

3. PRESENTATION DU PROJET

3.1. NATURE DU PROJET

L'opération prévoit la restauration de la continuité écologique sur trois deux ouvrages infranchissables pour le poisson dans la traversée de Saint-Fargeau (89), ainsi que la restauration physique du lit mineur.

L'objectif visé concerne la restauration de la continuité biologique sur ce tronçon du Bourdon de façon à assurer la libre circulation des organismes aquatiques et plus particulièrement les espèces piscicoles.

A l'issue du diagnostic, la solution technique retenue est ressortie comme le meilleur compromis entre les objectifs techniques, les contraintes et les enjeux présents sur le site et les attentes locales.

3.2. LOCALISATION DU PROJET

Le Loing, d'un linéaire total de 143 km, prend sa source à Sainte-Colombe-sur-Loing à une altitude de 320 m. Il traverse les communes emblématiques de Saint-Fargeau, Montargis, ou encore Nemours, avant de se jeter dans la Seine au niveau de Moret-sur-Loing, en Seine-et-Marne.

Le site du projet porte sur le Bourdon et trois de ses ouvrages dans la traversée de Saint-Fargeau.

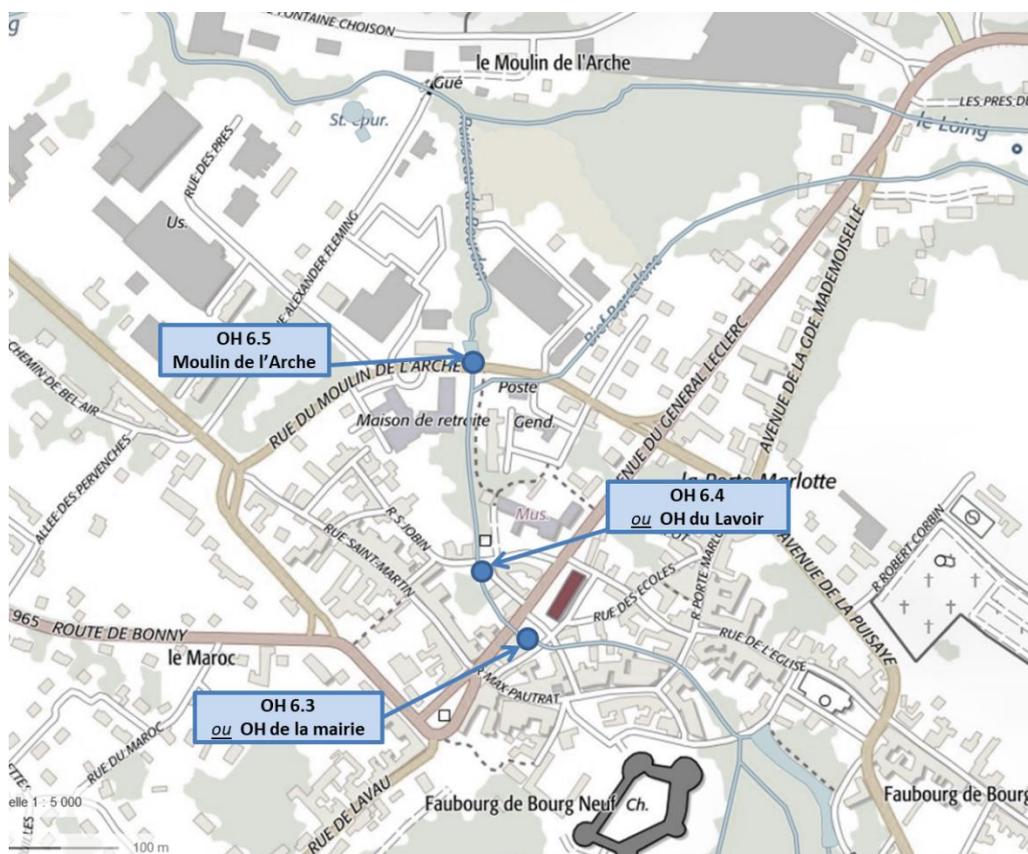


Fig. 1. Localisation du site du projet

3.3. CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES

La traversée du bourg de Saint-Fargeau se compose au total de 5 ouvrages hydrauliques sur le Bourdon, dont 4 situés au fil de l'eau. La présentation de ces ouvrages se fera de l'amont vers l'aval.

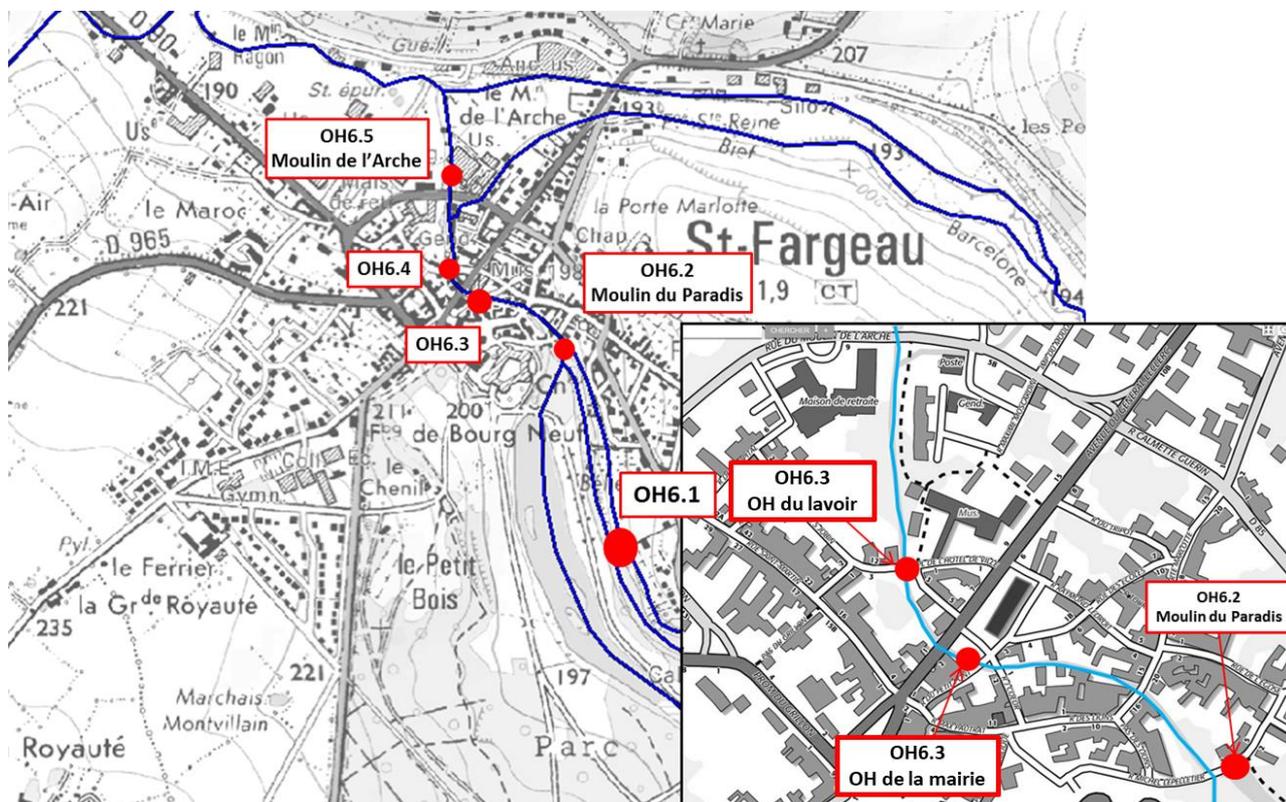


Fig. 2. Vue d'ensemble du secteur de Saint-Fargeau

3.3.1. Ouvrages du Moulin du Paradis – OH 6.1 et 6.2 (non concernés par les travaux)

L'OH 6.1 est un ouvrage de prise d'eau alimentant l'ancien Moulin du Paradis (OH6.2).

Il est situé au sud de la commune, à proximité des jardins du château de Saint-Fargeau. L'accès au site est très contraignant, ce qui complique son entretien.

Il permettait autrefois de dévier une partie du débit du Bourdon vers le moulin du Paradis, et de maintenir un niveau d'eau amont suffisant. Ce niveau d'eau permettait également d'alimenter un ancien lavoir en amont du même moulin du Paradis.



Fig. 3. Vue du déversoir et du canal de décharge associé

Le moulin du Paradis dépendait du Château. Datant d'avant le XIX^{ème} siècle, le moulin fut équipé à partir de 1884 d'une turbine et d'une dynamo, permettant d'éclairer le château, l'église, ainsi que quelques rues du village.

L'ouvrage est alimenté par dérivation du ruisseau du Bourdon, au niveau de l'**OH6.1**. Outre l'alimentation de l'ouvrage, ce bras permettait d'alimenter un lavoir, et d'alimenter un plan d'eau au centre de la commune. Ce plan d'eau est aujourd'hui très fortement envasé.



Fig. 4. Vue de la vanne motrice, du plan d'eau amont et du lavoir

Il en reste aujourd'hui la bâtisse de l'ancien moulin, ainsi que la vanne de prise d'eau principale située en amont. Cette vanne levante en bois, dans un état vétuste et peu étanche, reste tout de même manœuvrable.

3.3.2. Ouvrage de la Mairie – OH 6.3

Le troisième ouvrage de cet ensemble hydraulique est un seuil fixe situé dans la traversée urbaine de Saint-Fargeau, en aval de la rue du Petit Pont.



Fig. 5. Seuil fixe 6.3 vue de l'aval

L'ouvrage est un seuil fixe métallique d'une largeur de 5.56 m, fixé sur un radier en pierre. Le radier fait une largeur de 1.60 m, pour une hauteur de 59 cm par rapport au fond du lit.

La cote de la crête du seuil est de 191.28 m NGF.

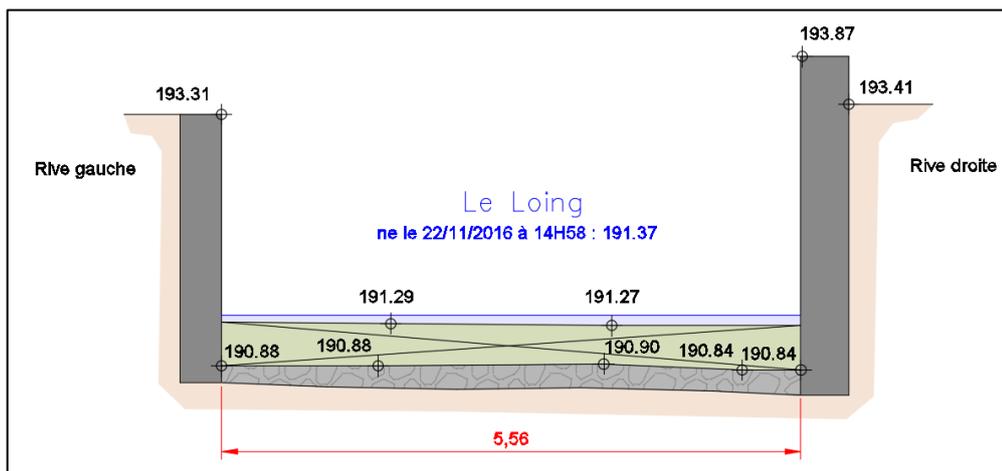


Fig. 6. Coupe en travers de l'ouvrage 6.3

Les bajoyers en rive gauche et droite sont constitués de pierres de taille recouvertes d'un enduit béton. On peut observer le déjoints de quelques pierres en pied de mur, au niveau de la zone de marnage induite par l'ouvrage.



Fig. 7. Vue amont et aval de l'ouvrage 6.3

3.3.3. Ouvrage du lavoir – OH 6.4

L'ouvrage OH 6.4 est situé dans la traversée urbaine de Saint-Fargeau, à proximité d'un des lavoirs de la commune, place de l'hôtel de ville. Ce lavoir fera l'objet de restauration au cours de l'année 2023.

Deux batardeaux mobiles en bois ont été ajoutés récemment pour maintenir une lame d'eau minimale en amont de l'ouvrage, en cas de faibles débits. Ceux-ci possèdent une largeur 2.60 m et 3.51 m, pour environ 0.50m de hauteur.



Fig. 8. Seuil mobile - vue de l'aval

L'ouvrage est manœuvré par les services techniques de la ville à l'aide d'un crochet en période de hautes eaux. L'accès y est facile, mais la manœuvre délicate.

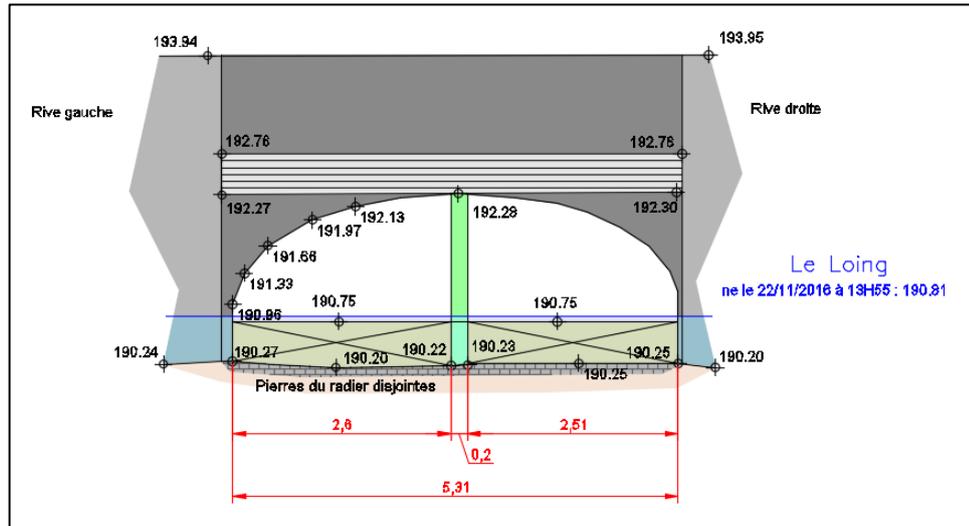


Fig. 9. Coupe en travers de l'ouvrage

L'ouvrage vient s'appuyer sur un pont muni d'une arche. Construit en pierres maçonnées, il est dans un bon état général.

Les berges en amont comme en aval sont entièrement maçonnées. L'état général de l'ouvrage et des murs est globalement bon. La maçonnerie du lavoir en rive gauche est en revanche relativement dégradée. Cet ouvrage n'a pas d'autres utilités que de maintenir un niveau d'eau dans la traversée de Saint-Fargeau, y compris pour le lavoir situé en rive gauche.



Fig. 10. Vue amont (à gauche) et aval (à droite)

On retrouve ensuite une berge plus naturelle en rive gauche, à 200 m en amont de la confluence entre le ruisseau du Bourdon et le Loing.

3.3.4. Ouvrage du Moulin de l'Arche – OH 6.5

Cet ouvrage est localisé au niveau de la rue du Moulin de l'Arche.

Entièrement fait de pierres maçonnées, l'ouvrage est constitué de deux passes principales.

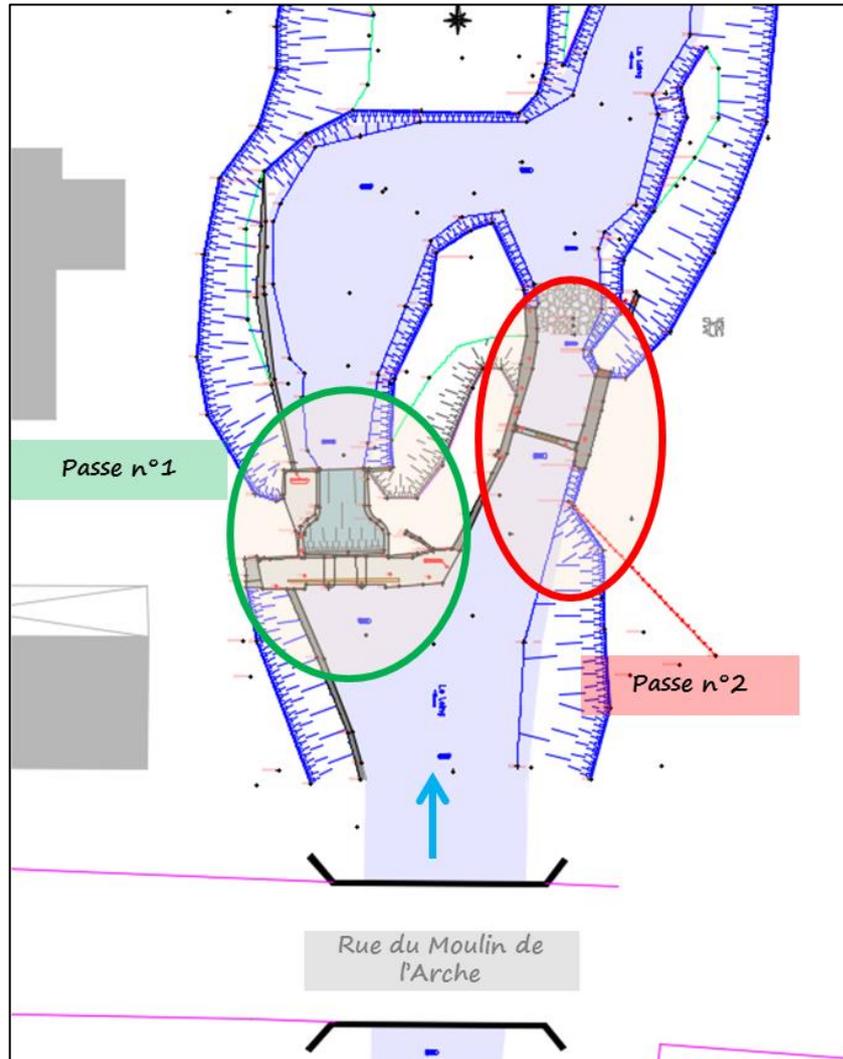


Fig. 11. Plan de masse de l'ouvrage



Fig. 12. Vue amont du Moulin de l'Arche (passe n°1)

La **première passe** se compose des éléments suivants :

- Deux arches supérieures de 1.50m de large pouvant servir de décharge en période de crue ;
- Deux arches latérales inférieures, d'une largeur de 1.13m de large pour 1.40m de haut. Ces deux arches sont munies de vannes levantes en bois de largeur identique, et de 0.82m hauteur en moyenne ;
- Une arche centrale, d'une largeur de 1.25m et d'une hauteur de 1.69m. Elle dispose aussi d'une vanne levante en bois de même largeur, et de 0.83m de hauteur ;

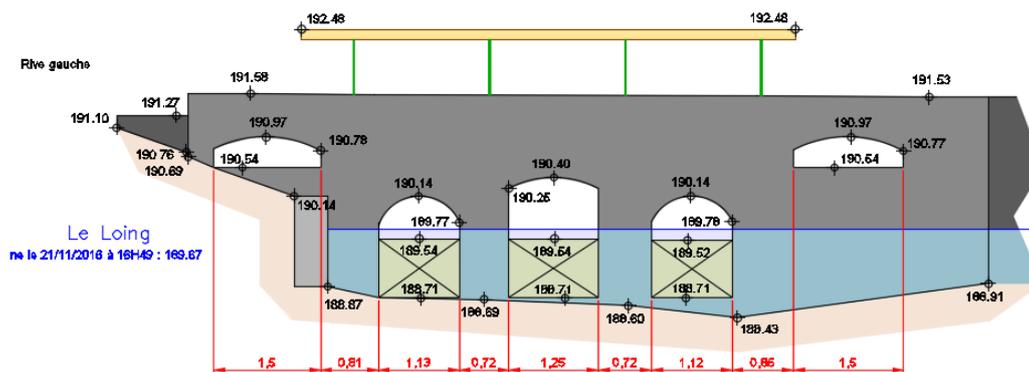


Fig. 13. Coupe de l'ouvrage (passe de gauche)

- Un coursier aval en pierres maçonnées de 7.00m de long environ, disposant d'une pente de 10 %.

La maçonnerie apparente est dans un bon état à l'amont. En revanche, la maçonnerie aval est dans un état très dégradé, avec plusieurs pierres entièrement déchaussées, mais aussi la présence de végétation, pouvant remettre en cause à termes la pérennité d'une partie de l'ouvrage.



Fig. 14. Vue aval du coursier des désordres de maçonnerie

La **seconde passe** se compose des éléments suivants :

- Un voile inférieur constitué de briques sur toute la largeur de la passe, soit environ 4.10m. Les vases amont rendent ce seuil imperceptible, mais il est identifiable à l'aval de la passe.

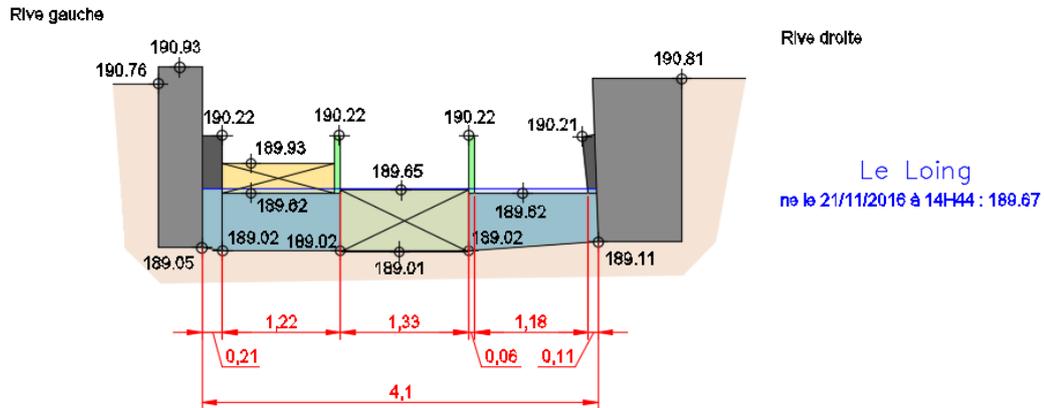


Fig. 15. Coupe de l'ouvrage (passe de droite)

- Une partie supérieure constituée de 3 éléments distincts, qui sont (de rive gauche en rive droite) :
 - Un voile béton sur lequel repose un batardeau en bois de 1,20m de large et 0.31m de haut ;
 - Un batardeau en bois central de 1.33m de large pour 0.64m de haut, inséré au niveau de glissières métalliques légèrement dégradées ;
 - Un voile béton de 1.18m de large, faisant office de déversoir.

Cette partie supérieure a été construite bien après le voile inférieur, qui doit probablement être d'origine.

- Deux bajoyers en pierres dans un état globalement bon.

La maçonnerie de cette passe semble dans un état correct, bien que la présence importante de végétation en pied de bajoyer puisse être à l'origine de désordres.



Fig. 16. *Vue amont (à gauche) et aval (à droite) de la passe n°2*

3.4. CADRE ADMINISTRATIF

3.4.1. Éléments historiques et recherche d'archives

3.4.1.1. CONTEXTE HISTORIQUE

a) Cas de l'ouvrage de la Mairie

Le seuil de l'ouvrage 6.3 a été construit afin d'alimenter une ancienne tannerie, située en rive droite du Bourdon. Sur un plan de Saint-Fargeau datant des années 1760, on peut identifier l'ancien bief souterrain qui alimentait la tannerie. Cet ouvrage permettait en parallèle d'alimenter un lavoir situé en rive gauche.

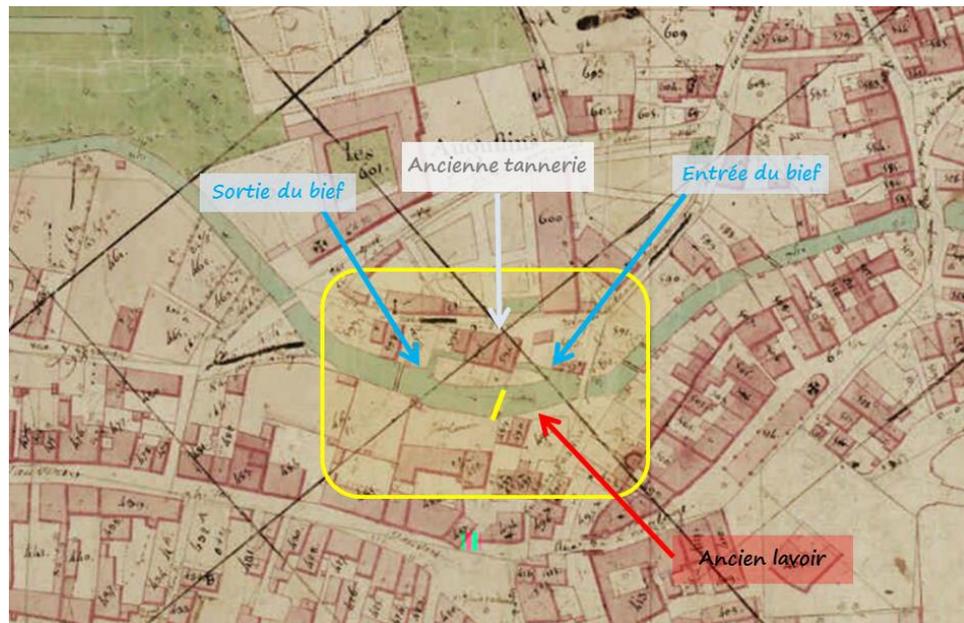


Fig. 17. Localisation de l'ouvrage (en jaune) sur le plan de 1760

On distingue encore actuellement des traces de l'ancienne sortie du bief en aval du seuil, comme le montre la photo suivante :



Fig. 18. Vue du seuil et traces de l'ancien bief souterrain

b) Cas de l'ouvrage du lavoir

L'ouvrage 6.4 est un ouvrage relativement récent, qui servait à l'alimentation d'un lavoir encore existant. Les registres du conseil municipal de Saint-Fargeau font état de travaux de construction d'un lavoir dit *Lavoir Florent* au début des années 1880. Il est ainsi possible qu'il corresponde au lavoir en question.

c) Cas de l'ouvrage du moulin de l'Arche

La date de création du Moulin de l'Arche n'a pu être retrouvée, tout comme son usage originel. Toutefois, les cartes anciennes permettent de retrouver des traces de son existence dès 1704. Les cartes les plus anciennes présentent le moulin comme un moyen d'irrigation et d'alimentation de jardins potager, de fossés et jardins situés en rive droite, mais surtout des fossés (ou douves) qui

protégeaient la ville de Saint-Fargeau. Il disposait aussi d'une roue afin d'exploiter l'énergie hydromotrice.

Enfin, d'après l'association Histoire et Patrimoine de Saint-Fargeau, le moulin permettait de faciliter le flottage du bois, par des lâchers d'eau, jusqu'au canal de flottage.

Le moulin était alimenté en eau par le Bourdon ainsi que par la rigole du Canal Chillot, elle-même alimentée par le Loing.



Fig. 19. Extrait de la carte de Saint-Fargeau de 1704 (source : ville de Saint-Fargeau)

Depuis, la situation a considérablement évolué. Le cadastre Napoléonien ci-dessous représente la situation en 1834, sur lequel nous avons retracé le cours actuel du Bourdon.

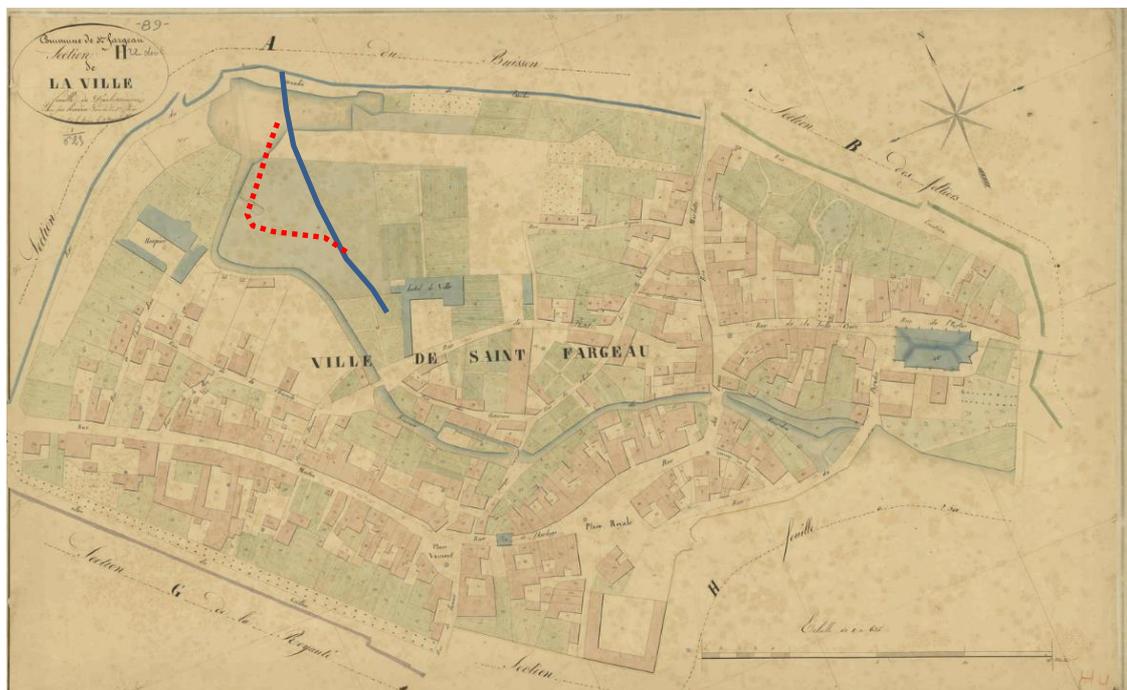


Fig. 20. Cadastre Napoléonien, avec le tronçon ancien (en rouge) et actuel (en bleu) du Bourdon

3.4.1.2. STATUT DE L'OUVRAGE

a) Cas de l'ouvrage de la Mairie

D'après l'analyse historique des ouvrages, son existence pour l'usage de la force hydromotrice est antérieure à 1789.

Etant situé sur un cours d'eau non domanial qu'est le Ruisseau du Bourdon, il justifie d'un droit d'eau fondé en titre pour l'usage de la force motrice de l'eau.

b) Cas de l'ouvrage du lavoir

D'après l'analyse historique des ouvrages, son existence pour l'usage de la force hydromotrice est antérieure à 1789.

Par ailleurs, nos recherches aux archives départementales ne nous ont pas permis de retrouver un règlement d'eau rattaché à cet ouvrage, et ne nous permettent pas de déterminer l'existence d'un droit d'eau.

a) Cas de l'ouvrage du moulin de l'Arche

D'après l'analyse historique des ouvrages, son existence pour l'usage de la force hydromotrice est antérieure à 1789.

Etant situé sur un cours d'eau non domanial qui est le Ruisseau du Bourdon, il justifie d'un droit d'eau fondé en titre.

3.4.1.3. CONSISTANCE LEGALE

a) Cas de l'ouvrage de la mairie

Aucun règlement d'eau n'a été retrouvé lors de nos recherches aux archives départementales, faisant référence à ses différents usages.

Nous avons appris que l'ancien bief d'alimentation de la tannerie a été entièrement comblé, et donc les organes moteurs très probablement détruits ou déplacés.

Aussi, l'ouvrage actuel ne dispose pas des conditions propices à l'utilisation de la force motrice de l'eau. C'est pourquoi la consistance légale de cet ouvrage peut être remise en cause.

b) Cas de l'ouvrage du lavoir

La consistance légale dépendra de l'existence ou non d'un droit d'eau pour cet ouvrage.

L'existence de l'ouvrage reste conditionnée à l'existence de ce droit d'eau.

c) Cas de l'ouvrage du Moulin de l'Arche

Aucun règlement d'eau n'a été retrouvé lors de nos recherches aux archives départementales, faisant référence à ses différents usages.

En raison du peu de données à notre disposition, nous ne sommes pas en mesure de conclure sur la consistance légale du moulin de L'Arche.

3.4.1.4. CONTEXTE FONCIER

3.4.1.4.1. Ouvrage de la mairie

L'ouvrage 6.3 est à la propriété de la commune.

3.4.1.4.2. Ouvrage du lavoir

L'ouvrage 6.4 est à la propriété de la commune.

3.4.1.4.3. Ouvrage du moulin de l'Arche

L'ouvrage 6.5 est à la propriété de la commune.

3.4.1.5. GESTION DE L'OUVRAGE

La gestion de chaque ouvrage est précisée dans le tableau suivant :

Tabl. 2 - Gestion et manœuvre des ouvrages

Ouvrage	Nom	Propriétaire	Gestion	Contraintes de gestion
Ouvrage 6.3	-	Commune de Saint-Fargeau	Ouvrage fixe (aucune manœuvre nécessaire)	
Ouvrage 6.4	-	Commune de Saint-Fargeau	Gestion et entretien par les services techniques communaux	Demande présence humaine permanente en cas de crue
Ouvrage 6.5	Moulin de l'Arche	Commune de Saint-Fargeau	Manœuvre des batardeaux sur la passe n°2	Demande présence humaine permanente en cas de crue

Aucun des ouvrages ne fait l'objet d'un usage particulier, à l'exception de la mise en place de batardeaux en bois en cas d'étiage et leur retrait en cas de crue.

3.5. ENJEUX ASSOCIÉS À L'AMÉNAGEMENT DE LA TRAVERSÉE DE SAINT FARGEAU

L'aménagement de la traversée de Saint Fargeau dans l'optique de restauration de la continuité écologique est afférent aux problématiques suivantes :

- Un impact très fort sur la continuité piscicole, en raison de la chute induite par l'ouvrage ;
- Un impact très limité sur le transit sédimentaire, en raison d'une dynamique alluviale générale du Loing qui est faible, et d'un ouvrage quasiment transparent pour le transit sédimentaire ;
- Un impact localement assez fort sur le milieu aquatique, avec la création d'une zone de remous de quelques mètres seulement.

3.6. DESCRIPTION DES TRAVAUX PROJETES

Les plans des aménagements projetés sont présentés en annexe 1.

3.6.1. Objectif

En accord avec les attentes du Maître d'ouvrage, le projet d'effacement de ces deux seuils permettra de restaurer la continuité écologique et d'améliorer la qualité physique sur ce tronçon Bourdon.

Outre les attentes écologiques inhérentes à la restauration de la continuité piscicole à la montaison, ce projet permet également une restauration complète du milieu aquatique par suppression des ouvrages existants.

Ainsi, les objectifs de l'opération peuvent être résumés comme suit :

- La restauration fonctionnelle et durable de la continuité piscicole à la montaison ;
- La restauration de la qualité physique ;
- La mise en œuvre d'un projet pédagogique dans la traversée du Bourg de Saint-Fargeau.

3.6.2. Principe technique

Le scénario retenu pour les ouvrages de la Mairie et du Lavoir est l'effacement total des ouvrages, en accord avec la commune de Saint-Fargeau.

L'objectif de ces aménagements vise le rétablissement de la continuité écologique sur ce tronçon du Bourdon, ainsi que la restauration de la qualité du milieu aquatique. Cette opération permettra de reconstituer l'hydrosystème originel et sa qualité habitationale.

Le principe d'intervention prévoit les opérations suivantes :

- Préparation des accès à l'ouvrage et de la zone de travail ;
- Suppression des ouvrages existants ;
- Reprise des maçonneries du lavoir communal en rive gauche ;
- Reprise en sous-œuvre des maçonneries au niveau du remous liquide de chaque ouvrage sur une hauteur de l'ordre de 0.50 à 1.00m sur les zones les plus fragilisées ;
- Mise en place de banquettes minérales et végétales.

Concernant l'ouvrage du moulin de l'Arche, le principe d'intervention prévoit les opérations suivantes :

- Préparation des accès à l'ouvrage et de la zone de travail ;
- Reprise du profil en long en amont de l'ouvrage jusqu'au niveau du pont de la route départementale RD90A ;
- Recharge aval du lit et reprise du profil en long du Bourdon sur un linéaire de 120m.

3.6.3. Aménagement des tronçons 1 et 2

3.6.3.1. DEMANTELEMENT DES OUVRAGES

Le démantèlement de l'ouvrage passera par le retrait parties mobiles et supérieures, jouant actuellement le rôle de seuil déversant. Cette opération présente les avantages suivants :

- **Conservation d'un point dur**, permettant de stabiliser les fonds et d'éviter la stabilisation du profil en long (mesure sécuritaire, compte tenu de l'état d'équilibre d'ores et déjà atteint) ;
- **Maîtrise du coût de l'intervention**, plus simple de mise en œuvre qu'un arrachage complet des palplanches.

Les déchets seront évacués en décharge agréée.

Pour **l'ouvrage de la Mairie**, les banquettes viendront se prolonger sur le point dur de l'ouvrage. Le profil en long sera repris localement en aval par des matériaux d'apport.

Pour **l'ouvrage du lavoir**, l'ensemble des parties mobiles seront retirées, ainsi que les glissières des batardeaux. La chute résiduelle causée par le radier de l'ouvrage sera rattrapée par l'aval par la recharge du profil en long. Les matériaux seront suffisamment grossiers, et accueilleront des blocs ancrés de moitié dans les alluvions pour apporter de la rugosité. Cet aménagement sera réalisé sur un linéaire de 8m environ.

3.6.3.2. REMODELAGE DU LIT MINEUR

3.6.3.2.1. Banquettes minérales

A. Objectif

L'objectif initial des banquettes minérales est de respecter la morphologie et les caractéristiques du Bourdon, au sein duquel des atterrissements naturels sont déjà présents. Au-delà, l'objectif de ces banquettes est de venir diversifier la mosaïque d'habitats en place, mélangeant substrats végétaux et minéraux.

B. Granulométrie

Le transit sédimentaire du Bourdon semble relativement réduit, et se limite aux éléments fins (sable).

Les banquettes minérales à mettre en place devront avoir une granulométrie cohérente avec la granulométrie actuelle, afin que les matériaux apportés ne soient pas charriés lors de la hausse des débits en période hivernale. En revanche, leur diamètre ne devra pas être trop important, afin de maintenir une légère dynamique alluviale dans le lit d'étiage et autoriser son auto-ajustement. Cela évitera d'engendrer de nouveaux désordres morphologiques et sera favorable à la bonne qualité physique et écologique du cours d'eau.

Les banquettes seront constituées de matériaux d'apport de diamètre 30-200mm.

3.6.3.2.2. Banquettes végétalisées

A. Objectif et principe

La mise en place de banquettes végétalisées doit permettre d'atteindre un compromis entre :

- Le maintien d'un chenal marqué (lit d'étiage) similaire au lit naturel du Bourdon, permettant d'augmenter la hauteur d'eau pour les faibles débits et contribuant à l'amélioration de la qualité physique et biologique du cours d'eau ;
- La non-aggravation du risque inondation ;
- La mise en valeur du cours d'eau lors de la traversée du bourg de Saint-Fargeau.

Dans la traversée du bourg, les banquettes végétales seront réalisées en rive droite au niveau du lavoir.

B. Protection des banquettes

Afin de protéger les aménagements contre l'érosion en pied de talus et de préserver et maintenir le géotextile le plus longtemps possible, des mesures particulières doivent être prises, dont l'objectif sera de limiter les vitesses d'écoulement à l'interface entre le lit d'étiage et la banquette en terre végétale. Deux solutions peuvent être envisagées :

- La mise en place d'enrochements disposés le long des banquettes de manière ponctuelle ;
- La mise en place de pieux battus ancrés dans le lit mineur d'une cinquantaine de centimètres environ, associés éventuellement avec des boudins d'hélophytes.

Dans la traversée de Saint-Fargeau, il s'avère que les pieux battus ne constituent pas une solution adaptée à la configuration du linéaire à aménager. En effet, sur la partie aval, notre analyse du terrain a révélé un fond de lit très dur, avec un substratum rocheux probablement proche du fond du lit mineur. Dans ce contexte, il est préférable de ne pas utiliser cette technique.

Nous préconisons donc l'utilisation de petits blocs disposés en pied de banquettes. Ceux-ci auront un diamètre moyen de 30 cm, afin d'assurer un ancrage minimum de 10 cm dans le lit mineur et les banquettes, et de garantir la stabilité des enrochements pour des crues supérieures à la crue biennale. La masse moyenne des enrochements correspondants à ce gabarit sera de l'ordre de 20kg.

C. Stabilité des banquettes

Les banquettes végétalisées seront aplanies en surface et présenteront une pente de berge de l'ordre de 2H/1V à l'interface entre l'aménagement et le lit d'étiage. Cette morphologie contribuera à assurer la stabilité des banquettes, tout en limitant leur impact sur la ligne d'eau en cas de crue.

La présence d'enrochements localisés au pied des aménagements renforcera la stabilité des aménagements. De plus, ils permettront de protéger le géotextile contre les écoulements plus importants et limiteront les risques d'érosion de la terre végétale constitutive des banquettes, le temps de leur stabilisation. De plus, ils peuvent créer localement des caches pour le poisson.

Pour déterminer la stabilité des banquettes, une analyse des forces tractrices a été réalisée. Celle-ci est basée sur le calcul des forces tractrices exercées par les écoulements au sein du nouveau lit d'étiage d'une part, et à l'intérieur du lit mineur global d'autre part. Les limites de forces tractrices relatives aux techniques de génie végétal usuelles sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

Tabl. 3 - Limites de forces tractrices relatives aux différentes techniques de génie végétal existantes

Matériaux / Végétaux	Limites de forces tractrices (N/m ²)
Sable ou gravier fin	8 à 10
Pelouse, longtemps soumis à débit	15 à 18
Pelouse, sollicitée pendant peu de temps	20 à 30
Hélophytes	30 à 40
Couches de branches	35 à 45
Galets Ø 50 à 100 mm	40 à 60
Tapis anti-érosif, bionattes	80 à 180
Perré / Enrochements, selon taille	70 à 300
Gabions matelas, géomats renforcés	180 à 300
Tapis anti-érosif avec remplissage de fibres	400 à 670

Le dimensionnement des banquettes est basé sur une crue quinquennale (6.5 m³/s). Aussi, cela garantira leur stabilité pour les débits de pointe atteints lors des lâchers VNF (4-5 fois le Module, inférieur à 2m³/s).

Dans la traversée de Saint-Fargeau, les forces tractrices exercées par les écoulements sont de l'ordre de 25 à 35 N/m² pour une largeur du cours d'eau comprise entre 4 et 8 m, **et en considérant une crue quinquennale.** Les contraintes appliquées aux aménagements végétaux de type enherbement ou hélrophytes ne seront donc pas négligeables. **Il est important que les plantations aient le temps de développer leur système racinaire avant toute crue équivalente à la crue biennale, afin d'assurer une meilleure stabilité des végétaux.**

Tenant compte des contraintes existantes, les dispositions suivantes sont donc proposées :

- Mise en place de blocs de protection des banquettes positionnés au niveau des banquettes végétales, uniquement sur les zones les plus sollicitées ;
- Mise en œuvre d'un géotextile biodégradable, afin de favoriser le développement de la végétation et d'éviter le départ de terre végétale.

3.6.3.2.3. Géométrie retenue

La modélisation hydraulique a permis d'aboutir à un gabarit d'étiage type, visant à concentrer les écoulements pour les débits les plus faibles. Ce lit d'étiage possède des caractéristiques géométriques variables en fonction de sa localisation sur le linéaire à l'étude : ses dimensions dépendent en particulier de l'influence des ouvrages de franchissement sur la ligne d'eau (remous hydraulique plus ou moins marqué selon le tronçon considéré) et de la pente naturelle du lit mineur, qui induit une alternance des faciès d'écoulement entre plat courant et plat lentique.

Le lit d'étiage issu retenu possède la géométrie suivante :

- Profondeur du lit d'étiage 20 à 30 cm maximum,
- Largeur en fond comprise entre 1.50m et 2.00m,
- Largeur en crête comprise entre 2.00m et 2.50m.

La position de certains profils en travers type est présentée sur **les plans fournis en annexe.** Ces gabarits présenteront une certaine variabilité en plan lors de leur mise en œuvre.

Le gabarit théorique proposé concentrera les écoulements jusqu'à 300 l/s environ, avec une hauteur d'eau en étiage sévère variant entre 10 et 20 cm selon le tronçon. Au-delà de ce débit, proche du MODULE, les écoulements sortiront du lit d'étiage pour submerger les banquettes latérales.

3.6.3.3. TRAVAUX DE MAÇONNERIES

3.6.3.3.1. Reprise des maçonneries du lavoir

Les opérations de reprises et de confortement du lavoir intègrent a minima les opérations suivantes :

- Le nettoyage des maçonneries (végétation, gravier, ...)
- Le confortement des maçonneries par injection au béton des soubassements sur les zones les plus fragilisées ;
- Le remplacement de moellons et le rejointoiement de moellons ;
- La fourniture, le transport et la mise en œuvre matériaux, dans les règles de l'art ;
- Le matériel et la main d'œuvre nécessaire ;
- Toutes les sujétions utiles liées à la particularité du site et à la mise en œuvre.





Fig. 22. Etat actuel et photomontage après aménagement

Remarque : Contrairement au photomontage présenté ci-dessus, le projet ne prévoira pas de banquette végétale en rive gauche au pied du lavoir.

Conformément à l'avis de l'Architecte des Bâtiments de France, les travaux de maçonnerie sur le lavoir et les murs en pierres naturelles seront réalisés au mortier de chaux.

3.6.3.3.2. Reprise des maçonneries des murs latéraux du Bourdon dans la traversée de Saint-Fargeau

Les opérations de reprises et de confortement du lavoir intègrent a minima les opérations suivantes :

- Le nettoyage des maçonneries (végétation, gravier, ...);
- Le remplacement de moellons et le rejointoiement de moellons ;
- La fourniture, le transport et la mise en œuvre matériaux, dans les règles de l'art ;
- Le matériel et la main d'œuvre nécessaire ;
- Toutes les sujétions utiles liées à la particularité du site et à la mise en œuvre.

Cette opération sera indispensable au niveau des remous des deux ouvrages effacés. Toutefois, des reprises ponctuelles pourront aussi être prévues au droit de certaines habitations.

3.6.4. Aménagements du tronçon n°3

3.6.4.1. COMPLEMENTS DE DIAGNOSTIC

Les aménagements proposés sur ce tronçon présenteront une ambition supérieure aux autres aménagements en raison de l'emprise disponible. En effet, les parcelles situées en rive gauche (n°131 et 464) sont communales, et sont mises à disposition pour proposer des travaux d'aménagement (parc communal, lieu de passage, restauration de cours d'eau ...).

Une première phase de travaux a consisté à démolir un ancien bâtiment présent en rive gauche. Le mur de soutènement présent sur environ 15m a été conservé. La rive gauche est ensuite naturelle. On y dénote toutefois la prolifération de la Renouée du Japon qui est une espèce invasive.



Fig. 23. Vue de l'amont du tronçon 2, datant de juin 2013



Fig. 24. Vue Amont/aval de l'état actuel

Auparavant, des travaux de voirie ont été réalisés en rive droite de la commune afin d'y créer un parking de stationnement ainsi qu'un passage piéton, qui permet de longer le Bourdon sur 150m jusqu'au Moulin de l'Arche.

Sur cette berge, le mur de soutènement conservé durant la période des travaux, présente des désordres structurels très avancés. L'érosion du pied du mur par le Bourdon est à l'origine du sous-cavement de plus de 50 cm de profondeur observé par endroit. Certaines portions du mur se sont déjà partiellement affouillées. Des travaux superficiels ont été menés par la commune afin de consolider ce mur. Toutefois, il est très probable que l'affouillement se poursuive dans les années avenir.



Fig. 25. Illustration des désordres observés sur le mur en rive droite

Sur ce linéaire, on dénombre trois rejets d'eaux pluviales, deux en rive droite et un seul en rive gauche.

3.6.4.2. NATURE DES AMÉNAGEMENTS PROJÉTÉS

3.6.4.2.1. Principe général

A. Partie amont du tronçon n°3

Les aménagements proposés ici visent à répondre aux problématiques structurelles de la berge en rive droite.

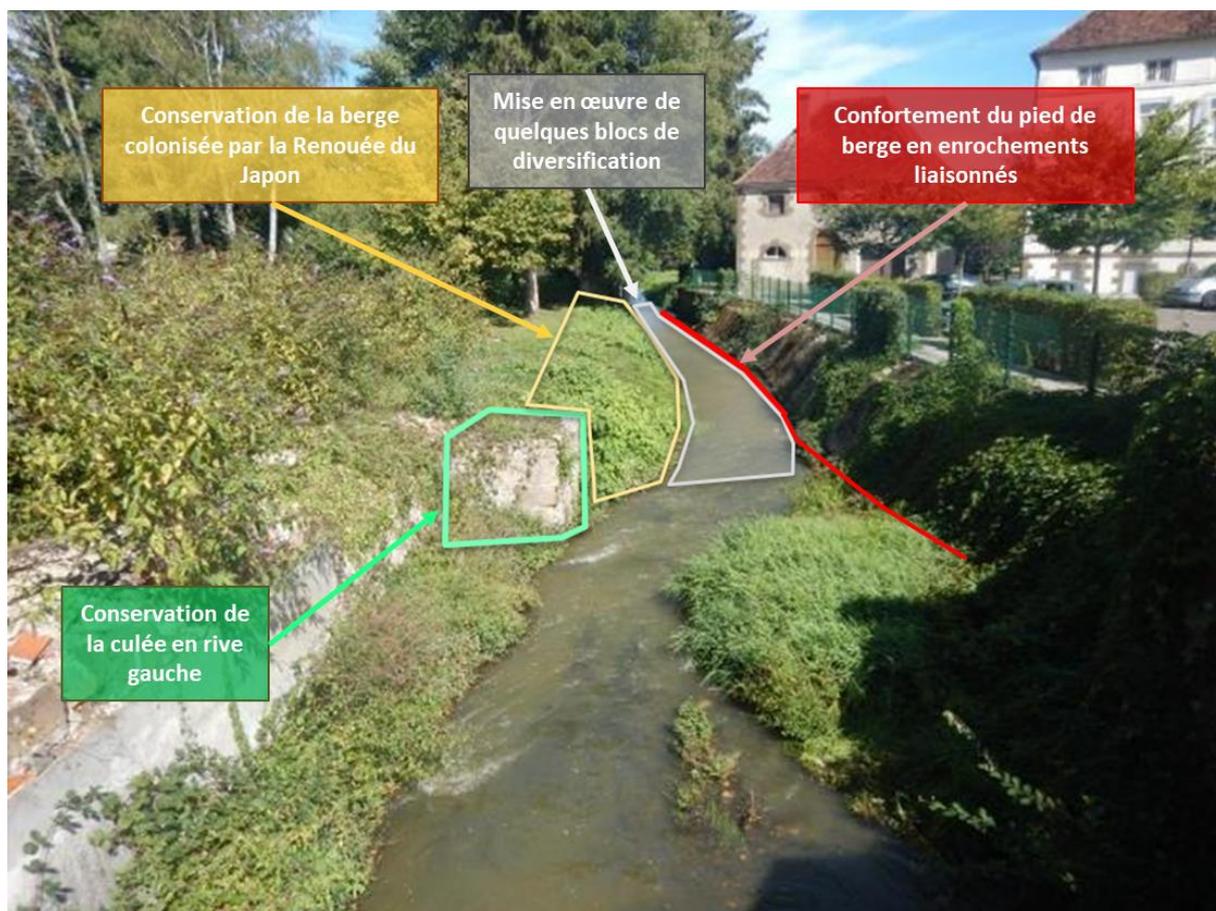


Fig. 26. Principe d'aménagement sur l'amont du tronçon 3

L'aménagement projeté consiste donc à conserver et conforter la berge existante en rive droite à partir d'enrochements liaisonnés au béton. Les blocs seront ancrés en profondeur dans le lit mineur pour éviter le risque d'affouillement.

Le linéaire concerné est d'environ 45ml.

Quelques blocs abris seront mis en œuvre sur ce linéaire afin d'apporter un peu de rugosité pour les bas débits.

A. Partie aval du tronçon n°3

Sur la partie aval du tronçon n°3, le cours d'eau dispose par endroit de banquettes minérales en rive droite. Les aménagements sur ce tronçon consistent à venir recharger les banquettes existantes et les prolonger localement.

3.6.4.2.2. Géométrie retenue

Sur la partie amont, les blocs abris auront un diamètre médian de 40cm.

Sur la partie aval, le lit d'étiage possèdera les caractéristiques suivantes :

- Profondeur du lit d'étiage 20 maximum,
- Largeur en fond comprise entre 1.50m et 2.00m,
- Largeur en crête comprise entre 2.20m et 2.50m.

Au niveau des banquettes existantes, la recharge sera de 10cm maximum, de manière à ne pas avoir d'impact significatif sur les niveaux d'eau en crue.

La position de certains profils en travers type est présentée sur **les plans fournis en annexe**. Ces gabarits présenteront une certaine variabilité en plan lors de leur mise en œuvre.

Le gabarit théorique proposé concentrera les écoulements jusqu'à 300 l/s environ. Au-delà de ce débit, proche du MODULE, les écoulements sortiront du lit d'étiage pour submerger les banquettes latérales.

3.6.4.2.3. Aménagements annexes

A. Rejets d'eaux pluviales

En compléments de ces aménagements, il est prévu d'aménager les exutoires du réseau d'eau pluviales. Pour ce faire, des enrochements seront positionnés en aval de ces rejets afin de dissiper les écoulements, sans venir affouiller le lit.

B. Traitement de la renouée du Japon

Le traitement de la renouée du Japon sera nécessaire sur ce tronçon pour accéder au cours d'eau.

La végétation sera fauchée et les pieds de Renouée du Japon seront éradiqués suivant le protocole détaillé au paragraphe **3.6.5.4.2. Aménagement de la berge en rive gauche**.

3.6.5. Aménagement du tronçon 4

3.6.5.1. PRINCIPE D'AMENAGEMENT

Le principe d'aménagement consiste à :

- Retirer les parties mobiles des ouvrages pour réduire la chute totale de l'ouvrage ;
- Reprendre le profil en long du Bourdon en amont de l'ouvrage jusqu'à la RD90A pour orienter les écoulements vers les arches en rive gauche ;
- Recharger le profil en long du Bourdon en aval sur un linéaire de 120m environ. Le lit disposera d'une pente moyenne de 1.70%.

La géométrie de l'aménagement vise en outre à ne pas impacter la stabilité du bâti présent à proximité de la zone de remous actuelle de l'ouvrage.

3.6.5.2. RESTAURATION DU BOURDON EN AMONT DE L'OUVRAGE DU MOULIN DE L'ARCHE

La partie amont verra le profil en long du Bourdon abaisser jusqu'en amont du pont de la RD90A, sur une hauteur moyenne de 25cm.

Cet abaissement se traduira par l'aménagement d'un chenal d'écoulement de l'ordre de 20 à 30cm de profondeur qui concentrera les écoulements vers les arches situées en rive gauche. Le profil sera stabilisé par trois petits seuils de fonds, qui engendreront des chutes de l'ordre de 5cm.

La pente sur ce tronçon sera de l'ordre de 1%.

Un seuil en béton sera mis en œuvre afin d'éviter une répartition des débits entre les deux parties de l'ouvrage à bas débit. **Les écoulements surverseront sur le seuil de blocs à partir de 1.5*MODULE**, soit environ 450l/s.

A l'extrémité aval de cette rangée de blocs, un îlot central en matériaux gravelo-terreux végétalisé viendra séparer les bras qui alimentent les deux parties d'ouvrage. Il sera submergé à partir de trois fois le MODULE.

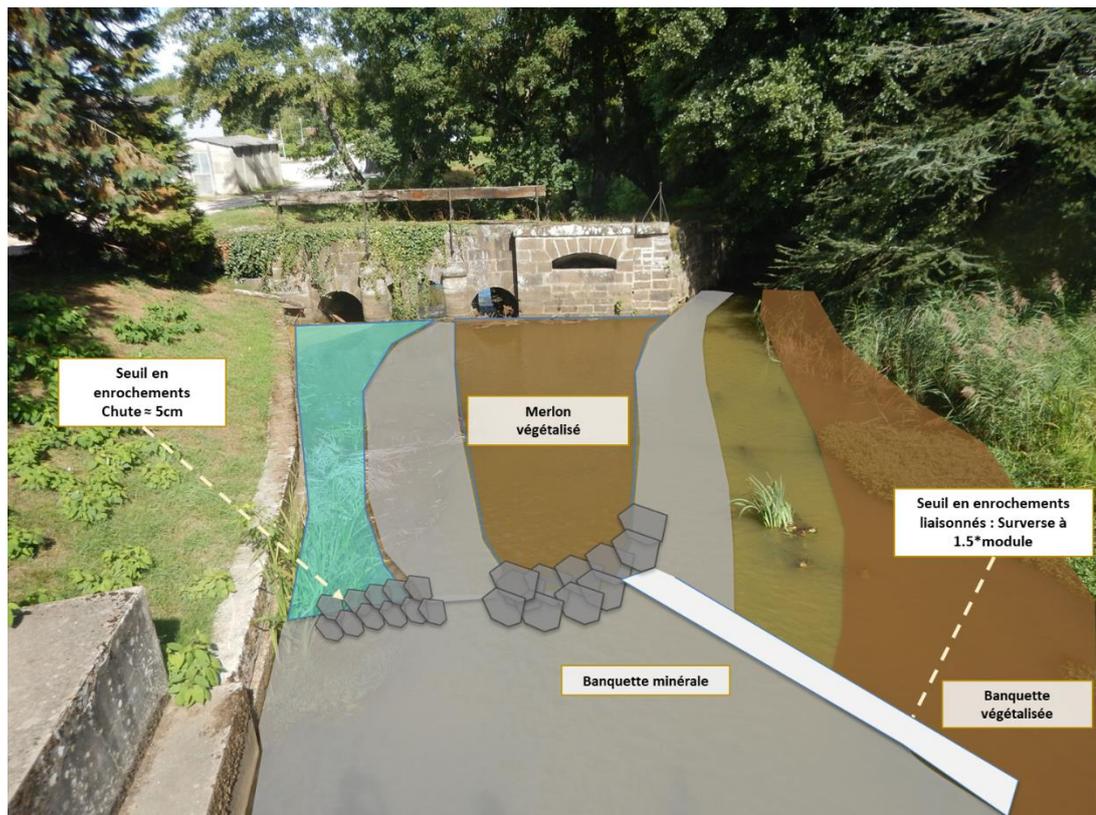


Fig. 27. Vue schématique des aménagements de l'amont de l'ouvrage du Moulin de l'Arche

3.6.5.3. AMENAGEMENTS DE L'OUVRAGE DU MOULIN DE L'ARCHE

Le confortement de l'ouvrage du moulin de l'Arche est nécessaire pour garantir la pérennité des aménagements qui sont prévus.

Les opérations de confortement du Moulin de l'Arche intègrent les opérations suivantes :

- Le nettoyage des maçonneries des bajoyers (végétation, gravier, ...)
- Coupe des arbres et des systèmes racinaires qui menacent la stabilité de l'ouvrage ;
- Le remplacement et le rejointoiement de moellons, et le comblement des vides en arrière des moellons au béton ;
- Le confortement des maçonneries par injection au béton des soubassements ;
- L'aménagement d'un voile béton en aval de la partie rive gauche de l'ouvrage ;
- La découpe du seuil en béton en rive droite à la cote de 189.10m NGF ;
- L'aménagement d'une fosse en enrochements au niveau de l'ouvrage situé en rive droite ;
- Le confortement des berges en enrochements aux abords de l'ouvrage.

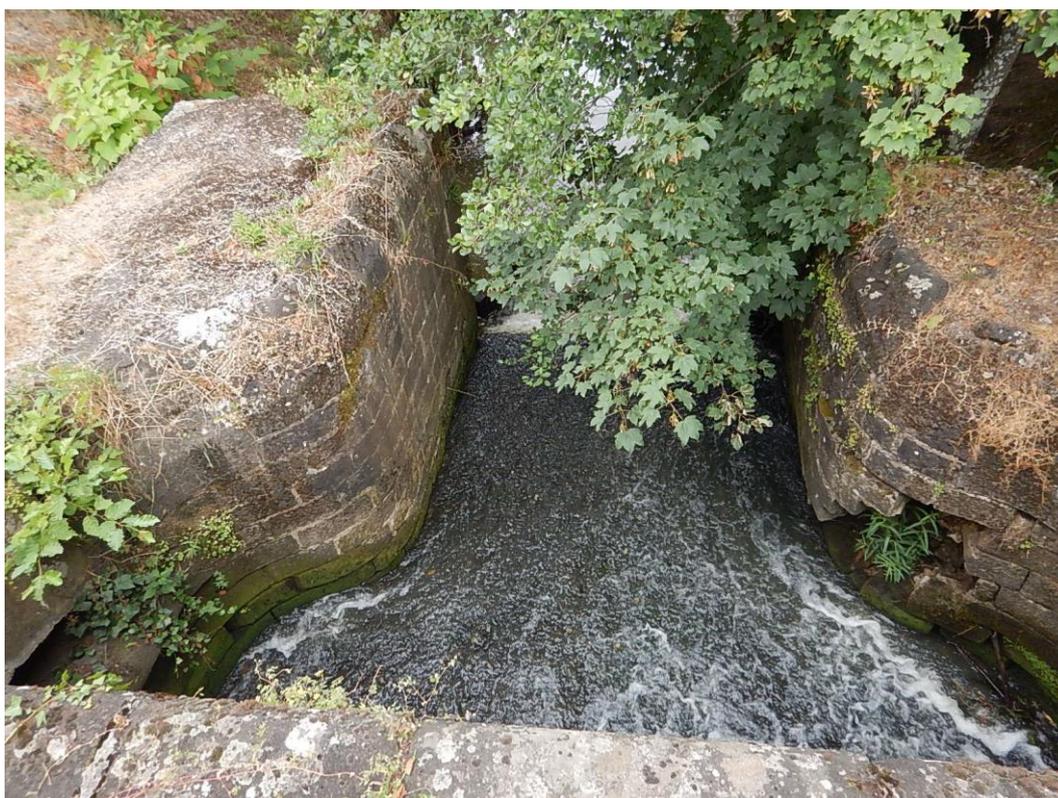




Fig. 28. Vues de l'état actuel de l'ouvrage du Moulin de l'Arche

Les aménagements du moulin de l'Arche devront garantir sa franchissabilité sur une plage de débit significative. Aussi, il est prévu d'aménager un seuil échancré en enrochements liaisonnés au voile béton positionné en aval de l'ouvrage. Ce seuil disposera d'une échancrure de 0.80m de largeur, dont le fond sera calé à la cote de 188.73m NGF.

Cet aménagement permettra d'assurer une hauteur d'eau au niveau de l'arche d'environ :

- 30cm au MODULE ;
- 18cm au QMNA5 (85 l/s) ;
- 10cm au débit réservé (25 l/s).

Le mur béton permettra de maintenir une zone profonde, faisant office de zone de repos au niveau du coursier existant situé en aval des arches, d'une profondeur comprise entre 30 et 70 cm. Cette zone servira aussi de zone de dissipation en période de crue.



Fig. 29. Vue aval du coursier et calage altimétrique du voile aval

3.6.5.4. RESTAURATION DU BOURDON EN AMONT DE L'OUVRAGE DU MOULIN DE L'ARCHE

3.6.5.4.1. Aménagement du profil en long

L'aménagement de la partie aval consiste à recharger les fonds du Bourdon sur un linéaire d'environ 120m, de manière à disposer d'un profil en long homogène avec une pente moyenne de 1.7%. Le nouveau profil en long se raccorde au niveau du voile béton aménagé sur la partie aval du moulin de l'Arche.

Considérant les faibles débits d'étiage (inférieurs à 100l/s), afin de maintenir des conditions d'écoulement satisfaisantes pour le poisson, le profil en long sera structuré par des petits seuils en enrochements, qui engendreront des chutes de l'ordre de 15cm.

Le lit sera constitué d'un chenal principal d'une largeur de l'ordre de 1.00m en fond, et d'une hauteur de 30cm. Les écoulements s'y feront jusqu'au MODULE. Au-delà de ce débit, les écoulements se feront au niveau des banquettes minérales. Des fosses de 30cm de profondeur seront aménagées en aval des différents seuils.

Le calage altimétrique des banquettes pourra localement varier, de manière à apporter de la diversité dans les écoulements.

3.6.5.4.2. Aménagement de la berge en rive gauche

En raison de la recharge du profil en long, la berge en rive gauche devra être retravaillée avec comme objectif :

- En aval direct de l'ouvrage, au niveau du méandre : Rehausse de la berge pour garder un fonctionnement lit d'étiage lit moyen ;

- Sur la partie aval du projet : Décaissement de la berge pour réduire les hauteurs d'eau en crue.

Ces opérations nécessiteront de traiter au préalable une surface importante de sol colonisé par la Renouée du Japon.

Sur les surfaces concernées, les opérations suivantes seront réalisées :

- Balisage préalable des foyers d'espèces invasives avec la maîtrise d'œuvre. Les surfaces à traiter vont au-delà des dernières tiges de plantes visibles à la surface du sol ;
- Fauche manuelle (ou arrachage) des plants. Aucun engin mécanique (broyeur, épareuse, faucheuse, tondeuse...) ne sera utilisé sur les secteurs colonisés par des renouées asiatiques. Les tiges de renouées ne seront pas arrachées, mais coupées une par une à l'aide d'un sécateur (pas de débroussailluse) puis retirées du site. Elles seront ensuite regroupées sur une bâche pour être transportées avec précaution vers une déchetterie, où dans un lieu sûr, où elles pourront sécher à l'abri de la pluie sans risquer de bouturer (sol bétonné ou bâché) ni d'être emportées ailleurs. Une fois sèches, les tiges seront emportées en déchetterie pour incinération ou broyage éventuel ;
- Les zones fauchées seront purgées par essartage de l'horizon de terre végétale et déblai des terrains en place sur une profondeur moyenne de 1m (à définir sur site par des sondages préalables).

La terre infestée sera déblayée par couches successives de 20 cm d'épaisseur environ et non pas d'emblée sur toute l'épaisseur de sol pour ne pas contaminer le fond de la zone excavée.

Du géotextile sera utilisé systématiquement pour éviter la contamination par des pertes de terres, du sol ou des chenilles des engins pendant les déblaiements

Les déblais issus de cette purge seront mis en remblai prioritaire des anciennes gravières afin de les immerger profondément.

Au préalable, notons que des barrages flottants type « rideau » seront installés afin de cantonner les éléments flottants en surface. Ces barrages seront contrôlés et nettoyés quotidiennement. Les corps végétaux flottants collectés seront mis avec le stock pour séchage puis évacuation.

Les surfaces traitées seront ensemencées d'un mélange grainier avec un développement rapide, et plantées de boutures de saule. Deux contrôles annuels seront réalisés sur les années N et N+1, avec si nécessaire un arrachage manuel des rhizomes.

3.6.6. Aménagement des exutoires des réseaux

De nombreux exutoires du réseau d'eaux pluviales, ainsi que de gouttières, se rejettent dans le Bourdon dans la traversée de Saint-Fargeau.

Suivant leur localisation et leur capacité hydraulique, des fosses de dissipation seront aménagées à partir d'enrochements. L'implantation des banquettes sera ajustée localement au niveau de ces fosses.

3.6.7. Planification et déroulement des travaux

3.6.7.1. PERIODE D'INTERVENTION

La période de réalisation des travaux sera préalablement choisie et correspondra à une période non sensible pour la vie et la reproduction de la faune, afin de réduire au maximum les impacts sur le succès reproducteur des différentes espèces.

Tenant compte de la période de reproduction des espèces piscicoles en place, et en privilégiant la période d'étiage correspondant à la gestion du barrage du Bourdon, géré par VNF, la réalisation des travaux sera par conséquent programmée sur les mois de mai à juillet :

La réalisation des travaux est projetée suivant le planning suivant :

- Avril : Préparation du chantier (1 mois) ;
- Début mai à fin juillet : Exécution des travaux (3 mois) ;
- Mi-Novembre : Plantations.

A l'issue des travaux, un récolement sera effectué par un bureau de géomètres indépendants.

3.6.8. Montant de l'opération et financements

Au stade Projet, le montant de l'opération a été estimé à **400 000.00 € HT**.

Le plan de financement prévisionnel de l'opération est le suivant :

- 80% : Agence de l'Eau Seine Normandie ;
- 20% : EPAGE du Bassin du Loing.

4. RAISONS POUR LESQUELLES LE PROJET A ÉTÉ RETENU

4.1. OUVRAGE DE LA MAIRIE

Au terme des études d'Avant-projet sommaire, les solutions techniques envisagées en première approche étaient les suivantes :

- Pré-barrages en enrochements ;
- Aménagement mixte avec abaissement + dispositif de franchissement ;
- Effacement complet des seuils.

La solution de l'effacement présentée dans ce dossier a été retenue à la suite d'une analyse comparative des trois scénarii, car celle-ci constitue le meilleur compromis technique et financier, et correspond également aux attentes du maître d'ouvrage et de la commune.

En parallèle, des mesures d'accompagnement visant à restaurer la qualité physique du Bourdon sont prévues dans la retenue actuelle.

4.2. OUVRAGE DU LAVOIR

Au terme des études d'Avant-projet sommaire, les solutions techniques envisagées en première approche étaient les suivantes :

- Pré-barrages en enrochements ;
- Aménagement mixte avec abaissement + dispositif de franchissement ;
- Effacement complet des seuils.

La solution de l'effacement présentée dans ce dossier a été retenue à la suite d'une analyse comparative des trois scénarii, car celle-ci constitue le meilleur compromis technique et financier, et correspond également aux attentes du maître d'ouvrage et de la commune.

En parallèle, des mesures d'accompagnement visant à restaurer la qualité physique du Bourdon sont prévues dans la retenue actuelle.

4.3. OUVRAGE DU MOULIN DE L'ARCHE

Au terme des études d'Avant-projet sommaire, les solutions techniques envisagées en première approche étaient les suivantes :

- Ouvrage de franchissement type passe à bassins ;
- Aménagement mixte avec abaissement + dispositif de franchissement ;
- Effacement complet de l'ouvrage ;
- Restauration par recharge alluviale aval.

Les solutions impliquant une passe à bassins ont été jugées comme étant trop lourdes sur le point structurel, pour des bénéfices uniquement orientés piscicole, et dénaturant l'aspect paysager du site. Elles n'ont donc pas été retenues.

La solution de l'effacement classique (abaissement du profil en long amont), menace la pérennité du bâti de la gendarmerie situé dans la zone de remous en rive droite du Bourdon, et ne peut donc pas être retenue.

La restauration de la continuité écologique par recharge alluviale aval constitue ainsi le meilleur compromis technique et financier, et correspond au scénario qui aura le moins d'impact sur le patrimoine bâti de l'ouvrage.