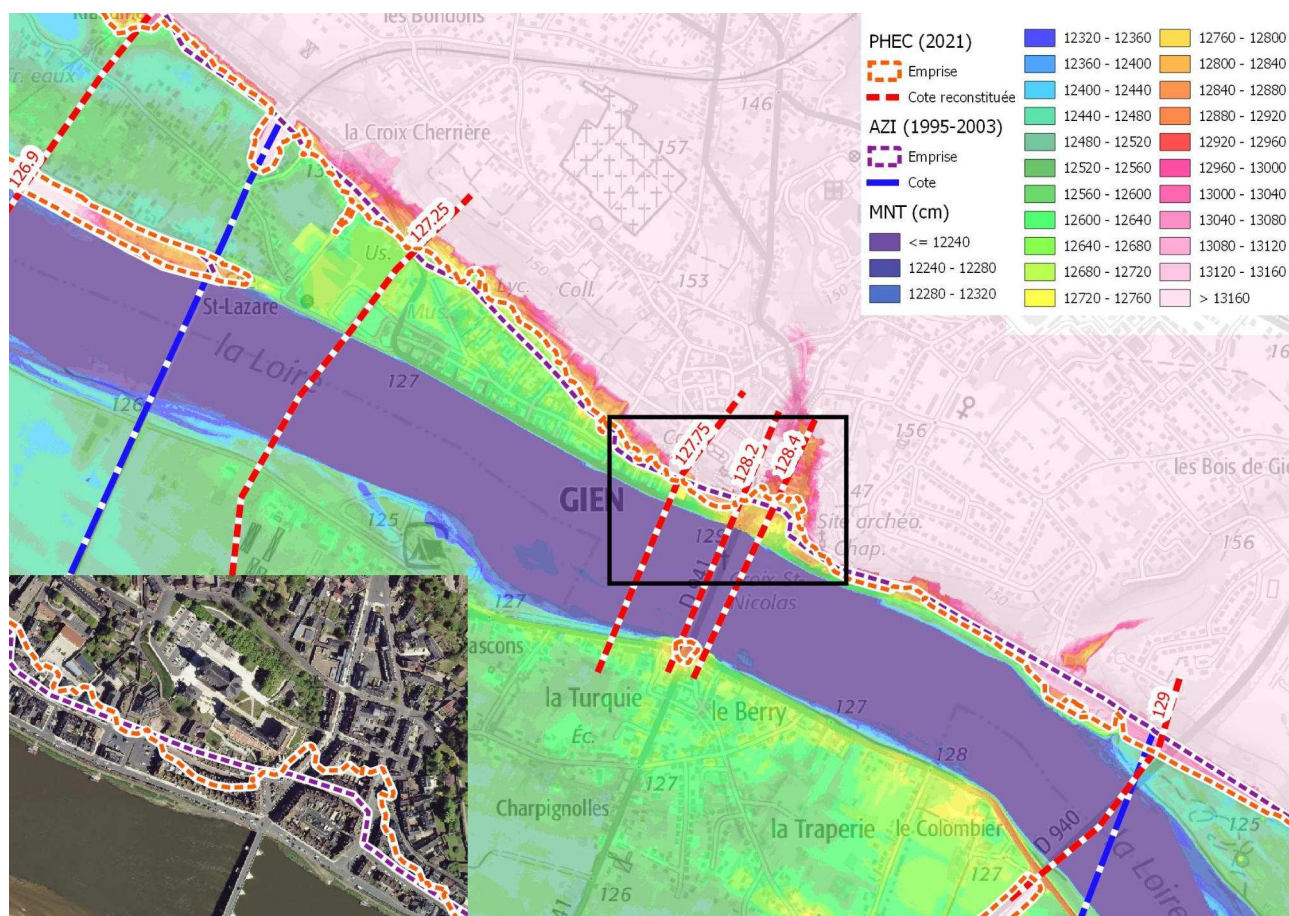


Illustration 50: Évolution de l'emprise inondable dans le centre de Gien

#### 4.3.7.2 - Reconstitution dans le val de Gien

##### 4.3.7.2.1 Informations sur les brèches dans la levée en rive gauche

L'étude de dangers recense respectivement 10, 8 et 6 brèches pour les crues de 1846, 1856 et 1866 sur la levée en rive gauche, situées soit sur la levée de Saint-Martin en amont du val, soit au niveau de l'Ormet à l'extrémité aval de la levée (voir Illustration 13).

Les brèches les plus importantes pour l'inondation du val se situent sur la partie amont de la levée (du déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre au pont de Gien) en 1846 et 1856. En 1866, seul le déversoir a laissé entrer de l'eau dans l'amont du val.

- En 1846, la longueur totale des brèches et des déchirures le long de la levée de Saint-Martin a atteint environ 900 m, soit près de 40 % de la longueur de la levée.
- En 1856, la brèche du Colombier s'est produite le 1<sup>er</sup> juin 1856 à 22 h, soit quasiment au maximum de la crue. Sur la topographie sur le secteur (Illustration 51), on peut observer un chenal d'écoulement à cet endroit, qui pourrait être lié à cette brèche. Cependant, le limnigramme à l'échelle de Gien (Illustration 48) ne montre pas de cassure à l'instant d'ouverture de la brèche, qu'on s'attendrait à observer si on avait assisté à une rupture brutale dérivant soudainement un flux important vers le val.

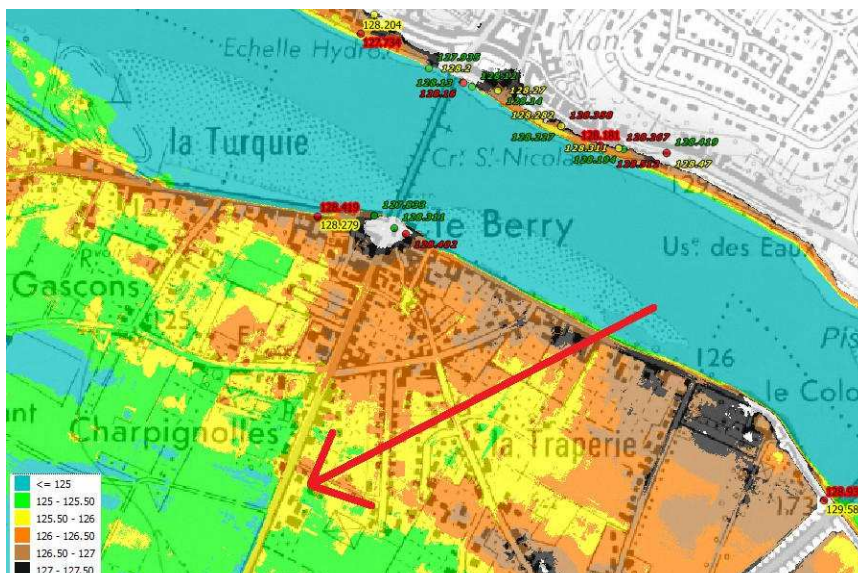


Illustration 51: Repères et topographie au niveau de la brèche du Colombier

##### 4.3.7.2.2 Écoulements dans le val de Gien : appui sur les modélisations existantes

Il n'y a qu'un seul repère dans tout le val en rive gauche, au niveau de Poilly-lez-Gien, lorsque les écoulements de la Loire et du déversoir se rejoignent. Les PHEC de 1995 considèrent une égalité de cote entre le lit de la Loire et le val de Gien sur toute la longueur du val. En amont de Poilly-lez-Gien, cette hypothèse semble peu réaliste, car il est vraisemblable qu'au passage de la levée une perte de charge se soit produite.

La modélisation hydraulique est ainsi utile pour établir les PHEC sur le val de Gien. Plusieurs modèles hydrauliques existent sur le val de Gien :

- Un modèle 1D à casiers, qui intègre la Loire et le val et qui représente les interactions entre ces deux zones.
- Un modèle 2D, qui couvre uniquement le val et n'intègre pas le lit mineur. Les débits injectés dans le modèle et les conditions limites en cote sont calculés à partir du modèle 1D.

Afin de se repérer dans le val dans les graphiques suivants, on se référera à l'illustration 52 qui indique l'axe d'écoulement dans le val et les PK locaux correspondant.

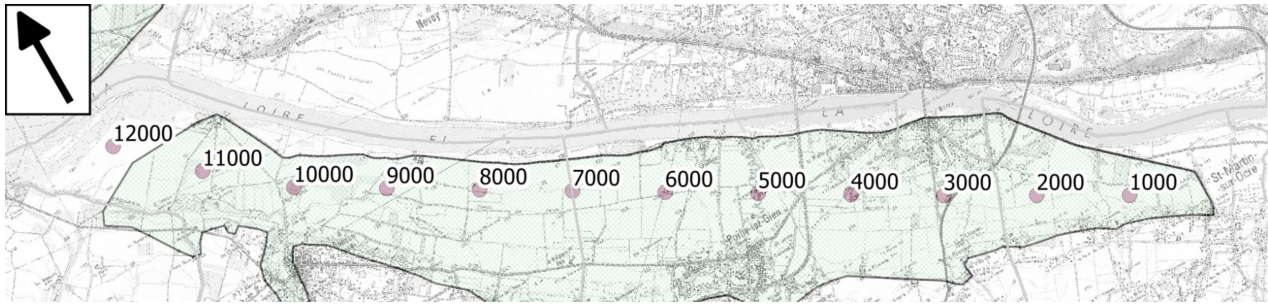


Illustration 52: PK le long du val de Gien

Dans le cadre de l'étude de dangers, le modèle 2D a fourni plusieurs scénarios d'inondation dans le val, notamment une simulation **sans brèche** pour un débit Q170 (correspondant au débit de pointe estimé pour les crues du XIX<sup>ème</sup> siècle) et deux scénarios pour un débit Q100.

- Scénario Q170

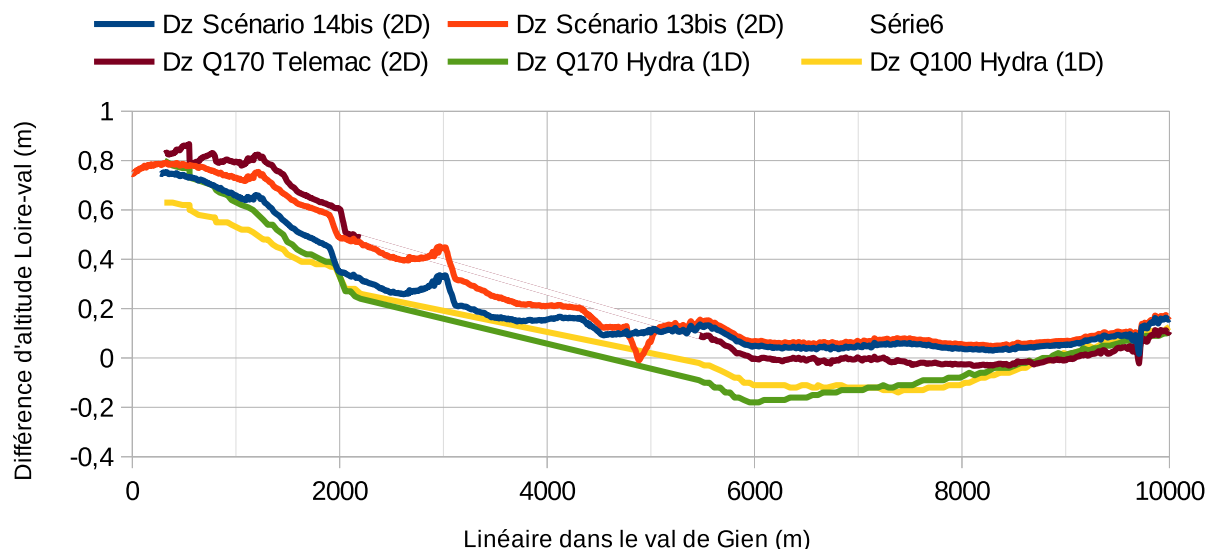
Il considère un déversement standard du déversoir, avec un débit maximal à 650 m<sup>3</sup>/s. On peut noter qu'entre le Colombier et le pont de Gien le débit déversé (calculé à partir de la cote de la Loire imposée sur les mailles) est de l'ordre de 150 m<sup>3</sup>/s, et représente donc environ 20 % seulement du débit entrant dans l'amont du val.

- Scénarios Q100

Le scénario 14 bis de l'EDD considère une brèche au niveau du Colombier en plus du fonctionnement du déversoir. La brèche simulée mesure 100 m de largeur. Le scénario 13 bis considère uniquement le fonctionnement du déversoir.

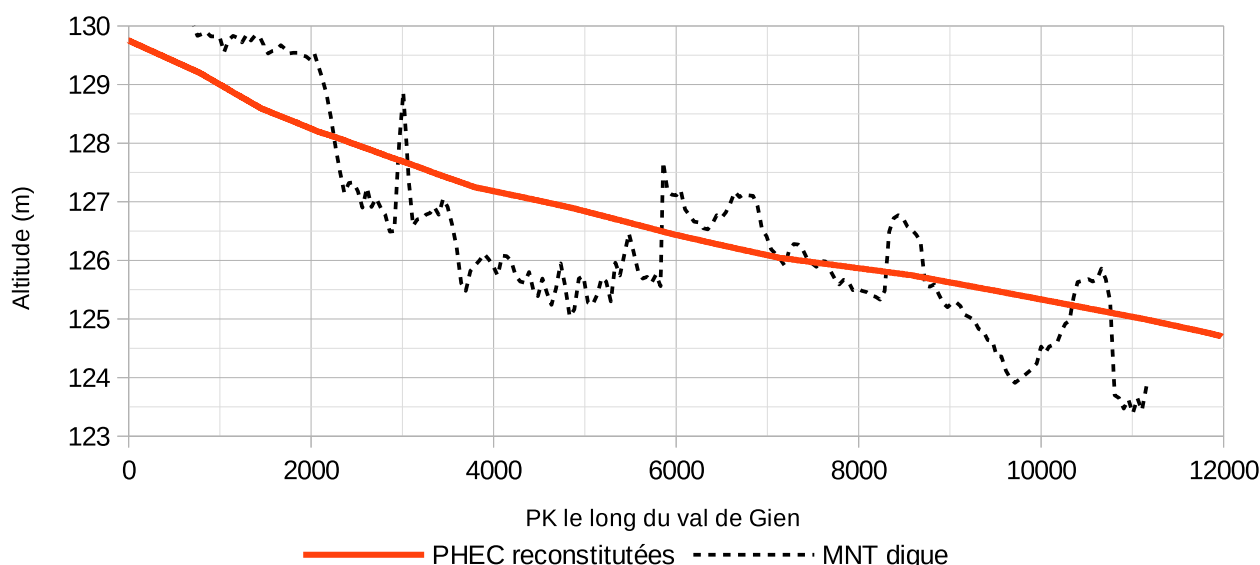
Tous les scénarios modélisés – que ce soit avec le modèle 1D ou le modèle 2D – s'accordent sur une différence de niveau entre la Loire et le val, notamment dans la partie amont (Illustration 53). Au niveau du déversoir, elle serait de l'ordre de 60 à 80 cm. Les simulations ne reprennent toutefois pas exactement les brèches des crues du XIX<sup>ème</sup> siècle. En particulier il n'y a pas de brèche au niveau du déversoir mais uniquement un fonctionnement classique (même si on ne sait pas si, au XIX<sup>ème</sup> siècle, le déversoir a été détruit ou bien s'il a simplement été endommagé), tout comme les deux brèches de 1856 sur la levée de Saint-Martin qui ont totalement arasé la levée. Avec un flux entrant supérieur, la différence de niveaux entre la Loire et le val pourrait être un peu plus faible.

En amont de Poilly-lez-Gien, la simulation 14bis de l'EDD montre qu'une brèche peut avoir un impact important localement mais pas globalement : au droit de la brèche, on obtient une surélévation d'environ 1 m, mais dès que l'on s'éloigne de la brèche on retrouve des hauteurs de submersion comparables avec un scénario sans brèche (fonctionnement simple du déversoir).



*Illustration 53: Différence de cotes entre la Loire et le val pour les simulations Q100 et Q170*  
 Pour les scénarios Q170 Telemac, Q170 hydra et Q100 Hydra, les données en Loire issues de CARDIGUES. Les courbes rectilignes entre les PK 2500 et 5500 est un artéfact, car il n'y a pas de donnée sur ce linéaire (pas de levée à proprement parler). Les résultats sont disponibles sur tout le linéaire pour les scénarios 13bis et 14bis.

Si on considère les résultats de modélisation de l'EDD, la **projection de la cote en Loire à travers le val en rive gauche n'apparaît pas réaliste dans la partie située entre le déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre et Poilly-lez-Gien**. Les différents scénarios modélisés semblent s'accorder sur un différentiel d'environ 70 cm au niveau du déversoir pour les scénarios Q170 ; cette différence diminue ensuite jusqu'à devenir presque nulle au niveau de la Bras (ou la Notreure). L'écart entre les scénarios Q100 et Q170 côté val est de l'ordre de 15 à 20 cm au niveau du déversoir, soit un peu moins que la différence côté Loire (environ 25 cm) : plus le débit total est important, plus l'écart de cotes est important entre la Loire et le val. Au niveau de Poilly-lez-Gien, la Loire peut entraîner largement dans le val pour des crues importantes, car la berge est plus basse sur environ 2 km (Illustration 54, entre les PK 3 500 et 5 500). La différence de cotes entre la Loire et la partie aval du val est donc logiquement plus faible (0 à 10 cm pour les résultats du modèle 2D).



*Illustration 54: Profils en long des PHEC reconstituées dans le val de Gien et de la levée*  
 Entre les PK 3500 et 5500, la Loire pénètre largement dans le val. En aval de cette zone, les cotes dans le val sont ainsi très proches de celles dans le lit endigué

#### 4.3.7.2.3 Hypothèse retenue pour le val de Gien

Les cotes modélisées en Loire pour le scénario Q170 par le modèle 1D sont très différentes des cotes historiques (Illustration 56) :

- Au niveau du déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre, le modèle hydraulique donne une cote de 129 m environ, contre près de 130 m pour les marques historiques, soit 1 m d'écart.
- Au niveau du pont de la D940, la différence est également de l'ordre de 1 m (128,933 m pour 1866, la laisse de 1856 à 129,583 m étant écartée car visiblement trop haute, contre 128 m pour le modèle hydraulique).
- Au niveau du pont de Gien, l'écart est de l'ordre de 80 cm.
- Au niveau du pont SNCF, l'écart est de l'ordre de 40 cm.

Avec des cotes plus basses, les débits transitant vers le val sont plus faibles que si on avait une cote plus haute. Ainsi, dans les scénarios Q170 de l'EDD, le débit modélisé qui pénètre dans le val est vraisemblablement plus faible que dans la configuration historique. De plus, le scénario EDD ne considère pas l'ensemble des brèches survenues dans la digue de Saint-Martin.

Pour retrouver une ligne d'eau équivalente à celle des crues historiques dans le lit endigué en amont de la confluence avec la Bras (ou la Notreure), il faut utiliser un scénario Q500 sans brèche avec le modèle 1D (Illustration 56 et Illustration 57). Dans ce scénario :

- Le déversoir fonctionne. Le débit transitant est de l'ordre de 700 m<sup>3</sup>/s.
- Une brèche se produit sur la levée de Saint-Martin, avec un débit de l'ordre de 500 m<sup>3</sup>/s.
- Le déversement au niveau de l'emplacement de la brèche du Colombier en 1856 laisse pénétrer environ 500 m<sup>3</sup>/s.
- Le déversement en aval du pont de Gien jusqu'à la confluence avec la Bras (ou la Notreure) injecte environ 700 m<sup>3</sup>/s dans le val.

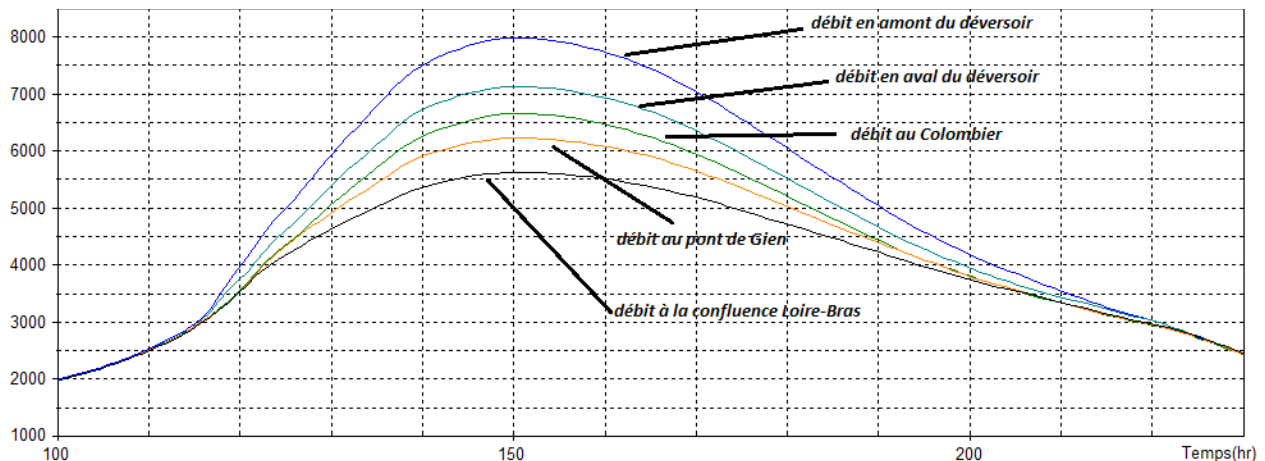


Illustration 55: Débit le long du val de Gien pour un scénario Q500 avec le modèle LM10 EDD

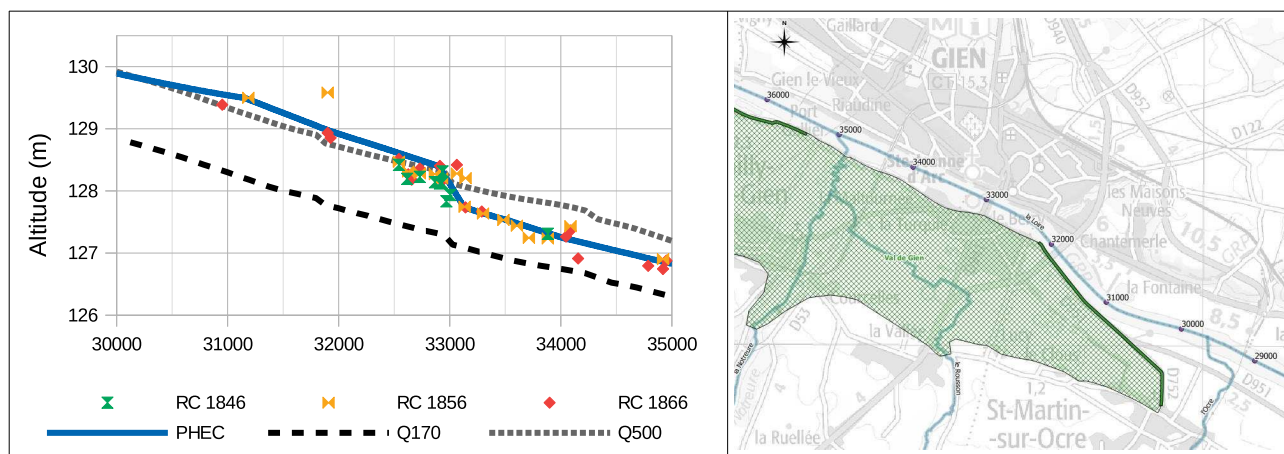


Illustration 56: Lignes d'eau modélisées et reconstituée dans le lit de la Loire sur l'amont du val de Gien

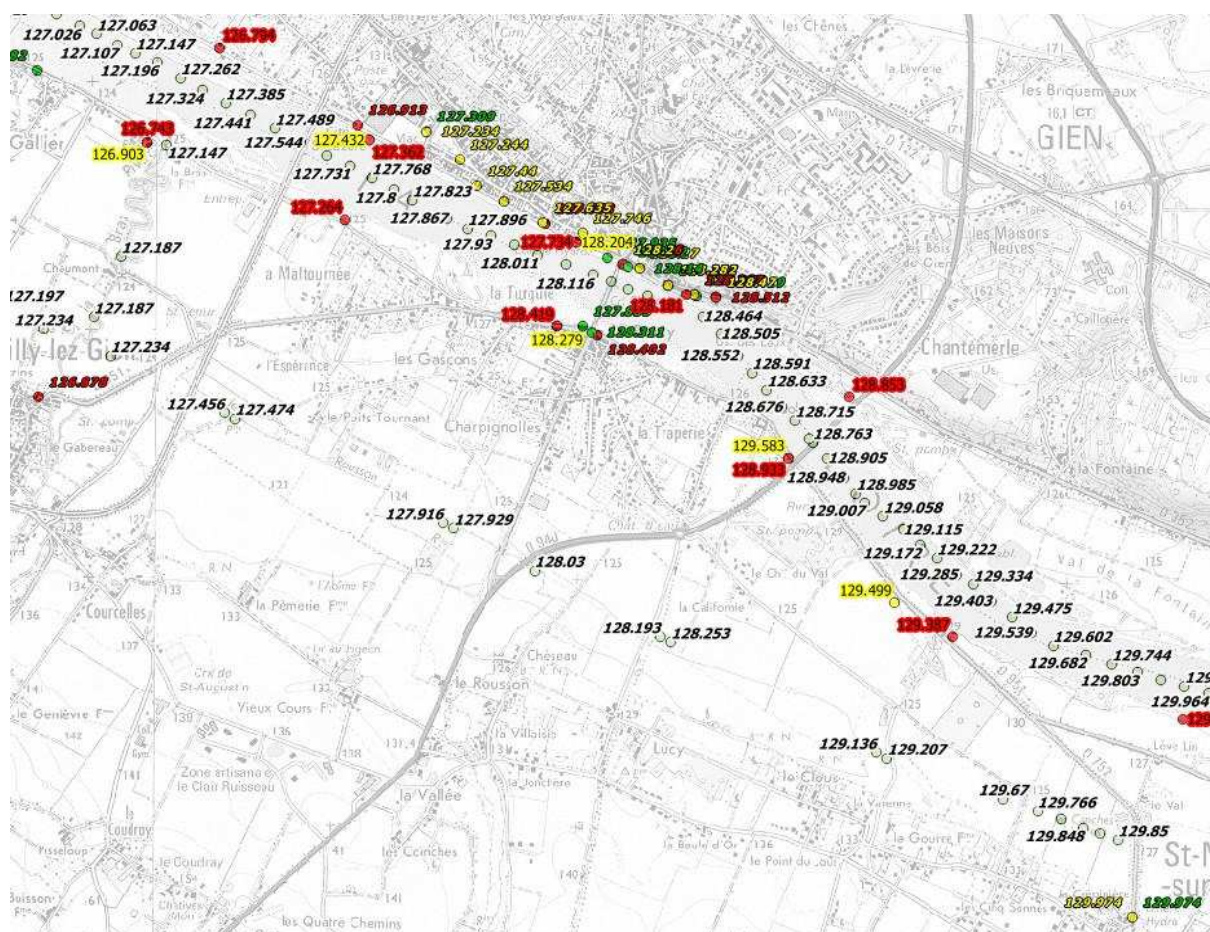


Illustration 57: Résultats d'un scénario Q500 avec la modèle LM10 modifié dans le cadre de l'EDD  
En couleur : les repères historiques. En noir : les résultats de la modélisation. Il faut simuler un scénario Q500 pour obtenir des cotes modélisées comparables avec les cotes historiques dans le lit endigué.

L'hypothèse retenue est de se baser sur ce scénario Q500 modélisé pour définir les cotes dans la partie amont du val de Gien, entre le déversoir de Saint-Martin-sur-Ocre et la Bras. Le tracé des isocotes est adapté au niveau de l'ancienne brèche du Colombier, pour traduire l'écoulement vers le val (Illustration 51). Sur la partie en aval de la confluence Loire-Bras/Notreure, les cotes en Loire et dans le val sont considérées comme identiques.

#### 4.3.7.2.4 Cas des cours d'eau en rive gauche du val de Gien

Plusieurs cours d'eau rejoignent le val de Gien depuis le coteau rive gauche. Ces cours d'eau ne sont pas considérés dans le cadre de cette étude : l'aléa inondation présenté

considère uniquement une propagation de l'inondation par la Loire dans les cours d'eau, à une cote identique à celle appliquée dans le val au droit de la confluence. En cas de crues concomitantes sur ces cours d'eau avec une crue de la Loire, l'inondation pourrait alors être localement plus forte que celle cartographiée.

On constate également des évolutions du contour de la zone inondable dans ces zones par rapport à l'ancienne version des PHEC, pour des cotes comparables. Cet écart est uniquement dû à l'évolution de la donnée topographique. En particulier (Illustration 58) :

- à Poilly-lez-Gien, le remous dans la Notreure est moins étendu pour des cotes comparables (environ 127 m).
- à Saint-Gondon, le remous dans l'Aquiaulne et l'étendue vers le coteau sont accentués pour des cotes comparables (environ 125,40 m dans l'Aquiaulne, 125,20 m au niveau des anciennes carrières, 125,10 m au niveau de la Maladrerie).

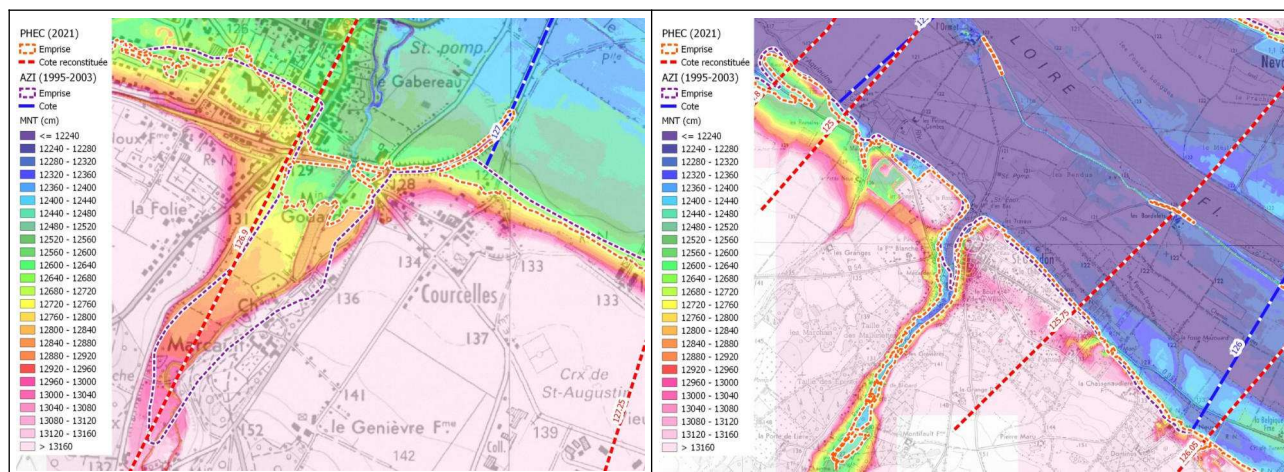


Illustration 58: Remous dans les cours d'eau de la rive gauche du val de Gien  
À gauche, le secteur de Poilly-lez-Gien ; à droite le secteur de Saint-Gondon.

#### 4.3.7.3 - Bilan de la reconstitution des PHEC dans le val de Gien

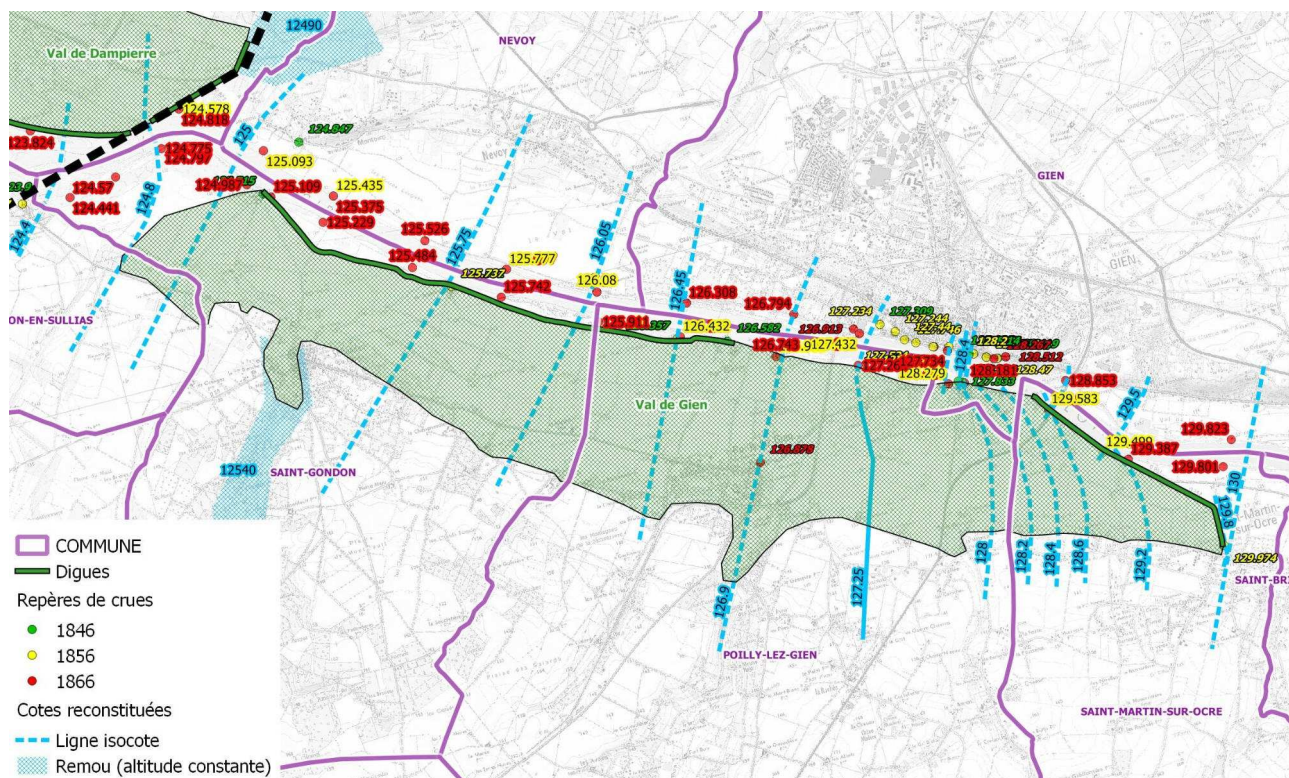


Illustration 59: Reconstitution des PHEC dans le val de Gien

## 4.4 - Synthèse des hauteurs de submersion provoquées par les PHEC

Les hauteurs de submersion sont présentées en détail dans l'annexe 8.

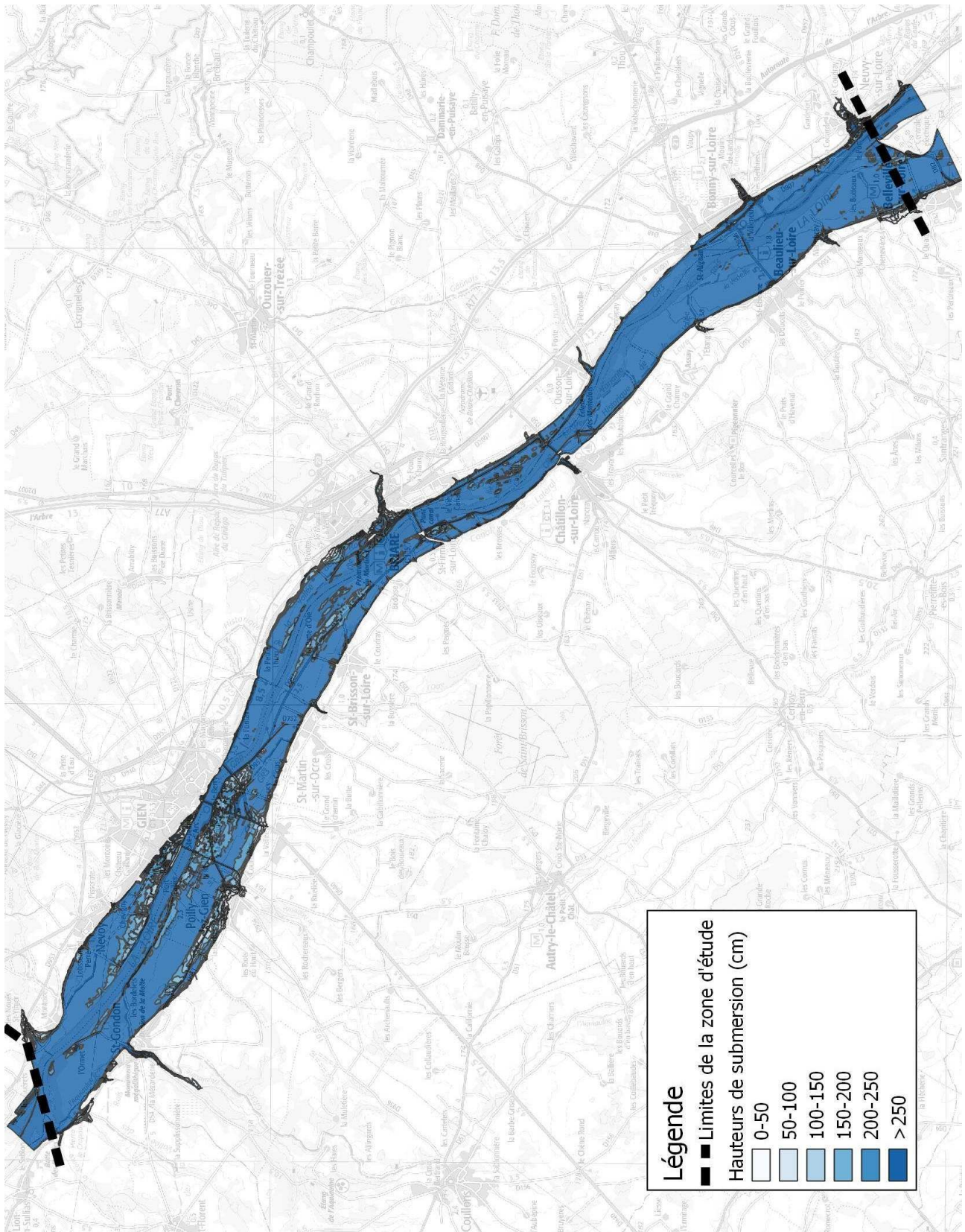


Illustration 60: Synthèse des hauteurs d'eau sur la zone d'étude dans le contexte des PHEC

## 5 - Incertitude générale et incertitudes locales de la méthode

Les PHEC reconstituées comportent nécessairement une part d'incertitude, liée principalement :

- aux incertitudes sur les niveaux atteints par l'eau ;
- aux incertitudes sur la topographie.

Il est important de connaître ces incertitudes pour mesurer leur impact, les relativiser (en particulier dans le cas de l'application de cette cartographie à l'élaboration des PPRI) et de chercher à améliorer les points qui sont les plus importants.

### 5.1 - Incertitude sur la reproduction des niveaux atteints par l'eau

On différencie ci-après les incertitudes générales (qui concernent toute l'aire d'étude) et locales qui résultent du travail précédent :

- Incertitude générale sur les cotes des repères et laisses de crue : si la précision des mesures d'altitude est centimétrique (y compris sur les données du XIX<sup>ème</sup> siècle, il convient de rappeler que :
  - les repères ou les laisses ont une incertitude décimétrique dans le meilleur des cas, en raison des phénomènes suivants : batillage, remontée de l'humidité dans le support, imprécision de la limite atteinte dans le cas d'une laisse nivelée a posteriori ;
  - le changement de système altimétrique génère une incertitude de l'ordre de 5 cm pour une conversion du système Bourdalouë vers le système orthométrique, et de l'ordre du centimètre pour une conversion du système orthométrique vers le système normal ;
- Incertitude générale dans le positionnement et la forme géographiques des isocotes servant de base à l'interpolation : bien que s'appuyant au maximum sur les repères et laisses de crue connus, le trace des isocotes est positionné avec une incertitude planimétrique estimée à une centaine de mètres. Étant donné les pentes généralement observées dans les vals de Loire (0,3 à 0,5 m / km), l'incertitude qui en résulte sur les niveaux et hauteurs d'eau est de quelques centimètres ;
- Incertitude locale dans la reconstitution des niveaux atteints à l'aval immédiat – sur quelques centaines de mètres – des brèches historiques. Ces zones sont en général mal renseignées pour des raisons évidentes de destruction ou de fort endommagement des bâtiments qui s'y trouvaient (s'il y en avait). La détermination d'une cote y est de fait délicate. Il est possible que les niveaux reproduits soient sous-estimés. Bien que difficile à quantifier, on peut estimer l'incertitude sur ces zones de l'ordre de 0,5 m à 1 m.

### 5.2 - Incertitude sur la topographie

L'incertitude sur la topographie est celle du levé topographique utilisé. Il s'agit d'un levé à haute densité (environ 1 point par 1 à 2 m<sup>2</sup> en général) réalisé par laser aéroporté dont l'incertitude est estimée à 15 cm en altimétrie (et 30 cm en planimétrie). Cette incertitude

de 15 cm représente le plus souvent une valeur haute. Par mesure de prudence, il convient donc de se contenter du décimètre dans l'appréciation des altitudes de terrain.

On notera toutefois que les pieds coteaux sont globalement assez mal représentés par le modèle de terrain utilisé. La limite de l'inondation et les hauteurs d'eau liées y sont donc moins précises, et l'incertitude peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres.

### 5.3 - Incertitude résultante sur les hauteurs de submersion

Dans le cas général, hors les cas plus locaux présentés ci-dessus (notamment les pieds de coteaux), les considérations précédentes permettent d'estimer **l'incertitude générale sur les hauteurs de submersion à 30 cm** (20 cm pour le niveau de l'eau, 10 cm pour l'altitude du terrain).

Par ailleurs, la topographie n'est jamais connue directement à l'intérieur des bâtiments : la topographie y est reconstituée de manière continue à partir des altitudes à l'extérieur des bâtiments. Ainsi, les hauteurs de submersion affichées dans les annexes peuvent différer de l'application des altitudes des PHEC reconstituées dans les configurations réelles des bâtiments<sup>28</sup>.

---

28 Par exemple : si le plancher d'un bâtiment est surélevé de 50 cm par rapport au terrain naturel environnant, les hauteurs de submersion réelles à l'intérieur de ce bâtiment seront 50 cm moins élevées qu'affiché dans les annexes.

## 6 - Conclusion

La nouvelle cartographie des PHEC, présentée en détail dans les annexes de ce rapport, apporte sur la zone d'étude des informations sur les niveaux d'eau atteint lors des crues du XIX<sup>ème</sup> siècle sur les communes suivantes :

- Beaulieu-sur-Loire
- Bonny-sur-Loire
- Ousson-sur-Loire
- Châtillon-sur-Loire
- Briare
- Saint-Firmin-sur-Loire
- Saint-Brisson-sur-Loire
- Saint-Martin-sur-Ocre
- Gien
- Poilly-lez-Gien
- Saint-Gondon
- Nevoy

On dispose ainsi d'une cartographie des plus hautes eaux connues, dans les conditions de l'époque, sans tenir compte de l'évolution de l'occupation des sols, du système d'endiguement, des ouvrages de navigations (que la carte de 1850 permet d'appréhender) ou de l'enfoncement du lit.

Son niveau de précision conduit à recommander une utilisation des cartes produites à une échelle de 1:10 000. Dans ce cadre, elle peut alimenter des travaux de recherches, des études sur les risques inondations (étude de vulnérabilité, par exemple) et contribuera à la mise à jour de la carte d'aléa des différents Plans de Prévention du Risque d'Inondation du secteur.