Siège social
NCA environnement
11, allée Jean Monnet
86170 Neuville-de-Poitou
Tél. 05 49 00 43 20
Fax 05 49 00 43 30
Email : accueil@nca-env.fr
www.nca-env.fr

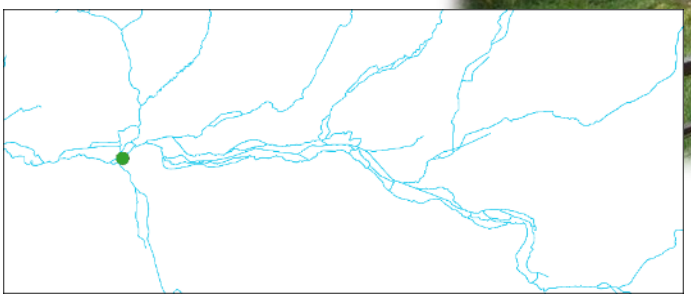
Agences
- 16, Grand'Rue
  86500 Montmorillon
  Tél. 06 48 18 88 87
- Parc Atlantique
  3, rue du Clos Fleuri
  17100 Saintes
  Tél. 09 70 72 20 54

Études et conseil en environnement
Hydraulique urbaine
Eau et Assainissement
Milieu naturel
Agriculture Environnement
Hydraulique fluviale
Énergies renouvelables
Ingénierie environnementale

**SYNDICAT INTERCOMMUNAL DE LA VALLÉE DE L'YÈVRE (SIVY)**

# ÉTUDE POUR LA RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE DE L'YÈVRE MÉDIAN

Août 2019



## Fiche de site - Moulin Saint-Sulpice

| FICHE DE SUIVI DU DOCUMENT | |
|---|---|
| **Coordonnées du commanditaire** | SIVY<br>Hôtel de ville<br>11, rue Jacques Rimbault<br>18000 BOURGES<br>Téléphone : 02 18 81 00 19<br>Courriel : sivy@ville-bourges.fr |
| **Bureau d'études** | NCA Environnement<br>11, allée Jean Monnet<br>86 170 NEUVILLE-DE-POITOU |
| **Vérifié par :** | Germain PASQUIER |
| **Rédigé par :** | Élisabeth NOISETTE et Florian DAIRON |

**HISTORIQUE DES MODIFICATIONS**

| Version | Date Rédaction | Désignation |
|---|---|---|
| 1 | 03/01/2018 | Version provisoire |
| 2 | 27/05/2019 | Version définitive |
| 3 | 16/08/2019 | Version définitive perfectionnée |

**I. RECONNAISSANCES DE SITE ..... 5**

**II. IDENTITÉ ..... 6**

II. 1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ..... 6
II. 2. CONTACTS ET ACCÈS ..... 6
II. 3. AGENCEMENT DU SITE ..... 7

**III. DESCRIPTION DU SITE ..... 8**

III. 1. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE ..... 8
III. 2. OUVRAGE ..... 8
III. 2. 1. État actuel ..... 8
III. 2. 2. Schémas et plans ..... 9
III. 3. ANNEXES HYDRAULIQUES ..... 10
III. 4. BERGES ET RIPISYLVE ..... 11
III. 5. GRANULOMÉTRIE ..... 13
III. 6. OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES ..... 15
III. 6. 1. Diagnostic REH 2012 ..... 15
III. 6. 2. Autres éléments ..... 15

**IV. DONNÉES HISTORIQUES ..... 17**

**V. FONCTIONNEMENT DU SITE ..... 18**

V. 1. DONNÉES HYDROLOGIQUES ..... 18
V. 2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ..... 18
V. 2. 1. Analyse des lignes d'eau et des hauteurs de chute. ..... 18
V. 2. 1. Analyse des vitesses d'écoulement. ..... 19
V. 3. FRANCHISSABILITÉ PISCICOLE ..... 20
V. 4. TRANSPORT SÉDIMENTAIRE ..... 21

**VI. AMÉNAGEMENTS ENVISAGEABLES ..... 22**

VI. 1. SCENARIO 1 : RECHARGE ..... 22
VI. 1. 1. Description du scenario ..... 22
VI. 1. 2. Illustrations ..... 22
VI. 1. 3. Dimensionnement et mise en œuvre ..... 23
VI. 2. SCENARIO 2 : PRÉ-BARRAGES ..... 25
VI. 2. 1. Description du scenario ..... 25
VI. 2. 2. Illustration ..... 26
VI. 2. 3. Dimensionnement et mise en œuvre ..... 26
VI. 3. SCENARIO 3 : MICRO-SEUILS ..... 28
VI. 3. 1. Description du scenario ..... 28
VI. 3. 2. Illustrations ..... 29
VI. 3. 3. Dimensionnement et mise en œuvre ..... 29

**VII. LISTE DES ANNEXES ..... 31**

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du moulin Saint-Sulpice ..... 6
Figure 2 : Reportage photographique ..... 7
Figure 3 : Vue aérienne du réseau hydrographique sur le site d'étude ..... 10
Figure 4 : Diagnostic de l'état des abords du moulin Saint-Sulpice en 2012 (Source : Étude EgisEau) 15
Figure 5 : Extrait de plans de 1748 (*Source : Archives départementales du Cher*) ..... 17
Figure 6 : Moulin Saint-Sulpice sur la carte de Cassini, établie entre 1754 et 1759 (*Source : Géoportail*) ..... 17
Figure 7 : Lignes d'eau modélisées sur le site du moulin Saint-Sulpice ..... 19
Figure 8 : Rampe à enrochements jointifs (*Source : Guide technique pour la conception des passes « naturelles »*) ..... 24
Figure 9 : Rampe à enrochements régulièrement répartis (*Source : Guide technique pour la conception des passes « naturelles »*) ..... 24
Figure 10 : Rampe à enrochements en rangées périodiques (*Source : Guide technique pour la conception des passes « naturelles »*) ..... 25
Figure 11 : Principe d'implantation des pré-barrages (*Source : M. Larinier*) ..... 27
Figure 12 : Dimensionnement de pré-barrages (*Source : M. Larinier*) ..... 28
Figure 13 : Coupe d'aménagement type d'un micro-seuil (*Source : Le génie végétal, MEEDAT-Biotec*) ..... 29
Figure 14 : Exemple de plan d'aménagement avec micro-seuils (*Source : Archives NCA Environnement, 2014*) ..... 30

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Débits caractéristiques ($m^3/s$) pour le site du moulin Saint-Sulpice ..... 18
Tableau 2 : Valeurs de chute estimées pour chaque régime hydrologique étudié ..... 19
Tableau 3 : Vitesses (m/s) moyennes d'écoulement sur le site de Saint-Sulpice pour les différents régimes hydrologiques ..... 19
Tableau 4 : Étude de la franchissabilité du moulin Saint-Sulpice par l'ichtyofaune selon le protocole ICE ..... 20
Tableau 5 : Contraintes tractrices estimées par modélisation sur le site pour chaque situation hydrologique étudiée ..... 21
Tableau 6 : Classes de sédiments mobilisables par le cours d'eau sur le site pour chaque situation hydrologique étudiée ..... 21

# I. RECONNAISSANCES DE SITE

Plusieurs visites du site ont été effectuées dans le cadre de l'étude sur le complexe de l'Yèvre médian. Ces visites ont consisté à réaliser l'ensemble des observations permettant de comprendre l'agencement du site, ses caractéristiques et d'appréhender son fonctionnement.

- **03/10/2018 :** Situation de basses eaux.

  Visite effectuée par Élisabeth Noisette. Reportage photographique et observations.

- **10/10/2018 :** Situation de basses eaux.

  Visite effectuée par Florian Dairon et Sylvain Jarousseau. Reportage photographique, observations, levés topographiques.

- **18/10/2018 :** Situation de basses eaux.

  Visite effectuée par Florian Dairon et Sylvain Jarousseau. Reportage photographique et observations.

- **23/11/2018 :** Situation de basses eaux.

  Visite effectuée par Germain Pasquier. Reportage photographique et observations.

# II. IDENTITÉ

## II. 1. Situation géographique

Le moulin Saint Sulpice est situé sur l'Yèvre sur la commune de Bourges en centre urbain.

**Figure 1 : Localisation du moulin Saint-Sulpice**

## II. 2. Contacts et accès

Propriétaire particulier.
Coordonnées disponibles au SIVY.

Amont, accès libre par une rampe depuis le pont de l'avenue d'Orléans.
Aval, accès en passant sous le moulin en basses eaux. Lorsque le moulin est en eau, accès probablement possible par le clos des Bernardins.

## II. 3. Agencement du site

**Figure 2 : Reportage photographique**

# III. DESCRIPTION DU SITE

## III. 1. Contexte réglementaire

| | |
|---|---|
| **Cours d'eau** | Yèvre |
| **Classement** | liste 1 et 2 (espèces cibles : anguille et espèces holobiotiques) |
| **Ouvrage Plan Anguille** | Non |
| **Grenelle** | Oui |
| **Franchissement Navigation** | Non |
| **ROE** | 27958 |
| **Usage ancien** | Moulin |
| **Usage actuel** | Pas d'usage, bâtiments transformés en résidence |
| **Fondé en titre** | Oui *Obsolète* |
| **Règlement d'eau et date** | Éteint depuis 1941 |
| **Cote légale** | 124,36 m NGF |

## III. 2. Ouvrage

### III. 2. 1. État actuel

La partie inférieure du moulin est en très mauvais état. Les blocs sont désolidarisés, de nombreuses zones sont affouillées et des embâcles conséquents se sont formés sur la face amont.

Côté droit, une passerelle béton a été construite sur l'ancienne, en bois sur pilotis, sans que les vestiges de cette dernière n'aient été enlevés.

L'évolution du côté gauche entre les différentes visites, indique que des travaux de rénovation ont été réalisés. Ces derniers font suite à l'effondrement de la base du bâtiment en rive gauche déclenché par les montées des eaux au début de l'année 2018.

*21 septembre et 3 octobre 2018*

*Gauche*

*Droite*

*10 octobre 2018 (Gauche)*

*18 octobre 2018 (Gauche)*

### III. 2. 2. Schémas et plans

Les plans issus du levé topographique sont disponibles en annexe de la présente fiche.

## III. 3. Annexes hydrauliques

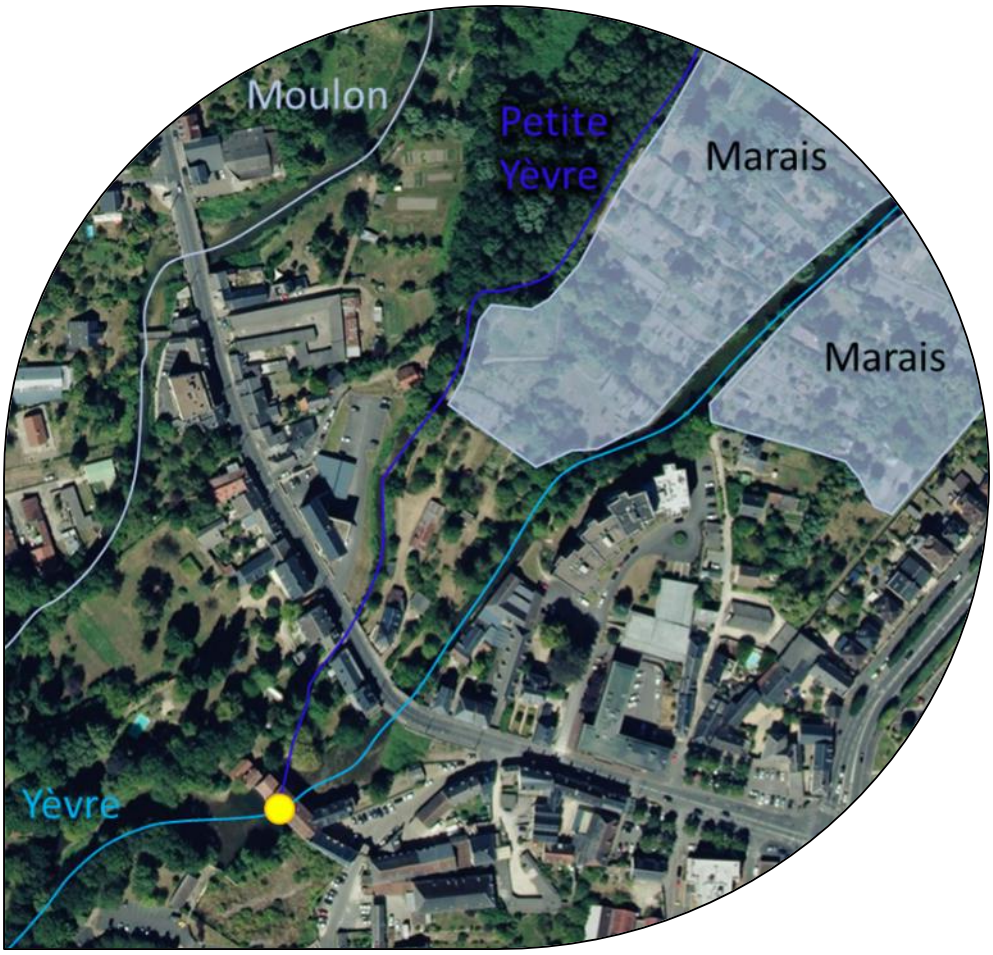



**Figure 3 : Vue aérienne du réseau hydrographique sur le site d'étude**

Au niveau du moulin, côté amont, la Petite Yèvre rejoint l'Yèvre. Sur ce bras, se trouvent de nombreuses arrivées d'eau. Plus particulièrement, en amont du pont de la route d'Orléans, se trouve une arrivée de diamètre 40 cm.

Au niveau du moulin, juste en amont (1 ou 2 m), rive droite, se trouve un ouvrage de sortie.

## III. 4. Berges et ripisylve

En amont du moulin, les berges sont fortement érodées. Murets, enrochements, palplanches, maçonneries sont endommagés, déstabilisés.

La végétation y est essentiellement composée d'herbacées, y compris dans le lit, à sec lors des visites de l'automne 2018. Quelques arbres sont également présents.

La Petite Yèvre, quoique bien moins large, présente les mêmes symptômes d'affouillement des parties basses des berges. La ripisylve dépend des souhaits des propriétaires des jardins attenant au cours d'eau, elle y est peu dense et essentiellement composée des strates arbustive et herbacée.

À l'aval de l'ouvrage, la section de l'Yèvre s'élargit et présente un méandre sur la droite. En rive gauche un muret canalise l'écoulement dans la continuité de l'ouvrage sur une dizaine de mètres. Par la suite, il laisse place à une berge verticale constituée d'enrochements.

Il en est de même pour la rive droite, avec un muret se prolongeant en revanche jusque dans l'extérieur du méandre.

La ripisylve est composée principalement d'une strate arborée en bordure de berge. Plus localement, présence d'herbacées et d'arbustes sur les deux rives. Cette ripisylve fait partie intégrante de jardins. Par ailleurs, on retrouve dans le méandre une grosse branche d'arbre tombée en travers du lit de l'Yèvre (*cf.* photo ci-dessous à gauche).

## Espèces observées

Jussie à grandes fleurs, bident feuillu, renouée de bohème sont implantées sur le site de Saint-Sulpice.

Les espèces principalement présentes sont :

- *Salix alba* Saule blanc
- *Fraxinus exelsior* Frêne
- *Acer plantanoides* Érable plane
- *Alnus glutinosa* Aulne glutineux

D'autres espèces sont représentées, notamment, grande ortie, ronces, saule pleureur (probablement planté), **roseau commun**, liseron des haies, potentille, **salicaire commune**, **iris des marais**, saule cendré/roux, myosotis, lierre grimpant, laurier-cerise (invasif), amaranthe sauvage, mauve (certainement commune), **pourpier des marais**, lepidium, guimauve officinale, merisier, **menthe aquatique**, **chanvre d'eau**, laiteron piquant, bident à feuilles tripartites, douce-amère, érigeron (potentiellement invasive), persicaire douce, amaranthes, stellaire intermédiaire et vigne-vierge (invasive).

À noter qu'à proximité du secteur Osmoy-Bourges, les espèces suivantes étaient présentes en 2014 :

- Érable negundo (Auron, Bourges et aval) +
- Ailanthe (Auron, aval, amont) --
- Amaranthe hybride (partout) ++
- Amaranthe réfléchie (toutes zones) +

- Ambroisie à feuilles d'armoise +++
- Aster invasif (Moulon et amont) --
- Azolla fausse fougère (Bourges) --
- Bident feuillé (Auron, Bourges et aval) +
- Buddléia du père David (Bourges) -
- Égérie dense (Bourges et aval) --
- Élodée du Canada (toutes zones) +
- Élodées invasives (toutes zones) +
- Érigeron annuel (toutes zones) ++
- Vergerette du Canada ++
- Vergerette de Sumatra (amont, SGP, Bourg) -
- Sainfoin d'Espagne (Auron, Bourges) -
- Berce du Caucase (Marais) +
- Balsamine du Cap (Auron) -
- Balsamine de l'Himalaya (SGP) -
- Grand lagarosiphon non repéré observé à Bourges en 2015
- Lentille d'eau minuscule non repéré observée à Bourges en 2015
- Jussie à grandes fleurs (Bourges) ++
- Jussies invasives (Bourges et aval) ++
- Myriophylle du Brésil (Bourges et aval) ++
- Vigne-vierge commune (Marais) -
- Vigne-vierge invasive (Marais) -
- Renouées invasives (Bourges et aval) ++
- Renouées du Japon (SGP, Bourges et aval) ++
- Séneçon du Cap (Bourges et aval) ++
- Solidages (Amont) --

## III. 5. Granulométrie

Aucun prélèvement granulométrique n'a été réalisé sur ce site.

Sur la Petite Yèvre, la granulométrie peut être variable d'une zone à une autre. Sur les derniers mètres elle est essentiellement composée de galets dont certains proviennent des murs adjacents. En effet, ces galets sont beaucoup moins représentés plus en amont de la Petite Yèvre.

Sur l'Yèvre, à l'amont, le fond est recouvert d'une armure de galets et blocs de diamètre supérieur à 20 cm. Le substrat liaisonnant semble montrer une granulométrie relativement hétérogène bien que principalement grossière.

**Lit de l'Yèvre à l'aval du pont de la route d'Orléans**

À l'amont immédiat du moulin, la granulométrie est plus fine. Par endroits (au niveau de l'arche gauche par exemple), les galets sont toujours présents mais ce sont les sables et limons qui prédominent, agglomérés en raison de l'état de sécheresse du lit. En d'autres endroits (droite de la pile centrale), se trouvent des bancs de graviers.

À l'aval du moulin, le substrat est essentiellement composé de blocs et galets. Quelques fines (graviers, sables) se glissent dans les interstices. Des éléments de type limon sont également présents, densément en certains endroits, ce sont *a priori* des matières organiques dont la présence est certainement liée au rejet d'égouts dans l'arche gauche du moulin.

## III. 6. Observations complémentaires

### III. 6. 1. Diagnostic REH 2012

En 2012, EgisEau a conduit une étude préalable au contrat territorial du bassin versant de l'Yèvre. À cette occasion, un diagnostic de terrain selon la méthode REH a été réalisé.

Les fiches concernant le moulin Saint-Sulpice sont :

- Fiche ouvrage n° OYe19a ;
- FicheEnqueteREH_Ye11 - segment b ;
- FicheEnqueteREH_Ye11synt.

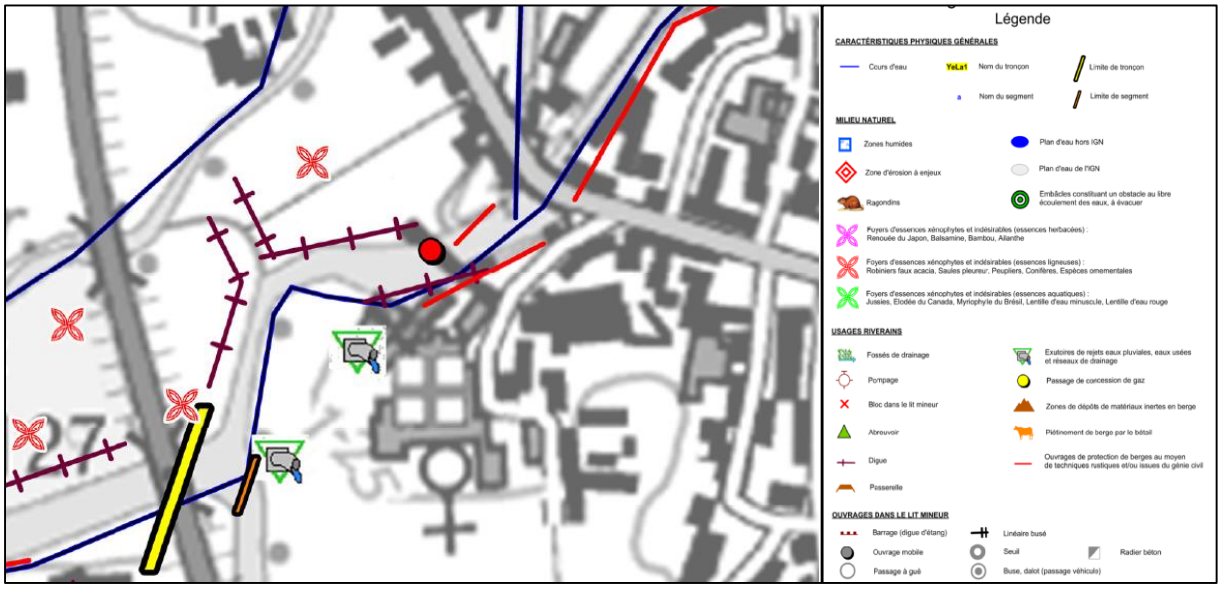



**Figure 4 : Diagnostic de l'état des abords du moulin Saint-Sulpice en 2012 (Source : Étude EgisEau)**

Le site de Saint-Sulpice ne semble pas avoir fondamentalement changé depuis 2012.
Comme en de nombreux autres endroits, les invasives ont fait leur apparition : jussie à grandes fleurs, bident feuillu, renouée de bohème principalement.

### III. 6. 2. Autres éléments

Il semblerait que ce soit la seconde fois que les riverains voient le cours d'eau à sec ; la première fois étant en 2017. Ceci est lié à la destruction par une crue du seuil du Mavois en 2016.

Dans la fosse aval du moulin, une forte concentration de poissons blancs (hotus, gardons, chevesnes, etc.) piégés a été constatée lors des levés topographiques du 10 octobre 2018.

Le propriétaire de la maison en rive gauche juste avant le moulin aurait signalé à la DDT et à l'AFB (ONEMA à l'époque) que le rejet d'assainissement du moulin se faisait directement dans le milieu récepteur. Il n'a pas eu de retour. Ce rejet générait une forte eutrophisation du milieu à l'aval immédiat.

**Rejet d'assainissement, avant et après travaux fin 2018**

# IV. DONNÉES HISTORIQUES

Denis Jeanson retrouve des traces du moulin dans des documents remontant à juillet 1469.
Le bâtiment semble également figurer sur l'atlas Trudaine établi entre 1730 et 1780.

Il figure sur des plans de l'abbaye de Saint-Sulpice datant de 1748. Il est également présent sur tous les plans et cartes ultérieurs.

**Figure 5 : Extrait de plans de 1748 (*Source : Archives départementales du Cher*)**

**Figure 6 : Moulin Saint-Sulpice sur la carte de Cassini, établie entre 1754 et 1759 (*Source : Géoportail*)**

En 1941, le moulin a été transformé en résidence et a perdu, par là même, son droit d'eau.

Selon les documents transmis par le service rivières de la ville de Bourges, la cote amont de régulation au moulin Saint-Sulpice est fixée à 124,36 m NGF 1969 mais n'a cependant pas été fixée légalement (non identifiée comme « cote légale »).

# V. FONCTIONNEMENT DU SITE

## V. 1. Données hydrologiques

La détermination des débits arrivant actuellement au moulin de Saint-Sulpice a été effectuée à partir des différentes campagnes de mesures réalisées entre octobre 2018 et mars 2019.

L'analyse permet d'établir qu'actuellement (2018-2019, après effondrement du seuil du Mavois), les flux arrivant par l'Yèvre correspondent à environ un sixième de ceux passant au clapet Saint-Ambroix. La détermination de ceux arrivant par la Petite Yèvre étant plus complexe, il a été considéré que les débits caractéristiques étaient du même ordre de grandeur que ceux arrivant à l'ouvrage de décharge vers le Mavois situé dans le marais.

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

**Tableau 1 : Débits caractéristiques ($m^3/s$) pour le site du moulin Saint-Sulpice**

| Régime | Yèvre Saint-Ambroix | Yèvre Saint-Sulpice | Petite Yèvre |
|---|---|---|---|
| QMNA5 | 0,176 | 0,015 | 0,029 |
| Médian | 3,464 | 0,074 | 0,577 |
| Module | 6,780 | 0,126 | 1,130 |
| Double module | 13,560 | 0,252 | 2,259 |
| Crue biennale | 39,099 | 0,640 | 6,514 |

## V. 2. Fonctionnement hydraulique

### V. 2. 1. Analyse des lignes d'eau et des hauteurs de chute.

L'intégration des relevés topographiques dans le logiciel Mike Hydro River permet de réaliser une modélisation hydraulique pour chaque régime hydrologique. Les sections d'entrée (PK = 0 m) du modèle se trouvent sur l'Yèvre et sur la Petite Yèvre, une vingtaine de mètres en amont du moulin.
La section de sortie se trouve sur l'Yèvre à une cinquantaine de mètres en aval.

Les lignes d'eau calculées par le logiciel sont visibles sur la figure suivante.

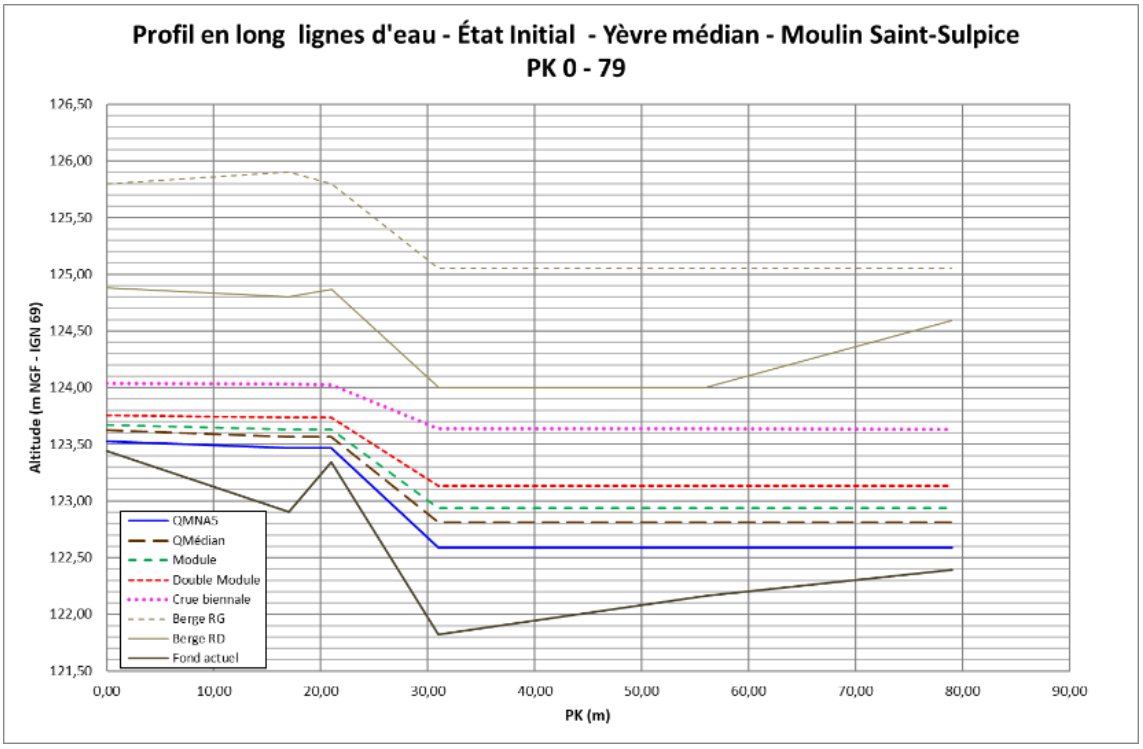



**Figure 7 : Lignes d'eau modélisées sur le site du moulin Saint-Sulpice**

L'ouvrage a une influence sur la ligne d'eau quel que soit le régime hydrologique. Il génère une chute dont les valeurs estimées par la modélisation sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 2 : Valeurs de chute estimées pour chaque régime hydrologique étudié**

| Débit ($m^3/s$) | Chute (m) |
|---|---|
| QMNA5 | 0,88 |
| Médian | 0,75 |
| Module | 0,69 |
| Double module | 0,60 |
| Crue biennale | 0,38 |

Bien qu'elle reste relativement importante, la chute diminue avec l'augmentation des débits.

### V. 2. 1. Analyse des vitesses d'écoulement.

Le tableau suivant présente les vitesses moyennes au niveau de l'ouvrage : dans la Petite Yèvre ainsi que dans l'Yèvre en amont et en aval du moulin. Mike calcule également les vitesses sous le bâtiment.

**Tableau 3 : Vitesses (m/s) moyennes d'écoulement sur le site de Saint-Sulpice pour les différents régimes hydrologiques**

| | QMNA5 | Médian | Module | 2*Module | Biennale |
|---|---|---|---|---|---|
| Petite Yèvre | 0,08 | 0,17 | 0,20 | 0,25 | 0,32 |
| Yèvre amont | 0,04 | 0,19 | 0,25 | 0,32 | 0,46 |
| Moulin | 0,37 | 0,83 | 1,02 | 1,28 | 1,81 |
| Yèvre aval | 0,02 | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 0,20 |

## V. 3. Franchissabilité piscicole

La franchissabilité piscicole est évaluée selon le protocole ICE. Elle est détaillée par espèce dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4 : Étude de la franchissabilité du moulin Saint-Sulpice par l'ichtyofaune selon le protocole ICE**

| Critères piscicoles | | | Franchissabilité piscicole - Note ICE | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Espèces | Groupe ICE | Tirant d'eau minimal (m) | QMNA5 | QMédian | Module | 2*Module |
| Saumon atlantique<br>Truite de mer (55-100) | 1 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Mulet | 2 | 0.1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Grande alose | 3a | 0.15 | 0 | 0 | 0.66 | 0.66 |
| Alose feinte | 3b | 0.1 | 0 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| Lamproie marine | 3c | 0.1 | 0 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| Truite de rivière ou truite de mer (25-55) | 4a | 0.1 | 0 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| Truite de rivière (15-30) | 4b | 0.05 | 0 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Aspe<br>Brochet | 5 | 0.15 | 0 | 0 | 0.66 | 0.66 |
| Ombre commun | 6 | 0.1 | 0 | 0 | 0.66 | 0.66 |
| Barbeau fluviatile<br>Chevaine<br>Hotu | 7a | 0.1 | 0 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Lamproie fluviatile | 7b | 0.05 | 0 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Carpe commune | 8a | 0.25 | 0 | 0 | 0 | 0.33 |
| Brème commune<br>Sandre | 8b | 0.15 | 0 | 0 | 0.33 | 0.33 |
| Brème bordelière<br>Ide melanote<br>Lotte de rivière<br>Perche<br>Tanche | 8c | 0.1 | 0 | 0 | 0.33 | 0.33 |
| Vandoise | 8d | 0.05 | 0 | 0 | 0.33 | 0.33 |
| Ablette commune<br>Barbeau méridonial<br>Spirlin<br>Blageon<br>Carassin commun<br>Carassin argenté<br>Gardon<br>Rotengle<br>Toxostome | 9a | 0.05 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Apron<br>Chabot<br>Goujon<br>Grémille<br>Lamproie de planer<br>Loche franche<br>Loche de rivière | 9b | 0.05 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Able de Heckel<br>Bouvière<br>Epinoche<br>Epinochette<br>Vairon | 10 | 0.05 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Anguille européenne | 11a | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Le moulin constitue une barrière totale pour l'ensemble des espèces en situation de basses eaux. Lorsque le débit augmente, il devient une barrière partiellement franchissable pour les espèces des groupes 1 à 8.

## V. 4. Transport sédimentaire

La modélisation a permis d'estimer les contraintes tractrices moyennes. Cette variable permet d'évaluer les classes de sédiments pouvant être mobilisées par chaque régime hydrologique. Le tableau ci-dessous indique les valeurs de contraintes tractrices par tronçon sur le site.

**Tableau 5 : Contraintes tractrices estimées par modélisation sur le site pour chaque situation hydrologique étudiée**

| Contrainte σ | QMNA5 | Médian | Module | 2*Module | Biennale |
|---|---|---|---|---|---|
| Petite Yèvre | 0,28 | 0,93 | 1,13 | 1,60 | 2,04 |
| Yèvre amont | 0,02 | 0,46 | 0,82 | 1,45 | 3,05 |
| Yèvre aval | 0,02 | 0,11 | 0,18 | 0,30 | 0,62 |

Cela permet de déduire quelles classes de sédiments peuvent être mobilisées. Sachant que, lorsqu'une classe de sédiments peut être mobilisée, alors toutes celles de diamètre inférieur le peuvent également, le tableau suivant donne les classes limites selon chaque régime hydrologique.

**Tableau 6 : Classes de sédiments mobilisables par le cours d'eau sur le site pour chaque situation hydrologique étudiée**

| Sédiments mobilisables | QMNA5 | Médian | Module | 2*Module | Biennale |
|---|---|---|---|---|---|
| Petite Yèvre | Sables moyens | Sables moyens | Sables moyens | Sables grossiers | Sables grossiers |
| Yèvre amont | Dépôts | Sables moyens | Sables moyens | Sables grossiers | Sables grossiers |
| Yèvre aval | Dépôts | Dépôts | Sables fins | Sables moyens | Sables moyens |

Le moulin de Saint-Sulpice ne forme qu'une barrière partielle au transit sédimentaire.

# VI. AMÉNAGEMENTS ENVISAGEABLES

Trois scenarii d'aménagement de l'aval du moulin de Saint-Sulpice ont été identifiés.
Le premier consisterait en une recharge en sédiments. Le second consisterait à construire des pré-barrages. Le troisième consisterait à confectionner des micro-seuils.

Les scenarii proposés ne sont pas figés, la solution optimale pouvant être adaptée en combinant plusieurs scenarii. Ils supposent tous les trois le maintien en ouverture totale des différentes voies d'eau du moulin.

La pente du radier sous le moulin est également trop élevée. Une simple recharge ne serait certainement pas suffisante pour assurer la franchissabilité et une reprise de cette pente serait à réaliser. Afin de permettre une meilleure diversité des vitesses pour le passage de l'ouvrage, des macro-rugosités pourront y être implantées.

À noter que le choix de l'aménagement sera également lié aux décisions prises sur l'ensemble du secteur (Mavois, Petite Yèvre, *etc*.).

## VI. 1. Scenario 1 : Recharge

### VI. 1. 1. Description du scenario

Le premier scenario propose une recharge en sédiments de la fosse d'affouillement à l'aval du moulin avec une mise en œuvre permettant la pérennisation de l'opération.

Ce serait l'opération la moins coûteuse, modifiant le moins le paysage actuel et *a priori* la meilleure concernant la restauration de la continuité écologique.

Si cela n'a pas déjà été fait, ces travaux pourraient être faits en même temps que ceux de rénovation déjà esquissés au niveau de l'arche gauche

### VI. 1. 2. Illustrations

Le paysage général ne serait que peu modifié par ce scenario.

Si l'option des macro-rugosités est retenue, les écoulements sous les arches pourraient ressembler à ceux visibles sur la photo ci-contre.

**Passe à poissons à macro-rugosités sur l'Erve au grand moulin Sainte-Suzanne, (*Source : portail-bassins-versants.fr*)**

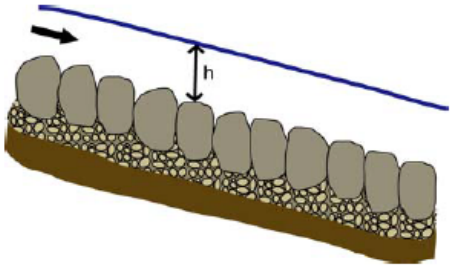
### VI. 1. 3. Dimensionnement et mise en œuvre

Un tel aménagement s'apparente à l'implantation d'une rampe. Le *guide technique pour la conception des passes « naturelles »* publié en 2006 par le GHAAPPE (Cemagref, Conseil supérieur de la pêche et ENSEEIHT) précise les points d'attention pour le dimensionnement d'un dispositif de franchissement efficient et pérenne. Il pourra être opté pour une rampe à enrochements jointifs, régulièrement répartis ou en rangées périodiques.

- *Le projeteur doit se définir un scénario au préalable avec la pente de l'ouvrage et les caractéristiques géométriques du dispositif :*
    - *Concentration C et dimensions des blocs (D, k) pour les enrochements régulièrement répartis.*
    - *Porosité $\vartheta$ et espacement des rangées L, hauteur des seuils p et dimensions des blocs (D, k) pour les enrochements en rangées périodiques.*
    - *D65 pour les enrochements jointifs*

  *La longueur du dispositif, qui dépend de la pente et de la chute maximale à rattraper, doit être compatible avec les possibilités d'implantation générale.*
- *Le débit unitaire minimal du dispositif est déterminé à partir de la hauteur d'eau minimale compatible avec le passage des espèces-cibles. Cela permet de caler la cote de la crête du dispositif dans sa partie la plus basse par rapport à la cote minimale du plan d'eau amont.*
- *Lorsqu'un scénario est jugé satisfaisant d'un point de vue piscicole, il reste à vérifier la stabilité de l'ouvrage lorsque celui-ci est exposé aux crues, ce qui permet de déterminer la dimension des blocs constituant le fond de l'ouvrage et en particulier pour les ouvrages à blocs isolés la hauteur totale (K) des blocs dont la hauteur utile (k) a été fixée précédemment.*

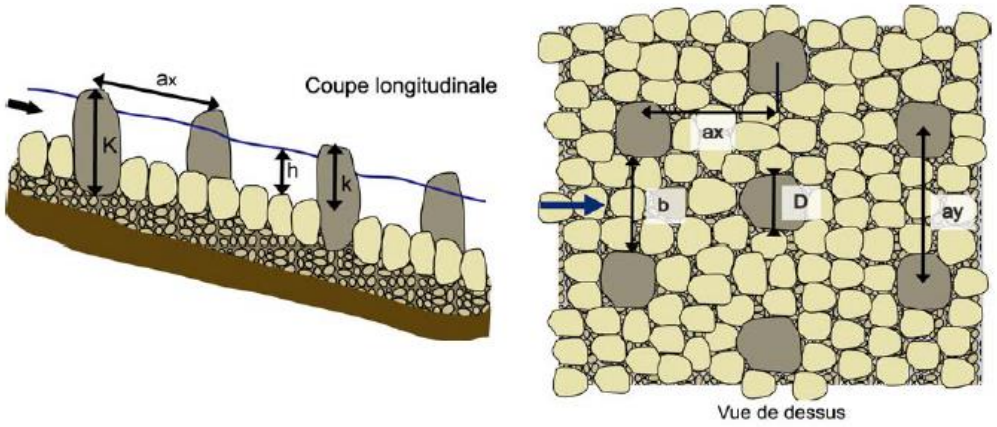
**3.1 Variables, schémas et notations**




**$h_{am}$** : charge amont sur la crête du seuil (m).
**h** : hauteur d'eau en écoulement uniforme (m).
**Vdeb** : vitesse débitante (m/s).
**q** : débit unitaire ($m^3$/s/m).
**$K_s$** : coefficient de Strickler.
**μ** : coefficient de débit de la formule déversoir.
**I** : pente longitudinale du coursier.
**g** : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²).
**M** : Masse d'un enrochement (kg).
**$P_v$** : Puissance dissipée volumique (W/$m^3$).
**$\rho_s$** : masse volumique des enrochements (≈2650 kg/$m^3$).

**Figure 8 : Rampe à enrochements jointifs (*Source : Guide technique pour la conception des passes « naturelles »*)**

**1.1 Variables, schémas et notations**




**ax** : espacement longitudinal entre blocs, d'axe à axe (m).
**ay** : espacement latéral entre blocs, d'axe à axe (m).
**b** : largeur de passage libre entre les blocs (m).
**D** : largeur face à l'écoulement des blocs (m).
**K** : hauteur totale du bloc (m).
**k** : hauteur utile des blocs (m).
**C** : concentration des blocs.
**I** : pente du coursier.
**h** : hauteur d'eau (m).
**Vdeb** : vitesse débitante dans les sections « libres » (calculée) (m/s).
**$Vdeb_{max}$** : vitesse débitante dans les sections minimales d'écoulement (calculée) (m/s).
**$v_{max}$** : vitesse maximale de l'écoulement (mesurée) (m/s).
**q** : débit unitaire ($m^3$/s/m).

**Figure 9 : Rampe à enrochements régulièrement répartis**
**(*Source : Guide technique pour la conception des passes « naturelles »*)**

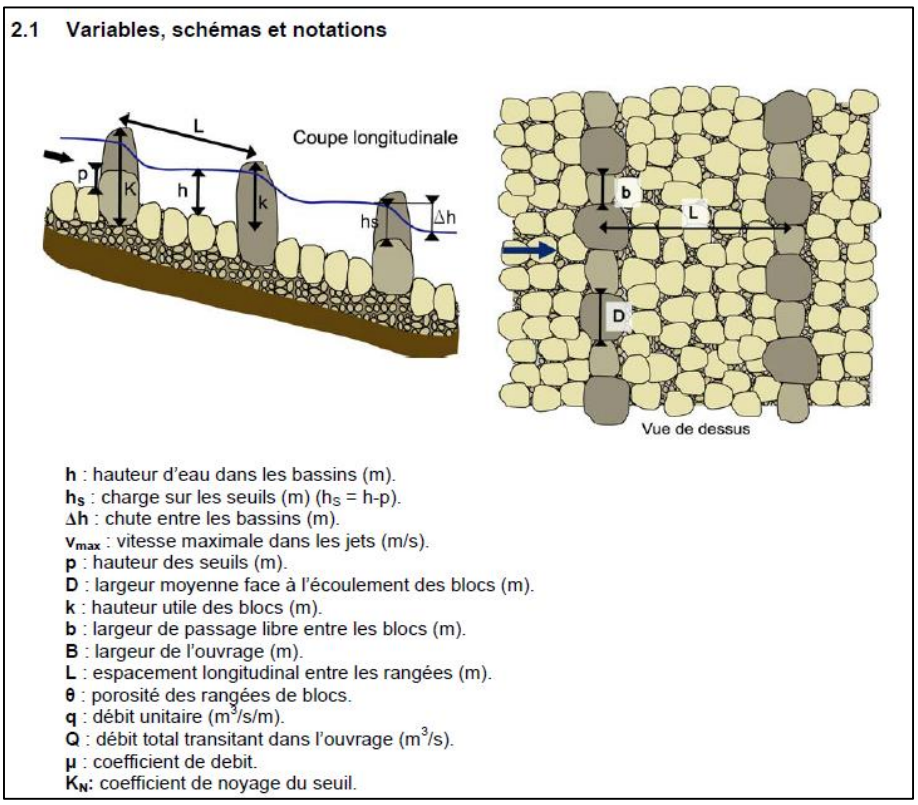



**Figure 10 : Rampe à enrochements en rangées périodiques**
**(*Source : Guide technique pour la conception des passes « naturelles »*)**

La mise en œuvre, quant à elle, doit permettre d'éviter l'emportement du dispositif par les hautes eaux et crues exceptionnelles.

## VI. 2. Scenario 2 : Pré-barrages

### VI. 2. 1. Description du scenario

Un deuxième aménagement serait la construction de pré-barrages à l'aval du moulin. Il s'agit de fractionner la chute à franchir par une série de rangées d'enrochements liaisonnés mises en place en aval de l'ouvrage. Ces rangées, avec échancrure, formeraient des bassins de repos pour les poissons.

La détermination des dimensions et du nombre de rangées nécessite une étude plus approfondie. Cependant, considérant une hauteur de chute interbassins de l'ordre de 0,25 m maximum et une longueur de bassin supérieure à 3 m, cela nécessiterait la mise en place d'au-moins deux rangées pour une emprise de plus de six mètres de long.

### VI. 2. 2. Illustration

**Rangées d'enrochements, ici pour une rivière de contournement (*Source : ComCom de Molsheim-Mützig)***

### VI. 2. 3. Dimensionnement et mise en œuvre

Le *guide technique pour la conception des passes « naturelles »* publié en 2006 par le GHAAP (Cemagref, Conseil supérieur de la pêche et ENSEEIHT) s'appuie sur les travaux antérieurs de *Larinier et al.* pour proposer une méthode de dimensionnement de pré-barrages efficients et pérennes.

Le dimensionnement des bassins se fait de façon similaire à celui pour une passe à bassins en génie civil.

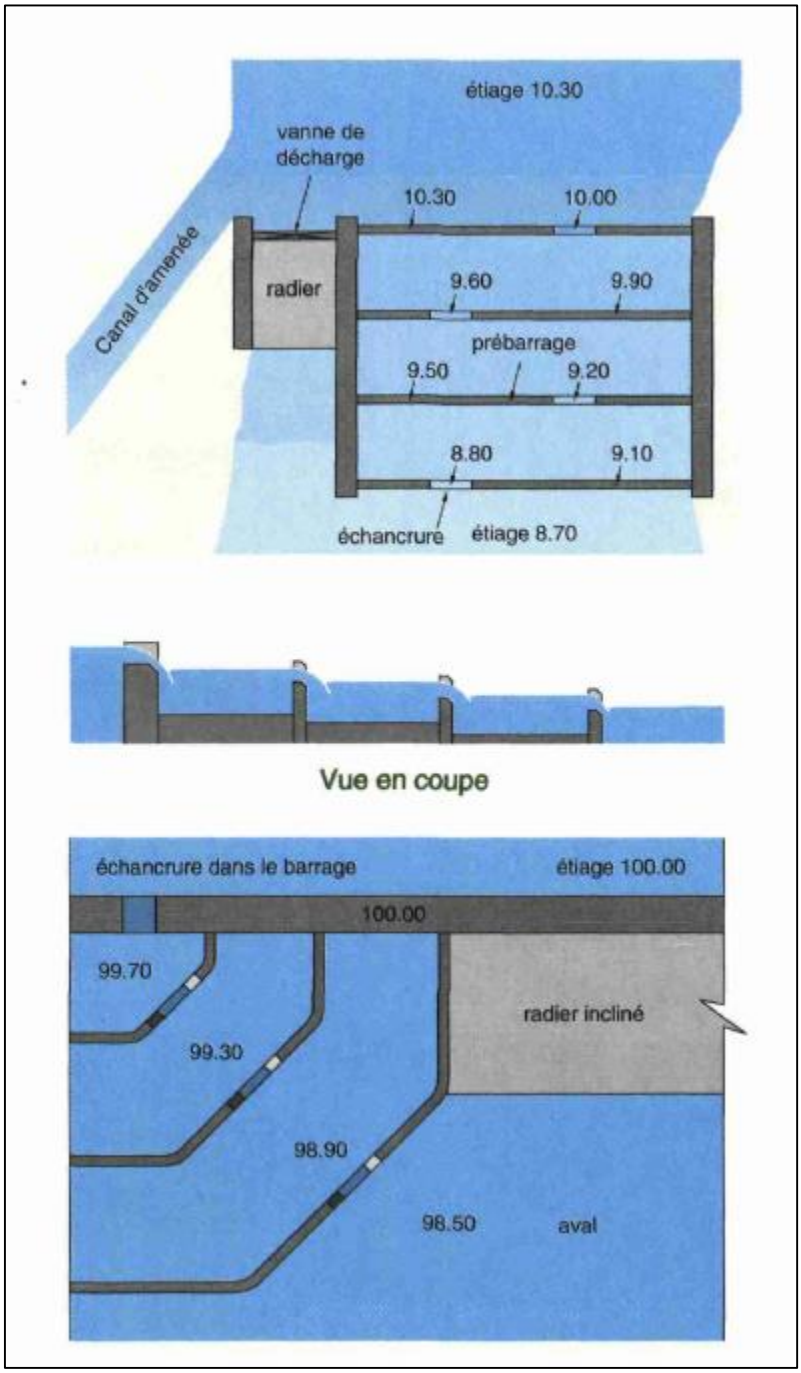



**Figure 11 : Principe d'implantation des pré-barrages (*Source : M. Larinier*)**

La figure ci-dessus est associée à des paragraphes présentant les différentes grandeurs à considérer ainsi que les relations qu'elles doivent vérifier. Porosité, chute, charge, débits, vitesses, puissances, forme et taille des enrochements, contraintes pour éviter la formation d'un ressaut hydraulique sont ainsi pris en compte et évalués.

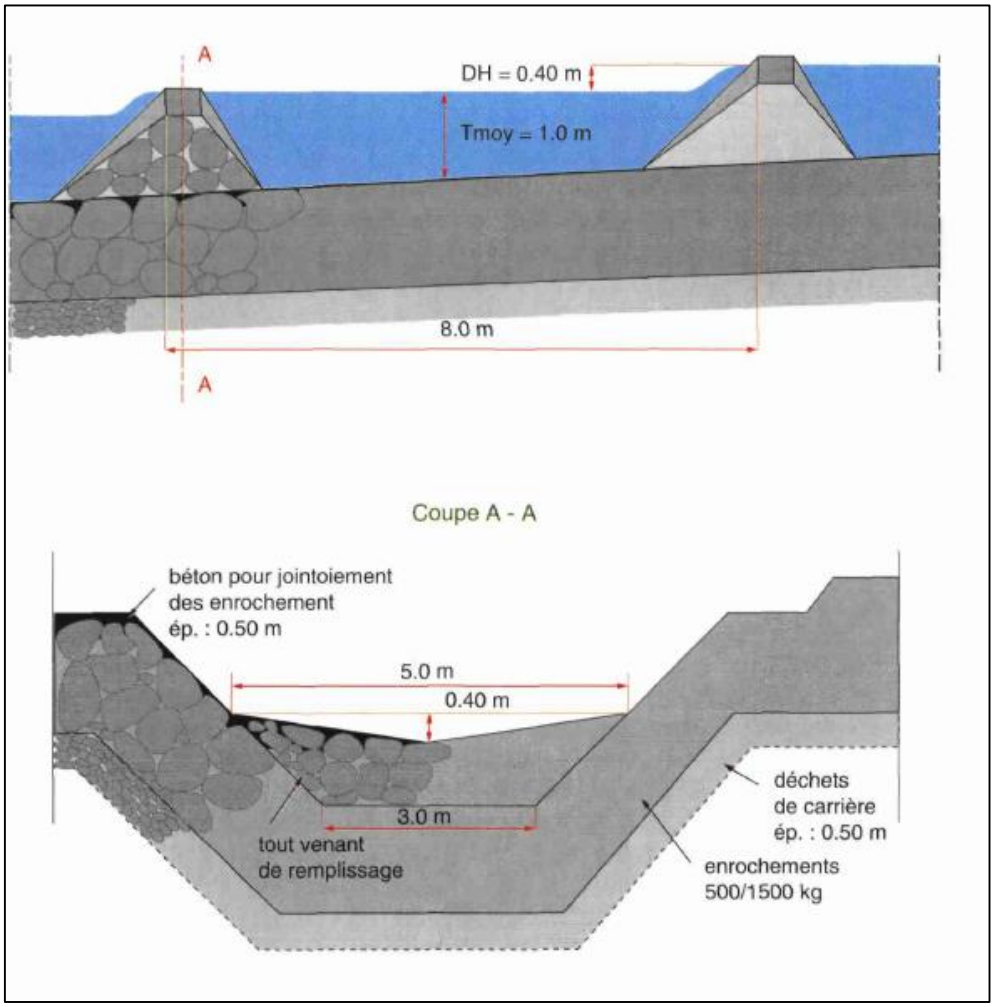



**Figure 12 : Dimensionnement de pré-barrages (*Source : M. Larinier*)**

Outre le respect de la géométrie, la mise en œuvre doit assurer la stabilité générale de l'ouvrage et individuelle des blocs.

## VI. 3. Scenario 3 : Micro-seuils

### VI. 3. 1. Description du scenario

Le troisième scenario serait d'implanter des micro-seuils. Ils fonctionnent sur le même principe que les pré-barrages. La différence réside dans leur taille et leur aspect. Ils sont en effet moins hauts et réalisés avec des matériaux plus proches du substrat déjà en place.

Ils présentent l'avantage d'être plus discrets que les pré-barrages et assurent normalement une meilleure continuité écologique. Ils présentent l'inconvénient d'avoir une emprise sur une plus grande longueur de linéaire. Cependant, l'Yèvre n'ayant pas d'enjeu majeur dans les 150 mètres à l'aval du moulin, cela n'est certainement pas un frein à la réalisation de cette option.

## VI. 3. 2. Illustrations

**Exemple de micro-seuils, sur la rivière Dreisam (Allemagne)**

***(Source : https://www.monnuage.fr/photos/point-d-interet/117644#gallery-modal)***

## VI. 3. 3. Dimensionnement et mise en œuvre

Le principe de dimensionnement de micro-seuils est proche de celui de pré-barrages.

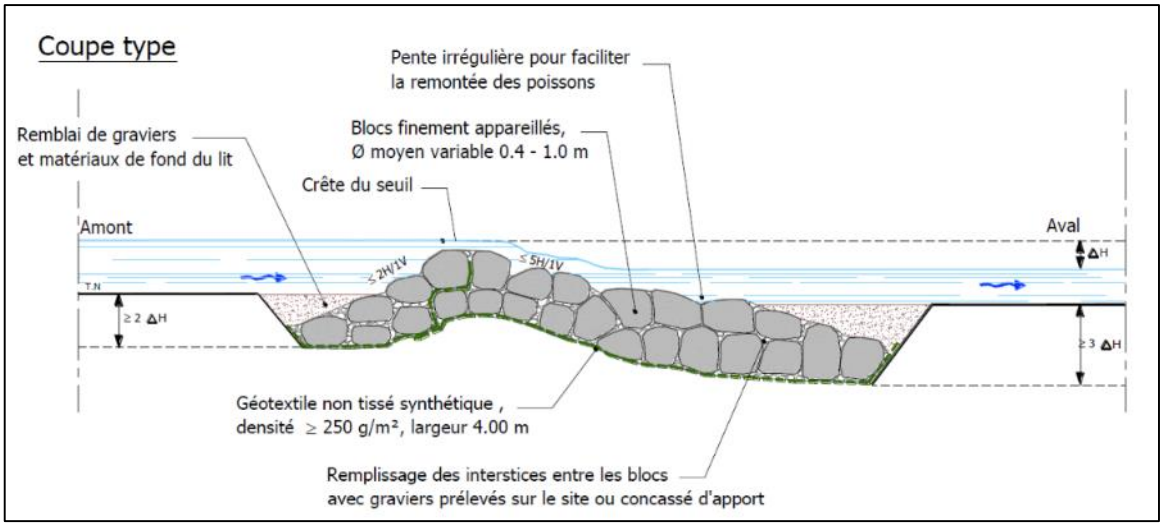



**Figure 13 : Coupe d'aménagement type d'un micro-seuil (*Source : Le génie végétal, MEEDAT-Biotec*)**

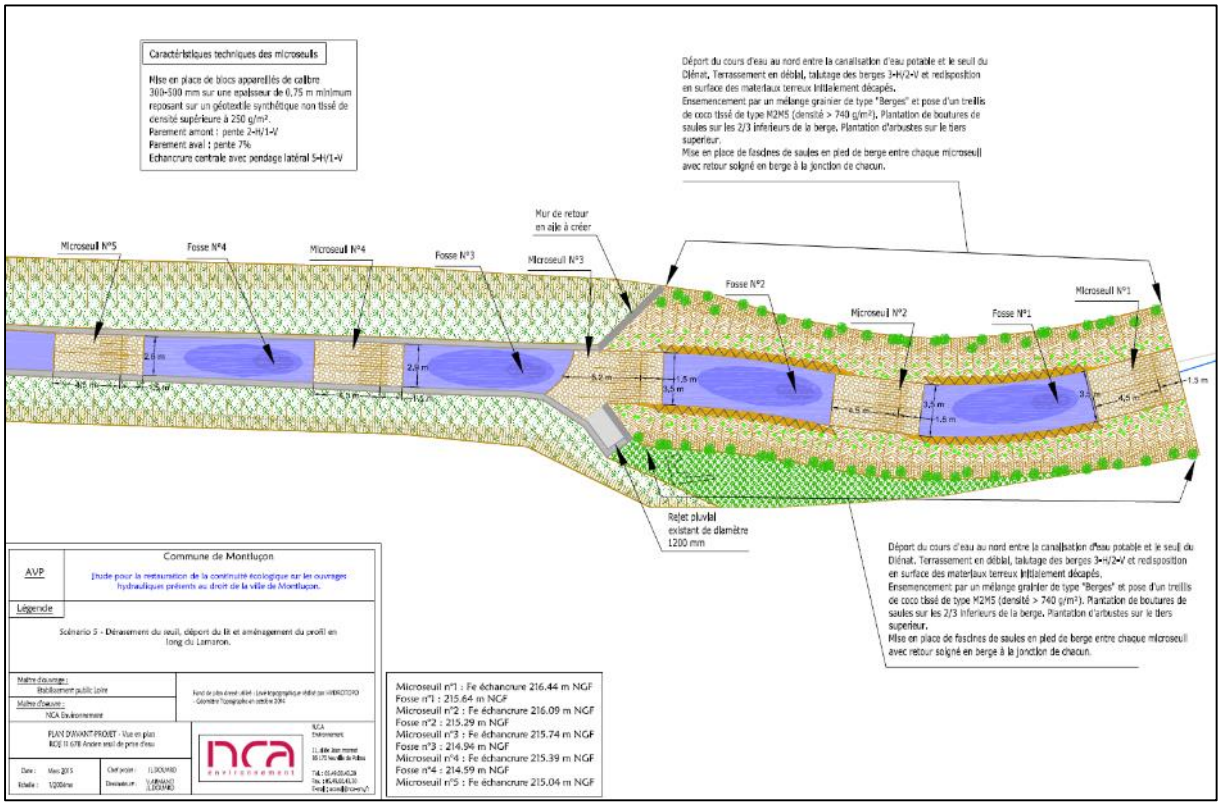



**Figure 14 : Exemple de plan d'aménagement avec micro-seuils (*Source : Archives NCA Environnement, 2014*)**

# VII. LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Planches graphiques ..... 32
Annexe 2 : Lexique ..... 41

# Annexe 1 : Planches graphiques

- **Annexe 1a :** Vue en plan ;
- **Annexe 1b :** Profils en long ;
- **Annexe 1c :** Profils en travers.

ÉTUDE POUR LA RESTAURATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE
DE L'YÈVRE MÉDIAN ( DÉPARTEMENT DU CHER )

# Moulin Saint-Sulpice - DIA

| | | | |
|---|---|---|---|
| Date des levés topographiques : 10/10/2018 | | | Format : A3 / Echelle : 1/500e |
| Indice | Date | Commentaires | Chef de projet : G.Pasquier |
| IND 000 | mai. 2019 | Première diffusion | |
| | | | Dessinateur : M.Veytizoux |

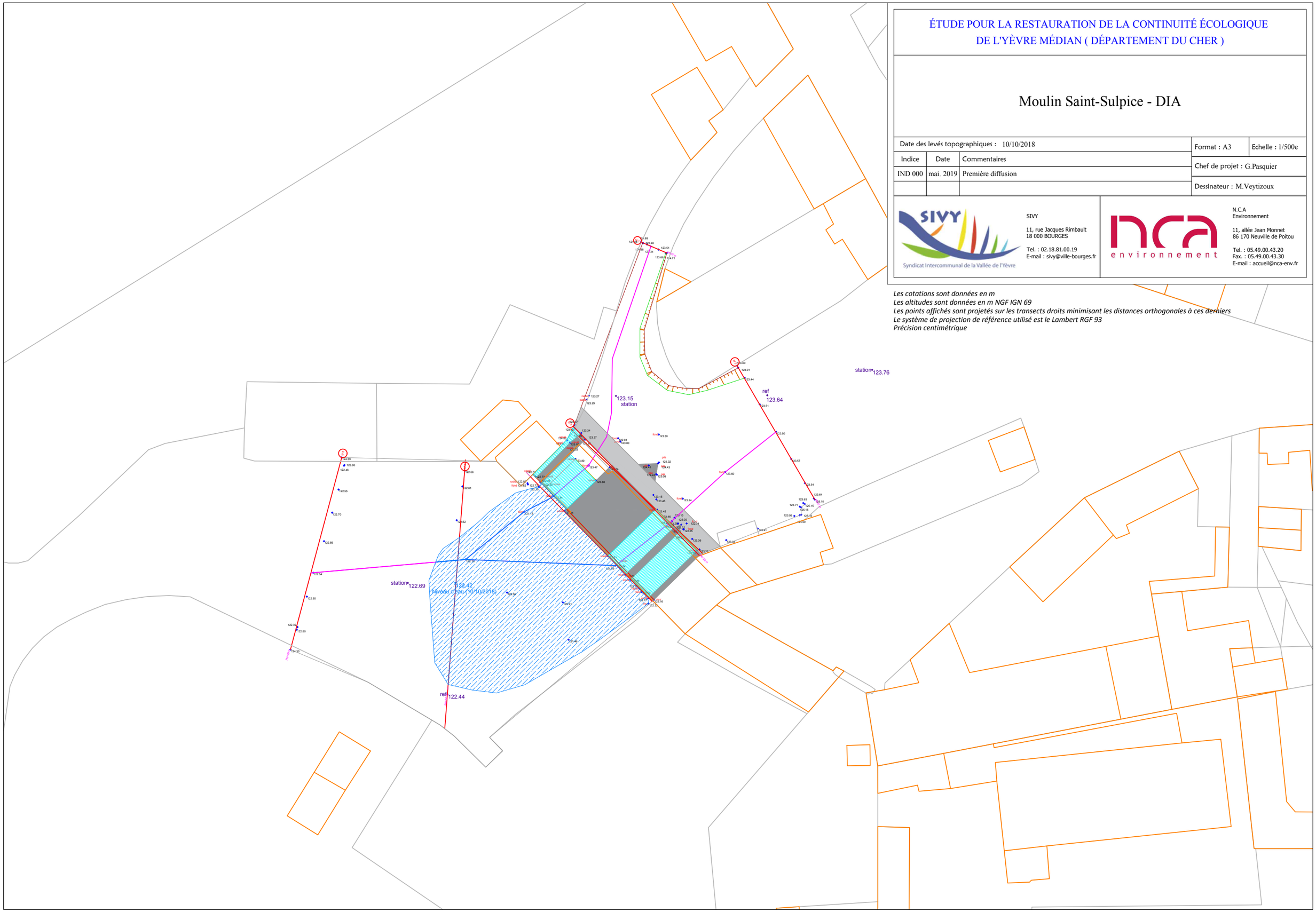

SIVY
Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Yèvre

SIVY
11, rue Jacques Rimbault
18 000 BOURGES
Tel. : 02.18.81.00.19
E-mail : sivy@ville-bourges.fr

nca environnement

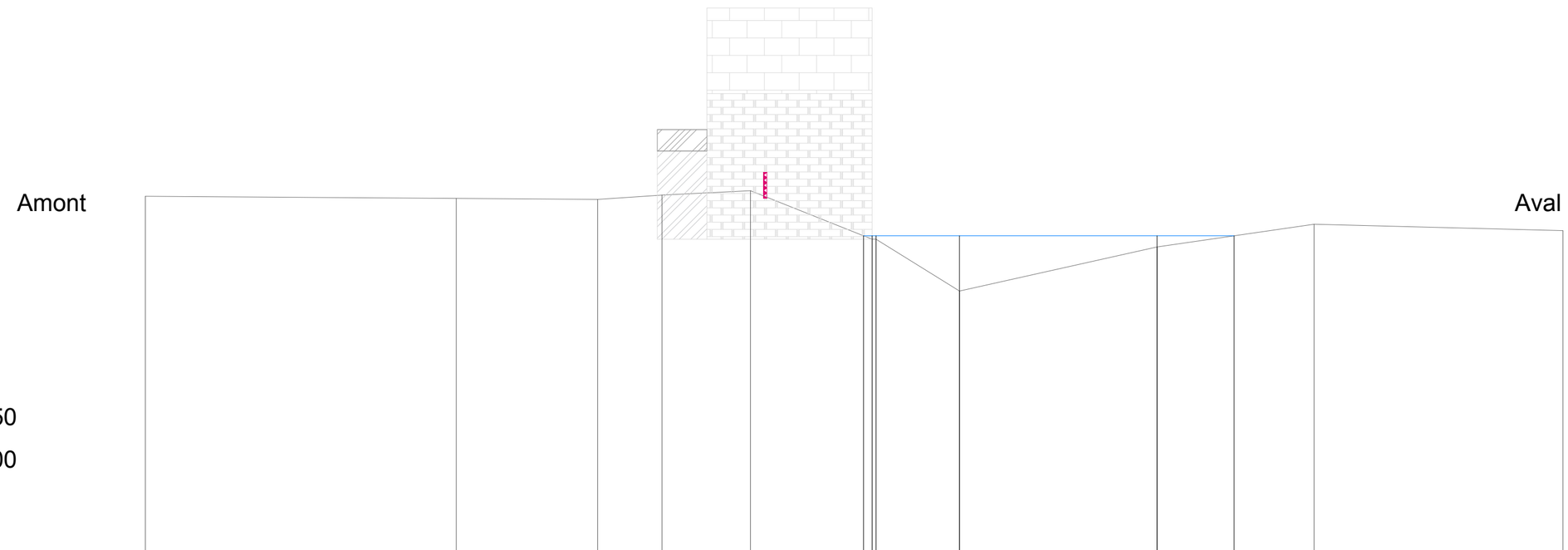
N.C.A
Environnement
11, allée Jean Monnet
86 170 Neuville de Poitou
Tel. : 05.49.00.43.20
Fax. : 05.49.00.43.30
E-mail : accueil@nca-env.fr


*Les cotations sont données en m*
*Les altitudes sont données en m NGF IGN 69*
*Les points affichés sont projetés sur les transects droits minimisant les distances orthogonales à ces derniers*
*Le système de projection de référence utilisé est le Lambert RGF 93*
*Précision centimétrique*



# Yèvre Médian

Profil en long : Petite Yèvre




Echelle en X : 1/250

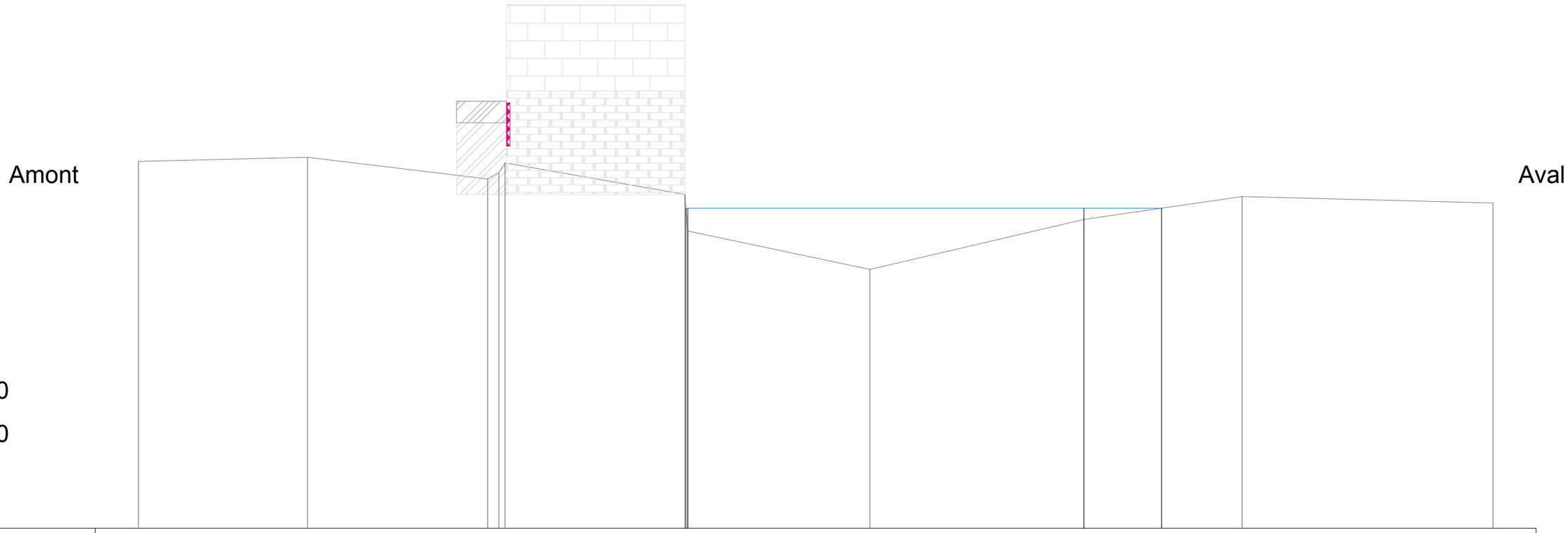
Echelle en Y : 1/100

PC : 115.00 m

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitudes Fond | 123.34 | 123.29 | 123.27 | 123.37 | 123.47 | 122.34 | 121.13 | 122.16 | 122.69 | 122.54 |
| Distances cumulées | 0.00 | 18.16 | 26.42 | 30.18 | 35.34 | 42.45 | 47.56 | 59.10 | 68.27 | 82.81 |
| Ligne d'eau 10/10/2018 | | | | | | 122.42<br>122.42 | 122.42 | 122.42 | 122.42 | |

# Yèvre Médian

Profil en long : Yèvre




Echelle en X : 1/250

Echelle en Y : 1/100

PC : 115.00 m

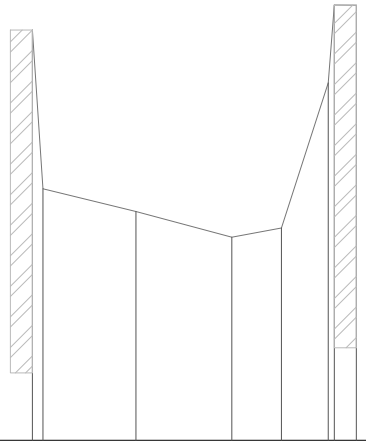
| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitudes Fond | 123.50 | 123.60 | 123.10 | 123.35 | 123.47 | 122.74 | 121.00 | 122.16 | 122.69 | 122.54 |
| Distances cumulées | 0.00 | 9.81 | 20.24 | 20.89 | 21.25 | 31.68 | 42.40 | 54.81 | 63.98 | 78.52 |
| Ligne d'eau 10/10/2018 | | | | | | 122.42 | | 122.42 | 122.42 | |

# Yèvre Médian

## Profil n°: 1

Rive Gauche

Rive Droite



Echelle en X : 1/100

Echelle en Y : 1/50

PC : 122.00 m

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitudes Fond | 124.71<br>123.66 | 123.51 | 123.34 | 123.40 | 124.36 | 124.88 | |
| Distances cumulées | 0.00<br>0.14 | 1.37 | 2.64 | 3.29 | 3.91 | 4.28 | |
| Ligne d'eau 10/10/2018 | | | | | | | |

# Yèvre Médian

## Profil n°: 2

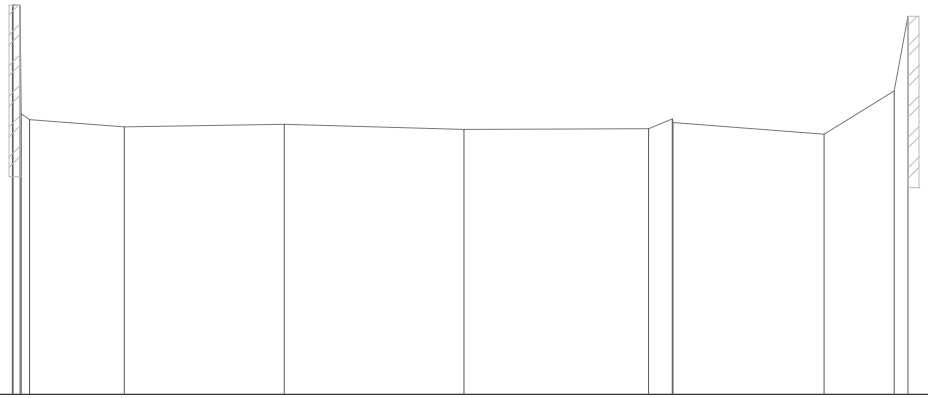
Rive Gauche

Rive Droite

Echelle en X : 1/200

Echelle en Y : 1/100

PC : 120.00 m



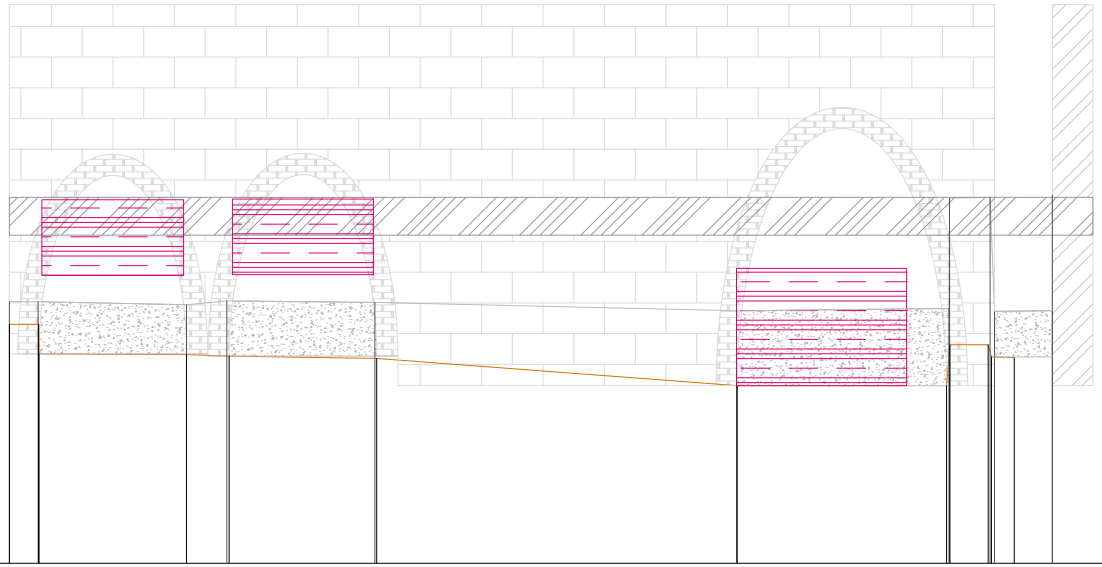
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitudes Fond | 125.10 | 125.14 | 123.63 | 123.54 | 123.57 | 123.50 | 123.51 | 123.64 | 123.44 | 124.01 | 125.00 |
| Distances cumulées | 0.00 | 0.20 | 0.45 | 2.96 | 7.19 | 11.94 | 16.83 | 17.45 | 21.47 | 23.33 | 23.69 |
| Ligne d'eau 10/10/2018 | | | | | | | | | | | |

# Yèvre Médian

## Profil n°: 3

Rive Gauche

Rive Droite



Echelle en X : 1/200

Echelle en Y : 1/100

PC : 120.00 m

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitudes Fond | 123.46 | 123.46 | 123.42 | 123.47 | 123.45 | 123.34 | 123.37 | 124.84 | 123.34 | 123.87 | |
| Distances cumulées | 0.00 | 0.76 | 4.68 | 5.75 | 9.67 | 19.23 | 24.85 | 25.94 | 27.59 | | |
| Ligne d'eau 10/10/2018 | | | | | | | | | | | |

# Yèvre Médian

## Profil n°: 4

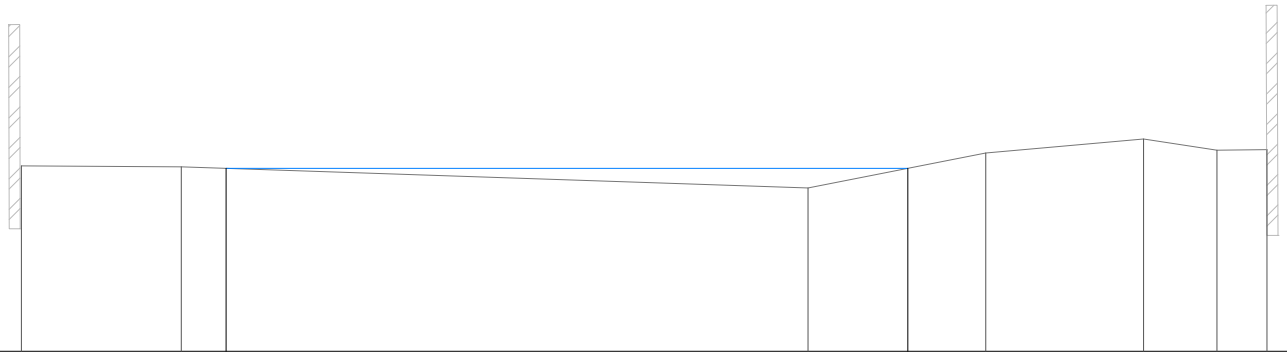
Rive Gauche

Rive Droite

Echelle en X : 1/250

Echelle en Y : 1/100

PC : 120.00 m



| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitudes Fond | 122.45 | 122.44 | 122.16 | 122.62 | 122.81 | 122.66 | 122.67 | |
| Distances cumulées | 0.00 | 5.29 | 26.01 | 31.89 | 37.10 | 39.53 | 41.18 | |
| Ligne d'eau 10/10/2018 | | 122.42 | 122.42 | | | | | |

# Yèvre Médian

## Profil n°: 5

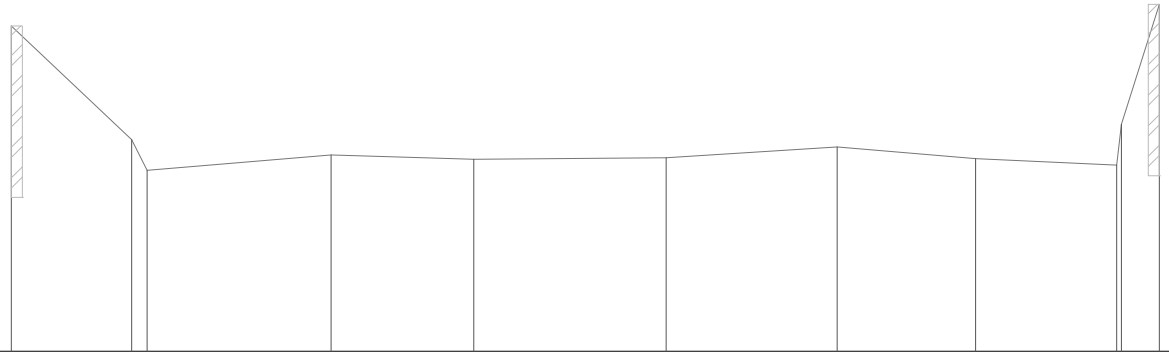
Rive Gauche

Rive Droite

Echelle en X : 1/200

Echelle en Y : 1/100

PC : 120.00 m



| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Altitudes Fond | 124.30 | 122.80<br>122.39 | 122.60 | 122.54 | 122.56 | 122.70 | 122.55 | 122.46 | 124.59 |
| Distances cumulées | 0.00 | 3.18<br>3.59 | 8.46 | 12.23 | 17.32 | 21.84 | 25.51 | 29.24 | 30.37 |
| Ligne d'eau 10/10/2018 | | | | | | | | | |

# Annexe 2 : Lexique

*NB :*

- *Certaines notions sont explicitées dans le rapport de phase 1 ;*
- *Certaines notions complexes ont dû être simplifiées. Pour une définition précise et complète, le lecteur est invité à consulter la bibliographie et les sites internet existants en liens avec le sujet.*

| | |
|---|---|
| **AFB** | Agence française pour la biodiversité. Suite à une fusion de quatre instances, elle a succédé à l'ONEMA le 1er janvier 2017 par la loi du 8 août 2016. |
| **Biennale (crue)** | Une crue biennale a une probabilité d'apparition sur une année de ½ en termes de débits. Autrement dit, chaque année, la probabilité que son débit soit atteint ou dépassé est de 50 %. |
| **Buse** | Tuyau, conduite. |
| **Convention de Berne** | La Convention de Berne (Suisse), composée de 24 articles et de 4 annexes, vise à promouvoir la coopération entre les États signataires, afin d'assurer la conservation de la flore et de la faune sauvages et de leurs habitats naturels, et protéger les espèces migratrices menacées d'extinction. Elle concerne toutes les espèces d'Europe et des pays non membres du Conseil de l'Europe mais invités par celle-ci à adhérer à la Convention. La Convention de Berne est entrée en vigueur le 6 juin 1982. |
| **DCE** | Directive cadre sur l'eau. Directive européenne adoptée le 23 octobre 2000 concernant la gestion durable de l'eau |
| **Débit médian** | Débit d'un cours d'eau atteint ou dépassé 50 % du temps sur une année hydrologique moyenne. |
| **DMB** | Débit minimum biologique. Débit minimum d'un cours d'eau, nécessaire pour garantir la vie, la circulation et la reproduction des espèces y vivant. |
| **Fondé en titre** | Se dit d'un moulin pour lequel il peut être prouvé qu'il existait avant 1789 et qu'il n'a pas subi une ruine depuis. Une législation particulière s'adresse aux moulins fondés en titre. |
| **Fondé sur titre** | Se dit d'un moulin ayant un règlement d'eau. |
| **Granulométrie** | Répartition des tailles de cailloux/sédiments d'un cours d'eau |
| **ICE (diagnostic)** | Information sur la continuité écologique. Publication de l'AFB pour l'évaluation de la franchissabilité des ouvrages hydrauliques par l'ichtyofaune. |
| **Ichtyofaune** | Poissons |

| | |
|---|---|
| **Liste 1** | Liste établie à l'échelle départementale recensant les (tronçons de) cours d'eaux identifiés comme en très bon état écologique, jouant un rôle de réservoir biologique ou encore nécessitant une protection complète des poissons migrateurs. |
| **Liste 2** | Liste établie à l'échelle départementale identifiant les (tronçons de) cours d'eau sur lesquels les ouvrages doivent permettre les franchissements piscicole et/ou sédimentaire dans un délai de cinq ans après publication de la liste. |
| **Module** | Débit moyen d'un cours d'eau. |
| **Mouille** | Zone d'un cours d'eau (relativement) profonde et où les écoulements sont lents. |
| **ONCFS** | Office national de la chasse et de la faune sauvage |
| **ONEMA** | Office national de l'eau et des milieux aquatiques, disparu au profit de l'AFB en 2017. |
| **QMNA5** | Débit (moyen) mensuel minimal d'une année civile revenant statistiquement tous les cinq ans. Sur cinq ans, il n'y aura statistiquement qu'un seul mois pour lequel le débit moyen atteindra cette valeur. Pour tous les autres mois, les débits moyens mensuels seront supérieurs. |
| **RCE** | Restauration de la continuité écologique. |
| **Règlement d'eau** | Ordonnance royale ou arrêté préfectoral fixant les conditions de fonctionnement d'un moulin ou d'un ouvrage hydraulique (vannages, cotes de fond et d'arase, niveaux d'eau, organes constitutifs, *etc.*). |
| **REH (Méthode)** | Réseau d'évaluation des habitats. Méthode développée par le Conseil supérieur de la pêche (CSP) pour évaluer la qualité des cours d'eau. Elle prend en compte divers aspects et zones tels que lits mineur et majeur, berges et ripisylve ou encore la ligne d'eau. |
| **Radier** | Partie d'un cours d'eau peu profonde à écoulement rapide dont la surface est hétérogène, au-dessus de graviers, galets ou substrats de cailloux. |
| **Rampe** | Ouvrage (béton, pavés, *etc.*) en pente ayant une emprise sur tout ou partie de la largeur d'un cours d'eau (exemple : partie rive gauche de l'ouvrage au moulin de Rochy). |
| **ROE** | Référentiel des obstacles à l'écoulement, liste nationale recensant des ouvrages constituant un obstacle à la continuité écologique (sédimentaire et piscicole). Référentiel produit et alimenté par l'AFB. |

| | |
|---|---|
| **Ripisylve** | Végétation sur les berges d'un cours d'eau (du latin *ripa,* rive, et *silva*, forêt). |
| **SAGE** | Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau. Outil de planification sur cinq ans pour la gestion de l'eau à l'échelle d'un bassin versant. La détermination d'objectifs, de priorités d'actions et d'un règlement vise une gestion équilibrée et durable de l'eau en concertation avec l'ensemble des acteurs du territoire. |
| **SDAGE** | Schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau. Grandes orientations et planification sur six ans à l'échelle d'un bassin (Adour-Garonne, Loire-Bretagne, etc.) pour l'atteinte des objectifs de bon état écologique des eaux. |