



**PRÉFÈTE  
DU LOIRET**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**PPRi de la Vallée du Loing**

**Agglomération Montargoise  
et Loing Aval**



## **Porter à Connaissance n°1**

Reconstitution des hauteurs d'eau et de  
l'emprise de la zone inondée en mai-juin  
2016

## **Atlas des Zones Inondées**

**Annexe 3 - Note méthodologique de la DDT 45 sur la cartographie de  
l'enveloppe des zones inondées par la crue de mai-juin 2016 sur le Loing et ses  
affluents (Cléry, Bezonde, Solin, Puisseaux et Vernisson)**

**Porter à Connaissance de l'Atlas des Zones Inondées (AZI)**

**suite aux inondations de mai-juin 2016**

**Projet de révision du PPRi de la Vallée du Loing  
Agglomération Montargoise et Loing Aval**

**NOTE MÉTHODOLOGIQUE DE LA DDT 45 SUR LA CARTOGRAPHIE  
DE L'ENVELOPPE DES ZONES INONDÉES PAR LA CRUE DE MAI-JUIN  
2016 SUR LE LOING ET SES AFFLUENTS  
(Cléry, Bezonde, Solin, Puisseaux et Vernisson)**

Cette note précise les données disponibles et utilisées ainsi que les choix techniques pris pour la reconstitution des événements de mai-juin 2016 et leurs conséquences en matière d'inondation des territoires étudiés.

# SOMMAIRE

<b>I. Contexte.....</b>	<b>4</b>
<b>II. Les données disponibles.....</b>	<b>6</b>
1) Le modèle numérique de terrain.....	6
2) Le SCAN 25 de l'IGN.....	7
3) L'orthophoto haute résolution.....	8
4) L'orthophoto de la crue du Loing en 2016.....	9
5) Les laisses et repères de crue.....	11
a) Les laisses de crue.....	11
b) Les repères de crue.....	13
6) Les études de la DRIEE Ile-de-France et du CEREMA.....	14
a) L'étude de la DRIEE Ile-de-France.....	14
b) L'étude du CEREMA.....	15
7) Les données hydrométriques.....	17
8) Les autres sources de données.....	18
a) Visites et enquêtes de terrain.....	18
b) Les rencontres avec les représentants des communes concernées.....	18
c) L'EPAGE du Bassin du Loing.....	19
<b>III. Méthodologie générale.....</b>	<b>20</b>
1) Capitalisation, critique et densification des points de référence.....	21
2) La projection des points de repère en profils en travers.....	23
3) L'organisation et la hiérarchisation des profils.....	24
4) La réalisation du modèle numérique de surface libre en eaux (MNSLE).....	26
5) La détermination des hauteurs d'eau brutes.....	27
6) La classification et le lissage des hauteurs d'eau.....	28
7) La transformation raster en vecteur et les lissages vectoriels.....	29
<b>IV. Les sources d'incertitudes.....</b>	<b>30</b>

# I. Contexte

La Vallée du Loing dans le département du Loiret est historiquement divisée en 2 bassins distincts :

- le Loing Amont qui traverse 7 communes dans la partie sud-est du département de Dammarie-sur-Loing à Conflans-sur-Loing,
- le Loing Aval qui traverse 12 communes et est fortement marqué par les confluences de nombreux affluents depuis Amilly jusqu'à Dordives.

Pour ce qui concerne la prévention des inondations du Loing Aval, un Plan de Prévention des Risques d'inondation (PPRi) est opposable depuis son approbation en date du 20 juin 2007.

En mai-juin 2016, le département du Loiret a été fortement touché par un épisode pluvio-orageux de forte intensité, faisant déborder de nombreux cours d'eau à l'exception de la Loire. Dans l'Est du département du Loiret, le Loing et ses affluents ont été fortement impactés par une crue exceptionnelle.

A l'étude de cet événement, il a été constaté que l'aléa de référence (crue centennale), qui avait conduit à l'élaboration du PPRi de la Vallée du Loing – Agglomération Montargoise et Loing Aval en 2007, a été dépassé.

Concernant le secteur du Loing Amont, un premier PPRi en date de 2012 a été annulé par décision du Conseil d'État en décembre 2016. Il a donc été retenu de lancer une nouvelle procédure d'élaboration d'un PPRi.

L'aléa de référence sur l'Ouanne n'a pas été dépassé, ce secteur n'a pas donné lieu à de nouvelles études.

La Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE, aujourd'hui DRIEAT) Île-de-France et le Centre d'Études sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) ont été sollicités pour produire respectivement :

- la reconstitution de la crue sur le Loing (depuis sa source jusqu'à sa confluence avec la Seine),
- la reconstitution de la crue sur six affluents du Loing Aval dans le Loiret (le Fusain, la Cléry, la Bezonde, le Solin, le Puiseaux et le Vernisson).

Par ailleurs et pour renforcer le dispositif réglementaire de révision et d'élaboration des PPRi, le Décret n°2019-715 du 5 juillet 2019 et son arrêté de la même date sont désormais applicables.

Le premier est relatif aux Plans de Prévention des Risques (PPR) concernant les « aléas débordement des cours d'eau et submersion marine » et le second permet de déterminer, qualifier et représenter la cartographique de l'aléa de référence.

Face à ces éléments, il a donc été retenu :

- de réviser le PPRi de la Vallée du Loing – Agglomération Montargoise et Loing Aval,
- de porter à connaissance un l’atlas des zones inondées sur les affluents du Loing Aval hors périmètre PPRi,
- d’élaborer un PPRi sur le Loing Amont.

La Direction départementale des territoires du Loiret (DDT) travaille simultanément sur ces trois projets, où elle collecte et traite notamment l’ensemble des données disponibles ou mises à sa disposition.

La présente note ne traite ici que de l’enveloppe des zones inondées en 2016 et des hauteurs d’eau atteintes en mai-juin 2016 sur la partie du Loing Aval et ses affluents.

Le travail de cartographie, reporté dans le présent dossier, a été réalisé à partir de données issues des reconstitutions des nappes d’eau menées par le CEREMA, la DRIEE-IdF, compilées, complétées, corrigées et amendées par la DDT.

Ce travail a aussi été vérifié et complété à l’issue de réunions d’associations avec les communes comprises dans le périmètre du PPRi actuellement en vigueur et avec l’Établissement Public d’Aménagement et de Gestion des Eaux (EPAGE) du bassin du Loing. Des visites de terrain se sont déroulées depuis octobre 2019 pour comprendre l’interaction entre le Loing, les affluents et les canaux.

Les données utilisées pour réaliser les cartographies sont des éléments de connaissance liés à la crue de mai-juin 2016 comme les repères de crue, les laisses de crue, les données hydrométriques, les photos, les films réalisés par drone, les visites et enquêtes de terrain ainsi que la connaissance des territoires fournie par les élus.

Les cartes de l’Atlas des Zones Inondées (AZI) du Loing Aval ont pour objet de rappeler l’existence et les conséquences des événements historiques en matière d’inondation, mais aussi de montrer les caractéristiques des aléas pour la crue de référence, qui constitue la plus forte crue observée, définissant ainsi le niveau des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC).

## II. Les données disponibles

### 1) Le modèle numérique de terrain

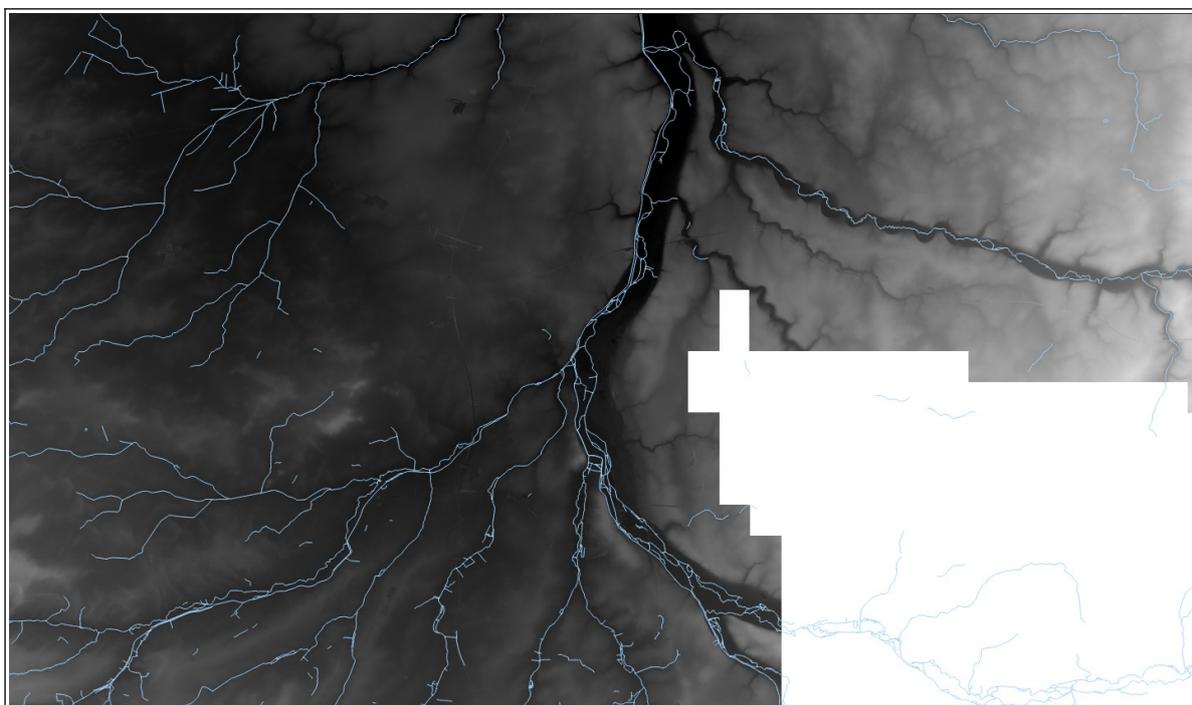
Le modèle numérique de terrain pour le lit majeur est constitué exclusivement des **données Lidar produites par l'IGN (RGEALTI\_MNT\_1M\_LAMB93\_IGN69)** :

- résolution d'1 m,
- précision altimétrique (écart moyen quadratique) contrôlée à 20 cm,
- précision planimétrique contrôlée à 60 cm.

Le RGE ALTI® décrit la forme et l'altitude normale de la surface du sol à grande échelle. Le RGE ALTI® est la réfection complète du thème "altimétrie" de la composante topographique du référentiel à grande échelle (RGE®).

La précision du MNT varie en fait selon les zones et les enjeux : elle est portée à 20 cm dans les zones inondables ou littorales pour répondre aux besoins liés à la mise en œuvre de la directive européenne inondation.

Le RGE ALTI® est mis à jour à partir des levés obtenus par LIDAR aéroporté ou par corrélation d'images aériennes.



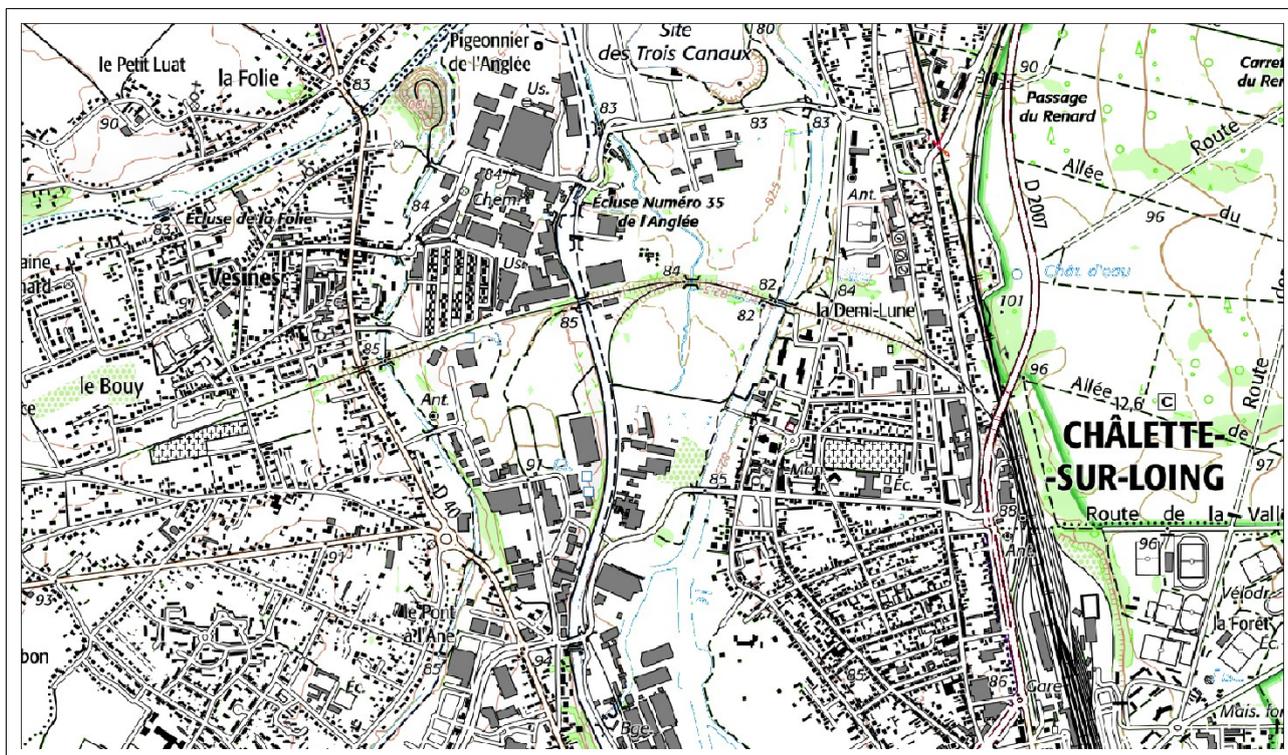
Mise en exergue du réseau hydrographique sur le MNT (plus les zones sont sombres, plus l'altitude NGF est faible)

## 2) Le SCAN 25 de l'IGN

Le SCAN 25® est une série d'images cartographiques numériques géoréférencées immédiatement utilisables pour localiser et positionner des informations, repérer des interventions, saisir et mettre à jour des données métier, ainsi qu'habiller des documents pour des échelles de visualisation autour du 1 : 25 000<sup>ème</sup>.

Cette base de données image répond à des besoins clairement identifiés en participant à une plus large diffusion de l'information géographique et en permettant à des néophytes d'appréhender rapidement et en toute simplicité les enjeux cartographiques auxquels ils sont confrontés.

Source : <https://geoservices.ign.fr/scan25>



Extrait cartographique du SCAN 25 IGN

### 3) L'orthophoto haute résolution

L'ORTHO HR® est une collection de mosaïques numériques d'orthophotographies en couleurs rectifiées en projection légale.

La résolution est de 20 cm (ou moins). Les dalles font 1km x 1km (ou moins s'il s'agit de très haute résolution).

Ces données sont produites par l'IGN (IGNF\_ORTHOHR\_1-0\_JP2-E080\_LAMB93\_D45-2016). L'objectif pour la BDORTHO® ou l'ORTHO HR®, lorsque les données sources le permettent, est une exactitude planimétrique absolue (exprimée en moyenne quadratique) meilleure que 0,8 m.

Concernant l'antériorité ou les mises à jours des données, il convient de préciser que les prises de vue aériennes géo-référencées utilisées par la DDT ont été réalisées en 2016 (hors période d'inondations).



Extrait de l'orthophoto Haute Résolution

#### 4) L'orthophoto de la crue du Loing en 2016

L'OrthoExpress est une mosaïque d'orthophotographie réalisée de manière automatisée avec très peu de retouches manuelles sur les aspects radiométriques ou sur le raccord entre les images. Le jeu de données a été produit dans le cadre de la convention-cadre IGN/DGPR<sup>1</sup> 2013-2016, relative aux actions de recherche sur l'apport de l'acquisition de données d'imagerie aérienne et satellitaire et de leurs traitements pour la prévision des inondations.

Les photographies couvrent le Loing de Bléneau (89) à la confluence avec la Seine, avec une résolution de 20 cm.

Extrait du communiqué de presse de l'IGN en date du 8 juin 2016 :

*« Face aux inondations qui ont touché plusieurs départements français fin mai et début juin, les avions de l'IGN mobilisés par le Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (SCHAPI), ont quitté la base aérienne de Creil en urgence pour photographier les zones inondées au moment le plus proche du pic de crue ; 8000 images ont été acquises par les avions de l'IGN. »*

*Crues, les missions de mai-juin 2016 :*

🕒 *Mardi 31 mai : tentative pour effectuer des acquisitions d'images sur la Lawe et la Clarence (vers Béthune). Le plafond nuageux étant trop bas, aucune image n'est prise.*

🕒 *Mercredi 1er juin : prises de vues sur le Loing, entre Bléneau et la confluence avec la Seine (les villes de Montargis et Nemours sont notamment couvertes). 2000 images acquises, avec une résolution moyenne de 8 cm (hauteur de vol d'environ 700 m). »*

La concordance entre l'instant des prises de vue aérienne et le niveau de la crue n'est cependant pas représentatif du niveau atteint au moment du pic de crue. Pour le périmètre étudié sur le Loing Aval, les prises de vue aériennes ont été réalisées dans les 10 à 24h après le passage du pic de crue. Ainsi, en comparant l'horodatage des prises de vue aérienne et les relevés hydrométriques de la station de Montargis, la décrue pouvait être considérée de l'ordre de - 30 cm par rapport à son pic.

Les prises de vue aériennes ont toutefois permis de capitaliser des informations précieuses, en associant les cotes altimétriques du terrain naturel (issue du Modèle Numérique de Terrain, cf § précédent) aux limites visibles des zones inondées. Ces points cotés ont été exploités de deux manières :

- soit le point coté était représentatif du pic de crue (traces de boue, d'humidité, de laisses de crue, ...) et sa valeur était considérée conforme. Le point ainsi repéré a été utilisé pour la reconstitution de la nappe d'eau,
- soit le point coté correspondait à la limite de la zone inondée au moment de la prise de vue, sa valeur était alors considérée comme informative. La prise de vue étant postérieure au pic de crue, la côte au point considéré a été recalculée à l'aide des diagrammes de hauteur d'eau de la crue aux échelles des stations de mesure hydrométriques. Les incertitudes liées à cette méthodologie ainsi que celles liées à la précision du Modèle Numérique de Terrain expliquent pourquoi ces valeurs n'ont été utilisées qu'à des fins de vérification de la nappe reconstituée.

---

1 Direction Générale de la Prévention et des Risques au Ministère de la Transition Écologique (MTE)

Les points étant très nombreux et répartis de manière aléatoire sur la zone d'étude, ils n'ont pas été référencés par la DDT.



Extrait de l'orthophoto de la crue de 2016

## 5) Les laisses et repères de crue

### a) Les laisses de crue

Le terme « laisse de crue » désigne toutes traces laissées par le niveau de l'eau lors d'un épisode hydro-météorologique remarquable. Ces marques témoignent des plus hautes eaux atteintes pour un type d'événement donné.

Pour le travail de reconstitution des enveloppes et hauteurs d'eau rencontrées en 2016, la DDT a fait appel à deux types de laisses de crues :

- les laisses de crue relevées depuis l'orthophotographie de la crue capitalisées et exploitées par la DRIEE-IdF, puis démultipliées par la DDT depuis les prises de vue aériennes (cf § 4),
- les laisses de crue réelles.

Pour cette seconde catégorie, un repérage de laisses de crue a été réalisé par la DRIEE-IdF au lendemain des inondations sur le Loing. Pour sa part, le CEREMA a relevé des laisses sur les affluents.

Les nivellements des laisses ont été réalisés essentiellement à l'aide de GPS différentiels. Dans des secteurs spécifiques (densité des végétations, à l'intérieur des habitations, ...), l'usage du théodolite a été nécessaire.

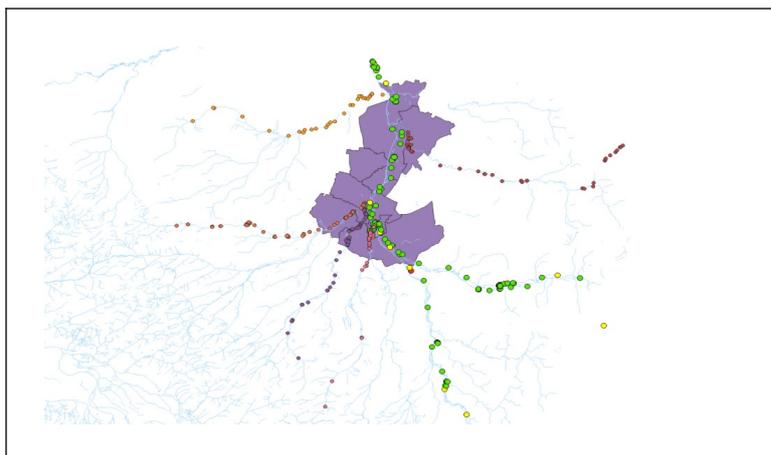
Des compléments aux laisses repérées juste après la crue ont été apportés par la DDT à la DRIEE Ile-de-France et au CEREMA par des témoignages recueillis par courriels ou lors de missions de terrains postérieures à la crue.

Ainsi, 148 laisses de crue ont été bancarisées par la DRIEE-IdF et celles présentes sur le département du Loiret réutilisées par la DDT.

Le CEREMA pour sa part a relevé et capitalisé :

- 59 laisses de crue pour la Bezonde dont 27 sont localisées sur les territoires du PPRi,
- 45 laisses de crue pour la Cléry dont 19 sont localisées sur les territoires du PPRi,
- 30 laisses de crue pour le Fusain hors territoires du PPRi,
- 47 laisses de crue pour le Puiseaux dont 38 sont localisées sur les territoires du PPRi,
- 57 laisses de crue pour le Solin dont 42 sont localisées sur les territoires du PPRi,
- 29 laisses de crue pour le Vernisson dont 1 est localisée sur le territoire du PPRi.

Au-delà de l'utilisation des laisses de crue pour la reconstitution de la crue des affluents du Loing par le CEREMA, ces laisses ont été particulièrement utiles à la DDT pour matérialiser les fonctionnements hydrauliques et assurer une cohérence entre l'altitude de la nappe en crue du Loing et l'altitude des nappes d'eau des affluents.



Réseau des laisses de crue capitalisées par les bureaux d'études (en mauve les 12 communes concernées par le PPRi de 2007)

Laisse /repère de la crue de **mai-juin 2016**

**Date de relevé :**  
17/07/2017

**Localisation :**

**Département :** LOIRET  
**Rivière :** Puisseaux  
**Rive :** Gauche  
**Commune :** Montargis  
**Adresse :**  
N°11bis rue de Vimory

**Observations :**

Eau montée de 1.085 m par rapport au TN - Arrivée au niveau de la porte de la maison

**Situation Lambert 93 :**

X : 679 503  
Y : 6 765 884

**Altitude NGF IGN 69 :**

87.92 m

**Nature du repère :**

Marque peinte

**Fiabilité :**

Fiable

**Photographie de la laisse / repère de crue :**

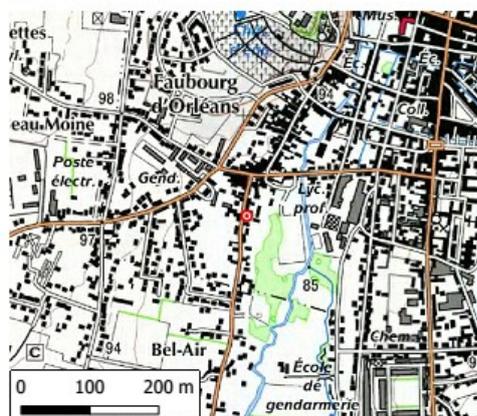


Vue Site



Marque

**Plan de situation :**



Scan 25® - ©IGN - Reproduction interdite



Bd ortho® 2010 - ©IGN - Reproduction interdite

## b) Les repères de crue

Le terme « repères de crues » s'entend ici au sens large, incluant marques temporaires laissées après les inondations, témoignages, etc. et ce pour tous les types d'inondations.

La plateforme [www.reperesdecru.es.developpement-durable.gouv.fr](http://www.reperesdecru.es.developpement-durable.gouv.fr) a pour objet de rassembler des données descriptives de repères de crues dans un but de partage de la culture du risque et de la mémoire des inondations, mais aussi dans un but de mise à disposition de données techniques utiles.

Toutes ces données sont exclusivement des informations sur le niveau d'eau atteint lors d'une inondation passée, à un endroit donné. Cette plateforme n'est pas le lieu pour recueillir des photos ou vidéos d'inondation en tout genre (sauf lorsqu'elles permettent d'évaluer de manière relativement précise le niveau d'eau atteint lors de l'événement).

Les données présentées sur la plateforme proviennent de différentes sources capitalisées au fil du temps par les différents acteurs impliqués dans la prévention du risque inondation (services de l'État, collectivités locales, entreprises privées, associations, citoyens, etc.).

Dès lors qu'elles sont validées, les données bancarisées par la DRIEE-IdF et le CEREMA sont mises à disposition sur la plate forme. 70 repères sont ainsi référencés pour le Loing dans le Loiret.

The screenshot displays a web browser window with the URL <https://www.reperesdecru.es.developpement-durable.gouv.fr/site/76-rue-du-moulin-charrier>. The page features a teal header with the French Republic logo, the 'VIGICRUES' logo, and the text 'Plateforme nationale collaborative des sites et repères de crues'. A navigation bar includes 'ACTUALITÉS', 'RECHERCHE', 'CONTRIBUER', 'BLOSSAIRE', 'REPÈRES DE CRUES?', and 'CONNEXION'. The main content area shows a 'Prévisualiser' (Preview) button, a photograph of a flood marker on a street, and a map. To the right, a detailed data card for '76 rue du Moulin Charrier' is visible, including the following information:

- Code: CER\_LO\_16\_S\_169
- Unité de gestion: Seine moyenne-Yonne-Loing
- Commune: AMILLY
- Hydrographie: Le Loing
- Date de mise à jour: 19/06/2017
- Auteur: Cerema Normandie-Centre

Below the data card, there are sections for 'GÉOLOCALISATION' (Source de repérage: Patrimoine de la commune suite à la crue de mars/juin 2016 sur le bassin du Loing - Date: 07/05/2016; Expertise de géolocalisation: Validée; Coordonnées WGS84: X: 7320207 Y: 47383057; Coordonnées RGF93 (Lambert 93): X: 883961,22 Y: 6784494,22; Coordonnées RGF93 (UTM59): X: 27320207 Y: 47383057), 'SUPPORT' (Adresse: Non renseigné; Préparé/Date: Non renseigné), and 'HYDROGRAPHIE' (Rivière: Le Loing). An 'EXPORTER (PDF)' button is located at the bottom of the page.

Modèle de fiche de repère de crue disponible sur la plateforme [www.reperesdecru.es.developpement-durable.gouv.fr](http://www.reperesdecru.es.developpement-durable.gouv.fr)

Toutefois, la DDT a complété cette liste disponible en procédant à de nouveaux relevés topographiques sur la base de nouveaux témoignages recueillis lors des visites de terrain ou sur des repères de crues non encore enregistrés sur la plate-forme.

## 6) Les études de la DRIEE Ile-de-France et du CEREMA

Au regard des évènements majeurs de mai-juin 2016, la capitalisation des données constituant une nouvelle connaissance était donc nécessaire.

Dans ce cadre, la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE, aujourd'hui DRIEAT) Île de France et le Centre d'Études sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) ont été sollicités et missionnés pour produire respectivement :

- la reconstitution de la crue sur le Loing depuis sa source jusqu'à sa confluence avec la Seine (cf. Annexe 1),
- la reconstitution de la crue de six des affluents du Loing Aval dans le Loiret : le Fusain, la Cléry, la Bezonde, le Solin, le Puiseaux et le Vernisson (cf. Annexe 2).

### a) L'étude de la DRIEE Ile-de-France

Le lendemain de la crue, la DRIEE-Idf a organisé un repérage des laisses de crue<sup>2</sup>, avec la participation du CEREMA sur le secteur de Montargis.

Combinées à d'autres données (présentées précédemment), la DRIEE-Idf a réalisé une reconstitution de la crue sur l'ensemble du bassin du Loing (et de l'Ouanne). Son rapport et ses données d'informations géographiques ont été transmises à la DDT en octobre 2017.

Les données géoréférencées ainsi mises à disposition comprenaient notamment des :

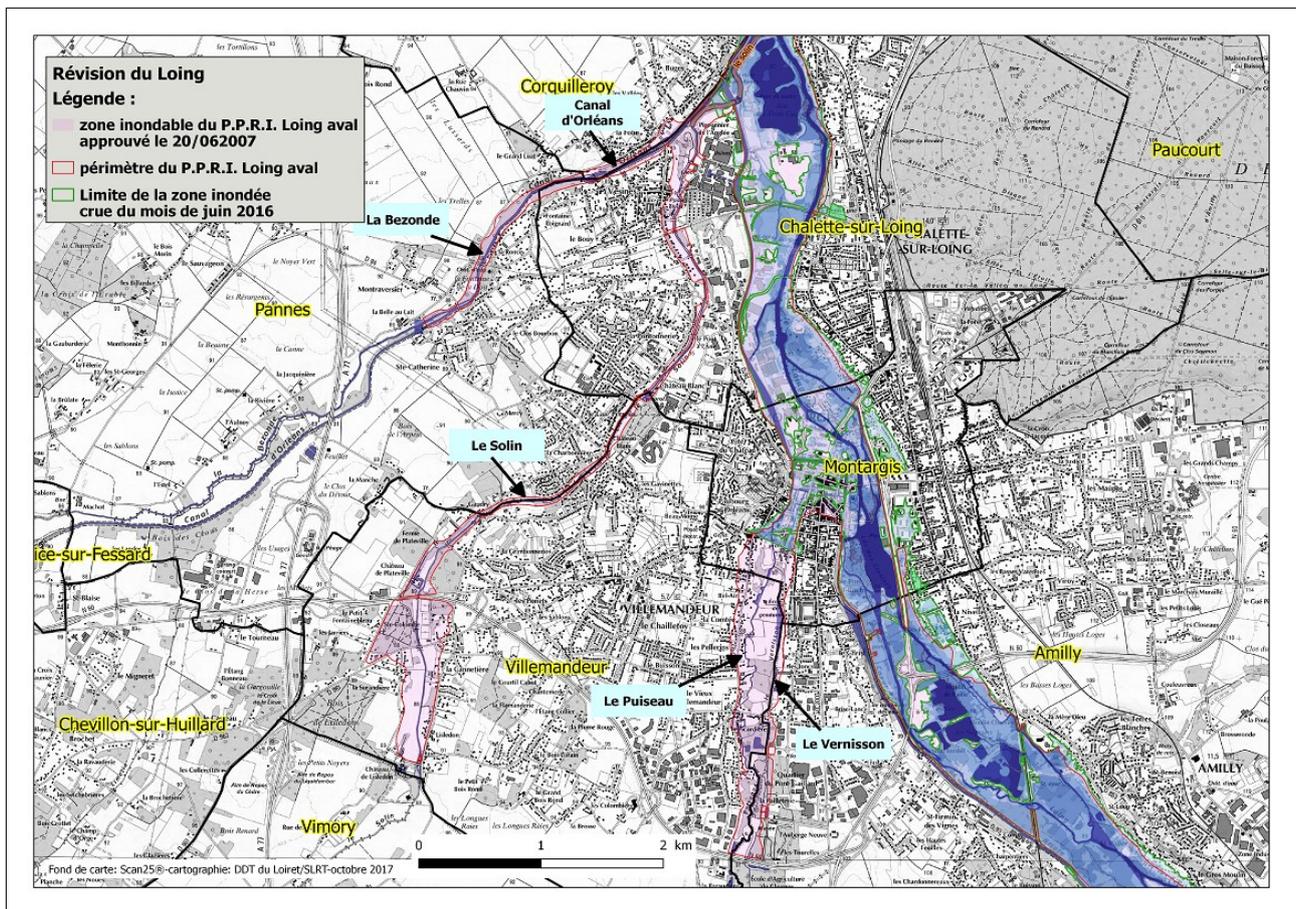
- laisses de crue Loing – Ouanne (191 relevés dont 148 validés/bancarisés et 68 utilisées pour l'établissement de la ligne d'eau reconstituant la crue),
- profils de la ligne d'eau reconstituée lors de la crue du Loing,
- profils de la ligne d'eau reconstituée lors de la crue de l'Ouanne,
- Zones Iso-Classe de Hauteur (ZICH) Loing,
- Zones Iso-Classe de Hauteur (ZICH) Ouanne.

Les données applicables à la crue du Loing et de ses affluents ont été reprises et affinées par la DDT afin que l'étude de la DRIEE-Idf puisse passer d'une échelle « Bassin Hydraulique » à une échelle « Parcellaire » plus adaptée et plus lisible pour les territoires (communes, centres instructeurs droit des sols, autorités compétentes en matière d'aménagement, d'urbanisme et du droit des sols).

Ce travail a confirmé un dépassement important de aléa de référence sur le Loing et ses affluents qui avaient conduit à l'élaboration du PPRi actuellement en vigueur approuvé le 20 juin 2007 (crue centennale).

---

2 Laisse de crue : désigne toute trace laissée par le niveau de l'eau lors d'un épisode hydro-météorologique remarquable. Ces marques qui témoignent des plus hautes eaux atteintes pour un type d'événement donné sont liées au débordement du cours d'eau.



Extrait cartographique de l'étude de la DRIEE Ile de France sur le Loing et ses affluents sur l'agglomération Montargoise

## b) L'étude du CEREMA

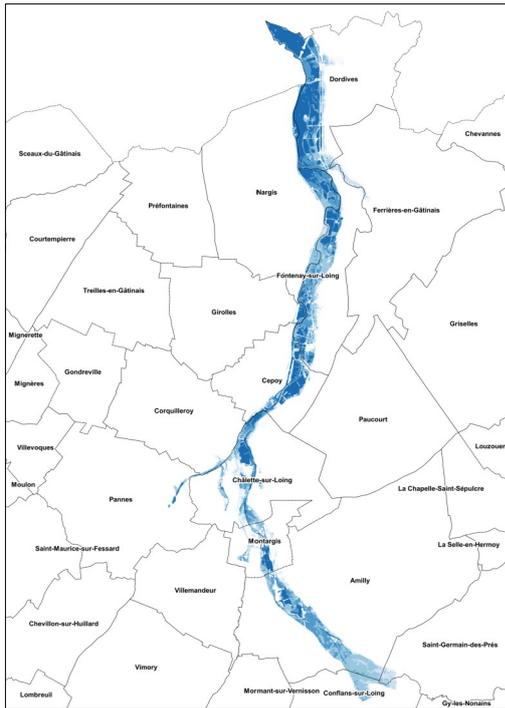
À l'instar de la capitalisation et de la reconstitution des événements majeurs du Loing en mai-juin 2016, le CEREMA a été missionné par les services de l'État pour capitaliser et reconstituer les événements sur les affluents du Loing Aval et plus précisément pour le Vernisson, le Puisseau, le Solin, la Bezonde, la Cléry et le Fusain.

En parallèle du travail de capitalisation confié au CEREMA, la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR / Ministère de la Transition Écologique) a commandé à l'IGN un relevé LIDAR afin d'acquérir la topographie (Modèle Numérique de Terrain) de l'ensemble des affluents du Loing. Cette production était attendue pour fin 2018, mais n'a finalement pu s'opérer que fin 2020.

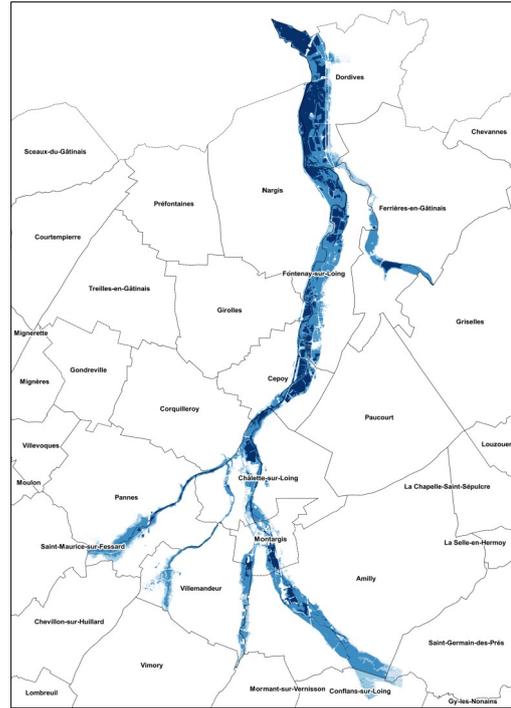
Ce retard a immédiatement impacté le délai de remise des rapports et des données géographiques du CEREMA pour la reconstitution des inondations des affluents du Loing qui ont finalement été transmises à la DDT et validées par cette dernière entre novembre 2020 et avril 2021.

Les données géographiques ainsi mises à disposition comprennent notamment et pour chaque affluent étudié :

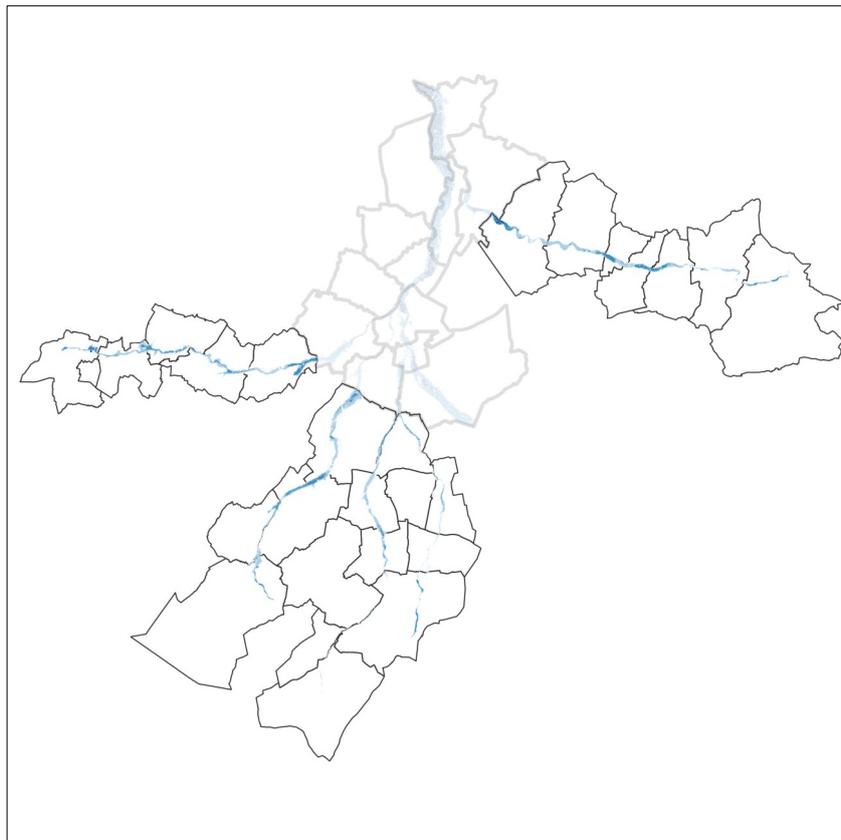
- les laisses de crue,
- un aléa de référence par Zones Iso-Classe de Hauteur (ZICH),
- une emprise (ou périmètre inondable),
- des lignes Isocotes.



Éléments remis par la DRIEE IdF



Complétude des affluents par le CEREMA dans le périmètre des communes PPRi



Travail du CEREMA sur les affluents hors périmètre PPRi

## 7) Les données hydrométriques

Le Loing et plusieurs de ses affluents, comme d'autres cours d'eau dans le Loiret, sont surveillés et disposent notamment de stations hydrométriques pour lesquelles les niveaux maximaux ont été enregistrés et restitués, et ce malgré quelques défaillances du réseau de mesure lors de l'événement de 2016.

Depuis le site [www.hydro.eaufrance.fr](http://www.hydro.eaufrance.fr), la DDT a ainsi pu capitaliser l'évolution des hauteurs d'eau mesurées aux stations reprises dans le tableau ci-dessous. Les données analysées pour ces stations sont considérées du 28 mai 2016 à 00h00 au 4 juin 2016 à 00h00.

Au-delà des maximaux atteints et repris dans le tableau ci-après, ces données et l'analyse qui en a été faite ont permis d'apprécier les niveaux de décrue intervenus lors des prises de vue aériennes réalisées par l'IGN durant la crue en divers points du secteur d'étude (cf. paragraphe II-4).

Station	Zéro échelle (m NGF)	Hauteur Max (m)	Horodatage du Max	Côte Max (m NGF)
Montbouy (Loing)	110,23	2,17	31/05/16 à 12:00	112,40
Montargis (Loing)	83,07	3,44	31/05/16 à 19:40	86,51
Châlette (Loing)	78,24	3,44	01/06/16 à 02:20	81,68
Ferrières (Cléry)	75,23	1,90	31/05/16 à 17:20	77,13
Châterau-Renard (Ouanne)	110,42	2,23	31/05/16 à 13:20	112,65
Gy les nonains (Ouanne)	99,11	2,63	31/05/16 à 17:40	101,74
Saint-Hilaire-sur- Puisseaux (Puisseaux)	95,00	1,90	31/05/16 à 20:08	96,90
Pannes (Bezonde)	82,00	3,67	01/06/16 à 07:01	85,67

## **8) Les autres sources de données**

### **a) Visites et enquêtes de terrain**

La DDT a souhaité mener des enquêtes de terrain pour comprendre le cheminement des eaux et les interactions entre le Loing, les canaux, les affluents et les autres cours d'eau à proximité, mais aussi compenser l'absence d'orthophoto de la crue dans le secteur de Châtillon-Coligny et Sainte-Geneviève-des-Bois :

- 1<sup>er</sup> août 2018 : visite du secteur de Châlette-sur-Loing et enquête au siphon de Buges,
- 25 septembre 2018 : visite des secteurs amont et aval avec VNF pour l'identification des interactions du Loing avec les canaux,
- 3 et 11 octobre 2018 : visite des secteurs de Châtillon-Coligny et Sainte-Geneviève-des-Bois pour des relevés topographiques et des enquêtes de voisinage,
- 6 novembre 2019 : visite de terrain secteur de Buges / La Folie pour la vérification de la topographie du terrain naturel pouvant justifier des hauteurs de submersion supérieures à 1.00m notamment rue de la Quenarde,
- 26 novembre 2019 : collecte d'informations sur la cartographie de la crue auprès des services de la ville de Châlette-sur-Loing,
- 10 décembre 2019 : visite de terrain à Dordives accompagnée d'un élu et de la police municipale afin de comparer les témoignages et le projet cartographique. Durant cette visite plusieurs riverains ont été rencontrés et sollicités.

Il convient également de noter que les communes ont mis à la disposition de la DDT de nombreuses archives photographiques, vidéos ou historiques.

### **b) Les rencontres avec les représentants des communes concernées**

Sur les territoires des douze communes concernées par le PPRi du Loing aval, chaque collectivité a pu s'exprimer à diverses reprises sur le projet de reconstitution des événements de 2016.

Ainsi, du 7 octobre au 14 novembre 2019, la DDT a pu rencontrer chacune des communes individuellement. Cette première série de réunions portait sur la présentation des cartographies de reconstitution de la crue de mai-juin 2016, réalisées par la DRIEE-IDF puis par la DDT en collaboration avec l'EPAGE (ex SIVLO). Le travail en séance a consisté à présenter le travail de reconstitution et d'échanger avec les représentants de chaque collectivité de manière à prendre en considération les connaissances de terrain recueillies lors des événements pluviométriques de mai-juin 2016.

Puis, une seconde série de réunions s'est déroulée du 17 mai au 15 juin 2021 sous le même format. Ces rencontres ont porté sur la présentation de l'avancement et du travail de complétude sur la reconstitution de la crue de 2016 par la DDT sur le Loing et par le CEREMA sur les affluents. En fin de présentation, un travail en séance a consisté à parcourir la reconstitution de la crue, retravaillée sur formats papiers, et d'échanger avec les représentants de la commune de manière à prendre en considération les éventuelles observations sur cette nouvelle cartographie.

En séance, par des communications ultérieures ou par absence de remarque conformément aux termes des comptes-rendus issus des secondes réunions, les cartographies ont été validées par chacune des communes concernées.

### **c) L'EPAGE du Bassin du Loing**

L'Établissement Public d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (EPAGE) du Bassin du Loing a été créé par arrêté inter-préfectoral en date du 20 décembre 2018 et a succédé au SIVLO au 1<sup>er</sup> janvier 2019.

Acteur local dans le domaine de l'eau, sa connaissance des territoires et des cours d'eau associée aux études menées par l'établissement a permis là aussi de compléter les travaux des services de l'État. Il intervient sur 6 des 7 axes et portes 8 des 39 actions du PAPI<sup>3</sup> du Bassin du Loing.

Il peut être mentionné à ce titre, le lancement d'une étude de modélisation hydraulique sur l'ensemble du bassin du Loing et l'étude pour la restauration des zones d'expansion des crues et le développement d'un programme d'actions sur le bassin versant de la Bezonde.

Bien que la finalité, et donc les modalités d'utilisations des données soient différentes, l'échange des données entre l'État et l'EPAGE sont importantes tout comme leur partenariat en réunion.

---

3 PAPI : Programmes d'Actions de Prévention des Inondations

### III. Méthodologie générale

Les cartographies des zones inondables sont généralement réalisées pour une échelle de lecture au 1 : 10 000<sup>ème</sup>, ponctuellement au 1 : 5 000<sup>ème</sup>. Pour ces échelles, les bureaux d'études élaborent un profil en long du cours d'eau étudié et projettent ce profil au milieu des nuages de laisses de crue pour reconstituer l'altitude de la nappe d'eau en crue.

Face aux évolutions technologiques et à un événement de référence connu, récent et particulièrement bien documenté, la DDT du Loiret a souhaité mener un travail plus précis et a délaissé les profils en long au privilège de la multiplication des laisses de crue pour reconstituer les lignes d'eau du Loing et de ses affluents.

Ce choix a nécessité :

- de démultiplier le nombre de profils en travers afin de limiter les imprécisions liées aux opérations d'interpolation. Les distances entre les profils sont réduites, les calculs sont plus nombreux mais plus précis. Les changements de pentes des lignes d'eau sont considérés au plus près de l'événement et non depuis l'analyse du profil en long du cours d'eau,
- d'analyser le comportement de chaque ligne d'eau par rapport au cours d'eau voisin et identifier ainsi davantage d'interactions. Cette étape a permis de mettre en place un système de hiérarchisation des nappes d'eau en crue afin que le système informatique ait un traitement géomatique cohérent des sens d'écoulement des nappes d'eau et que les niveaux maximums atteints soient respectés.

La DDT du Loiret a utilisé 451 profils répartis dans 14 nappes d'eau hiérarchisées les unes par rapport aux autres.

Les profils en travers regroupés par nappe d'eau sont interpolés en plan pour obtenir un modèle numérique de surface libre en eau (MNSLE).

Les hauteurs d'eau brutes (Heau\_brutes) sont déduites par une soustraction entre les nappes d'eau (MNSLE) et la topographie du terrain naturel (MNT). Tout résultat positif de ce calcul représentant une zone en eau.

Les dernières étapes consistent à classer les Heau\_brutes en gammes de hauteurs d'inondation (moins de 50 cm, entre 50 cm et 1 m, de 1,00m à 2,00m et supérieure à 2.00m, cf. décret du 5 juillet 2019), puis de simplifier le fichier informatique pour en faciliter la lecture cartographique et le stockage des résultats.

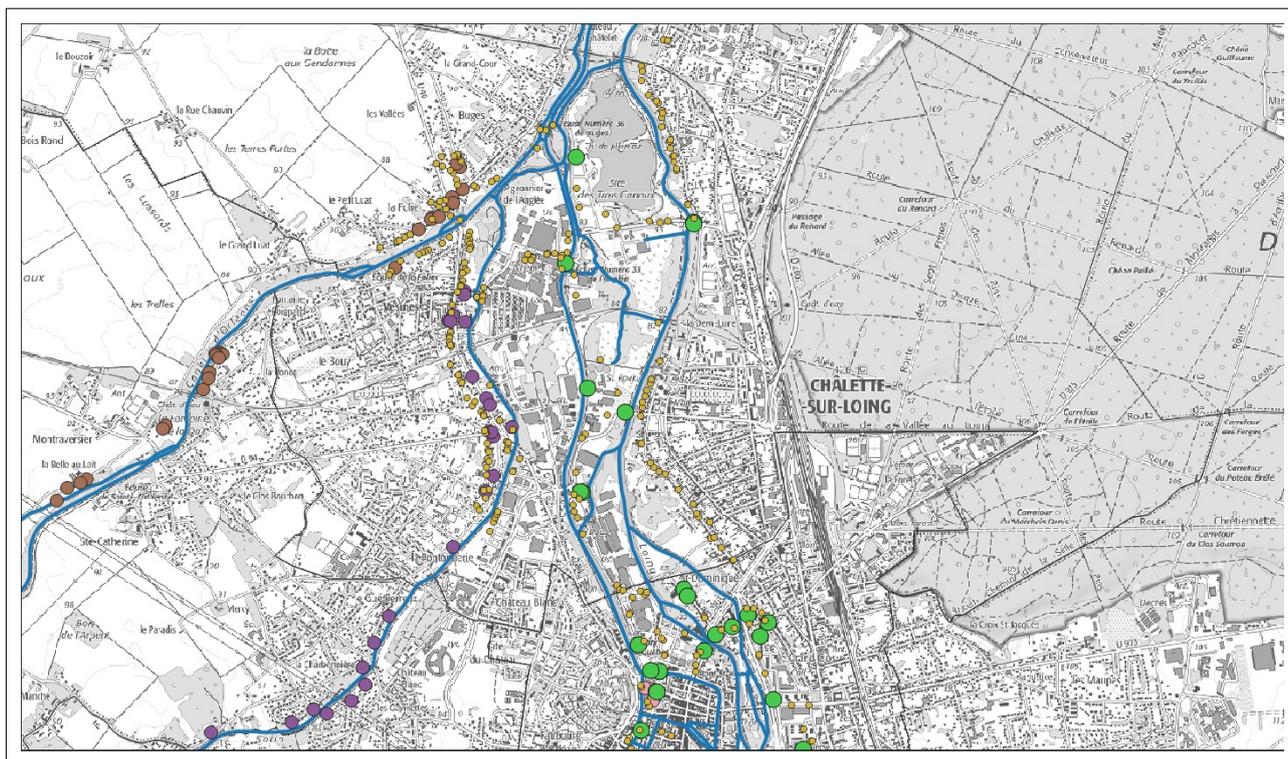
Les paragraphes suivants apportent des précisions sur ces différents points.

# 1) Capitalisation, critique et densification des points de référence

Cette première étape consiste à regrouper l'ensemble des informations qui sont mises à la disposition de la DDT pour définir les niveaux altimétriques atteints par les nappes d'eau lors d'un événement de référence, ici les inondations de mai-juin 2016.

Ces données regroupent premièrement :

- les laisses de crue,
- les repères de crue,
- les laisses fictives issues de la lecture de l'orthophotographie de la crue.



Exemple de regroupement des données de référence (en vert = laisses de crue du Loing, petits points ocres = laisses fictives, points intermédiaires = laisses de crue des affluents)

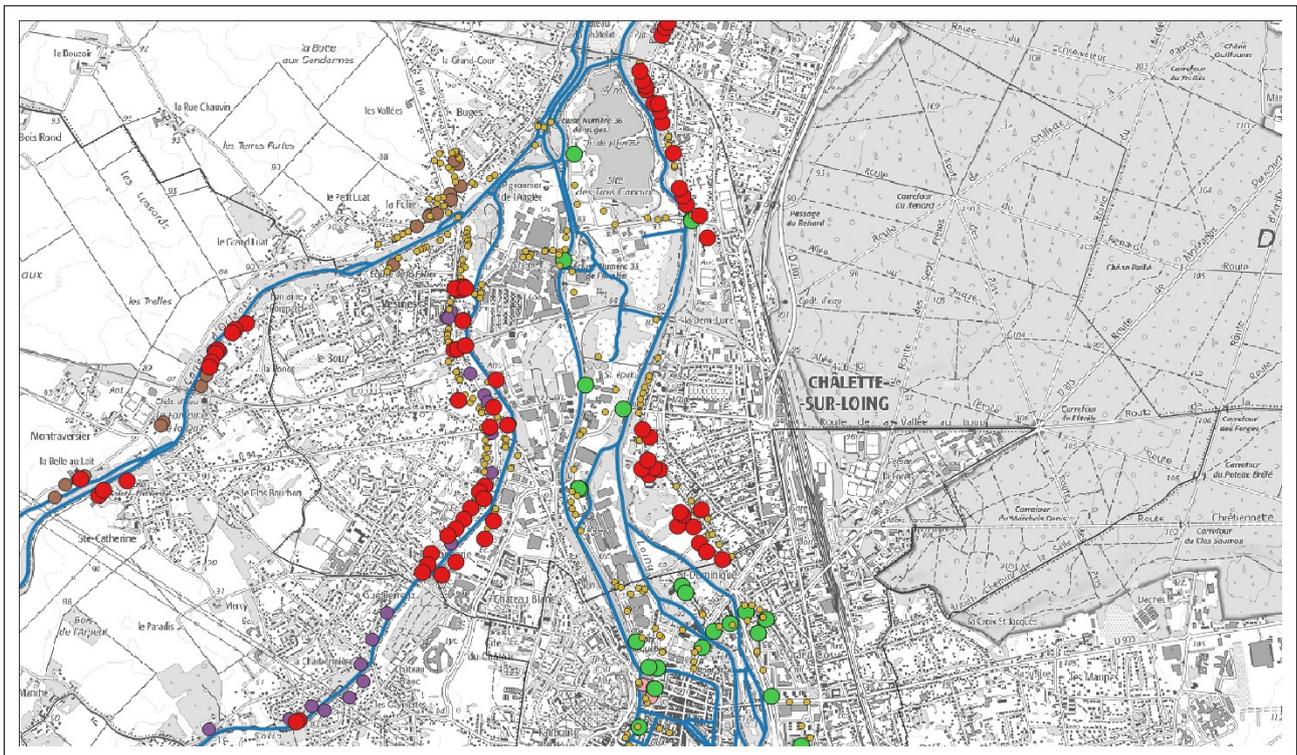
Chaque point présente la particularité de détenir en son sein une donnée (attribut) altimétrique de référence de la nappe d'eau en crue exprimée en mètre par rapport au Nivellement Général de la France (m NGF) et généralement intitulé « Z ».

Ci-contre : Extrait d'une table attributaire des laisses de crue du Loing

Laisses2016\_Loing-Ouanne\_Validees - Attributs d'entités

MethodeNiv	GPS
TypeNiv	Absolu
Zabs	86,85299999999994
DescRef	NULL
Heau	NULL
Zref	NULL
Zrep	86,85299999999994
ExpNiv	1
JustiNiv	NULL
PhotoRep	P1030184.jpg

Ces premières données ont été dans un second temps complétées par les données et témoignages recueillis lors des enquêtes de terrain ou des échanges avec les collectivités.



Exemple des données mises à disposition par la commune de Châlette-sur-Loing (points rouges)

Chaque point de repère est ensuite critiqué par une mise en corrélation avec ses voisins (proches et éloignés) pour affirmer ou infirmer la valeur altimétrique qui lui est attribuée et ainsi écarter les points de repère dont les valeurs sont trop éloignées ou incohérentes avec :

- ses proches voisins : dans ce cas une valeur moyenne des laisses du secteur est attribuée au repère ou alors la valeur confirmée est relevée par une lecture de l'orthophotographie de la crue,
- la pente générale du secteur étudié : dans le cas d'une rupture de pente soudaine, la laisse est mise en relation avec les éléments de terrain qui pourraient la justifier (ouvrage, obstacle à l'écoulement, déversoir, ...), faute de quoi elle est écartée,
- le sens d'écoulement de la nappe d'eau en crue : dans certains cas, des points de repère aval présentent des valeurs altimétriques supérieures aux points amont. Lorsque cette configuration apparaît, l'hypothèse d'une erreur de valeur est étudiée spécifiquement jusqu'à, soit écarter un repère manifestement erroné, soit admettre une nappe d'eau quasi plane du fait d'un obstacle au libre écoulement de l'eau.

Pour vérifier la correction éventuelle de chaque repère, de nouveaux points peuvent être incrémentés (par lecture de l'orthophotographie de la crue) ce qui permet également une meilleure précision, notamment dans les secteurs urbains où les flux peuvent être perturbés par l'imperméabilisation des sols ou à contrario par les nombreuses constructions représentant un obstacle au libre écoulement. C'est aussi dans les zones urbaines que sont généralement concentrés les enjeux.

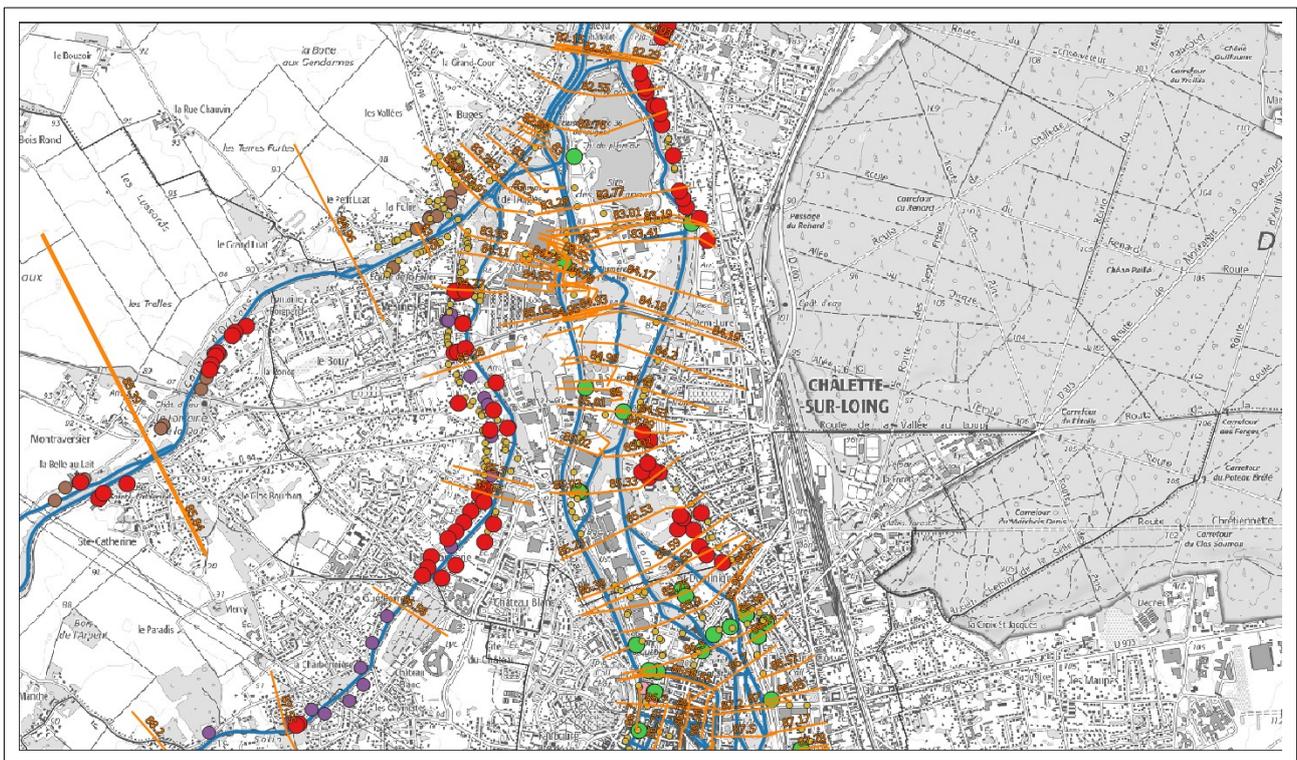
## 2) La projection des points de repère en profils en travers

Seconde étape de la reconstitution de la nappe d'eau en crue, les repères précédemment validés sont projetés sur un axe perpendiculaire à l'écoulement de la nappe d'eau en crue.

En crue, le cours d'eau ne suit pas les méandres de son lit mineur mais privilégie dans son lit majeur les chemins d'écoulement les plus directs. Aussi, la lecture des cartes (Scan 25, BD\_TOPO) des cours d'eau n'est pas suffisante pour refléter l'orientation de la nappe d'eau en crue. L'orthophotographie de la crue a notamment permis dans de nombreux cas de constater les directions d'écoulement des cours d'eau en crue.

Les profils ainsi projetés disposent, comme le repère qui en est à l'origine, d'une valeur altimétrique exprimée en m NGF et généralement appelée « Z ».

Tous les repères ne donnent pas nécessairement naissance à un profil. Toutefois, dès lors qu'un repère est considéré comme conforme, il servira nécessairement aux étapes suivantes du traitement, à la vérification des résultats, ou bien encore à une densification des données dans les secteurs à enjeux.



Projection des repères en profils avec leur valeur Z

### 3) L'organisation et la hiérarchisation des profils

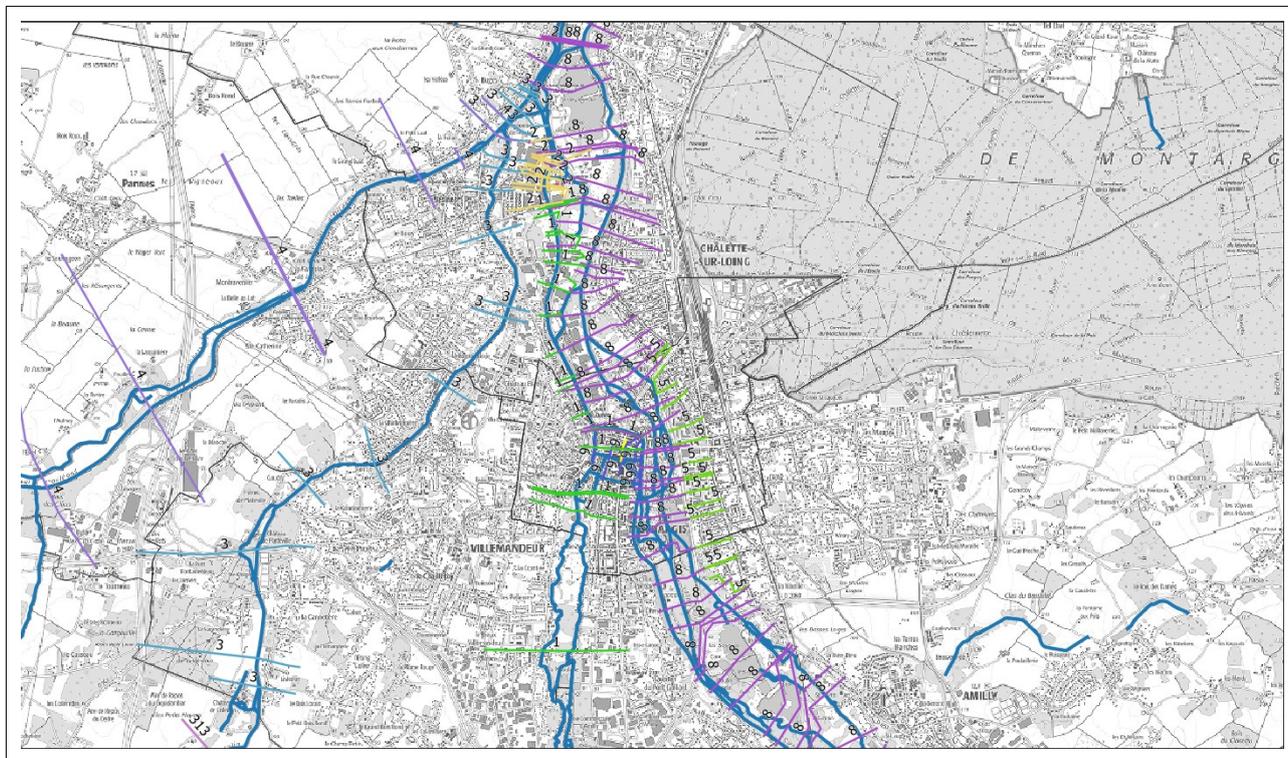
Le Loing a cette particularité d'une proximité avec des canaux anthropiques et d'interagir avec ses affluents. La reconstitution d'une nappe d'eau linéaire et d'un seul tenant n'apparaissait pas suffisante pour représenter fidèlement les événements de 2016. Ces connexions et interactions induisent des fonctionnements hydrauliques parfois complexes et a nécessité une analyse fine de certains secteurs.

Afin de refléter les hauteurs d'eau réellement rencontrées en tous points du périmètre d'étude, la DDT du Loiret a choisi de mettre en œuvre un principe de hiérarchisation des nappes d'eau. Le système informatique considère lors de ses calculs des PHEC, les valeurs de la nappe d'eau du rang supérieur en cas de superposition des nappes.

Ce sont ainsi 14 nappes qui ont été considérées pour représenter la crue du Loing et de ses affluents :

1. Puiseaux-Vernisson : de Villemandeur à Châlette, cette nappe a permis de considérer les interactions entre les 2 cours d'eau, le Loing et le canal. Le Puiseaux-Vernisson a notamment atteint dans Montargis des hauteurs d'eau supérieures au Loing entraînant des reflux vers le centre de Montargis.
2. Canal du Loing et Hutchinson : le Loing et le Puiseaux ont interagi avec le canal. Au niveau de l'écluse de l'Anglée notamment, le canal a débordé et a complété les inondations liées aux débordements du Solin et du Loing.
3. Solin aval : depuis Villemandeur jusqu'à l'écluse de Buges, cette nappe a permis de considérer l'écoulement du Solin, sa fusion avec le débordement de la Bezonde à Corquilleroy et sa rupture de pente au niveau du déversoir.
4. Bezonde aval : de Pannes jusqu'à l'écluse de Buges, cette nappe a permis de considérer l'écoulement de la Bezonde, sa fusion avec le débordement du Solin à Corquilleroy jusqu'à l'écluse de Buges.
5. Ex RN7 : cette nappe qui débute à Amilly et se termine à Montargis a permis de matérialiser les inondations à l'est de l'ex RN7. Cet ouvrage a constitué un obstacle à l'étalement de la crue et les hauteurs de submersions représentées par cette nappe sont inférieures à l'altitude du Loing en crue.
6. La Cléry : nappe spécifique à l'affluent.
7. Le Betz : nappe spécifique à l'affluent.
8. Cours d'eau principal du Loing.
9. Bras de Montargis, déversoir du canal à l'écluse : dans le cœur de la ville, des canaux transversaux connectent le canal au Puiseaux. En 2016, le niveau du Puiseaux a été supérieur à celui de l'écoulement du canal et a généré un remous. Cette nappe a permis d'inverser le sens d'écoulement des eaux et de matérialiser le remous.
10. Loing Amont : cette nappe n'est composée que de deux profils et a uniquement été utilisée afin de vérifier la cohérence des écoulements et des débordements du Loing entre les secteurs amont et aval du Loing dans le Loiret.
11. Le Vernisson : nappe spécifique à l'affluent.
12. Le Puiseaux : nappe spécifique à l'affluent.
13. Le Solin : nappe spécifique à l'affluent.
14. La Bezonde : nappe spécifique à l'affluent.

Pour information, le Fusain affluent du Loing pour lequel sa confluence s'effectue au nord de Dordives sur la commune de Château-Landon dans le département de Seine-et-Marne n'a pas été repris dans le traitement pour reconstituer la crue de 2016 dans le Loiret. Ces éléments de connaissances seront transmis au département de Seine-et-Marne pour traitement ultérieur dans le cadre de la révision du PPRi du Loing de Château-Landon à Fontainebleau approuvé le 3 août 2006.



La hiérarchisation des nappes d'eau

A l'issue de cette hiérarchisation, un tri des profils est demandé au système informatique afin que dans chaque nappe d'eau l'écoulement soit respecté quelle que soit la place du profil dans la table attributive.

#### 4) La réalisation du modèle numérique de surface libre en eaux (MNSLE)

Cette troisième étape est intégralement traitée par informatique à l'aide d'un outil SIG (système d'information géographique).

La DDT du Loiret utilise Qgis (V 2.16 et V 3.14) et le plugin CartoZI développé par le Service Central Hydrométrie Appliquée à la Prévention des Inondations (SCHAPI).

Elle consiste à interpoler les profils (données vecteur) entre eux, afin de définir en tous points une valeur intermédiaire.

Le produit obtenu (sous forme raster) donne pour chaque pixel une valeur correspondante à l'altitude interpolée de la nappe d'eau en crue. Ce raster est communément appelé modèle numérique de surface libre en eau ou MNSLE.



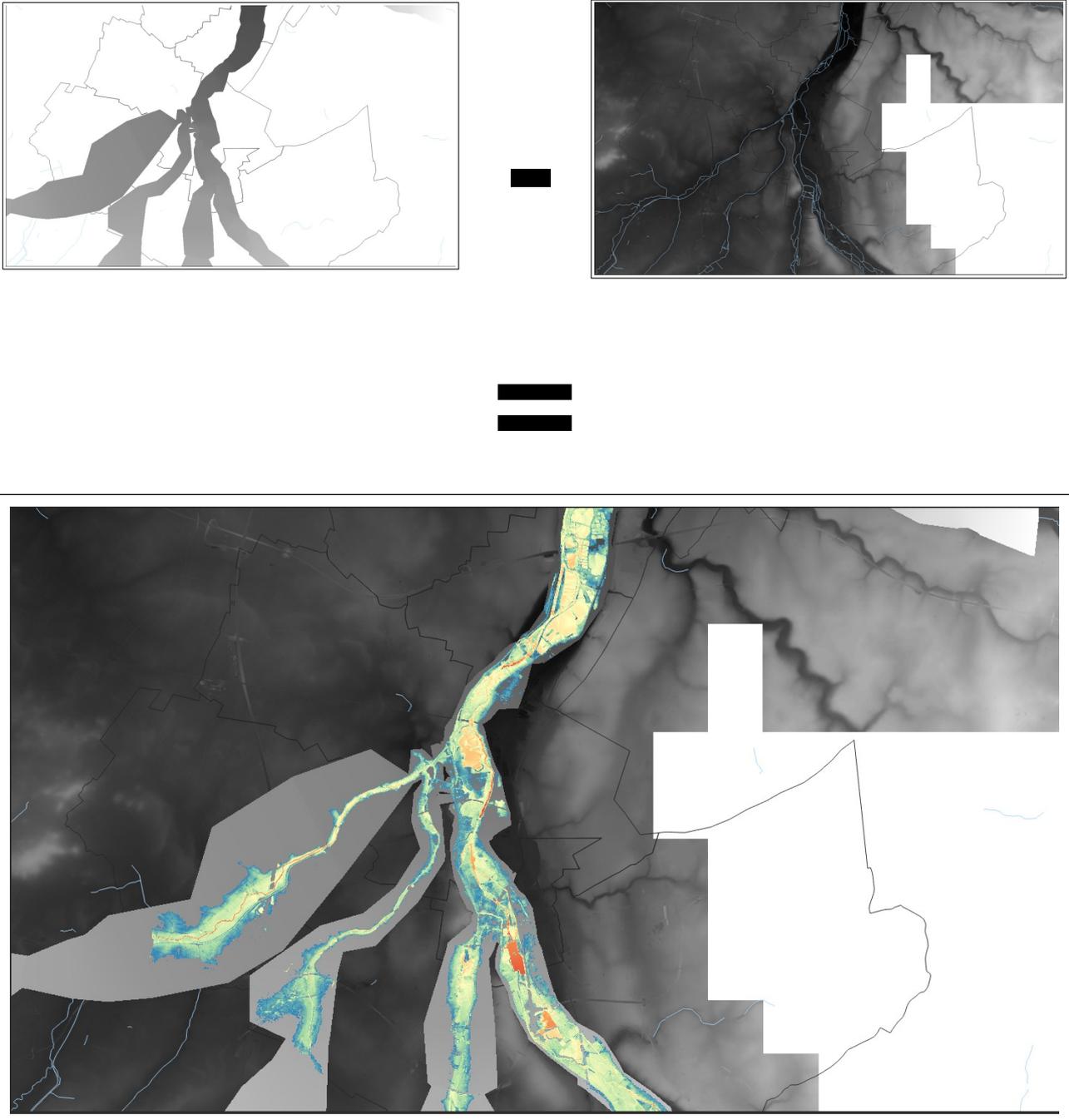
Extrait du raster MNSLE obtenu par interpolation des profils

## 5) La détermination des hauteurs d'eau brutes

Elle résulte de la soustraction du Modèle Numérique de Surface Libre en Eau, représentant les nappes d'eau lors de la crue, et du Modèle Numérique de Terrain, qui reflète la topographie du terrain naturel.

$$\text{Heau\_brutes} = \text{MNSLE} - \text{MNT}$$

Dès lors que le résultat de ce calcul est positif alors l'endroit a été inondé et la valeur appliquée au pixel correspond à la hauteur d'eau rencontrée.



Les Heau\_brutes positives s'affichent ici en couleur

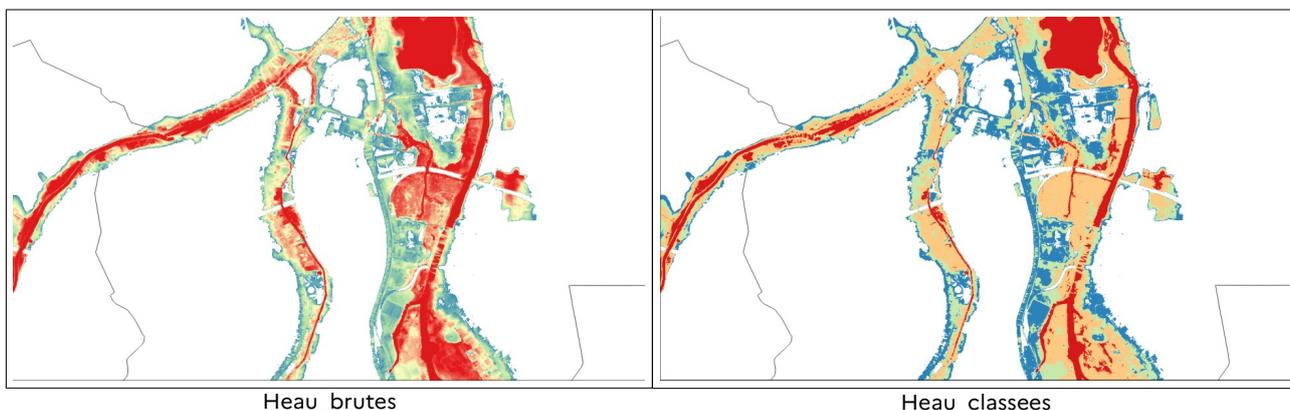
## 6) La classification et le lissage des hauteurs d'eau

Cette étape permet de regrouper entre eux les pixels du raster Heau\_brutes en classes bornées.

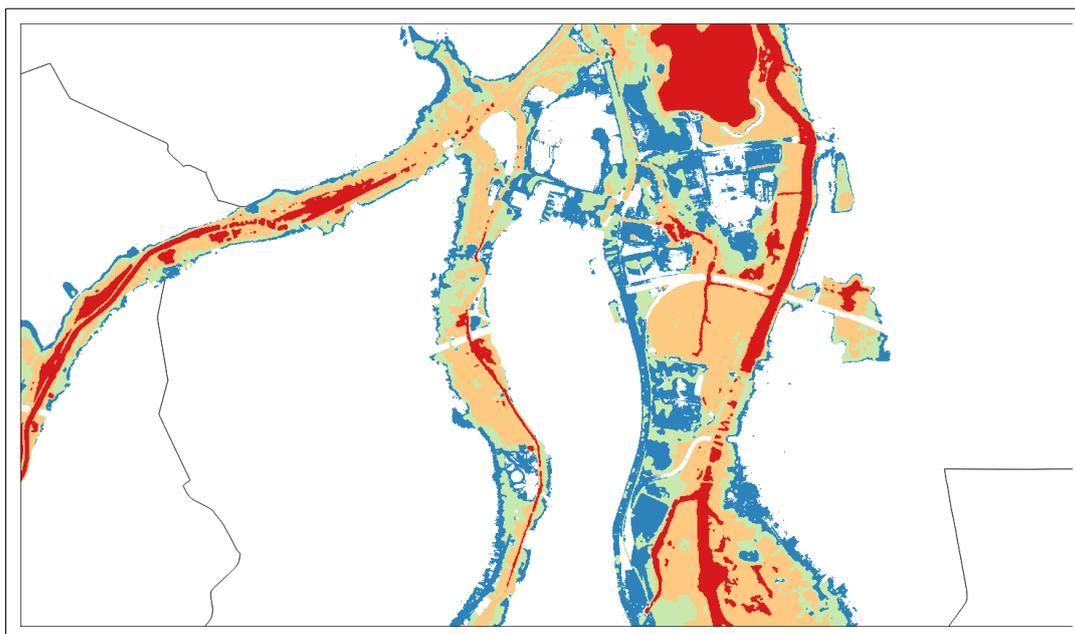
Le Décret 2019-715 du 5 juillet 2019 et son Arrêté permettent de définir les valeurs de regroupement des hauteurs en classes. Ainsi quatre classes sont définies :

- de 0,00m à 0,50m
- de 0,50m à 1,00m
- de 1,00m à 2,00m
- supérieure à 2,00m

Cette classification brute est malheureusement insuffisante pour obtenir une carte lisible et uniforme. A cet effet, une série de 5 lissages successifs intervient afin que les pixels ou micro-groupes de pixels soient lissés avec leurs plus proches voisins (taille définie par défaut à 5 pixels) sans modifier les contours et en maintenant une résolution de travail au pas de 1 mètre.



Heau\_classeses lissées



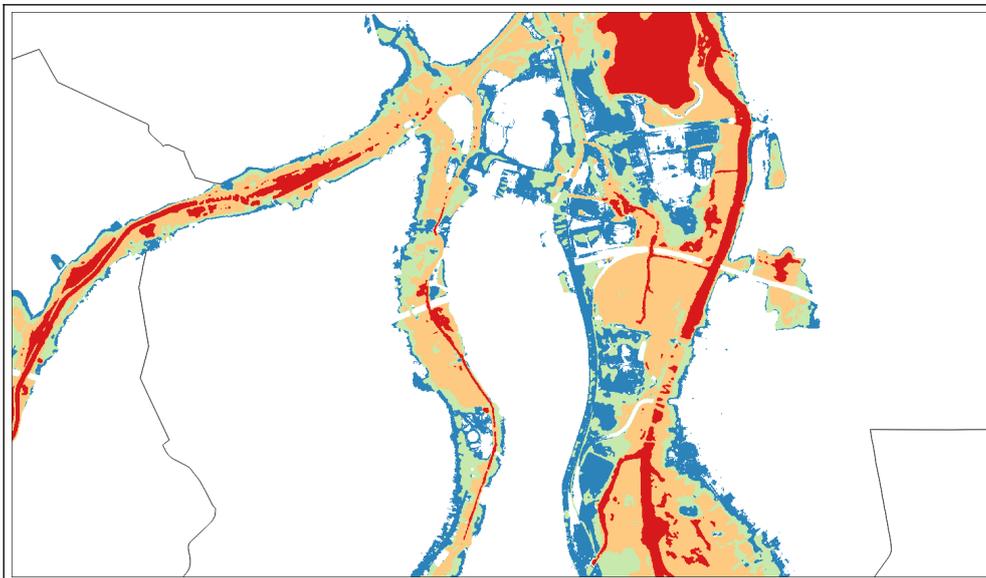
## 7) La transformation raster en vecteur et les lissages vectoriels

Le format raster obtenu à l'étape précédente constitue un fichier très lourd et inadapté aux traitements cartographiques.

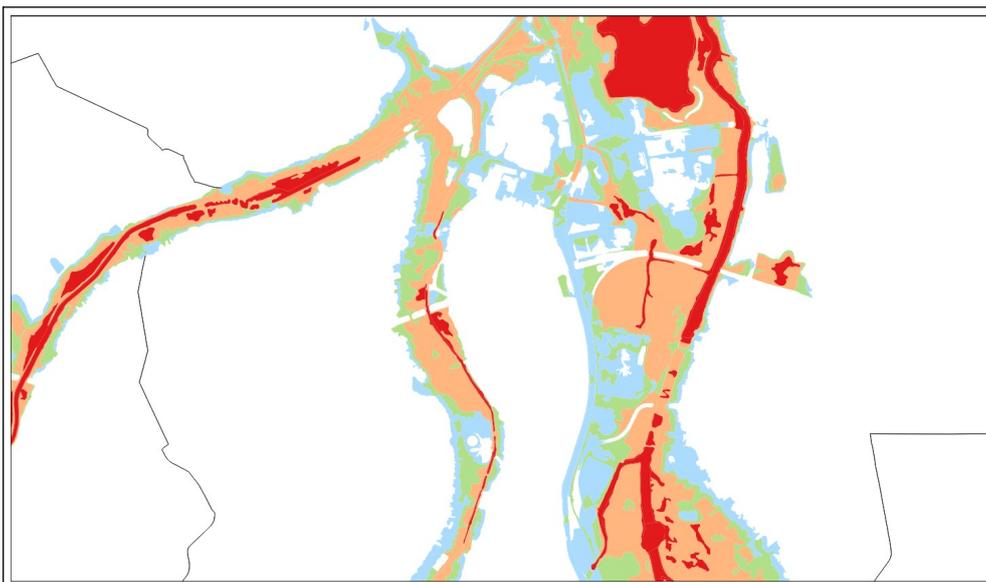
Sa transformation en couche vectorielle permet de diminuer le poids du fichier de sortie, de l'utiliser ultérieurement en traitements cartographiques, mais c'est aussi l'occasion d'en améliorer la lisibilité par un nouveau lissage et la suppression de polygones « parasites ».

Le plugin CartoZI utilisé par la DDT du Loiret propose un module pré-configuré à cet effet. La DDT du Loiret retient la suppression des polygones de moins de 500m<sup>2</sup> et une combinaison de deux algorithmes pour les lissages (Chaiken et RDP pour une tolérance de 0,2).

En dernier lieu, le vecteur obtenu présentant encore des bords pixelisés est adouci par un algorithme de généralisation de type « snakes » où les paramètres alpha et bêta sont paramétrés à 0,25.



Heau\_classeses et lissées (Raster 398 Mo)



résultat vectorisé et lissé (Couche vectorielle de 12 Mo)

## IV. Les sources d'incertitudes

L'incertitude la plus forte concerne le MNSLE (surface libre en eau). Elle vient des choix faits sur la ligne d'eau retenue et la modélisation de l'écoulement (tracé des profils en travers, choix des biefs, etc.).

Le traitement cartographique comporte ensuite trois autres principales sources d'incertitude, que sont la précision du MNT, l'évolution des données altimétriques et les opérations de lissage :

- Concernant le MNT, il faut noter que les tabliers des ponts sont généralement filtrés, de sorte qu'ils peuvent apparaître systématiquement submergés dans la cartographie . De la même façon, dans le cas de passages sous remblai (routes, voies ferrées...), le MNT fait parfois figurer, non pas l'altimétrie du remblai, mais localement, celle du passage inférieur. Lorsque c'est le cas et que des écoulements se sont produits dans ces passages sous remblai, ils apparaissent comme submergés dans la cartographie finale. Ceci ne signifie pas que l'eau passe par-dessus le remblai, mais bien dans le passage inférieur. Ceci permet d'ailleurs d'identifier d'éventuelles connexions hydrauliques entre deux zones de part et d'autres d'un remblai. Vu la quantité importante d'artefacts de ce type et le manque de données topographiques sur les ouvrages correspondants, ces zones sont laissées en l'état.
- Les outils et les moyens développés pour relever les données altimétriques sont de plus en plus précis et tiennent compte, au fur et à mesure des mises à jour, de nouveaux paramètres (urbanisation, érosion, infrastructures nouvelles, ...). Toutefois, le coût que représentent ces relevés, la disponibilité des matériels ou les conditions climatiques ne permettent pas des mises à jour régulières en tous points du territoire. Au cours de l'étude du secteur du Loing Aval et de ses affluents, des relevés LIDAR partiels ont été remis à la DDT du Loiret et pris en compte dans la reconstitution des événements de mai-juin 2016. Ainsi la précision sur ces secteurs spécifiques peut s'avérer plus fine qu'en d'autres points relevés antérieurement et des écarts centimétriques (ponctuellement décimétriques) ont pu apparaître. Ils n'ont toutefois pas modifié substantiellement la répartition des classes de hauteur d'eau ni l'enveloppe générale de l'inondation.
- Les opérations de lissage et simplification peuvent avoir différents impacts :
  - moyennage des valeurs à une échelle de l'ordre de 5 m en planimétrie,
  - suppression des polygones isolés,
  - effets de bord en limite du champ d'inondation ou à l'interface entre 2 classes.

Les paramètres des étapes de lissage/simplification sont choisis pour trouver un bon équilibre simplification/poids de fichier. Ils restent en partie subjectifs, et à ce titre pourront faire l'objet de modification. En première approche toutefois, il faut noter que les simplifications générées par le lissage sont minimales par rapport aux incertitudes liées à la construction de la ligne d'eau et au MNT utilisé, et permettent d'aboutir à un fichier SIG moins lourd et donc plus exploitable.