



RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE SUR 14 OUVRAGES  
SUR LE BASSIN VERSANT DU SORNIN

## OUVRAGE SB119 – Seuil du champs captant de la Douze (ROE28134)

### Phase 1&2 : Diagnostic & AVP



Réf. : 2114 - TD/JT/TT – 2020

Étude réalisée avec la participation financière de :



Établissement public du ministère  
chargé du développement durable

**Loire**  
LE DÉPARTEMENT

**La Région**   
Auvergne-Rhône-Alpes

**RÉGION  
BOURGOGNE  
FRANCHE  
COMTE**

Décembre 2021



**CESAME**  
ÉTUDES & CONSEIL EN ENVIRONNEMENT

## Avertissement

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à ce groupement, des observations et mesures réalisées sur la zone d'étude, des données (scientifiques ou techniques) disponibles ou objectives et de la réglementation en vigueur. La responsabilité du groupement ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents portés par le groupement dans le cadre de la prestation qui lui a été confiée peuvent aider à la prise de décision. Le groupement n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite et sa responsabilité ne peut donc se substituer à celle du décideur. Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou de manière objective. Son utilisation sous forme d'extrait ou de note de synthèse sera faite sous sa seule et entière responsabilité. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

## Document

<b>Intitulé de l'étude / du document :</b>	<b>Étude pour la restauration de la continuité écologique sur 14 ouvrages sur le bassin versant du Sornin</b> <i>Rapport de phase 1 &amp; 2 – Diagnostic &amp; AVP</i>	
<b>Référence :</b>	2114 - TD/JT - 2020	
<b>Client :</b>		<b>SYMISOA</b> 321 rue de Marcigny 42720 Pouilly-sous-Charlieu Contact : Jérôme Dérignon 04 77 60 97 91 / 06 71 58 46 94 – <a href="mailto:j.dérignon@symisoa.fr">j.dérignon@symisoa.fr</a>

<b>Version</b>	<b>Date d'édition</b>
<b>V1</b>	3 juin 2021
<b>V2</b>	3 décembre 2021 <i>Compléments sur la partie AVP</i>
<b>Vers. Déf.</b>	

## Intervenant

<b>Organisme</b>	<b>Contribution au document</b>	<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>
<b>CESAME</b> - Mandataire ZA du Parc - Secteur Gampille - 42 490 FRAISSES tel : 04 77 10 12 10 E-Mail : <a href="mailto:cesame@cesame-environnement.fr">cesame@cesame-environnement.fr</a>	Diagnostic, corps du rapport	Joseph Thiollier JB. Martineau (faune) Bruno Mace (flore)	Thierry DROIN

# Table des matières

<b>1. CADRAGE PREALABLE.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Objectifs de l'étude et contenu du dossier .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Pétitionnaire .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Contenu du document .....</b>	<b>4</b>
<b>2. DIA – OUVRAGE SB119 .....</b>	<b>6</b>
<i>Situation de l'ouvrage .....</i>	<i>6</i>
<i>Contexte humain.....</i>	<i>7</i>
<i>Physionomie et fonctionnement hydraulique de l'ouvrage.....</i>	<i>10</i>
<i>Contexte éco-morphologiques et désordres identifiés .....</i>	<i>13</i>
<i>Contexte hydrogéologique et lien avec l'ouvrage SB119 .....</i>	<i>21</i>
<i>Données sur les interactions nappe-rivière .....</i>	<i>25</i>
<i>Synthèse sur la qualité de l'eau .....</i>	<i>30</i>
<i>Pré-diagnostic écologique.....</i>	<i>31</i>
<i>Incidence de l'ouvrage.....</i>	<i>34</i>
<i>Paysage et patrimoine .....</i>	<i>38</i>
<i>Contexte réglementaire intéressant : .....</i>	<i>38</i>
<i>Bilan des enjeux et des contraintes structurants l'aménagement.....</i>	<i>38</i>
<i>Solutions d'aménagement pressenties.....</i>	<i>39</i>
<b>3. AVP – OUVRAGE SB 119 .....</b>	<b>40</b>
<i>Présentation des aménagements pour la restauration de la continuité écologique.....</i>	<i>40</i>
<i>Mesures d'accompagnement en amont.....</i>	<i>51</i>
<i>Compatibilité des travaux avec la réglementation en vigueur .....</i>	<i>56</i>
<i>Analyse économique.....</i>	<i>57</i>
<b>4. ANNEXES .....</b>	<b>58</b>
<i>ANNEXE 1 : Extrait du levé topographique (ALIDADE) .....</i>	<i>59</i>
<i>ANNEXE 2 : plan d'implantation des profils utilisés pour la modélisation hydraulique.....</i>	<i>69</i>
<i>ANNEXE 3 : Restitution des granulométries (Wolman) .....</i>	<i>71</i>
<i>ANNEXE 4 : Carte des points de suivi piézométriques .....</i>	<i>73</i>
<i>ANNEXE 5 : Implantation théorique de la canalisation AEP.....</i>	<i>75</i>

## • Index des illustrations

Illustration 1 : Carte de situation géographique.....	5
Illustration 2 : Localisation et vue générale de l'ouvrage SB119.....	6
Illustration 3 : Carte du foncier et des infrastructures limitrophes.....	8
Illustration 4 : Extrait de la cartographie du PPRI.....	9
Illustration 5 : Élévation aval du seuil.....	10
Illustration 6 : Parement dégradé de l'ouvrage.....	10
Illustration 7 : Profil en long du fond du lit et des lignes d'eau en situation initiale.....	11
Illustration 8 : Photo de l'ouvrage pour un débit proche du module.....	12
Illustration 9 : Photographie aérienne de 1955.....	13
Illustration 10 : Photographie aérienne de 1962 et 1967.....	14
Illustration 11 : Photographie aérienne de 1971 et 1977.....	15
Illustration 12 : Photographie aérienne de 1979.....	16
Illustration 13 : Photographie aérienne de 1991.....	16
Illustration 14 : Photographie aérienne de 2019.....	17
Illustration 15 : Superposition de quelques tracés du Sornin entre 1954 et 2019.....	18
Illustration 16 : Érosion du front de talus amont (à gauche) et berge artificialisées en aval (à droite) du seuil.....	19
Illustration 17 : Contexte géologique au droit de la zone d'étude.....	21
Illustration 18 : Schéma d'implantation des captages de Charlieu.....	22
Illustration 19 : Rappel des périmètres de protection des puits de captage 1 et 2.....	24
Illustration 20 : Esquisse piézométrique CPGF 30 Juin 2011 (pas de pompage en rive droite).....	25
Illustration 21 : Zoom sur la piézométrie de la nappe dans le méandre P1&P2 (pas de pompage en rive droite).....	26
Illustration 22 : Zoom sur la piézométrie de la nappe dans le méandre P1&P2 (pas de pompage en rive droite).....	26
Illustration 23 : Carte d'implantation des points de suivi des niveaux d'eau.....	27
Illustration 24 : Carte d'implantation des points de suivi des niveaux d'eau.....	28
Illustration 25 : Micro falaise en amont immédiat rive gauche (gauche) et bancs de gravier en amont (droite).....	31
Illustration 26 : Carte des enjeux écologiques.....	33
Illustration 27 : Contexte hydrologique lors des campagnes de mesure.....	34
Illustration 28 : Relevé continue de t° sur le début de l'été 2020.....	35
Illustration 29 : Diamètres charriables en situation naturelle / influencée par l'ouvrage selon le critère de Shield.....	36
Illustration 30 : Résultat par espèce du diagnostic ICE à la montaison.....	37
Illustration 31 : Plan des aménagements prévus au niveau du seuil.....	41
Illustration 32 : Seuil de fond au niveau de l'ouvrage.....	42
Illustration 33 : Résistances des principales techniques de protection de berge.....	43
Illustration 34 : Epis en blocs et couche de branches à rejet.....	44
Illustration 35 : Enrochements en blocs et couche de branches à rejet.....	44
Illustration 36 : Enrochements en blocs et lits de plants et plançons.....	45
Illustration 37 : Incidence des opérations sur les lignes d'eau.....	46
Illustration 38 : Photographie aérienne de 1967 mettant en évidence l'existence d'un ancien bras mort alimentant la nappe.....	47
Illustration 39 : Profil en long du Sornin avec niveau d'étiage actuel (en bleu) et futur potentiel en cas de suppression du seuil (en rouge).....	48
Illustration 40 : coupe schématique présentant l'influence de la suppression du seuil sur P1 et P2.....	48
Illustration 41 : coupe schématique présentant l'influence de la suppression du seuil puis de la remise en eau du bras secondaire sur P1 et P2.....	49
Illustration 42 : Plan de masse des aménagements prévus au niveau du bras secondaire amont.....	52
Illustration 43 : Vestige du départ de l'ancien bras avant retour immédiat au Sornin.....	53
Illustration 44 : Vue en coupe des aménagements prévus.....	54
Illustration 45 : Tracé du bras secondaire.....	55

## • Index des tables

Tableau 1 : Évaluation des débits caractéristiques au droit de l'ouvrage.....	11
Tableau 2 : Évolution des paramètres hydrauliques au niveau de l'ouvrage en fonction du débit.....	12
Tableau 3 : Caractéristiques des puits de captage de Charlieu.....	23
Tableau 4 : Qualité de l'eau au niveau de la station la plus proche.....	30
Tableau 5 : Résultats du suivi in situ réalisé ponctuellement par CESAME.....	35

# 1. CADRAGE PREALABLE

## 1.1. Objectifs de l'étude et contenu du dossier

Le Sornin est un des derniers affluents majeurs du fleuve Loire en aval du barrage de Villerest. Ce positionnement hydrographique corrélé au constat de migrations piscicoles entre le fleuve et le Sornin a notamment induit un classement de certains tronçons du cours d'eau et de ses affluents comme **axe migrateur** dans le cadre du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021 et **en liste 1 et liste 2 au titre de l'article L214-17** du code de l'environnement<sup>1</sup>. Cet article précise que sur les cours d'eau classés liste 2 « *il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs. Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant* ». La notion de **continuité écologique** regroupe la circulation naturelle des flux biologiques (ici poissons migrateurs) et sédimentaires (transport suffisant permettant l'équilibre morphologique du cours d'eau).

Le SYndicat Mixte des rivières du SOrnin et de ses Affluents (SYMISOA) assure la gestion du Sornin et de ses affluents depuis sa création en 2008. Le SYMISOA est structure porteuse du second contrat de rivière (plan quinquennal de gestion multithématiques : inondation, qualité de l'eau, ressource en eau, morphologie...) lancé en 2017. La continuité écologique est identifiée dans le cadre de ce second contrat de rivière comme un des leviers permettant d'atteindre le bon état écologique des cours d'eau. Des interventions sont donc programmées de façon cohérente sur les axes classés prioritaires mais aussi au gré des opportunités foncières et des possibilités d'accompagnement des propriétaires volontaires.

Le SYMISOA a souhaité se faire accompagner dans la définition de projets d'aménagement concernant 14 ouvrages répartis sur 11 sites sur le Sornin et ses affluents.

Cette étude a pour objectifs d'analyser les possibilités en termes d'intervention, de comparer les scénarios d'aménagement pertinents pour rétablir la continuité écologique et de détailler les plans jusqu'au stade projet.

Elle comporte 4 phases :

- **Phase 1** : État des lieux, diagnostic et proposition de scénarios d'aménagement ;
- **Phase 2** : Analyse des scénarios au stade avant-projet (AVP) ;
- **Phase 3** : Étude Projet (PRO) et constitution des pièces techniques du DCE (ACT1) ;
- **Phase 4** : Dossier réglementaire (DLE/DIG).

<sup>1</sup> Arrêté du 10 juillet 2012 portant sur les cours d'eau, tronçons de cours d'eau ou canaux classés au titre de l'article L. 214-17 du code de l'environnement du bassin Loire-Bretagne

## 1.2. Pétitionnaire

**Identité du demandeur :** SYndicat MIxte des rivières du SOrnin et de ses Affluents (SYMISOA)

**Président du syndicat :** Michel Lamarque

**Adresse :** 321 rue de Marcigny, 42 720 Pouilly-sous-Charlieu

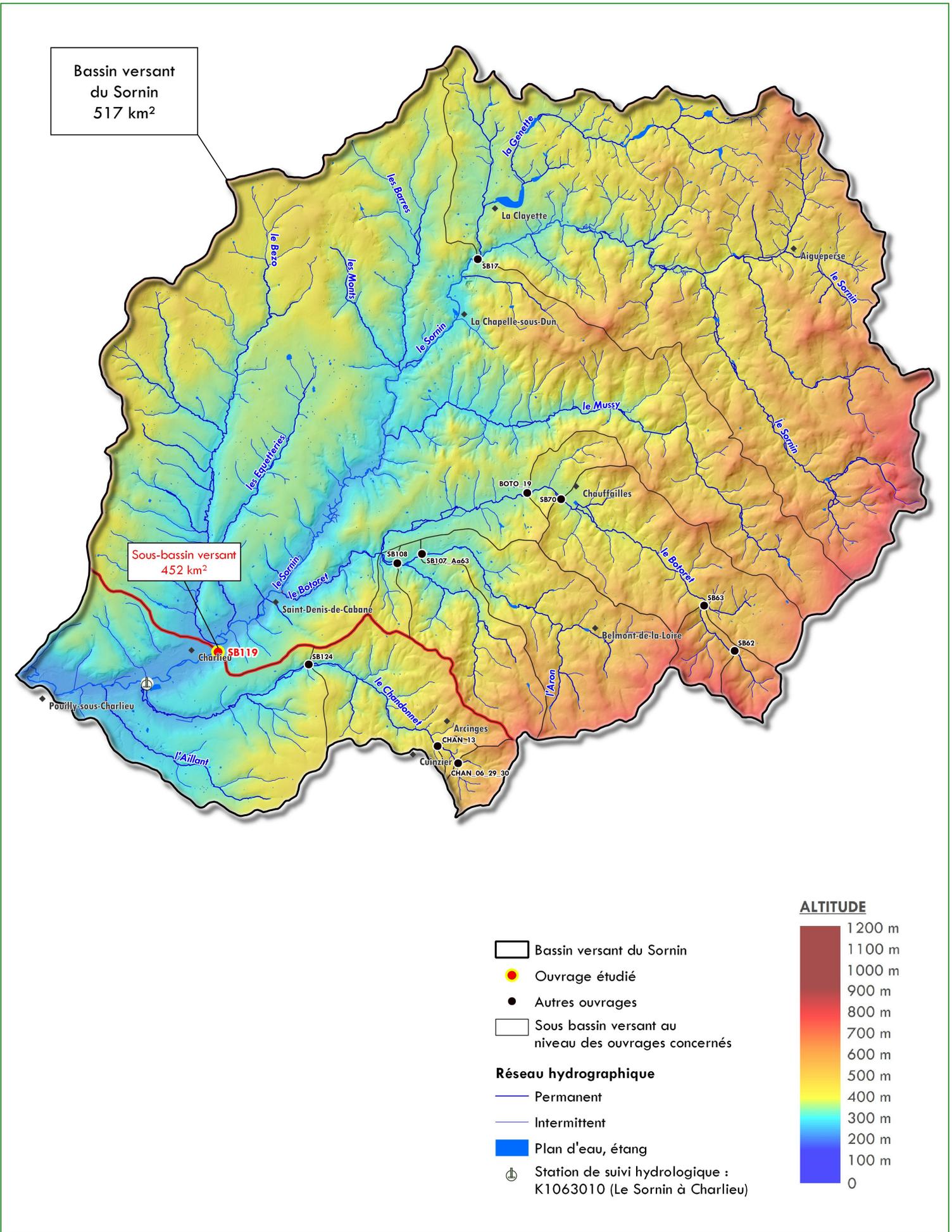
**Référent technique :** Jérôme Dérigon - 04 77 60 97 91 / 06 71 58 46 94 - [j.derigon@symisoa.fr](mailto:j.derigon@symisoa.fr)

## 1.1. Contenu du document

Le présent document concerne le seuil SB119 (ROE 28134) situé sur le Sornin au niveau du champs captant de la Douze juste à l'amont du bourg de Charlieu.

Il comprend le rendu de phase 1 (diagnostic préalable) et un rendu partiel de phase 2 (Avant-projet).

## Contexte hydrographique et topographique



# 2. DIA – OUVRAGE SB119

## Situation de l'ouvrage

**ROE :**

ROE28134

**Type d'ouvrage :**

Seuil en enrochements

**Propriétaire de l'ouvrage :**

Commune de Charlieu

**Département(s) :**

Loire

**Commune(s) :**

Charlieu

**Emplacement :**

Camping de Charlieu

X Lambert 93 : 791 378

Y Lambert 93 : 6 562 833

**Cours d'eau (Masse d'eau) :**

Le Sornin (FRGR0186)

**Bassin versant :**

452 km<sup>2</sup>

**PK : 9,55 km**

**Existence légale :**

Ouvrage autorisé, mise en conformité article L214-17 CE nécessaire.

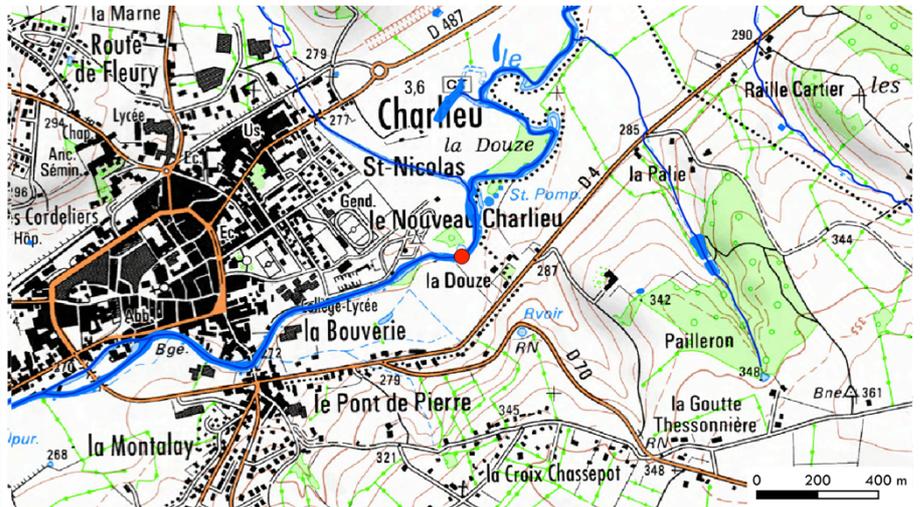


Illustration 2 : Localisation et vue générale de l'ouvrage SB119.  
Source : CESAME 2019

## Contexte humain

### Historique de l'ouvrage et usages directs ou indirects

Le seuil a été construit entre 1977 et 1979 vraisemblablement pour protéger une canalisation AEP passant dans le lit du Sornin juste en amont.

L'ouvrage bénéficie d'une reconnaissance d'antériorité en date 08/01/2013 (rubriques de la nomenclature : 3110 A, 3120 D, 3150 D) – dossier DDT42 n°42-2012-00345.

### Infrastructures / Usages limitrophes

L'ouvrage est situé au commencement de la plaine alluviale du Sornin. Les infrastructures et usages limitrophes à considérer sont les suivants :

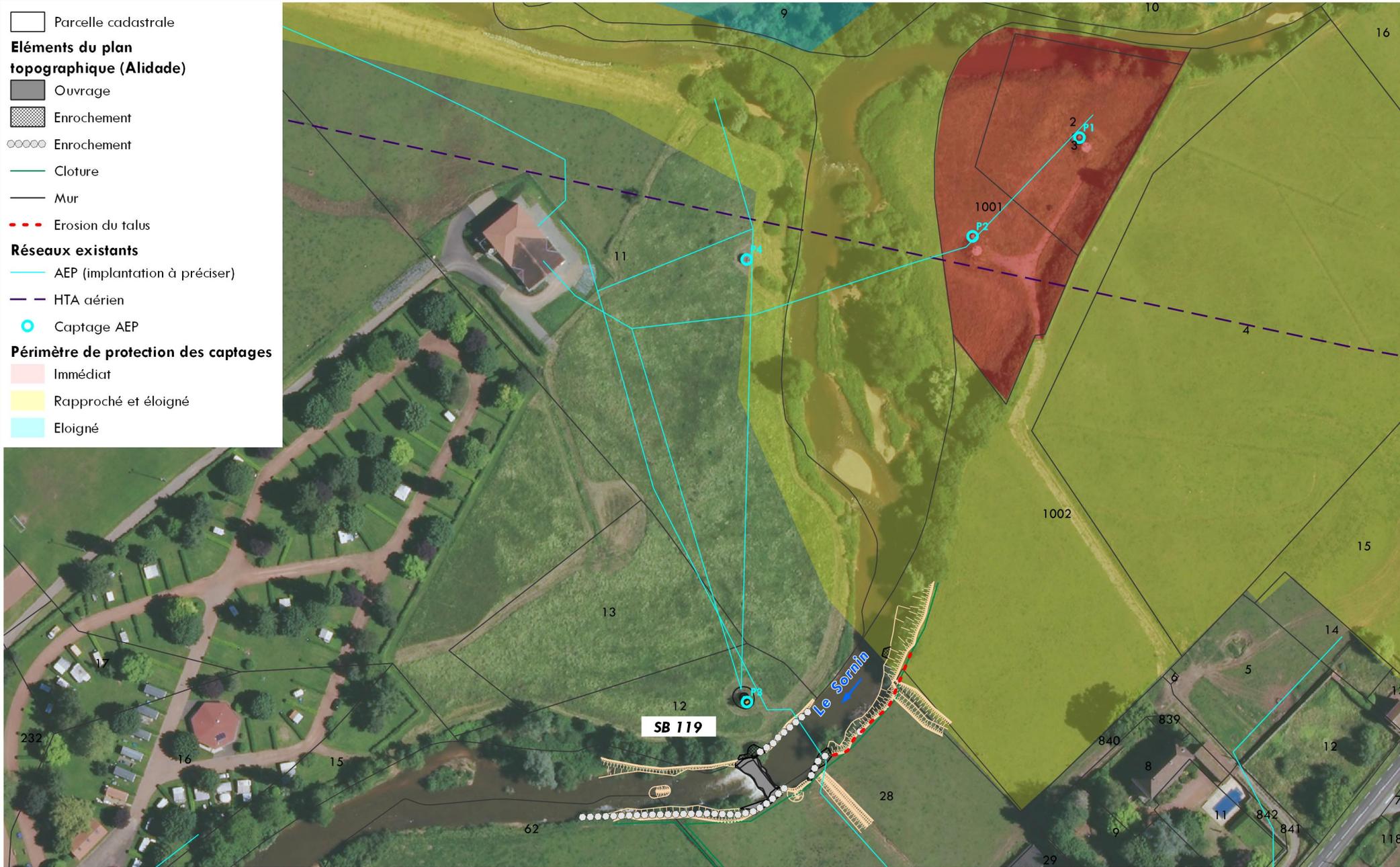
- Bâtiments / infrastructures :
  - En rive droite au niveau et en amont du seuil, ancien champs captant aujourd'hui non exploité et station de potabilisation ;
  - Camping de Charlieu en rive droite à  $\approx$  150 m en aval du seuil ;
  - Nombreuses protections de berge en enrochement et remblais (fragments grossiers de béton déversés en vrac) en amont et aval du seuil ;
  - Seuil en blocs libres en travers du Sornin au niveau de la confluence avec le Bezo (voir plus loin dans le rapport).
- Cheminement en bordure / franchissement du cours d'eau : sans objet ;
- Prélèvements et rejets :
  - En rive droite aux abords immédiats du seuil, (18 m de la berge cf. photo) un puits de captage d'eau potable (dénommé puits P3) aujourd'hui hors service ;
  - En rive gauche  $\approx$  200m en amont à vol d'oiseau puits P1 et P2 de captage de la ville de Charlieu (en activité) avec leur périmètre de protection dont la limite la plus proche (périmètre rapproché) est située à une cinquantaine de mètres à l'amont du seuil.
- Réseaux et infrastructures associés :
  - Nombreuses canalisations AEP entre les puits ;
  - canalisation franchissant le Sornin **25 m en amont immédiat du seuil** à priori 1,55 m sous la cote retenue ( $\varnothing$ 250 mm fonte) – voir annexe 5 ;
  - Canalisation AEP franchissant le Sornin  $\approx$  200 m en amont du seuil ( $\varnothing$ 150 mm fonte, implantation, profondeur inconnue).



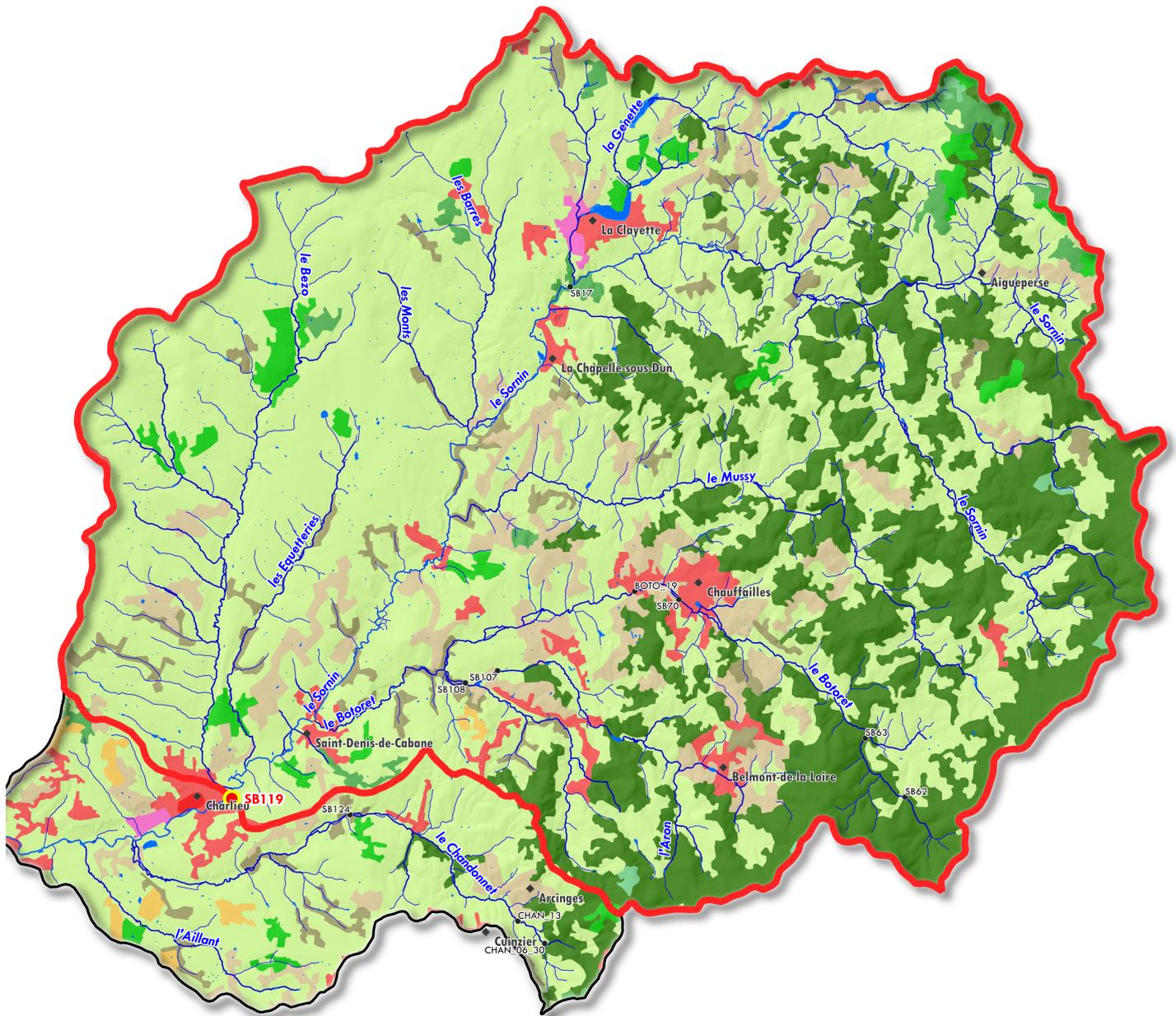
Les réseaux et usages structurants sont cartographiés dans la carte page suivante.

*La présence aux abords immédiats du seuil de puits de captage d'eau potable dans la nappe alluviale (avec leurs périmètres de protection) et de 2 canalisations traversant le cours d'eau met au premier plan la question de la gestion de l'évolution du profil en long et du profil en travers du Sornin en phase projet.*

### SB 119 - Foncier, infrastructures et usages limitrophes



## Occupation du sol 2018 - SB119



0 1 2 km

Bassin versant du Sornin

Ouvrage étudié



• Autres ouvrages

Bassin versant au droit de l'ouvrage

Réseau hydrographique

Permanent

Intermittent

Occupation du sol (CLC 2018)

Zones urbanisées

112 Tissu urbain discontinu

121 Zones industrielles ou commerciales et installations publiques

Territoires agricoles

211 Terres arables hors périmètres d'irrigation

231 Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole

242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes

243 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants

Forêts et milieux semi-naturels

311 Forêts de feuillus

312 Forêts de conifères

313 Forêts mélangées

324 Forêt et végétation arbustive en mutation

Surfaces en eau

511 Cours et voies d'eau

512 Plans d'eau

## Foncier

Les parcelles situées en rive droite sont propriété de la commune de Charlieu.

Les parcelles situées en rive gauche sont des parcelles privées.

Un point sur le foncier devra être réalisé sur site avec les riverains afin de préciser les emprises mobilisables dans le cadre du projet de rétablissement de la continuité écologique.

## Bilan sur les accès au site

L'accès au seuil est relativement simple en rive droite par l'ancien champs captant depuis la station de potabilisation voir la rue Chantemerle (à préciser en phase projet).

Si un travail sur la rive gauche était nécessaire (parcelle privée OB1002, AN0028, AN0062), une autorisation d'accès et d'occupation temporaire devra être obtenue auprès du/des propriétaire(s) des parcelles impactées.

## Risques

Le site est intégré dans le périmètre du Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI) du Sornin approuvé en 2005, dont les zonages sont basés sur une étude de BCEOM réalisée en 2001.

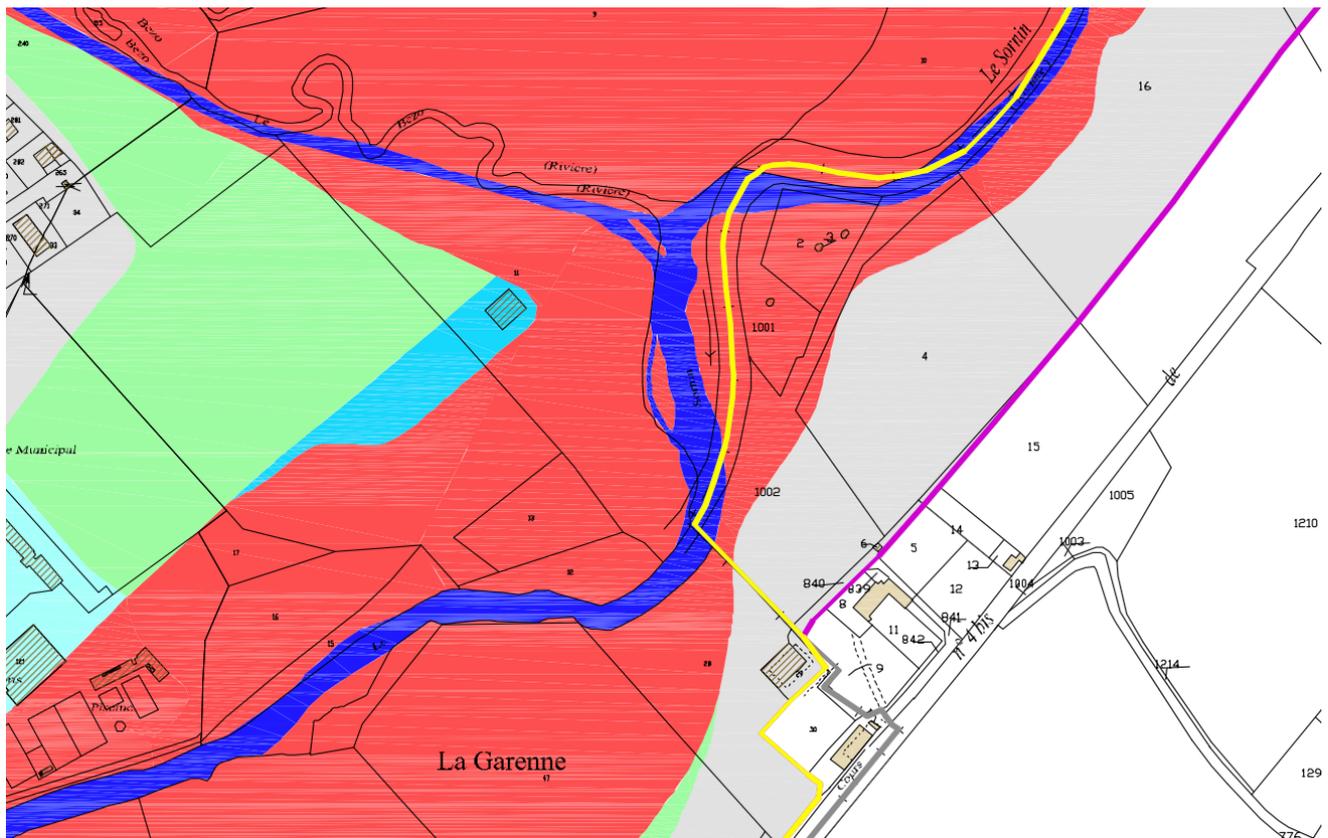


Illustration 4 : Extrait de la cartographie du PPRI.  
Source : DDT Loire

**Le projet ne doit pas entraîner une augmentation du risque inondation.**

## Physionomie et fonctionnement hydraulique de l'ouvrage

### Dimensions

L'ouvrage mesure une vingtaine de mètres de large intégrant des appuis en béton et enrochements bétonnés rentrant en berge sur environ 3 m. La crête déversante mesure 13,9 m et est irrégulière. Elle est constituée en rive gauche d'une longrine bois (6,7 m cote 270,94 - 270,99 NGF) et en rive droite d'une crête béton (7,2 m cote 270,86 - 270,79 NGF).

La longueur amont/aval du seuil est d'environ 6 mètres. Le coursier présente des pentes comprises entre 10% et 20% sur 4 à 5 m se terminant par une chute sub-verticale de 0,5 à 0,8 m.

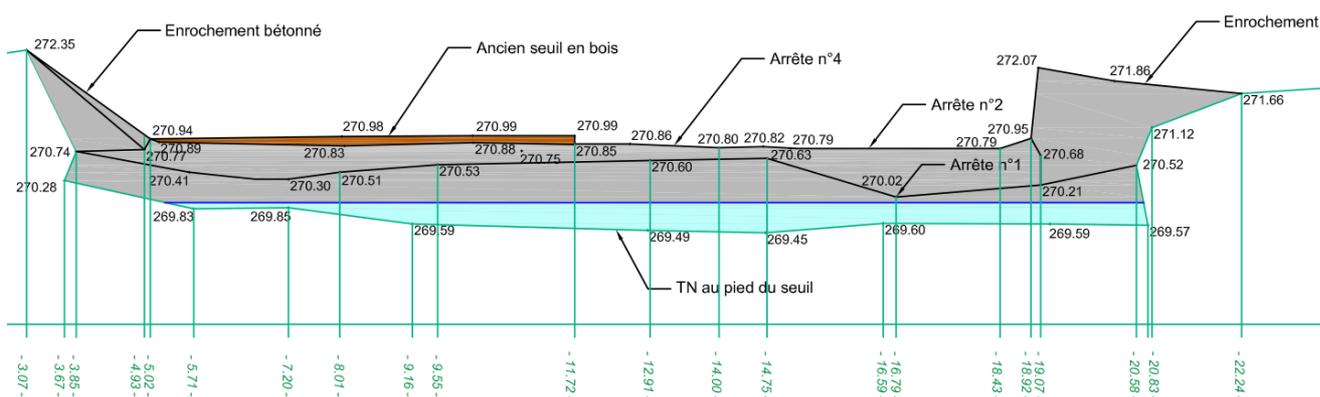


Illustration 5 : Élévation aval du seuil.

Source : Alidade

### Constitution / état

L'ouvrage est constitué de blocs et macroéléments béton partiellement liaisonnés au béton. Le coursier est recouvert d'une couche de béton. Un affouillement important en pieds est à l'origine de l'effondrement partiel de l'aval du parement. Celui-ci présente de nombreuses dégradations (fissures, brèche) avec des résurgences attestant de circulations d'eau internes (renard hydraulique).



Illustration 6 : Parement dégradé de l'ouvrage.

Source : CESAME 2020

**L'ouvrage est en mauvais état. En cas de maintien, une restauration complète (impliquant certainement un démontage et une reconstruction) est nécessaire pour en garantir la pérennité.**

## Fonctionnement hydraulique actuel du site

La méthodologie de collecte de données et les modalités de calcul sont expliquées dans le rapport de diagnostic général intitulé « Contexte de l'étude et note méthodologique ».

### Hydrologie

Débits caractéristiques définis au droit du site d'étude (m<sup>3</sup>/s)

Ouvrage	Bassin versant (km <sup>2</sup> )	QMNA5*	MODULE	3MODULE	QI2	QI10	QI100
Site 7 - SB119	451	0,45	6,5	19,5	59	112	235

\* : QMNA5 : débit de référence d'étiage quinquennal sec

Débits mensuels

Débits mensuels moyens (m <sup>3</sup> /s)						
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Jun	
10,59	11,75	8,25	7,92	7,86	4,29	
Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
2,14	1,49	2,01	3,90	7,40	10,20	

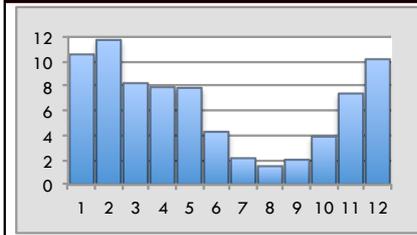


Tableau 1 : Évaluation des débits caractéristiques au droit de l'ouvrage.  
Source : CESAME 2020

### Hydraulique

Un modèle hydraulique 1D a été réalisé sur l'ensemble du linéaire étudié en complétant le modèle réalisé dans le cadre de l'étude sur la traversée de Charlieu (modèle HTV). Il a été calé avec les mesures produites (topographie et sondes de mesures – voir plus loin) et celles récupérées dans le cadre du PPRI (PPRI BCEOM). L'objectif du modèle est d'appréhender l'effet de l'ouvrage sur les lignes d'eau et d'anticiper les évolutions dans le cadre des aménagements étudiés en phase suivante.

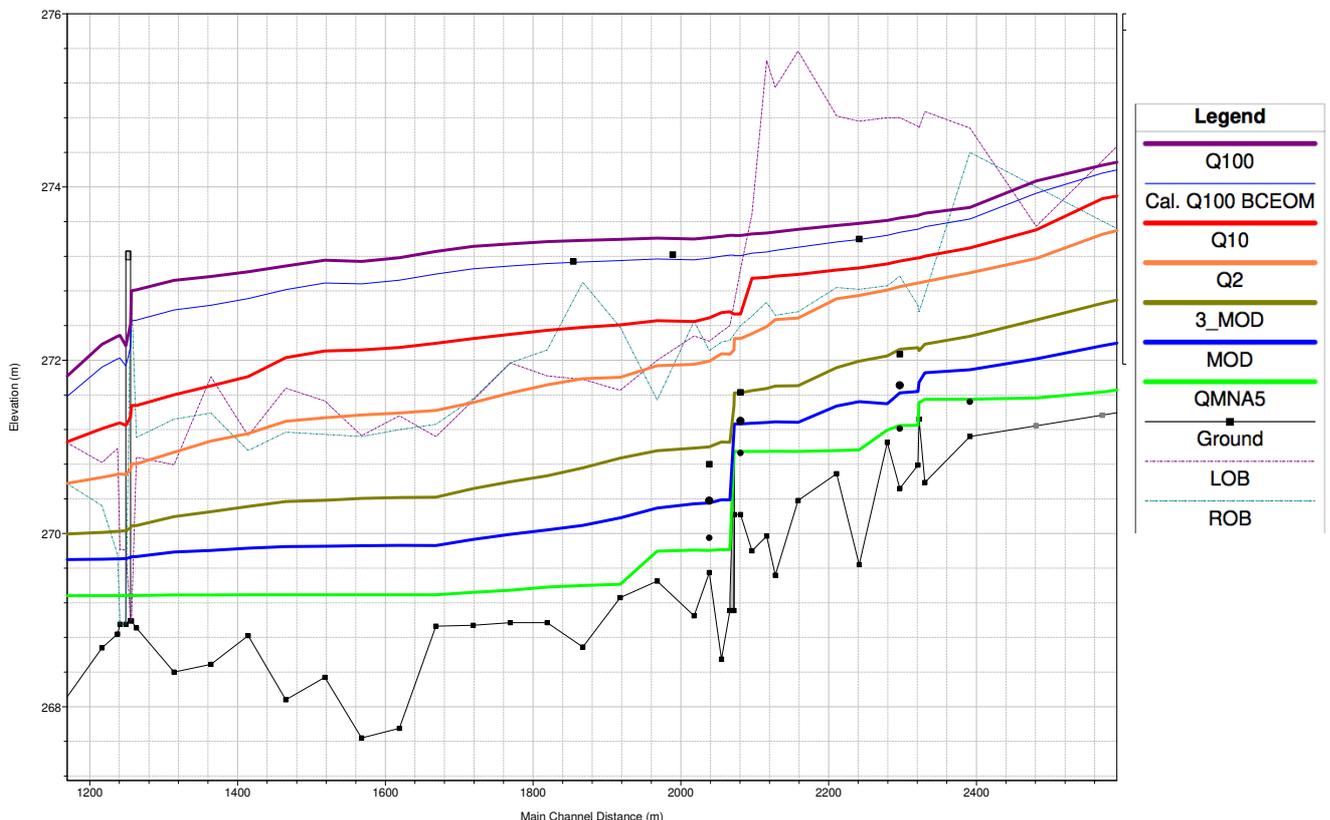


Illustration 7 : Profil en long du fond du lit et des lignes d'eau en situation initiale.  
Source : CESAME

La modélisation et les observations de terrain mettent en évidence les points suivants :

- Un remous liquide d'environ 90 mètres à l'étiage ;
- Le seuil est totalement ennoyé (hydrauliquement transparent) en crue centennale mais génèrerait toujours un léger ressaut en crue biennale et décennale ;
- En amont la capacité hydraulique du lit du Sornin est légèrement supérieure à la crue biennale avant observation des premiers débordements.

La hauteur de chute et les caractéristiques d'écoulement selon l'hydrologie au droit de l'ouvrage sont les suivantes :

SB119	QMNA5	MODULE	3MODULE
Débit amont (m <sup>3</sup> /s)	0,451	6,49	19,48
Niveau amont (NGF)	270,940	271,31	271,54
Niveau aval (NGF)	269,960	270,39	270,90
Chute à équiper (m)	0,980	0,92	0,64
Charge sur la crête (m)	Env. 0,15	0,3 à 0,5	0,55 à 0,75
Fosse d'appel (m)	Env. 1	Env. 1,4	Env. 1,5

Tableau 2 : Évolution des paramètres hydrauliques au niveau de l'ouvrage en fonction du débit.  
Source : Suivi CESAME 2019/2020



Illustration 8 : Photo de l'ouvrage pour un débit proche du module.  
Source : CESAME

## Contexte éco-morphologiques et désordres identifiés

### Analyse historique

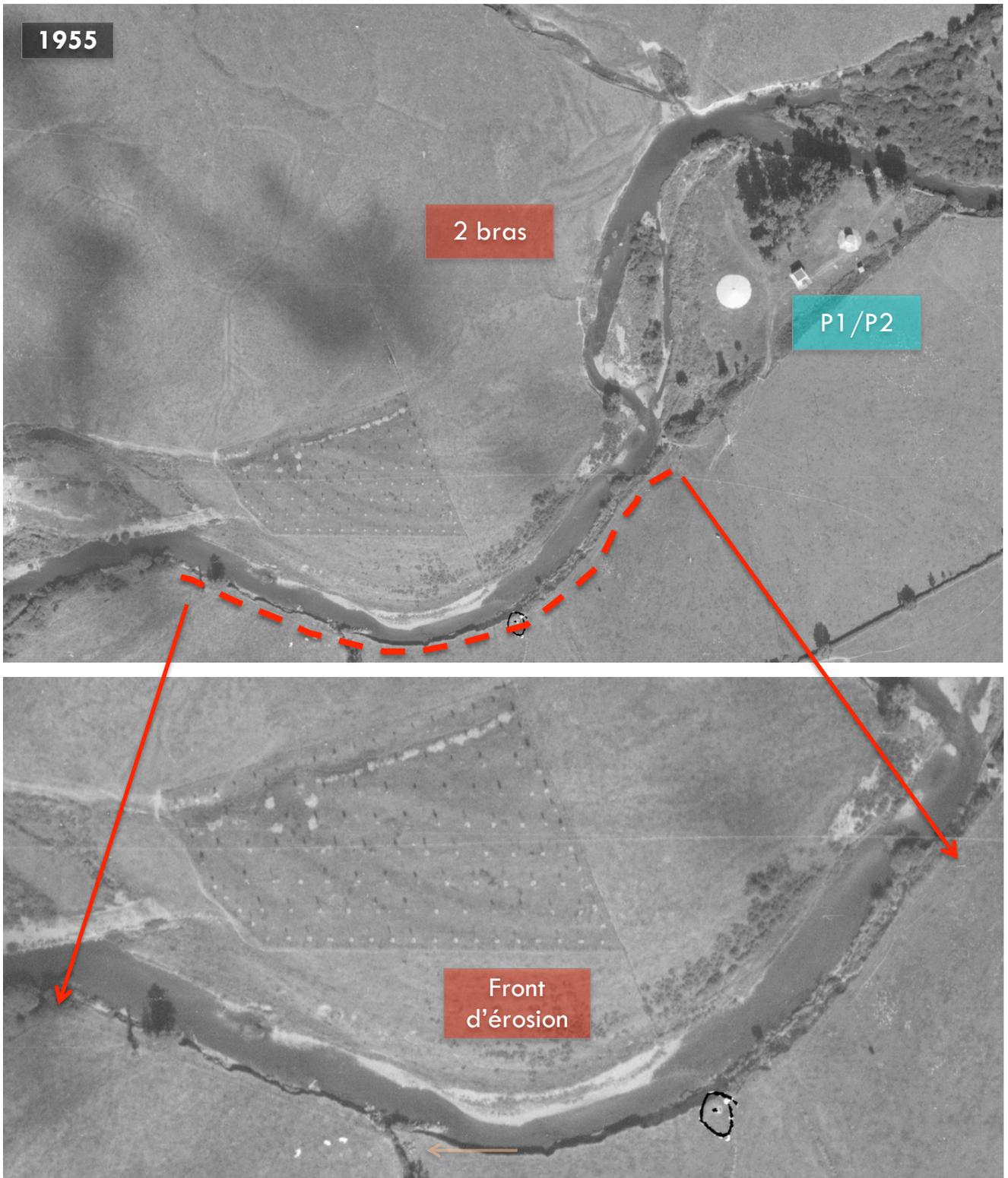


Illustration 9 : Photographie arienne de 1955.  
Source : Géoportail/IGN

En 1955 les captages d'eau potables P1 et P2 sont déjà existants. Au droit des captages, un bras secondaire est présent en rive gauche.

L'ouvrage est absent. Un front d'érosion se développe sur l'extérieur du méandre.

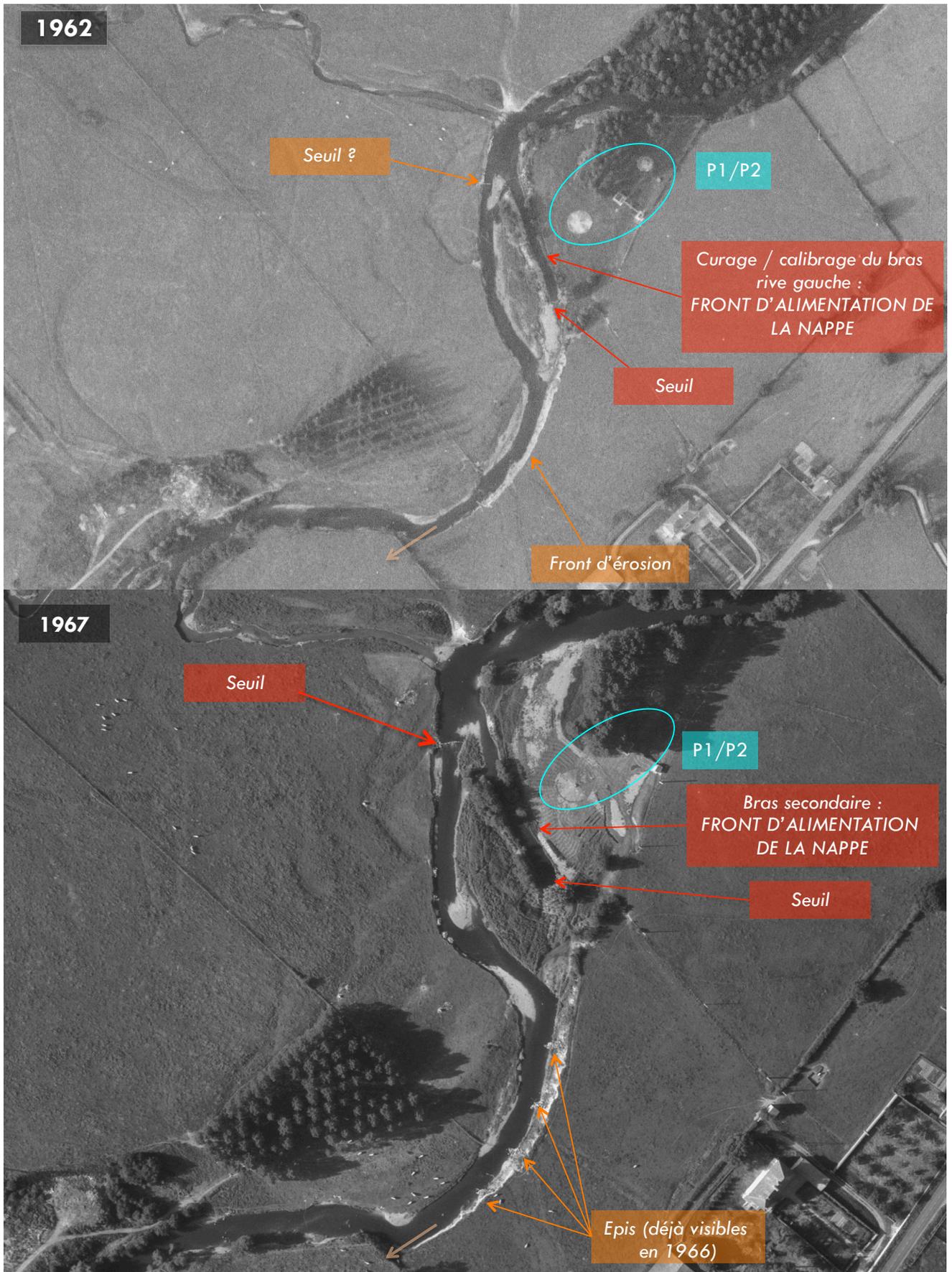


Illustration 10 : Photographie aérienne de 1962 et 1967.  
Source : Géoportail/IGN

Un seuil alimente le bras secondaire qui a été calibré avec un seuil en aval vraisemblablement pour maintenir le front d'alimentation de la nappe des captages (voir partie hydrogéologie).

Des épis sont visibles en extérieur du méandre. En aval (possiblement sous l'effet des épis), une encoche d'érosion se forme en rive gauche dans le méandre.

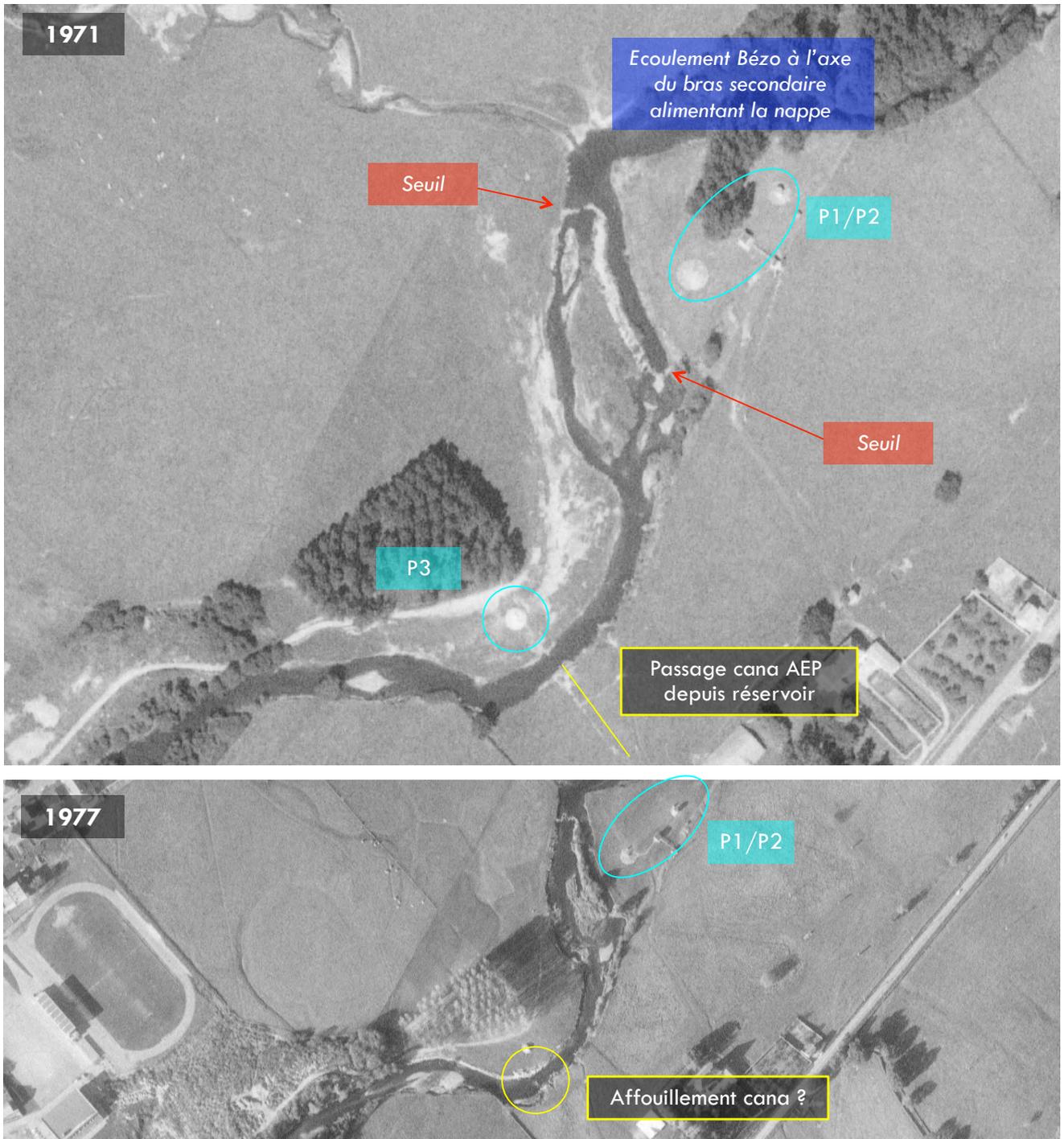


Illustration 11 : Photographie aérienne de 1971 et 1977.  
Source : Géoportail/IGN

En 1971 le puits P3 est construit. Une canalisation passe dans le Sornin juste en aval des épis reliant un réservoir au puits P3.

En 1977 une tache blanche est visible à l'emplacement de la canalisation. Celle-ci a vraisemblablement été mise à nue et génère une petite chute.

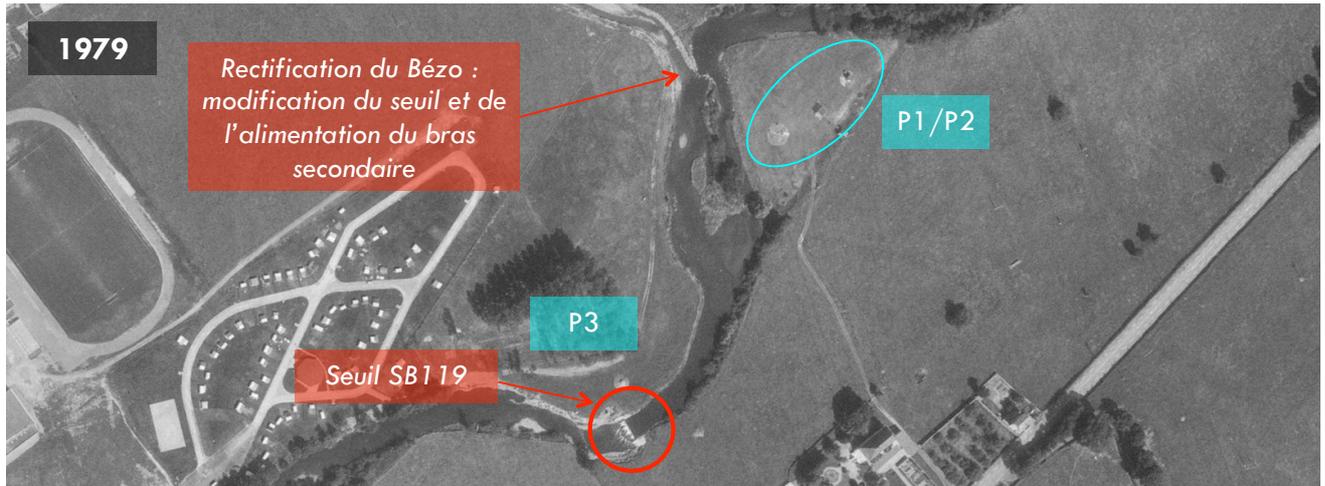


Illustration 12 : Photographie aérienne de 1979.  
 Source : Géoportail/IGN

En 1979 le Bézo a été rectifié et sa confluence déplacée en aval du seuil alimentant le bras secondaire. Le seuil SB119 apparaît clairement juste en aval du puits P3. Il aurait donc a priori été réalisé pour limiter l'affouillement de la canalisation d'eau potable.



Illustration 13 : Photographie aérienne de 1991.  
 Source : Géoportail/IGN

En 1991 le bras est comblé de sédiments. Il est pourtant visible et en eau sur les photographies aériennes antérieures. Les causes pourraient être multiples : dégradation du seuil d'alimentation et contournement, plus de curage, baisse de l'alimentation du fait du décalage du Bézo, « bouchon » lié au seuil situé en aval du bras limitant l'évacuation des sédiments...



Illustration 14 : Photographie aérienne de 2019.  
 Source : Géoportail/IGN

En 2019, la pression s’est maintenue sur la berge rive gauche en aval du seuil SB119 mais le front d’érosion s’est décalé vers l’aval.

La superposition des tracés anciens (cf. ci-après) montre bien cette progression de l’érosion du fait de la stabilisation de l’extérieur du méandre par les épis en amont du seuil et du remblai en aval du seuil.

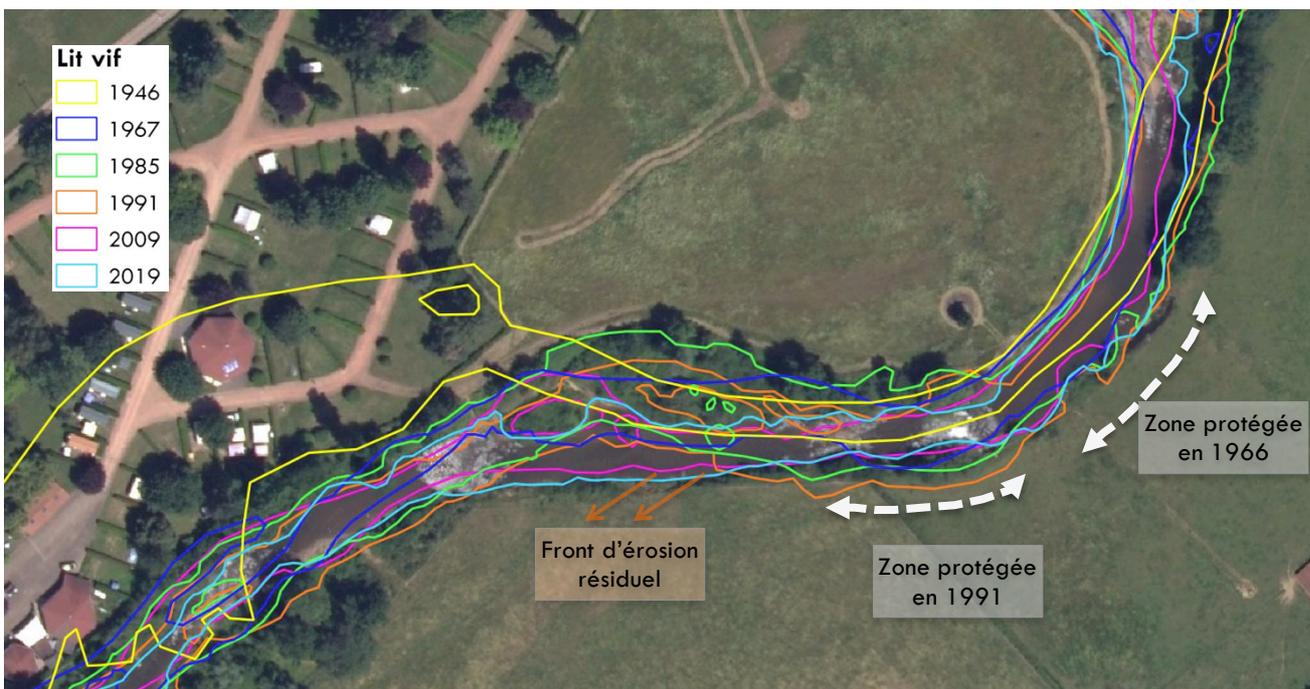


Illustration 15 : Superposition de quelques tracés du Sornin entre 1954 et 2019.  
 Source : CESAME

Le bras amont n'est plus visible sous l'effet du développement de la végétation. Le seuil qui l'alimentait est toujours présent. Il est cependant relativement dégradé.



La comparaison des photographies aériennes de 1954 à 2019 apporte les informations suivantes :

- Le seuil SB119 a été construit vers 1977 vraisemblablement en lien avec l'exploitation du puits P3 (passage d'une canalisation et possiblement rehausse du niveau).
- Le seuil est situé en extérieur de méandre. La berge rive gauche en extrados est protégée en amont du seuil par des épis depuis 1966 et en aval par du remblai (fragments grossiers de bétons/gravats déversés en vrac, voir plus loin) depuis 1991. La dynamique érosive se poursuit sur tout l'extérieur de méandre.
- Un bras secondaire a été calibré puis entretenu en amont au droit des puits P1 et P2. Il s'est comblé vers 1991.

## Morphologie et habitat

Le seuil SB119 est situé 250 m en aval de la confluence avec le Bézo juste à l'amont de l'entrée de la traversée de Charlieu où le cours d'eau a été fortement aménagé.

En amont du Bézo, le Sornin évolue avec de larges méandres dans un fond de vallon dominé par les prairies permanentes pâturées par des charolaises. Comme sur d'autres tronçons en aval Charlieu, s'il est possible d'observer localement les stigmates de dysfonctionnements liés à des aménagements passés/présents (curage, recoupement de méandre, artificialisation de berge, seuil...), la capacité du cours d'eau à éroder ses berges et à ajuster son tracé a permis d'éviter une progression/généralisation des problématiques écologiques induites par ces aménagements (incision, déconnexion/banalisation des habitats et des écoulements...).

Entre le Bézo et l'aval du seuil, hors zone d'influence de l'ouvrage, les faciès d'écoulement et la morphologie du lit sont bien diversifiés avec notamment des bancs / sinuosité favorisant les profonds et des zones de radiers favorisant les débordements vers des annexes latérales (chenaux secondaires plus ou moins en eau selon l'année – cf. photo de droite). Ces milieux alluviaux diversifiés permettent le développement de différentes strates de végétation (placette d'hélophytes sur les atterrissements et leur bordure, massifs de saules arbustifs, saules majeurs (blanc/fragile), aulnaie/frênaie)...



Sur ce secteur, la pente moyenne est comprise entre 0,3 et 0,4%. La puissance spécifique est estimée à 80-100 W/m<sup>2</sup> ce qui est bien au-delà du seuil théorique de 35 W/m<sup>2</sup> d'auto-ajustement. Comme en témoigne l'érosion du front de talus en amont immédiat du seuil et la mosaïque de milieux en amont, le Sornin est cours d'eau « actif » capable d'ajuster la morphologie de ses berges et dans une moindre mesure son tracé. Des contraintes fortes doivent donc s'exercer à l'extérieur du méandre au niveau duquel est positionné le seuil. En amont du seuil et en aval immédiat, la berge rive gauche a été stabilisée par des enrochements et des remblais déversés en vrac. Il semblerait que des remblais soient aussi présents au sein du lit majeur entre l'ouvrage et le puits P3.



Illustration 16 : Érosion du front de talus amont (à gauche) et berge artificialisées en aval (à droite) du seuil.  
Source : CESAME.

La végétation en berge est discontinue et peu abondante. Elle est globalement trop peu présente à l'échelle de l'axe Sornin aval ainsi, les massifs existants doivent être dans la mesure du possible conservés ou le cas échéant replantés et densifiés.

À noter la présence ponctuelle de massifs de renouée du Japon en rive droite en aval du seuil et en rive gauche au niveau du tracé de l'ancien bras secondaire.

### Contexte piscicole et espèces cibles identifiées

Le diagnostic préalable réalisé par la fédération de Pêche la Loire (voir rapport de diagnostic général intitulé « Contexte de l'étude et note méthodologique » et ses annexes détaillées) montre que les populations piscicoles présentent de nombreuses espèces électives de cette zone à ombre inférieure. Les derniers inventaires de 2016 et 2018 (Pont de Tigny) ne font pas état de la capture de truites et anguilles. Le score IPR du Sornin à ce niveau est stable depuis 2008 : classe bonne.

2 migrateurs amphihalins sont potentiellement présents : l'anguille et la lamproie marine.

Les espèces cibles identifiées sont les suivantes :

- Truite fario - *Salmo trutta fario* ;
- Barbeau fluviatile - *Barbus barbus* ;
- Hotu - *Chondrostoma nasus* ;
- Lamproie de Planer - *Lampetra planeri* ;
- Spirlin - *Alburnoides bipunctatus* ;
- Vandoise rostrée - *Leuciscus burdigalensis* ;
- Bouvière – *Rhodeus sericeus*
- Anguille commune - *Anguilla anguilla* ;
- Lamproie marine - *Petromyzon marinus*.

## Contexte hydrogéologique et lien avec l'ouvrage SB119

### Situation hydrogéologique et ouvrages de captage

Les puits de Charlieu sont implantés sur les deux rives du Sornin 1 km en amont du Bourg de Charlieu, sur la commune de Chandon :

- P1 et P2 sont en rive gauche de la rivière dans un méandre
- P3 et P4 sont en rive droite (P3 au niveau du seuil SB119, P4 en face de P2).

D'un point de vue géologique, on se situe dans la basse terrasse des alluvions récentes du Sornin qui reposent ici sur les formations argileuses de l'Oligocène.

Les alluvions sont de nature sableuse à sablo-graveleuse (peu ou pas de très gros diamètres type galets etc...).

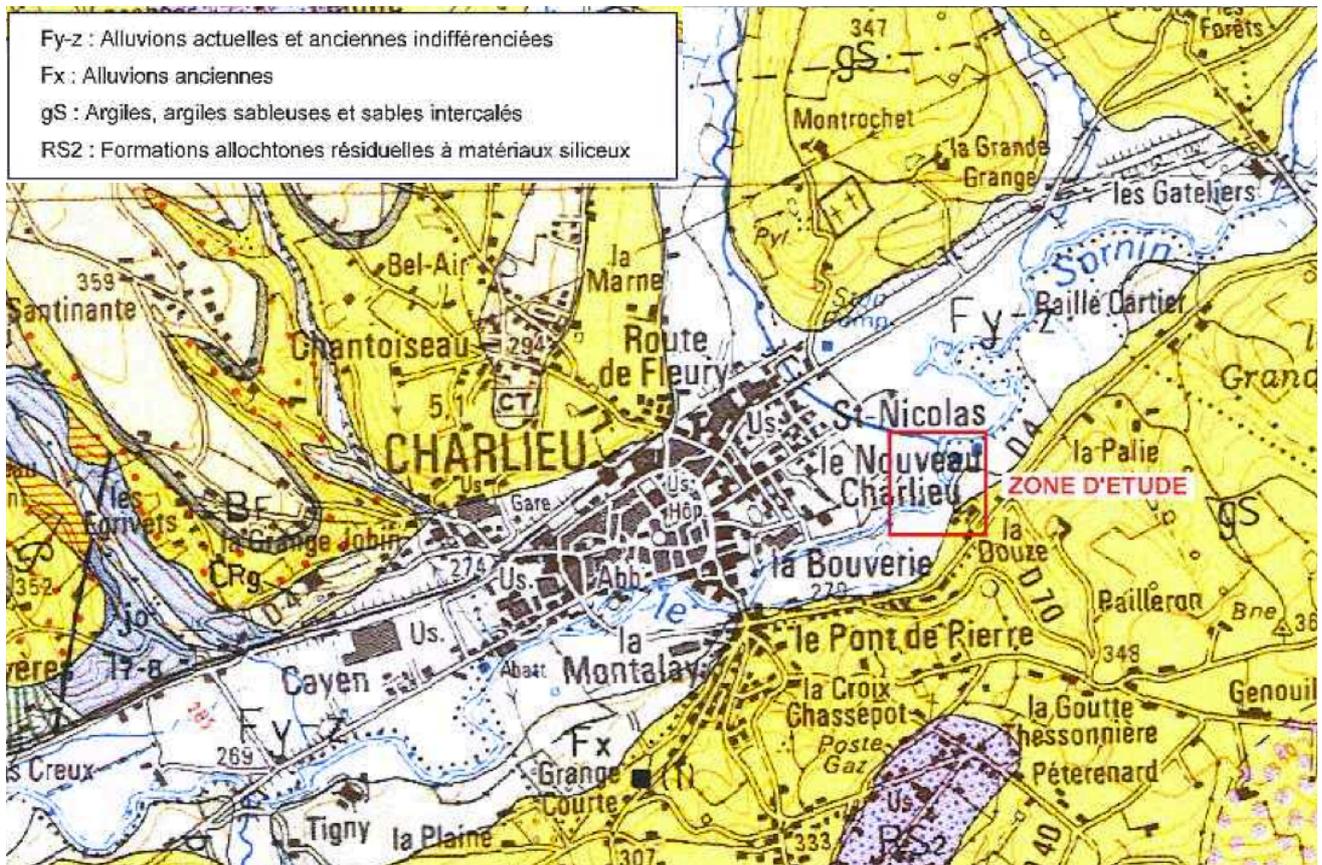


Illustration 17 : Contexte géologique au droit de la zone d'étude.  
Source : BRGM.

Les coupes géologiques des puits ne sont pas connues, mais les coupes techniques ont été dressées en 1999 par la société SATIF et de récents piézomètres permettent de déterminer la nature et l'épaisseur des alluvions.

En rive gauche, la hauteur mouillée est assez importante :

- Au niveau de P1 elle est de l'ordre de 5 m selon la coupe du puits (le pz5 réalisé en septembre 2007 un peu en amont (voir carte de localisation en annexe) donne une profondeur de substratum de 7,0 m et un niveau d'eau à 3,6 m).
- Au niveau de P2 elle est de l'ordre de 3,2 m selon la coupe du puits (le pz1 réalisé en septembre 2007 donne une profondeur de substratum de 5 m/sol et un niveau d'eau à 1,5 m/sol).

En rive droite la hauteur mouillée semble plus faible au niveau de P3 :

- Au niveau de P3 en rive droite la profondeur du substratum est de l'ordre de 5,7 m ; les alluvions ont fait l'objet de forages en 2011/2 qui ont montré un substratum situé à 5 m de profondeur par rapport au sol, et un niveau d'eau à 2,3 à 2,5 m/sol - soit une hauteur mouillée de 2,5 à 2,7m (conforme à coupe technique du puits P3).
- Au niveau de P4, il n'y a pas eu de piézomètres récemment implantés. C'est l'ouvrage le plus profond (8,6 m/sommet ouvrage soit  $\approx 7$  m/sol) et la hauteur mouillée est de comprise entre 4,5 et 4,8 m.

La figure suivante présente l'implantation schématique des ouvrages de captage par rapport au Sornin. On remarque que les puits sont reliés entre eux 2 à 2.

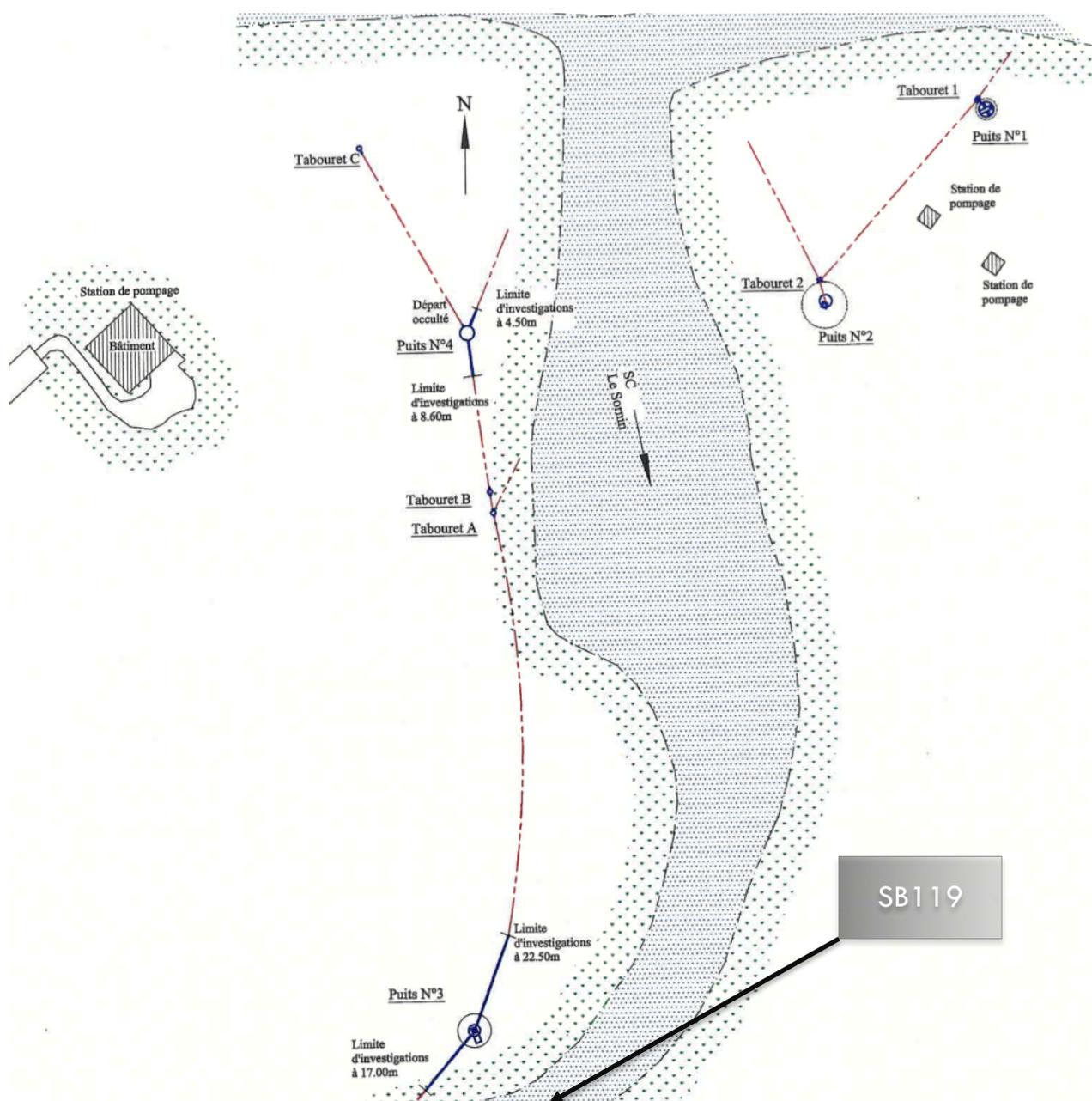


Illustration 18 : Schéma d'implantation des captages de Charlieu.  
Source : SATIF 1999.

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des 4 puits.

	P1	P2	P3 (seuil)	P4
Création	1927	Antérieur à 1955	Années 1970-71	Années 1970-71
Étude référence	SATIF Déc 1999 CPGF 2008	SATIF Déc 1999 CPGF 2008	SATIF Déc 1999 CPGF 2011	SATIF Déc 1999
Nature du repère	Sommet ouvrage	Sommet trappe	Sommet trappe	Sommet ouvrage
Profondeur / repère	7,65 m (inclus virolle 1,4m) (drain à 5 m)	5,95 m (drain à 5 m)	5,75 m (drain à 4,7 m)	8,6 m (drain à 6,75 m)
Eau/repère (8 et 9/12/1999)	2,6 m	2,75 m	3,32 m	3,75 m
Hauteur mouillée	5,05 m	3,2 m	2,43 m	4,75 m
NGF repère	274,5	274,88	273,95	274,9
NGF Eau (12/99)	271,9	272,13	270,6	271,15
NGF Eau (19/06/20)	270,83 (exploité)	270,75 (exploité)	270,99	270,99
NGF Eau Sornin étiage (h eau)	271,54 (0,43)	271,45 (0,45)	270,9 (0,3-1,5) amont seuil 269,9 aval seuil	271,45 (0,45)

Tableau 3 : Caractéristiques des puits de captage de Charlieu  
Source : CPGF

L'étude hydrogéologique menée sur le champ captant de la Douze à Charlieu en février 2008 par CPGF-HORIZON Centre-Est a permis de caractériser les puits en rive gauche du Sornin. En 2011, CPGF était mandaté pour étudier le puits P3 en rive droite du Sornin.

De ces deux études, il est ressorti que **les ouvrages sont en mauvais état général et que les équipements sont colmatés par des précipités de fer et de manganèse**. Les puits sont tous équipés de drains en direction du Sornin dont la longueur et l'emplacement exact sont inconnus.

Le débit d'exploitation critique pour les puits 1 et 2 a été fixé par essai de pompage à 65 m<sup>3</sup>/h avec drains opérationnels (configuration normale) ou 30 m<sup>3</sup>/h avec obturation des drains. En 2011 (date des derniers rapports hydrogéologiques), les ouvrages étaient surexploités : débit d'exploitation 100 m<sup>3</sup>/h.

Le débit d'exploitation critique pour les puits P3 et P4 a été fixé à ≤10 m<sup>3</sup>/h avec drains opérationnels. Ces puits ont été abandonnés dans les années 1970-80 du fait de leur faible productivité et pour des problèmes récurrents de qualité (présence de fer, manganèse et pollution bactériologique). Il était toutefois prévu de conserver le P3 en complément des P1 et P2 pour les périodes de déficit en eau.

Actuellement les puits P3 et P4 ne sont pas dotés de périmètres de protection, seuls les puits P1 et P2 en sont pourvus.

Des problèmes de qualité sont toutefois signalés sur P1 et P2 avec la présence en particulier de Fer et Manganèse dans des teneurs pouvant atteindre 10 fois la norme de qualité pour l'eau potable (0,05 mg/l Mn et 0,2 mg/l Fe).

Ce constat a conduit la commune à se doter d'une station de traitement des eaux capable d'éliminer le fer et le manganèse.

La présence de ces métaux s'explique par :

- les conditions géologiques : minéraux contenant du fer et du manganèse ;
- les conditions hydrologiques : milieux pauvres en oxygène du fait d'un écoulement lent du cours d'eau ;
- les conditions d'exploitation : les bactéries ferro-manganiques fixent fer et manganèse dans le milieu souterrain pauvre en oxygène. La surexploitation des ouvrages entraîne un dénoyage des terrains à proximité des puits et drains et provoque la précipitation du fer et du manganèse en périphérie des ouvrages qui se colmatent progressivement.

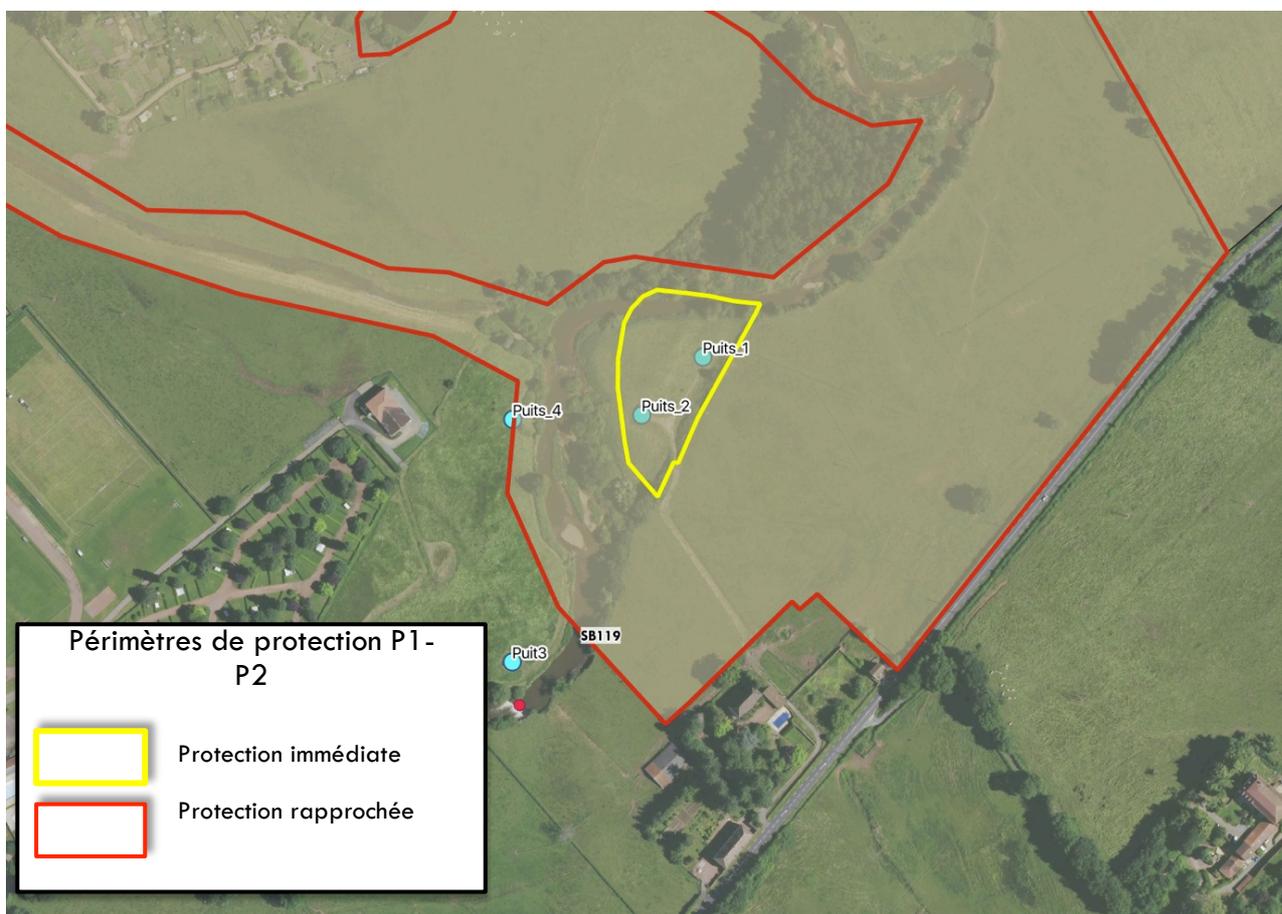
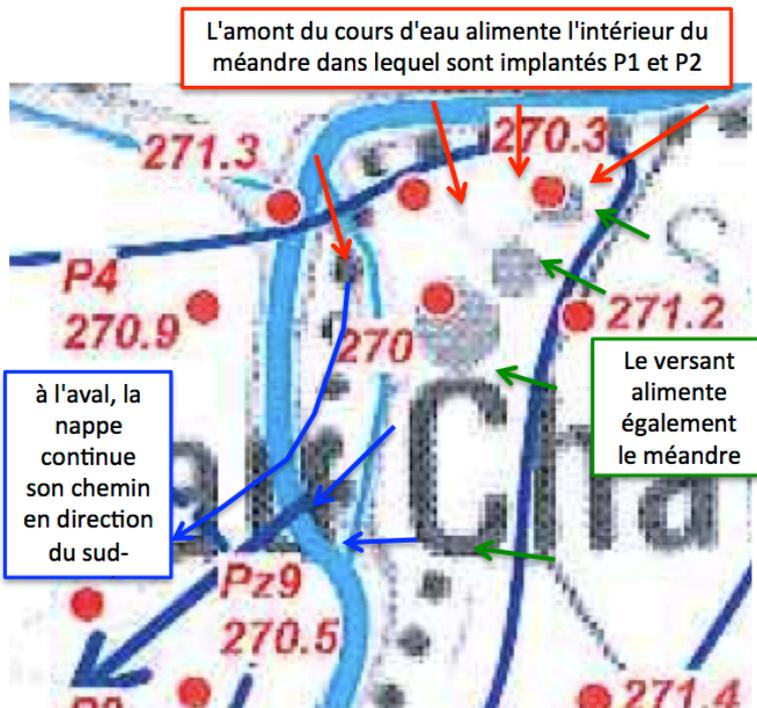


Illustration 19 : Rappel des périmètres de protection des puits de captage 1 et 2.  
Source : ARS.



Si l'on zoom séparément sur chacune des parties de cette carte on observe :

- dans le secteur P1-P2



Les traits bleu foncés dessinent les iso-values de piézométrie (niveau d'eau) dans la nappe aquifère.

C'est à partir de ces courbes que sont tracées les lignes de courant dans la nappe :

- en rouge pour l'alimentation du secteur depuis la rivière ;
- en vert pour l'alimentation du secteur depuis le versant ;
- en bleu clair pour l'évacuation.

Illustration 21 : Zoom sur la piézométrie de la nappe dans le méandre P1 & P2 (pas de pompage en rive droite)  
Source : CPGF 2011

Dans le méandre P1, P2, l'alimentation de la nappe dépend clairement du Sornin en amont de la confluence du Bezo.

- Dans le secteur P3-P4

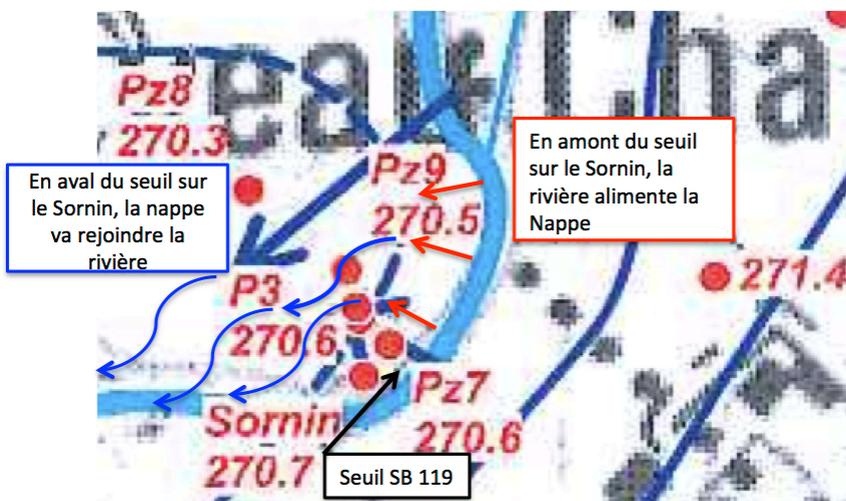


Illustration 22 : Zoom sur la piézométrie de la nappe dans le méandre P1 & P2 (pas de pompage en rive droite)  
Source : CPGF 2011

Dans le secteur P3-P4 la rivière alimente la nappe en amont du seuil SB119 et elle draine la nappe en aval. La rivière est « perchée » au-dessus de la nappe, ce qui indique probablement un colmatage de la berge.

## Mesures de niveau d'eau en 2020

Depuis le mois de janvier 2020, 5 sondes ont été mises en place dans la zone d'étude (sondes 1 à 5 sur figure suivante) et les niveaux dans les puits P1 et P2 sont régulièrement suivis par l'exploitant.

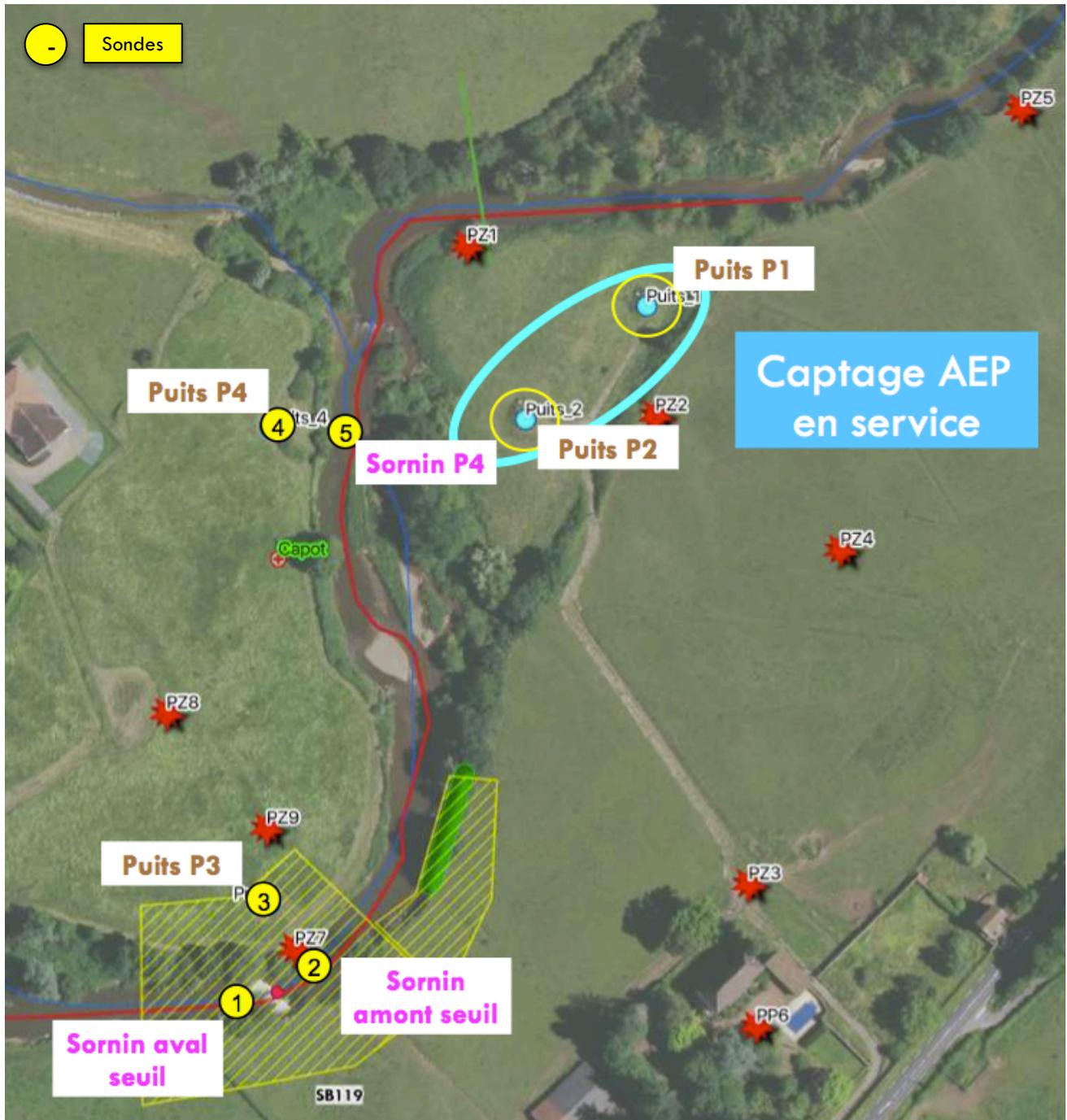


Illustration 23 : Carte d'implantation des points de suivi des niveaux d'eau.  
Source : CESAME 2020

Les niveaux d'eau mesurés au droit de ces différentes sondes ont été ramenés à une cote altimétrique et présentés sur un graphe unique page suivante.

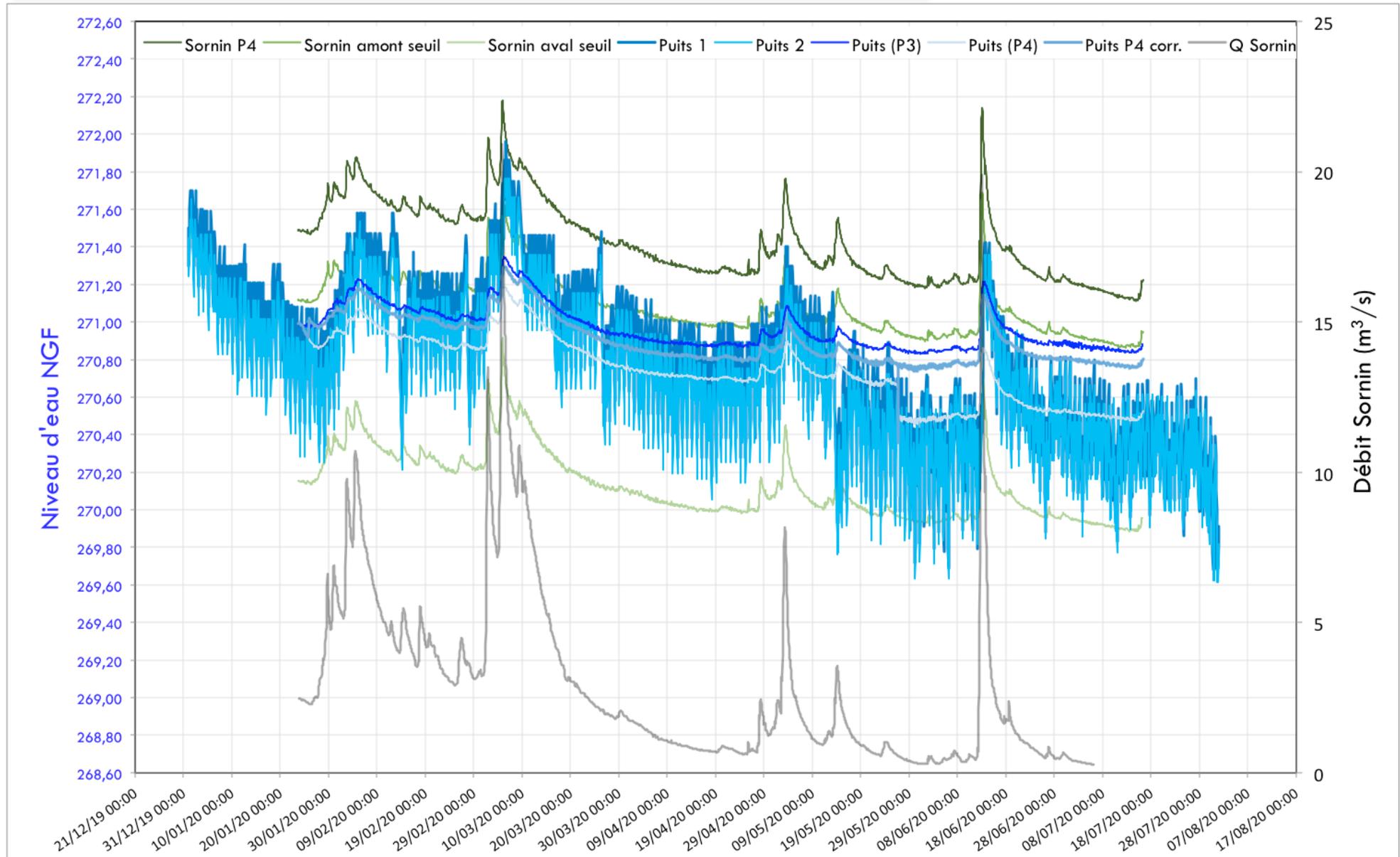


Illustration 24 : Carte d'implantation des points de suivi des niveaux d'eau.  
Source : CESAME 2020

## Puits P1 et P2

L'élément le plus visible du graphique est la courbe des puits 1 et 2 qui montre l'alternance des phases de pompage et de repos sur ces ouvrages.

A chaque phase de pompage, le niveau d'eau dans les puits exploités descend de 0,5 m environ ; la durée du pompage est de 5 à 6 heures par jour et le pompage s'effectue la nuit.

En dehors de ces variations journalières de 0,5 m environ, on remarque que le niveau dans les puits P1 et P2 est très influencé par le niveau du Sornin. Les quelques phases d'interruption du pompage qui ont eu lieu dans le courant de notre période de suivi laissent supposer que la nappe « au repos » s'établirait à une cote égale voire légèrement supérieure à celle de la rivière Sornin au niveau des puits P2 et P4 (sonde 5 sur la carte précédente, « Sornin P4 » sur le graphe).

La relation nappe-rivière semble excellente puisque chaque petite crue du Sornin se traduit par une remontée puis une descente de la nappe qui présente quasiment la même dynamique que celle de la rivière.

A partir de la mi-mai, quand le débit du Sornin passe en dessous de 1 m<sup>3</sup>/s, le niveau de l'eau dans le méandre P1-P2 « décroche » par rapport au niveau du Sornin et baisse beaucoup plus rapidement que le niveau de la rivière. Le niveau de nappe « au repos » finit par s'établir environ 0,5 m en dessous de sa référence « Sornin P4 ». **En étiage, la nappe est donc légèrement sur exploitée : les apports depuis la rivière sont insuffisants par rapport au volume exploité et le niveau d'eau baisse dans la nappe.**

## Puits P3

Le puits P3 quant à lui se situe à proximité immédiate de la sonde mesurant le niveau d'eau en amont immédiat du seuil au sein de la retenue (sonde 2 sur la carte précédente, « Sornin-Amont-seuil » sur le graphe).

Les mesures réalisées viennent comme dans le cas précédent conforter la carte piézométrique CPGF :

- le Sornin en amont du seuil est légèrement plus haut que la nappe, il est donc en position d'alimenter la nappe ;
- le Sornin en aval du seuil est beaucoup plus bas que la nappe ; il est donc là en position de drainer la nappe.

Le niveau dans le puits P3 est « soutiré » vers le Sornin aval.

Le puits P4 est en relation par une canalisation avec P3 (comme P2 avec P1). Son niveau est étonnamment légèrement plus bas que celui de P3. Nous optons pour une légère erreur de nivellement car il n'y a pas d'explication hydrogéologique très plausible à cette différence (qui apparaît déjà sur la carte piézométrique de CPGF).<sup>3</sup>

Comme P1 et P2, les puits P3 et P4 suivent bien le niveau du Sornin, mais de façon un peu plus molle (les pics sont moins accentués) ce qui révèle le phénomène de colmatage de la berge déjà évoqué précédemment (la proximité est plus grande entre P3 et la berge qu'entre P1 ou P2 et la berge, mais la réaction de la nappe est plus molle). Ce colmatage de la berge peut être attribuable à la présence du seuil qui ralentit les écoulements de la rivière et favorise le dépôt de matériaux fins et colmatants.

<sup>3</sup> On pourrait évoquer la potentielle existence d'un ancien bras fossile du Sornin qui se relierait plus en aval sur la rivière, mais cela reste hypothétique et n'apporte rien dans le cadre de la présente étude.

## Synthèse sur la qualité de l'eau

La station de suivi de la qualité de l'eau du Sornin la plus proche est située en aval, juste à l'amont de la confluence avec le Chandonnet en sortie du bourg de Charlieu (station 04015300, le Sornin à Charlieu au pont de la D487 - voir carte présentée dans le rapport de diagnostic général intitulé « Contexte de l'étude et note méthodologique »).

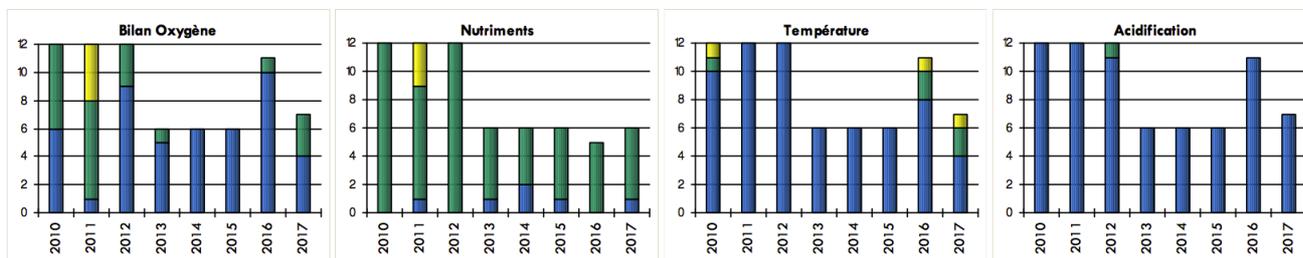
■ **Classes d'état :**

Très bon
Bon
Moyen
Médiocre
Mauvais
Informations insuffisantes

■ **Etat physico-chimique annuel :**

Année	Bilan de l'oxygène	Nutriments	Température	Acidification
2010	ETAT PHYSICO-CHIMIQUE			
	Bon	Bon	Moyen	Moyen
2011	ETAT PHYSICO-CHIMIQUE			
	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
2012	ETAT PHYSICO-CHIMIQUE			
	Bon	Bon	Moyen	Moyen
2013	ETAT PHYSICO-CHIMIQUE			
	Bon	Bon	Moyen	Moyen
2014	ETAT PHYSICO-CHIMIQUE			
	Moyen	Bon	Moyen	Moyen
2015	ETAT PHYSICO-CHIMIQUE			
	Bon	Bon	Moyen	Moyen
2016	ETAT PHYSICO-CHIMIQUE			
	Bon	Bon	Moyen	Moyen
2017	ETAT PHYSICO-CHIMIQUE			
	Bon	Bon	Moyen	Moyen

■ **Éléments physico-chimique généraux : nombre de campagnes par an et par état**



Paramètres déclassants :

Année	Date	Paramètre	Valeur mesurée
2011	08/06/11	COD	7,2 mg(C)/L
2011	04/07/11	O2 dissous	5,6 mg(O2)/L
2011	04/07/11	Sat. O2	61 %
2011	02/11/11	DBO5	6,1 mg(O2)/L
2011	05/12/11	COD	9,5 mg(C)/L

Paramètres déclassants :

Année	Date	Paramètre	Valeur mesurée
2011	08/06/11	P total	0,45 mg(P)/L
2011	02/11/11	P total	0,27 mg(P)/L
2011	05/12/11	P total	0,21 mg(P)/L

Paramètres déclassants :

Année	Date	Paramètre	Valeur mesurée
2010	07/07/10	Temp. Eau	21,7 °C
2016	21/07/16	Temp. Eau	24,4 °C
2017	19/06/17	Temp. Eau	24,7 °C

Tableau 4 : Qualité de l'eau au niveau de la station la plus proche.  
Source : Sandre

La qualité de l'eau peut être considérée comme bonne sur ce tronçon ces dernières années. On note quelques déclassements ponctuels en état moyen liés à une température d'eau un peu trop chaude vis-à-vis du contexte piscicole.

Des mesures in situ ont été réalisées en amont et en aval de l'ouvrage pendant l'été 2020. Elles sont présentées plus loin dans le rapport.

## Pré-diagnostic écologique

### Contexte naturel

Seuil situé en partie aval du Sornin, en milieu ouvert, prairial, bordé par endroit de micro-falaises sableuses, et retenant en amont des sédiments formant des embâcles et des bancs sableux.



Illustration 25 : Micro falaise en amont immédiat rive gauche (gauche) et bancs de gravier en amont (droite).  
Source : CESAME.

### Enjeux flore et habitats

#### Enjeux potentiels modérés à fort

- **Habitat de zone humide** : Ripisylve d'Aulnes et de Frênes présente ponctuellement en amont du seuil, habitat en état moyen de conservation : peu étendu en largeur mais jouant cependant un rôle de protection du cour d'eau (stabilité des rives et maintien d'une fraîcheur relative) ;
- Plages d'alluvions grossières en amont avec présence potentielle d'espèces patrimoniales : Renoncule scélérate *Ranunculus sceleratus* espèce protégée Rhône-Alpes mais commune dans le département de la Loire, Pulicaria *Pulicaria vulgaris* protégée nationale (connue sur alluvions sableuses de la Loire Brionnaise).

#### Enjeux potentiels très faibles à faibles

- Les prairies pâturées de la rive gauche ;
- La prairie enfrichée en rive droite (présence de remblais douteux au sein des terrains).

#### Espèces exotiques envahissantes

- Présence de Renouée du Japon sur les berges en aval du seuil à éviter ou traiter spécifiquement lors des travaux.

## Enjeux faune

Les enjeux principalement concentrés sur les plages et zones de dépôt en amont du seuil qui peuvent servir d'habitat pour plusieurs espèces patrimoniales (mammifères, oiseaux, libellules), ainsi qu'au niveau des micro-falaises sableuses (oiseaux).

### Enjeu potentiel fort

- Mammifères :
  - Fréquenté par le Castor d'Europe (traces d'activité en amont du seuil) ;
  - Secteur potentiellement fréquenté par la Loutre d'Europe (terrier découvert en amont pouvant être occupé par cette espèce) ;
  - Présence d'arbres à cavités pouvant accueillir des chiroptères en rive gauche, immédiatement à l'amont du seuil.
- Libellules : présence possible d'espèces patrimoniales au niveau des dépôts amont.

### Enjeu potentiel modéré

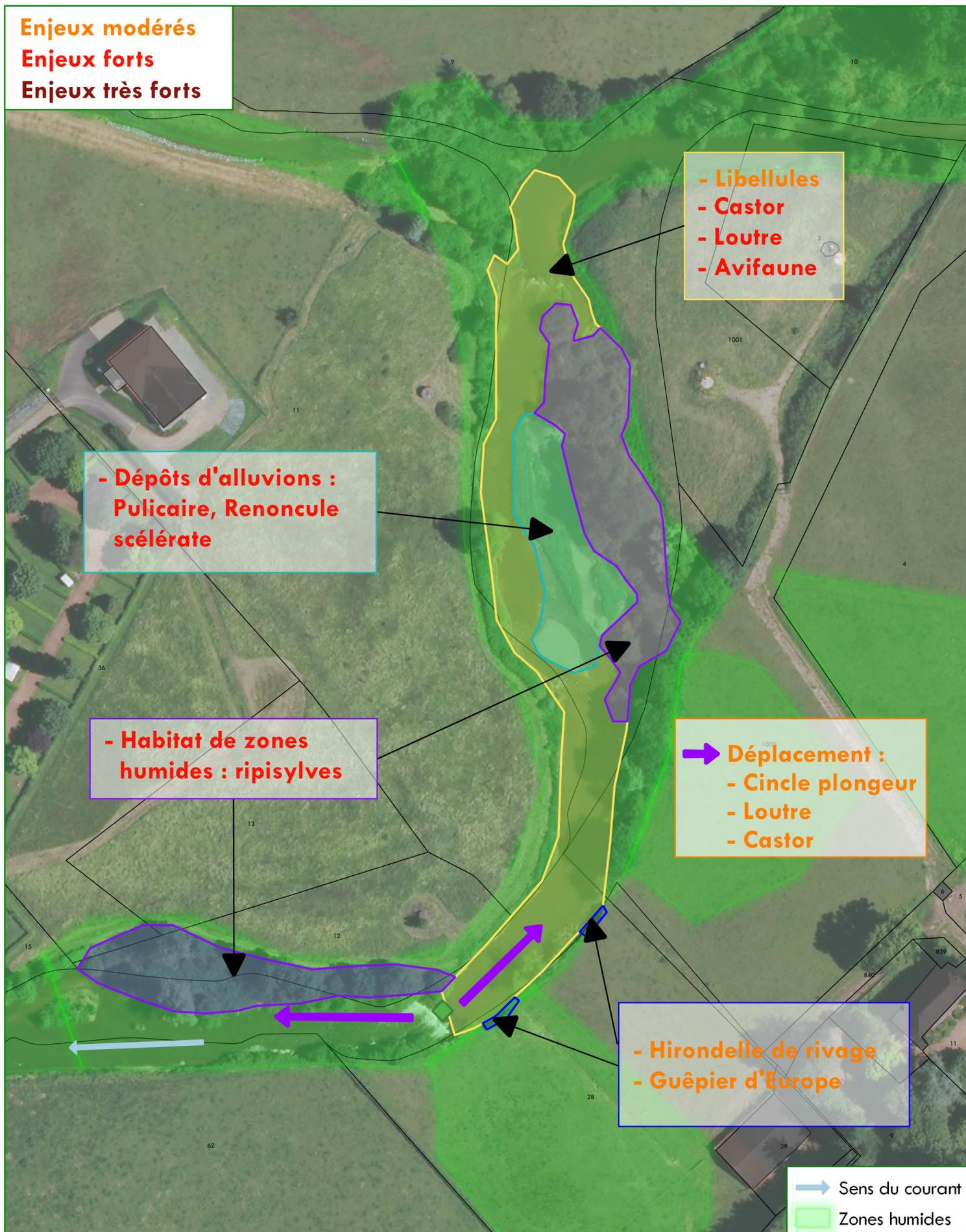
- Oiseaux :
  - Présence de micro-falaises sableuses pouvant être colonisées par le Guêpier d'Europe et l'Hirondelle de rivage ;
  - Plage en amont du seuil assez favorable à l'accueil d'ardéidés en repos, ou du Petit Gravelot en nidification ;
  - Secteur potentiellement fréquenté par le Cincle plongeur et le Martin pêcheur.

*L'enjeu du site se situe principalement sur les plages et dépôts à l'amont, leur disparition pouvant engendrer une perturbation pour la faune. Les rives amont boisées et les micro-falaises doivent être préservées dans la mesure du possible.*

*En outre, le cours du Sornin sert potentiellement de corridor de déplacement pour quelques espèces d'oiseaux et de mammifères.*

## SB 119 - Enjeux faune/flore potentiels

**Enjeux modérés**  
**Enjeux forts**  
**Enjeux très forts**



## Incidence de l'ouvrage

### Morphologie du lit et habitat

L'ouvrage génère un remous hydraulique atteignant à l'étiage environ 90 m de long.

Ce remous (cf. photo de droite) entraîne localement un colmatage des fonds et la disparition des alternances dynamiques de faciès d'écoulement naturellement rencontrées sur ce type de cours d'eau via la création d'une zone lenticule localement profonde.



### Qualité de l'eau

Le remous hydraulique est susceptible d'accentuer les problématiques de réchauffement des eaux, de désoxygénation, de développement algal en période estivale et de précipitation du fer et du manganèse (composés responsables du colmatage des puits de captage rive droite du Sornin).

Des mesures in situ ont été réalisées en amont et en aval de l'ouvrage au cours de 3 campagnes pendant l'été 2020. Ces mesures réalisées toujours aux mêmes points en sortie de mouille ont pour but de vérifier si ponctuellement une altération de la qualité de l'eau est mise en évidence du fait de la présence de l'ouvrage.

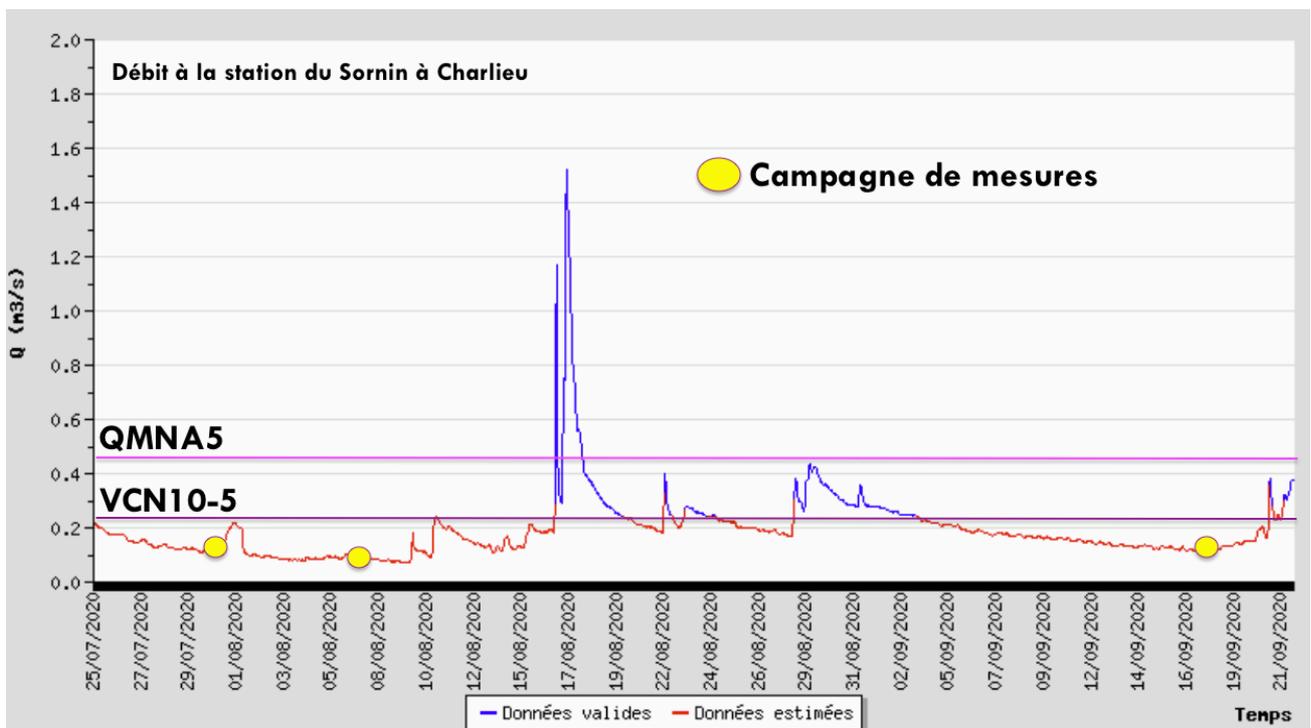


Illustration 27 : Contexte hydrologique lors des campagnes de mesure.

Source : CESAME 2020

Les résultats des mesures sont interprétés via la grille d'interprétation de l'arrêté du 27 juillet 2015 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.

Date	Station	pH 50%	T° 50%	Cond 50%	Saturation O <sub>2</sub> 50%	O <sub>2</sub> dissous 50% (mg/L)	Saturation O <sub>2</sub> 95%	O <sub>2</sub> dissous 95% (mg/L)
30/07/20	STNA	7,81	24,1	290	74,1	6,07	72,0	6,07
	STRET	7,84	24,2	290	82,1	6,57	91,0	7,09
	STAV	7,83	24,3	290	80,4	6,53	78,0	6,09
06/08/20	STNA	7,77	22,8	320	85,1	7,10	79,4	6,48
	STRET	7,91	22,6	320	80,1	6,04	76,4	5,83
	STAV	7,82	22,4	320	73,0	6,10	68,0	5,58
18/09/20	STNA	8,05	21,2	330	85,0	7,43	82,0	7,28
	STRET	8,1	21,2	330	88,0	7,70	82,0	7,04
	STAV	7,98	21,2	320	75,6	6,55	70,0	6,02

STNA = Station Naturelle Amont - STRET = Station Retenue - STAV = Station Aval - Les % représentent la profondeur de mesure sur la colonne d'eau.

Très bon état      Bon état      Etat moyen      Etat médiocre      Etat mauvais

Tableau 5 : Résultats du suivi in situ réalisé ponctuellement par CESAMÉ.

Source : CESAME 2020

Ces mesures ponctuelles mettent en évidence une eau de qualité satisfaisante avec cependant des températures élevées pour des espèces salmonicoles (classe moyenne sur 2 campagnes, en limite de classe médiocre sur une campagne). Ce paramètre ne semble pas significativement évoluer entre l'amont et l'aval du seuil. En revanche, l'oxygène dissous a tendance à baisser ( $\approx 1$  mg/l) en aval du seuil sur 2 campagnes.

Un suivi en continu sur le long terme serait nécessaire (sondes enregistrées à pas de temps court comme celles installées sur le champs captant) pour apporter des éléments plus concluants. Les sondes mises en place sur quelque mois (février – juillet 2020) mettent bien en évidence ce problème de thermie avec des températures dépassant quotidiennement 25° du 22 juin au 17 juillet (fin du suivi).

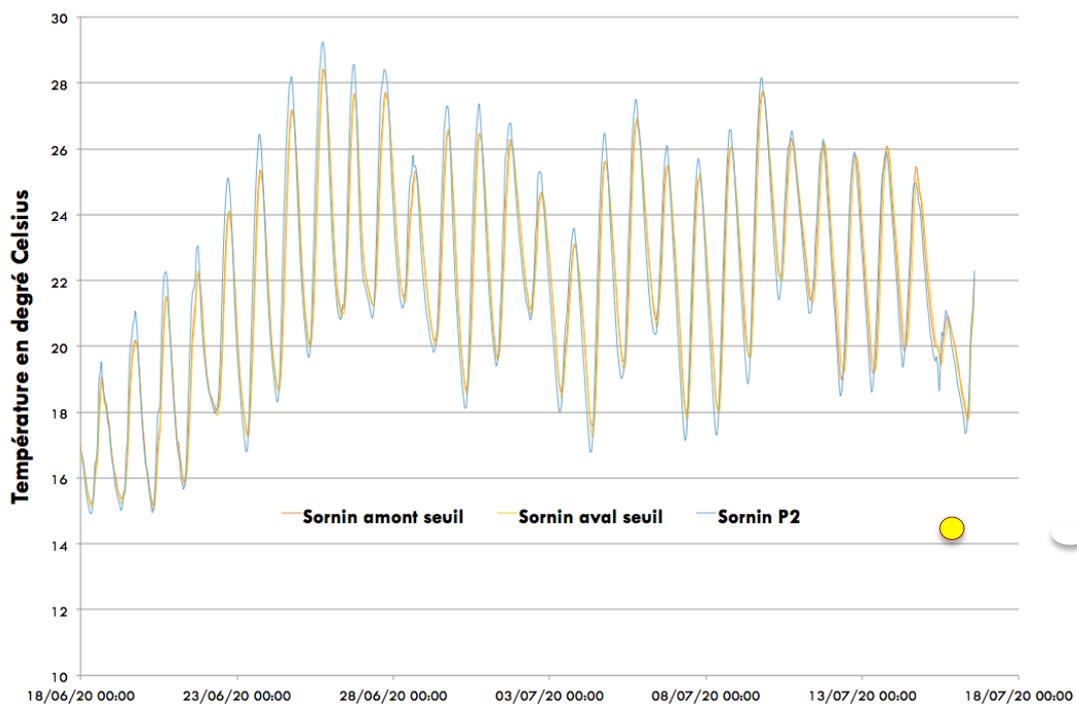


Illustration 28 : Relevé continue de t° sur le début de l'été 2020.

Source : CESAME 2020

## Hydromorphologie et continuité sédimentaire

Les observations de terrain et la réalisation de granulométries (méthode Wolman sur radier, voir graphique ci-contre et résultats détaillés en annexe) mettent en évidence un léger tri granulométrique au niveau de la retenue (baisse de la proportion d'éléments grossiers en aval (GR\_1) et au niveau des dépôts en amont immédiat de la retenue (GR\_2)) **sans pour autant modifier de façon significative la distribution des sédiments.** L'ouvrage impacte donc partiellement la continuité sédimentaire. Le léger déficit induit n'est pas de nature à provoquer des déséquilibres majeurs en aval. L'analyse des contraintes de cisaillement et des diamètres charriables en crue (utilisation du critère de Shield) en situation actuelle (courbe grise ci-dessous) et en absence du seuil (courbe verte ci-dessous) confirme le phénomène.

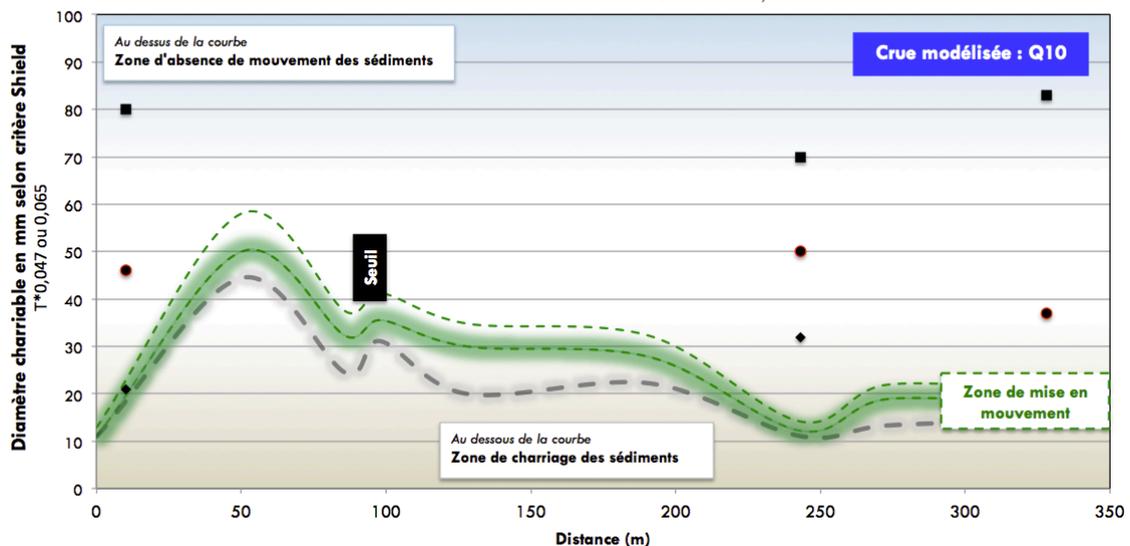
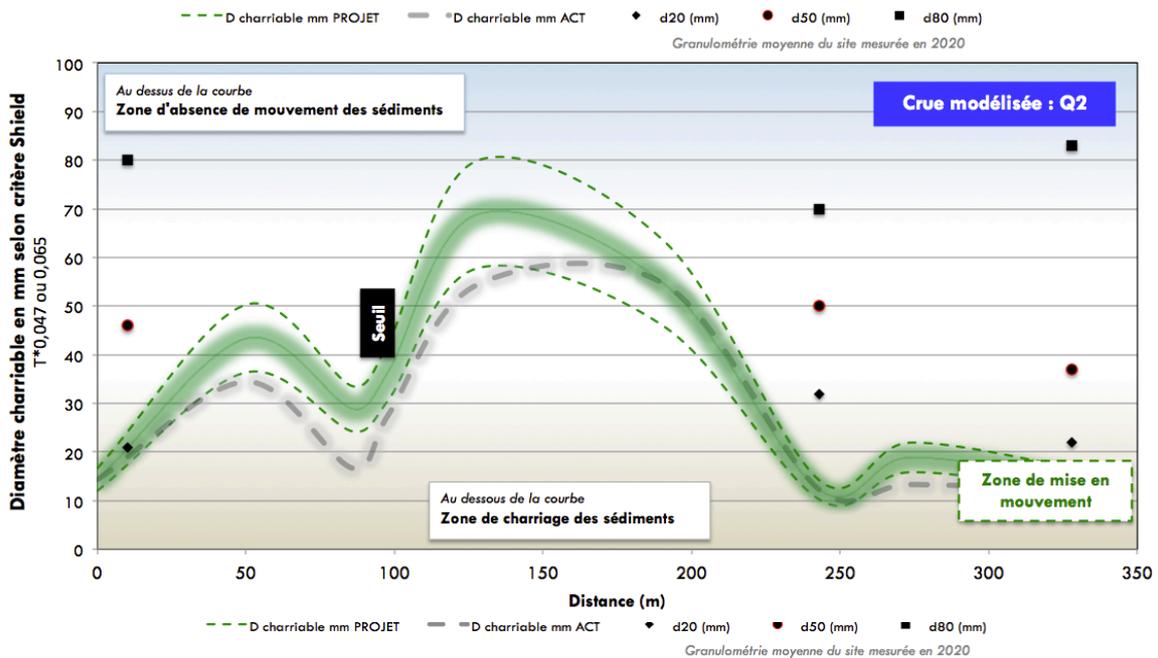
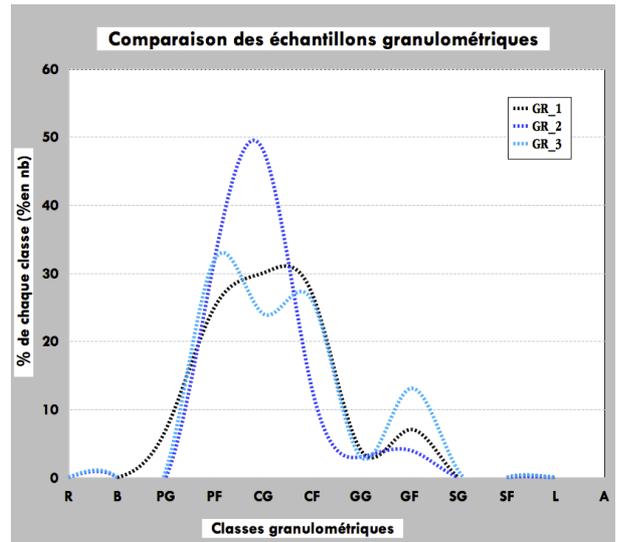


Illustration 29 : Diamètres charriables en situation naturelle / influencée par l'ouvrage selon le critère de Shield.  
Source : CESAME

En situation actuelle, les contraintes exercées en extérieur de méandres permettent la mobilisation d'une forte proportion ( $\approx 50\%$ ) des sédiments. Les plus grossiers sont donc immobilisés en amont du remous liquide. En absence de seuil, on observe une augmentation de la capacité de charriage en extérieur du méandre avec la mobilisation de l'ensemble de la gamme granulométrique.

Cette analyse est purement hydraulique. En cas de curage / modification des lignes de fond en amont immédiat le seuil peut constituer un « effet point dur » tant que sa retenue n'est pas suffisamment remplie.

*L'ouvrage impacte partiellement la continuité sédimentaire.*

### Continuité piscicole à la montaison

Un diagnostic de la franchissabilité de l'ouvrage à la montaison via l'application de la méthode ICE a été réalisé par CESAME (voir rapport « Contexte de l'étude et note méthodologique ») :

Esp. holobiotiques	Truite fario (15-30 cm)	Truite fario (25-55 cm)	Chabot commun	Lamproie de Planer	Barbeau fluviatile	Hotu
Note	Classe ICE 0,33	Classe ICE 0,66	NC	Classe ICE 0	Classe ICE 0	Classe ICE 0
Facteur(s) discriminant(s)	Chute	Chute		Chute à jet plongeant	Chute à jet plongeant	Chute à jet plongeant

Esp. holobiotiques	Vandoise	Spirilin	Bouvière	Esp. amphialines	Anguille commune	Lamproie marine
Note	Classe ICE 0	Classe ICE 0	Classe ICE 0	Note	Classe ICE 0,33	Classe ICE 0,33
Facteur(s) discriminant(s)	Chute à jet plongeant	Chute à jet plongeant	Chute à jet plongeant	Facteur(s) discriminant(s)	Redans et tirant d'eau	Redans et tirant d'eau

Barrière franchissable à impact faible Classe ICE 1	Barrière partielle à impact significatif Classe ICE 0,66	Barrière partielle à impact majeur Classe ICE 0,33	Barrière totale Classe ICE 0	NC : Espèce présente sur le bassin versant mais non concernée sur cet ouvrage
--	---	---	---------------------------------	---

Illustration 30 : Résultat par espèce du diagnostic ICE à la montaison.  
Source : CESAME

Concernant les espèces amphihalines utilisant la nage et la reptation (anguille et lamproie marine), des voies de reptation sont potentiellement exploitables sur les côtés du coursier. La chute résiduelle en aval pose cependant problème tant qu'elle n'est pas noyée (env 2 fois le module soit une soixantaine de jour par an). Pour des débits supérieurs, l'ouvrage peut être considéré comme franchissable.

Concernant les autres espèces cibles, la chute est franchissable très temporairement pour des espèces sauteuses comme la truite fario. Elle est en revanche infranchissable pour les espèces non sauteuses du fait de la configuration hydraulique en jet plongeant au niveau de la crête.

*L'ouvrage peut être considéré comme très problématique pour les espèces piscicoles cibles.*

## Paysage et patrimoine

### Analyse factuelle

L'ouvrage est inclus au sein du site patrimonial remarquable de Charlieu. Le bourg de Charlieu dispose en effet d'une douzaine de monuments classés au titre des monuments historiques. Pour autant, l'ouvrage n'est pas inclus dans un périmètre de protection des monuments historiques et ne présente pas non plus de vis-à-vis paysager avec les monuments en question. Il est seulement visible depuis un sentier piéton longeant le Sornin jusqu'aux anciens champs captant de la ville de Charlieu.

Constitué majoritairement de béton et dans un état de dégradation avancé, il ne présente aucun élément architectural intéressant.

### Perception des acteurs

Rencontrés à 2 reprises pour échanger sur le projet, la municipalité propriétaire du seuil ne considère pas cet ouvrage comme intéressant d'un point de vue patrimonial.

### Contexte réglementaire intéressant :

**SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021** : Ouvrage au sein de la masse d'eau FRGR0186, « Le Sornin et ses affluents depuis la confluence avec le Botoret jusqu'à la confluence avec la Loire ».

**PPRI** : Oui – zone rouge

**Classement L214-17 CE** : Tronçon classé en listes 1 et 2.

**Périmètre de protection de captage** : Ouvrage en dehors de périmètre de protection **mais à une quarantaine de mètres des périmètres rapprochés** des puits de captage amont.

*La compatibilité des travaux envisagés avec les réglementations du PPRI et le cas échéant des périmètres de protection de captage devra être analysé en phase projet.*

## Bilan des enjeux et des contraintes structurants l'aménagement

### Enjeux

Les enjeux de l'aménagement de l'ouvrage SB119 sont :

- La restauration de la continuité écologique.
- Le maintien des niveaux d'eau dans la nappe au niveau des puits de captage P1 et P2.
- La non aggravation du risque inondation.
- La restauration des habitats du lit au sein de la retenue.

### Contraintes

Les principales contraintes à prendre en compte dans la réalisation du projet d'aménagement sont :

- La présence de puits de captage et de leur périmètre de protection à proximité ;
- La question de la disponibilité du foncier en rive gauche (extérieur de méandre) ;
- La gestion des réseaux (AEP en amont immédiat du seuil) ;
- La présence d'espèces invasives (renouée du Japon) sur site.

## Solutions d'aménagement pressenties

### Aménagement de l'ouvrage

Seule une suppression de l'ouvrage peut garantir une restauration complète des fonctionnalités écologiques de l'hydrosystème comme le prévoit la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Cependant, les incidences positives et négatives d'une telle solution varient selon les ajustements passés du cours d'eau et les aménagements et usages locaux.

Le champ des possibles en termes d'aménagement a été restreint par CESAME afin de proposer à l'étude en phase suivante les solutions avec le niveau d'ambition le plus fort tout en restant pragmatique par rapport au contexte et aux échanges avec les acteurs.

Lors du COPIL de restitution du 17/11/2020, il a été conclu que seul 2 scénarios s'avéraient adaptés au site :

- Scénario 1 : suppression totale ou partielle du seuil avec mesures d'accompagnement à préciser ;
- Scénario 2 : aménagement d'un dispositif de franchissement piscicole au sein du lit (rampe) avec mesures d'accompagnement à préciser.

*Après présentation à la commune du contexte hydrogéologique en rive droite au niveau du puits P3, de l'état du seuil nécessitant une restauration et des contraintes liées à un équipement par une passe à poissons, la suppression du seuil a été décidée.*

*Une analyse de différentes modalités envisageables concernant les mesures d'accompagnement (notamment les protections de berge) sera réalisée phase suivante.*

# 3. AVP – OUVRAGE SB 119

## Présentation des aménagements pour la restauration de la continuité écologique

### Objectifs poursuivis

1. Restaurer la continuité écologique au niveau de l'ouvrage ;
2. Restaurer le profil en long du Sornin et les habitats en berge ;
3. Sécuriser les usages : captage AEP et franchissement de réseau en amont du seuil.

### Description de l'opération

L'opération comprendrait :

- des travaux d'installation du chantier (signalisation, DICT, constat d'huissier, piquetage et implantation des aménagements et des réseaux, organisation avec les gestionnaires de réseaux des dévoiements nécessaires,...) et de libération des emprises (débranchement et abattage localisés au droit du seuil) ;
- des mesures minimales de protection des milieux aquatiques notamment l'installation d'un batardeau (big bag ou équivalent) permettant de détourner le Sornin en rive droite au sein d'un chenal de contournement ;
- le dévoiement provisoire des réseaux existants ( $\varnothing 250$  mm fonte AEP) ;
- l'implantation fine et si nécessaire la suppression de la canalisation AEP ( $\varnothing 250$  mm fonte) et de son coffrage béton en amont du seuil et son remplacement à la cote projet ;
- le démantèlement de l'ouvrage avec l'export des matériaux en décharge ;
- le talutage en pente douce et la protection de la berge rive gauche sur 70 ml en amont du seuil dans l'extérieur du méandre via des techniques mixtes ;
- le talutage en pente douce de la berge rive droite en intrados du méandre ;
- la purge des remblais observés en berge rive gauche en aval du seuil sur 75 ml, la reconfiguration des talus et leur protection par des techniques mixtes en amont et/ou des techniques végétales en aval ;
- la remise en état des terrains remaniés/dévégétalisés et des clôtures démontées pour permettre les accès.

### Points particuliers concernant les choix techniques au niveau du seuil

#### Parti pris et éléments de dimensionnement vis-à-vis des incidences pressenties

La suppression du seuil SB119 entrainera nécessairement un réajustement plus ou moins étendu du profil en long avec une augmentation de la pente (pente d'équilibre théorique  $\approx 0,3/0,4$  %) et donc des contraintes sur le fond et les berges.

L'ampleur du processus d'érosion régressif sur l'amont dépendra de la capacité des radiers à maintenir le profil avec l'augmentation des contraintes.



Le seuil est situé en extérieur de méandre, faciès de dissipation de l'énergie où la rivière creuse le pied de la berge formant des fosses de concavité. **Un abaissement du fond important au droit du seuil est donc attendu (1 à 2 m).** Cet abaissement peut donc aller au-delà de la cote de base du seuil et donc amplifier la remontée d'une érosion du fond sur l'amont.

Le linéaire influencé sur l'amont dépendra du niveau de dissipation de l'énergie en amont, **pressenti ici comme important** du fait de la présence de chenaux végétalisés en rive gauche augmentant la largeur d'écoulement du lit moyen en crue et permettant une baisse des contraintes sur le fond (cf. analyse des contraintes page 36). Le profil d'équilibre présenté ci-après (cf. Illustration 39 page 48) maximise donc le risque considérant les enjeux de stabilisation du profil par rapport au maintien des niveaux de nappe dans les puits P1 et P2 (érosion régressive sans doute importante compte-tenu de la dissipation d'énergie en amont). Si dans son étude de 2009 BIOTEC avait comme nous bien identifié un enfoncement significatif au niveau de l'ouvrage, aucun ajustement sur l'amont n'est présenté sur le profil en long projet.

### Aménagements proposés au niveau du seuil

Compte-tenu des enjeux en terme de stabilisation du profil et de la contrainte forte en extérieur de méandre l'aménagement d'un seuil de fond est proposé au niveau de l'ouvrage (dh = dénivelé entre le niveau d'eau amont et le pied de rampe aval) :

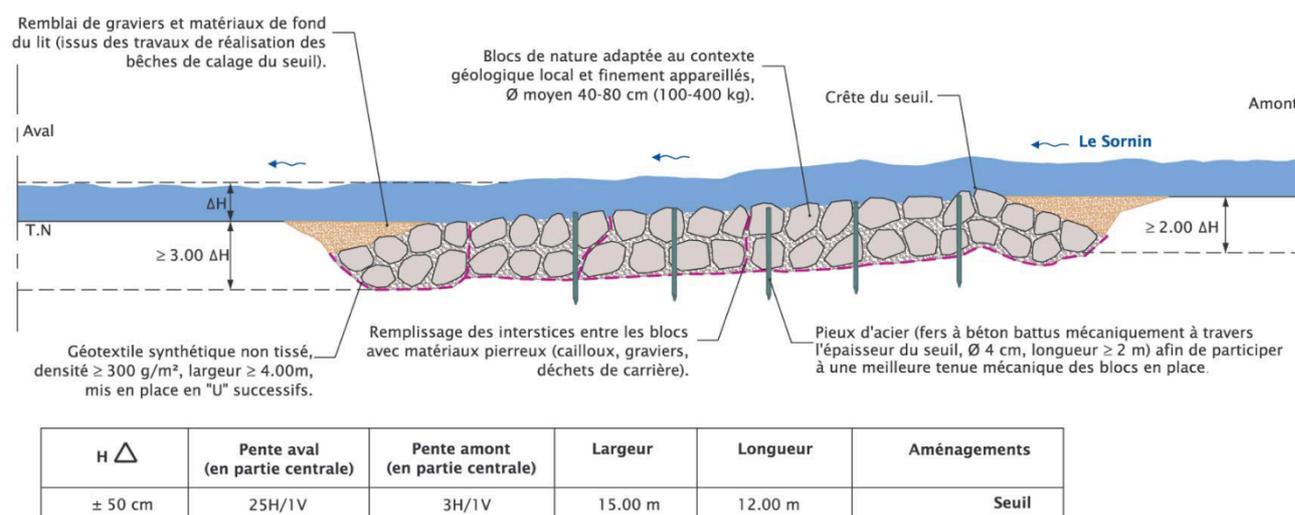


Illustration 32 : Seuil de fond au niveau de l'ouvrage.  
Source : Conception/ dessin – BIOTEC 2009

Il s'agit d'un seuil de fond type rampe en blocs libres finement appareillés d'environ 12 m de long d'une dénivelée de 50 cm. La crête serait calée à la cote 269,85 NGF soit au niveau du QMNA 5 actuel en aval en pied de seuil. In fine, l'ouvrage serait donc « noyé » sans présenter de chute résiduelle.

### Aménagements proposés au niveau de la canalisation AEP juste en amont

Si nécessaire après vérification de l'implantation réelle, un nouveau franchissement du réseau AEP (Ø250 mm fonte – renouvelé pour l'occasion) franchissant juste à l'amont du seuil sera réalisé entre 0,5 m et 1 m sous le niveau bas de la crête du seuil de fond implanté dans l'extérieur du méandre (cote projet < 269,35 NGF).

La continuité de service sera assurée (sauf très ponctuellement lors des opérations de raccordement qui seront réalisées sous la surveillance du délégataire (actuellement Veolia)).

Le récolement de ces réseaux sera réalisé en fouille ouverte pour assurer une précision de récolement de Classe A (+/- 0.50m de précision) conformément à la nouvelle réglementation.

## Points particuliers concernant les choix techniques au niveau des berges en amont du seuil

### Parti pris et éléments de dimensionnement vis-à-vis des incidences pressenties

Les contraintes sur le pied de berge à considérer sont de  $\approx 90-100 \text{ N/m}^2$  dans le méandre en amont immédiat et une puissance spécifique estimée à  $\approx 110 \text{ W/m}^2$ .

Le méandre étant prononcé au droit d'un talus non végétalisé constitué de matériaux peu cohésifs de 4/5 m de haut, une érosion de la berge est attendue. Comme évoqué, un front d'érosion est déjà bien visible en amont du talus. Le fait que dès 1967 des épis aient été installés atteste de l'existence d'un phénomène a priori prononcé (où du moins jugé préjudiciable par l'utilisateur de la parcelle riveraine).

Même si cette érosion sera vraisemblablement restreinte par la hauteur du talus, elle pourrait à terme entraîner le contournement du seuil de fond aménagé et l'affouillement de la canalisation AEP qui traverse le Sornin juste en amont.

Si une protection devait être effectuée, sa nature dépend des contraintes qui s'exercent sur la berge, de la cohésion des matériaux qui la constituent et des risques de sapement/affouillement considérés comme significatifs en extérieur de méandre.

Technique	Contrainte tractrice [ $\text{N/m}^2$ ]		
	À la réalisation	1 à 2 ans après	3 ou 4 ans après
Enherbement	4 <sup>(3)</sup> -20 <sup>(3)</sup>	25-30 <sup>(3)</sup>	30 <sup>(3)</sup> -100 <sup>(2)</sup>
Boutures	10 <sup>(3)</sup>	60 <sup>(3)</sup> -150 <sup>(1)</sup>	60 <sup>(3)</sup> -165 <sup>(1)</sup>
Boudin d'hélophytes	10 <sup>(3)</sup> -30 <sup>(2)</sup>	20-30 <sup>(3)</sup>	50 <sup>(3)</sup> -60 <sup>(1)</sup>
Clayonnages	10 <sup>(2,3)</sup>	10-15 <sup>(3)</sup>	10 <sup>(3)</sup> -120 <sup>(1)</sup>
Fascines	20 <sup>(3)</sup> -60 <sup>(2)</sup>	50 <sup>(3)</sup> -60 <sup>(3)</sup>	80 <sup>(2)</sup> -250 <sup>(4)</sup>
Saules		50-70 <sup>(4)</sup>	100-140 <sup>(4)</sup>
Plantation d'arbre	20 <sup>(2)</sup>		120 <sup>(2)</sup>
Lit de plants et plançons	20 <sup>(2,3)</sup>	120 <sup>(3)</sup>	140 <sup>(2,3)</sup>
Couche de branches à rejet	50 <sup>(2,3)</sup> -150 <sup>(3)</sup>	150 <sup>(3)</sup> -300 <sup>(3)</sup>	300 <sup>(2,3)</sup> -450 <sup>(3)</sup>
Caissons végétalisés	500 <sup>(3)</sup>	600 <sup>(3)</sup>	600 <sup>(3)</sup>
Enrochements	Végétalisés	100 <sup>(3)</sup> -200 <sup>(2)</sup>	100 <sup>(3)</sup> -300 <sup>(3)</sup>
	Nus	250 <sup>(2)</sup>	250 <sup>(2)</sup>

Source : Génie Alp 2012 - Génie végétal en rivière de montagne - 321p.

1 : Faber 2004 ; 2 : Schiechl et Stern 1996 ; 3 : Venti et al. 2003 ; 4 : Lachat 1994.

Puissance spécifique supportée ( $\text{W/m}^2$ )	
Fascines	130
Epis végétaux	150
Peignes	65
Caissons végétalisés	200

Source : Alexandre Peeters, Geoffrey Houbrechts, Eric Hallot, Jean Van Campenhout, Gisèle Verniers et François Petit, « Efficacité et résistance de techniques de protection de berges en génie végétal », Géomorphologie : relief, processus, environnement [En ligne], vol. 24 – n° 2 | 2018, mis en ligne le 06 mars 2018.

Illustration 33 : Résistances des principales techniques de protection de berge.

Source : cf. ci-dessus.

Les contraintes qui s'exercent ne permettent pas d'envisager un dispositif en technique végétal qui serait trop vulnérable les premières années. Les risques d'affouillement sur l'amont du seuil de fond (faciès de mouille de concavité) imposent l'utilisation d'un dispositif parafouille.

En aval du seuil en sortie du méandre la baisse des contraintes et celle du risque de sapement laisse plus de souplesse sur le choix de la technique qui pourra être constituée de génie végétal en pied de talus.

## Aménagements proposés

Les alternatives suivantes sont envisageables en amont du seuil :

- Variante 1 : épis en blocs libres finement appareillés avec des fascines de saules entre chaque épis et talus protégé d'une couche de branches à rejet :

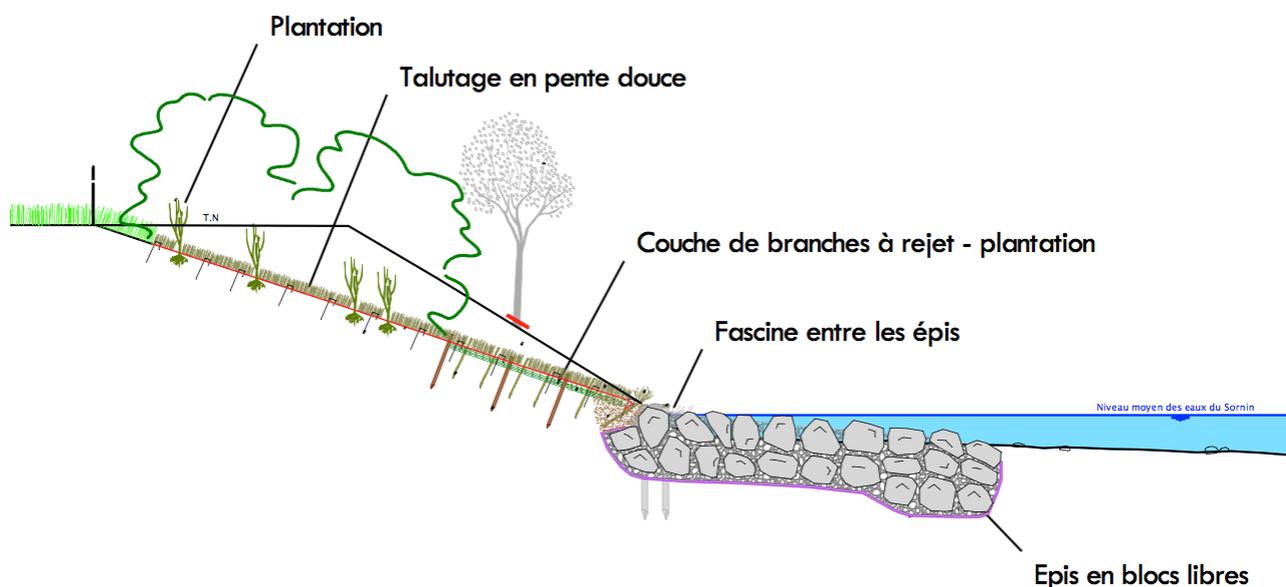


Illustration 34 : Epis en blocs et couche de branches à rejet.  
Source : Conception/dessin BIOTEC 2009 – modifié par CESAME

- Variante 2 : enrochement continue avec sabot parafouille surmonté d'une couche de branche à rejet ou de rangs de lits de plants (selon emprise négociée avec le riverain et pente finale du talus) :

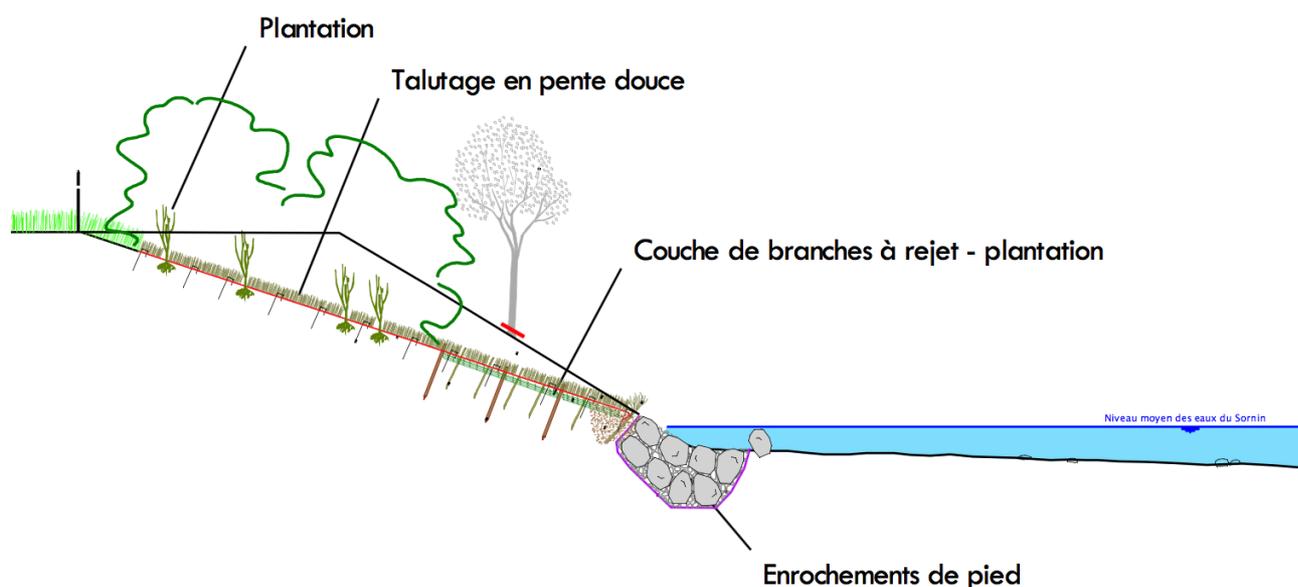


Illustration 35 : Enrochements en blocs et couche de branches à rejet.  
Source : Conception/dessin BIOTEC 2009 – modifié par CESAME

## Points particuliers concernant les choix techniques au niveau des berges au droit et en aval du seuil

### Parti pris et éléments de dimensionnement vis-à-vis des incidences pressenties

Suite à la suppression du seuil et au comblement de la fosse de dissipation, les contraintes à considérer en aval immédiat sont de l'ordre de 50-60 N/m<sup>2</sup>.

La purge des gravats/remblais déversés en vrac va entraîner une déstabilisation d'un talus au niveau d'une zone de progression du méandre (voir précédemment). Si l'érosion attendue n'était pas acceptable, une protection de pied en génie civil ou en génie végétal (limite de résistance pour ces techniques) pourrait être mise en place. Comme pour l'amont du seuil, le talus fraîchement remanié en surplomb devra être protégé par des techniques végétales.

### Aménagements proposés

En amont et en aval immédiat du seuil, les épis s'avèrent moins adaptés du fait du passage de la canalisation. Le pied de berge pourra être protégé à l'aide d'un enrochement en blocs libres et sabot parafouille surmonté par des rangs de lits de plants et plançons.

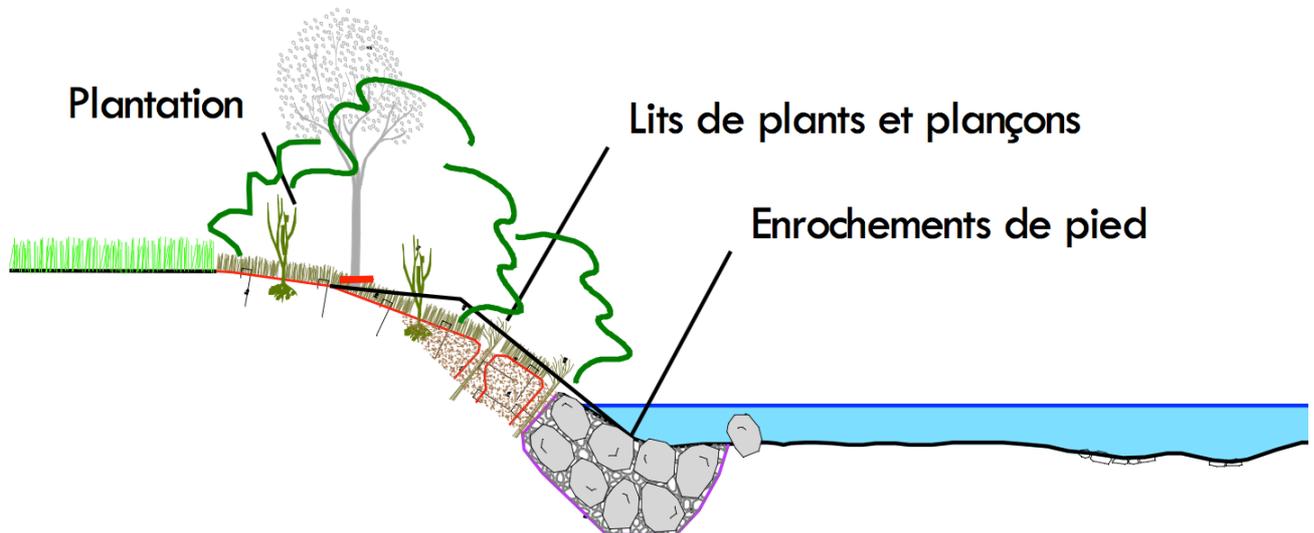


Illustration 36 : Enrochements en blocs et lits de plants et plançons.  
Source : Conception/dessin BIOTEC 2009 – modifié par CESAME

Plus en aval en sortie de méandre, les enrochements pourraient être remplacés par une fascine de saules surmontée d'une couche de branche à rejet ou de rangs de lits de plants. Un talutage des berges en pente douce favoriserait la réussite de cet aménagement moins résistant avant reprise complète de la végétation. Des concessions foncières seront donc nécessaires pour le propriétaire riverain.

## Incidences des opérations

### Incidences pressenties sur les milieux

La suppression du seuil SB119 permettra le rétablissement totale de la continuité écologique (piscicole et sédimentaire) et entrainera un rééquilibrage du profil en long vers un profil plus naturel. Le travail de talutage en pente douce et de végétalisation des berges permettra de restaurer des habitats en contact, de reconstituer des boisements aujourd'hui absents et d'éviter un encaissement du lit. Les travaux auront donc un effet positif sur le fonctionnement écologique du Sornin.

L'habitat du lit dans le méandre sera favorisé en cas d'utilisation d'épis et de fascine de saules (développement de végétation en contact) par rapport à un enrochement continu peu diversifié.

Cette protection va figer l'extérieur du méandre et faire disparaître un front d'érosion à l'origine d'une « micro-falaise sableuse » favorable à l'hirondelle des rivages au guêpier d'Europe. Les études conduites sur le territoire (notamment étude grandes érosions – Biotec 2014) mettent en évidence la surabondance de ces érosions (et donc des habitats associés) sur le Sornin aval et l'absence de dysfonctionnement hydro-sédimentaire majeur nécessitant impérativement leur maintien à des fins de recharge sédimentaire. La suppression de ce faible linéaire n'aura donc pas d'incidence négative sur les espèces protégées ni sur l'équilibre hydro-sédimentaire du Sornin.

### Incidences pressenties sur les risques

Le modèle hydraulique a été modifié considérant une évolution importante du fond de la rivière. Les lignes d'eau projet (rouge) peuvent donc être comparées aux lignes d'eau actuelles (bleues).

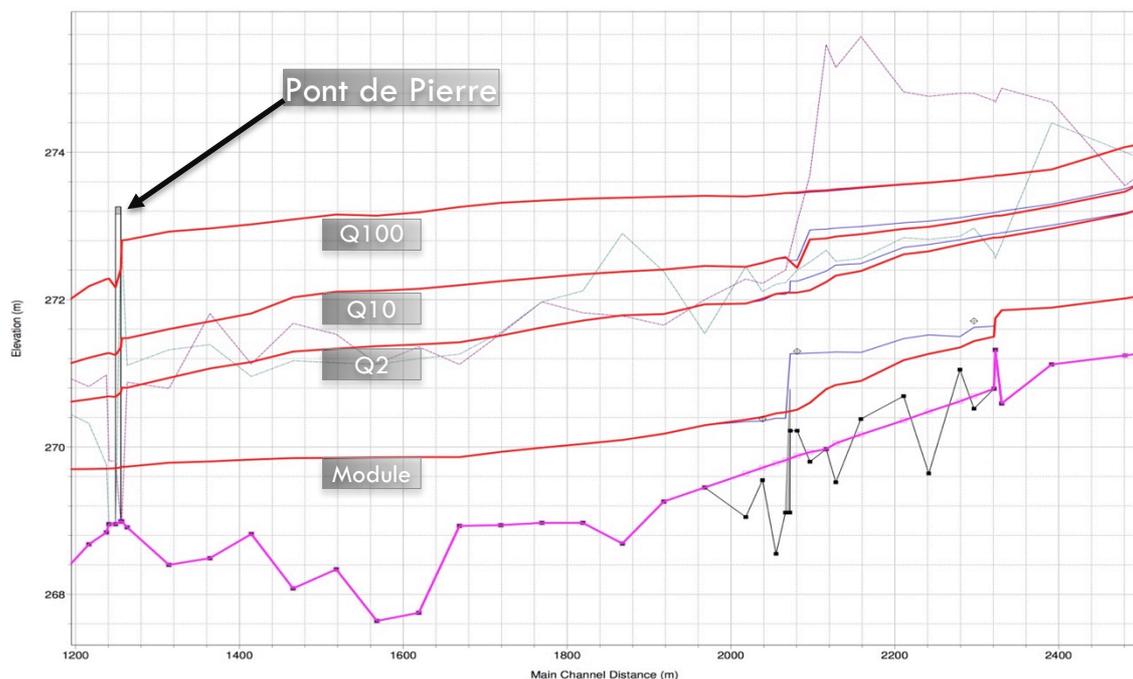


Illustration 37 : Incidence des opérations sur les lignes d'eau.  
Source : CESAME.

Les travaux vont logiquement entrainer une baisse des niveaux d'eau au niveau de l'ouvrage et dans une moindre mesure de sa zone d'influence. Les évolutions sont significatives en régime moyen avec une baisse de l'ordre de 0,8/1m au droit du seuil qui se répercute sur l'amont. Avec une hypothèse défavorable (cf. précédemment) sur l'ajustement du profil, la hauteur de chute au niveau du seuil délabré de la confluence avec le Bézo passerait de 0,3 m à 0,4 / 0,5 m entre le module et l'étiage. Les évolutions sont peu significatives en crue :

- Une vingtaine de cm en Q2 au niveau de l'ouvrage, une douzaine en Q10 ;
- Pas de modification en Q100, les écoulements étant majoritairement régis par la morphologie du lit majeur et le contrôle aval exercé par le pont de Pierre.

## Incidence pressentie sur l'exploitation des puits P1, P2 et sur le puits P3

Le profil en long du Sornin, avec un niveau d'eau actuel (en bleu) et un niveau d'eau potentiel dans le cas d'une suppression du seuil SB119 (en rouge) est présenté sur la figure page suivante.

### Puits P1 et P2

Dans le méandre P1, P2, l'alimentation de la nappe dépend clairement du Sornin en amont de la confluence du Bezo. Le schéma [page suivante](#) présente la situation piézométrique des puits P1 et P2 dans le profil en long du cours d'eau.

Si la suppression du seuil entraînerait une baisse de niveau telle que simulée entre les traits bleu et rouge de la figure précédente, la baisse de niveau d'eau induite sur le puits P2 pourrait être significative. Toutefois, le puits P2 bénéficie, comme P1, du front d'alimentation de la nappe par le Sornin en amont du méandre.

Ainsi, si le niveau d'eau du Sornin se maintient en amont de la confluence du Bezo, le niveau d'alimentation de la nappe sera sans doute peu à très peu modifié pour ces deux puits.

**Il est donc important de préserver le seuil qui se situe en amont de la confluence du Bezo et qui assure le maintien du fil d'eau du Sornin en amont du Bezo.** En cas de maintien de ce seuil, le niveau d'eau futur du Sornin se situerait sur le trait rouge pointillé (et non sur le trait rouge plein), ce qui garantirait la pérennité de l'alimentation de la nappe dans le méandre P1-P2. Le puits 2 pourrait subir une perte d'eau faible, mais le puits 1 ne serait pas du tout impacté.

Pour assurer pleinement le maintien du niveau d'eau en P2, il pourrait être utile de revenir à l'aménagement du Sornin tel qu'il était observé dans les années 1950-70 (cf. analyse diachronique présentée précédemment et rappel ci-dessous) :



Illustration 38 : Photographie aérienne de 1967 mettant en évidence l'existence d'un ancien bras mort alimentant la nappe.  
Source : CESAME 2020

On distingue clairement sur la photo de gauche l'existence d'un seuil et d'un bief horizontal en face de la confluence du Bezo en 1967. **Ce bief horizontal avait pour vocation de maintenir le niveau d'eau dans le méandre et en particulier dans le puits P2.** Ce bief artificiel a été constitué en lieu et place d'un chenal secondaire actif visible sur les photographies aériennes de 1956 et 1946. La remise en eau de ce bras permettrait de s'affranchir totalement d'un éventuel risque sur la productivité de P1 et P2 en cas de suppression du seuil SB119 (voir profil en long du Sornin et coupe explicative pages suivantes).

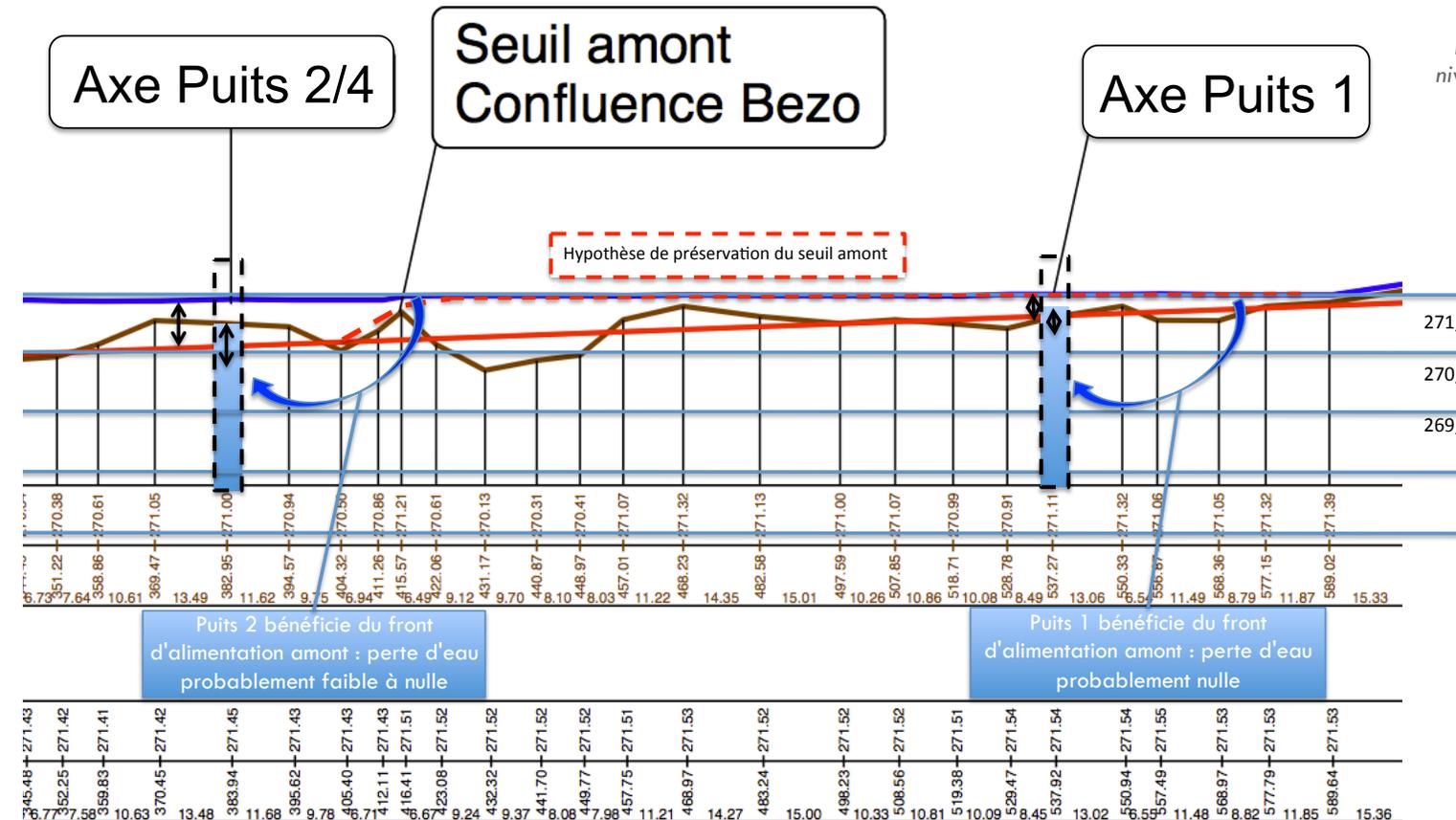
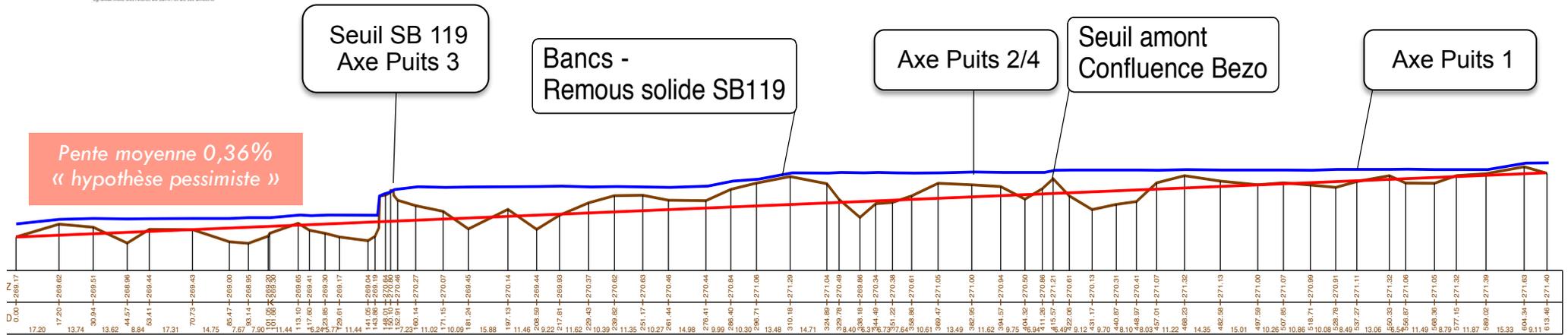


Illustration 39 : Profil en long du Sornin avec niveau d'étiage actuel (en bleu) et futur potentiel en cas de suppression du seuil (en rouge).  
Source : CESAME 2020

Illustration 40 : coupe schématique présentant l'influence de la suppression du seuil sur P1 et P2.  
Source : CESAME 2020

**Conclusion avec hypothèse de préservation du seuil amont situé au niveau de la confluence avec le Bezo.**

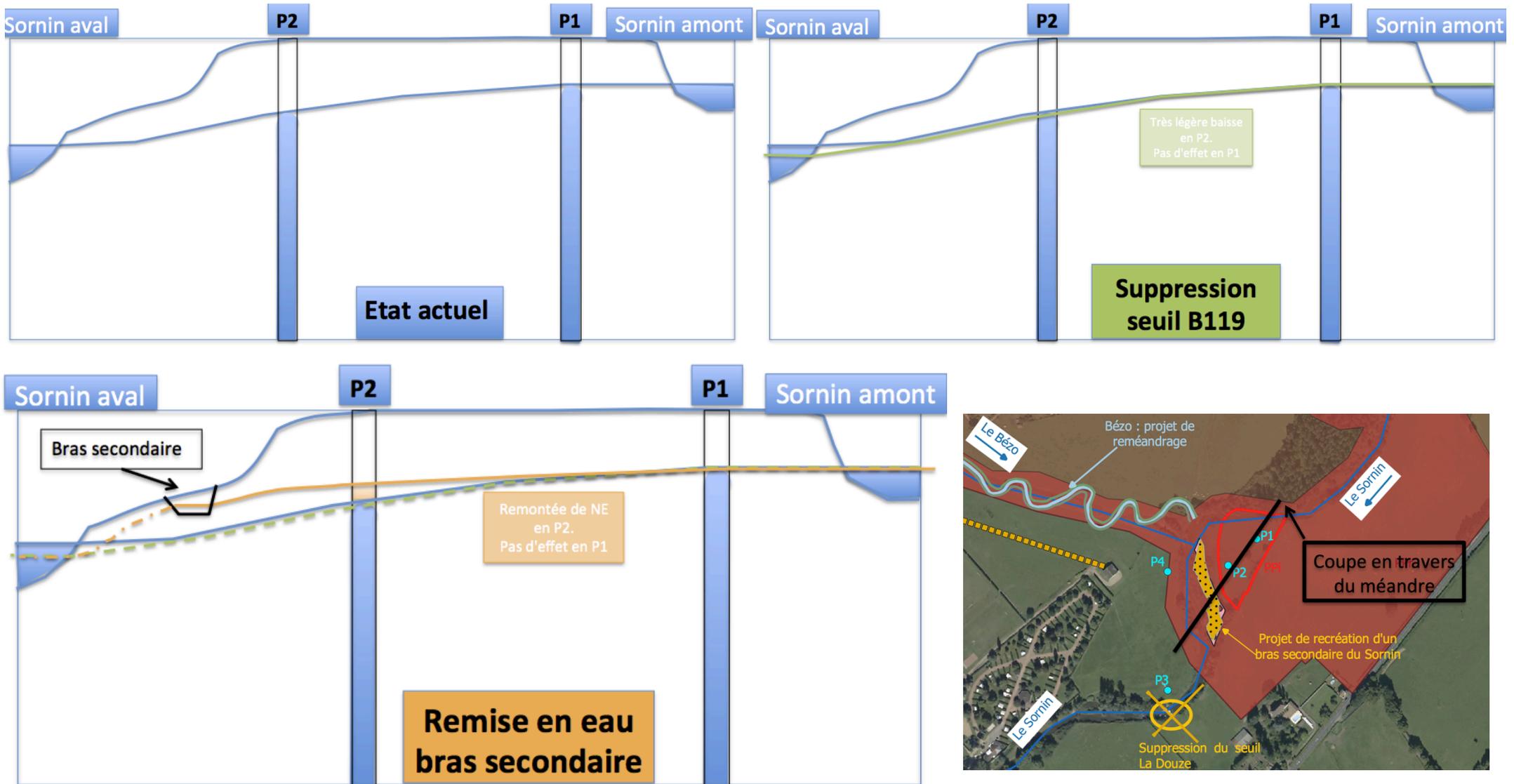


Illustration 41 : coupe schématique présentant l'influence de la suppression du seuil puis de la remise en eau du bras secondaire sur P1 et P2.  
Source : CESAME 2020

*Les puits P1 et P2 sont très productifs (débit d'exploitation optimal 65 m<sup>3</sup>/h), et constituent une ressource en eau fondamentale pour la collectivité. La préservation de leur productivité est donc essentielle.*

*La suppression du seuil SB119 pourrait affecter le niveau d'eau dans le puits P2 (donc la productivité du puits) en entraînant une baisse du Sornin en aval du méandre dans lequel sont implantés P1 et P2. Pour limiter ce phénomène il est important de préserver le petit seuil existant en amont de la confluence du Bezo. Ainsi le niveau du Sornin serait maintenu en amont de ce seuil et assurerait l'alimentation du méandre par l'amont.*

*Cette seule opération pourrait ne pas empêcher une légère baisse de niveau d'eau dans P2 en cas de suppression du seuil SB119. Pour s'affranchir totalement de ce risque, il pourrait être nécessaire de remettre le Sornin dans la configuration qui prévalait dans les années 1950-70, c'est à dire de remettre en service le bras secondaire qui se situait en aval de P2.*

### Puits P3

Dans le secteur P3-P4, comme indiqué précédemment, la rivière alimente la nappe en amont du seuil SB119 et elle draine la nappe en aval.

La suppression du seuil pourrait provoquer une modification importante du comportement de la nappe dans ce secteur avec un abaissement généralisé des niveaux d'eau qui pourrait atteindre près d'un mètre. La hauteur mouillée dans le puits étant de 2,43 m la perte d'alimentation serait proportionnellement significative.

**Certes la suppression du seuil pourrait réduire le phénomène de colmatage des berges, ce qui favoriserait l'alimentation de P3, mais dans le même temps, la suppression du seuil entraînerait une baisse importante du niveau de la rivière et concomitamment du niveau de la nappe, ce qui réduirait la capacité de production de P3.**

*Le puits P3 est faiblement productif (débit d'exploitation potentiel 10 m<sup>3</sup>/h), très dégradé (fort concrétionnement ferro-manganique) ; il présente une faible hauteur mouillée (2,43 m) et se situe à proximité d'une berge colmatée, ce qui réduit la capacité d'alimentation depuis la rivière. La suppression du seuil B119 pourrait contribuer à un décolmatage de la berge, mais entraînerait dans le même temps une baisse importante de la hauteur mouillée du puits (donc de sa capacité de production).*

*La remise en service de cet ouvrage nécessiterait une réfection totale et la mise en place de périmètres de protection. **L'opération est donc aussi complexe et onéreuse que la création d'une nouvelle ressource en eau.** La Municipalité de Charlieu étant propriétaire d'un autre terrain dans un méandre du Sornin en amont de P1-P2 pourrait envisager de prospecter ce secteur en vue de la création éventuelle d'une nouvelle ressource en eau, sachant que par ailleurs le schéma d'AEP de la commune préconisait l'abandon de P3 et l'interconnexion avec le syndicat voisin de Pouilly-sous-Charlieu.*

## Mesures d'accompagnement en amont

### Objectifs poursuivis

4. Sécuriser voir optimiser les niveaux de nappe au droit des puits P1 et P2 ;
5. Recréer un bras secondaire aujourd'hui disparu suite à l'aménagement de la zone.

Cette opération pourrait se faire dans le même temps que la suppression du seuil ou au cours d'une seconde tranche de travaux après ajustement du profil en long.

### Description de l'opération

L'opération comprendrait :

- des travaux d'installation du chantier (signalisation, DICT, constat d'huissier, piquetage et implantation des aménagements, organisation avec les gestionnaires de réseaux (AEP et le cas échéant ligne haute tension), itinéraire de déviation...) et de libération des emprises (débranchement et abattage au niveau de l'emplacement du bras actuel et en rive droite du seuil situé au niveau de la confluence avec le Bézo) ;
- des mesures minimales de protection des milieux aquatiques notamment l'installation d'un batardeau (big bag ou équivalent) permettant de détourner le Sornin en rive droite au niveau du seuil de la confluence avec le Bézo et dans son bras principal au niveau de la zone concernée par les terrassements du bras secondaire ;
- le dévoiement provisoire des réseaux existants ( $\varnothing 150$  mm fonte AEP notamment) ;
- l'implantation fine et si nécessaire l'abaissement de la canalisation AEP ( $\varnothing 150$  mm fonte) sous le niveau du chenal secondaire recréé (95 ml) ;
- des travaux de purge et de traitement de remblais contaminés par la renouée du Japon sur le tracé du futur chenal secondaire ( $\approx 700$  m<sup>3</sup>) ;
- le démantèlement du seuil de la confluence avec le Bézo en mauvais état et son remplacement par une rampe réalisée en blocs libres ( $\approx 530$  m<sup>3</sup> de blocs) ;
- l'aménagement d'une séparation/ « berge » entre l'amont du bras et le Sornin sous la forme d'un banc en matériaux sablo-graveleux et matériaux grossiers ( $\approx 545$  m<sup>3</sup>) ;
- le terrassement en déblai/remblai d'un chenal secondaire en rive gauche inspiré des tracés originaux de 1956 ( $\approx 640$  m<sup>3</sup>) ;
- l'aménagement d'une rampe cintrée en aval permettant de maintenir le niveau d'étiage drainant la nappe du champs captant en aval du bras ( $\approx 210$  m<sup>3</sup>) ;
- la végétalisation des zones terrassées ;
- la remise en état du site et des terrains remaniés pour permettre les travaux et les accès.

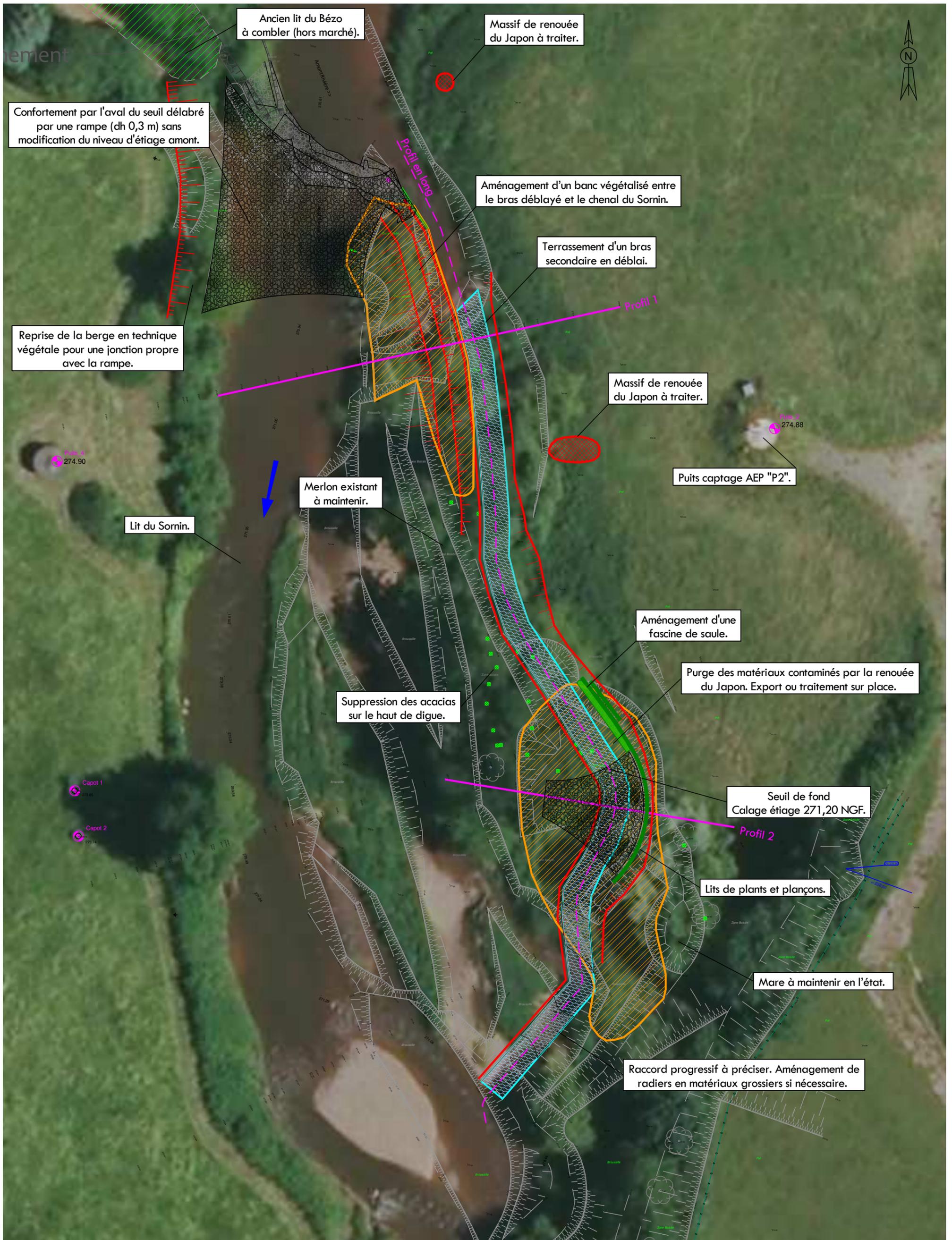
### Parti pris et éléments de dimensionnement vis-à-vis des incidences pressenties

L'objectif n'est pas de recréer un ouvrage artificiel d'alimentation de la nappe avec un seuil de contrôle en aval tel que visible sur la photo de 1962/1967 (cf. page 14) mais bien restaurer une annexe hydraulique via la recréation d'un chenal/bras secondaire proche de celui visible sur les photos aériennes de 1946/1956.

2 éléments principaux structurent le dimensionnement :

- la gestion du transit sédimentaire : il ne doit pas y avoir d'obstacle en aval ou de zone de sur-élargissement à l'origine de formation d'un dépôt conduisant irrémédiablement à la fermeture rapide du bras ;
- le niveau de la restitution aval qui doit être « suffisamment haut » pour maintenir ou augmenter légèrement le niveau d'étiage actuel qui draine la nappe exploitée par les puits (271,00 à 271,20 NGF) sans être « trop haut » pour ne pas pénaliser la pente.

**AVP SB119 - Projet 2 - Création d'un bras secondaire.**



Echelle : 1/400

## Aménagements proposés

Le seuil situé au niveau de l'actuelle confluence avec le Bézo en mauvais état sera conforté par l'aval par une rampe en blocs libres finement appareillés du même type que celle implantée dans le méandre (cf. page 42 Illustration 32). La dénivellé hydraulique actuel étant faible (dh actuel 0,3 m en étiage, ouvrage noyé pour 3 fois le module), la longueur de cette rampe n'excèdera pas une douzaine de mètres. La morphologie de la crête permettra **un maintien des niveaux amont** et un partage entre le Sornin et le bras qui sera alimenté par  $\approx 15$  à 25% du débit en basses/moyennes eaux selon le niveau d'ajustement du profil en long après mise en eau.

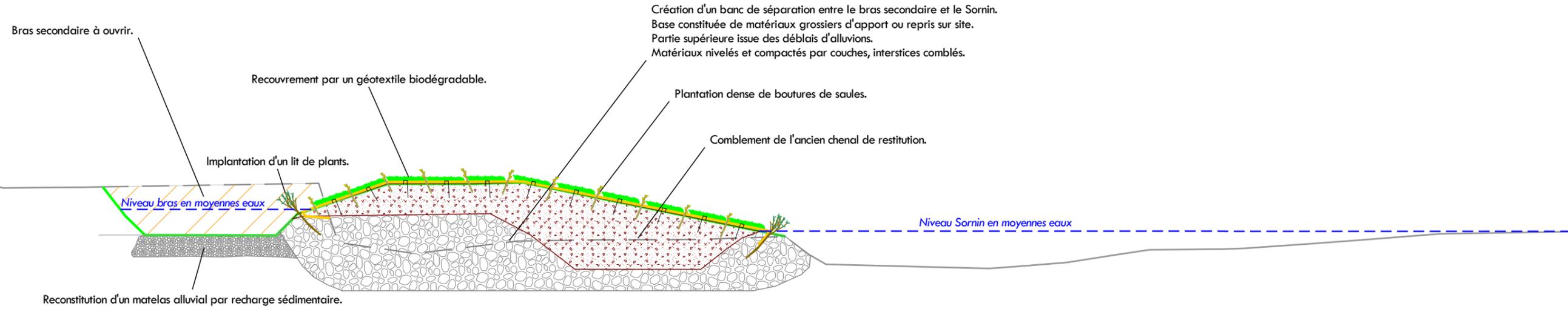
Le départ de l'ancien bras est aujourd'hui toujours visible sur quelques mètres. Il amorce d'ailleurs un phénomène de contournement de l'ouvrage (photo ci-dessous). Une séparation stable entre le Sornin et la bras devra être constituée dans les premiers mètres pour favoriser l'entonnement. Elle prendra la forme d'un bancs en matériaux grossiers (ex. 100/300mm d'apport ou repris sur site) recouverts de matériaux fertiles sous un géotextile et un bouturage très dense visant à stabiliser durablement la structure. L'apport nécessaire en matériaux grossier est estimé à  $\approx 300$  m<sup>3</sup>.



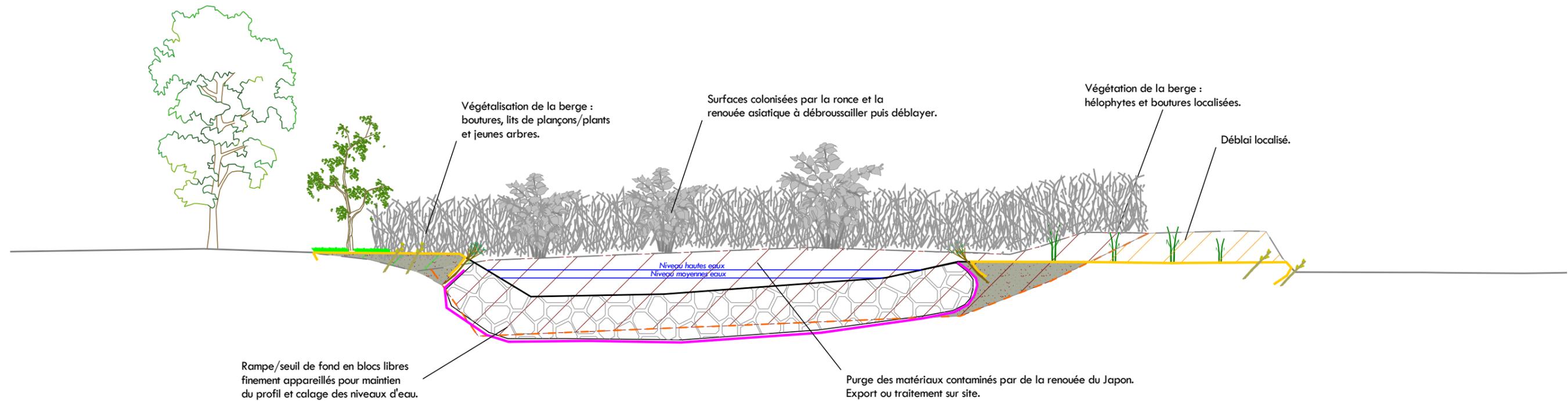
Illustration 43 : Vestige du départ de l'ancien bras avant retour immédiat au Sornin.  
Source : Photos CESAME – Prise de vue drone SYMISOA.

**AVP SB119 - Projet 2 - Profils en travers**

**Profil 1**

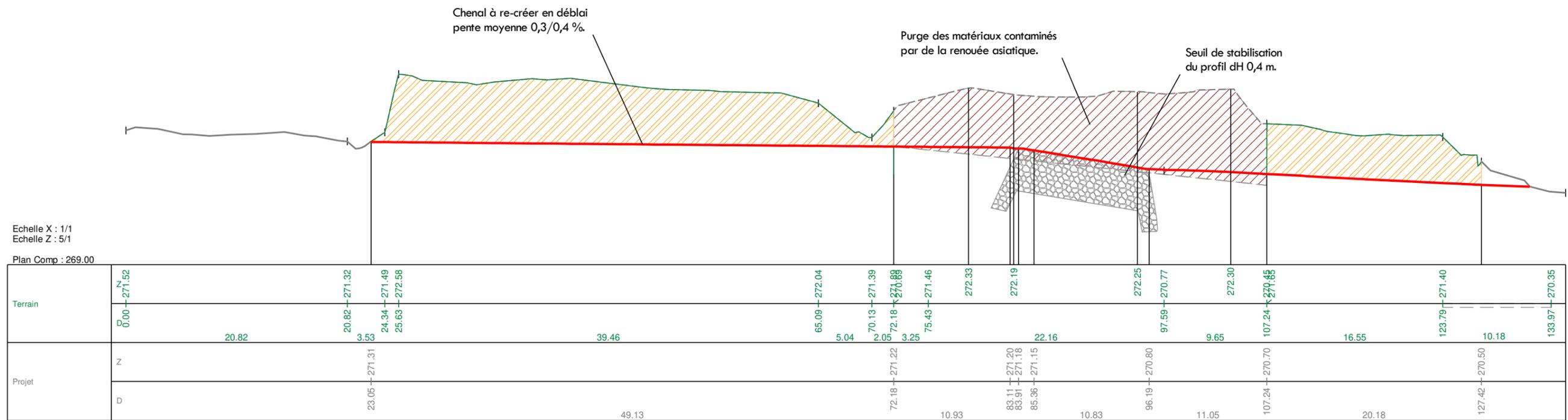


**Profil 2**



Echelle : 1/100°

**AVP SB119 - Projet 2 - Profil en long**



Echelle : 1/400

Le chenal présentera une largeur de 3 à 4 mètres avec des berges sub-verticales de l'ordre de 1 à 1,5 m pour une capacité totale de 4 m<sup>3</sup>/s. Dans un souci de limiter les emprises foncières (proximité du champ captant) et la dispersion des vitesses, le chenal sera dissymétrique avec un raccord au TN plus abrupte en rive gauche qu'en rive droite. Compte-tenu des phase de décaissement préalable liés aux matériaux contaminés par la renouée du Japon, le travail sera fera en déblai(≈280 m<sup>3</sup>)/remblai



Illustration 45 : Tracé du bras secondaire.  
Source : Prise de vue drone SYMISOA.

Les prospections de terrain laissent à penser que l'ancien seuil de control aval était constitué d'une butée en terre qu'il conviendra de purger au préalable car clairsemé de pousses de renouée du Japon. Si lors des déblais les vestiges d'un ouvrage en génie civil étaient mis en évidence, un démantèlement complet serait réalisé. En lieu et place, une rampe cintrée en blocs libres permettant de fixer le niveau d'étiage et d'éviter une dispersion des écoulements et donc des dépôts en aval du bras sera édifiée.

Il faut rappeler que les chenaux secondaires se développent généralement dans des lits larges où la charge solide est abondante et les mouvements peu contraints. Ils ont donc naturellement tendance à se boucher et se reformer aux grés des érosions et dépôts générés par les crues. Maintenir une telle structure pourrait nécessiter un entretien ponctuel (enlèvement des dépôts limitant trop les écoulements et remise au sein du lit du Sornin en aval). L'opportunité de ces opérations sera aussi à apprécier en fonction de l'ajustement réel observé suite à la suppression du seuil SB119.

### Précision concernant les modalités de mise en œuvre

Les travaux se feront en dehors (mais en limite) du périmètre immédiat du champ captant rive gauche. Même s'ils se situent en aval par rapport au sens d'écoulement de la nappe interceptée, par mesure de sécurité l'alimentation de la ville de Charlieu pourra se faire via l'interconnexion avec le SIADEP pendant toute la durée des travaux. Les prescriptions émises par l'hydrogéologue agréé devront être respectées.

## Compatibilité des travaux avec la réglementation en vigueur

### PPRI

Les travaux sont situés zone rouge du PPRI. Les opérations prévues ne sont pas indiquées dans la liste des opérations interdites.

Le règlement précise que sont autorisés dans cette zone :

- « les travaux d'entretien et de gestion courants tels que les traitements de façade, les réfections de toitures,...; »
- les aménagements des constructions nécessaires aux activités implantées antérieurement à la publication du présent plan, strictement rendus obligatoires par la mise en conformité avec les lois, règlements et normes en vigueur au moment de la demande ;
- les aménagements des équipements publics implantés antérieurement à la publication du présent plan ».

Du part l'intérêt des travaux de récréation du bras secondaire pour les champs captant, ceux-ci pourraient être concernés par ces points.

*L'analyse hydraulique (voir partie spécifique) a montré l'absence d'incidence sur les niveaux d'eau en crue. Les travaux ne sont pas contraires au règlement de la zone rouge du PPRI.*

### Périmètre de protection rapproché (PPR)

Les travaux de création du bras secondaire sont situés au sein des périmètres de protection rapprochés. Au sein de ce périmètre, il est précisé que :

- La création de plans d'eau, de retenues, de forages et d'excavations, d'ouvrages d'infiltration d'eaux polluées, de décharges, de points de dépôts de matériaux, etc. Les éventuels équipements existants et possédants les autorisations administratives pourront être maintenus, sous réserve que ces ouvrages soient munis de dispositions qui permettent d'éviter un transfert potentiel de pollutions vers le Sornin ou l'aquifère exploité. Sont exclues de cette interdiction, les tranchées nécessaires aux canalisations. La réalisation de travaux hydrauliques (aménagement ou entretien) sur les cours d'eau ne devra pas impacter négativement (hausse de la cote d'inondation, pollution, etc.) le site de production.

*Les travaux de création d'un chenal/bras secondaire permettront le maintien voir l'augmentation des niveaux d'eau dans les puits P1 et P2.*

*Les modalités de mises en œuvre permettront d'éviter les risques de pollution.*

*Les travaux ne sont pas contraires aux servitudes des PPR de l'arrêté de DUP.*

## Analyse économique

Estimation travaux AVP - SB119 / Bras secondaire	Estimation € HT SB119 variante 1	Estimation € HT SB119 variante 2	Estimation € HT Bras secondaire + rampe partiteur	TOTAL champs captant de la Douze (variante 1)
INSTALLATION / TRAVAUX PREPARATOIRES / REPLIEMENT	13 500	13 500	38 500	52 000
PROTECTION DES MILIEUX AQUATIQUES	5 000	5 000	10 500	15 500
TERRASSEMENT ET GENIE CIVIL	140 000	140 000	150 000	290 000
GENIE ECOLOGIQUE	35 500	30 000	18 000	53 500
GESTION DES ESPECES INVASIVES	5 000	5 000	50 000	55 000
TRAVAUX CONNEXES (réseaux)	12 000	12 000	18 000	30 000
GARANTIE / RECOLLEMENT	7 000	6 000	9 000	16 000
<b>SOUS-TOTAL :</b>	218 000,00	211 500,00	294 000,00	512 000,00
<i>Marge de sécurité liée aux imprévus (5%) :</i>	10 900,00	10 575,00	14 700,00	25 600,00
<b>TOTAL € HT :</b>	228 900,00	222 075,00	308 700,00	537 600,00
Estimation Maitrise d'œuvre (PRO--> AOR)	SB119 uniquement variante 1/2	TOTAL champs captant de la Douze		
Dossier réglementaire loi sur l'eau déclaration	5 275	6 775		
Maîtrise d'œuvre PRO,DCE, ACT (une consultation unique pour le seuil et le bras)	9 375	15 825		
Maîtrise d'œuvre EXE/VISA, DET, AOR (une à deux phases de travaux)	12 960	28 680		
	5,7%	5,3%		
<b>TOTAL € HT :</b>	256 510,00	563 280,00		
<i>TVA (20%)</i>	51 302,00	112 656,00		
<b>TOTAL € TTC :</b>	307 812,00	675 936,00		

Concernant la variante relative à l'aménagement du pied de berge à l'amont immédiat du seuil SB119, l'écart de prix entre la variante 1 (épis + fascine de saule) et la variante 2 (enrochement continu en pied) est faible (6 500HT soit une variation de l'ordre de 3% du marché). En recréant des habitats, la variante 1 légèrement plus onéreuse apportera cependant une plus-value significative concernant l'habitat piscicole.

## 4. ANNEXES

---

- **ANNEXE 1 : Extrait du levé topographique (ALIDADE)**
- **ANNEXE 2 : plan d'implantation des profils utilisés pour la modélisation hydraulique**
- **ANNEXE 3 : Restitution des granulométries (Wolman)**
- **ANNEXE 4 : Carte des points de suivi piézométriques**
- **ANNEXE 5 : Implantation théorique de la canalisation AEP**

## ANNEXE 1 : Extrait du levé topographique (ALIDADE)

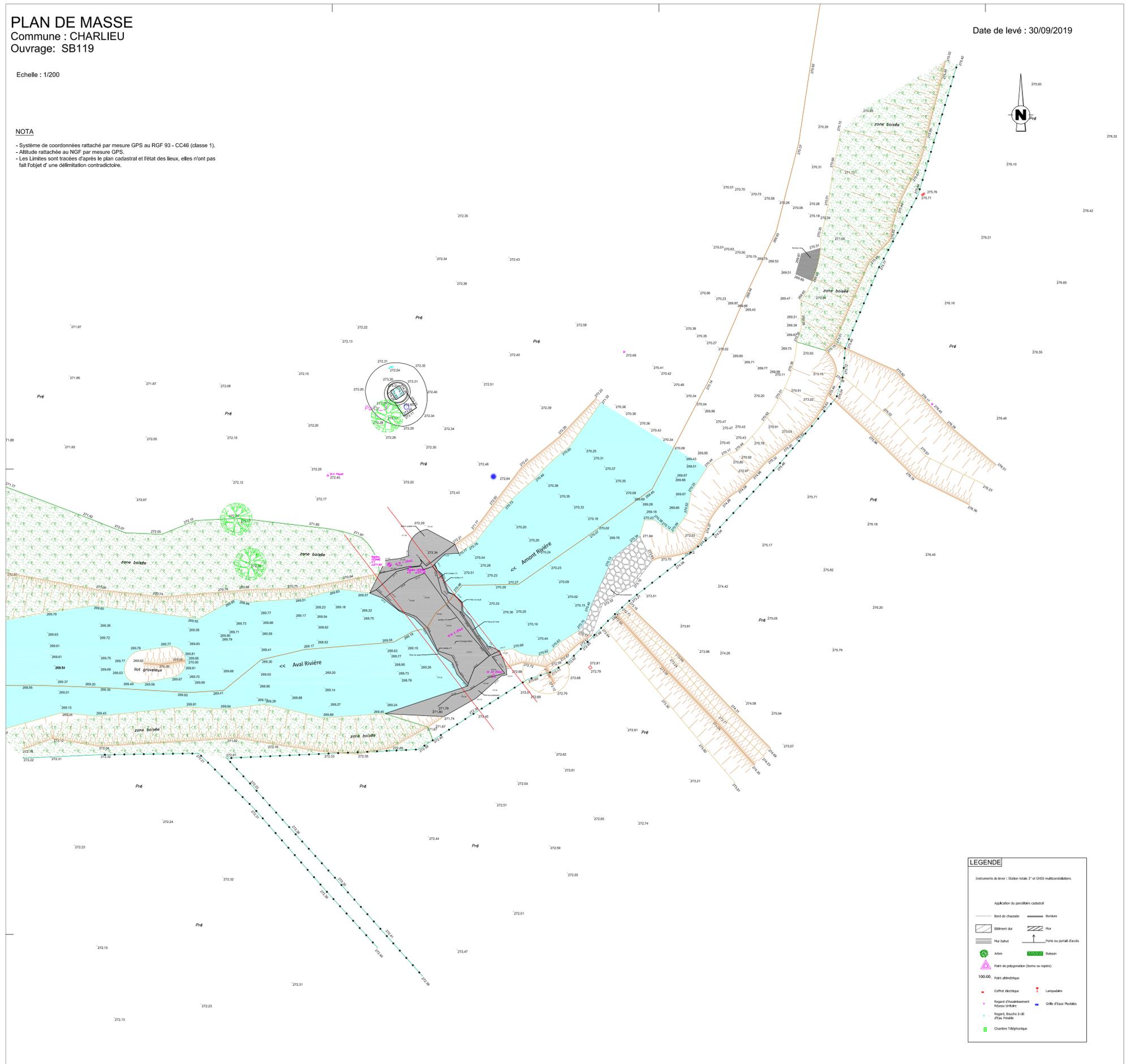


**PLAN DE MASSE**  
Commune : CHARLIEU  
Ouvrage: SB119

Date de levé : 30/09/2019

Echelle : 1/200

**NOTA**  
- Système de coordonnées rattaché par mesure GPS au RGF 93 - CC46 (classe 1).  
- Altitude rattachée au NGF par mesure GPS.  
- Les Limites sont tracées d'après le plan cadastral et l'état des lieux, elles n'ont pas fait l'objet d'une délimitation contradictoire.



**LEGENDE**

Instruments de levé : Station totale 3" et GNSS multiconstellations

Application du parcelaire cadastral	
Bord de ruisseau	Ruisseau
Bâtiment air	Mur
Mur bahut	Puits ou portail d'accès
Arbre	Sablon
Point de polygone (borne ou repère)	

100.00. Fugue altimétrique

Crochet échantillon	Lampadaire
Regard d'assainissement	Grille d'Eau Pluviales
Regard, Bouche à CR	
Plan Filiale	
Chambre Téléphonique	

# PLAN DE MASSE

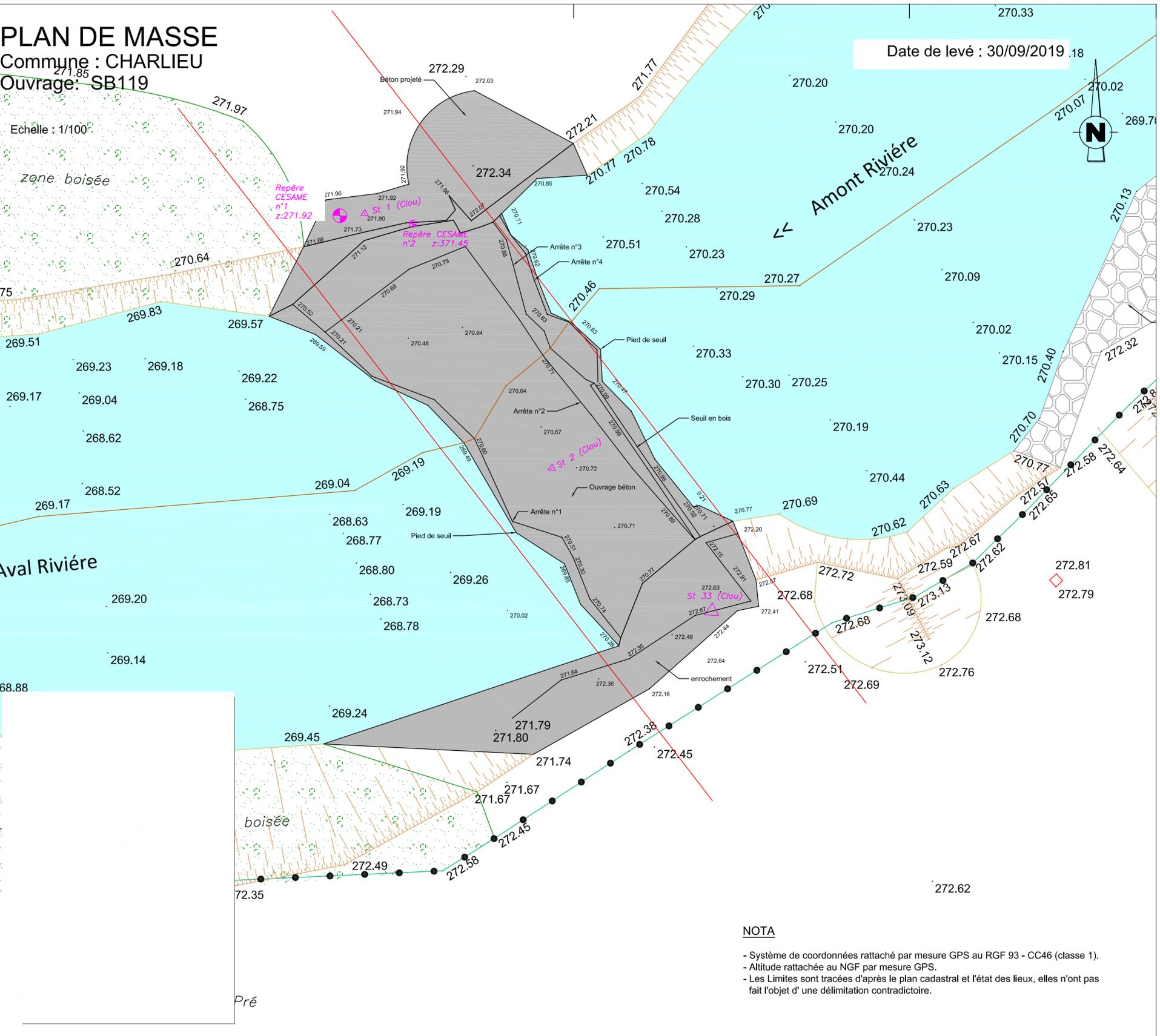
Commune : CHARLIEU

Ouvrage : SB119

Echelle : 1/100

zone boisée

Date de levé : 30/09/2019 .18



### NOTA

- Système de coordonnées rattaché par mesure GPS au RGF 93 - CC46 (classe 1).
- Altitude rattachée au NGF par mesure GPS.
- Les Limites sont tracées d'après le plan cadastral et l'état des lieux, elles n'ont pas fait l'objet d'une délimitation contradictoire.

Pré

# ELEVATION AMONT

Commune : CHARLIEU

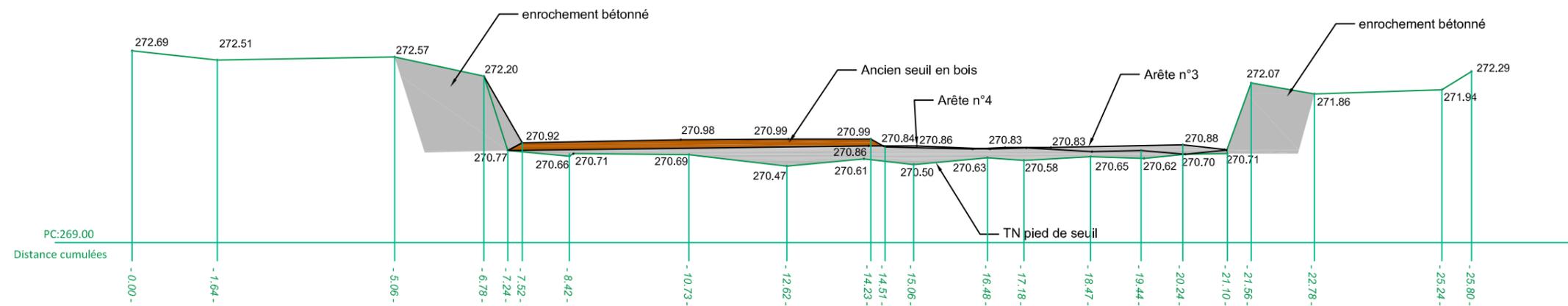
Ouvrage: SB119

Echelle : 1/100

Date de levé : 30/09/2019



Elévation Amont SB119



# ELEVATION AVAL

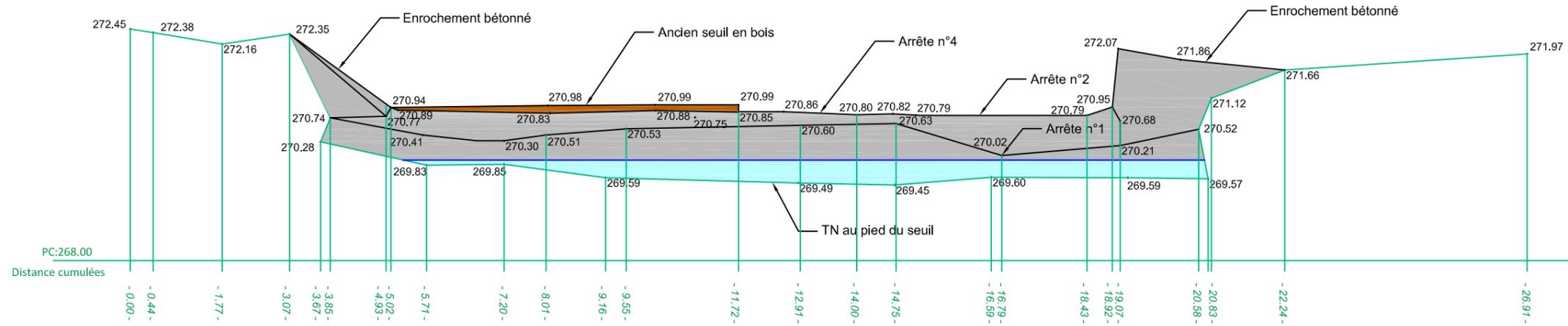
Commune : CHARLIEU  
Ouvrage: SB119

Echelle : 1/100

Date de levé : 30/09/2019



Elévation Aval SB119



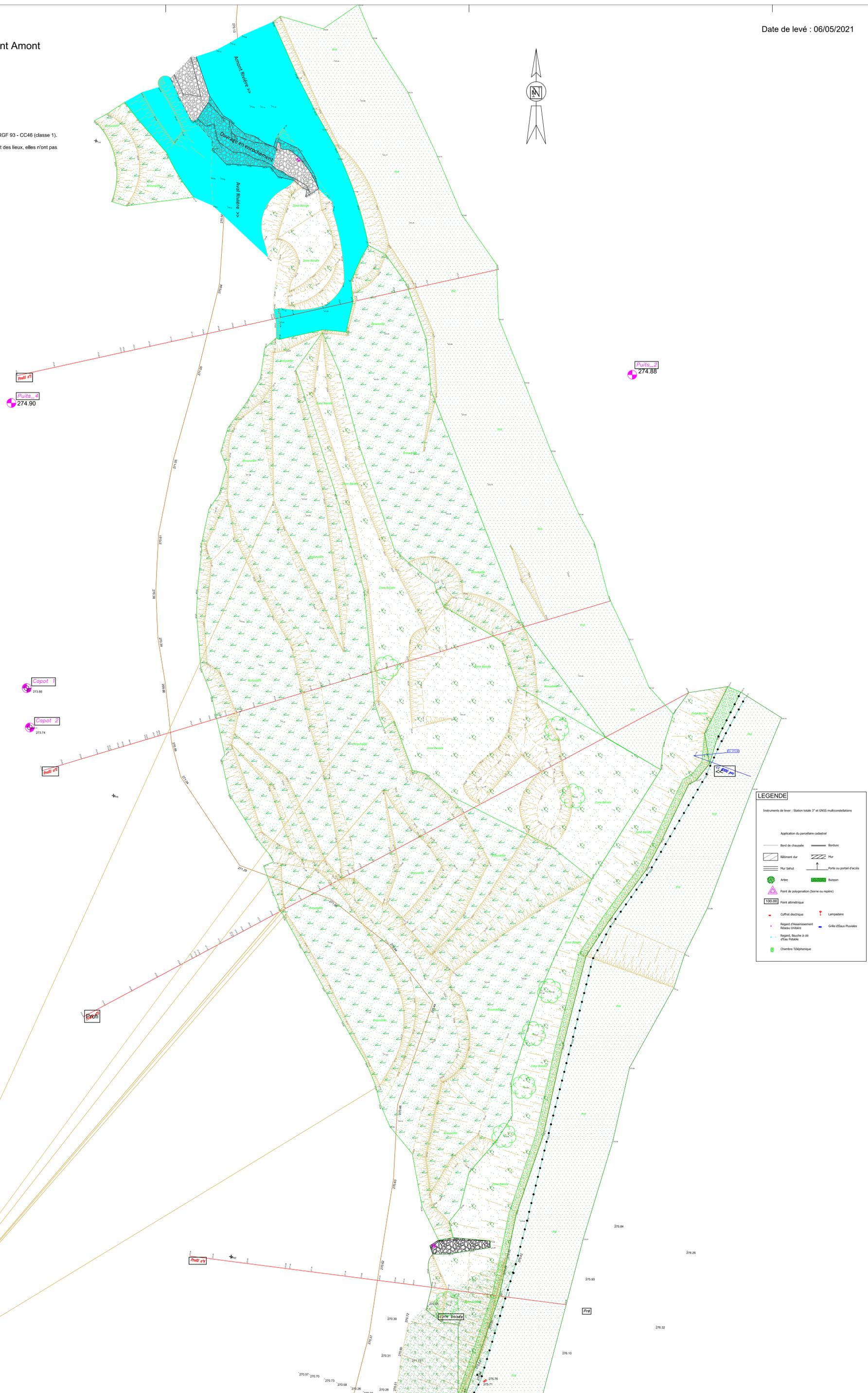
**PLAN DE MASSE**  
Commune : CHARLIEU  
Ouvrage: SB119 - complément Amont

Date de levé : 06/05/2021

Echelle : 1/200

**NOTA**

- Système de coordonnées rattaché par mesure GPS au RGF 93 - CC46 (classe 1).
- Altitude rattachée au NGF par mesure GPS.
- Les Limites sont tracées d'après le plan cadastral et l'état des lieux, elles n'ont pas fait l'objet d'une délimitation contradictoire.



**LEGENDE**

Instruments de levé : Station totale 3" et GNSS multiconstellations

Application du parcelaire cadastral

- Bord de chaussée
- Bordure
- Bâtiment dur
- Plur
- Mur béton
- Porte ou portail d'accès
- Arbre
- Arrière
- Point de polygonation (borne ou repère)
- Point altimétrique
- Coffret électrique
- Lampadaire
- Regard d'Assainissement
- Regard Limbère
- Regard, buse à côté d'eau potable
- Grille d'Eau Pluviale
- Chambre Téléphonique

# FICHE SIGNALÉTIQUE

Système de coordonnées planimétriques :  
Système de coordonnées altimétriques :

RGF93-CC46  
NGF-IGN 69

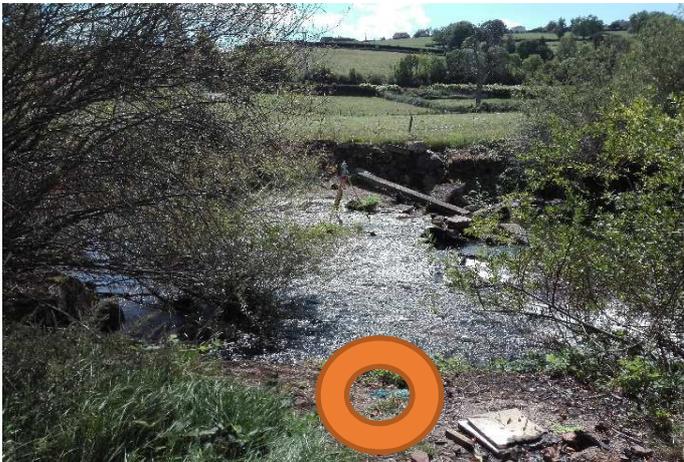
**REPERE N°:** ST.1

Adresse : CHARLIEU  
Camping  
Type : clou

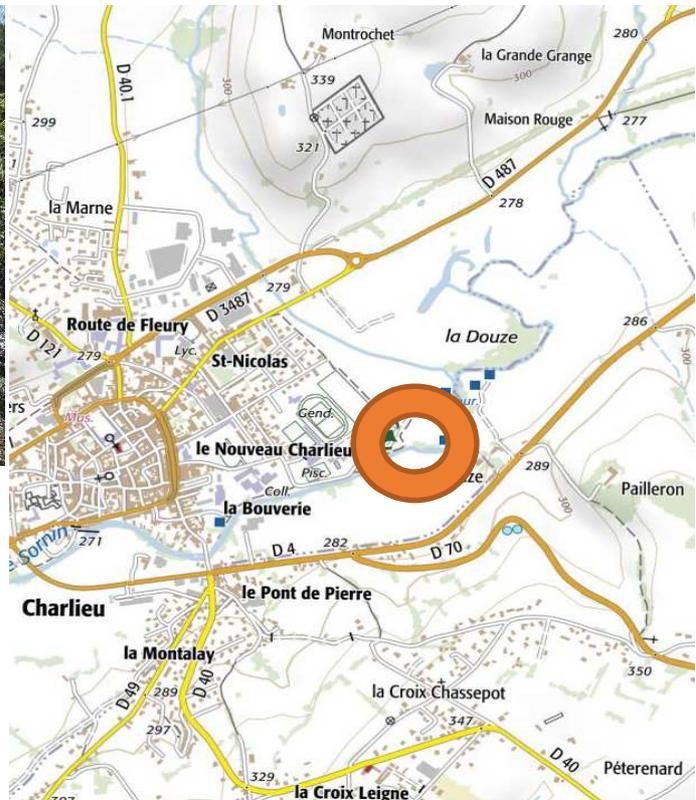
X 1791452.295  
Y 5218377.309  
Z 271.900

Ouvrage à proximité : SB119

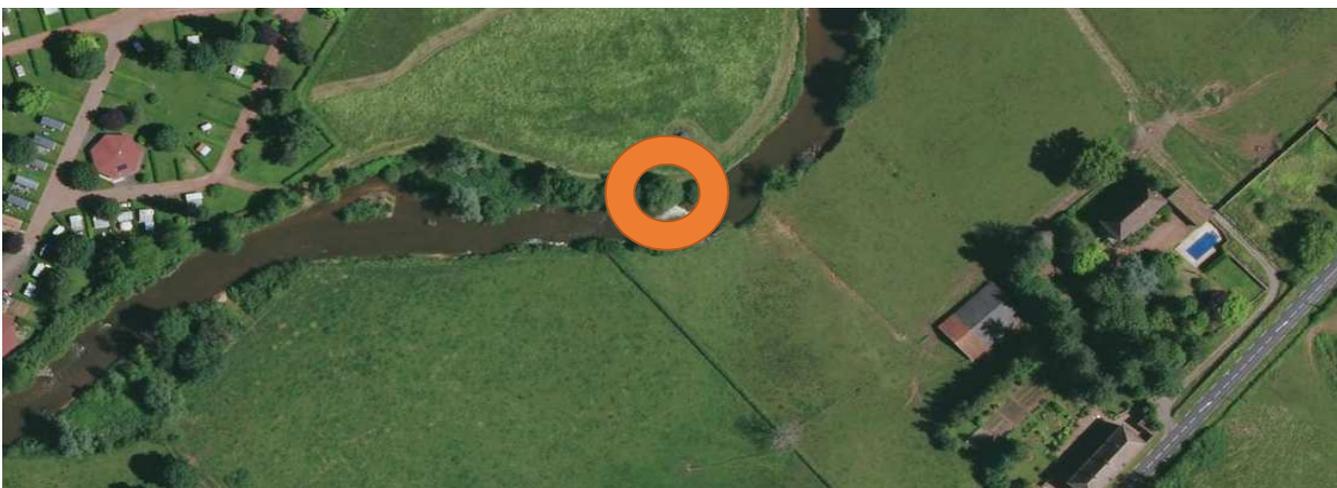
PHOTO :



PLAN DE SITUATION :



Rive droite du seuil



# FICHE SIGNALÉTIQUE

Système de coordonnées planimétriques :  
Système de coordonnées altimétriques :

RGF93-CC46  
NGF-IGN 69

**REPERE N°:** **ST.3**

Adresse : CHARLIEU  
Camping  
Type : clou

X 1791464.807  
Y 5218362.990  
Z 272.640

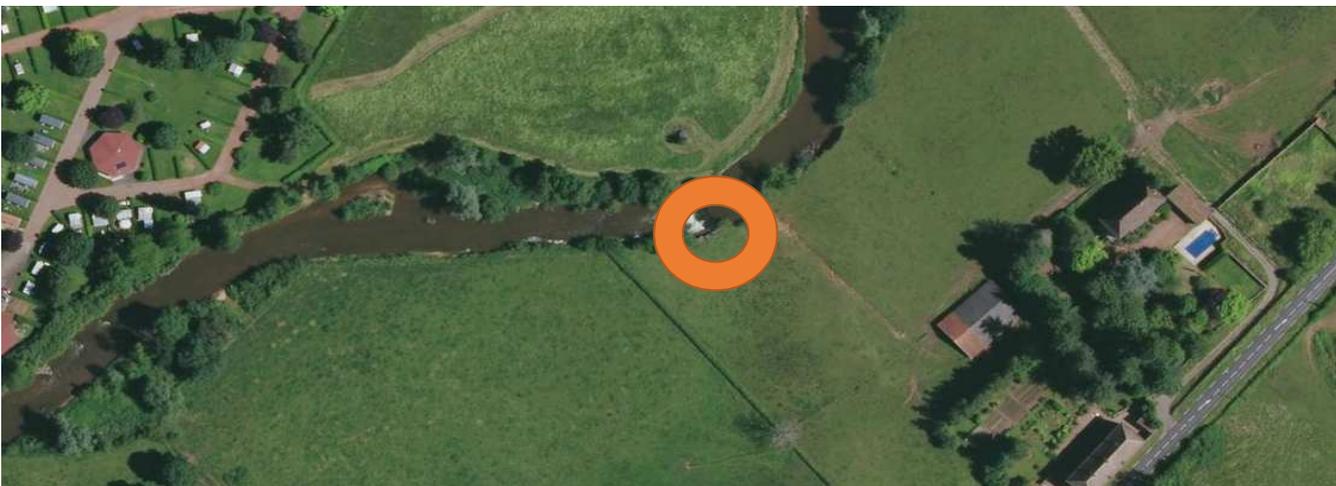
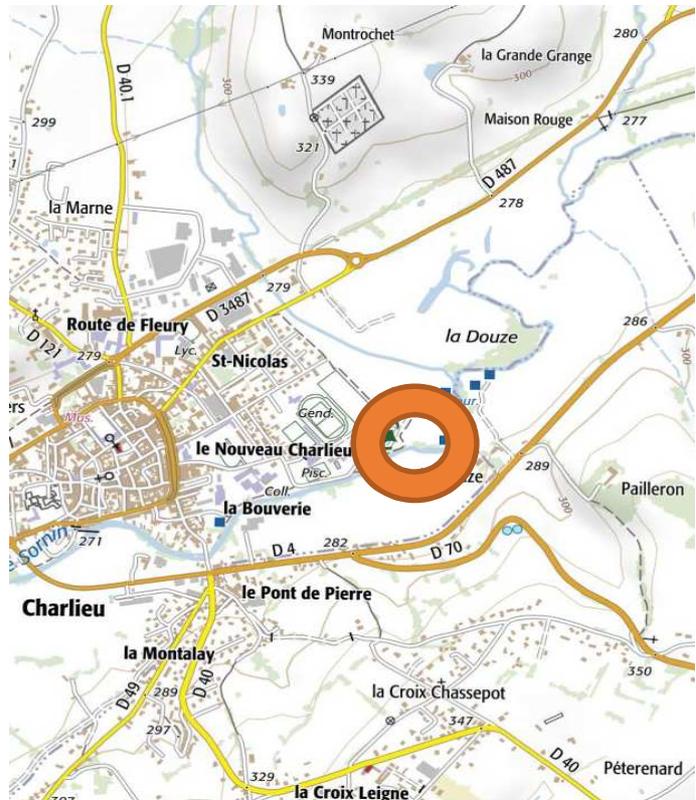
Ouvrage à proximité : SB119

PHOTO :



Rive gauche du seuil

PLAN DE SITUATION :



# FICHE SIGNALÉTIQUE

Système de coordonnées planimétriques :  
Système de coordonnées altimétriques :

RGF93-CC46  
NGF-IGN 69

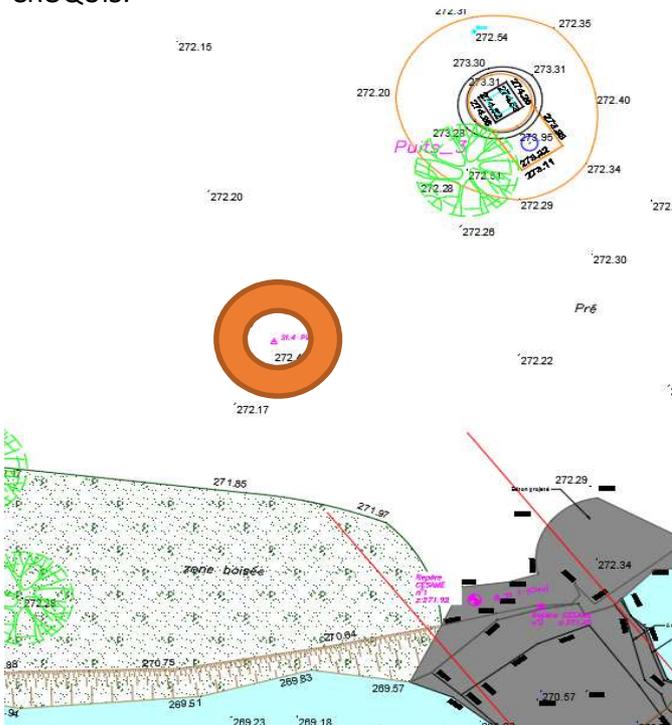
**REPERE N°:** **ST.4**

Adresse : CHARLIEU  
Camping  
Type : clou

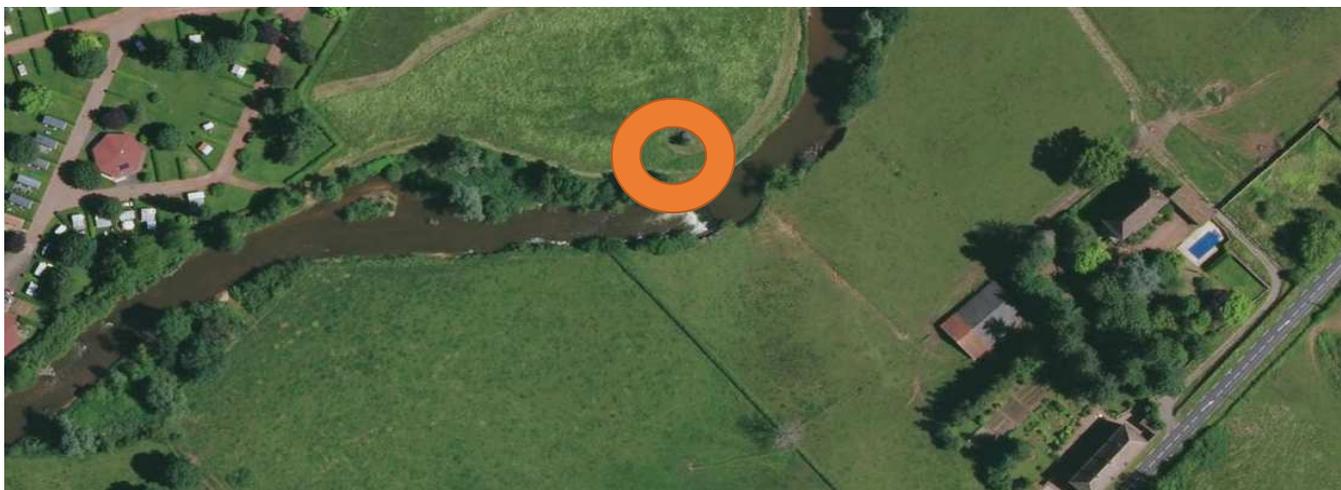
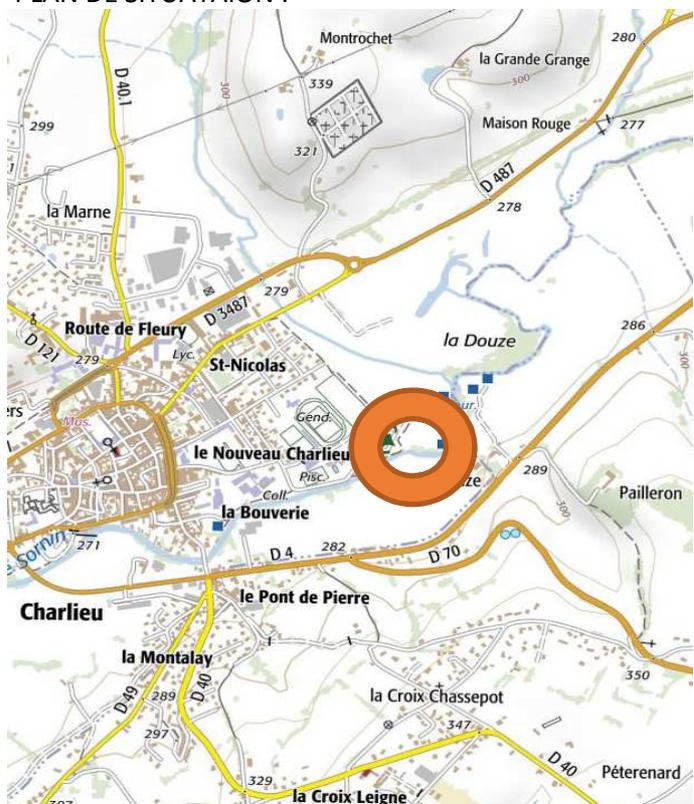
X 1791443.476  
Y 5218388.613  
Z 272.450

Ouvrage à proximité : SB119

CROQUIS:



PLAN DE SITUATION :



## ANNEXE 2 : plan d'implantation des profils utilisés pour la modélisation hydraulique

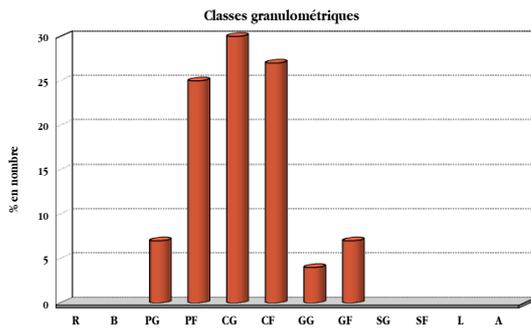
## Localisation des profils HECRAS



## ANNEXE 3 : Restitution des granulométries (Wolman)



### Éch. GR\_1



Code éch.	Diamètres caractéristiques (mm)									
	$d_{10}$	$d_{20}$	$d_{30}$	$d_{40}$	$d_{50}$	$d_{60}$	$d_{70}$	$d_{80}$	$d_{90}$	$d_{100}$
GR_1	13	21	28	33	46	55	66	80	112	50,5

Représentativité
Tronçon aval (GR_1)

Coef de Hazen ( $d_{60}/d_{10}$ ) : 4,3

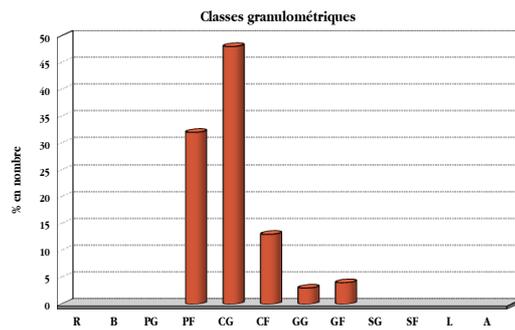
Indice de Ward&Folk : 1,3

Indice de Fredle : 25

Granulométrie étalée

Mal trié

### Éch. GR\_2



Code éch.	Diamètres caractéristiques (mm)									
	$d_{10}$	$d_{20}$	$d_{30}$	$d_{40}$	$d_{50}$	$d_{60}$	$d_{70}$	$d_{80}$	$d_{90}$	$d_{100}$
GR_2	20	32	38	45	50	60	64	70	82	51,2

Représentativité
Remous solide - Radier amont retenue

Coef de Hazen ( $d_{60}/d_{10}$ ) : 3,1

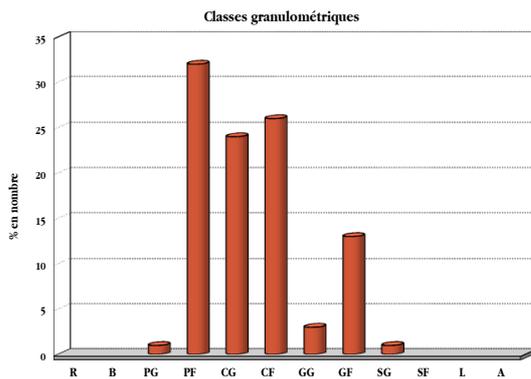
Indice de Ward&Folk : 0,8

Indice de Fredle : 34

Granulométrie étalée

Modérément trié

### Éch. GR\_3



Code éch.	Diamètres caractéristiques (mm)									
	$d_{10}$	$d_{20}$	$d_{30}$	$d_{40}$	$d_{50}$	$d_{60}$	$d_{70}$	$d_{80}$	$d_{90}$	$d_{100}$
GR_3	4	22	26	31	37	48	69	83	97	46,3

Représentativité
Tronçon non aménagé (GR_3)

Coef de Hazen ( $d_{60}/d_{10}$ ) : 12

Indice de Ward&Folk : 2

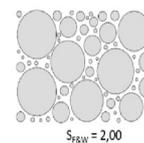
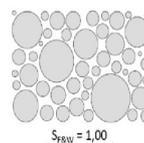
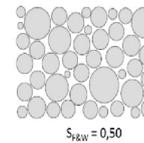
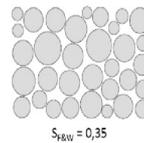
Indice de Fredle : 19

Granulométrie étalée

Mal trié

$$\text{Equation 5. Indice de Folk \& Ward} = \frac{D_{84}-D_{16}}{4} + \frac{D_{95}-D_5}{6.6}$$

$$\text{Equation 6. Indice de Fredle} = \left( \frac{D_{84} \cdot D_{16}}{D_{75} \cdot D_{25}} \right)^{0.5}$$

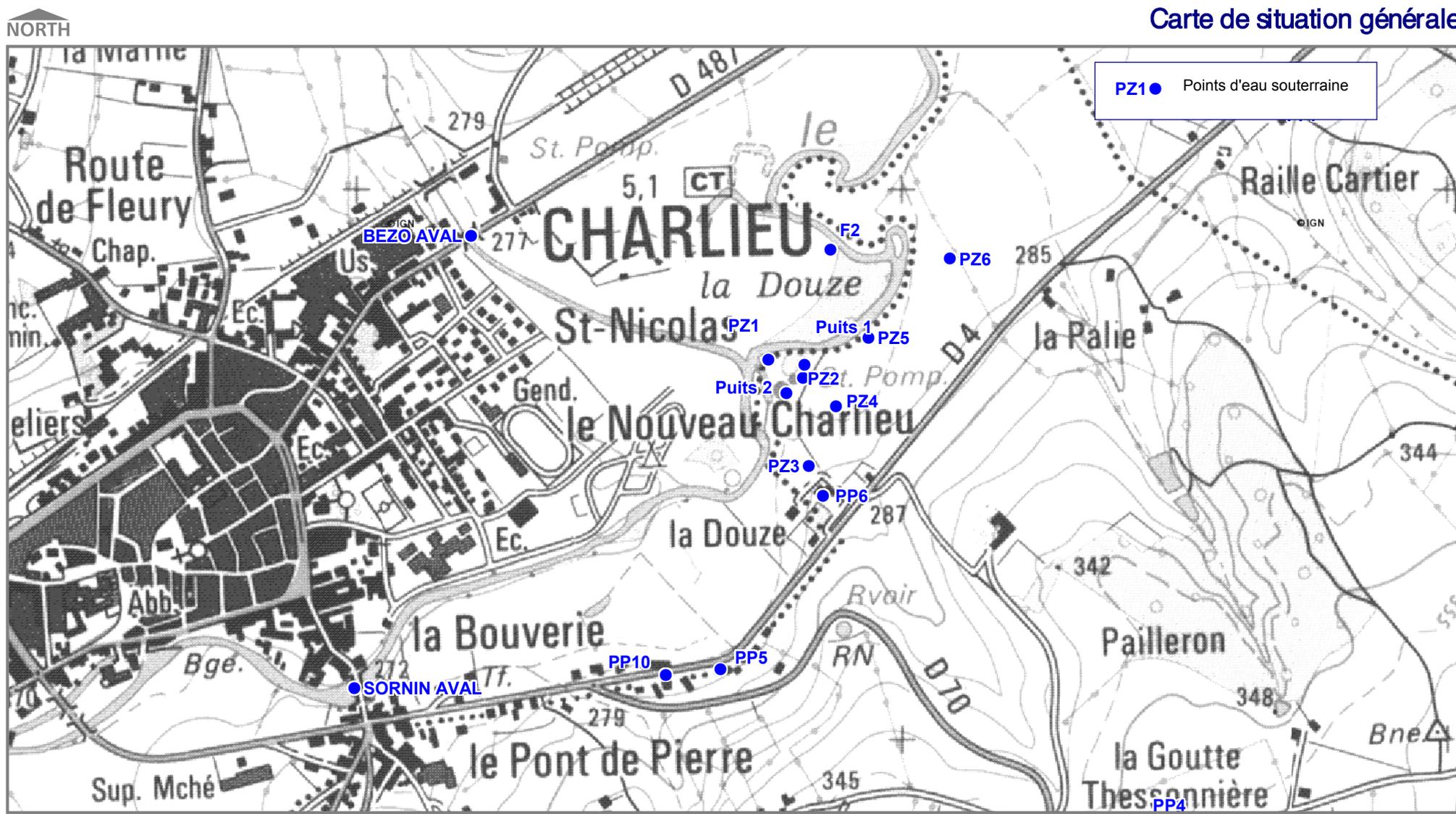


Indice de F&W	Caractéristique
> 4	extrêmement mal trié
2 - 4	très mal trié
1 - 2	mal trié
0,71 - 1	modérément trié
0,50 - 0,71	modérément bien trié
0,35 - 0,50	bien trié
< 0,35	très bien trié

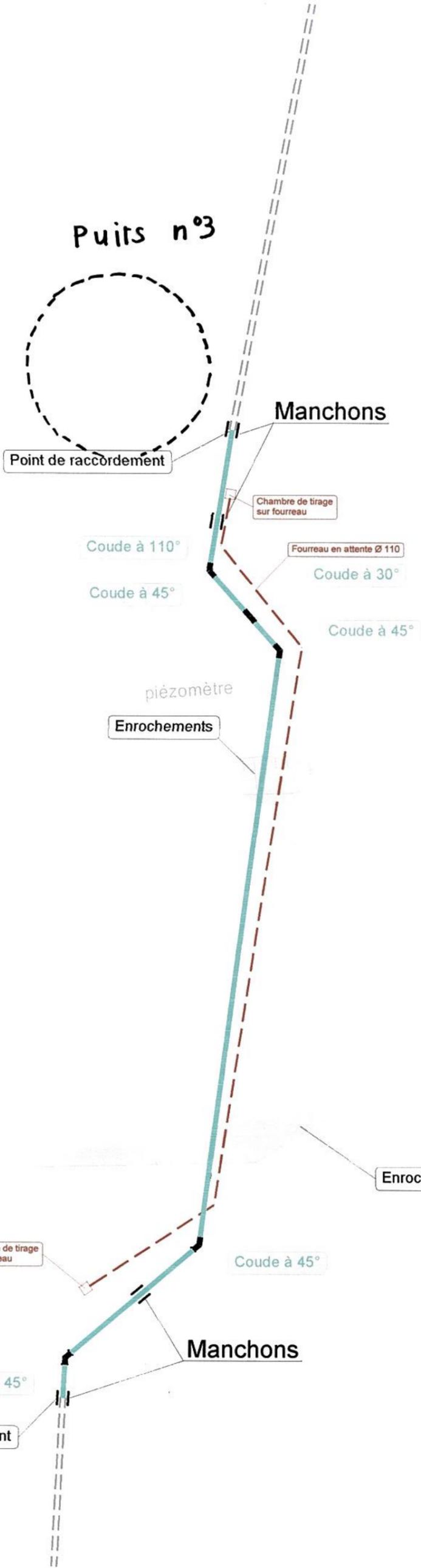
D'après Bunte et Abt (2001, modifié)

## ANNEXE 4 : Carte des points de suivi piézométriques

Carte de situation générale

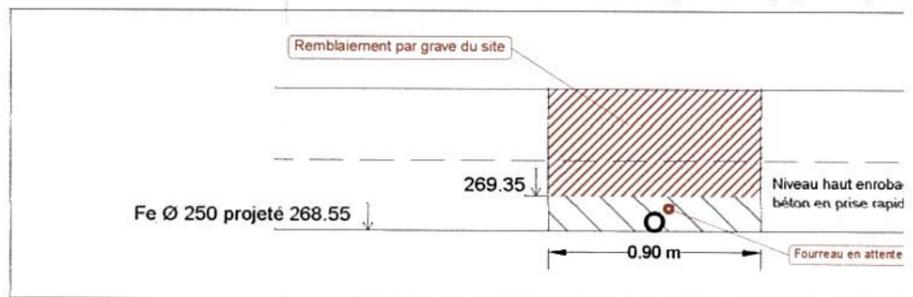


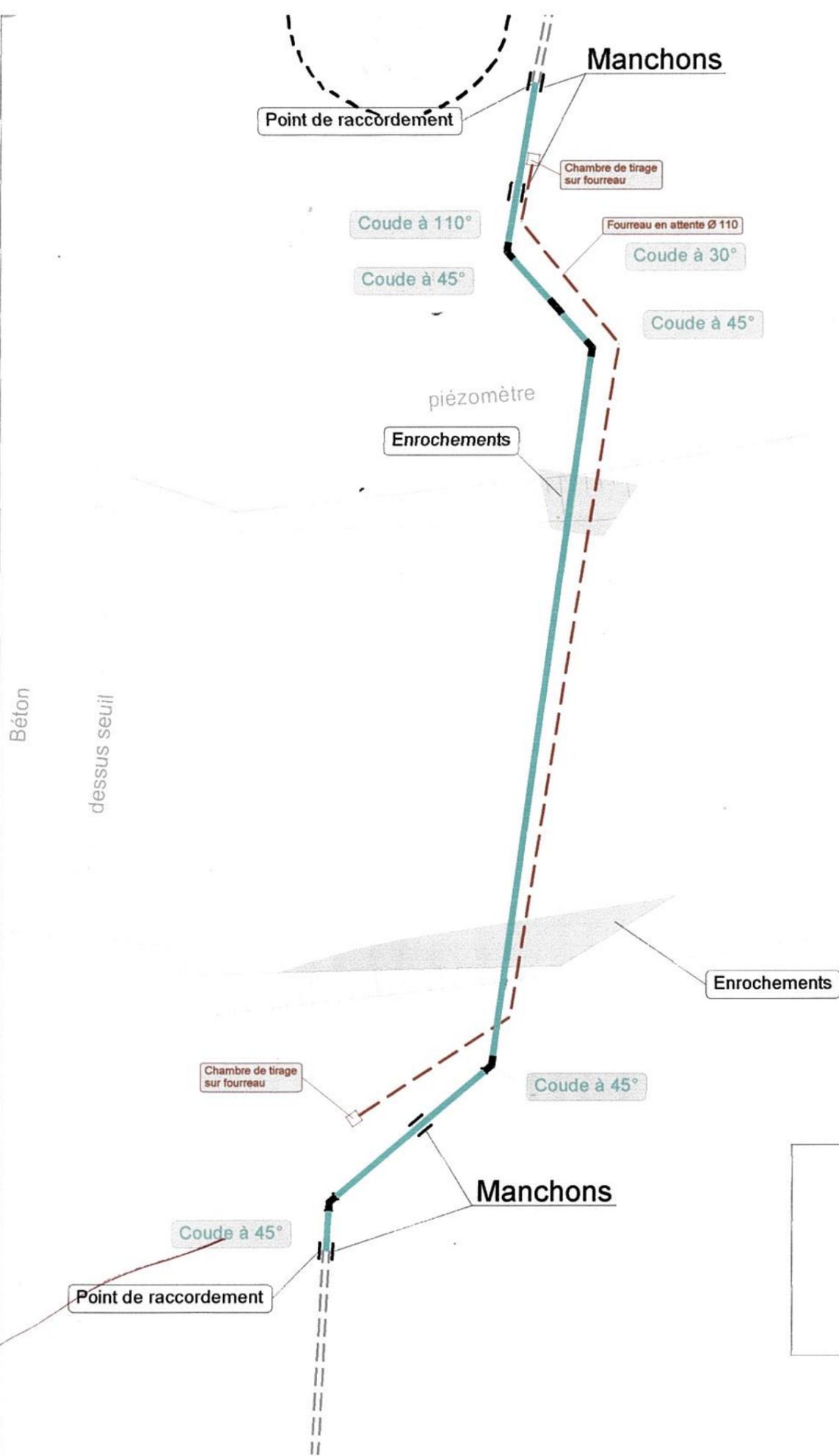
## ANNEXE 5 : Implantation théorique de la canalisation AEP



Indice	Date	
01	<del>20/03</del> 2013	P
ECHELLE : 1/200		

#### Coupe Type pa





Indice	Date	Modifications
01	<del>20/03</del> 2013	Plan de récolement
EHELLE : 1/200		Etabli par : DEBORDE S.

Logiciel MENSURA

### Coupe Type passage Sornin

