

## Direction Départementale des Territoires et de la Mer de Seine-Maritime

# Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'Inondation du bassin versant de la Saône et de la Vienne

Phase 1.2. : Caractérisation des aléas et des enjeux,  
établissement de la cartographie

**Volet 3 : Caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau de la Saône et la  
Vienne**



LBP 32745 L

Juin 2021

## Informations qualité du document

### Informations générales

|                          |                                                                                                                 |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Auteur(s)</b>         | Olivier BRICARD,                                                                                                |
| <b>Titre du projet</b>   | Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux et d'inondation du bassin versant de la Saône et de la Vienne |
| <b>Titre du document</b> | Phase 1.2 : Caractérisation des aléas et des enjeux, établissement de la cartographie                           |
| <b>Date</b>              | 23/06/2021                                                                                                      |
| <b>Référence</b>         | LBP32745L                                                                                                       |

### Historique modifications

| Version | Date       | Rédigé par | Visé par : |
|---------|------------|------------|------------|
| V1      | 04/06/2016 | AP         | OB         |
| V2      | 04/08/2016 | AP         | OB         |
| V3      | 19/12/2017 | AP         | OB         |
| V4      | 28/09/2019 | OB         | OB         |
| V5      | 30/06/2020 | OB         | OB         |
| V6      | 12/05/2021 | OB         | OB         |
| V7      | 15/06/2021 | OB         | OB         |

# Table des matières

|                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Eléments principaux de méthodologie retenus pour la caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau.....</b>               | <b>6</b>  |
| 1.1 Présentation de la zone d'étude.....                                                                                              | 6         |
| 1.2 Bilan des études antérieures permettant l'amélioration des connaissances sur l'aléa débordement de la Saône et de la Vienne ..... | 8         |
| 1.3 Principe méthodologique .....                                                                                                     | 8         |
| <b>2. Hydrologie des cours d'eau.....</b>                                                                                             | <b>10</b> |
| 2.1 Crue historique de décembre 1999 .....                                                                                            | 10        |
| 2.2 Estimation des périodes de retour et des débits des crues de la Saône et de la Vienne .....                                       | 11        |
| 2.2.1 Estimation des périodes de retours et des débits de la Saône .....                                                              | 11        |
| 2.2.2 Estimation des périodes de retours et des débits de la Vienne .....                                                             | 12        |
| <b>3. Modélisation de la Vienne et de la Saône de Gueures à la Mer .....</b>                                                          | <b>15</b> |
| 3.1 Principe.....                                                                                                                     | 15        |
| 3.2 Modélisation .....                                                                                                                | 15        |
| 3.2.1 Présentation du modèle .....                                                                                                    | 15        |
| 3.2.2 Construction du modèle.....                                                                                                     | 16        |
| 3.2.3 Conditions aux limites.....                                                                                                     | 20        |
| 3.2.3.1 Conditions amont : Hydrogrammes de crue.....                                                                                  | 20        |
| 3.2.3.2 Conditions aval : la marée .....                                                                                              | 22        |
| 3.2.4 Calage des paramètres et des repères de crues .....                                                                             | 23        |
| 3.2.5 Résultats pour la crue de 1999.....                                                                                             | 27        |
| 3.2.6 Résultats pour la crue centennale concomitante.....                                                                             | 27        |
| <b>4. Caractérisation de l'aléa débordement de la Saône .....</b>                                                                     | <b>28</b> |
| 4.1 Définition de l'aléa inondation.....                                                                                              | 28        |
| 4.2 Cartographie de l'aléa inondation .....                                                                                           | 28        |
| <b>Annexe .....</b>                                                                                                                   | <b>30</b> |

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Localisation de la zone d'étude et communes concernées .....                                                                                             | 7  |
| Figure 2 : Synthèse de la méthodologie utilisée pour la caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau .....                                                 | 9  |
| Figure 3 : Hydrogramme de la crue de décembre 1999 en m <sup>3</sup> /s extrapolé à la courbe de tarage à la station de Val-de-Saône (DREAL, Hydratec, 2013) ..... | 10 |
| Figure 4 : Différence entre la crue mesurée à la station de Val-de-Saône et la crue modélisée et calée sur des repères de crue (Hydratec, 2013).....               | 10 |
| Figure 5 : Estimation des périodes de retours et des débits en différents secteurs de la Saône (Hydratec, 2013).....                                               | 11 |
| Figure 6 : Estimation de la crue 100 ans sur la Vienne par différentes méthodes (Gradex, Gradex Agrégée et Crupédix ajusté) .....                                  | 14 |
| Figure 7 – Assemblage des photogramétries de la Vienne et de la Saône et des données Lidar de la basse vallée .....                                                | 16 |
| Figure 8 : Exemple de représentation du Pont de la route de la Gare D70 à Gueures .....                                                                            | 17 |
| Figure 9 : Exemple de conception du maillage à Gueures et aux environs.....                                                                                        | 18 |
| Figure 10 : Profils en long de la Vienne de sa source à Gueures et localisation des repères de crue .....                                                          | 19 |
| Figure 11 : Evolution des hydrogrammes le long de la Vienne de Beaunay à Gueures (source : Hydratech).....                                                         | 20 |
| Figure 12 : Débits de pointe de chaque sous-bassins versant de la Vienne et de la Saône en décembre 1999 (source : Hydratech) .....                                | 21 |
| Figure 13 : Evolution des hydrogrammes de la crue de 1999 le long de la Saône de St-Ouen à Gueures (source : Hydratech).....                                       | 22 |
| Figure 14 : Marégramme de la tempête de décembre 1999 à Quiberville .....                                                                                          | 22 |
| Figure 15 : Profil en long de la crue de calage (crue de décembre 1999) de la Vienne.. .....                                                                       | 25 |
| Figure 16 : Horloge de la crue de décembre 1999 (Etude préalable au PPR) et calage temporel modèle .....                                                           | 26 |
| Figure 17 : Exemple de carte d'aléa débordement de cours d'eau .....                                                                                               | 29 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Comparaison entre débit maximum de la crue de 1999 et débit de crue 100 ans en différents secteurs de la vallée de la Saône..... | 12 |
| Tableau 2 : Résultats des cotes calculées au droit des repères de crue.....                                                                  | 24 |
| Tableau 3 : Volumes et débits maxima de la crue de 1999 (résultats modélisation) .....                                                       | 27 |
| Tableau 4 : Débits maxima de la crue de 1999 (résultats modélisation) .....                                                                  | 27 |

# **1. Éléments principaux de méthodologie retenus pour la caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau**

## **1.1 Présentation de la zone d'étude**

Le bassin versant de la Saône possède une superficie d'environ 303 km<sup>2</sup>. Ce bassin versant est drainé par trois cours d'eau pérennes : La Saône (33 km), et ses affluents la Vienne (15 km) et le Traversin (2 km). La Saône prend sa source (nombreuses sources) à Varvannes. En période de hautes eaux les sources peuvent apparaître en amont de la RN 29. En période de basses eaux les sources apparaissent au niveau de la Fontaine Saint Sulpice. La Saône dispose d'un bras non pérenne qui remonte des sources jusqu'à Yerville.

Le Traversin (source à 2 km en amont de Val de Saône dans une ancienne cressonnière) conflue avec la Saône au niveau de Val-de-Saône. La Vienne (bassin versant d'une superficie d'environ 97 km<sup>2</sup>) conflue ensuite la Saône au niveau d'Ambrumesnil. La Saône se jette dans la Manche entre les communes de Quiberville-sur-Mer et Sainte-Marguerite-sur-Mer. Il s'agit d'un fleuve côtier de petite taille, semblable dans sa configuration géologique à d'autres fleuves voisins comme la Scie ou la Varenne.

Des vallons secs peuvent apporter des eaux supplémentaires dans le fleuve lors de conditions hydrologiques particulières.

La figure page suivante présente une localisation de la zone d'étude. Le secteur d'étude est également plus étendu que le strict contour du bassin versant de la Saône. Par conséquent, certaines communes ont vu intégrer l'intégralité de leur territoire dans cette étude.

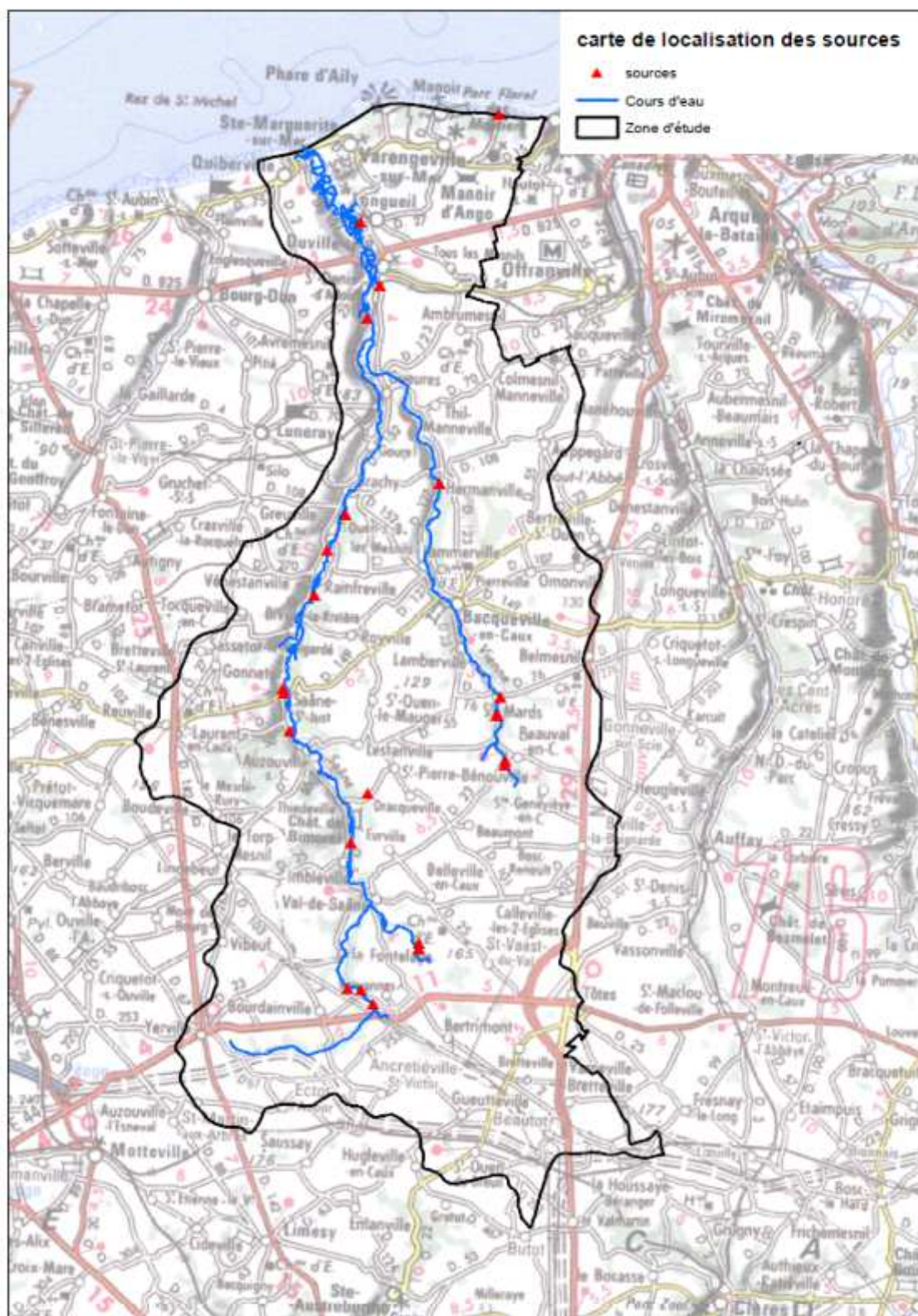


Figure 1: Localisation de la zone d'étude et communes concernées

## 1.2 Bilan des études antérieures permettant l'amélioration des connaissances sur l'aléa débordement de la Saône et de la Vienne

Plusieurs études ont été réalisées sur les cours d'eau de la Saône et de la Vienne et apportent des éléments de connaissance historique, hydrologique et de cartographie d'inondation :

- 1) Etude préalable à la mise en place d'un Plan de Prévention des Risques Naturels d'inondation sur les vallées de la Saône et de la Vienne, Horizon 2000 ;
- 2) Etude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant et de la vallée de Saône, Hydratec/Asconit 2013 ;
- 3) Etude d'aménagement pour une gestion globale de la basse vallée de la Saône, Sogreah, 2005 ;
- 4) Etude d'aménagement du bassin versant de la Vienne Aval, Ginger 2010.

**Le comité de pilotage a décidé que l'hydrologie du PPRI devait se baser sur l'hydrologie de l'Etude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant et de la vallée de Saône de 2013.**

Les autres études apportent des éléments de connaissances historiques par les recensements des habitations inondées, des repères de crues, des éléments de topographie (profils en travers de lit mineur, d'ouvrages...) et de fonctionnement hydraulique.

## 1.3 Principe méthodologique

L'Etude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant et de la vallée de Saône de 2013 a montré que l'extrapolation des données sur les stations existantes ou historiques sur la Saône pour estimer la crue 100 ans était complexe (mesures des crues biaisées, fond de données peu importants). Cette étude s'est donc appuyée sur des stations régionales pour estimer les crues extrêmes et la période de retour de la crue de référence de 1999. Une modélisation a permis de recalculer les débits mesurés à la station de Val de Saône. La modélisation des sources de la Saône à Ouille-le-Rivière a été réalisée pour la crue de 1999. Les résultats cartographiques sont donnés en gammes de hauteur d'eau. Ces résultats sont conformes à ceux attendus dans un PPRI.

Sur le cours d'eau de la Vienne, les résultats des études antérieures ne sont pas suffisamment détaillés pour être repris dans un PPRI.

La méthodologie de caractérisation de la crue de référence de la Vienne et de la Saône est la suivante :

- Pour **la Saône Amont (des sources à Gueures)** : reprise des débits estimés (débits de la crue 1999 et de la crue 100 ans) de l'étude de 2013 sur la Saône. Reprise de la cartographie de la crue de 1999 sur les tronçons de cours où le débit de crue 1999 (Q1999) est supérieur au débit de crue 100 ans estimé (Q100ans). Dans le cas contraire, sur les tronçons de cours d'eau concernés, des calculs de lignes d'eau de la crue 100 ans ont été réalisés et l'enveloppe de la crue 100 ans a été cartographiée ;
- Pour **la Vienne** : Estimation des débits de la crue 100 ans et de la période de retour de la crue de 1999 à partir des débits de la Saône estimés dans l'étude de 2013. Modélisation de la crue de 1999 (avec de nouveaux repères de crues pour caler le modèle) et de la crue 100 ans ;

- Pour la **Saône Aval** (de Gueures à la Mer) : Estimation de la concomitance des débits 100 ans de la Saône et de la Vienne. Modélisation de la crue concomitante 100 ans de la Saône et de la Vienne avec une marée de vives eaux d'un coefficient de 95.

|              | Saône Amont<br>(des sources à Gueures)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Saône Aval<br>(de Gueures à la mer)                                                                               | Vienne                                                                                                                                                                                                    |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hydrologie   | Reprise hydrologie des débits de crue 100 ans et crue de décembre 1999 de « l'étude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant et de la vallée de Saône, 2013 »                                                                                                                                                                                                                        | Concomitance des débits Q100ans de la Saône et de la Vienne et marée de pleine mer de vives eaux (coefficient 95) | Estimation de la crue 100 ans et de la crue 1999 à partir des débits estimés sur la Saône dans « l'étude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant et de la vallée de Saône, 2013 » |
| Hydraulique  | <p>Si <math>Q_{1999} &gt; Q_{100 \text{ ans}}</math> : Reprise des résultats de la modélisation et de la cartographie de la crue de 1999 issus de « l'étude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant et de la vallée de Saône, 2013 »</p> <p>Si <math>Q_{1999} &lt; Q_{100 \text{ ans}}</math> : Calculs des lignes d'eau pour Q100 ans sur les tronçons de cours d'eau concerné</p> | Modélisation des débits de crue 100 ans concomitants de la confluence Saône/Vienne à la Mer                       | Modélisation de la crue 100 ans ou de la crue de 1999 (si $Q_{1999} > Q_{100 \text{ ans}}$ )                                                                                                              |
| Cartographie | <p>Cartographie de l'aléa débordement cours d'eau pour la crue 100 ans ou la crue de 1999 (si <math>Q_{1999} &gt; Q_{100 \text{ ans}}</math>) :</p> <p>(Aléa faible : 0-0.5m ; Aléa moyen 0.5-1m ; aléa fort &gt;1m) :</p>                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                           |

Figure 2 : Synthèse de la méthodologie utilisée pour la caractérisation de l'aléa débordement de cours d'eau

## 2. Hydrologie des cours d'eau

### 2.1 Crue historique de décembre 1999

La crue du **26 décembre 1999** : cet événement concerne les deux vallées. C'est la crue la plus forte observée dans les vallées de la Saône et de la Vienne. Les 26 premiers jours de décembre, il est tombé environ 225 mm (Station de Bourville AREAS), 90 mm en 10 jours dont 41 mm le 26 décembre 1999.

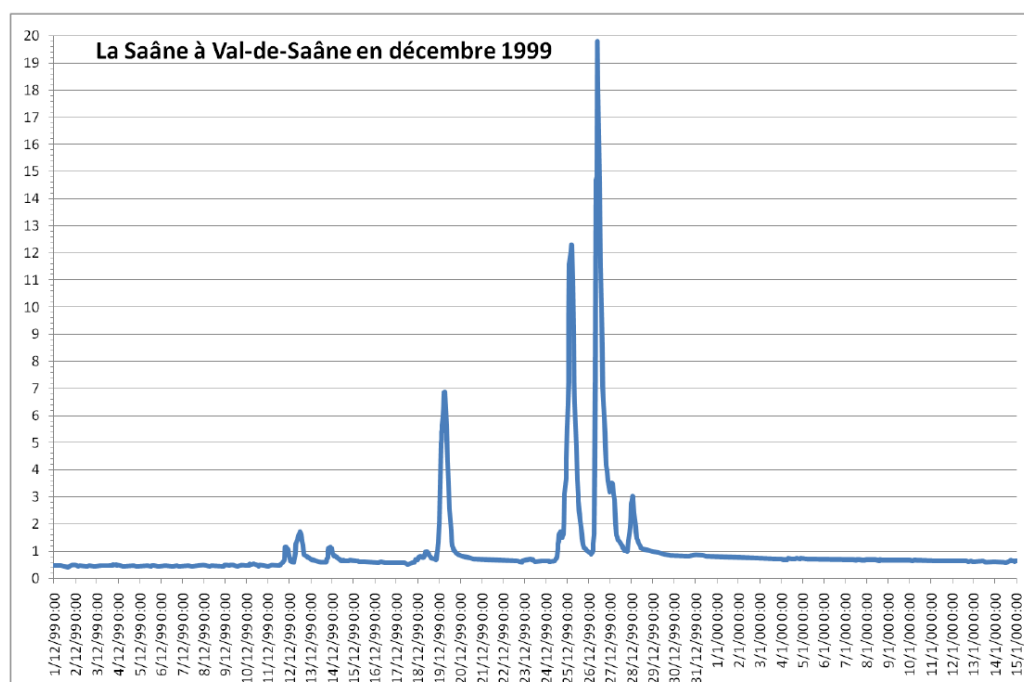


Figure 3 : Hydrogramme de la crue de décembre 1999 en m³/s extrapolé à la courbe de tarage à la station de Val-de-Saône (DREAL, Hydratec, 2013)

Comme cela a été expliqué au paragraphe précédent, la station de Val-de-Saône n'enregistre pas bien les débits de crue. Ainsi, un débit intermédiaire de 26 m³/s (entre débit extrapolé de la mesure de débit à la station de Val-de-Saône et débit modélisé) a été retenu dans l'étude de 2013.

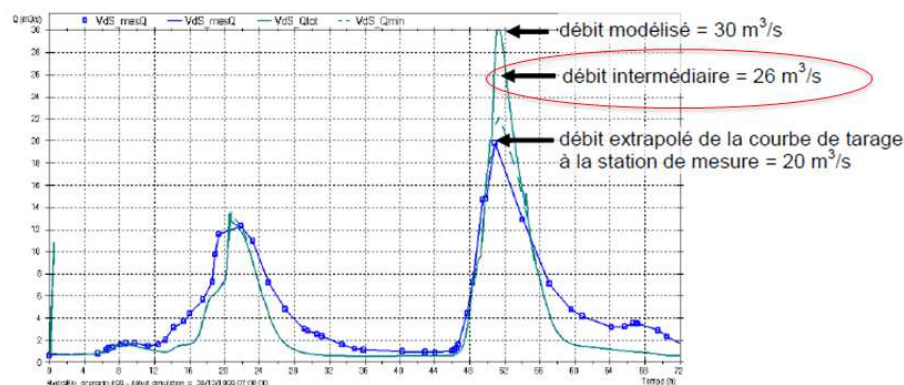
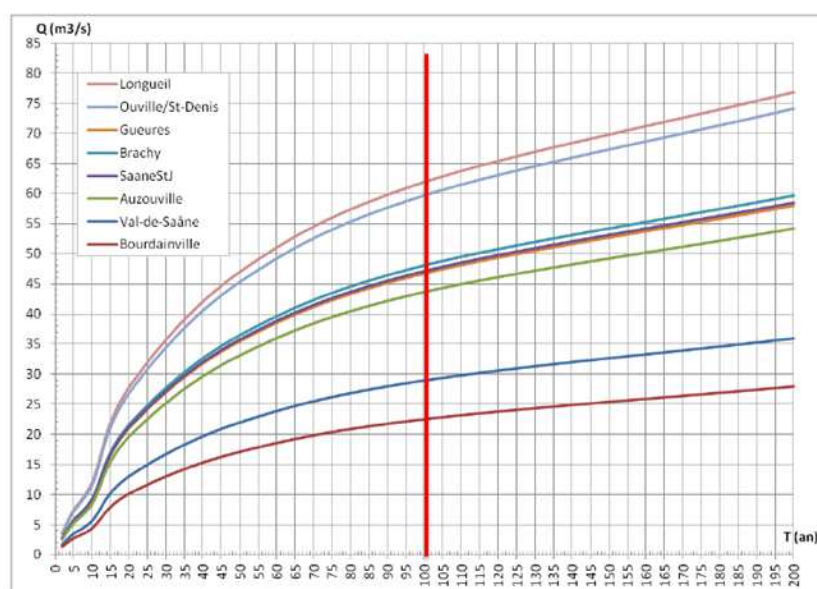


Figure 4 : Différence entre la crue mesurée à la station de Val-de-Saône et la crue modélisée et calée sur des repères de crue (Hydratec, 2013)

## 2.2 Estimation des périodes de retour et des débits des crues de la Saône et de la Vienne

### 2.2.1 Estimation des périodes de retours et des débits de la Saône

L'étude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant et de la vallée de Saône, 2013 donne des périodes de retours pour différents débits et localisations sur la Saône. Ces estimations ont été réalisées à partir du débit intermédiaire de la station de Val-de-Saône (26 m<sup>3</sup>/s) et extrapolées à différents secteurs de la vallée par une formule de Crupédix adaptée (cf. figure ci-dessous).



Ajustement statistique hivernal sur les débits à la station de Val-de-Saône extrapolé à d'autres endroits de la vallée par la formule de Crupédix adaptée

$$Q = \left( \frac{S}{S_{VdS}} \right)^{0.6} \left( \frac{P_j}{P_{jVdS}} \right)^2 Q_{VdS}$$

Figure 5 : Estimation des périodes de retours et des débits en différents secteurs de la Saône (Hydratec, 2013)

Le tableau ci-dessous présente une comparaison entre les débits de crue 100 ans estimés et les débits maximum issus de la modélisation d'Hydratec (2013). **A l'exception de la partie amont de la commune de Val-de-Saône, la crue de 1999 à une période de retour supérieure à la crue 100 ans.**

| Localisation                           | Débits maxima de la crue 99 modélisés (Hydratec, 2013) en m <sup>3</sup> /s | Débits 100 ans estimés (Hydratec, 2013) en m <sup>3</sup> /s | Crue la plus importante en débit |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Bourdainville                          | 29                                                                          | 23                                                           | Crue 1999                        |
| Val-de-Saône station (amont traversin) | 26                                                                          | 29                                                           | Crue 100 ans                     |
| Val-de-Saône station (aval traversin)  | 43                                                                          | 35                                                           | Crue 1999                        |
| Auzouville                             | 48                                                                          | 43                                                           | Crue 1999                        |
| Saône-Saint-Just                       | 60                                                                          | 46                                                           | Crue 1999                        |
| Brachy                                 | 51                                                                          | 47                                                           | Crue 1999                        |
| Gueures (Saône)                        | 51                                                                          | 47                                                           | Crue 1999                        |

**Tableau 1 : Comparaison entre débit maximum de la crue de 1999 et débit de crue 100 ans en différents secteurs de la vallée de la Saône**

La cartographie de la crue de décembre 1999 modélisée issue de l'étude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant et de la vallée de Saône, 2013, sera reprise dans le PPRI. Les lignes d'eau de la crue de 1999 au niveau de la commune de Val-de-Saône seront ajustées à la cote de la crue 100 ans.

## 2.2.2 Estimation des périodes de retours et des débits de la Vienne

Les méthodes du Gradex et du Gradex agrégée ont été utilisées. La méthode du Gradex agrégée donne des résultats plus proches de la réalité sur les bassins versants du Nord de la France (retour d'expérience d'Egis :  $Q_{100\text{ans}} \text{ Vienne} = 2 \text{ à } 2.5 \times Q_{10 \text{ ans Vienne}}$ ). La méthode du Gradex donne une estimation de  $Q_{100 \text{ ans}} = 4.5 \times Q_{10\text{ans}}$ .

### Méthode du GRADEX :

- A partir d'un point pivot (typiquement  $Q_{10}$ ), la relation pluie – volume de ruissellement devient linéaire,
- La loi de probabilité des volumes de ruissellements devient parallèle à la loi de probabilité des précipitations dans un graphique de GUMBEL
- Données nécessaires:
  - $Q_p$  de période de retour  $T_0$  ( $Q_{10}$ )
  - Temps de base
  - Superficie du  $B_v$
  - Rapport du débit de pointe au débit moyen
  - Gradex de pluie de durée  $T_b$  (mm) =  $(P_{j100}-P_{j10})/(4.6-2.25)$

La méthode du Gradex agrégée est une méthode dérivée de la méthode du Gradex. Elle tient compte de la contribution de la pluie, génératrice des écoulements. Elle est basée sur un échantillon de pluie et un échantillon de débit, contrairement aux autres méthodes qui se basent sur l'échantillon de débit. La méthode du Gradex part du principe que lorsque le débit dépasse une certaine valeur, le sol est saturé. Cette valeur, nommée débit seuil, peut varier du débit décennal au débit cinquantennal, selon les sols et les caractéristiques du bassin versant. Ainsi, pendant le temps de base de ruissellement  $\zeta$

(assimilé à la durée caractéristique de Socose), tout accroissement de pluie induit le même accroissement en débit.

La formulation est la suivante, pour les débits instantanés :

$$Q(T) = Q_g + r_\tau \cdot A_0 \cdot \ln \left( 1 + \frac{A_{qg}}{A_0} \cdot \frac{T - T_g}{T_g} \right)$$

Avec :

- $Q(T)$  : valeur "instantanée" du débit recherché en m<sup>3</sup>/s ( $Q_{100}$ ),
- $Q_g$  : valeur "instantanée" du débit du seuil d'extrapolation en m<sup>3</sup>/s,
- $\zeta$  : temps de base de l'hydrogramme de ruissellement ou temps de concentration du bassin versant en heures (assimilé à la durée caractéristique de Socose),
- $A_0$  : Gradex des pluies pour  $\zeta$  jours exprimé en m<sup>3</sup>/s,
- $A_{qg}$  : Gradex des débits moyens sur  $\zeta$  jours au seuil d'extrapolation en m<sup>3</sup>/s,
- $r_\tau$  : coefficient de forme (rapport débit instantané/débit moyen sur  $\zeta$  jours),
- $T$  : période de retour en années (100 ans),
- $T_g$  : période de retour du seuil d'extrapolation.

Le Gradex des pluies est le coefficient directeur de la droite d'ajustement de l'échantillon pluviométrique à une loi de Gumbel. Il est déterminé à partir des courbes intensité-fréquence des postes pluviométriques, ceci pour diverses durées de pluie.

Les calculs sont réalisés pour des pluies moyennes et donc pour des débits moyens sur la durée  $\zeta$ , caractéristique du bassin versant. Les débits instantanés peuvent être calculés grâce à un coefficient, appelé coefficient de forme, qui correspond au rapport moyen entre le débit maximum instantané et le débit maximum moyen sur la durée  $\zeta$ .

La difficulté réside dans l'appréciation du seuil d'extrapolation, tant en durée ( $\zeta$ ) qu'en période de retour ( $T_g$ ). Ceux-ci sont en effet variables suivant la taille et la forme du bassin versant

Le débit intermédiaire de la station de Val-de-Saône (26 m<sup>3</sup>/s) retenu dans l'étude de 2013 et extrapolé à la Vienne au niveau de Gueures par une formule de Crupédix adaptée donne une estimation de débit 100 ans de 44 m<sup>3</sup>/s. Ce débit centennal est dans la gamme des débits centennaux compris entre les estimations du Gradex et du Gradex agrégé.

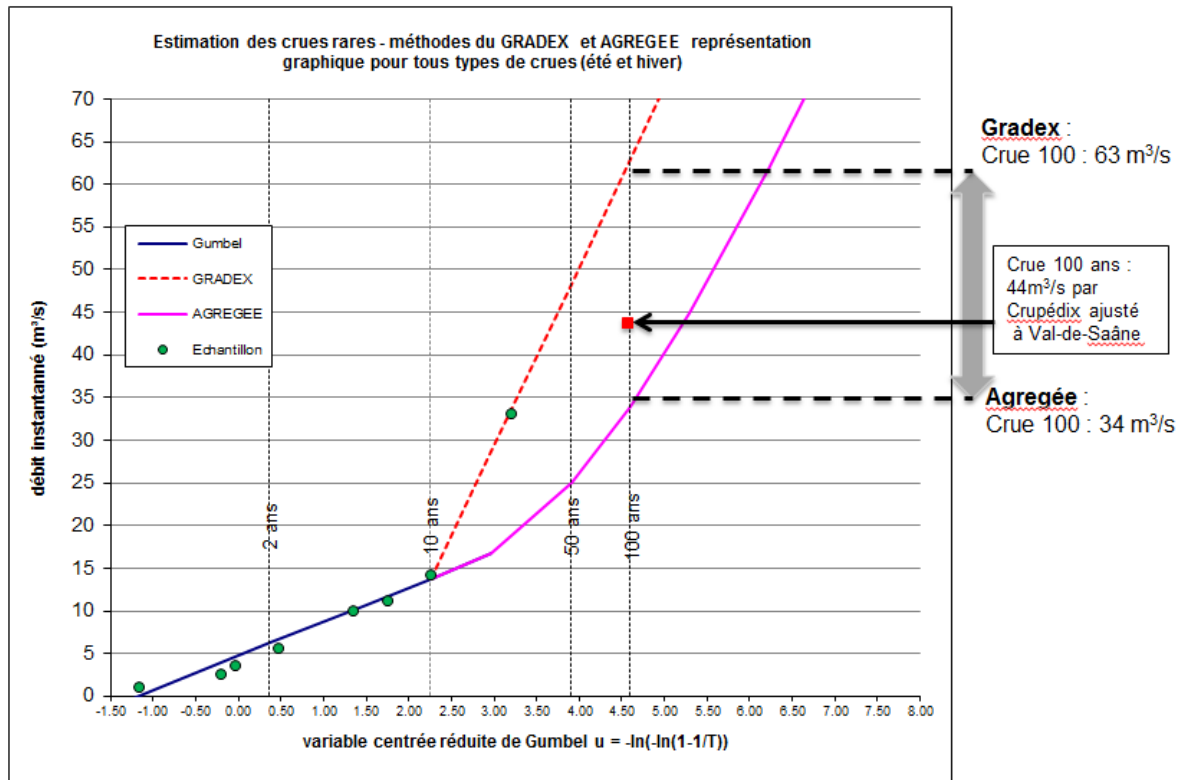


Figure 6 : Estimation de la crue 100 ans sur la Vienne par différentes méthodes (Gradex, Gradex Agrégée et Crupédix ajusté)

**Le débit de crue 100 ans de la Vienne retenu dans ce PPRI est de 44 m³/s à Gueures.** Ce débit sera comparé au débit de la crue de 1999. La modélisation reposant sur les données d'entrée de l'étude de 2013 (hydrogrammes des bassins versants) a été recalée à partir de repères de crue historiques et nouvellement trouvés.

## 3. Modélisation de la Vienne et de la Saône de Gueures à la Mer

### 3.1 Principe

L'aléa inondation par débordement de cours d'eau est défini grâce à une modélisation hydraulique. Il s'agit d'obtenir une cartographie de l'aléa à partir de hauteurs d'eau de la Saône aval et de la Vienne.

### 3.2 Modélisation

#### 3.2.1 Présentation du modèle

INFOWORKS ICM a été utilisé. Il réalise des calculs des écoulements à surface libre bidimensionnels en résolvant les équations complètes de Barré de Saint Venant sur un maillage triangulaire. Une modélisation 1D du lit mineur et 2 D en lit majeur sera réalisée sur l'ensemble du linéaire modélisé.

La modélisation 2D permet de représenter finement les écoulements bidimensionnels à surface libre, et de calculer précisément le fonctionnement sur les secteurs particuliers (ouvrages fonctionnant à surface libre...).

Ce logiciel se base sur un maillage libre, qui présente l'intérêt d'adapter la taille des mailles très facilement aux discontinuités topographiques (ce qui n'est pas le cas avec les maillages fixes sur des grilles). Des exemples de maillages sont donnés sur les figures ci-après.

ICM permet de modéliser, toutes les lois d'hydraulique classiques en fonction du type d'ouvrage et de son fonctionnement :

- lois d'orifice,
- lois de seuils,
- vannes mobiles...
- lois de Bernouilli,
- siphons,

Un module 2D permet de modéliser les écoulements de surface complexes en zones inondables par un maillage bidimensionnel. La zone inondable est alors représentée par des mailles triangulaires. Les hauteurs d'eau et vitesses sont calculées localement en chaque point du maillage.

La solution utilise la méthode des volumes finis, basée sur le programme de Gudonov et le solveur de Riemann. Le modèle de résolution est semi-implicite.

Les résultats fournis aux points du maillage 2D sont :

- Hauteur
- Niveau
- Vitesse
- Direction
- Nombre de Froude
- Débit

Les débits peuvent être calculés au travers d'une ligne 2D, ainsi qu'au travers des limites du polygone.

**Le couplage 1D/2D** permet de représenter le lit mineur de façon classique en 1D (permettant une bonne représentation bathymétrique des sections hydrauliques ainsi que les ouvrages en rivière) et les zones inondables en 2D, ce qui permet une représentation précise des obstacles aux écoulements (digues, remblais, bâtis...) à partir d'un module numérique de terrain. Le champ d'inondation est représenté alors par un maillage triangulaire avec des tailles de maille adaptée au terrain naturel et à l'occupation des sols. En milieu urbain, cette modélisation permet de bien représenter les écoulements **dans les rues**.

### 3.2.2 Construction du modèle

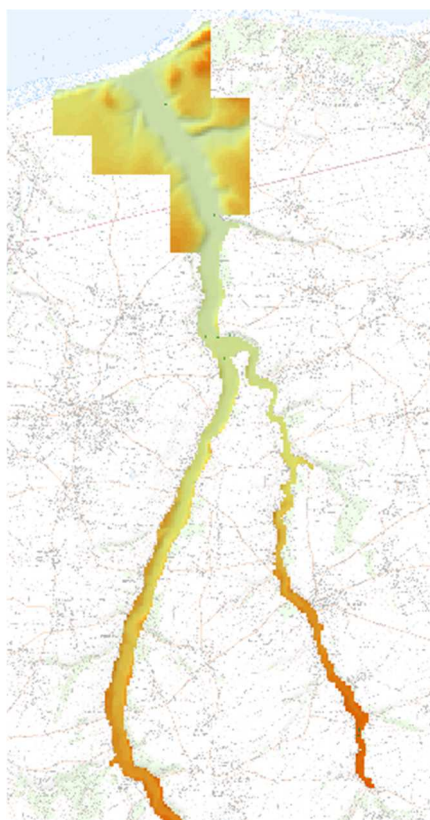
La construction du modèle reprend des éléments topographiques réalisés dans le cadre d'études antérieures (cf. paragraphe 1.1), A savoir :

#### Des profils en travers :

- 1) Vienne : 73 profils en travers ;
- 2) Saône de Gourel à Ouville-la-rivière : 15 profils en travers ;
- 3) Basse vallée Saône de Ouville-la-rivière à Quiberville-Plage: 21 profils en travers.

#### Des semis de points pour concevoir le Modèle Numérique de Terrain (MNT) :

- 1) Photogrammétrie de la Vienne (source : SMBVSVS) ;
- 2) Photogrammétrie de la Saône jusqu'à Ouville-la-Rivière (source : SMBVSVS) ;
- 3) Lidar de la Basse vallée de la Saône d'Ouville-la-Rivière jusqu'à Quiberville (source : DREAL Normandie).

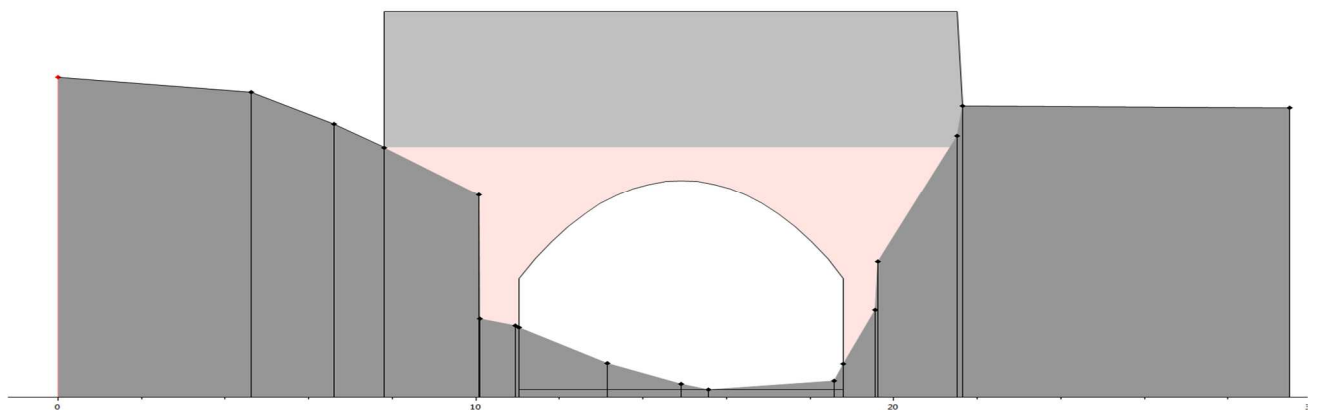


**Figure 7 – Assemblage des photogrammétries de la Vienne et de la Saône et des données Lidar de la basse vallée**

**Des ouvrages (Ponts et seuils) :**

- 1) 37 ponts ;
- 2) Des seuils le long de la Vienne et de la Saône ;
- 3) L'épis-buse et du clapet anti-retour à l'aval.

**Exemple de construction :**



**Figure 8 : Exemple de représentation du Pont de la route de la Gare D70 à Gueures**

Le maillage du modèle a été adapté en fonction des zones à enjeux. Un maillage plus fin sur le centre-ville de Gueures a été réalisé. Egalement, des lignes de contraintes pour orienter le maillage et les écoulements sur des voiries ont été conçues.

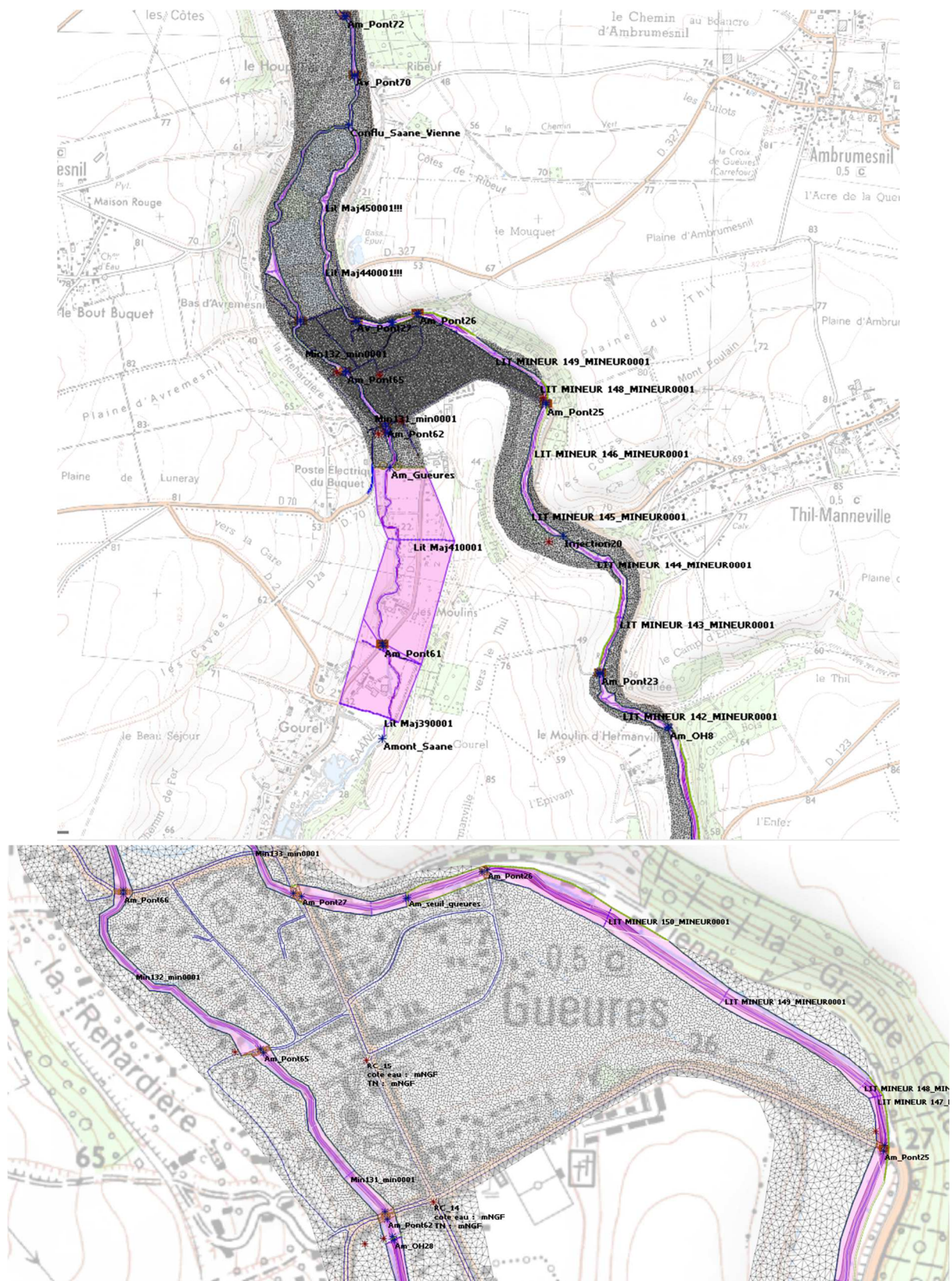
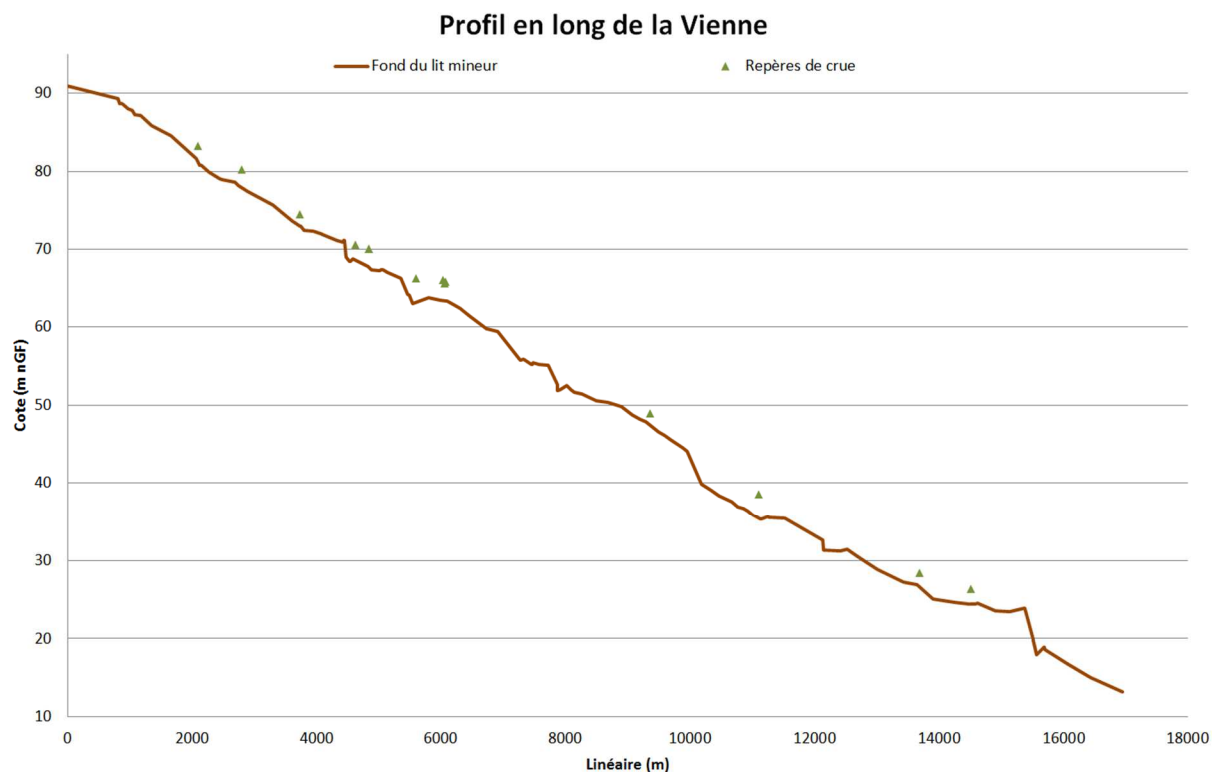


Figure 9 : Exemple de conception du maillage à Gueures et aux environs

**Des repères de Crue :**

Ces repères de crue serviront à caler le modèle pour la crue de 1999.



**Figure 10 : Profils en long de la Vienne de sa source à Gueures et localisation des repères de crue**

### 3.2.3 Conditions aux limites

Afin de représenter au mieux la réalité, un modèle est alimenté par les données suivantes :

- De débit (en fonction du temps) en entrée (hydrogramme de crue) ;
- De hauteur (en fonction du temps) en sortie. La condition limite aval du secteur est le niveau de la marée.

#### 3.2.3.1 Conditions amont : Hydrogrammes de crue

La simulation débute le 24/12/99 à 7h et dure 3 jours.

##### 1) Injections des hydrogrammes dans le modèle

Les hydrogrammes des sous-bassins du modèle ont été générés en s'appuyant sur l'hydrogramme « Amont Vienne » (figure ci-dessous). Celui-ci représente le plus important apport de débit pour la Vienne. Son sous-bassin est en tête du bassin versant.

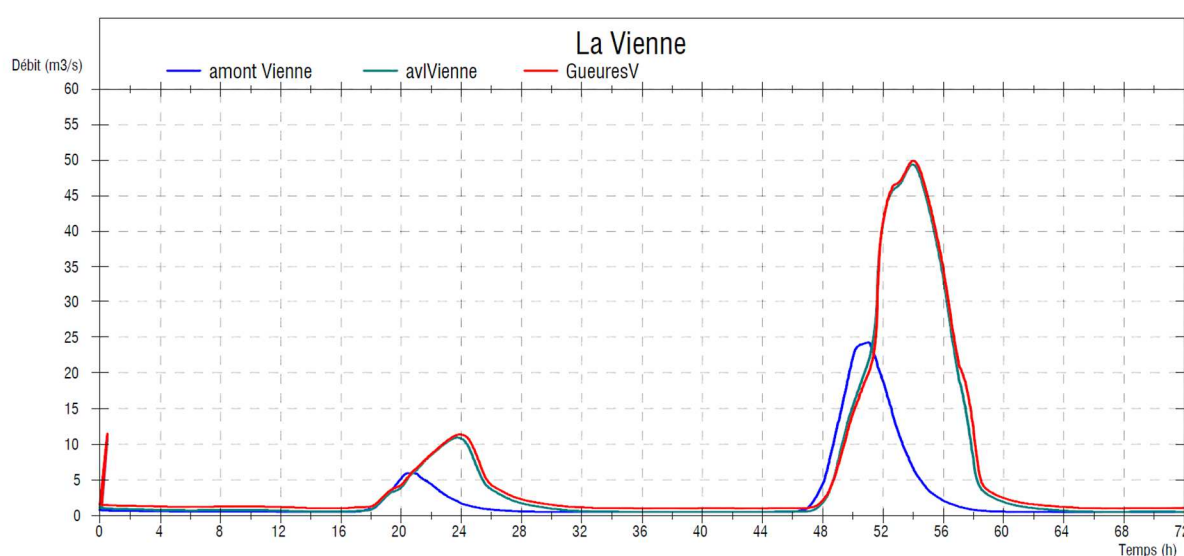


Figure 11 : Evolution des hydrogrammes le long de la Vienne de Beaunay à Gueures (source : Hydratech)

Les hydrogrammes générés pour les sous-bassins de la Vienne et de la Saône ont été réalisés à partir des hydrogrammes des sous bassins-versants représentés sur la carte suivante.

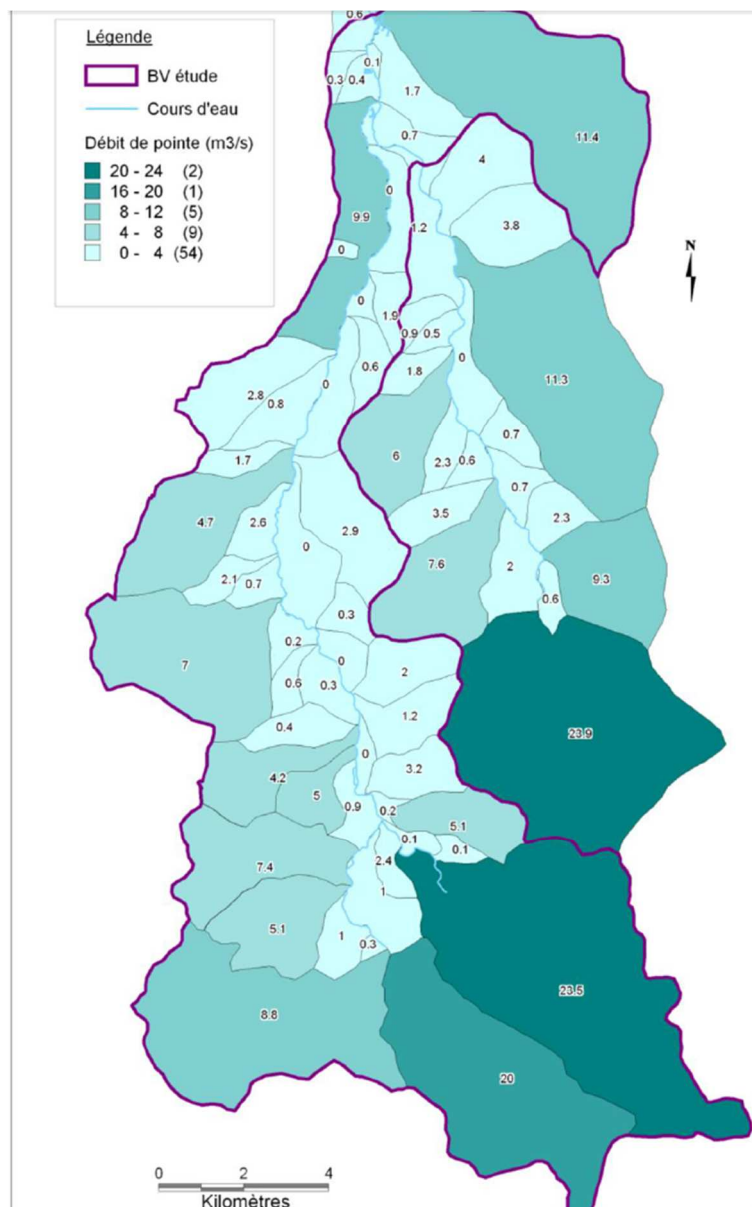


Figure 40 - Débits de pointe générés par les sous-bassins versant en d99

Figure 12 : Débits de pointe de chaque sous-bassins versant de la Vienne et de la Saône en décembre 1999 (source : Hydratech)

Le modèle hydraulique commençant à Gourel, l'hydrogramme en rouge (figure ci-dessous) a été injecté pour La Saône.

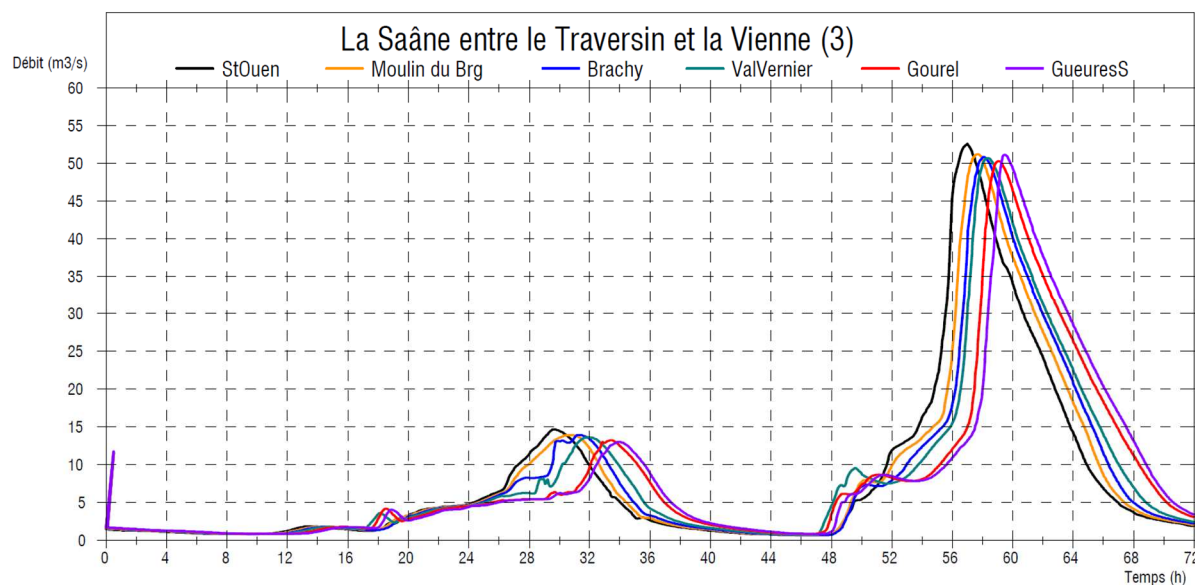


Figure 13 : Evolution des hydrogrammes de la crue de 1999 le long de la Saône de St-Ouen à Gueures (source : Hydratech)

### 3.2.3.2 Conditions aval : la marée

Le marégramme du 24/12/99 à 7h jusqu'au 27/12/99 à 7h a été appliqué en condition aval pour la crue de décembre 1999.

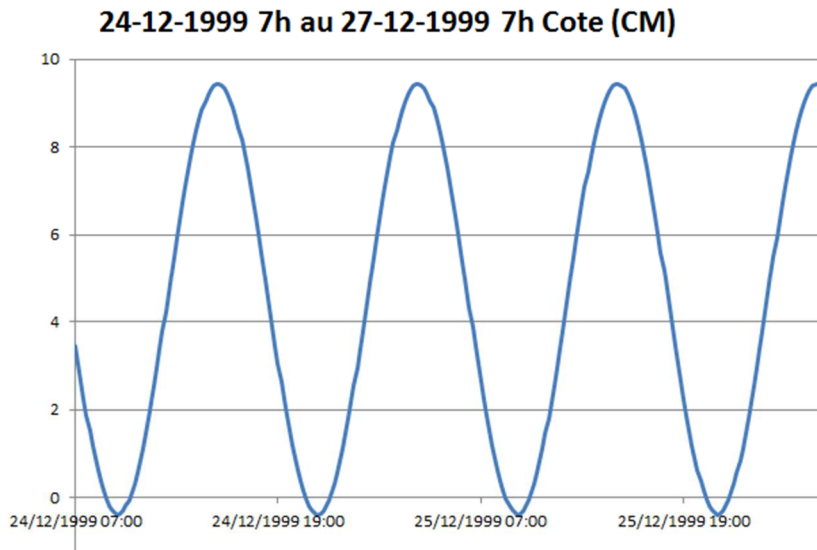


Figure 14 : Marégramme de la tempête de décembre 1999 à Quiberville

Pour la crue centennale, une marée de vives eaux de coefficient 95 en condition aval a été retenue.

### 3.2.4 Calage des paramètres et des repères de crues

Pour réaliser le calage du modèle, deux paramètres ont été ajustés:

- Les coefficients de rugosité du lit mineur et du lit majeur
- Les coefficients de perte de charge des ouvrages

En premier lieu, la rugosité des différents lits (mineur et majeur) est déterminée puis ajustée pour avoir un minimum de différence entre les cotes des repères de crue et les cotes simulées.

Les coefficients de Strickler pour la rugosité qui ont été retenues sont :

- **Lit mineur : 20**

Ce coefficient correspond à la rugosité d'un cours d'eau à fond caillouteux avec une granulométrie régulière.

- **Lit majeur : 15**

Ce coefficient correspond à un lit majeur avec des prairies et de la végétation le long des berges.

La différence entre les cotes observées et mesurées est très proche. Exception faite au repère de crue RC\_4, RC\_10 et RC\_14.

L'écart observé pour le repère de crue RC\_10 est situé au droit d'un pont à Lammerville. Celui-ci n'est pas en charge et il ne crée pas de différence de niveau d'eau entre l'amont et l'aval. Dans le modèle hydraulique, le pont est transparent aux écoulements. La fiabilité du repère RC\_14 est mise en doute. Il est situé au croisement d'une rue. Quant au repère RC\_4, celui-ci été relevé sur un muret. Ce mur est situé en bordure du lit mineur de la Vienne. Il fait obstacle au cours d'eau et crée une surélévation du niveau d'eau localement. Cette surélévation n'a pas été reproduite.

Tableau 2 : Résultats des cotes calculées au droit des repères de crue

| Repères de Crue | Cote observée (m NGF) | Cote calculée (mNGF) | Différence (m) | Fiabilité du repère | Commentaire                                                                 | Localisation        | Cours d'eau |
|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|
| RC_3            | 83,23                 | 83,17                | -0,06          |                     |                                                                             | Saint Mards         | Vienne      |
| RC_4            | 80,19                 | 79,92                | -0,27          |                     | Repère en haut d'un muret dans le lit mineur de la Vienne                   | Saint Mards         | Vienne      |
| RC_5            | 74,83                 | 75,03                | 0,20           |                     |                                                                             | Saint Mards         | Vienne      |
| RC_6            | 70,58                 | 70,47                | -0,11          |                     |                                                                             | Lamberville         | Vienne      |
| RC_7            | 69,99                 | 69,98                | -0,01          |                     |                                                                             | Lamberville         | Vienne      |
| RC_5_Egis       | 70,02                 | 70,00                | -0,02          |                     |                                                                             | Lamberville         | Vienne      |
| RC_8            | 66,13                 | 66,26                | 0,13           |                     |                                                                             | Lamberville         | Vienne      |
| RC_4_Egis       | 65,97                 | 65,88                | -0,09          |                     |                                                                             | Bacqueville en Caux | Vienne      |
| RC_3_Egis       | 65,52                 | 65,59                | 0,07           |                     |                                                                             | Bacqueville en Caux | Vienne      |
| RC_9            | 65,73                 | 65,70                | -0,03          |                     |                                                                             | Bacqueville en Caux | Vienne      |
| RC_10           | 48,86                 | 49,70                | 0,84           |                     | Pont en amont du RC non mis en charge                                       | Lammerville         | Vienne      |
| RC_11           | 38,46                 | 38,63                | 0,17           |                     |                                                                             | Hermanville         | Vienne      |
| RC_12           | 28,39                 | 28,39                | 0,00           |                     |                                                                             | Thil Manneville     | Vienne      |
| RC_13           | 26,34                 | 26,54                | 0,20           |                     |                                                                             | Gueures             | Vienne      |
| RC_15           | 22,89                 | 22,69                | -0,20          |                     |                                                                             | Gueures             | Vienne      |
| RC_7_S          | 22,93                 | 23                   | 0,07           |                     |                                                                             | Gueures             | Saane       |
| RC_14           | 24,15                 | 22,43                | -1,72          | Pas fiable          | Repère situé au croisement entre la rue de la Vallée et la route de la Gare | Gueures             | Saane       |
| RC_16           | 20,94                 | 20,80                | -0,14          |                     |                                                                             | Gueures             | Saane       |

## Profil en long de la Vienne - Crue 1999

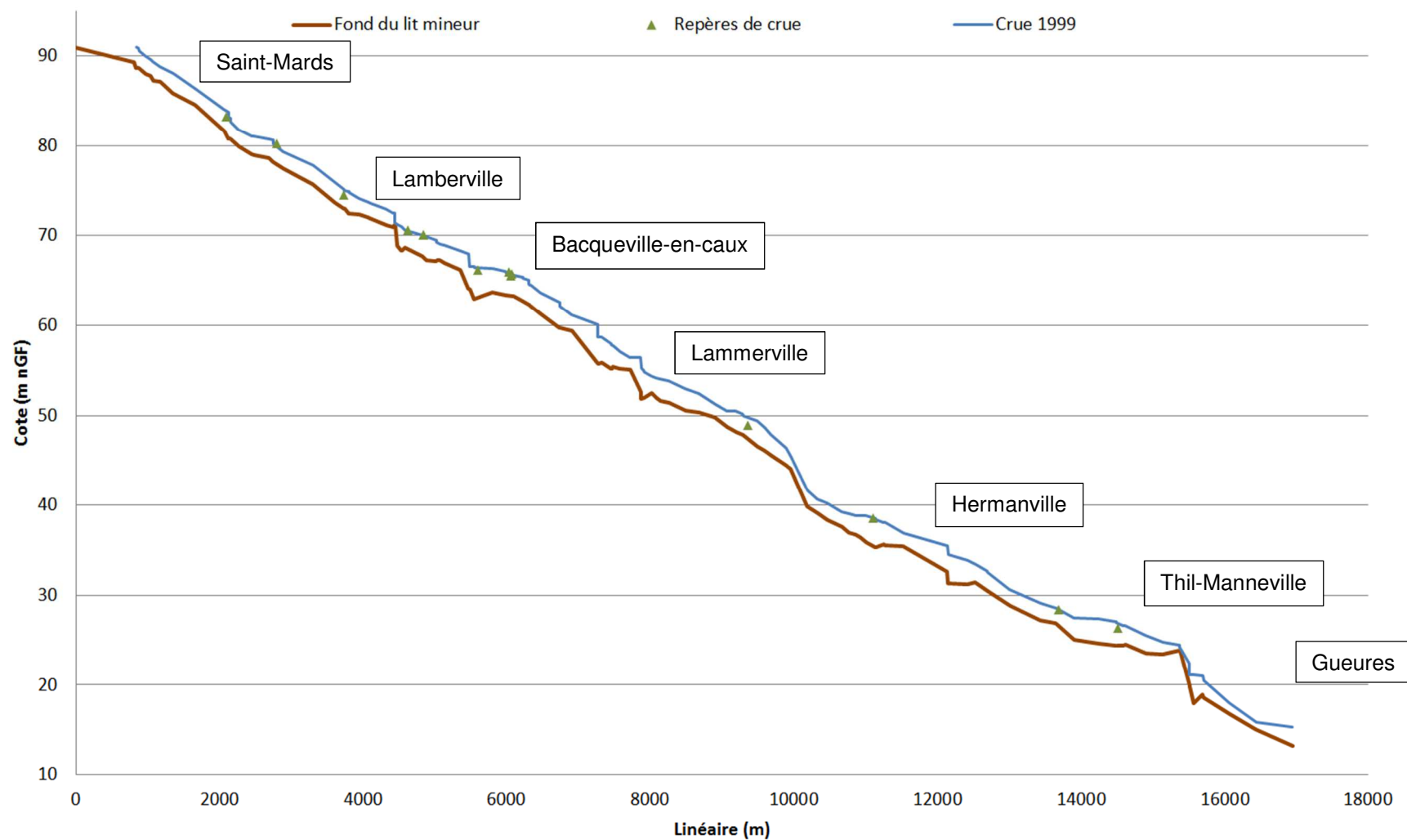
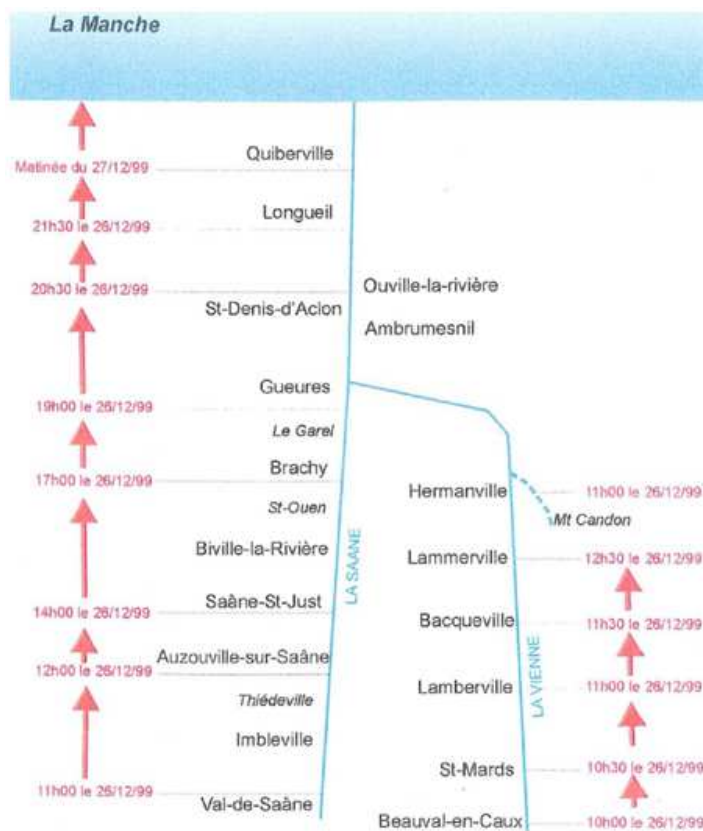


Figure 15 : Profil en long de la crue de calage (crue de décembre 1999) de la Vienne

La propagation de la crue est conforme aux recensements des témoignages collectés dans l'étude préalable au PPR. Lors de la crue de décembre 1999, il y a un décalage (plus de 6 h) entre les pics de crue la Saône et la Vienne.



|                    | Déroulement de la crue de la Saône |                    |
|--------------------|------------------------------------|--------------------|
| Communes           | Etude préalable au PPR             | Modèle hydraulique |
| Beauval-en-Caux    | 10h le 26/12/99                    | 10h le 26/12/99    |
| Bacqueville        | 11h30 le 26/12/99                  | 11h30 le 26/12/99  |
| Gueures (Saône)    | 19h le 26/12/99                    | 19h le 26/12/99    |
| Ouville-la-rivière | 20h30 le 26/12/99                  | 20h30 le 26/12/99  |

Figure 16 : Horloge de la crue de décembre 1999 (Etude préalable au PPR) et calage temporel modèle

### 3.2.5 Résultats pour la crue de 1999

Les résultats de la modélisation de la crue de 1999 obtenus après calage à partir de repère de crue sont présentés dans le tableau ci-dessous :

| Débit              | Volumes maxima de la crue 1999 (données modèle hydraulique) en m <sup>3</sup> | Débits maxima de la crue 1999 (données modèle hydraulique) en m <sup>3</sup> /s |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Vienne Gueures     | 2 033 080                                                                     | 43                                                                              |
| Saône Gueures      | 1 359 604                                                                     | 49                                                                              |
| Aval confluence    | 3 465 757                                                                     | 60                                                                              |
| Ouville-la-Rivière | 3 843 172                                                                     | 67                                                                              |

Tableau 3 : Volumes et débits maxima de la crue de 1999 (résultats modélisation)

### 3.2.6 Résultats pour la crue centennale concomitante

Les crues centennales de la Saône aval (de Gueures à la Mer) et de la Vienne ont été modélisées à partir des hydrogrammes de la crue de 1999 en ajustant les débits de pointes pour les rendre centennaux. Ce cas de figure ne s'est pas produit en 1999, mais il s'est produit pour une crue enregistrée en janvier 2018 (cf. Annexe).

**Les services de l'Etat ont souhaité que sur la partie aval de la Saône (de Gueures à la Mer) soit retenu l'hypothèse de la concomitance d'une crue centennale de la Saône avec une crue centennale de la Vienne. Cette hypothèse donne les résultats de débits suivants :**

| Débit              | Crue Centennale avec concomitance de la Vienne et de la Saône |
|--------------------|---------------------------------------------------------------|
| Vienne Gueures     | 43                                                            |
| Saône Gueures      | 50                                                            |
| Aval confluence    | 86                                                            |
| Ouville-la-Rivière | 99                                                            |

Tableau 4 : Débits maxima de la crue de 1999 (résultats modélisation)

## 4. Caractérisation de l'aléa débordement de la Saône

### 4.1 Définition de l'aléa inondation

La modélisation a permis de calculer les cotes d'inondation en crue centennale ou de la crue de 1999 (lorsque  $Q_{1999} > Q_{100 \text{ ans}}$ ) et d'en extraire, à partir du MNT (Modèle Numérique de Terrain), les hauteurs d'eau.

**La carte des aléas est basée sur les hauteurs d'eau.**

**Les classes retenues sont :**

- $0\text{m} < H < 0,5\text{m}$  : aléa faible
- $0,5\text{m} < H < 1\text{m}$  : aléa moyen
- $1\text{m} < H$  : aléa fort

### 4.2 Cartographie de l'aléa inondation

Les cartes d'aléa débordement de cours d'eau sont représentées avec les hauteurs de lignes d'eau de la crue 100 ans modélisée.

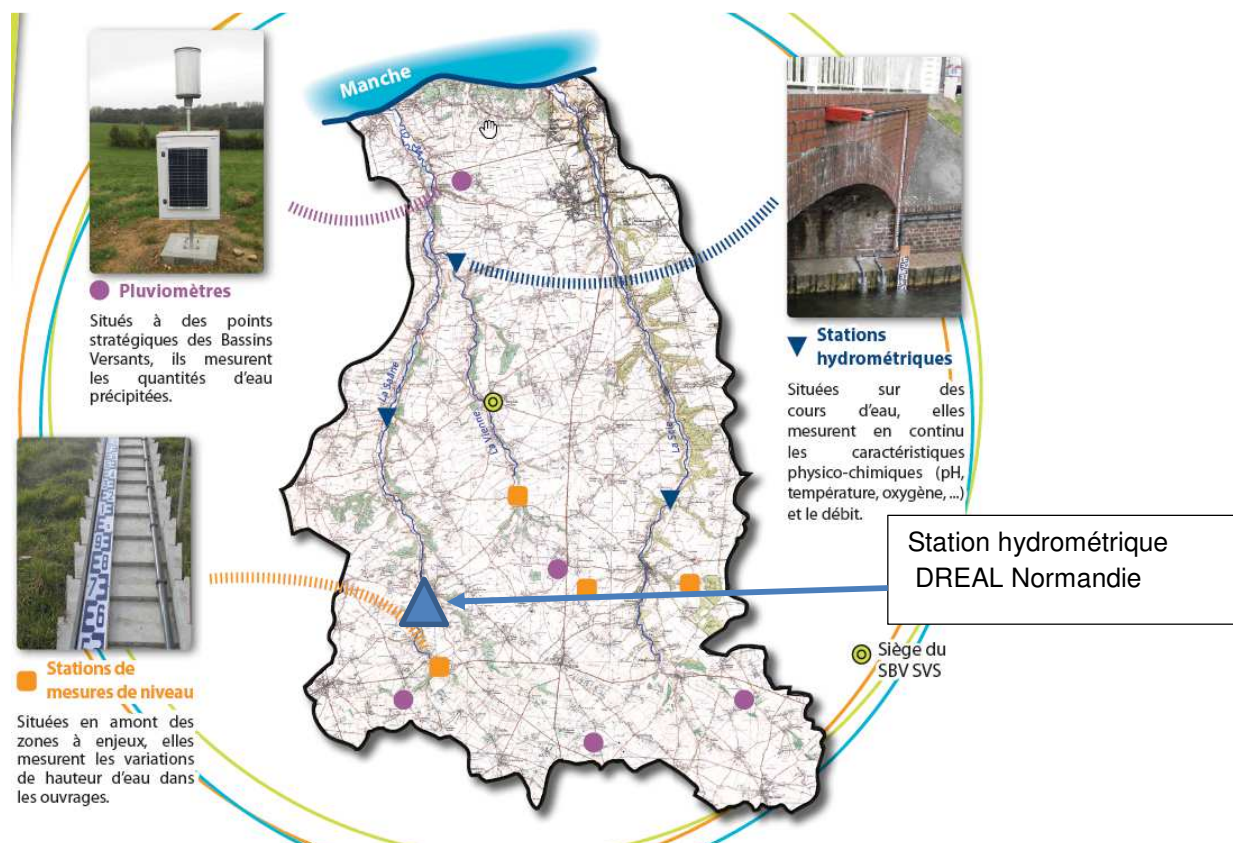


Figure 17 : Exemple de carte d'aléa débordement de cours d'eau

## **Annexe**

# Etude de la concomitance de la Vienne et de la Saône lors des crues de janvier 2018

Sur le bassin versant de la Saône et de la Vienne, plusieurs stations limnimétriques ont été mises en services ces dernières années par le Syndicat de bassin versant. Ces stations permettent d'améliorer la connaissance du fonctionnement des cours d'eau puisqu'auparavant seule la station limnimétrique de la DREAL Normandie existait.

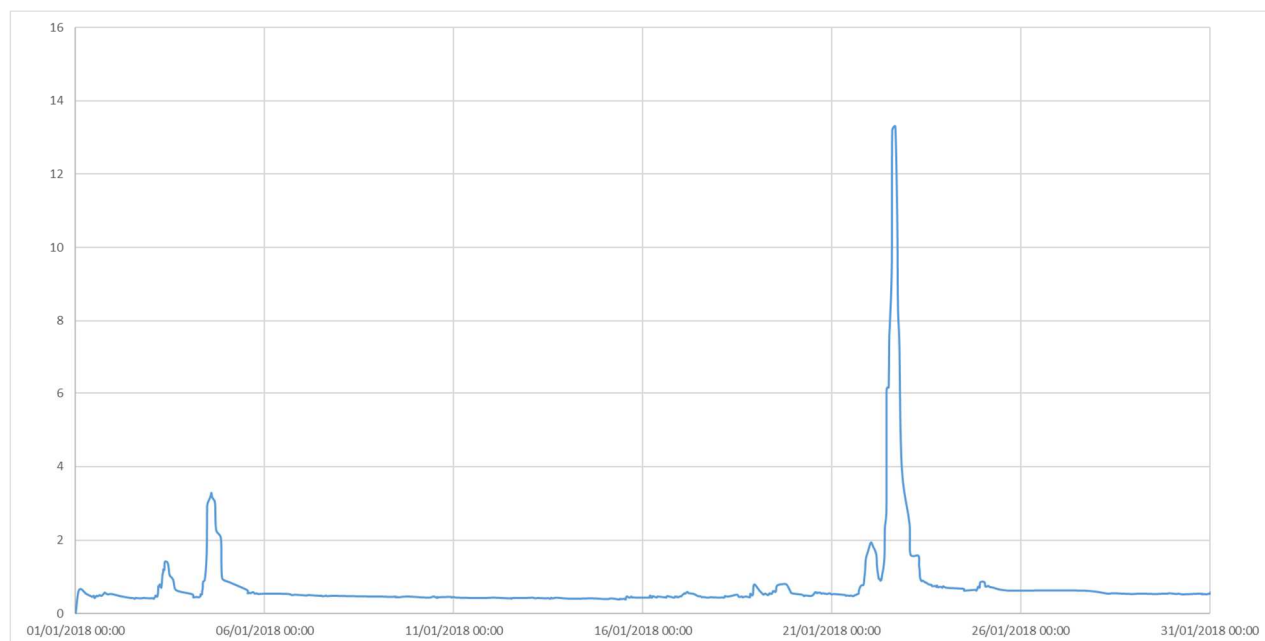


## Localisation des stations hydrométriques du Syndicat de bassin versant Saône Vienne et Scie et de la DREAL Haute-Normandie

Une courbe de tarage permet de passer de la hauteur d'eau à un débit à la station de Val-de-Saône (DREAL Normandie). Deux crues ont été enregistrées sur la période du 1<sup>er</sup> au 31 janvier 2018 :

- Du 3 au 5 janvier 2018 : le débit instantané de la crue est estimé à **3,2 m<sup>3</sup>/s** soit une **occurrence de crue de 2 ans** (loi de Gumbel)
- Du 22 au 23 janvier 2018 : le débit instantané de la crue est estimé à la station à **13,3 m<sup>3</sup>/s** soit une **occurrence estimée entre 20 et 50 ans** (loi de Gumbel). Ce débit est proche du point pivot (Q10 ans) utilisé pour estimer la crue 100 ans par le Gradex (figure 6).

Le ressenti de la population est que la crue de la Saône a été forte en amont de la Saône mais peu perceptible sur la Vienne (pas de débordement dommageable a priori selon les remontées d'informations recueillies sur le terrain).



**Mesure en continu des débits à la station de Val-de-Saône (DREAL Normandie) sur la période du 1<sup>er</sup> au 31 janvier 2018**

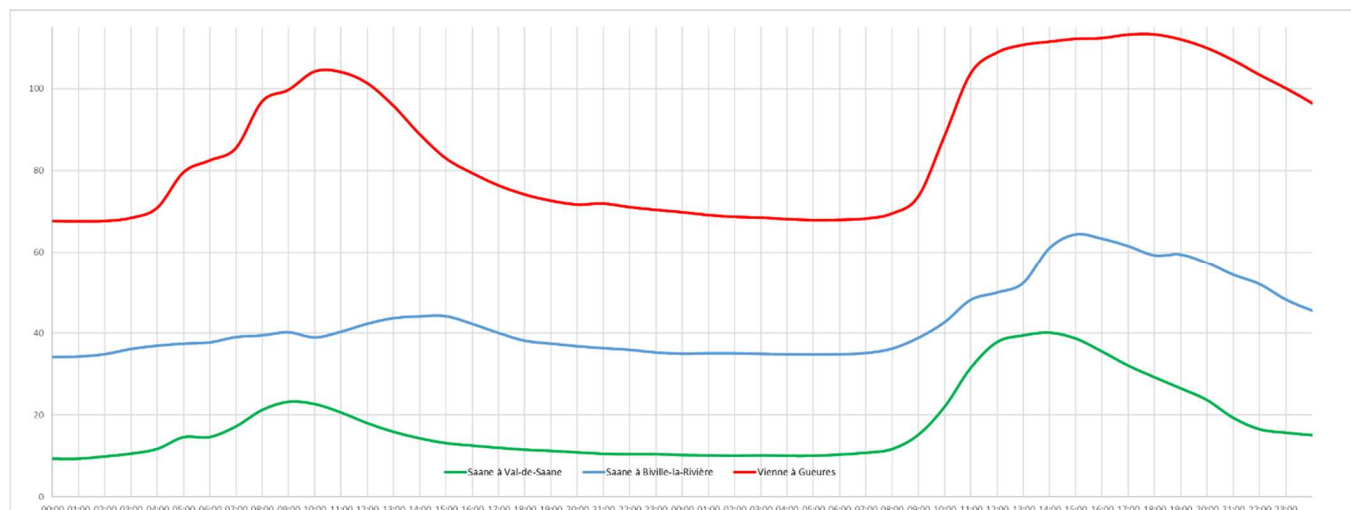
**Crues ( loi de Gumbel - octobre à septembre ) - données calculées sur 21 ans**

| Fréquence      | QJ (m3/s)             | QIX (m3/s)            |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Xo             | 1.270                 | 2.860                 |
| Gradex         | 1.010                 | 2.750                 |
| Biennale       | 1.600 [ 1.300;2.100 ] | 3.900 [ 3.000;5.100 ] |
| Quinquennale   | 2.800 [ 2.300;3.600 ] | 7.000 [ 5.800;9.300 ] |
| Décennale      | 3.500 [ 3.000;4.700 ] | 9.000 [ 7.500;12.00 ] |
| Vicennale      | 4.300 [ 3.500;5.800 ] | 11.00 [ 9.100;15.00 ] |
| Cinquantennale | 5.200 [ 4.300;7.100 ] | 14.00 [ 11.00;19.00 ] |
| Centennale     | Non calculée          | Non calculée          |

**Période de retour des débits des crues journalières (QJ) et instantanées (QIX) estimées (loi de Gumbel sur 21 ans) à la station de Val-de-Saône (DREAL Normandie)**

Les pics de crue du 5 janvier 2018 entre la Saône à Biville et la Vienne à Gueures **sont concomitants** :

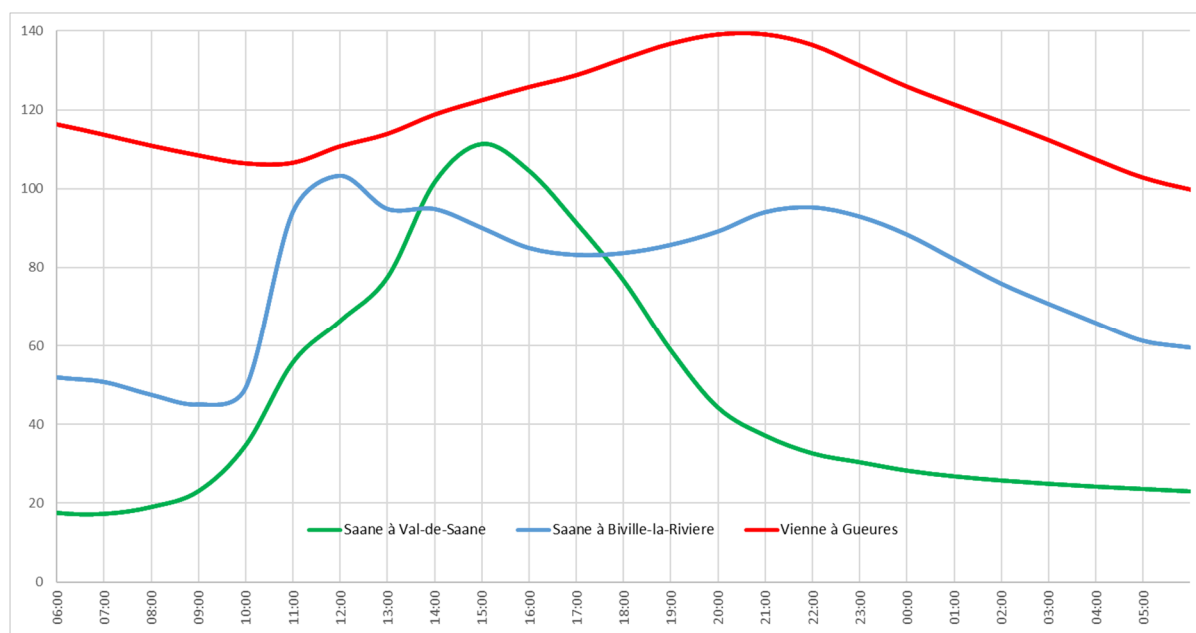
- Pic de crue de la Saône à Biville-la-Rivière à 14 h 00 **soit un pic à Gueures vers 17h à 18 h** (3à 4 h de décalage) ;
- Pic de crue de la Vienne à **Gueures à 18 h.**



***Hauteur d'eau (cm) au droit des stations de la Saône et de la Vienne pour la crue du 3 au 5 janvier 2018 (SMBVSVS)***

Les ondes de crue du 22 au 23 janvier 2018 entre la Saône à Biville et la Vienne à Gueures **sont également concomitantes** :

- Onde de crue de la Saône à Biville-la-Rivière a été enregistré entre 12 h 00 et 22 h **soit un pic à Gueures entre 16h à 2 h** (3à 4 h de décalage) ;
- Onde de crue de la Vienne à **Gueures entre 19h et 22 h.**



***Hauteur d'eau (cm) au droit des stations de la Saône et de la Vienne pour la crue du 22 au 23 janvier 2018 (SMBVSVS)***