



PRÉFET DE L'ALLIER

# Définition et cartographie de l'aléa inondation de la rivière Besbre sur le territoire de 19 communes

Phase 1 : Appropriation des données existantes et réalisation des compléments hydrologiques nécessaires



Rapport n°108070/vA – Avril 2021

Projet suivi par Romain DE BORTOLI – 06.22.56.17.08 – [romain.debortoli@anteagroup.com](mailto:romain.debortoli@anteagroup.com)

## Fiche signalétique

Définition et cartographie de l'aléa inondation de la rivière Besbre sur le territoire de 19 communes

Phase 1 : Appropriation des données existantes et réalisation des compléments hydrologiques nécessaires

### CLIENT

Direction Départementale des Territoires de l'Allier (DDT 03)

SAUDT / Bureau Prévention des Risques  
51 boulevard Saint-Exupéry - CS30110  
03 403 Yzeure Cedex

Michel BIANCHI  
Bureau Prévention des Risques  
Tél : 04 70 48 78 81

### RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet	Romain DE BORTOLI
Interlocuteur commercial	Romain DE BORTOLI
Implantation chargée du suivi du projet	Implantation de Grenoble
Rapport n°	108070
Version n°	A
Projet n°	AUVP200053

	Nom	Fonction	Date
Rédaction	Romain DE BORTOLI	Ingénieur de projet	Avril 2021
Vérification	Thomas SEBILLEAU	Ingénieur de projet	Avril 2021

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>6</b>
1.1	Contexte de l'étude .....	6
1.2	Périmètre de l'étude .....	6
<b>2</b>	<b>Collecte et analyse des données existantes .....</b>	<b>8</b>
2.1	Etudes existantes .....	8
2.1.1	LRPC 1996 .....	8
2.1.2	ISL 2014-2015 .....	12
2.2	Laissez de crues .....	13
2.2.1	Crues historiques .....	13
2.2.2	Crue récente de mi-janvier 2021 .....	15
2.3	Enquête auprès des acteurs locaux .....	17
2.3.1	Communes .....	17
2.3.2	Gestionnaires d'ouvrages .....	19
2.4	Investigations de terrain .....	21
2.5	Analyse des données topographiques et définition des besoins .....	22
2.5.1	Lit mineur .....	22
2.5.2	Lit majeur .....	22
<b>3</b>	<b>Analyse hydrologique .....</b>	<b>23</b>
3.1	Caractéristiques du bassin versant .....	23
3.2	Estimation des débits de crue .....	24
3.2.1	Stations hydrométriques .....	24
3.2.2	Ajustement statistique .....	24
3.2.3	Méthode du Gradex .....	26
3.2.4	Quantiles SHYREG .....	29
3.2.5	Synthèse .....	30

# Table des illustrations

## FIGURES

Figure 1 : Secteur d'étude .....	7
Figure 2 : Champ d'expansion des crues remarquables de Lapalisse (source : LRPC, 1996) .....	9
Figure 3 : Champ d'expansion des crues remarquables de Jaligny (source : LRPC, 1996) .....	10
Figure 4 : Champ d'expansion des crues remarquables de Dompierre-sur-Besbre (source : LRPC, 1996) .....	11
Figure 5 : Ligne d'eau calculée maximale de la crue de novembre 2010 et repères de crue (source : ISL, décembre 2014) .....	12
Figure 6 : Exemple de laisses de crue recensées sur la commune de Dompierre-sur-Besbre (source : <a href="https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr/">https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr/</a> ) .....	14
Figure 7 : Exemple de laisse de crue identifiée lors des investigations de terrain sur la place de Lapalisse .....	15
Figure 8 : Crue de mi-janvier 2021 (source : DDT03 / SPC Loire-Cher-Indre) .....	16
Figure 9 : Hydrogrammes de la crue de mi-janvier 2021 enregistrés aux stations hydrométriques de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre .....	17
Figure 10 : Extrait des éléments fournis par la commune de Lapalisse en retour au questionnaire envoyé .....	18
Figure 11 : Ouvrages gérés par EDF et VNF sur le secteur d'étude .....	20
Figure 12 : Occupation du sol du bassin versant de la Besbre (source : Corine Land Cover) .....	23
Figure 13 : Ajustement de Gumbel (méthode des moments) sur les débits de pointe à la station de Saint-Prix sur la période de 1959 à 2020 .....	25
Figure 14 : Ajustement de Gumbel (méthode des moments) sur les débits de pointe à la station de Saint-Pourçain-sur-Besbre sur la période de 1966 à 2020 .....	25
Figure 15 : Présentation de la méthode du Gradex (source : thèse de Y.Aubert) .....	26
Figure 16 : Localisation des stations Météo-France de Arfeuilles et de Diou .....	28
Figure 17 : Synthèse des différents débits de pointe obtenus au droit de la station de Saint-Prix .....	30
Figure 18 : Synthèse des différents débits de pointe obtenus au droit de la station de Saint-Pourçain-sur-Besbre .....	31

## TABLEAUX

Tableau 1 : Estimation des débits de crues remarquables ( $m^3/s$ ) par le LRPC en 1996 .....	8
Tableau 2 : Repères de crue recensés sur le secteur d'étude .....	13
Tableau 3 : Débits instantané maximaux de référence ( $m^3/s$ ) aux stations hydrométriques de la Besbre (source : <a href="http://hydro.eaufrance.fr">hydro.eaufrance.fr</a> , avril 2021) .....	24
Tableau 4 : Débits de pointe ( $m^3/s$ ) de la Besbre aux stations hydrométriques de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre calculés par ajustement statistique (source : Antea Group) .....	25
Tableau 5 : Cumuls pluviométriques à la station de Arfeuilles pour différentes périodes de retour – épisode 48h (source : Météo-France) .....	27
Tableau 6 : Cumuls pluviométriques à la station de Diou pour différentes périodes de retour – épisode 72h (source : Météo-France) .....	27
Tableau 7 : Débits de pointe ( $m^3/s$ ) de la Besbre à Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre calculés par la méthode du Gradex .....	29
Tableau 8 : Quantiles de débits de pointe ( $m^3/s$ ) SHYREG de la Besbre au droit des stations hydrométriques de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre (2019) .....	29

Tableau 9 : Synthèse des différents débits de pointe obtenus ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) au droit de la station de Saint-Prix.....	30
Tableau 10 : Synthèse des différents débits de pointe obtenus ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) au droit de la station de Saint-Pourçain-sur-Besbre .....	31
Tableau 11 : Débits de pointe retenus ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) de la Besbre .....	32

## ANNEXES

Annexe 1 : Repères de la crue de mi-janvier 2021 (source : DDT 03/ SPC Loire-Cher-Indre).....	34
Annexe 2 : Synthèse cartographique .....	36

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte de l'étude

Dans le but de réaliser un ou des Plan(s) de Prévention des Risques Inondations (PPRI) de la rivière Besbre, la Direction Départementale des Territoires de l'Allier (DDT 03) a lancé la présente étude portant sur la réalisation des études hydrologiques et hydrauliques nécessaires à l'élaboration des documents constitutifs du PPRI.

Les objectifs de cette étude sont de définir les limites de zones inondables, les cartographier et aboutir à une caractérisation de l'aléa de référence, selon une méthode homogène sur tout le territoire et élaborée en concertation et en accord avec l'ensemble des acteurs locaux.

La cartographie de l'aléa de référence sera traduite en un ou des Plan(s) de Prévention du Risque Inondation grâce à une étude hydrologique et une modélisation hydraulique sur environ 100 km de cours d'eau répartis sur le bassin versant. Actuellement, il existe des PPRI de la Besbre sur 4 communes de l'Allier, tous approuvés entre 1997 et 1999.

La révision de ces PPRI est nécessaire afin de mettre à jour les données hydrologiques et de prendre en compte une topographie actualisée dans la délimitation des hauteurs de submersion et des enveloppes de zones inondables.

L'étude s'articule en 4 phases :

- **Phase 1** : appropriation des données existantes et réalisation des compléments hydrologiques nécessaires,
- **Phase 2** : étude hydraulique,
- **Phase 3** : exploitation du modèle hydraulique pour la cartographie de l'aléa,
- **Phase 4** : collecte des données historiques et saisie dans la BDHI.

**Le présent document constitue le rapport de la phase 1.**

## 1.2 Périmètre de l'étude

La présente étude porte sur le territoire des 19 communes comprises entre Saint-Clément et Diou, à savoir :

- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| ● Saint-Clément        | ● Trézelles                 |
| ● Le Mayet-de-Montagne | ● Chavroches                |
| ● Châtel-Montagne      | ● Jaligny-sur-Besbre        |
| ● Nizerolles           | ● Thionne                   |
| ● Arfeuilles           | ● Châtelperron              |
| ● Le Breuil            | ● Vaumas                    |
| ● Saint-Prix           | ● Saint-Pourçain-sur-Besbre |
| ● Lapalisse            | ● Dompierre-sur-Besbre      |
| ● Servilly             | ● Diou                      |
| ● Varennes-sur-Tèche   |                             |



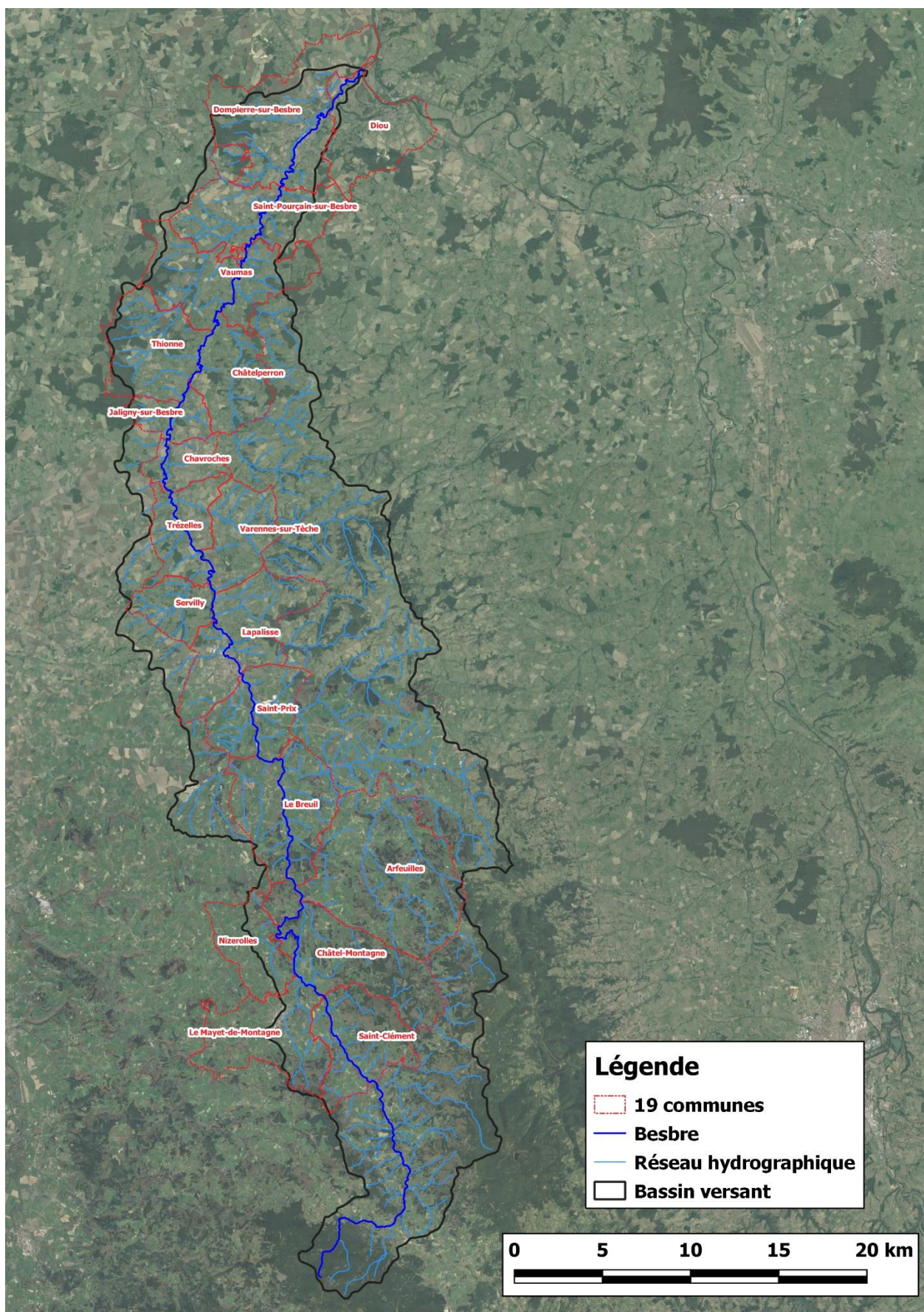


Figure 1 : Secteur d'étude

## 2 Collecte et analyse des données existantes

### 2.1 Etudes existantes

#### 2.1.1 LRPC 1996

Le bassin versant de la Besbre n'a à ce jour a priori fait l'objet que d'une seule étude relative au risque inondation, à savoir l'étude réalisée par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Clermont Ferrand en 1996.

Cette dernière a visé à définir le risque inondation sur les quatre communes de Saint-Prix, Lapalisse, Jaligny et Dompierre-sur-Besbre en vue de l'élaboration des PPRI. Les principaux résultats de cette étude sont présentés ci-après.

Une estimation des débits de crue a été réalisée au droit des trois communes concernées sur la base d'une analyse régionale appliquée aux résultats obtenus par traitement statistique des données issues des stations hydrométriques de Châtel-Montagne, Saint-Prix et Dompierre-sur-Besbre :

Période de retour	Châtel-Montagne	Saint-Prix	Lapalisse	Jaligny	Dompierre-sur-Besbre
Code station	K1503010	K1533010	K1533020	-	K1563010
Producteur	EDF	DREAL Centre	DREAL Centre	DREAL Centre	DREAL Centre
Période	1948-2014	1959-2020	1994-2008	1966-2020	1966-1999
5 ans	37	83	-	-	-
10 ans	45	102	112	145	189
30 ans	-	-	143	186	243
50 ans	59	143	158	205	270
100 ans	65	161	177	230	302
Crue décembre 1968	-	-	140	180	210

Tableau 1 : Estimation des débits de crues remarquables (m<sup>3</sup>/s) par le LRPC en 1996

**A noter que les débits obtenus à Dompierre-sur-Besbre sont jugés surestimés par les rédacteurs de l'étude.**

Un modèle hydraulique locale a été réalisé au droit de chacune des trois communes étudiées. Ces derniers ont été calés sur la base de laisses de crue de l'épisode de 1968 (et 1977 pour Dompierre-sur-Besbre), avant de pouvoir simuler les crues de période de retour 10, 30 et 100 ans.

**A noter que les profils en travers utilisés à l'époque n'ont pas pu être récupérés pour être éventuellement (ancienneté des données) valoriser dans le cadre de la présente étude.**

Les résultats obtenus sont présentés sur les figures suivantes.



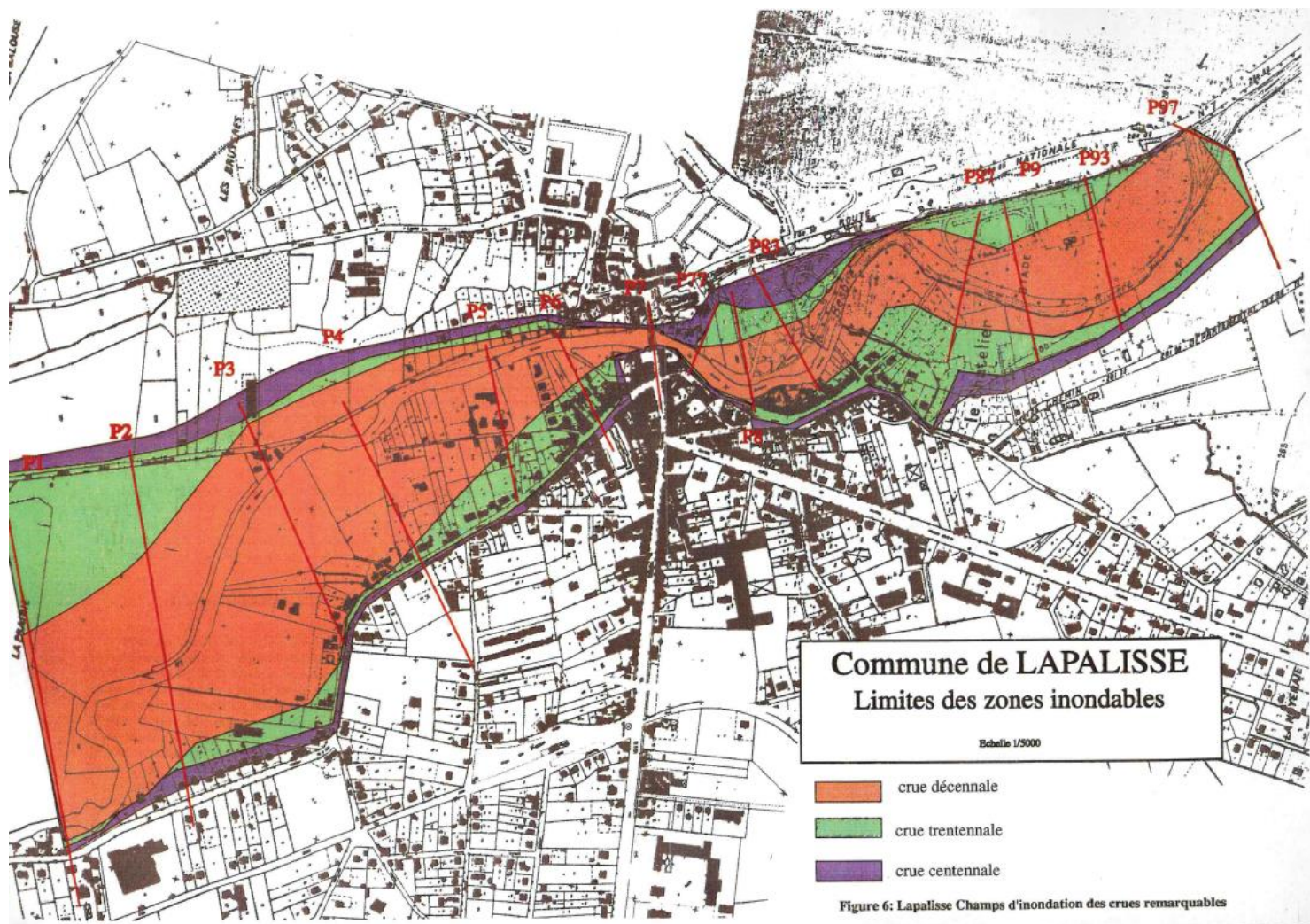


Figure 2 : Champ d'expansion des crues remarquables de Lapalisse (source : LRPC, 1996)



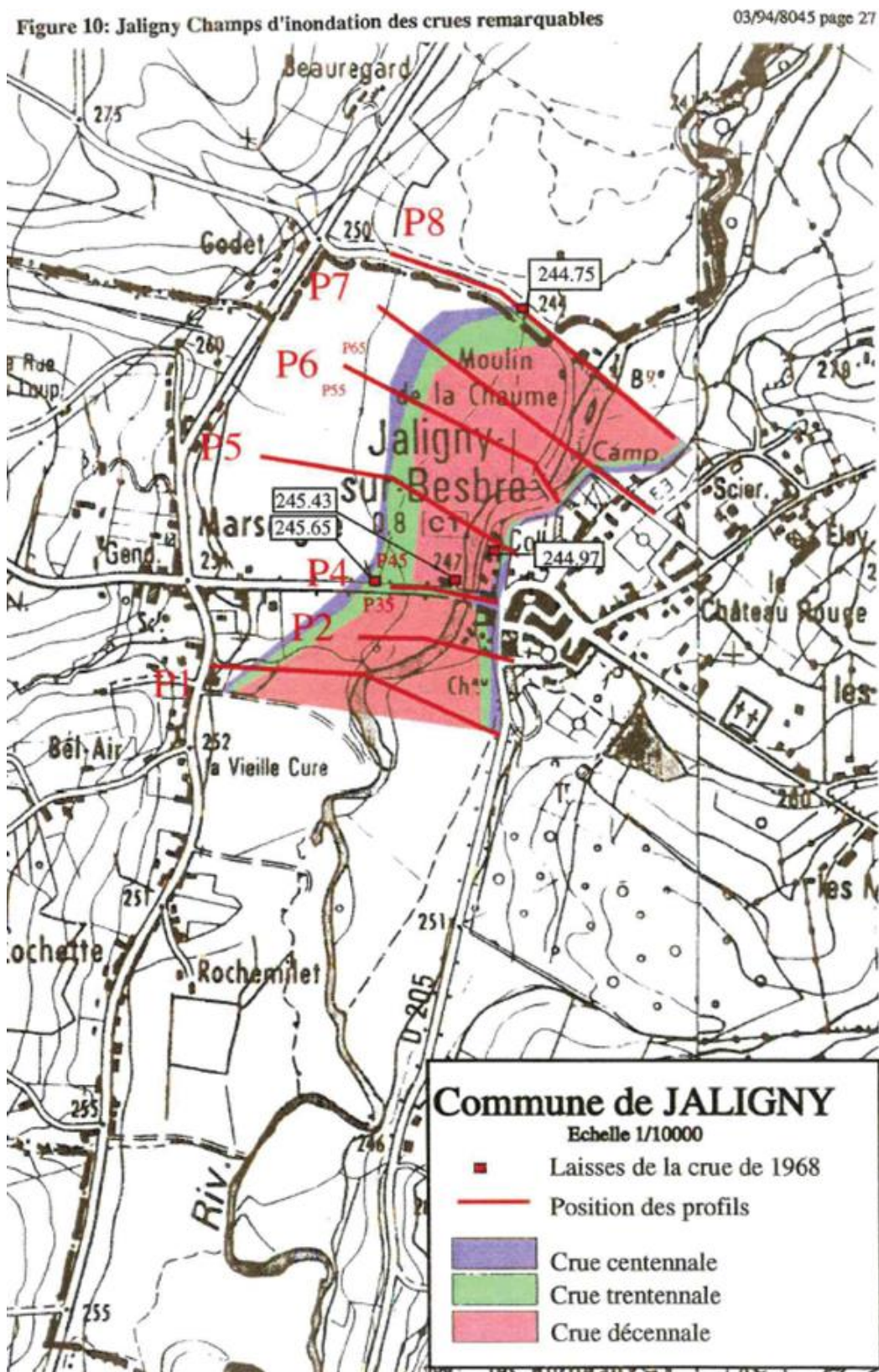


Figure 3 : Champ d'expansion des crues remarquables de Jaligny (source : LRPC, 1996)



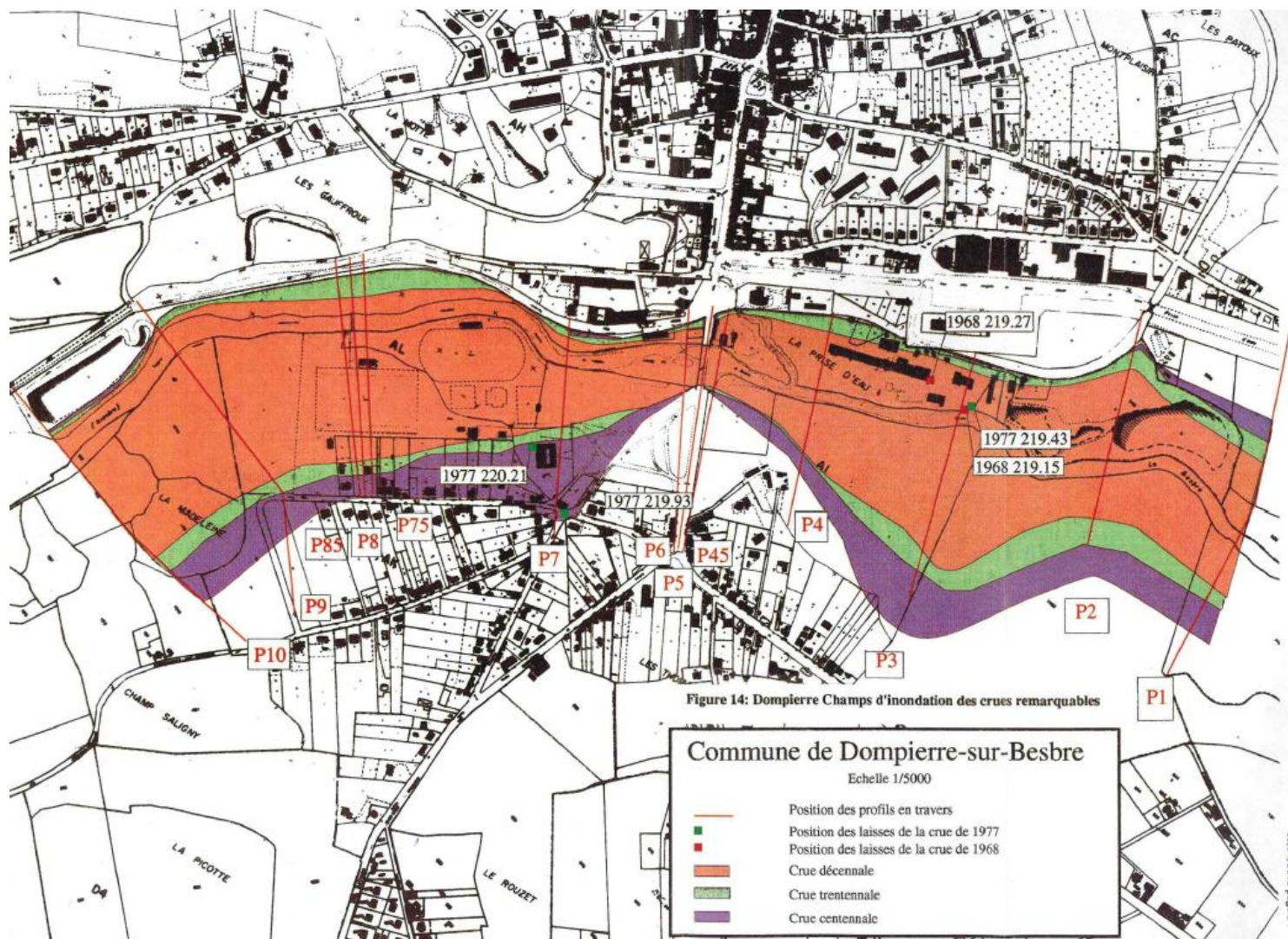


Figure 4 : Champ d'expansion des crues remarquables de Dompiere-sur-Besbre (source : LRPC, 1996)

## 2.1.2 ISL 2014-2015

Une étude hydrologique et hydraulique de la Loire dans les départements de l'Allier et la Saône-et-Loire a été réalisée par ISL en 2014-2015. Cette étude a montré que le déphasage moyen entre les pics de crue de la Besbre et de la Loire varie de plusieurs heures à plus de 24 h.

***Le risque de concomitance d'une crue de la rivière Besbre avec une crue du fleuve Loire est ainsi jugé modéré.***

Par ailleurs cette étude fournit des lignes d'eau et des repères de crue de la Loire pour les crues historiques de décembre 2003 ( $T \approx 50$  ans), novembre 2008 ( $20 \text{ ans} < T < 50$  ans) et novembre 2010 ( $T \approx 2$  ans).

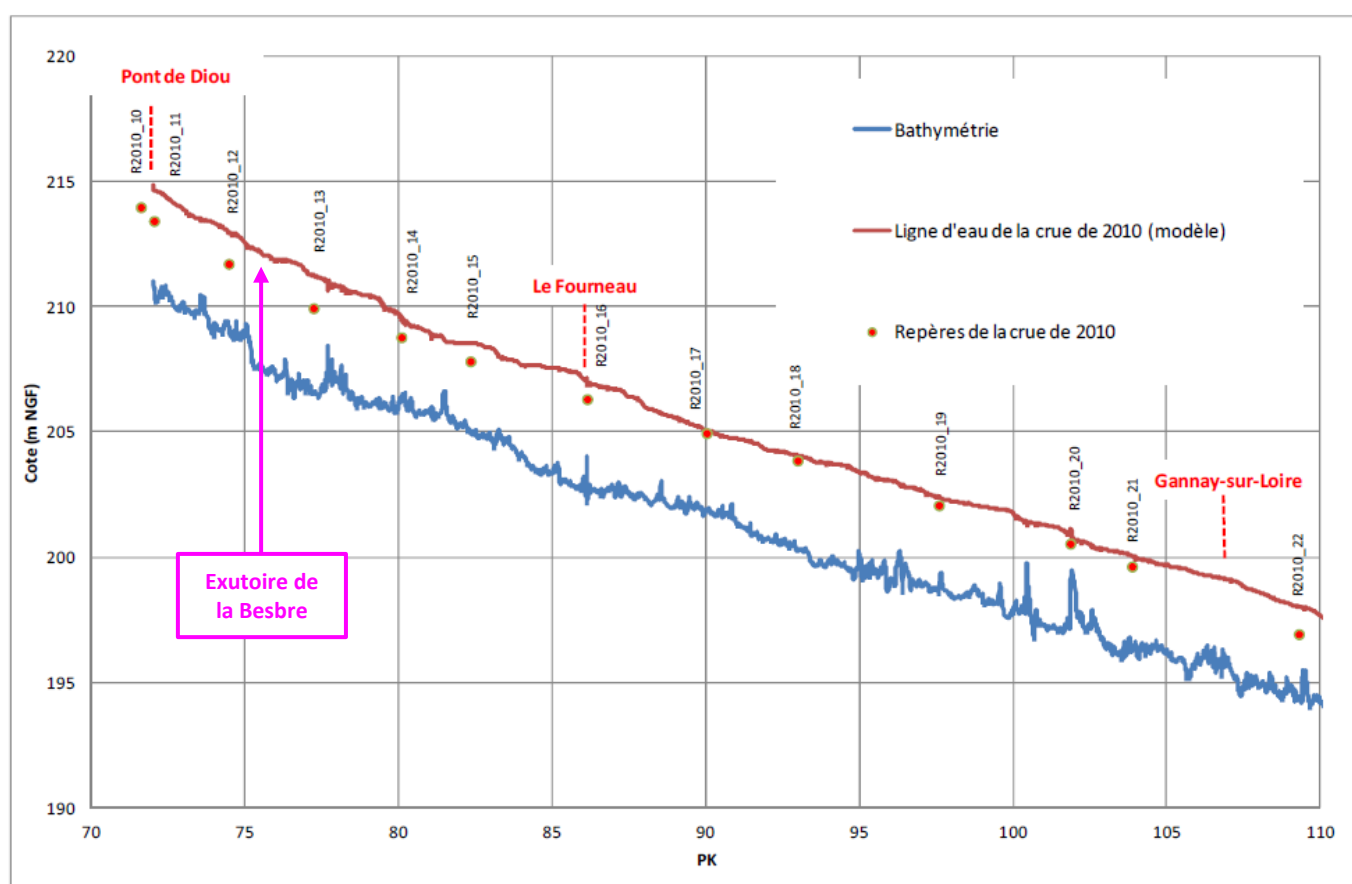


Figure 5 : Ligne d'eau calculée maximale de la crue de novembre 2010 et repères de crue (source : ISL, décembre 2014)

**La présente étude ne visant pas à étudier les débordements de la Loire, il est proposé de retenir comme condition limite aval du modèle hydraulique prévu en phase 2, le niveau d'eau de la Loire relatif à la crue de novembre 2010 de période de retour estimée à 2 ans, soit 212,45 m NGF.**

On notera que pour la crue de novembre 2010, les écarts entre la ligne d'eau maximale calculée et les repères de crue au niveau de l'exutoire de la Besbre est de l'ordre de 1,2 m.

A titre informatif et sur la base des données topographiques disponibles, l'influence de ce niveau d'eau imposé au droit de l'exutoire engendrerait un remou jusqu'à environ 500 m en aval du pont canal de Dompierre-sur-Besbre.

## 2.2 Laisses de crues

### 2.2.1 Crues historiques

Un certain nombre de laisses de crue ont été recensées sur le secteur d'étude. Ces dernières sont principalement issues de l'étude du LRPC de 1996 et sont référencées sur le site internet du Ministère de la transition écologique <https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr/>.

Coordonnées Lambert 93		Commune	Description de la localisation	Crue	Visibilité*	Validité du repère*	Cote Altimétrique* (m NGF)
X	Y						
753145	6554294	Châtel-Montagne	Barrage EDF	28 sept. 2007	NR	<b>AD</b>	<b>NR</b>
752539	6557281		Pont du moulin Châtel	<b>Non renseignée</b>	NR	<b>AD</b>	<b>NR</b>
748955	6572058	Lapalisse	Rue du 4 Septembre	26 déc. 1968	NR	V	279.22
749137	6572156		Aval du parc rive droite	26 déc. 1968	NR	V	279.41
748908	6572320		Boulevard Winston Churchill	26 déc. 1968	NR	V	279.4
748889	6572449		Rue du Souvenir français	26 déc. 1968	NR	V	278.77
749019	6572470		Rue de la prairie	26 déc. 1968	NR	V	278.45
748864	6572514		Rue du Souvenir français	26 déc. 1968	NR	V	278.56
748668	6572559		Boulevard Winston Churchill	26 déc. 1968	NR	V	278.67
748784	6572797		Rue de la prairie	26 déc. 1968	NR	V	278.3
748786	6572858		Rue de la prairie	26 déc. 1968	NR	V	277.38
748697	6573141		Rue de la prairie - la Motte	26 déc. 1968	NR	V	276.83
745290	6580995	Trézelles	Pont de la RD 23	<b>Non renseignée</b>	NR	<b>AD</b>	<b>NR</b>
745202	6586881	Jaligny-sur-Besbre	Allée de Marseigne - à la croix	26 déc. 1968	NR	V	245.65
745362	6586882		Aval du pont rive gauche	26 déc. 1968	NR	V	245.43
745443	6586939		Rue de la Chaume	26 déc. 1968	NR	V	244.97
745499	6587418		Chemin de la Chaume	26 déc. 1968	NR	V	244.75
752366	6601770	Dompierre-sur-Besbre	Camping municipal, sanitaires	Mai 2012	Oui	NR	<b>NR</b>
752654	6601993		Rue de la petite Madeleine	1 jan. 1977	NR	V	219.93
752543	6602008		Piscine	1 jan. 1977	NR	V	220.21
752338	6602023		Stade de foot, bâtiment du stade	Mai 2012	Oui	NR	<b>NR</b>
752511	6602052		Camping municipal, avant l'entrée	Mai 1977	Oui	NR	<b>NR</b>
752511	6602052		Camping municipal, avant l'entrée	Mai 2012	Oui	NR	<b>NR</b>
752801	6602528		Bâtiment industriel à la Prise d'eau	26 déc. 1968	NR	V	219.27
752876	6602572		Bâtiment industriel à la Prise d'eau	26 déc. 1968	NR	V	219.15
752873	6602583		Bâtiment industriel à la Prise d'eau	1 jan. 1977	NR	V	219.43

\* AD : Approximative ou Douteuse / V : Valable / NR : Non Renseignée

Tableau 2 : Repères de crue recensés sur le secteur d'étude





**Figure 6 : Exemple de laisses de crue recensées sur la commune de Dompierre-sur-Besbre**  
 (source : <https://www.reperesdecrues.developpement-durable.gouv.fr/>)

Au global, 26 laisses de crue réparties sur 5 communes ont été recensées. Deux d'entre elles ne sont pas rattaché à un épisode de crue donné. Sans compter ces dernières, 5 laisses de crue n'ont pas de cote altimétrique associée.

Les enquêtes de terrain menées in situ avec les services techniques des communes (cf. §2.3.1) ont permis d'identifier quelques laisses de crues supplémentaires sans pour autant définir de manière certaine à quelle crue ces dernières étaient associées.



Figure 7 : Exemple de laisse de crue identifiée lors des investigations de terrain sur la place de Lapalisse

## 2.2.2 Crue récente de mi-janvier 2021

Un épisode de crue (d'une période de retour estimée de l'ordre de 2 ans) s'est déroulé sur la Besbre à la mi-janvier 2021 à la suite duquel la DDT03 et le Service de Prévision des Crues (SPC) Loire-Cher-Indre ont procédé à des opérations de levés de repères de crues le 15 et 16 janvier (cf. Figure 8).





Figure 8 : Crue de mi-janvier 2021 (source : DDT03 / SPC Loire-Cher-Indre)

Au global, 109 repères de crues (cf. Annexe 1) ont été levés lors du premier pic de crue (cf. Figure 9) sur l'ensemble du linéaire de la Besbre depuis la commune de Saint-Prix jusqu'à Diou.

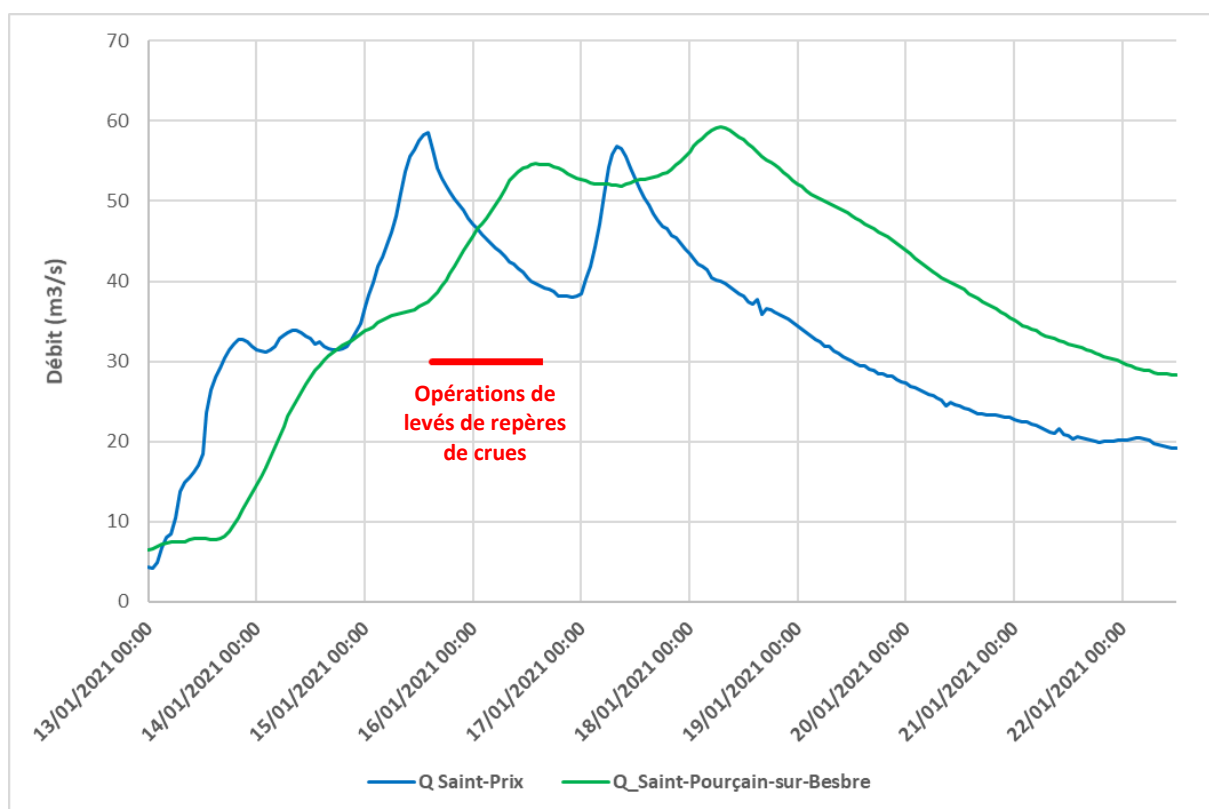


Figure 9 : Hydrogrammes de la crue de mi-janvier 2021 enregistrés aux stations hydrométriques de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre

Compte tenu du caractère récent de la crue (configuration actuel du réseau hydrographique et des ouvrages hydrauliques) ainsi que de la densité du nombre de repère de crue levés (109) et de leur couverture géographique (60 km de cours d'eau et 11 communes), le calage du modèle hydraulique prévu en phase 2 sera principalement basé sur l'épisode de mi-janvier 2021.

## 2.3 Enquête auprès des acteurs locaux

### 2.3.1 Communes

Un questionnaire relatif aux inondations de la Besbre a été transmis à chacune des 19 communes du secteur d'étude. Sur les 19 communes consultées, 9 ont répondu au questionnaire soit un taux de retour de 47 %.

Il a permis de collecter l'ensemble des données et retours d'expérience à disposition des communes sur le risque inondation à l'échelle de leur territoire de manière à pouvoir les valoriser dans le cadre de la présente étude.

Le questionnaire a par ailleurs permis, préalablement aux investigations de terrain, d'identifier les personnes ressources et organiser des rencontres in situ (cf. §2.4).



## INONDATION DE LA BESBRE LE 30/07/08



RD7 L'Hermitage à 10h00



RD7 La Gièze Les Faubourgs à 10h00



Quais de la Besbre à 10h00



RD423 Le Moulin Marin à 10h00

Figure 10 : Extrait des éléments fournis par la commune de Lapalisse en retour au questionnaire envoyé



### 2.3.2 Gestionnaires d'ouvrages

Les gestionnaires des différents ouvrages hydrauliques présents sur le secteur d'étude (cf. Figure 11) ont été contactés afin d'obtenir des informations quant au fonctionnement de ces derniers.

- EDF :
  - Barrage hydro-électrique de Mayet de Montagne,
  - Barrage de démodulation dit "Le Petit Barrage" sur la commune de Châtel-Montagne.
- VNF :
  - Barrage de prise d'eau des Percières sur la commune de Dompierre-sur-Besbre,
  - Canal de Dompierre-sur-Besbre,
  - Canal latéral à la Loire.

#### ➤ EDF

Un accord de confidentialité a été passé avec EDF qui a ainsi pu fournir les éléments suivants qui seront valorisés dans le cadre de la présente étude :

- rapport de la crue de mai 2012 au barrage de Mayet de Montagne (crue la plus importante constatée sur l'ouvrage depuis une quarantaine d'années),
- bathymétrie de 2002 (la plus récente) du barrage de Mayet de Montagne,
- étude de dangers (EDD) datant de 2012 du barrage de Mayet de Montagne,
- extraits de document concernant les cotes de référence aux barrages de Mayet de Montagne et de Châtel-Montagne.

**On notera que ces ouvrages n'ont aucune vocation d'écrêtage de crue.**

#### ➤ VNF

Les éléments fournis par VNF et qui seront valorisés dans le cadre de la présente étude sont les suivants :

- Barrage des Percières :
  - arrêté préfectoral du 15 septembre 2010,
  - plan topographique,
  - consignes écrites.

Les services techniques de VNF ont par ailleurs été rencontrés in situ (cf. §2.4).

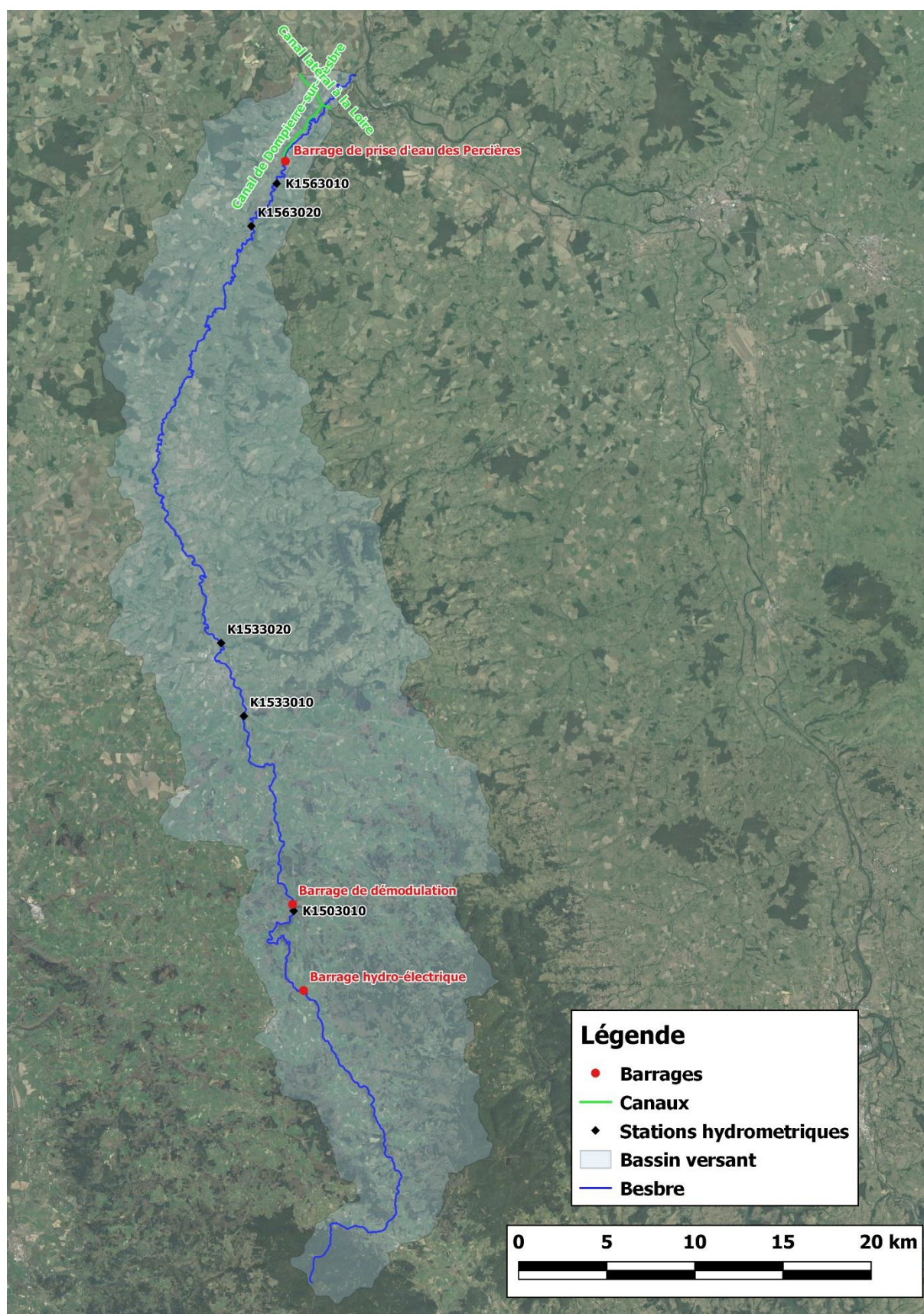


Figure 11 : Ouvrages gérés par EDF et VNF sur le secteur d'étude

## 2.4 Investigations de terrain

Une campagne de terrain a été réalisée par Antea Group en mars 2021 au cours de laquelle un certain nombre de secteurs du linéaire de la Besbre ont été visités.

Par ailleurs, un certain nombre d'acteurs locaux ont été rencontrés in situ :

- VNF,
- Services techniques des communes de Dompierre-sur-Besbre, Lapalisse, Trézelles et Jaligny-sur-Besbre,
- Propriétaires/gestionnaires de moulins : Moulin de La Figourdine, Moulin Le Pont Clavel, Moulin du Breuil, Moulin Marin, Moulin de Vaumas, Domaine le Roc Foucaud.

Ces investigations de terrain et entretiens ont permis de bien appréhender le fonctionnement hydraulique du secteur d'étude (zones d'écoulement fonctionnelles ou non, ouvrages structurants et singularités influençant le fonctionnement hydraulique de la Besbre et notamment leur état, leur statut et leur gestion, évolutions anthropiques, zones d'érosion, etc.) en prévision de la réalisation du modèle hydraulique prévu en phase 2 et du calage de ce dernier.

Une cartographie synthétique est présentée en Annexe 2.

## 2.5 Analyse des données topographiques et définition des besoins

En vue de réaliser le modèle hydraulique prévu en phase 2 de la Besbre, des données topographiques sont nécessaires. Les paragraphes suivants font le point sur les données topographiques existantes avant le lancement de la présente étude et définissent les levés topographiques complémentaires nécessaires à la réalisation de la mission.

A noter que le programme d'investigations topographiques a pu être adapté à la marge en cours d'étude à l'issue des informations collectées lors des investigations de terrain.

### 2.5.1 Lit mineur

Les profils en travers ainsi que les éventuelles élévations d'ouvrages ayant servis pour la réalisation des modèles hydrauliques du LRPC de 1996 (cf. 2.1.1) n'ont pas pu être récupéré pour pouvoir être valorisé dans le cadre de la présente étude.

Compte-tenu de l'absence de données disponibles sur l'ensemble du linéaire d'étude, les levés bathymétriques et topographiques suivants sont prévus début 2021 :

- 231 profils en travers du lit mineur,
- 158 élévations d'ouvrages hydrauliques.

Les profils en travers et ouvrages hydrauliques levés dans le cadre de la présente étude sont localisés sur la cartographie synthétique présentée en Annexe 2.

### 2.5.2 Lit majeur

Le secteur d'étude est partiellement couvert par deux Modèle Numérique de Terrain (MNT)

- MNT\_RIV\_LOIRE non filtré au pas de 1 m, datant de 2009, couvrant uniquement la partie aval du secteur d'étude au niveau de la confluence avec La Loire,
- MNT\_BESBRE\_1M\_2019 au pas de 1 m, datant de 2019, couvrant les 2/3 du secteur d'étude.

Afin de pouvoir disposer d'une couverture complète du linéaire d'étude à modéliser, la réalisation d'un levé LIDAR complémentaire en partie amont du bassin versant est prévue début 2021.



## 3 Analyse hydrologique

### 3.1 Caractéristiques du bassin versant

La Besbre, qui draine un bassin versant de l'ordre de 769 km<sup>2</sup>, s'étend sur un linéaire totale de l'ordre de 100 km depuis sa source au niveau du Puy Montoncel (1287 m NGF) sur la commune de Lavoine jusqu'à sa confluence avec la Loire (208 m NGF) sur la commune de Diou.

Le bassin versant présente une forme générale très allongée qui a tendance à atténuer les débits importants vers l'aval tout en favorisant la concentration des eaux de ruissellement des affluents.

La partie amont est relativement boisée tandis que la partie aval est globalement occupée par des surfaces agricoles.

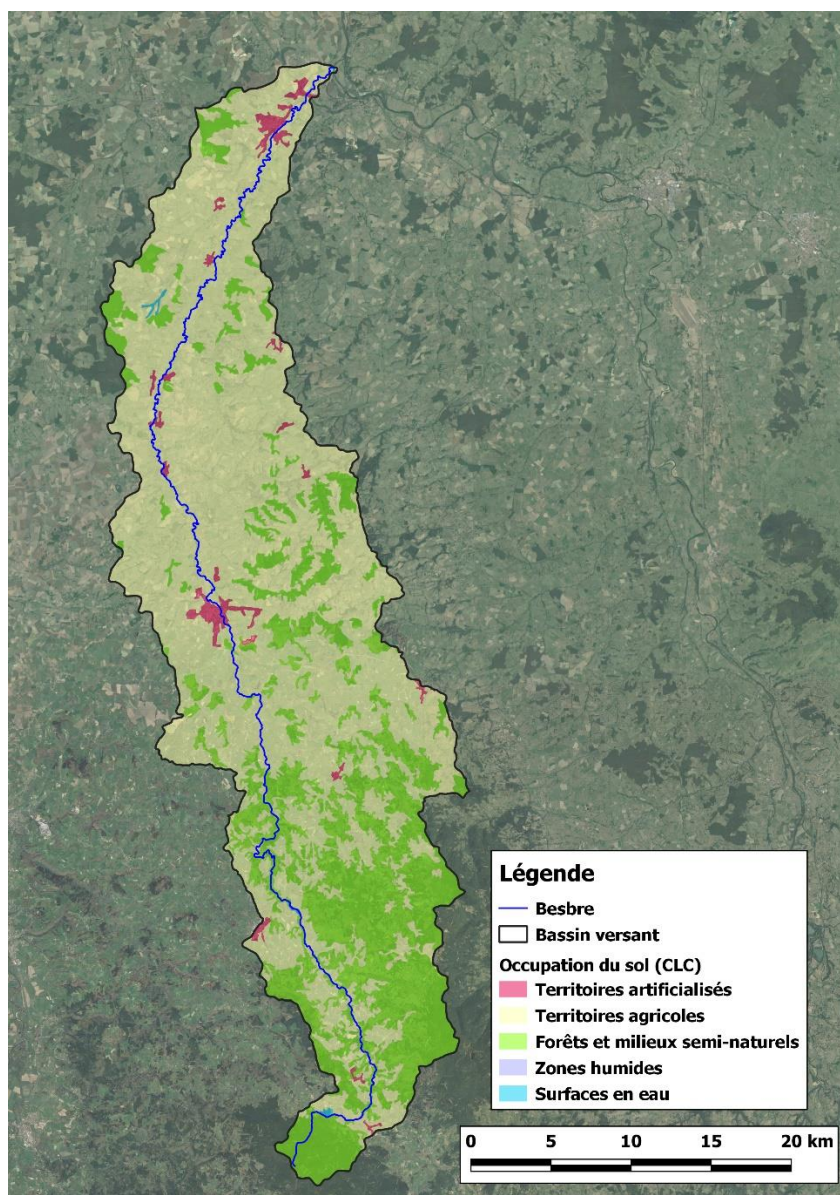


Figure 12 : Occupation du sol du bassin versant de la Besbre (source : Corine Land Cover)



## 3.2 Estimation des débits de crue

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour estimer les débits de pointe et sont présentées dans les paragraphes qui suivent. Une synthèse compare les résultats obtenus par les différentes méthodes ainsi que ceux issus de l'étude LRPC de 1996 et conclut sur les débits de pointe à retenir.

### 3.2.1 Stations hydrométriques

Cinq stations hydrométriques sont présentes sur la Besbre mais seulement 3 sont encore en service :

Période de retour	Châtel-Montagne	Saint-Prix	Lapalisse*	Saint-Pourçain-sur-Besbre	Dompierre-sur-Besbre*
Code station	K1503010	K1533010	K1533020	K1563020	K1563010
Bassin versant	135 km <sup>2</sup>	360 km <sup>2</sup>	452 km <sup>2</sup>	710 km <sup>2</sup>	721 km <sup>2</sup>
Producteur	EDF	DREAL Centre	DREAL Centre	DREAL Centre	DREAL Centre
Période	1948-2014	1959-2020	1994-2008	1966-2020	1966-1999
2 ans	Non calculé	49	40	57	56
5 ans	Non calculé	70	52	82	75
10 ans	Non calculé	84	59	98	87
20 ans	Non calculé	98	66	110	99
50 ans	Non calculé	120	Non calculé	130	110
100 ans	Non calculé	Non calculé	Non calculé	Non calculé	Non calculé

\* Stations hors service

**Tableau 3 : Débits instantané maximaux de référence (m<sup>3</sup>/s) aux stations hydrométriques de la Besbre (source : [hydro.eaufrance.fr](http://hydro.eaufrance.fr), avril 2021)**

### 3.2.2 Ajustement statistique

Un ajustement statistique (loi de Gumbel / méthode des moments) a été réalisé par nos soins sur les débits maximums instantanés annuels mesurés sur la période d'observation de chacune des deux stations hydrométriques encore en service en intégrant les différents débits reconstitués.

La station de Châtel-Montagne n'a pas été retenue dans la présente analyse car cette dernière ne fournit pas de débits instantanés (EDF ne reverse que des débits moyens journaliers) tandis que les stations de Lapalisse et Dompierre-sur-Besbre ne couvrent pas une durée suffisamment longue ou les dernières crues récentes.

A noter que l'historique de la station de Dompierre-sur-Besbre est utilisé pour déterminer les valeurs statistiques à celle de Saint-Pourçain-sur-Besbre.

Les résultats obtenus sont présentés sur les graphes ci-après.

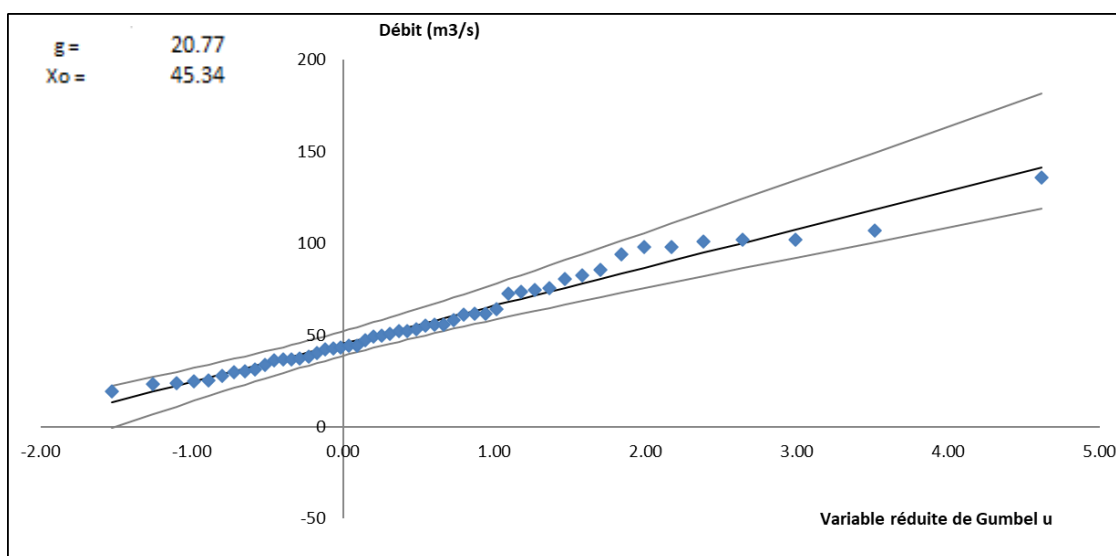


Figure 13 : Ajustement de Gumbel (méthode des moments) sur les débits de pointe à la station de Saint-Prix sur la période de 1959 à 2020

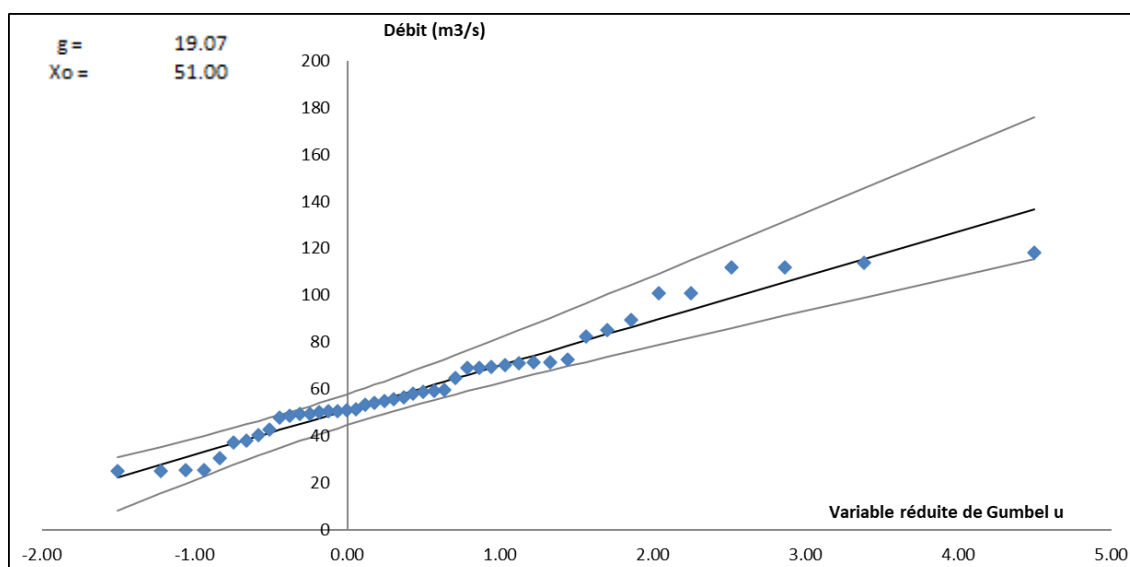


Figure 14 : Ajustement de Gumbel (méthode des moments) sur les débits de pointe à la station de Saint-Pourçain-sur-Besbre sur la période de 1966 à 2020

Les débits de pointe obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Période de retour	Saint-Prix	Saint-Pourçain-sur-Besbre
2 ans	53	58
5 ans	76	80
10 ans	92	94
20 ans	107	108
50 ans	116	116
100 ans	126	125

Tableau 4 : Débits de pointe (m³/s) de la Besbre aux stations hydrométriques de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre calculés par ajustement statistique (source : Antea Group)

### 3.2.3 Méthode du Gradex

La méthode du Gradex a été développée par EDF dans les années 1960 (Guillot et Duband, 1967). Elle servait à l'origine à l'estimation des débits des crues exceptionnelles sur les barrages. La méthode du Gradex s'applique aux bassins versants d'une superficie de quelques dizaines de km<sup>2</sup> à plusieurs milliers de km<sup>2</sup>. Cette méthode suppose qu'à partir d'un certain seuil (point pivot correspondant typiquement à des périodes de retour de 10 à 50 ans), le sol devient totalement saturé et l'excédent de précipitation ruisselle alors intégralement. Tout excédent de pluie se traduit alors en débit.

Elle conduit souvent à une surestimation des débits de crue, ce qui, en termes de gestion des risques, va dans le sens de la sécurité.

La méthode du gradex dit « brutal » s'exprime de la façon suivante :

$$Q_p(T) = Q_p(T_0) + G_Q(d) \times (u_T - u_{T_0}) \times R_d$$

Avec :

- $Q_p(T)$  : le débit de pointe pour la période de retour T
- $Q_p(T_0)$  : le débit de pointe pour la période de retour  $T_0$ , constituant le point « pivot »
- $G_Q(d)$  : le gradex des débits calculé sur la durée « d »
- $u_T$  : la variable de Gumbel pour la période de retour T
- $u_{T_0}$  : la variable de Gumbel pour la période de retour  $T_0$
- $R_d$  : le coefficient d'affinité

Une variante de la méthode du gradex « brutal » appelée gradex « esthétique » ou « progressif » a été proposée en 2007 (Lang et Lavabre) pour palier à l'effet de « cassure » du débit au niveau du point pivot (cf. Figure 15).

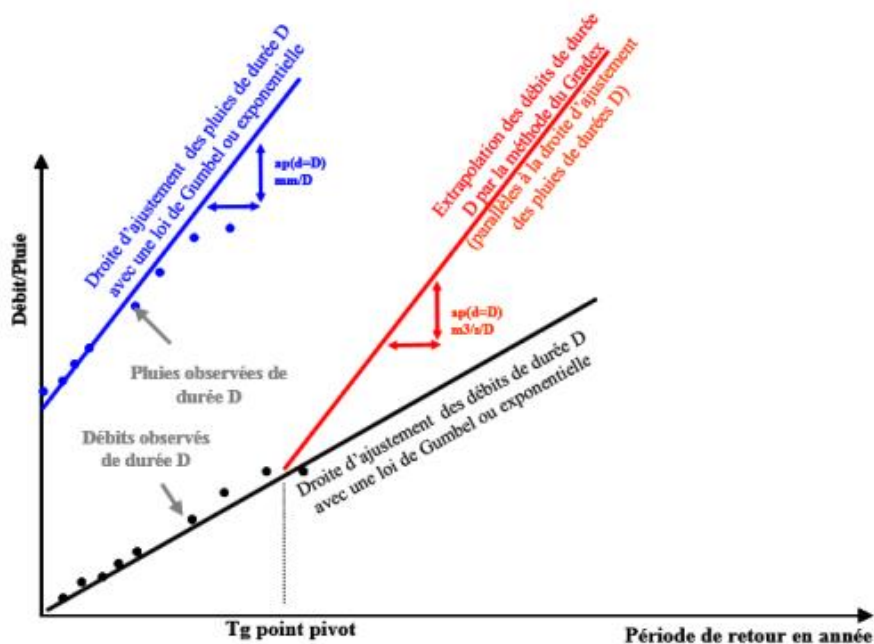


Figure 15 : Présentation de la méthode du Gradex (source : thèse de Y.Aubert)

La méthode du gradex dit « progressif » s'exprime de la façon suivante :

$$Q_p(T) = Q_p(T_0) + G_d \times \ln \left[ 1 + \frac{G_q \times (T - T_0)}{G_d \times T_0} \right]$$

Avec

- $G_d$  : le gradex de l'ajustement des débit mesurés

La durée caractéristique « d » correspond à la durée moyenne des hydrogrammes de crue. Celle-ci a été estimée par analyse des principaux hydrogrammes de crue aux stations de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre. Une durée respective de 48 et 72 heures environ a été retenue. Le coefficient d'affinité, résultant du rapport entre le débit de pointe et le volume écoulé sur la durée caractéristique a été calculé pour les principales crues historiques. On obtient une valeur moyenne de l'ordre de 1,4.

Le gradex des débits est apprécié par transposition du gradex des pluies calculé sur la durée caractéristique (48 et 72 heures) estimé sur la base des données de pluies acquises auprès de Météo France pour les besoins de l'étude au droit des stations d'Arfeuilles (03006003, 1989-2018, alt. 450 m) et de Diou (03100001, 1960-2018, alt. 220 m) situées respectivement sur les parties amont et aval du bassin versant (cf. Figure 16).

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	76.0 mm	72.1 mm	80.1 mm
10 ans	86.3 mm	81.9 mm	91.0 mm
20 ans	96.3 mm	91.7 mm	101.7 mm
30 ans	102.2 mm	97.4 mm	108.1 mm
50 ans	109.7 mm	104.6 mm	116.2 mm
75 ans	115.6 mm	110.3 mm	122.8 mm
100 ans	119.9 mm	114.5 mm	127.5 mm

**Tableau 5 : Cumuls pluviométriques à la station de Arfeuilles pour différentes périodes de retour – épisode 48h**  
(source : Météo-France)

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	69.5 mm	67.3 mm	71.8 mm
10 ans	77.6 mm	75.1 mm	80.3 mm
20 ans	85.3 mm	82.6 mm	88.3 mm
30 ans	89.7 mm	86.8 mm	92.9 mm
50 ans	95.1 mm	92.0 mm	98.7 mm
75 ans	99.3 mm	96.1 mm	103.2 mm
100 ans	102.2 mm	98.9 mm	106.5 mm

**Tableau 6 : Cumuls pluviométriques à la station de Diou pour différentes périodes de retour – épisode 72h**  
(source : Météo-France)



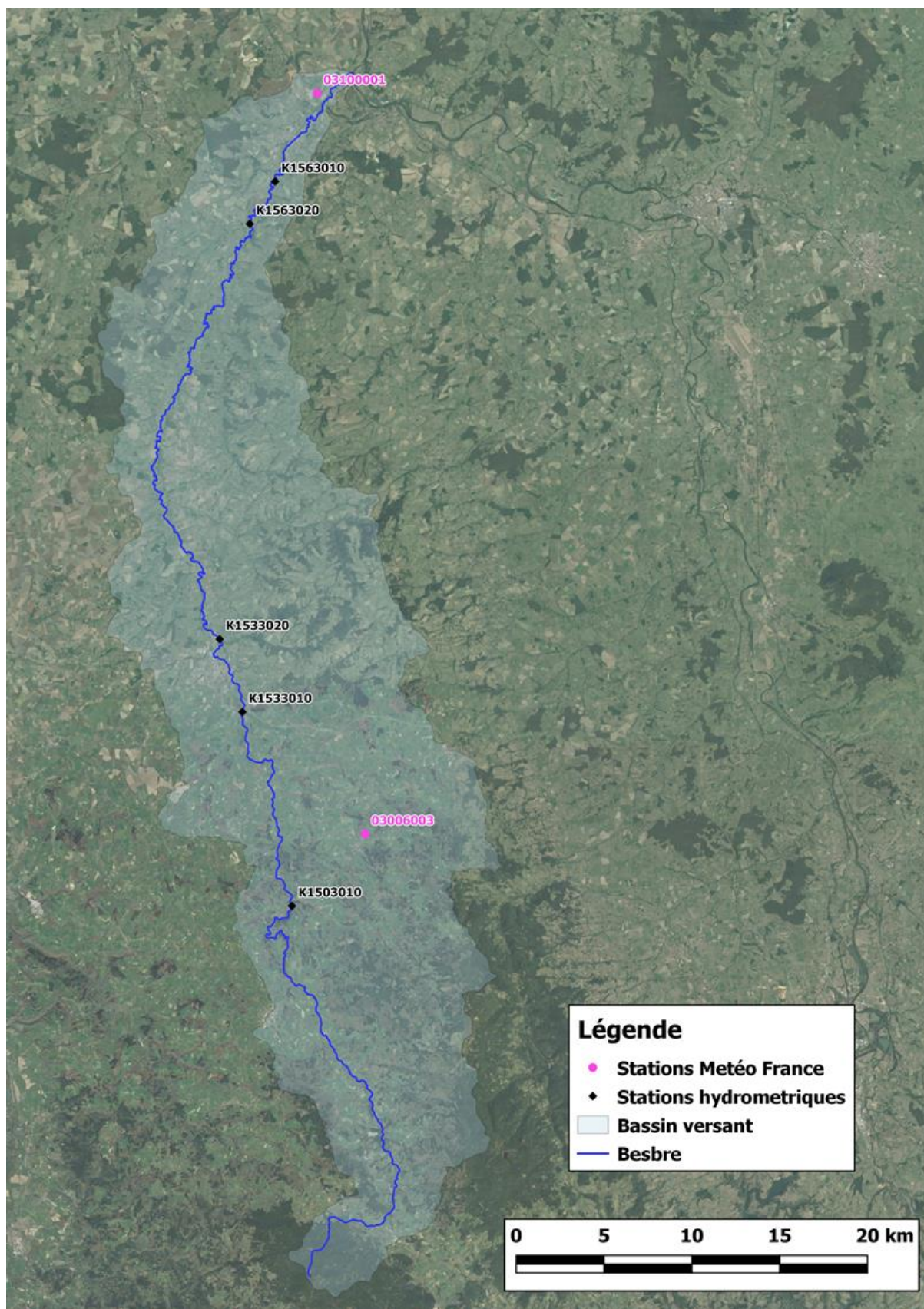


Figure 16 : Localisation des stations Météo-France de Arfeuilles et de Diou



Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau ci-après.

Période de retour	Saint-Prix				Saint-Pourçain-sur-Besbre			
	Pivot 10 ans		Pivot 50 ans		Pivot 10 ans		Pivot 50 ans	
	Gradex brutal	Gradex progressif	Gradex brutal	Gradex progressif	Gradex brutal	Gradex progressif	Gradex brutal	Gradex progressif
20 ans	121	114	-	-	122	114	-	-
30 ans	138	128	-	-	139	128	-	-
50 ans	159	147	-	-	160	146	-	-
100 ans	188	175	155	148	188	173	154	146
200 ans	216	202	184	173	217	200	182	170
300 ans	233	219	201	189	233	216	199	185
500 ans	254	240	222	209	254	237	220	204
1 000 ans	283	268	251	237	282	265	248	232

Tableau 7 : Débits de pointe (m³/s) de la Besbre à Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre calculés par la méthode du Gradex

### 3.2.4 Quantiles SHYREG

Les quantiles de débit SHYREG de la France métropolitaine sont disponibles pour près de 140 000 exutoires contrôlant une surface de bassin versant comprise entre 5 et 5 000 km² et répartis de façon homogène sur tout le territoire, sur un site web mis en place par IRSTEA Aix-en-Provence pour les services de l'état et les bureaux d'études ayant l'agrément pour le « Contrôle des ouvrages hydrauliques ».

La méthode SHYREG-débit reposant sur une approche régionale des débits naturels de bassins versants ruraux, elle ne prend pas en compte les éventuelles spécificités significatives à l'échelle du bassin versant telles que les karsts, les aménagements hydrauliques, les champs d'expansion des crues, le régime nival et n'est pas adaptée aux bassins versants très fortement urbanisés.

Les quantiles SHYREG 2019 disponibles au droit des deux stations hydrométriques ayant fait l'objet d'un ajustement statistique (cf. §3.2.2) sont les suivants :

Période de retour	Saint-Prix	Saint-Pourçain-sur-Besbre
2 ans	49	68
5 ans	67	94
10 ans	82	116
20 ans	100	141
50 ans	129	182
100 ans	158	220
500 ans	254	348
1 000 ans	313	426

Tableau 8 : Quantiles de débits de pointe (m³/s) SHYREG de la Besbre au droit des stations hydrométriques de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre (2019)

### 3.2.5 Synthèse

Les valeurs obtenues via l'évaluation des débits de pointe de la Besbre selon les différentes méthodes employées ainsi que les valeurs retenues dans l'étude du LRPC de 1996 (cf.§2.1.1) sont présentées dans les tableaux et sur les figures ci-après.

Période de retour	LRPC 1996	Quantiles SHYREG	Banque Hydro	Ajustement statistique	Gradex brutal (pivot 10 ans)	Gradex progressif (pivot 10 ans)	Gradex brutal (pivot 50 ans)	Gradex progressif (pivot 50 ans)
2 ans	-	49	49	53	-	-	-	-
5 ans	83	67	70	76	-	-	-	-
10 ans	102	82	84	92	-	-	-	-
20 ans	-	100	98	107	121	114	-	-
30 ans	-	-	-	116	138	128	-	-
50 ans	143	129	120	126	159	147	-	-
100 ans	161	158	-	141	188	175	155	148
200 ans	-	-	-	155	216	202	184	173
300 ans	-	-	-	164	233	219	201	189
500 ans	-	254	-	174	254	240	222	209
1 000 ans	-	313	-	189	283	268	251	237

Tableau 9 : Synthèse des différents débits de pointe obtenus (m<sup>3</sup>/s) au droit de la station de Saint-Prix

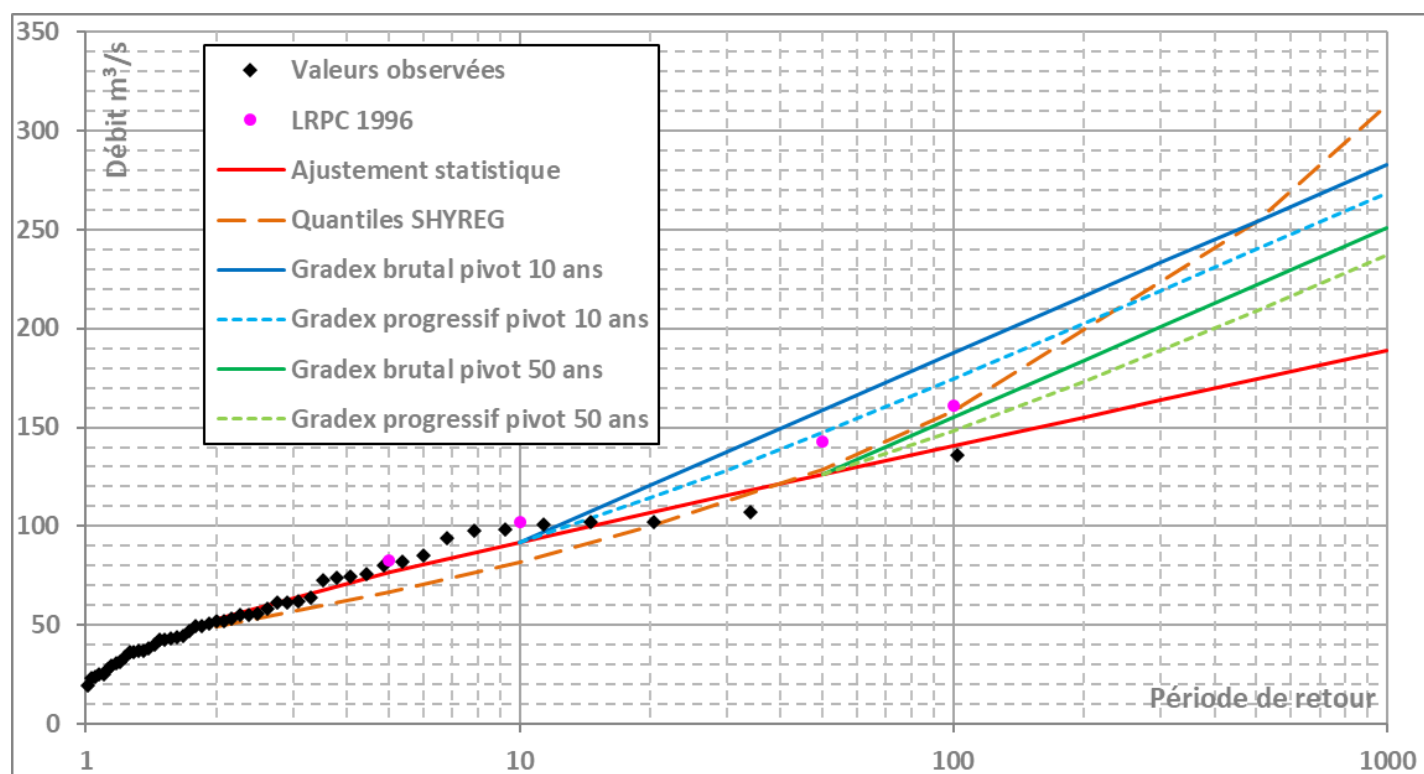


Figure 17 : Synthèse des différents débits de pointe obtenus au droit de la station de Saint-Prix

Période de retour	LRPC 1996	Quantiles SHYREG	Banque Hydro	Ajustement statistique	Gradex brutal (pivot 10 ans)	Gradex progressif (pivot 10 ans)	Gradex brutal (pivot 50 ans)	Gradex progressif (pivot 50 ans)
2 ans	-	68	57	58	-	-	-	-
5 ans	-	94	82	80	-	-	-	-
10 ans	-	116	98	94	-	-	-	-
20 ans	-	141	110	108	122	114	-	-
30 ans	-	-	-	116	139	128	-	-
50 ans	-	182	130	125	160	146	-	-
100 ans	-	220	-	139	188	173	154	146
200 ans	-	-	-	152	217	200	182	170
300 ans	-	-	-	160	233	216	199	185
500 ans	-	348	-	169	254	237	220	204
1 000 ans	-	426	-	183	282	265	248	232

Tableau 10 : Synthèse des différents débits de pointe obtenus ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) au droit de la station de Saint-Pourçain-sur-Besbre

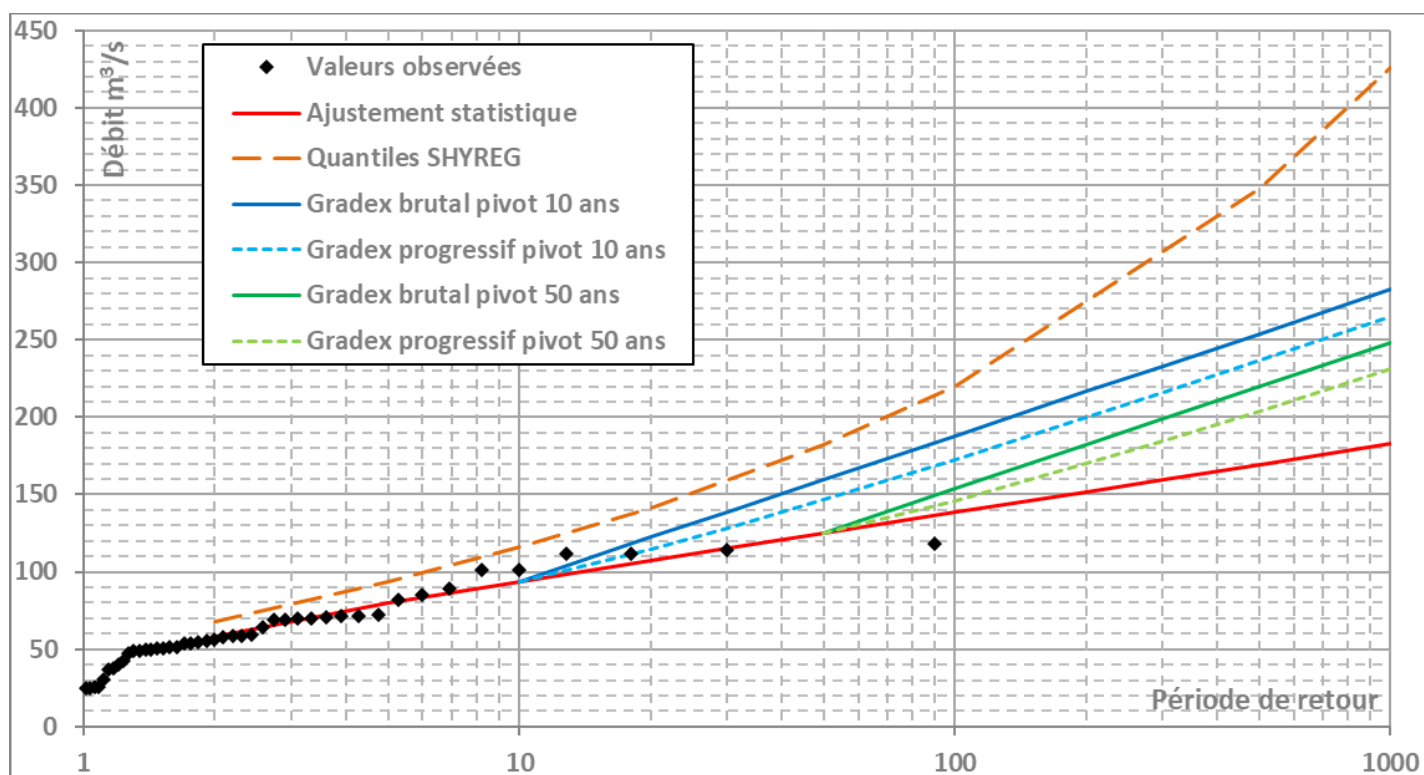


Figure 18 : Synthèse des différents débits de pointe obtenus au droit de la station de Saint-Pourçain-sur-Besbre

Au regard de l'analyse hydrologique menée et par soucis d'homogénéité de méthode, il est proposé de retenir aux stations de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre les valeurs de débits de pointe issues de l'ajustement statistique (loi de Gumbel) qui paraissent les plus appropriées notamment au regard du nombre (50 environ) d'évènements observés et de l'absence de « cassure » dans les débits observés.



Période de retour	Saint-Prix	Saint-Pourçain-sur-Besbre
2 ans	53	58
5 ans	76	80
10 ans	92	94
20 ans	107	108
30 ans	116	116
50 ans	126	125
100 ans	141	139
200 ans	155	152
300 ans	164	160
500 ans	174	169
1 000 ans	189	183

Tableau 11 : Débits de pointe retenus (m<sup>3</sup>/s) de la Besbre

Pour la suite de l'étude, nous proposons de retenir les scénarios suivants :

- événement fréquent : T = 10 ans
- événement moyen / Crue de référence : T = 100 ans
- événement extrême : T = 1 000 ans

Sur la base des résultats obtenus, les débits de pointe pourront être estimés en d'autres points du secteur d'étude par la formulation de Myer, qui lie les rapports de surfaces drainées et de débits de deux bassins versant.

Les hydrogrammes de crue seront élaborés selon la méthodologie suivante :

- élaboration d'un hydrogramme théorique centré/réduit basé sur les 4-5 plus fortes crues enregistrés aux stations hydrométriques de Saint-Prix et Saint-Pourçain-sur-Besbre,
- application du débit de pointe par homothétie.

### **Observation sur l'utilisation du rapport**

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

## **Annexe 1 : Repères de la crue de mi-janvier 2021 (source : DDT 03/ SPC Loire-Cher-Indre)**



X	Y	Commune	Date	heure	Cote altimétrique (m NGF)
749693.488	6569656.834	Saint-Prix	15/01/2021	15:03	286.17
749653.08	6569714.363		15/01/2021	14:58	286.09
749650.94	6569746.302		15/01/2021	15:01	286.07
749660.875	6569797.848		15/01/2021	14:50	286.01
749849.517	6570176.311		15/01/2021	15:16	284.85
749672.718	6570559.106		15/01/2021	15:20	283.38
749239.508	6571576.162		15/01/2021	15:32	279.93
749188.723	6571626.906		15/01/2021	15:25	279.90
749171.725	6571683.052		15/01/2021	15:27	279.82
749168.93	6571986.803		15/01/2021	15:43	279.04
749035.352	6572065.922	Lapalisse	15/01/2021	15:41	278.65
748985.813	6572096.977		15/01/2021	15:37	278.64
749011.17	6572187.807		15/01/2021	16:00	278.56
749065.582	6572235.032		15/01/2021	15:56	278.44
748994.704	6572377.177		15/01/2021	16:08	278.27
748994.76	6572394.92		15/01/2021	16:10	278.25
748974.33	6572397.32		15/01/2021	16:10	278.27
748985.431	6572415.172		15/01/2021	16:10	278.27
748942.913	6572591.276		15/01/2021	16:37	278.06
748875.183	6572678.212		15/01/2021	16:40	277.88
748811.676	6572762.7		15/01/2021	16:42	277.84
748156.955	6573015.062		15/01/2021	16:19	276.43
748242.658	6573781.756		15/01/2021	16:25	274.25
748380.806	6573898.934		15/01/2021	16:51	273.99
747992.526	6574944.343		15/01/2021	17:02	270.43
748014.546	6574954.816		15/01/2021	17:00	270.43
747685.829	6576385.135		15/01/2021	17:09	266.08
747637.446	6576603.757	Varennes-sur-Tèche	15/01/2021	17:13	266.01
747663.581	6576615.113		15/01/2021	17:14	265.74
747494.512	6577167.669		15/01/2021	17:23	264.49
747133.39	6578458.813		15/01/2021	17:33	261.65
745825.161	6580468.696	Trézelles	15/01/2021	17:41	256.94
745791.732	6580483.877		15/01/2021	17:45	255.65
745763.923	6580499.867		15/01/2021	17:47	255.58
745750.045	6580519.982		15/01/2021	17:47	255.55
745303.989	6580938.778		15/01/2021	17:56	254.97
744795.791	6584016.183	Chavroches	15/01/2021	18:17	248.63
745366.926	6586770.185	Jaligny	15/01/2021	18:27	244.70
745368.371	6586770.404		16/01/2021	08:28	244.81
745402.379	6586774.146		16/01/2021	08:31	245.03
745510.141	6587049.442		16/01/2021	08:32	244.30
745512.884	6587049.649		15/01/2021	18:35	244.25
745627.615	6587278.318		16/01/2021	08:37	243.82
745793.339	6587350.89		16/01/2021	08:46	243.47
745792.659	6587354.955		16/01/2021	08:44	243.50
746358.209	6588882.85	Thionne	16/01/2021	08:56	241.20

X	Y	Commune	Date	heure	Cote altimétrique (m NGF)
747502.815	6591448.911	Vaumas	16/01/2021	09:05	236.82
748597.159	6592902.527		16/01/2021	10:06	234.23
747873.189	6592975.515		16/01/2021	09:13	234.57
748082.961	6593020.613		16/01/2021	09:16	234.56
748027.131	6593022.747		16/01/2021	09:17	234.56
748811.307	6593409.726		16/01/2021	10:15	233.38
748786.603	6593441.162		16/01/2021	10:12	233.37
748779.96	6593575.506		16/01/2021	10:01	233.32
748805.884	6593668.008		16/01/2021	09:59	233.31
748817.678	6593708.695		16/01/2021	09:56	233.03
748699.327	6593904.678		16/01/2021	09:52	233.06
748537.447	6594094.446		16/01/2021	09:48	232.92
748522.085	6594133.906		16/01/2021	09:45	232.88
748497.511	6594199.107		16/01/2021	09:32	232.84
748499.315	6594203.869		16/01/2021	09:31	232.81
748464.96	6594227.398		16/01/2021	09:25	232.63
748586.385	6594283.972		16/01/2021	09:35	232.82
748615.3	6594303.594		16/01/2021	09:39	232.80
748613.343	6594313.013		16/01/2021	09:39	232.80
748500.521	6594333.084		16/01/2021	09:26	232.62
749242.773	6595136.585	Saint-Pourçain-sur-Besbre	16/01/2021	10:28	230.89
749241.695	6595143.862		16/01/2021	10:26	230.89
749119.048	6595187.722		16/01/2021	10:34	230.87
749098.292	6595206.027		16/01/2021	10:35	230.78
749526.152	6596139.188		16/01/2021	10:55	229.29
749359.438	6596297.429		16/01/2021	11:01	229.53
749373.913	6596339.901		16/01/2021	10:59	229.41
750334.332	6597561.621	Dompierre-sur-Besbre	16/01/2021	11:10	226.67
750321.801	6597563.668		16/01/2021	11:11	226.57
750254.045	6597626.594		16/01/2021	11:13	227.12
750212.777	6597652.222		16/01/2021	11:15	227.08
750169.626	6597672.224		16/01/2021	11:18	227.05
750853.126	6598486.283		16/01/2021	11:51	225.15
750838.822	6598519.897		16/01/2021	11:50	225.19
750565.218	6598602.74		16/01/2021	11:46	225.53
750811.934	6598615.422	Diou	16/01/2021	11:56	225.26
750694.683	6598636.128		16/01/2021	11:59	225.36
751635.84	6599994.313		16/01/2021	12:07	222.80
751719.789	6600023.807		16/01/2021	12:10	222.72
751620.388	6600047.509		16/01/2021	12:14	222.81
751668.744	6600080.071		16/01/2021	12:18	222.50
751640.931	6600104.575		16/01/2021	12:16	222.51
752076.606	6601298.105		16/01/2021	12:30	219.95
752079.062	6601346.637		16/01/2021	12:33	219.82
752172.207	6601754.207		16/01/2021	13:38	219.43
752207.747	6601811.805		16/01/2021	13:39	219.38
752307.818	6601999.509		16/01/2021	13:43	219.25
752334.61	6602050.306		16/01/2021	13:45	219.21
752383.997	6602096.585		16/01/2021	13:46	219.15
752432.228	6602097.928		16/01/2021	13:47	219.13
752482.902	6602126.142		16/01/2021	13:48	219.07
752526.016	6602144.336		16/01/2021	13:50	219.03
752512.067	6602153.355		16/01/2021	13:49	219.04
752554.232	6602160.664		16/01/2021	13:50	219.03
752580.93	6602203.249		16/01/2021	13:51	219.06
752669.782	6602250.814		16/01/2021	14:09	218.97
752705.627	6602264.658		16/01/2021	14:10	218.93
752740.782	6602344.405		16/01/2021	14:12	218.94
754405.715	6604447.497	Diou	16/01/2021	14:29	214.98
754395.19	6604460.359		16/01/2021	14:30	214.92
754402.306	6604488.995		16/01/2021	14:31	214.92
754417.498	6604502.98		16/01/2021	14:32	214.93
754421.936	6604541.173		16/01/2021	14:32	214.91

## **Annexe 2 : Synthèse cartographique**

