



# **Recréation d'habitats « Mulette Epaisse » sur le canal de Fréparoy**

**Projet de reconstruction du barrage de Beaulieu**

**ETUDE DE FAISABILITE**



Mesure de compensation « Mulette Epaisse » dans le cadre du projet de reconstruction du barrage de Beaulieu

VNF  
Etude de faisabilité

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
A	1 <sup>ère</sup> émission	AML, JPE, LRX, YEA	RRN, CRU	18/10/2024

ARTELIA  
Business Unit Villes et Territoires  
Département Eau & Génie Urbain  
Etudes Environnementales  
47, avenue de Lugo - 94600 Choisy-le-Roi

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>RAPPEL DU CONTEXTE.....</b>	<b>9</b>
1.1.	Reconstruction du barrage de Beaulieu .....	9
1.2.	Choix du canal de Fréparoy : rappel de la pré-étude de Biotope .....	9
1.2.1.	Contexte et critères .....	10
1.2.2.	Hydromorphologie du canal .....	10
1.2.3.	Prospection de bivalves .....	11
1.2.4.	Analyse de l'éligibilité du canal à la compensation .....	11
<b>2.</b>	<b>DIAGNOSTIC DU CANAL DE FRÉPAROY.....</b>	<b>13</b>
2.1.	Situation cadastrale.....	13
2.2.	Milieu physique.....	14
2.2.1.	Topographie et relief .....	14
2.2.2.	Géologie – Pédologie .....	14
2.3.	Milieu naturel.....	15
2.3.1.	Zonages de protection et d'inventaire .....	15
2.3.1.1.	Natura 2000 .....	15
2.3.1.2.	ZNIEFF .....	16
2.3.1.3.	ZICO .....	17
2.3.1.4.	Espaces boisés classés.....	17
2.3.2.	Diagnostic des habitats terrestres – Biotope, 2018.....	18
2.3.2.1.	Habitats .....	18
2.3.2.2.	Enjeux habitats.....	19
2.3.3.	Inventaire Faune/Flore terrestre – Biotope, 2018.....	20
2.3.3.1.	Flore patrimoniale .....	20
2.3.3.2.	Flore invasive .....	20
2.3.3.3.	Faune patrimoniale .....	21
2.3.3.4.	Faune invasive.....	27
2.3.4.	Inventaires aquatiques – Aquascop, 2024 .....	27
2.3.4.1.	Éléments de méthodologie .....	27
2.3.4.2.	Habitats et flore aquatique .....	28
2.3.4.3.	Habitats et faune piscicole .....	30

Etude de faisabilité

RECREATION D'HABITATS « MULETTE Epaisse » sur le canal de Fréparoy

2.3.4.4. Crustacés.....	35
2.3.4.5. Mollusques bivalves .....	36
2.3.4.6. Mollusques semi-aquatiques .....	36
2.3.4.7. Synthèse des inventaires aquatiques.....	36
2.3.5. Zones humides .....	38
2.3.6. Continuités écologiques .....	38
2.4. Diagnostic éco-morphologique .....	39
2.4.1. Evolution au cours du temps.....	39
2.4.2. Diagnostic de terrain .....	40
2.4.2.1. Canal de Fréparoy.....	40
2.4.2.2. Canal Terray .....	44
<b>3. EXIGENCES ÉCOLOGIQUES DE LA MULETTE ÉPAISSE .....</b>	<b>45</b>
3.1. Localisation des populations françaises de Mulette épaisse ....	45
3.2. Typologie de cours d'eau .....	45
3.3. Vitesse .....	46
3.4. Profondeur .....	47
3.5. Substrat.....	47
3.6. Taux de colmatage et oxygénation .....	47
3.7. Qualité de l'eau .....	47
3.8. Analyse des exigences hydrologiques .....	48
3.9. Poissons hôtes.....	49
<b>4. BILAN DES CONDITIONS RENCONTRÉES ACTUELLEMENT AU VU DES EXIGENCES DE LA MULETTE ÉPAISSE .....</b>	<b>50</b>
<b>5. HYDROLOGIE-HYDRAULIQUE .....</b>	<b>53</b>
5.1. Contexte hydrologique .....	53
5.1.1. Canal de Fréparoy .....	53
5.1.2. Canal Terray .....	53
5.2. Ouvrages hydrauliques et de franchissement .....	54
5.3. Mesures de débits .....	56
5.4. Modélisation hydraulique .....	58
5.4.1. Construction du modèle .....	58



5.4.2.	Analyse hydraulique de l'état initial.....	62
5.4.2.1.	Pentes et profil longitudinal.....	62
5.4.2.2.	Conditions d'écoulement .....	62
5.4.2.3.	Ouvrages singuliers.....	65
5.5.	Faisabilité d'une recharge granulométrique au vu de la pente	67
5.5.1.	Rappel du contexte .....	67
5.5.2.	Approche de recharge granulométrique sans modification hydraulique (scénario 1) .....	68
5.5.3.	Scénarios d'intervention au droit du seuil vanné (scénarios 2 et 3).....	69
5.5.4.	Identification de secteurs de recharge .....	69
6.	<b>BILAN DES ACTIONS ENVISAGEABLES SUR LE VOLET ÉCOLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....</b>	<b>71</b>
6.1.	Amélioration de la franchissabilité de la prise d'eau du canal de Frepary (Scénarios 1 et 2) .....	72
6.2.	Ouverture de la vanne de prise d'eau du château (scénario 2).	74
6.3.	Recharge granulométrique sur des secteurs-clé (Scénarios 1 et 2) .....	75
6.3.1.	Principe des aménagements .....	75
6.3.2.	Secteurs proposés .....	76
6.4.	Plantation de ripisylve (scénarios 1 et 2) .....	78
6.5.	Entretien des herbiers aquatiques (scénarios 1 et 2) .....	79
6.6.	Lutte contre le ragondin (scénarios 1 et 2).....	80
7.	<b>INCIDENCES DES AMÉNAGEMENTS.....</b>	<b>81</b>
7.1.	Incidences hydrauliques .....	81
7.1.1.	Ouverture de la vanne de prise d'eau du Château .....	81
7.1.2.	Modification de la prise d'eau du canal de Fréparoy .....	82
7.2.	Incidences sur le milieu humain.....	84
7.3.	Gains écologiques.....	84
7.4.	Précautions à prendre en phase travaux.....	87
8.	<b>SUIVI.....</b>	<b>87</b>
9.	<b>CHIFFRAGE .....</b>	<b>87</b>
10.	<b>PLANNING.....</b>	<b>89</b>

<b>11. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>90</b>
<b>ANNEXE 1 : ETUDE AQUASCOP, 2024 .....</b>	<b>93</b>

## FIGURES

Figure 1.	Localisation du canal de Fréparoy par rapport au barrage de Beaulieu .....	9
Figure 2.	Localisation des parcelles potentiellement impactées par le volet de compensation de la mulette épaisse (Source : Géoportail) .....	13
Figure 3.	Topographie du secteur d'étude.....	14
Figure 4.	Géologie du secteur d'étude (Source : BRGM) .....	15
Figure 5.	Cartographie de l'emplacement des zones Natura 2000 à proximité de l'aire d'étude (Source Géoportail) .....	16
Figure 6.	Localisation des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique à proximité de l'aire d'étude (Source : Géoportail) .....	17
Figure 7.	Localisation des Espaces Boisés Classés (Source : RENV, EGIS, 2010) .....	18
Figure 8.	Localisation des habitats présents à proximité du canal de Fréparoy (Source : Biotope, 2018) .....	19
Figure 9.	Localisation des enjeux habitats à proximité du canal de Fréparoy (Source : Biotope, 2018).....	19
Figure 10.	Localisation de la flore patrimoniale à proximité de l'aire d'étude (Source : Biotope, 2018).....	20
Figure 11.	Localisation des espèces de Rhopalocères présentes dans un périmètre éloigné de la zone d'étude (Source : Biotope, 2018) .....	21
Figure 12.	Localisation des espèces d'Odonates patrimoniaux et/ou protégées à proximité du canal de Fréparoy (Source : Biotope, 2018) .....	22
Figure 13.	Localisation des espèces d'orthoptère patrimoniales à proximité de l'aire d'étude (Source : Biotope, 2018) .....	22
Figure 14.	Localisation des espèces d'amphibiens présentes à proximité de l'aire d'étude (Source : Biotope, 2018) .....	23
Figure 15.	Localisation de l'avifaune patrimoniale et/ou protégée au sein de l'aire d'étude (Source : Biotope, 2018) .....	24
Figure 16.	Localisation de l'avifaune en période internuptiale (Source : Biotope, 2018) .....	24
Figure 17.	Identification des chiroptères présents au sein de l'aire d'étude en juin 2018 (Source : Biotope, 2018) .....	25
Figure 18.	Identification des chiroptères présents au sein de l'aire d'étude en septembre 2018 (Source : Biotope, 2018) .....	26
Figure 19.	Localisation de la faune envahissante (Source : Biotope, 2018) .....	27
Figure 20.	Localisation des espèces remarquables (Aquascop) .....	29
Figure 21.	Localisation des espèces envahissantes (Aquascop).....	29
Figure 22.	Habitats piscicoles (Aquascop) .....	31
Figure 23.	Espèces inventoriées dans le canal de Fréparoy .....	34
Figure 24.	Bilan des enjeux piscicoles (Aquascop) .....	35
Figure 25.	Localisation des zones humides au sein de l'aire d'étude et à proximité (Source : Biotope, 2018) ....	38
Figure 26.	Photographie aérienne actuelle (à gauche) et Carte d'Etat-Major (à droite) du canal de Fréparoy (Source : IGN) .....	39
Figure 27.	Photographie aérienne actuelle (à gauche) et Carte d'Etat-Major (à droite) du canal Terray (Source : IGN) .....	39
Figure 28.	Photographie aérienne actuelle (à gauche) et en 1950-65 (à droite) du canal de Fréparoy (Source : IGN) .....	40
Figure 29.	Carte de localisation des tronçons éco-hydromorphologiques analysés au sein de l'étude .....	41
Figure 30.	Exemple d'habitats potentiels d'Unio crassus, (A) grand cours d'eau graveleux (B) cours d'eau de taille moyenne en plaine agricole, modifié d'après (Xavier Cucherat et al., 2021). Crédit photos Vincent Prié.....	46
Figure 31.	Localisation des ouvrages à expertiser (Fond de plan : Biotope) .....	55
Figure 32.	Prise d'eau en Seine vue depuis le Canal (à gauche) et pont agricole (à droite) (Source : Biotope) ...	55
Figure 33.	Ouvrage mobile et prise d'eau vers le château (Source : Biotope).....	56
Figure 34.	Buse métallique et seuil en aval de la D120 (Source : Biotope) .....	56
Figure 35.	Localisation des points de jaugeage.....	57
Figure 36.	Perche Nivus NivuFlow Stick / SonTek RiverSurveyor S5 .....	57
Figure 37.	Exemple de l'ouvrage sous la D120 : levé de l'ouvrage (en haut à gauche), représentation dans le modèle hydraulique (en bas à gauche), photographie de terrain (à droite) .....	59
Figure 38.	Vue générale du modèle hydraulique des canaux de Fréparoy et Terray sous HEC-RAS .....	60
Figure 39.	Profil en long du canal de Fréparoy et Terray.....	61
Figure 40.	Loi hauteur débit de la Seine en amont du canal Terray.....	63
Figure 41.	Loi hauteur débit de la Seine en aval du canal Terray .....	64
Figure 42.	Profil en long des canaux de Fréparoy et Terray, avec les niveaux de la Seine pour différents débits .....	64
Figure 43.	Prise d'eau en Seine, amont du canal de Fréparoy .....	65

Etude de faisabilité

RECREATION D'HABITATS « MULETTE Epaisse » sur le canal de Fréparoy

Figure 44.	Pont agricole, aval du canal Fréparoy .....	65
Figure 45.	Ouvrages de franchissement, rue de l'Ormeau (à gauche) et rue de la Croix des Champs (à droite) .	66
Figure 46.	Seuil vanné.....	66
Figure 47.	Buse sous la D120.....	67
Figure 48.	Localisation des secteurs retenus pour la recharge granulométrique (en rouge) .....	70
Figure 49.	Vue générale des aménagements proposés en scénario 1 .....	71
Figure 50.	Vue générale des aménagements proposés en scénario 2 .....	71
Figure 51.	Prise d'eau en Seine actuelle .....	72
Figure 52.	Berge basse à l'entrée du canal de Fréparoy (extrait du modèle HEC-RAS).....	73
Figure 53.	Principe d'aménagement de la nouvelle prise d'eau .....	74
Figure 54.	Schémas de principe d'un rétrécissement de la section par mise en œuvre de banquettes minérales (Source : SMGL, Hydroconcept) .....	75
Figure 55.	Secteur 1 .....	76
Figure 56.	Secteur 2 .....	77
Figure 57.	Secteur 3 .....	77
Figure 58.	Comparatif sur la ripisylve du canal de Fréparoy en 2022 (à gauche) et 1949 (à droite) – Source IGN ; Biotope 2023	78
Figure 59.	Plantation de ripisylve.....	79
Figure 60.	Ragondin pris au piège (SMLG, Hydroconcept, 2016) .....	80
Figure 61.	Profil en long des canaux Fréparoy et Terray en cas d'ouverture de vanne de 50 cm .....	81

## 1. RAPPEL DU CONTEXTE

### 1.1. RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE BEAULIEU

Le barrage de Beaulieu (10 – Aube) permet la gestion du niveau d'eau de la Seine, afin de permettre la navigation commerciale jusqu'à l'entrée amont du canal de Beaulieu. Il s'agit d'un ancien barrage manuel à hausses qui nécessite d'être sécurisé en termes d'exploitation par Voies Navigables de France.

Le projet consiste en la reconstruction d'un nouveau barrage mécanisé à environ 15 m en amont de l'existant, et en la construction d'un ouvrage de franchissement piscicole. Une fois reconstruit, l'ancien barrage sera démoli.

Compte tenu des caractéristiques des aménagements projetés, la réalisation du projet est conditionnée par l'obtention préalable d'une autorisation environnementale délivrée au titre du code de l'environnement, dont une étude d'impact.

Par ailleurs, le dossier de dérogation relatif aux espèces faunistiques protégées précise toutes les mesures d'évitement, de réduction, de compensation que VNF s'engage à mettre en œuvre dans le cadre de l'opération de reconstruction du barrage de Beaulieu, vis-à-vis de la Mulette épaisse. En effet, les inventaires menés par BIOTOPE à l'été 2022 ont validé la présence de cette espèce protégée sur une partie de l'emprise des futurs aménagements, avec une **surface brute impactée estimée à 2 513 m<sup>2</sup>**.

### 1.2. CHOIX DU CANAL DE FREPAROY : RAPPEL DE LA PRE-ETUDE DE BIOTOPE

En termes de compensation, dans son étude « *Mesure de compensation ciblée sur la « Mulette épaisse »* » de 2023, Biotope a identifié le « Canal de Fréparoy » comme site de compensation privilégié, **le besoin compensatoire étant estimé à 1 691 m<sup>2</sup>**.

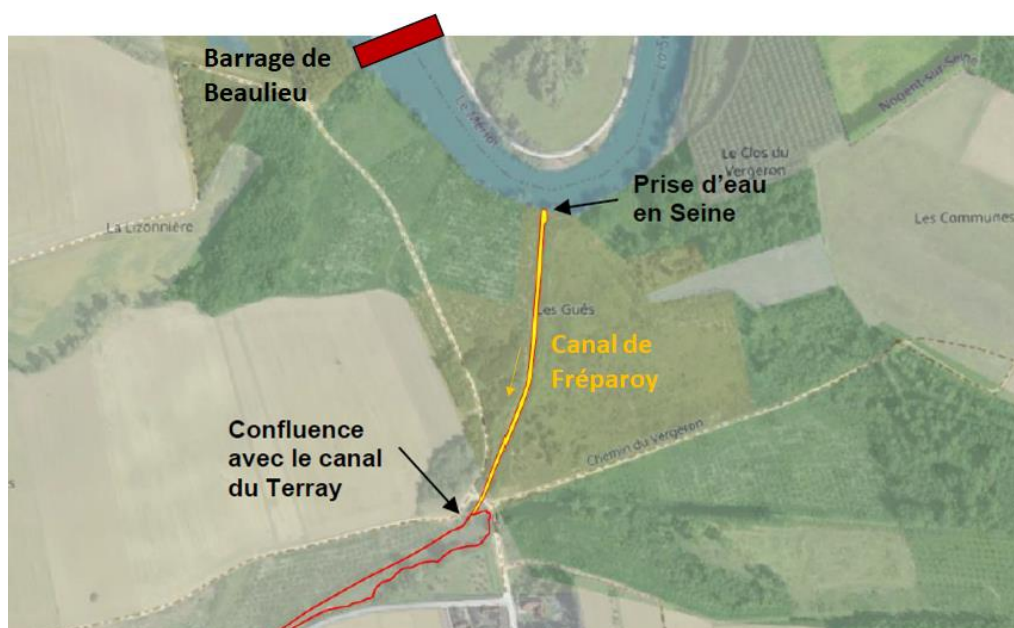


Figure 1. Localisation du canal de Fréparoy par rapport au barrage de Beaulieu

### 1.2.1. Contexte et critères

En vue du déplacement de la population locale de mulette épaisse située en amont du barrage de Beaulieu, deux sites d'accueil/compensation ont été évalués par Biotope en 2023 : le canal de Fréparoy et le canal Terray. Le diagnostic de Biotope a été réalisé au regard de plusieurs conditions et objectifs. Tout d'abord, les mesures compensatoires doivent respecter les cinq conditions suivantes pour atteindre notamment une absence de perte nette et une équivalence écologique :

- La proximité géographique
- L'efficacité
- La temporalité
- La pérennité
- L'additionnalité

La méthodologie de recherche de Biotope vise également plusieurs objectifs :

- S'inscrire dans une cohérence territoriale des programmes de conservation (restauration de cours d'eau, SDAGE, Natura 2000 etc.) ;
- Prioriser la recréation de milieux ;
- Prioriser les actions visant à améliorer la fonctionnalité des milieux ainsi que les connectivités ;
- S'inscrire dans une démarche de résultat.

### 1.2.2. Hydromorphologie du canal

D'après le diagnostic de Biotope en 2023, le canal de Fréparoy représente un linéaire de 360 m délimité au nord par la prise d'eau en Seine, et au sud par la confluence avec le canal Terray. De profil globalement homogène sur la majorité de la zone, il présente cependant des contextes granulométriques et de faciès différents sur ses extrémités.

La prise d'eau en Seine se caractérise par un ouvrage maçonné d'environ 50 cm avec un tirant d'air de 5 cm côté canal lors du passage sur site début septembre 2023. L'attractivité de l'ouvrage pour la faune piscicole est limitée.


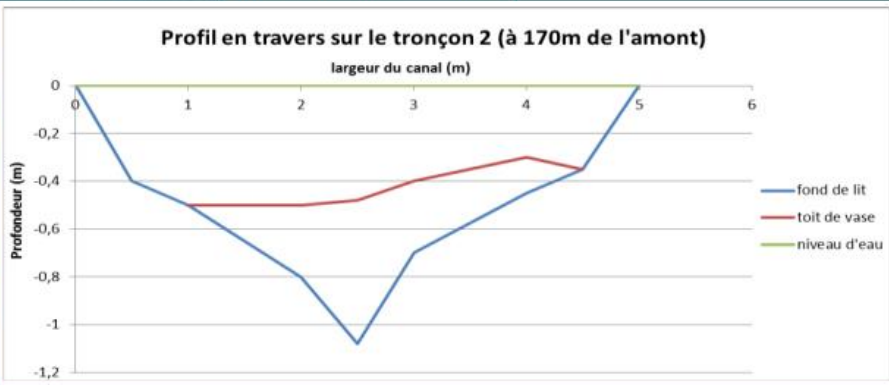
L'aval de la prise d'eau côté canal se caractérise par une profondeur importante (75 cm après l'ouvrage et jusqu'à 1 m dans la fosse centrale) et une surlargeur liée à des phénomènes d'érosion latérale des berges.

Au niveau de l'exutoire dans le canal Terray, le canal de Fréparoy passe sous un pont de chemin agricole en maçonnerie. La pente en aval de cet ouvrage est plus forte, et le canal retrouve une granulométrie majoritairement composée de cailloux fins et grossiers décolmatés. Le faciès y est de type plat courant sur environ 15 m avant une zone de fosse avec un envasement plus important dans le canal Terray.

### 1.2.3. Prospection de bivalves

Six points d'analyse ont été effectués afin de mener des investigations sur la présence de bivalves en parallèle du diagnostic hydromorphologique du canal. Un individu juvénile a été excavé au point numéro 5, situé à la moitié du linéaire du canal. Le canal, en ce point, présente les caractéristiques suivantes :

Tabl. 1 - Caractéristiques du point de mesure numéro 6 sur le canal de Fréparoy, réalisé par Biotope lors du diagnostic du canal.

Photo vue amont		POINT 5 (165m de la prise d'eau)	
		Présence d' <i>Unio crassus</i> (effectifs)	OUI (1 juvénile)
		Granulométrie principale	Vase
		Envasement	50 cm
		Hauteur d'eau minimum	20 cm
		Hauteur d'eau maximum	60 cm
		Hauteur berge rive droite	35 cm
		Hauteur berge rive gauche	30 cm
		Largeur du canal	4,90m
		Autres enjeux observés	-
<p>L'envasement est très important sur ce secteur avec cependant une cohésion moins forte de la vase. Un individu juvénile et d'anciennes coquilles ont été collectées sur cette zone.</p> <p>Le profil en travers réalisé en 2015 montre la répartition centrale de l'envasement. La vitesse d'écoulement était estimée à 0.15m/s.</p>		<p>Profil en travers sur le tronçon 2 (à 170m de l'amont)</p> 	

### 1.2.4. Analyse de l'éligibilité du canal à la compensation

Le canal de Fréparoy se situe à proximité directe du site de projet. La compensation s'inscrit dans la continuité d'un programme de restauration préalablement analysé en 2015 par le Syndicat Départemental Des Eaux de l'Aube afin d'améliorer les continuités écologiques tout en maintenant l'alimentation du miroir d'eau du château.

L'attractivité du milieu par diversification des faciès d'écoulement et de la granulométrie, ainsi que l'aménagement de la prise d'eau peuvent permettre une recolonisation rapide par les espèces hôtes de la mulette épaisse. Les mesures peuvent être mises en place au début des travaux, cependant la plus-value s'exprimera pleinement au bout de plusieurs années (via la création d'habitats favorables à la mulette épaisse).

En ce qui concerne la faisabilité des mesures, Biotope les évalue comme techniquement envisageables. Les populations d'autres espèces protégées comme la loche de rivière sont à prendre en compte. Néanmoins, une recharge granulométrique généralisée ne peut être mise en place.



Un point de vigilance est à souligner concernant la pérennité des mesures. Une attention particulière devra être portée pour favoriser le décolmatage naturel des futurs aménagements en période de hautes eaux et ainsi maintenir la diversité de faciès et de granulométrie. Un second point de vigilance est sur l'existence de périodes d'assec du canal, au regard des photos aériennes, liée notamment à son fort envasement et à une lame d'eau faible en période estivale. Un travail sera donc à mener pour adapter au mieux la cote de l'ouvrage de prise d'eau en prenant en compte les futures évolutions des apports liées au changement climatique.

**La restauration du canal de Fréparoy sur au moins 1 691 m<sup>2</sup> permettrait potentiellement de répondre à l'ensemble des critères d'éligibilité à la compensation et donc d'atteindre l'absence de perte nette de biodiversité à moyen terme et d'équivalence écologique.**

**Le présent document consiste en une étude de la faisabilité d'une compensation « Mulette épaisse » au droit du canal de Fréparoy.**



## 2. DIAGNOSTIC DU CANAL DE FREPAROY

### 2.1. SITUATION CADASTRALE

Différentes parcelles, à proximité du canal de Fréparoy, sont potentiellement concernées par le volet de compensation de la mulette épaisse et déjà prises en compte pour les travaux relatifs au barrage de Beaulieu.

Les parcelles ainsi que leurs propriétaires sont détaillées ci-dessous.

Tabl. 2 - Parcelles cadastrales concernées par le projet

Commune	N° Section	N° Parcelle	Propriétaire(s)
La Motte-Tilly	ZL	56	Commune de la Motte-Tilly
La Motte-Tilly	ZL	57	Commune de la Motte-Tilly
La Motte-Tilly	ZL	75	Association foncière de remembrement de la Motte Tilly
La Motte-Tilly	ZL	77	Mr WAKIM Paul, Mme WAKIM Alya
La Motte-Tilly	ZL	93	Commune de la Motte-Tilly
La Motte-Tilly	ZL	94	Association foncière de remembrement de la Motte Tilly
La Motte-Tilly	ZL	95	Commune de la Motte-Tilly
La Motte-Tilly	ZK	110	Commune de la Motte-Tilly
La Motte-Tilly	ZK	112	Commune de la Motte-Tilly
La Motte-Tilly	ZK	113	Association foncière de remembrement de la Motte Tilly
La Motte-Tilly	ZK	114	Commune de la Motte-Tilly

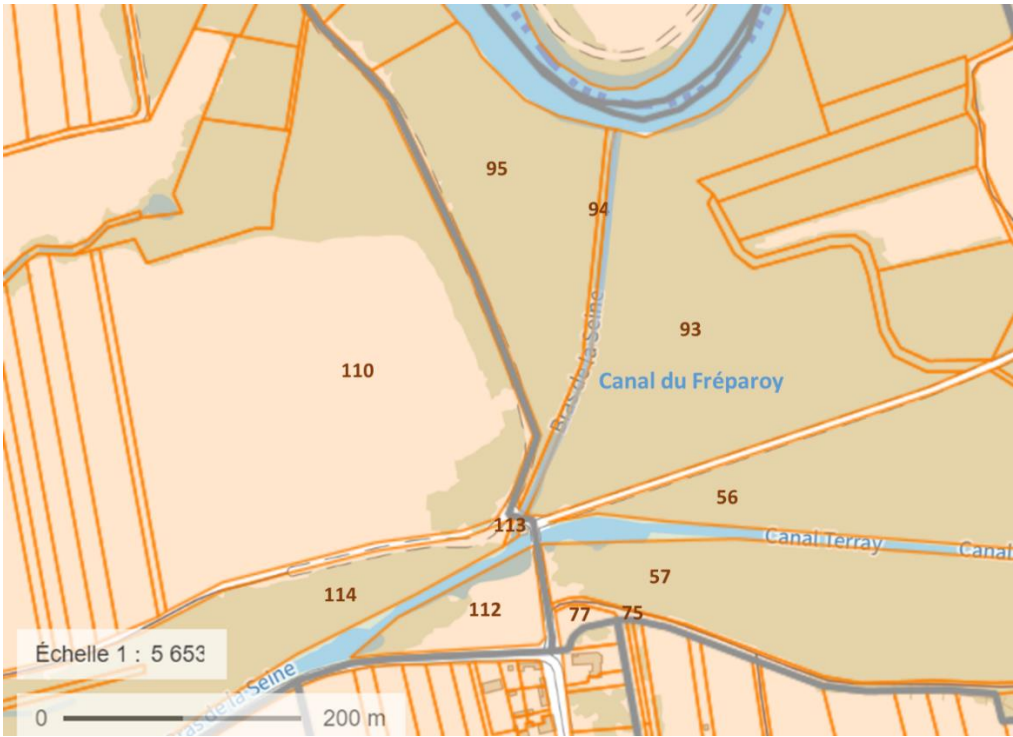


Figure 2. Localisation des parcelles potentiellement impactées par le volet de compensation de la mulette épaisse (Source : Géoportail)

## 2.2. MILIEU PHYSIQUE

### 2.2.1. Topographie et relief

La zone d'étude se situe dans la plaine alluviale de la Seine, à une altitude d'environ 58 m (figure suivante).

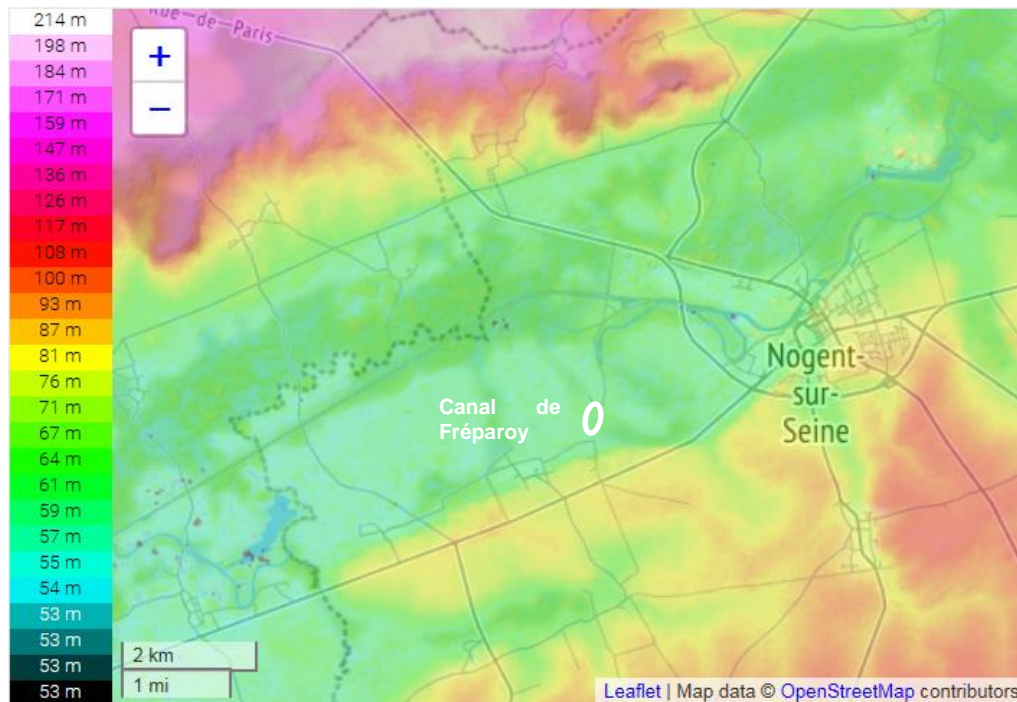


Figure 3. Topographie du secteur d'étude

### 2.2.2. Géologie – Pédologie

D'après la base de données Infoterre du BRGM - Carte géologique imprimée au 1/50 000, le canal de Fréparoy se situe sur des **alluvions modernes (Fz) du quaternaire**. Quelques formations d'alluvions anciennes (Fy) sont également présentes dans la plaine alluviale de la Seine en rive droite du canal de Fréparoy et Terray (figure suivante).

D'après la cartographie des sols du GIS Sol, disponible sur le Géoportail, le secteur d'étude se trouve sur des « Sols des alluvions limoneuses très humides de cultures de peupleraies et de prairies permanentes (en aval de la confluence Seine-Aube) », avec 85% de Fluviosols.

Les fluviosols sont des sols issus d'alluvions, matériaux déposés par un cours d'eau. Ils sont constitués de matériaux fins (argiles, limons, sables) pouvant contenir des éléments plus ou moins grossiers (galets, cailloux, blocs). Situés dans le lit actuel ou ancien des rivières, ils sont souvent marqués par la présence d'une nappe alluviale et sont généralement inondables en période de crue.

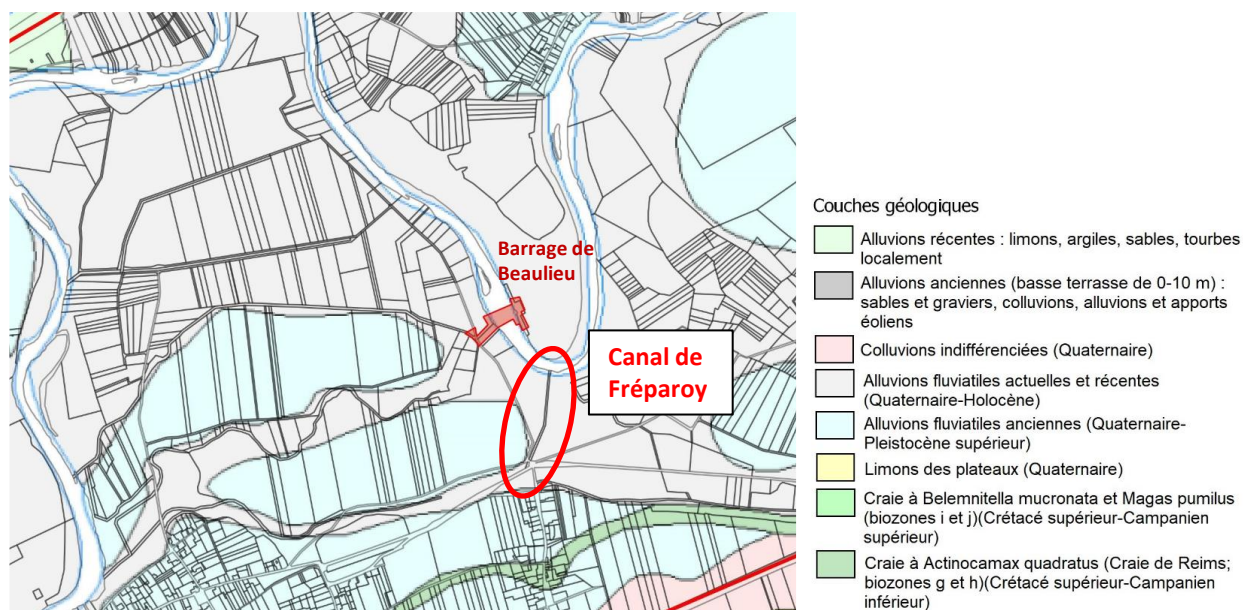


Figure 4. Géologie du secteur d'étude (Source : BRGM)

## 2.3. MILIEU NATUREL

### 2.3.1. Zonages de protection et d'inventaire

#### 2.3.1.1. Natura 2000

Le canal de Fréparoy se situe à proximité immédiate d'un zonage Natura 2000. Il s'agit de la Zone Spéciale de Conservation FR2100296 « Prairies, marais et bois alluviaux de la Bassée ». La Zone de Protection Spéciale FR1112002 « Bassée et plaines adjacentes » et la Zone Spéciale de Conservation FR1100798 « La Bassée », constituent deux autres sites, mais présents au sein du périmètre plus élargi du projet. Une attention particulière sera portée en phase de travaux afin de ne pas impacter les espèces présentes. En phase définitive, le projet ne comportera pas d'impact pour les sites Natura 2000 à proximité.

Les localisations des zones sont les suivantes :

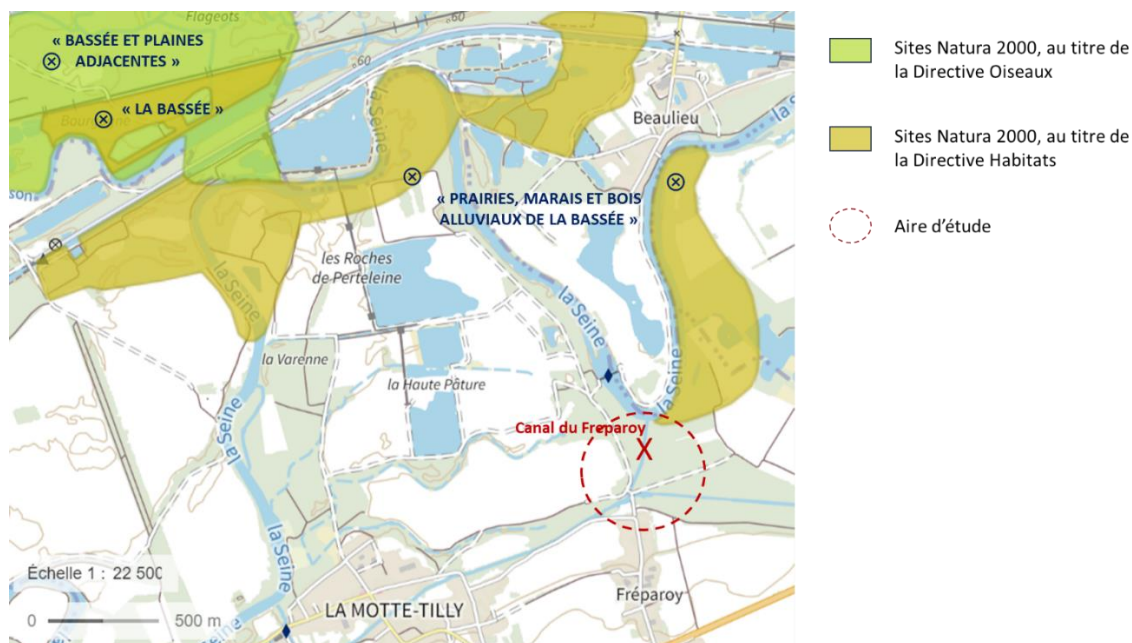


Figure 5. Cartographie de l'emplacement des zones Natura 2000 à proximité de l'aire d'étude (Source Géoportail)

### 2.3.1.2. ZNIEFF

L'aire d'étude se situe au sein d'une ZNIEFF de type 1 « Milieux naturels et secondaires de la vallée de la Seine (Bassée Aubeoise » (210000617) et une de type 2 « Prairies, bois et milieux humides de Fréparoy à Nogent-sur-Seine et la Motte-Tilly » (210000624).

Trois ZNIEFF de type I sont présentes dans un périmètre plus éloigné du canal :

- Identifiant 210000623, « Bois, prairies, cours d'eau et noues des roches à Beaulieu entre le Mériot et la Motte-Tilly »
- Identifiant 21000062, « Bois, prairies et milieux humides entre Port Saint-Nicolas, le Mériot et Nogent-sur-Seine ».
- Identifiant 110020230, « Boisements alluviaux entre Herme et Melz-sur-Seine »



Les localisations des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique sont les suivantes :

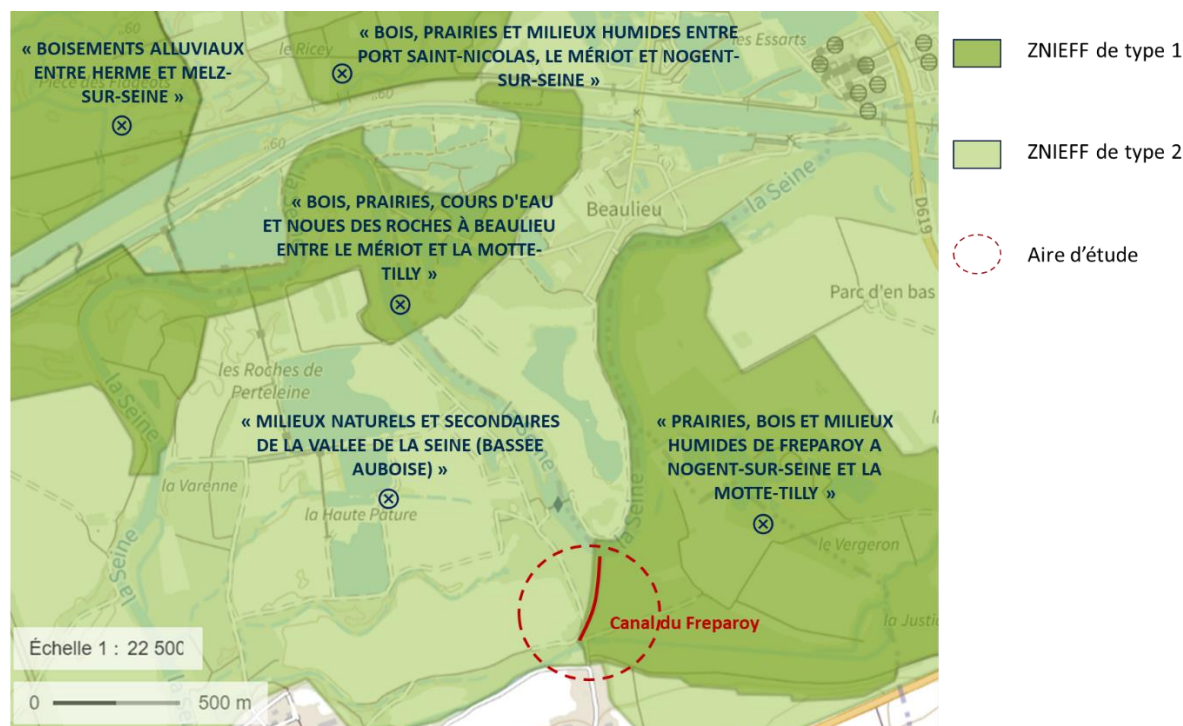


Figure 6. Localisation des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique à proximité de l'aire d'étude (Source : Géoportail)

### 2.3.1.3. ZICO

L'aire d'étude est comprise au sein de la Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) « Bassée et plaines adjacentes » IF 03. Ce type de sites sont d'intérêt majeur pour la préservation d'espèces d'oiseaux sauvages d'importance communautaire.

### 2.3.1.4. Espaces boisés classés

*Le classement d'un espace boisé en EBC permet d'assurer la conservation, la préservation, voire la création des bois, forêts relevant ou non du régime forestier, en empêchant tous les travaux qui pourraient les affecter. Ce classement peut également s'appliquer à des arbres isolés, des haies ou réseaux de haies, des plantations d'alignements. **Tout défrichement situé en EBC est interdit.***

D'après l'Atlas du Référentiel Environnemental réalisé en 2010, **des Espaces Boisés Classés sont présents de part et d'autre du canal de Fréparoy** (figure suivante). Leur localisation détaillée est présentée dans le paragraphe d'analyse de compatibilité avec le PLU de la Motte-Tilly.

**Il semble néanmoins que certains sujets aient été abattus (voir § 2.4.2).**

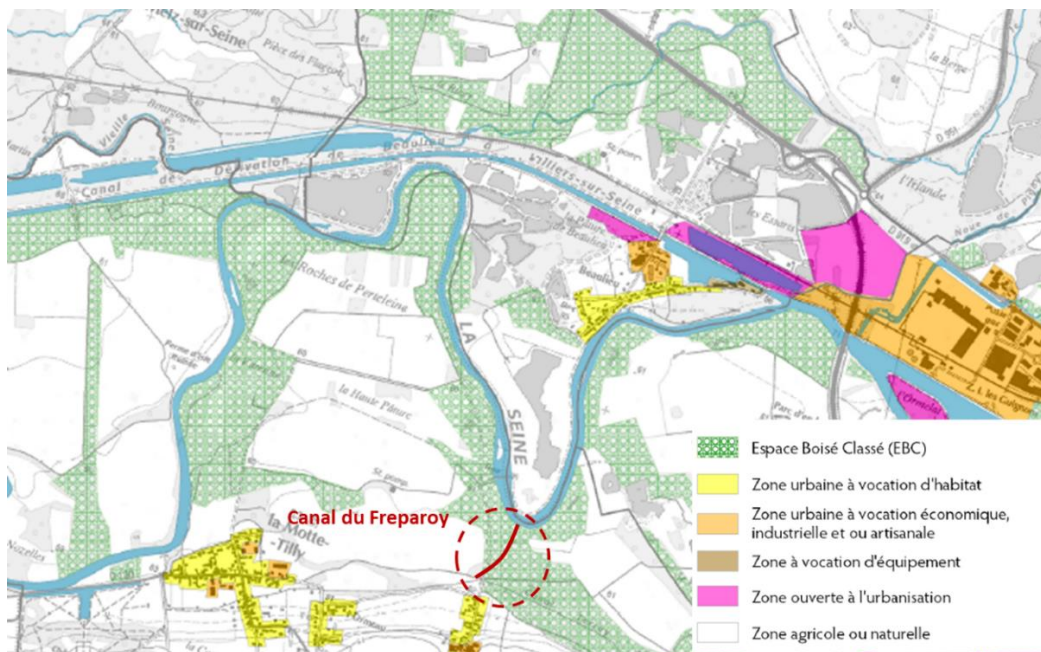


Figure 7. Localisation des Espaces Boisés Classés (Source : RENV, EGIS, 2010)

### 2.3.2. Diagnostic des habitats terrestres – Biotope, 2018

Les habitats ont été inventoriés par Biotope en 2018, dans le cadre de l'étude d'impact relative au projet de reconstruction du barrage de Beaulieu. Les paragraphes suivants sont issus de cette étude d'inventaire de Biotope.

#### 2.3.2.1. Habitats

L'habitat le long du linéaire du canal se compose essentiellement d'**Aulnaie-Frênaie riveraine**. A la confluence avec la Seine, on observe un habitat de type Frênaie-peupleraie. A la confluence avec le canal Terray, l'habitat se compose de jardins et zones entretenues, de zones urbanisées, de roselière à Baldingère, saulaie marécageuse et de plantations de peupliers avec strate herbacée hygrophile. Sur une bande plus large le long du canal, ils sont davantage diversifiés.

On observe les habitats suivants :

- Plantation de peupliers avec strate herbacée hygrophile
- Saulaie marécageuse
- Prairie piétinée hygrophile
- Roselière à Baldingère
- Frênaie post-pionnière
- Fruticée alluviale
- Magnocariçaie
- Saulaie blanche
- Herbier des eaux calmes mésotrophes
- Cultures

La localisation des différents habitats à proximité de la zone d'étude est la suivante :

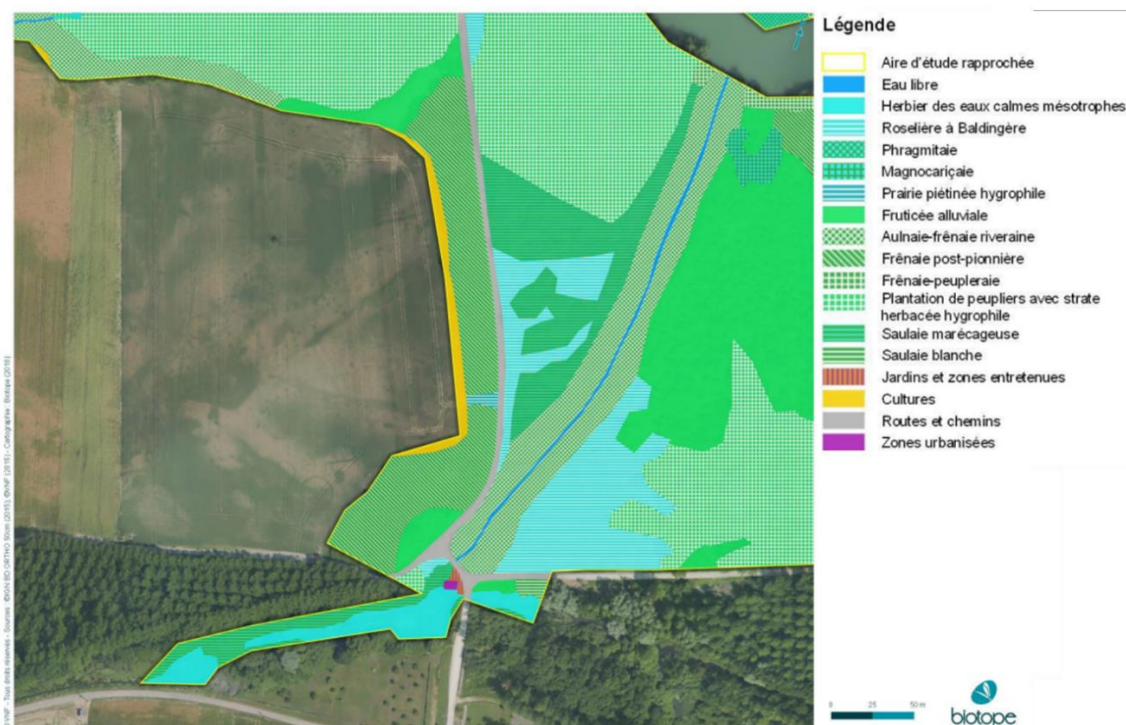


Figure 8. Localisation des habitats présents à proximité du canal de Fréparoy (Source : Biotopé, 2018)

### 2.3.2.2. Enjeux habitats

D'après l'inventaire de Biotopé en 2018, l'enjeu habitat est **fort pour l'habitat de type l'Aulnaie-Frênaie riveraine** le long du canal. De la Seine au canal Terray, les habitats présents sont à enjeu faible. Une zone à enjeu moyen est présente après le pont à la confluence entre le canal de Fréparoy et Terray.

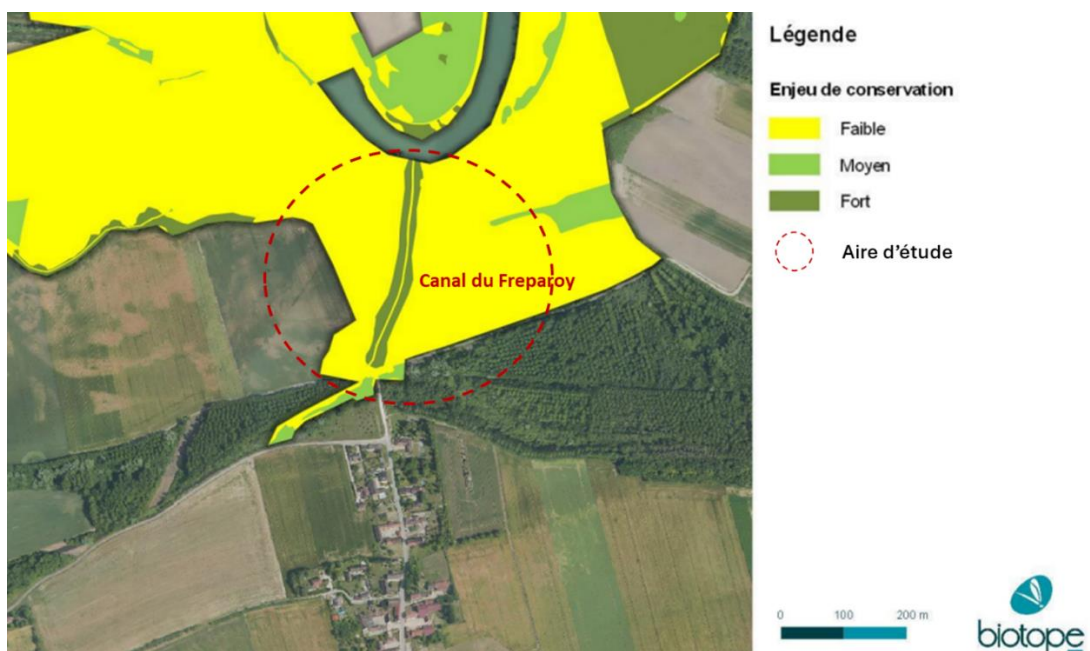


Figure 9. Localisation des enjeux habitats à proximité du canal de Fréparoy (Source : Biotopé, 2018)



### 2.3.3. Inventaire Faune/Flore terrestre – Biotope, 2018

Un inventaire faune-flore a été réalisé par Biotope en 2018, dans le cadre de l'étude d'impact relative au projet de reconstruction du barrage de Beaulieu. Les paragraphes suivants sont issus de cette étude.

#### 2.3.3.1. Flore patrimoniale

Le long du canal de Fréparoy sur le dernier tiers en direction du canal Terray, une espèce patrimoniale, l'**Euphorbe des marais**, a été localisée sur trois points au sein de l'aire d'étude (figure suivante). **L'enjeu qui accompagne cette espèce est fort**, d'après l'inventaire Faune/Flore réalisé par Biotope (2018). Une attention particulière doit être portée à la non-destruction de spécimens.

Trois autres localisations ont été relevées accompagnées de Samole de Valerand. Néanmoins, ils se trouvent dans un périmètre plus éloigné du canal.

D'autres espèces patrimoniales sont présentes dans un périmètre éloigné de l'aire d'étude, essentiellement au Nord-Est du canal. Cette zone constitue une zone à enjeu. Le volet de compensation de la mulette épaisse ne devrait pas impacter cette zone.

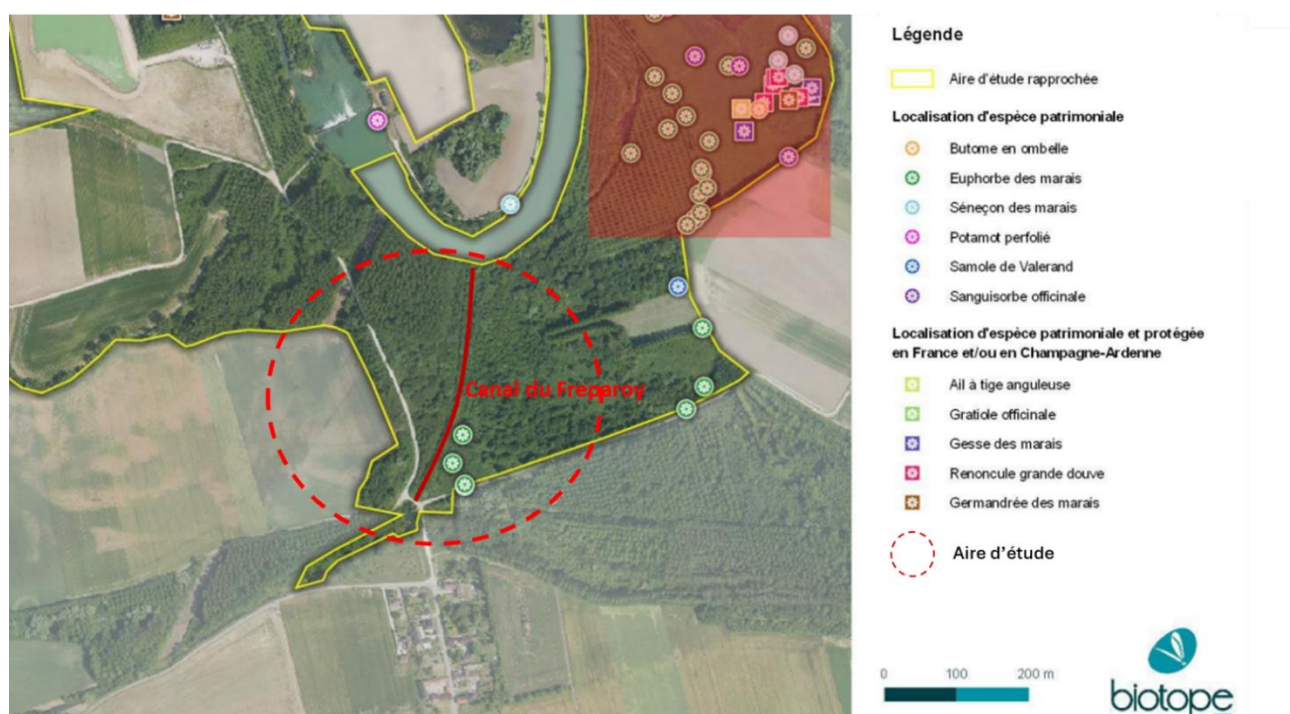


Figure 10. Localisation de la flore patrimoniale à proximité de l'aire d'étude (Source : Biotope, 2018)

#### 2.3.3.2. Flore invasive

La flore invasive relevée par Biotope lors de leur inventaire se trouve éloignée du canal, hors aire d'étude du projet pour le volet de mesures de compensation relatif à la mulette épaisse.



### 2.3.3.3. Faune patrimoniale

#### 2.3.3.3.1. Rhopalocères

Aucune espèce de Rhopalocère patrimoniale n'est présente dans l'aire d'étude.

Trois espèces de Rhopalocères sont présentes dans un périmètre éloigné de l'aire d'étude :

- Le Flambé, enjeu moyen (IDF) à fort (local, Champagne Ardenne CHA) ;
- Le Cuivré des marais, enjeu fort (CHA) à très fort (IDF et local)
- Le Petit Mars changeant, enjeu faible (IDF, CHA et local).

Le Cuivré est également une espèce protégée en France.

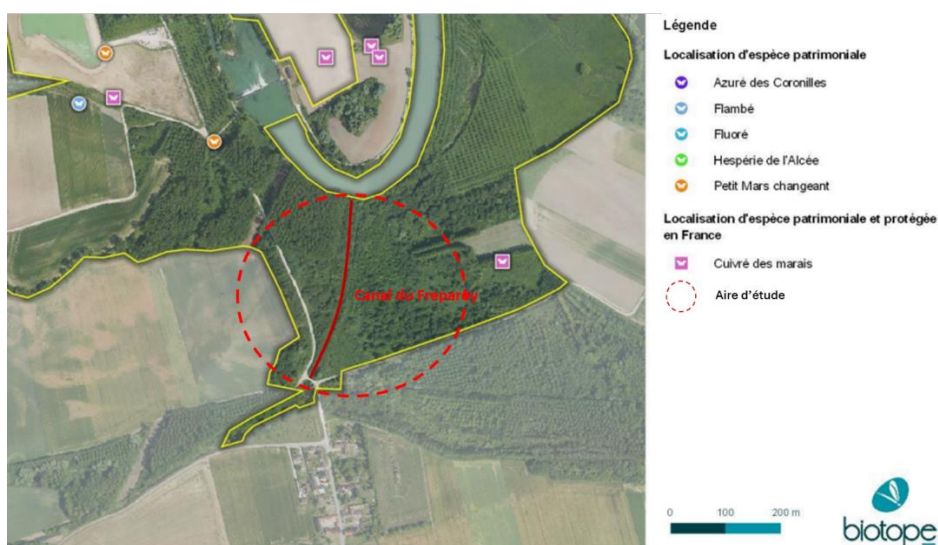


Figure 11. Localisation des espèces de Rhopalocères présentes dans un périmètre éloigné de la zone d'étude  
(Source : Biotopie, 2018)

#### 2.3.3.3.2. Odonates

Trois espèces d'Odonates sont présentes au sein de l'aire étude (figure suivante) :

- Le Caloptéryx vierge, enjeu faible (IDF, Champagne Ardenne CHA et local),
- Le Gomphe à forceps, enjeu faible (CHA) à moyen (IDF et local),
- La Cordulie bronzée, enjeu faible (IDF, CHA et local).

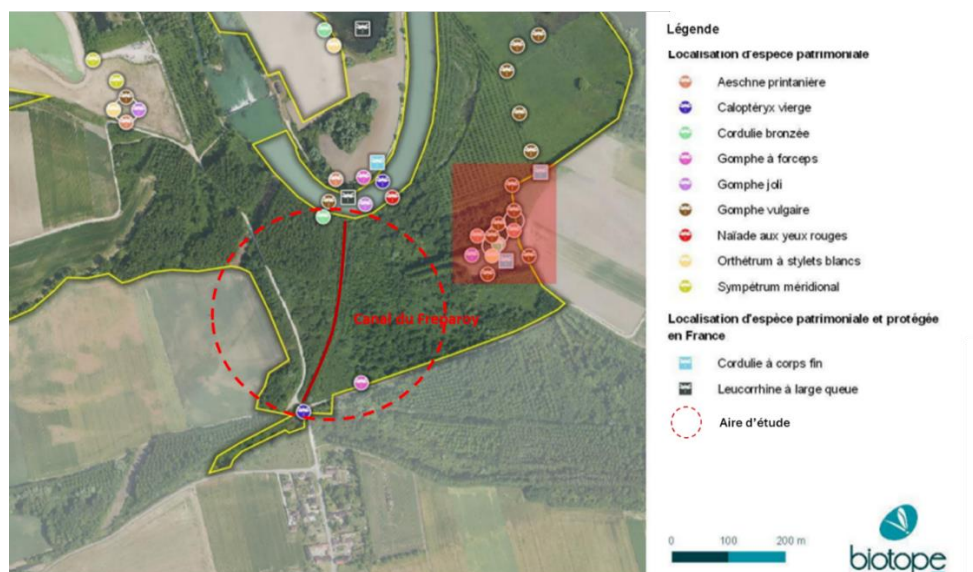


Figure 12. Localisation des espèces d'Odonates patrimoniaux et/ou protégées à proximité du canal de Fréparoy (Source : Biotopie, 2018)

#### 2.3.3.3.3. Orthoptères

Aucune espèce d'Orthoptère patrimoniale n'est présente au sein de l'aire d'étude (figure suivante). Néanmoins, dans un périmètre éloigné, plusieurs espèces ont été identifiées, notamment au Nord Est de l'aire d'étude. Le volet de compensation relatif à la mulette épaisse n'impactera pas ces dernières.

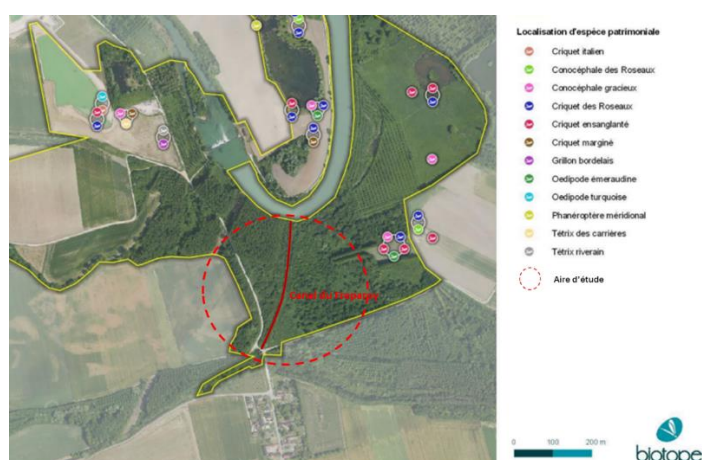


Figure 13. Localisation des espèces d'orthoptère patrimoniales à proximité de l'aire d'étude (Source : Biotopie, 2018)

#### 2.3.3.3.4. Amphibiens

La grenouille commune se trouve à proximité de l'aire d'étude, cette espèce est considérée comme patrimoniale et protégée en France. Au regard des déplacements possibles de cette espèce entre les différents sites (reproduction, hivernage et de transit), on pourrait la retrouver au sein de l'aire d'étude. Une attention particulière doit être portée à la préservation de cette espèce et de ses habitats.

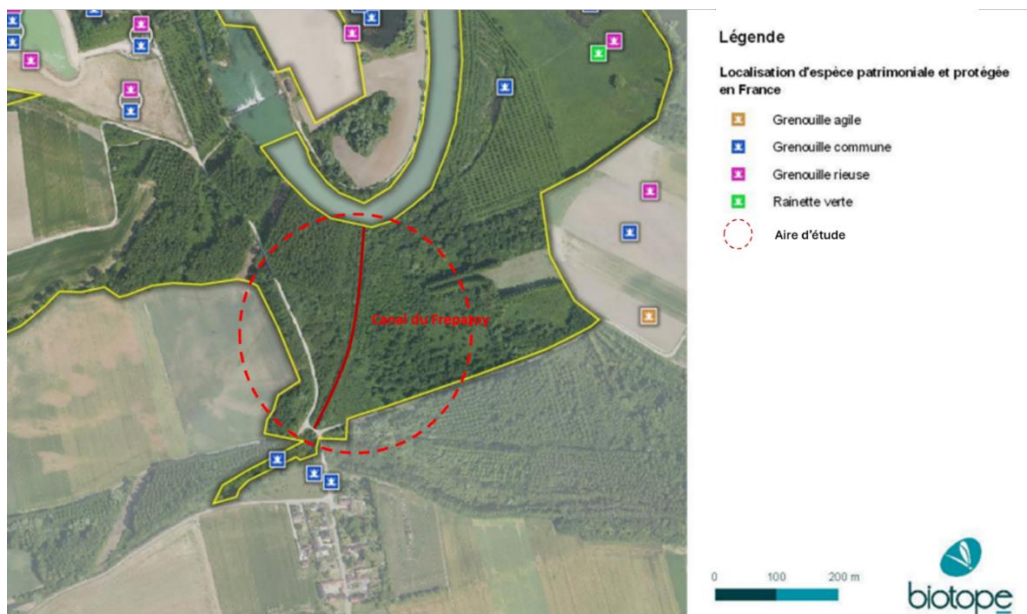


Figure 14. Localisation des espèces d'amphibiens présentes à proximité de l'aire d'étude (Source : Biotopie, 2018)

#### 2.3.3.3.5. Reptiles

Au sein d'un périmètre éloigné de l'aire d'étude, trois espèces de reptiles ont été relevées par l'inventaire de Biotopie :

- L'Orvet fragile
- La couleuvre helvétique
- Le lézard des murailles

Les principaux secteurs de ces espèces sont les boisements alluviaux, les berges arborées et arbustives des étangs et les haies bocagères. L'inventaire Biotopie rapporte un enjeu faible pour les reptiles.

#### 2.3.3.3.6. Avifaune

Les espèces patrimoniales et/ou protégées nicheuses qui ont été observées au sein de l'aire d'étude sont les suivantes :

- Verdier d'Europe, enjeu faible (IDF) à moyen (local, Champagne Ardenne CHA)
- Bruant jaune, enjeu moyen (IDF, CHA et local)
- Tourterelle des bois, enjeu moyen (IDF, CHA et local)
- Bouvreuil pivoine, enjeu moyen (IDF, CHA et local)
- Chardonnet élégant, enjeu moyen (IDF, CHA et local)
- Bruant des roseaux, enjeu moyen (IDF, CHA et local)
- Pic épeichette, **enjeu moyen (CHA) fort (local) à très fort (IDF)**



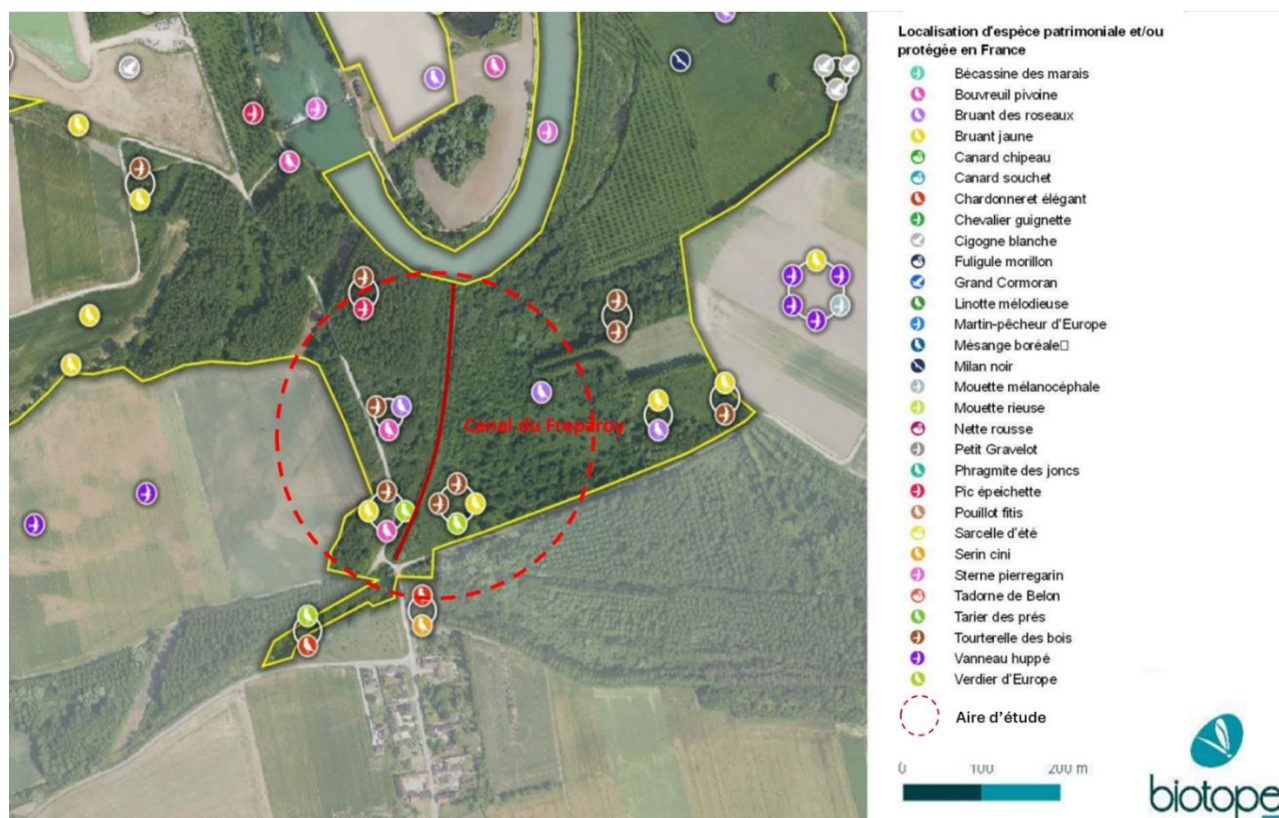


Figure 15. Localisation de l'avifaune patrimoniale et/ou protégée au sein de l'aire d'étude (Source : Biotopie, 2018)

En période internuptiale, l'inventaire réalisé par Biotopie a relevé aucune espèce au sein de l'aire d'étude. Les espèces présentes à cette période se trouvent dans un périmètre éloigné. Leur localisation est relevée sur la carte suivante :

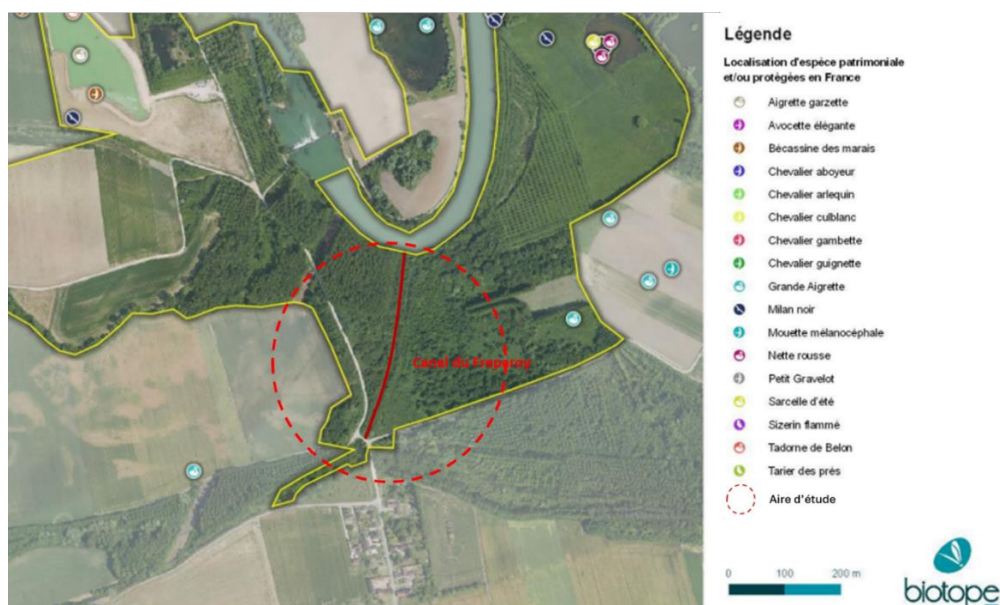


Figure 16. Localisation de l'avifaune en période internuptiale (Source : Biotopie, 2018)

#### 2.3.3.3.7. Mammifères

L'écureuil roux (espèce protégée) a été relevé lors de l'inventaire au Nord-Ouest de l'aire d'étude. L'enjeu autour de cette espèce a été qualifié de faible lors de l'inventaire.

#### 2.3.3.3.8. Chiroptères

Lors de l'inventaire en 2018, un point d'écoute a été réalisé en juin puis en septembre au niveau du pont, à la confluence entre le canal de Fréparoy et le canal Terray. Plusieurs espèces ont été identifiées :

- Oreillards indéterminés
- Noctule de Leisler, **enjeu assez fort (IDF et local) à très fort (Champagne Ardenne CHA)**
- Noctule commune, **enjeu moyen (local) à fort (IDF et CHA)**
- Murin indéterminé
- Barbastelle d'Europe, **enjeu très fort (IDF, CHA et local)**
- Sérotine/Noctule
- Pipistrelle de Nathusius, **enjeu moyen (IDF, CHA) à assez fort (local)**
- Pipistrelle de Kuhl, enjeu faible à moyen (CHA, local)
- Pipistrelle pygmée, **enjeu faible (IDF et CHA) à très fort (local)**
- Pipistrelle commune, **enjeu faible (local), moyen (CHA) à assez fort (IDF)**
- Minioptère

Un point d'écoute a été effectué en septembre 2018 à l'Est proche de l'aire d'étude. Les mêmes espèces que le point d'écoute précédent ont été identifiées, sauf pour le minioptère ; le Murin de Natterer a été recensé.

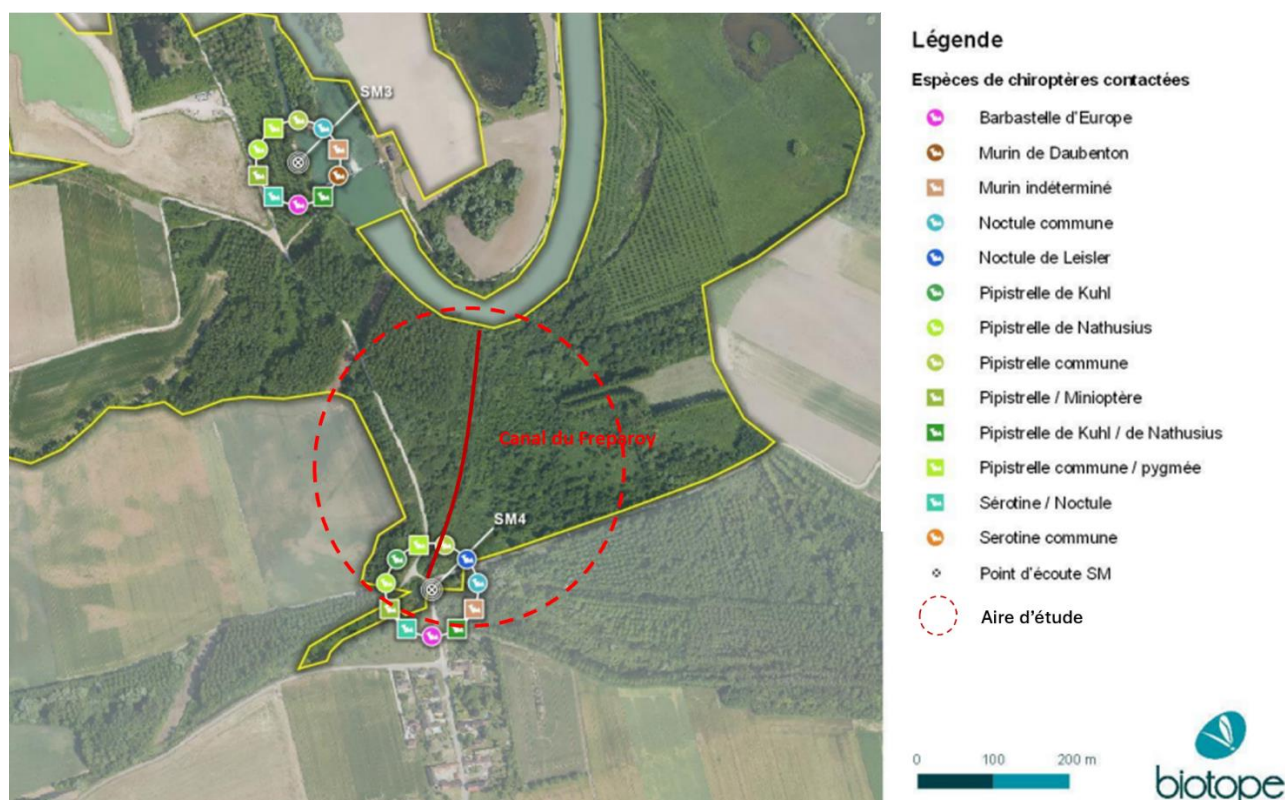


Figure 17. Identification des chiroptères présents au sein de l'aire d'étude en juin 2018 (Source : Biotope, 2018)



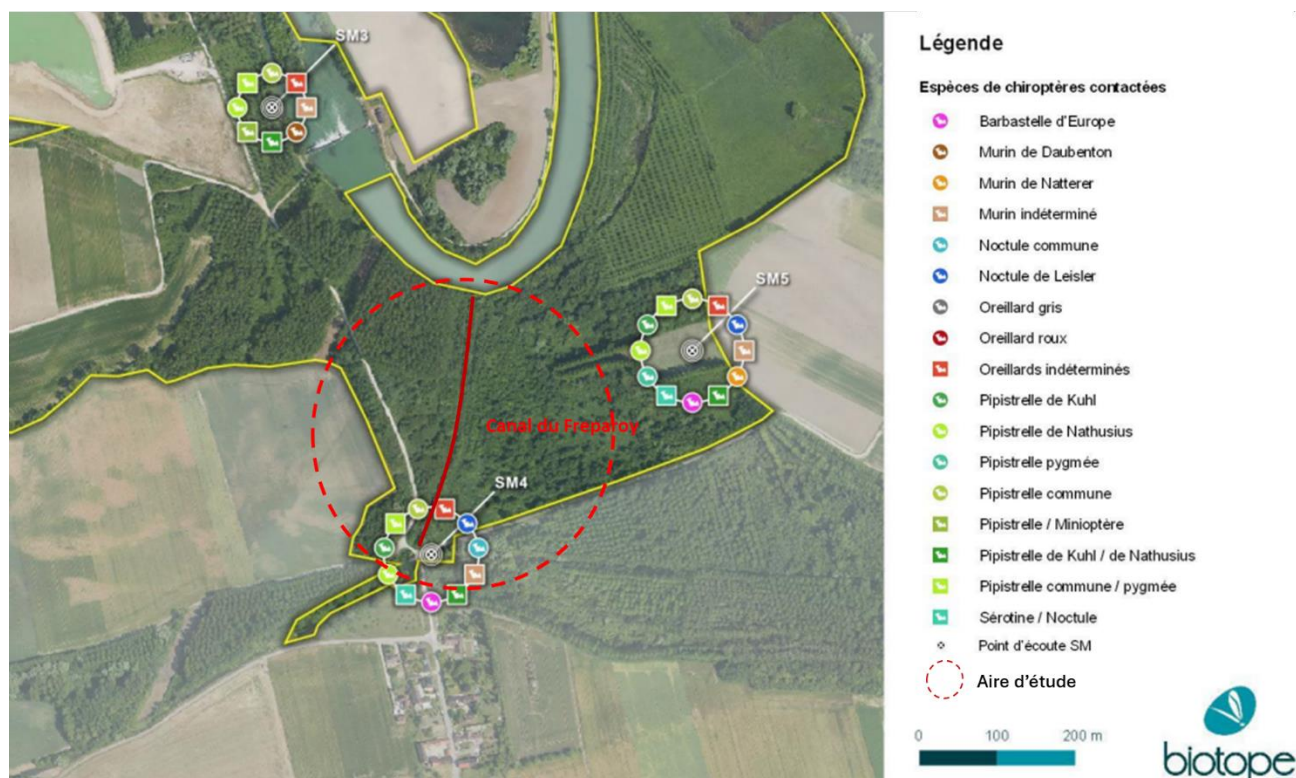


Figure 18. Identification des chiroptères présents au sein de l'aire d'étude en septembre 2018 (Source : Biotope, 2018)

#### 2.3.3.3.9. Poissons

Au sein du canal de Fréparoy, deux espèces de poissons ont été capturées par Biotope lors de l'inventaire bivalves : la Lamproie de Planer (*Lampetra planeri*) et la Loche de rivière (*Cobitis taenia*). Ces deux espèces sont protégées. L'enjeu pour la faune piscicole lithophile est donc à prendre en compte dans les propositions d'actions sur ce canal.

En Seine, à proximité du barrage de Beaulieu, 6 espèces protégées ont été relevées, dont les deux citées précédemment, et la vandoise commune (*Leuciscus leuciscus*), le brochet (*Esox lucius*), l'anguille (*Anguilla anguilla*), la bouvière (*Rhodeus amarus*). Des zones de frayères pour ces espèces sont également présentes à proximité du barrage.

**Au regard des espèces présentes au sein du canal et à proximité, le contexte piscicole est à prendre en compte dans la conception du volet de compensation de la mulette épaisse.**

Des données piscicoles plus récentes sont fournies au § 2.3.4.

#### 2.3.3.3.10. Mollusques aquatiques

Lors du diagnostic effectué par Biotope sur le canal de Fréparoy, **un individu juvénile vivant de mulette épaisse** a été retrouvé. D'anciennes coquilles de *Unio crassus*, *Unio pictorum*, *Unio tumidus* et *Anodonta anatina* ont été collectées. Une espèce de bivalve invasive vivante, la Corbicule asiatique, est présente. Cette dernière nuit aux populations de Mulette en raison d'une compétition élevée pour les ressources.

A proximité du canal, en Seine, plusieurs espèces de bivalves ont été observées : la Mulette méridionale (*Unio mancus*), la Mulette des peintres (*Unio pictorum*) et la Mulette épaisse (*Unio crassus*). La Corbicule asiatique (*Corbicula fluminea*) est fortement présente dans la zone.

La malacofaune est à prendre en compte afin de ne pas nuire au maintien de ces populations et ne pas risquer de disperser ou favoriser le développement des populations de *Corbicule* asiatique.

#### 2.3.3.4. Faune invasive

Au sein de l'aire d'étude, des ragondins et des oies du Canada sont présents. Le ragondin représente une forte menace pour les populations de mulette épaisse en raison de son caractère de prédateur pour l'espèce. Une destruction des ragondins est recommandée. La localisation des espèces sur le site est la suivante :

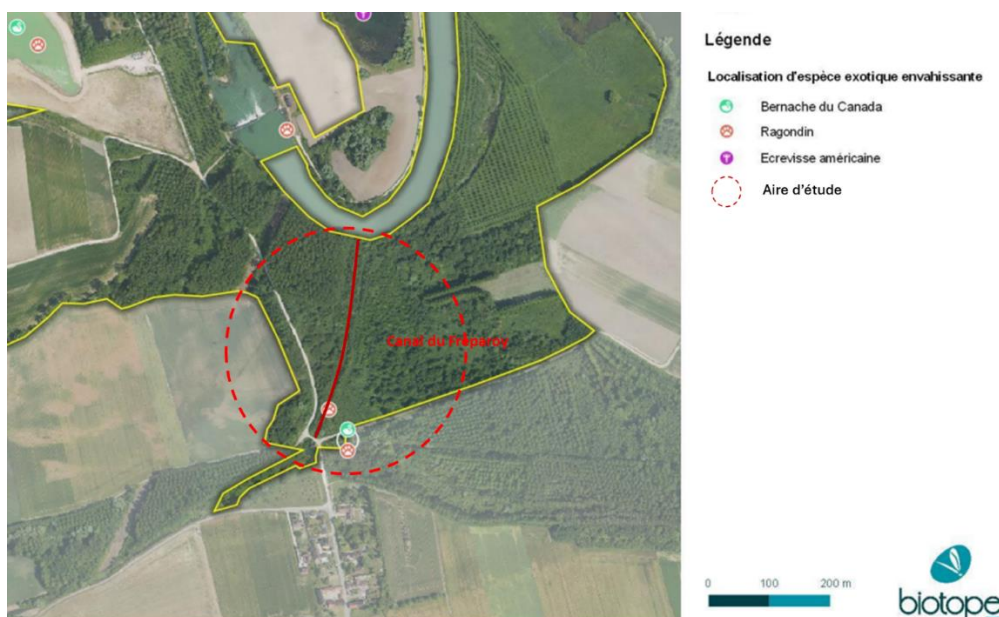


Figure 19. Localisation de la faune envahissante (Source : Biotopie, 2018)

#### 2.3.4. Inventaires aquatiques – Aquascop, 2024

Le détail des inventaires est présenté dans le rapport Aquascop en Annexe. Une synthèse est proposée dans les § suivants.

##### 2.3.4.1. Éléments de méthodologie

L'état initial du milieu aquatique concerne le canal de Fréparoy, de la prise d'eau en Seine jusqu'à la confluence avec le canal Terray, soit 360 m.

Les prospections ont concerné la flore aquatique et les principaux groupes de faune aquatique (poissons, crustacés, vertigos) représentatifs de la biodiversité du canal de Fréparoy.

Le tableau suivant indique les dates de réalisation des différentes interventions de terrain.

Tabl. 3 - Interventions de terrain

Date	Commentaire
<b>Inventaire des habitats naturels aquatiques et de la flore</b>	
22 juillet 2024	1 passage estival. Hydrologie élevée par rapport à la normale.
<b>Inventaire des poissons</b>	
3 juillet 2024	Pêche électrique partielle par points.
<b>Inventaire des habitats piscicoles</b>	
2 juillet 2024	Conditions météorologique optimales (temps sec, nuageux, vent faible).
<b>Inventaire des crustacés</b>	
Nuit du 3 au 4 juillet 2024	Pose de quatre nasses à écrevisses
<b>Inventaire des vertigos</b>	
22 juillet 2024	Relevés par secouages d'hélophytes (absence de litière humide).

2.3.4.2. Habitats et flore aquatique

L’habitat naturel suivant a été recensé dans l’aire d’étude : végétation des rivières eutrophes à débit lent.

Au cours des investigations botaniques, 37 espèces végétales aquatiques ont été recensées dans l’aire d’étude. Au regard de la pression d’inventaire, ce chiffre apparaît relativement élevé en raison de la relative diversité hydromorphologique du milieu.

Parmi ces espèces, il faut remarquer la présence de :

- 1 espèce végétale patrimoniale, *Potamogeton friesii* ;
- 2 espèces végétales exotiques à caractère envahissant.





Au regard des éléments précédemment décrits, l'aire d'étude présente un enjeu moyen pour la flore aquatique (habitat communautaire en bon état de conservation, relativement commun mais présentant une certaine diversité floristique).

Une seule espèce patrimoniale a été observée, *Potamogeton friesii*. Celle-ci, présente très ponctuellement, constitue un enjeu majeur, puisque l'espèce est présumée disparue de Champagne-Ardenne.

On note la présence régulière d'espèces invasives sur le site (notamment *Elodea nuttallii*).

### 2.3.4.3. Habitats et faune piscicole

#### a. Bibliographie

Une revue bibliographique du peuplement piscicole potentiellement présent sur le site d'étude a été effectuée.

Aucune donnée d'inventaire piscicole réalisée spécifiquement dans la zone d'étude n'est disponible dans la littérature. Néanmoins, la loche de rivière (*Cobitis taenia*) et la lamproie de Planer (*Lampetra planeri*) ont été observées sur le site d'étude en 2023 (source : BIOTOPE), dans le cadre du diagnostic du canal de Fréparoy (mesure de compensation ciblée sur la « Mulette épaisse », en lien avec la reconstruction du barrage de Beaulieu).

Par ailleurs, une station de pêche du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) gérée par l'OFB est située à proximité de la zone d'étude, sur la Seine à environ 7,6 km en aval de la connexion avec le canal de Fréparoy. Il s'agit de la station : 03012100 – La Seine à Courceroy 1, qui a été pêchée à six reprises lors des dix dernières années. Ces inventaires permettent de dresser une première liste d'espèces potentiellement présentes dans la zone d'étude.

Vingt-huit espèces piscicoles et une espèce d'écrevisses ont été recensées sur cette station depuis 2014. Ces espèces sont potentiellement présentes dans le canal de Fréparoy.

Parmi l'ensemble des espèces piscicoles mises en évidence dans la revue bibliographique, trois bénéficient d'un statut de patrimonialité (l'anguille européenne, le brochet commun et la loche épineuse), et cinq d'un statut de protection au niveau national (la bouvière, le brochet commun, la lamproie de Planer, la loche épineuse et la vandoise commune).

Enfin, notons que la perche-soleil et l'écrevisse américaine sont des espèces susceptibles de provoquer des déséquilibres biologiques.

#### b. Habitats piscicoles

L'inventaire des habitats piscicoles a pris la forme de relevés simples des éléments directement observables dans la zone d'étude rapprochée : le canal de Fréparoy.

La cartographie suivante fait état des substrats et des supports présents sur l'ensemble du linéaire de la zone d'étude.

Le tracé du canal de Fréparoy reliant la Seine au canal Terray est rectiligne avec une largeur moyenne d'environ six mètres et une profondeur moyenne de soixante centimètres. Les vitesses d'écoulement estimées lors du passage les 2, 3 et 4 juillet, étaient proches de 30 cm/s en surface, voire même supérieures sur certaines portions. Les vitesses d'écoulement étaient en revanche nettement moins importantes plus en profondeur, en raison d'une végétation aquatique abondamment développée.

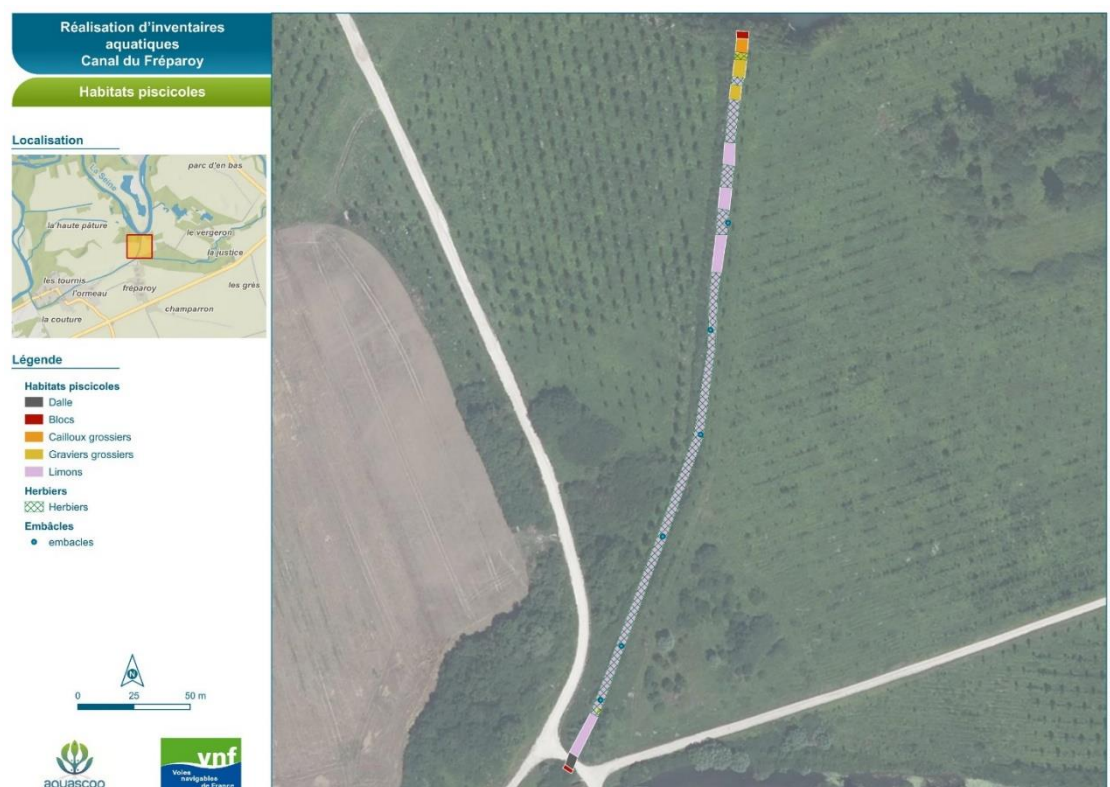


Figure 22. Habitats piscicoles (Aquascop)

Les habitats observés sont relativement homogènes, avec notamment un substrat très majoritairement limoneux, voire limono-sableux sur des portions marginales du linéaire. Plus accessoirement, une dalle argileuse a été mise en évidence le long des berges. De la vase a aussi été observée plus ponctuellement au niveau des quelques embâcles et branchages immergés recensés dans la zone d'étude.

Par ailleurs, des blocs ont été relevés à l'extrémité de la zone d'étude : à proximité de la connexion avec la Seine, et du canal Terray. Enfin, d'autres substrats (des graviers grossiers et des cailloux grossiers) ont été observés dans le canal de Fréparoy, à moins de trente mètres de la connexion avec la Seine, toutefois très fortement colmatés par les sédiments fins. Il n'a pas été mis en évidence d'habitat rivulaire favorable, excepté les amas de branches localisés le long des berges.

Comme énoncé plus haut, la végétation aquatique est très développée dans le canal de Fréparoy. Plusieurs herbiers de potamots pectinés fortement colmatés par les algues filamenteuses ont été inventoriés sur les deux-tiers aval du linéaire. Sur le tiers-amont du linéaire, ce sont les herbiers de renoncules qui sont dominants ; des herbiers de rubaniers ont également observés, et le colmatage par les algues filamenteuses est beaucoup plus faible.

Dans l'ensemble, cet inventaire met en évidence des habitats aquatiques assez peu diversifiés :

- La végétation aquatique (hydrophytes), fortement présente dans le canal de Fréparoy, est particulièrement appréciée par les espèces dites phytophiles. Ainsi, les différents herbiers recensés fournissent des abris et constituent des zones d'alimentation pour de nombreuses espèces piscicoles. Ce type de support est notamment recherché par le brochet pour la reproduction, bien que généralement moins favorable par rapport aux plaines d'inondation où se développent les graminées. Le colmatage par les algues filamenteuses est toutefois limitant. La végétation dense est également recherchée par la loche de rivière ainsi que certains cypriniformes : ablette, brème, carpe, tanche, chevaine, gardon pour leur reproduction.

- Les secteurs limono-sableux (voire limoneux) peuvent accueillir par exemple des oligochètes et chironomidés qui sont une source d'alimentation pour plusieurs espèces dont la loche de rivière qui peut également utiliser ce substrat pour s'enfouir durant la journée (en tant qu'habitat de repos).
- Les quelques blocs, peuvent aussi constituer des abris et de zones d'alimentation pour de nombreuses espèces, notamment l'anguille européenne.
- Les rares embâcles (branchages, arbres) relevés ont aussi un certain niveau d'habitabilité en tant qu'abri ou support de ponte.

### c. Résultats de la pêche électrique

L'opération de pêche électrique, réalisée le 3 juillet 2024, a donné lieu à la capture de dix espèces de poissons et une espèce d'écrevisse dans le canal de Fréparoy. Le tableau suivant présente un récapitulatif des espèces recensées.

Tabl. 4 - Résultats de la pêche électrique réalisée le 3 juillet 2024.

Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre total	% des captures	Poids total (g)	% de la biomasse
Anguille européenne	<i>Anguilla anguilla</i>	3	3 %	2 948	21 %
Brochet commun	<i>Esox lucius</i>	21	22 %	1 643	12 %
Chabot fluviatile*	<i>Cottus perifretum</i>	5	5 %	28	0,2 %
Chevaine*	<i>Squalius cephalus</i>	11	11 %	645	5 %
Ecrevisse américaine	<i>Faxonius limosus</i>	14	15 %	122	1 %
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	9	9 %	80	1 %
Goujon commun	<i>Gobio gobio</i>	4	4 %	14	0,1 %
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	2	2 %	5	0,04 %
Loche de rivière	<i>Cobitis taenia</i>	18	19 %	46	0,3 %
Perche-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	4	4 %	42	0,3 %
Silure glane	<i>Silurus glanis</i>	5	5 %	8 194	60 %
<b>TOTAL</b>		<b>96</b>	<b>100 %</b>	<b>13 767</b>	<b>100 %</b>

\*poisson hôte de la Mulette épaisse

Le peuplement piscicole du canal de Fréparoy est dominé par un poisson au régime principalement ichthyophage : le brochet commun avec 22 % des effectifs capturés, suivi de la loche de rivière (avec 19 %). Les espèces exotiques envahissantes représentent 19 % des captures, dont 15 % pour l'écrevisse américaine et 4 % pour la perche-soleil. Le chevaine tout comme le gardon sont bien représentés dans le peuplement et représentent respectivement 11 % et 9 % des effectifs capturés. Les autres espèces sont plus marginales, elles représentent chacune, 5 % ou moins, des effectifs capturés : avec respectivement 5 % pour le chabot fluviatile et le silure glane, 4 % pour le goujon commun, 3 % pour l'anguille européenne et 2 % pour la loche franche.

Bien que marginal, le silure glane domine en termes de biomasse (avec 60 %) en raison de la capture de gros individus. De la même manière, les trois anguilles européennes inventoriées constituent 21 % de la biomasse capturée. Enfin, le brochet commun qui domine les effectifs, représente 12 % de la biomasse pêchée, ce qui illustre la présence majoritaire de jeunes individus.



Les photographies suivantes illustrent l'ensemble des espèces capturées lors de l'inventaire par pêche électrique.



Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)



Brochet commun (*Esox lucius*)



Chabot fluviatile (*Cottus perifretum*)



Chevaine (*Squalius cephalus*)



Ecrevisse américaine (*Faxonius limosus*)



Gardon (*Rutilus rutilus*)



Goujon commun (*Gobio gobio*)



Loche franche (*Barbatula barbatula*)



Loche de rivière (*Cobitis taenia*)



Perche-soleil (*Lepomis gibbosus*)  
Photo prise hors site d'étude



Silure glane (*Silurus glanis*)

Figure 23.      Espèces inventoriées dans le canal de Fréparoy



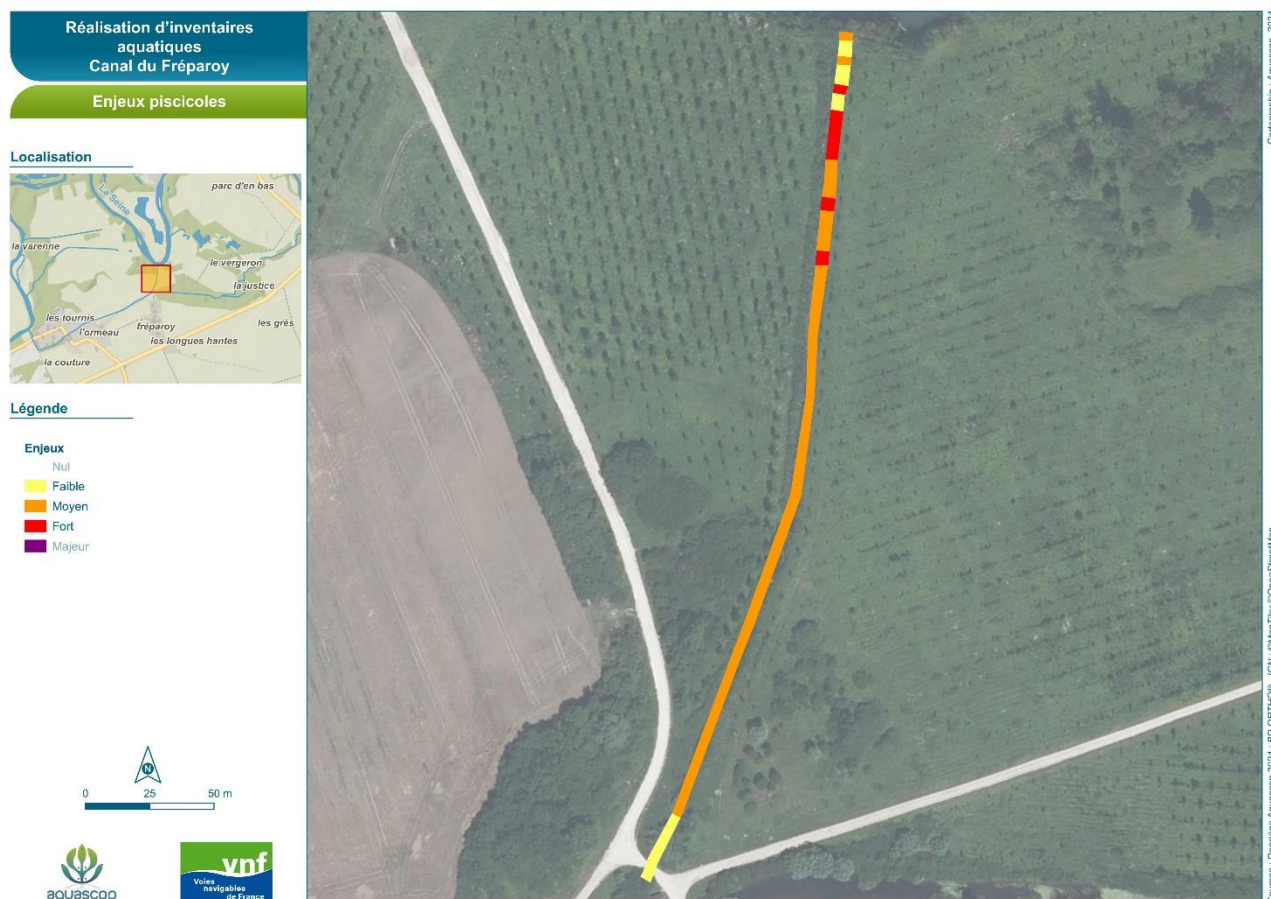


Figure 24. Bilan des enjeux piscicoles (Aquascop)

#### 2.3.4.4. Crustacés

Une seule espèce d'écrevisse a été observée dans la zone d'étude, il s'agit de l'écrevisse américaine. Cette espèce exotique envahissante est une redoutable compétitrice qui occupe la niche écologique des espèces indigènes et notamment de l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*), l'espèce indigène la plus répandue historiquement. De plus, l'écrevisse américaine est responsable de la diffusion de pathogènes (elle est porteuse saine), qui impactent fortement les effectifs d'espèces indigènes.

Au regard de ces différents éléments, l'aire d'étude rapprochée présente un intérêt considéré comme nul pour les crustacés.

#### 2.3.4.5. Mollusques bivalves

##### a. Données bibliographiques

BIOTOPE a réalisé en 2023/2024, un diagnostic du canal de Fréparoy, avec des investigations menées sur la recherche d'espèces bivalves et plus spécifiquement sur la mulette épaisse (*Unio crassus*).

Une espèce protégée est observée dans l'aire d'étude : un individu de mulette épaisse au stade juvénile.

Au regard des éléments précédemment décrits, l'aire d'étude présente un enjeu fort pour les mollusques bivalves.

On note la présence d'une espèce invasive sur le site : la corbicule asiatique.

##### b. Statuts et enjeux patrimoniaux des mollusques bivalves aquatiques

2 espèces de mollusques bivalves peuvent être considérées comme présentes dans le canal de Fréparoy (organismes vivants) :

- Mulette épaisse (*Unio crassus*),
- Corbicule asiatique (*Corbicula fluminea*),

Parmi ces espèces, il faut remarquer la présence de :

- 1 espèce protégée ;
- 1 espèce invasive.

#### 2.3.4.6. Mollusques semi-aquatiques

Une seule espèce d'écrevisse a été observée dans la zone d'étude, il s'agit de l'écrevisse américaine. Cette espèce exotique envahissante est une redoutable compétitrice qui occupe la niche écologique des espèces indigènes et notamment de l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*), l'espèce indigène la plus répandue historiquement. De plus, l'écrevisse américaine est responsable de la diffusion de pathogènes (elle est porteuse saine), qui impactent fortement les effectifs d'espèces indigènes.

Au regard de ces différents éléments, **l'aire d'étude rapprochée présente un intérêt considéré comme nul pour les crustacés.**

#### 2.3.4.7. Synthèse des inventaires aquatiques

Les différentes données collectées dans le cadre de cette étude et rappelées ci-après ont permis d'appréhender l'intérêt des milieux de l'aire d'étude rapprochée :

- Cartographie des habitats naturels aquatiques et de la végétation
- Inventaire des mollusques bivalves (bibliographie, données 2023)
- Inventaire des mollusques semi-aquatiques (recherche de vertigos)
- Inventaire des crustacés aquatiques
- Inventaires des poissons et cartographie des frayères et habitats piscicoles.

Afin de mettre en évidence les principaux groupes à enjeu écologique contextualisé au sein de l'aire d'étude rapprochée, le tableau de synthèse suivant a été établi.



Tabl. 5 - Synthèse des enjeux écologiques à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée

Enjeu contextualisé	Enjeux écologiques sur l'aire d'étude rapprochée	
	Groupes et/ou espèces liés	France
Majeur	Potamot de Fries <i>Potamogeton friesii</i>	Espèce échantillonnée dans le canal. Une seule station observée au Nord du cours d'eau. Environ 4 pieds observés.
Fort	Anguille européenne <i>Anguilla anguilla</i>	Espèce échantillonnée dans le canal. Présence de quelques habitats favorables en termes d'abris et d'alimentation, (végétation aquatique, branchages immergés/embâcles).
Fort	Brochet commun <i>Esox lucius</i>	Espèce échantillonnée et dominant les effectifs piscicoles. Présence de juvéniles. Présence d'habitats favorables en termes d'abris, d'alimentation voire de reproduction.
Fort	Mulette épaisse <i>Unio crassus</i>	Un seul individu de mulette épaisse au stade juvénile a été observé. La population dans le canal de Fréparoy apparaît très relictuelle comme en témoignent les coquilles anciennes d'individus adultes collectées. Des poissons hôtes de l'espèce peuvent coloniser le milieu, mais la connexion actuelle avec la Seine limite l'attractivité. La continuité écologique par l'aval est possible mais limitée aux périodes de hautes eaux (fréquence marginale) pour la remontée des espèces piscicoles.
Moyen	Végétation des rivières eutrophes	Habitat occupant toute l'aire d'étude. Habitat d'intérêt communautaire mais commun dans la région dans les cours d'eau de plaine. Leur état de conservation est jugé bon malgré la présence de quelques espèces invasives. La diversité floristique au sein de l'habitat y est relativement élevée.
Moyen	Loche de rivière <i>Cobitis taenia</i>	Espèce présente dans la zone d'étude. Seconde espèce piscicole la plus échantillonnée. Présence de zones favorables à l'accomplissement de phases clés du cycle biologique (reproduction, croissance des juvéniles).
Faible	Lamproie de Planer <i>Lampetra planeri</i>	Espèce non échantillonnée lors de la pêche électrique, mais mise en évidence dans le canal de Fréparoy en 2023. Présence de zones favorables à l'accomplissement de phases clés du cycle biologique (croissance des juvéniles) mais la reproduction semble peu probable en raison du colmatage du substrat.

Au vu de l'ensemble de ces éléments, le canal de Fréparoy a été évalué comme présentant un enjeu contextualisé fort sur l'ensemble de la zone d'étude et majeur au Nord du canal (station de Potamot de Fries).

### 2.3.5. Zones humides

D'après l'inventaire Faune/Flore réalisé par Biotope, l'aire d'étude se situe majoritairement en zone humide. Seulement une faible portion de l'aire d'étude est de type pro parte ou considérée comme un habitat non caractéristique de zones humides.

La carte des typologies d'habitat et des résultats des sondages est la suivante :



Figure 25. Localisation des zones humides au sein de l'aire d'étude et à proximité (Source : Biotope, 2018)

### 2.3.6. Continuités écologiques

La majorité de l'aire d'étude est incluse au sein du réservoir de biodiversité de la sous trame verte des milieux humides qu'il convient de préserver. L'aire est également concernée par un réservoir de biodiversité et un corridor à restaurer de la trame bleue. Le corridor est à restaurer afin de favoriser les déplacements des espèces de la zone.

Ces réservoirs et ce corridor ont été identifiés par Biotope dans le Schéma Régional de Cohérence Écologique de la région Champagne-Ardenne d'après la cartographie des composantes de la trame verte et bleue régionale validée par arrêté préfectoral le 8 décembre 2015.

La Seine, au Nord de l'aire d'étude, constitue également un habitat important pour un certain nombre d'espèces et joue un rôle dans la reproduction et le déplacement de la faune.

## 2.4. DIAGNOSTIC ECO-MORPHOLOGIQUE

### 2.4.1. Evolution au cours du temps

L'étude des cartes anciennes montre le peu d'évolution du canal de Fréparoy et Terray depuis leur aménagement.

Ainsi, leur tracé sur la carte d'Etat-Major (1820-1866) est quasiment le même qu'aujourd'hui, même s'il semble légèrement moins rectiligne par endroits, ce qui peut être dû au manque de précision de la carte ancienne.

Ces canaux sont entourés de zones figurées comme « humides » sur une grande partie de leur linéaire.



Figure 26. Photographie aérienne actuelle (à gauche) et Carte d'Etat-Major (à droite) du canal de Fréparoy (Source : IGN)



Figure 27. Photographie aérienne actuelle (à gauche) et Carte d'Etat-Major (à droite) du canal Terray (Source : IGN)

La photographie aérienne 1950-1965 montre surtout une évolution de l'occupation des sols : le canal de Fréparoy est clairement délimité par deux alignements d'arbres le bordant, eux-mêmes cernés de zones agricoles aujourd'hui remplacées par des peupleraies.

Le tracé reste identique.



Figure 28. Photographie aérienne actuelle (à gauche) et en 1950-65 (à droite) du canal de Fréparoy (Source : IGN)

## 2.4.2. Diagnostic de terrain

L'intégralité du linéaire a été parcourue à pied le 04/06/2024. Certains points-clés (connexion avec le canal Terray, alimentation du château de la Motte-Tilly, confluence canal Terray/Seine) ont également été visités.

Les observations et mesures de terrain concernant le volet hydromorphologique ont été les suivantes :

- Description des faciès d'écoulement du canal,
- Fond du lit : granulométrie, présence de colmatage,
- Nature et forme des berges,
- Formes d'érosion, dépôts,
- Ripisylve,
- Exutoires, rejets, points de prélèvement,
- Etc.

### 2.4.2.1. Canal de Fréparoy

Le canal a été parcouru sur l'ensemble de son linéaire soit 340 m. Un ensemble de mesures ont été effectuées afin d'évaluer l'éco-hydromorphologie du canal, dans le but de définir son éligibilité comme habitat de compensation pour la mulette épaisse dans le cadre de la reconstruction du barrage de Beaulieu.

Dans cette étude, le canal est analysé selon 5 tronçons éco-hydromorphologiques homogènes, représentés au sein de la carte suivante :



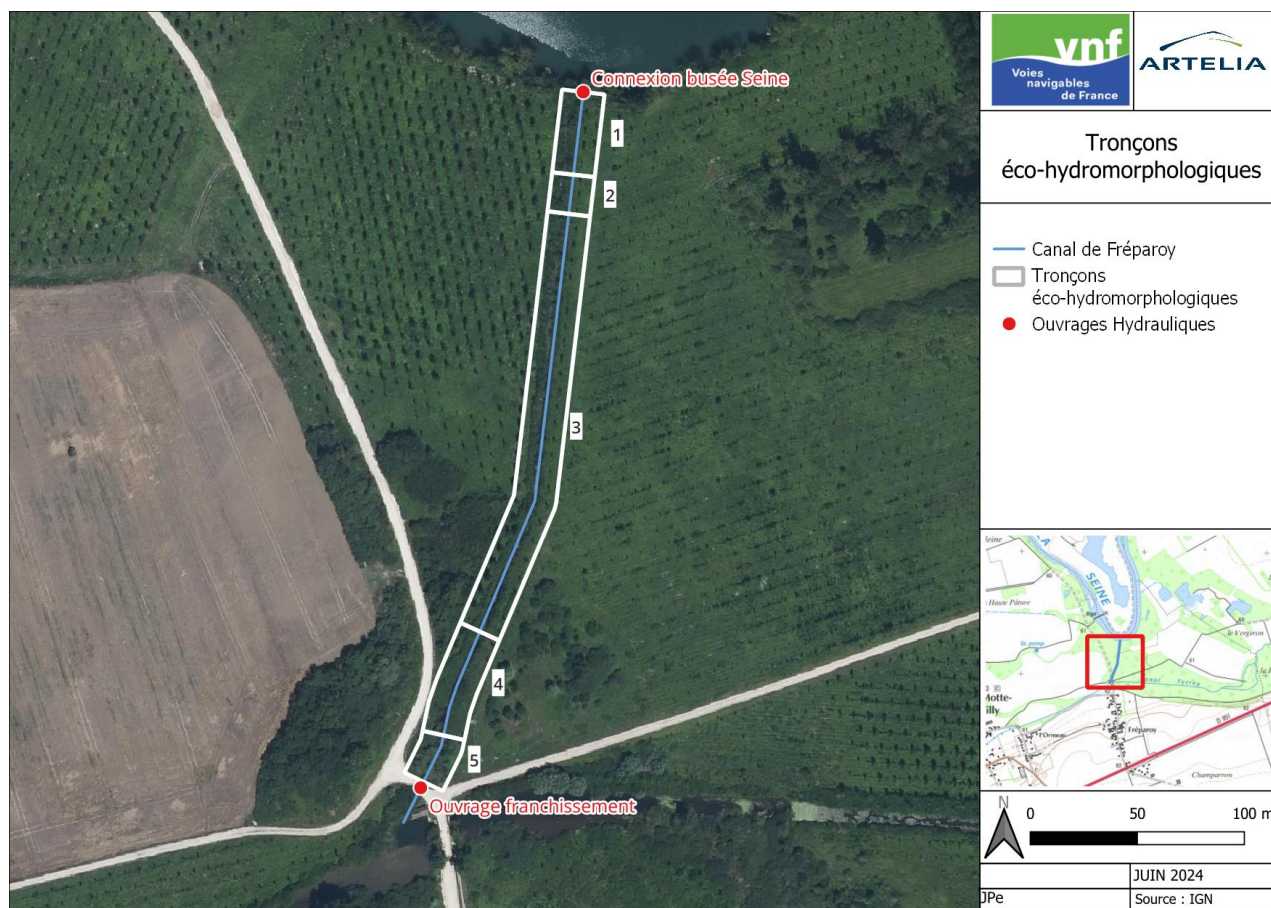






Figure 29. Carte de localisation des tronçons éco-hydromorphologiques analysés au sein de l'étude

Le diagnostic des tronçons est détaillé dans le tableau suivant :

Tronçon	Observations et diagnostic	Photos
1	<p>Ce premier tronçon est situé à l'amont du canal, à la confluence avec la Seine.</p> <p>Un ouvrage de connexion avec la Seine en pierre est présent d'une ouverture de l'ordre de 40 - 50 cm. Son état est dégradé. La maçonnerie est érodée, certaines pierres semblent fissurées.</p> <p>Ce tronçon apparaît profond (environ 1 m). L'écoulement y est lentique.</p> <p>Les berges sont verticales, basses (50 cm environ) et érodées. Une protection de berge en pierres est présente en rive droite à la suite de l'ouvrage de connexion. Cette protection semble absente en rive gauche, probablement éboulée.</p> <p>Les berges étaient végétalisées, néanmoins cette végétation et ripisylve a été abattue.</p> <p>Le substrat apparaît vaseux et colmaté.</p>	



2	<p>Ce second tronçon, localisé sur quelques mètres, présente un substrat plus diversifié composé de vase, de sables et de graviers. Il reste néanmoins colmaté.</p> <p>La hauteur d'eau est plus faible, de l'ordre de 50 – 60 cm environ. Le fond est plat et l'écoulement est lentique. On observe de la végétation aquatique.</p> <p>Les berges sont verticales, végétalisées et mesurent environ 50 cm. Néanmoins, la végétation des berges et la ripisylve ont été abattues. On observe certains arbres en berges encore présents. Des signes d'érosion sont présents en berges.</p>	
3	<p>Le troisième tronçon représente un peu plus de la moitié du canal.</p> <p>Au sein de ce linéaire, le fond est majoritairement vaseux et colmaté. Le fond est plat et l'écoulement lentique. Le tronçon est fortement colonisé par une végétation aquatique dense.</p> <p>La première moitié du linéaire présente des berges verticales d'environ 50 cm. Au sein de la seconde moitié, on observe des berges basses, d'une hauteur de 25 cm environ. La ripisylve a été abattue, seuls quelques arbres/arbrustes sont présents. Des traces d'érosion sont également visibles.</p> <p>La hauteur d'eau diminue également progressivement le long de ce linéaire d'amont en aval.</p>	
4	<p>Au sein de ce quatrième tronçon, on observe une granulométrie davantage diversifiée. Le substrat se compose de sable et de graviers majoritairement et quelques blocs. La vase est peu présente. Le fond apparaît peu colmaté.</p> <p>Le fond du lit est plat et l'écoulement est lentique. Le débit semble légèrement plus important. On observe une hauteur d'eau faible d'environ 40 cm. La végétation aquatique est moins dense.</p>	

	<p>Les berges sont basses (20 cm), érodées et verticales. La ripisylve a été abattue, quelques arbres sont préservés.</p>	
5	<p>Ce dernier tronçon se localise en amont de l'ouvrage de franchissement en aval et du canal Terray. L'ouvrage présente une ouverture d'environ 1 m.</p> <p>La végétation aquatique y est moins dense qu'au sein des tronçons précédents. La hauteur d'eau est également la plus faible, environ 30 cm. Le substrat se compose de sable, gravier et de blocs. La vase est peu présente.</p> <p>Le courant est lentique mais semble légèrement plus rapide à l'instar du tronçon précédent.</p> <p>On observe des berges végétalisées et basses, d'environ 15 cm. La ripisylve est absente, un arbre subsiste.</p>	





#### 2.4.2.2. Canal Terray

Lors de la visite des canaux le 5/06/24 le canal Terray a été parcouru de sa confluence avec le canal de Fréparoy jusqu'à la confluence en Seine en aval. Certaines portions semblent peu favorables à la mulette épaisse en raison notamment du substrat, des profondeurs d'eau et de la présence d'une forte végétation aquatique. Néanmoins, deux sites ont présenté un potentiel dans le cadre du projet :

Le premier se situe rue de l'Ormeau au pied de l'ouvrage de franchissement en amont. Des nombreux poissons ont été observés. Les conditions de substrat (sableux-graveleux) et d'écoulement apparaissent plus adaptées. Cette portion est moins colonisée par la végétation aquatique.

Le second emplacement se situe au pied du lavoir Rue de la Croix des Champs. Il présente des caractéristiques similaires au point précédent. Le lavoir constitue également un point d'ombrage.

### 3. EXIGENCES ECOLOGIQUES DE LA MULETTE EPAISSE

#### 3.1. LOCALISATION DES POPULATIONS FRANÇAISES DE MULETTE EPAISSE

La France constitue la limite occidentale de l'aire de répartition de cette espèce. La majeure partie des populations se trouvent dans le tiers Nord-Est du territoire. La mulette a été localisée en Ile-de-France au sein de : la Seine, la Marne, l'Oise, le Loing, l'Essonne, le Grand Morin, la Méranthaise, l'Opton, l'Aubetin, le Vannetin et l'Yvette. Des indices de sa présence ont également été détectés au sein du bassin de la Loire, de la Charente (ADNe, observations), de la Dronne (ADNe, observations) et dans le Rhône (ADNe)(Xavier Cucherat et al., 2021). Néanmoins, les données sur cette espèce sont manquantes pour de nombreux cours d'eau du territoire. Cette absence de données ne permet pas d'avoir une vision d'ensemble des populations françaises de mulette. De plus, cette absence de données n'indique pas une absence d'individus. La mulette est fréquemment observée dans la région Grand Est cependant cette occurrence est biaisée par l'effort de prospection scientifique effectué dans cette région par rapport au reste de la France.

#### 3.2. TYPOLOGIE DE COURS D'EAU

*Unio crassus* a été retrouvée au sein d'une variété de taille de cours d'eau, d'une largeur de plusieurs centaines de mètres jusqu'aux canaux/ruisseaux de petites tailles, à condition que certains paramètres physico-chimiques et hydrologiques soient respectés.

Vrignaud relève une largeur des cours d'eau qui varie entre 2,5 m à 200 m (Vrignaud, 2016). Cucherat et al, mentionnent que **la largeur n'est pas un paramètre important** pour cette espèce dans la mesure où elle est retrouvée au sein de cours d'eau de moins d'un mètre à plusieurs centaines de mètres (Xavier Cucherat et al., 2021).

La mulette se retrouve au sein d'habitats contenant d'autres espèces de moules d'eau douce comme la moule perlière, la mulette des peintres et l'anodonte des rivières (Hochwald, 2001; Sven Bjork, 1962; Sylvain Vrignaud, 2016). En ce qui concerne les poissons hôtes, la mulette est observée en zone à truite jusqu'aux zones à barbeau selon la classification de Huet. Deux espèces de flore sont relevées par Engel et Wachter, l'Elodée et la Glycerie (E Angelier, 2000; Engel & Wachtler, 1989).

La mulette peut également être retrouvée au sein de lacs. Cet habitat n'est que très peu privilégié par cette espèce, mais semble être colonisé à de rares occasions (Sylvain Vrignaud, 2016). Des milieux comportant un fort courant, charriant des blocs ou galets, pollués, saumâtres, temporaires, marégageux ou stagnants ne représentent pas un milieu de vie favorable. Aucune donnée n'est disponible sur sa présence dans les systèmes récents de drainage de parcelles agricoles (fossés, rigoles)(Xavier Cucherat et al., 2021).



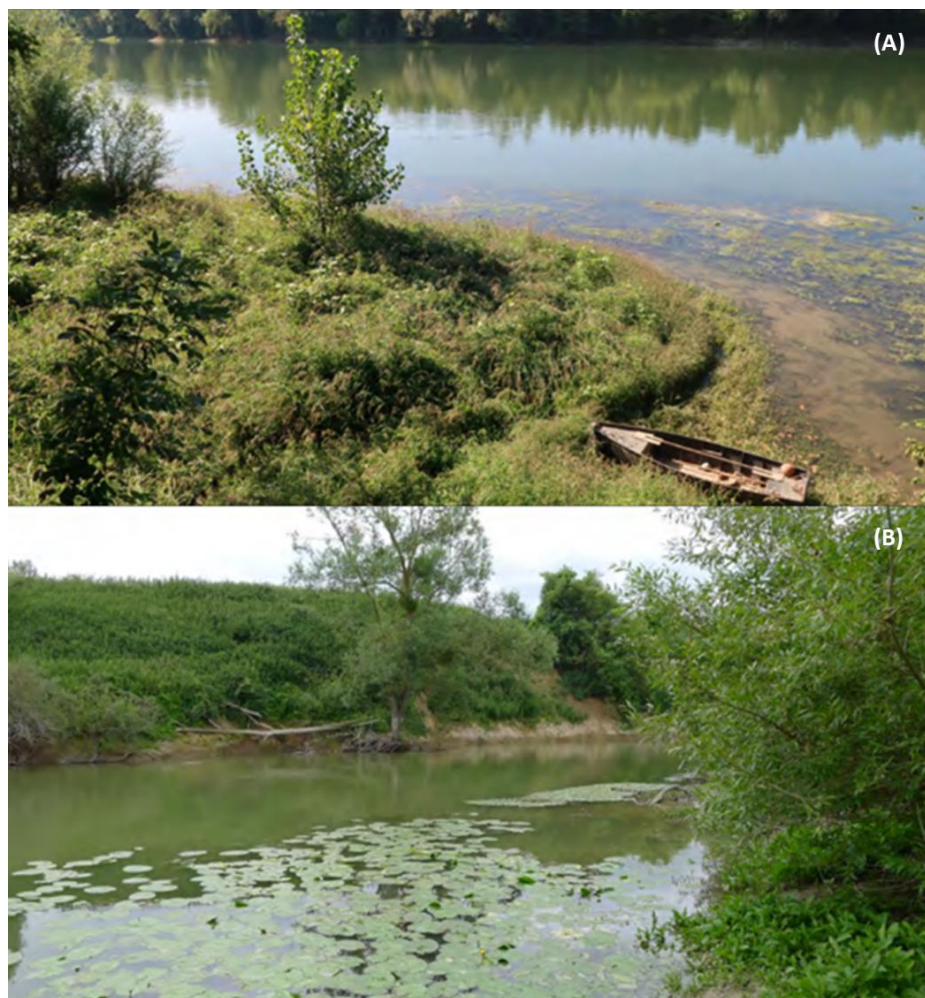


Figure 30. Exemple d'habitats potentiels d'*Unio crassus*, (A) grand cours d'eau graveleux (B) cours d'eau de taille moyenne en plaine agricole, modifié d'après (Xavier Cucherat et al., 2021). Crédit photos Vincent Prié.

### 3.3. VITESSE

Stoeckl et Geist en 2016 se sont penchés sur les exigences hydrologiques de cette espèce et révèlent une **vitesse d'écoulement moyenne comprise entre 0,11 et 0,31 m/s** au sein de cours d'eau abritant des populations fonctionnelles (Stockl, 2016; Stoeckl & Geist, 2016). La vitesse maximale au sein des zones colonisées a été mesurée entre 0,33 et 0,35 m/s à 60 % de profondeur. Les fortes densités de moules ont été observées en zone avec un écoulement **inférieur à 0,3 m/s**, de faibles résistances moyennes à la pénétration ( $0,36 \pm 0,52 \text{ kg cm}^{-2}$ ) ainsi que par une faible contrainte de cisaillement à proximité du lit ( $1,06 \pm 0,33 \times 10^{-6} \text{ N cm}^{-2}$ ).

Les auteurs mentionnent qu'une **faible contrainte de cisaillement, inférieure à  $1,5 \text{ N / cm}^2$ , est un paramètre important pour l'espèce**. Leur densité semblerait inversement proportionnelle à cette force au sein des cours d'eau (Stoeckl & Geist, 2016). Ces observations sont cohérentes avec les conclusions de Rantamo (Rantamo et al., 2023).

Vrignaud en 2016 énonce des valeurs de vitesses pour cette espèce comprises entre 0,10 m/s et 0,45 m/s (Sylvain Vrignaud, 2016). Cependant, au regard de la littérature, la borne haute de cette gamme de vitesse semble élevée et ne représente potentiellement pas une valeur idéale pour l'espèce.

### 3.4. PROFONDEUR

Les individus se situent **préférentiellement vers les berges/zones peu profondes**. Certains auteurs rapportent des profondeurs moyennes comprises entre **0,4 et 0,8 m** et une possibilité de vie en zone inférieure à 0,2 m (Vaessen et al., 2021). Fouillé rapporte, quant à lui, sur la Sûre des individus entre 0,2 et 0,7 m et 0,3 et 0,8 m pour Engel et Wächtler (Fouillé S, 2013; H Engel & k Wächtler, 1989). Vrignaud au sein de son mémoire, relève des profondeurs de 0,2 à 0,7 m. Ces données restent au sein du même ordre de grandeur entre les auteurs.

### 3.5. SUBSTRAT

La plupart du temps observée dans des milieux calcaires, elle peut être présente au sein de milieux plus acides (Prié, 2017).

En termes de substrat, ce mollusque est relevé sur des **sols stables, en zone gravier-sableux-argilo limoneux et gravier-sableux** (Vaessen et al., 2021). Les substrats doivent contenir une **forte proportion de gravier (60 %), une part de sable (35 %) et une faible proportion d'argile-limon (5 %)**.

Vaessen et al ont observé une concentration d'individus plus importante sur des dépôts de l'ordre de 3 mm de D50 et de 26 mm de D99 (Vaessen et al., 2021).

Les auteurs rapportent également un pourcentage de matière organique inférieur à 0,3 %.

Vrignaud mentionne qu'*Unio crassus* semble apprécier les bords des bancs de sable ou d'argile et les fonds sableux-graveleux ou sableux stables parfois des zones pierreuses. Cela est en accord avec l'étude de Vaessen et rejoint les publications récentes sur la relocalisation d'Unionidés (Newton et al., 2020; Sylvain Vrignaud, 2016; Vaessen et al., 2021).

Les substrats limoneux vaseux ne semblent pas être adaptés à l'espèce. Cela peut s'expliquer par la faible stabilité de ce dernier. Il suffit d'une faible crue pour remettre en suspension le substrat et déloger les individus. En accord avec les propos de Björk (1962), Vrignaud mentionne que le type de substrat semble être un paramètre important pour cette espèce (Sven Bjork, 1962; Sylvain Vrignaud, 2016). Par ailleurs, Denic et al relèvent une corrélation positive entre l'abondance des mulettes et la présence de limon au sein du substrat et d'autres composés relatifs à la qualité de l'eau (Denic et al., 2014).

### 3.6. TAUX DE COLMATAGE ET OXYGENATION

La mulette semble montrer une **préférence pour les zones ayant un taux de colmatage faible** (Pacyna L, 2023; Vaessen et al., 2021). Cela pourrait s'expliquer par une meilleure oxygénation au sein de ces zones comparées aux zones présentant un taux de colmatage plus élevé. Sedar et al mentionnent **l'importance de l'oxygénation de l'eau pour la mulette**. La survie de cette dernière nécessite un niveau haut d'oxygène dissous notamment lors de ses premières années au sein du substrat (accessibilité à l'oxygène plus difficile). Les auteurs ont relevé une concentration comprise **entre 6 et 11,3 mg/L**, en fonction des sites d'études (Serdar et al., 2019).

### 3.7. QUALITE DE L'EAU

La mulette épaisse semble tolérante à l'ammonium (Denic et al., 2014).

Des populations fonctionnelles de mulettes ont été retrouvées dans des eaux avec une concentration comprise entre 4 à 6,5 mg NO<sub>3</sub>-N/l parfois à 7,7 mg NO<sub>3</sub>-N/l (Denic et al., 2014). Cependant, ces valeurs sont très variables en fonction des études, pouvant aller jusqu'à plus de 20 mg/L pour des populations vieillissantes (Sylvain Vrignaud, 2016). La valeur seuil de nitrate proposée par Denic et al est de 2,2 mg NO<sub>3</sub>-N/l (Denic et al., 2014). Au regard de cette grande disparité

entre les auteurs, il est préférable de retenir la tranche basse de la gamme de valeurs, à savoir inférieure ou égale à 2 mg/L afin de maximiser la viabilité des juvéniles (plus sensibles aux nitrates). Zajac et al, 2017 corroborent la tolérance aux nitrates observée par Denic en allant plus loin et énoncent une corrélation positive entre les nitrates et cette espèce. Ils mentionnent également une corrélation positive de l'abondance avec la présence de bicarbonate, de calcium ainsi qu'avec la conductivité du cours d'eau (Denic et al., 2014; Zajac et al., 2017).

Le potentiel redox des zones colonisées par la mulette se situait autour de 400 mV avec un dépôt de sédiment fin élevé d'environ 19,4 kg m<sup>-2</sup>mois<sup>-1</sup>(Denic et al., 2014). Pacyna en 2023, a relevé un taux de sédimentation compris entre 4,37 et 7,66 kg/m<sup>2</sup>/30 jours sur les zones du cours d'eau étudié (Vierre, Belgique) les plus colonisées. Cependant, ces données ne sont pas évaluées statistiquement. L'ensemble des autres paramètres physico-chimiques étudiés étaient similaires entre les zones de forte et faible densité (Pacyna L, 2023).

Denic et al n'ont pas relevé de corrélation entre la présence d'*Unio crassus* et une concentration en phosphate au sein du cours d'eau étudié (Denic et al., 2014).

La mulette semble présenter **des besoins physico-chimiques moins contraignants** que d'autres espèces d'Unionida. Les phases de son cycle où les besoins en substrat et condition physico-chimique de qualité sont plus courtes (phase de développement/vie dans le substrat) que d'autres espèces comme la moule perlière (Denic et al., 2014). Les auteurs considèrent que les paramètres chimiques comme l'ammonium, le nitrate et le dépôt de sédiments ne sont pas suffisants pour prédire la présence ou l'absence d'individus et la viabilité des populations. Cependant, ces paramètres peuvent être le reflet d'autres soucis comme une pollution et ne devraient donc pas être négligés. Par ailleurs, ils soulignent l'importance d'étudier des facteurs complémentaires comme l'état des populations de poissons hôtes, le niveau de prédation et les pollutions éventuelles (Denic et al., 2014). Zajac et al mentionnent en 2017 dans leur étude que la présence de la Mulette serait davantage liée au profil longitudinal de la rivière qu'à la qualité de l'eau (Zajac et al., 2017).

### 3.8. ANALYSE DES EXIGENCES HYDROLOGIQUES

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les caractéristiques hydrologiques de l'habitat de cette l'espèce. Un trop faible niveau d'eau induirait une température plus élevée par réchauffement, entraînant une disponibilité en oxygène plus faible. L'oxygénation de l'eau s'avère être un paramètre important pour *Unio crassus*. Cette température engendrerait des conditions de viabilité des glochidies moindres (Jansen et al., 2001). A contrario, une hauteur d'eau importante peut s'accompagner de contraintes de cisaillement plus élevées, délétères pour les populations (Leopold et al., 2020; Zajac & Zajac, 2011).

Sa préférence pour les zones de type lentique est à mettre en parallèle avec les capacités de filtration qui diminuent lorsque la vitesse d'écoulement augmente (Ackerman, 1999). L'activité de filtration permet notamment l'apport de nourritures aux individus, essentiels à leur survie (Vaughn, 2010; Vaughn et al., 2008; Vaughn & Hakenkamp, 2001). Le seston (phytoplancton, zooplancton) inférieur à 20 micromètres constitue la source de nourriture des naïades. Il peut dépendre notamment de la vitesse d'écoulement mais également du cortège d'espèces présentes, de la température, de la qualité de la nourriture et d'éventuelle fertilisation agricole (Strayer, 2014). Vaughn et al en 2008 ont observé un taux de filtration maximum de 0,5 à 1 L/h<sup>-1</sup> (Vaughn et al., 2008).

Pour ce qui est des substrats gravier-sableux-argilo limoneux et gravier-sableux, ils constituent une base stable permettant aux individus de rester enchâssés et ne pas se faire emporter par le courant. Cette stabilité est nécessaire au bon développement des populations.

### 3.9. POISSONS HOTES

La conservation des espèces de moules d'eau douce inclut la conservation des poissons hôtes de par leur cycle de vie. Les espèces qui présentent une association avec des poissons migrateurs se trouvent davantage menacées que les autres espèces. Le fort déclin de ces mollusques est notamment dû à la rupture de continuité écologique au sein des cours d'eau. L'aménagement des cours d'eau, la modification des débits ou les risques d'inondations peuvent être responsables d'une sélection anthropique indirecte de certaines communautés d'espèces pouvant favoriser les espèces envahissantes (Modesto et al., 2017).

Vrignaud mentionne la difficulté de l'identification des poissons hôtes. Cela est notamment dû à la diversité de méthodologie des auteurs dans leurs études à ce propos (milieu naturel, aquarium, poisson d'élevage, poissons provenant du milieu naturel etc.)(Vrignaud, 2016). La différence de comportement des poissons, d'habitats et des facteurs influençant l'enkystement s'ajoutent à la diversité des méthodologies employées par les auteurs. L'ensemble de ces facteurs rend les études et les données difficilement comparables (Douda et al., 2012; Hochwald, 1997; J. E. Taeubert, Gum, et al., 2012; J. E. Taeubert, Martinez, et al., 2012).

Néanmoins, des espèces ressortent : **le vairon, le chabot, le rotengle, le hotu et le chevesne**. Taeubert mentionne que l'épinoche peut être privilégié ou négligé par certaines populations de Mulettes (Taeubert et al 2012b). Le hotu et le vairon semblent être des hôtes adaptés à la Mulette, au regard des résultats en conditions artificielles d'après Taeubert en 2012 (Taeubert, et al., 2012). L'auteur souligne également la compatibilité du chevesne comme hôte favorable à l'espèce. **Le chevesne serait le poisson le plus adapté aux Mulettes au sein de l'union européenne**. Il pourrait également offrir une plus large distribution d'*Unio crassus* au sein des cours d'eau du fait de sa répartition plus étendue que le vairon. Ces observations sont partagées par Hochwald et Bauer. Taeubert et al mentionnent, par ailleurs, un rejet de 90 % des glochidies par le chabot (Hochwald & Bauer, 1990; J. E. Taeubert, Gum, et al., 2012; J. E. Taeubert, Martinez, et al., 2012). Pour Douda et al, plusieurs espèces de poissons peuvent intervenir, cependant les plus adaptées seraient le vairon, le chabot et le rotengle (Douda et al., 2012; Cucherat et al., 2021).

En Allemagne, les auteurs, quant à eux, relèvent l'épinoche et l'épinochette (Engel et al, 1989). Cette différence d'espèce en Allemagne pourrait s'expliquer par la présence de souches de ces espèces compatibles avec les larves de la Mulette épaisse. En France, une étude en Lorraine fait état d'hôtes comme le chabot et le vairon (Lamand et al, 2016). Les individus collectés et disséqués de ces deux espèces étaient porteurs de la majorité des glochidies identifiées sur la totalité des poissons pêchés (toutes espèces confondues).

Cette diversité de poissons hôtes semble être un facteur favorisant la reproduction des Mulettes épaisses : environ 18 espèces sont citées au sein de la littérature. Cependant, certaines zones, notamment en France, sont très peu documentées et ne permettent pas de mettre en évidence des préférences régionales.

Il est intéressant de noter que le comportement, les souches et les préférences d'habitat des poissons jouent un rôle dans leur recrutement par les Mulettes. Les vairons et les jeunes chevesnes se localisent dans des zones peu profondes. Elles interviennent alors dans un recrutement local. A l'inverse, les chevesnes adultes plus mobiles, se dispersant sur de grandes distances recrutent sur de plus larges zones et dispersent également de façon plus importante les individus (Sylvain Vrignaud, 2016).

Il est important de noter la différence de succès d'infection entre la première et la seconde infection. Taeubert mentionne un taux de réussite de primo-infection de 29,4 glochidies pour le vairon et un taux de 1,5 pour la seconde. Cet écart important sous-entend certainement une réponse immunitaire du poisson hôte Taeubert et al, 2012b. Au regard de cette information un biais peut être présent au sein des études réalisées sur la réussite d'enkystement sur des poissons issus du milieu naturel.

Il semble qu'une concentration de 40 individus/100 m<sup>2</sup> de poisson hôte primaire soit nécessaire pour obtenir une population fonctionnelle de Mulette épaisse. Les cours d'eau non fonctionnels pour cette espèce présentent une densité de 8 individus pour 100 m<sup>2</sup> (Stoeckl et al., 2015a).



## 4. BILAN DES CONDITIONS RENCONTREES ACTUELLEMENT AU VU DES EXIGENCES DE LA MULETTE EPAISSE

Le canal de Fréparoy présente un substrat majoritairement composé de vase, seule la granulométrie des tronçons 2, 4 et 5 est davantage diversifiée. Cette vase engendre un certain colmatage du lit. **Ce type de substrat apparaît peu favorable au développement d'une population d'*Unio crassus*.** Cette espèce apprécie une certaine stabilité, offerte par des substrats composés en majorité de graviers (60 %) et de sable (35 %). La part de vase/limon, dans ce substrat idéal pour la mulette d'après la littérature représente seulement les 5 % restants. Dans ce type de fonds sableux-graveleux, les mulettes adultes s'ancrent de façon stable, minimisant les risques d'être emportées par le courant. Ces événements risqueraient de les amener au sein de zones défavorables à leur survie. Au-delà de la stabilité, ce type de fond permet une certaine oxygénation. Ce paramètre s'avère important pour la survie et le bon développement des juvéniles enfouis à une dizaine de centimètres. **La granulométrie peut donc constituer un point limitant pour *Unio crassus*.**

**Les herbiers présents en quantité sur plus de la moitié du canal ne constituent pas un environnement adéquat aux mulettes.** Une gestion de ces derniers serait à envisager pour le projet.

**La hauteur d'eau et le courant du canal, semblent à priori convenir aux besoins de la mulette.** Seule la zone plus profonde/de fosse localisée à l'amont du tronçon 1, apparaît moins favorable. Néanmoins, les niveaux d'eau actuels, bien que compris dans la gamme tolérée par l'espèce, sont **peu diversifiés** (zone de radier et de mouille) le long du linéaire et les berges verticales. Au sein de cours d'eau présentant des berges à pente douce, les mulettes utilisent cette diversité de profondeur notamment en période de forte chaleur et de reproduction. Durant cette période, les femelles se dirigent vers les berges, en zone de faible profondeur dans le but de disperser leurs larves et accroître leur chance de se fixer à un poisson hôte.

La végétation des berges et la ripisylve précédemment présente offraient des **zones d'ombrages** au canal créant ainsi une diversité d'habitats thermiques au sein du lit. Ce paramètre s'avère important au regard de l'intensification des vagues de chaleur prévue au cours des prochaines années/décennies en raison du changement climatique. La température régit notamment la survie et la libération des larves d'*Unio crassus*. Des températures trop élevées entraînent une forte mortalité des larves. Au regard des exigences écologiques de l'espèce, **la diversité de micro-habitats thermiques apparaît être un paramètre à préserver et développer pour la pérennité des populations.**

L'ouvrage de connexion à la Seine semble d'une section restreinte, environ 50x50 cm<sup>2</sup>. **L'entrée de poissons, dont les espèces hôtes de la mulette épaisse, est peu favorable en l'état actuel.** Les poissons interviennent en tant qu'hôtes obligatoires aux larves de mulette épaisse sans quoi ces dernières ne parviennent pas à se développer. **L'amélioration de la continuité écologique (par exemple par la reconfiguration de l'ouvrage existant) est à envisager afin de garantir la circulation piscicole nécessaire à l'installation et au développement d'une population fonctionnelle.**

**Le canal de Fréparoy pourrait donc constituer un habitat de compensation pour *Unio crassus* sous réserve de pouvoir réaliser les aménagements nécessaires (continuité écologique, substrat) afin de correspondre à l'ensemble des exigences écologiques de l'espèce à court et long terme.**

Le tableau suivant permet de récapituler ces différents aspects et de mettre en lumière des propositions d'aménagement.

**Certains aménagements doivent faire l'objet d'une étude approfondie de la faisabilité au niveau hydraulique (prise d'eau en Seine, augmentation des vitesses dans le canal). En effet, sans augmentation de la pente et des vitesses, des actions telles que la recharge granulométrique ne seraient pas efficaces (colmatage rapide). Un modèle hydraulique a donc été proposé (§ suivant) afin de vérifier la faisabilité et les incidences des aménagements.**

Tabl. 6 - Comparaison entre les conditions rencontrées au droit du canal et les exigences biologiques de la Mulette épaisse

Exigences biologiques de la Mulette épaisse			Conditions rencontrées au droit du canal de Fréparoy	Proposition d'aménagement
Dimensions du lit mineur	largeur	1 à 200 m	6 m	-
	profondeur	0,4 à 0,8 m avec diversité de profondeurs	0,6 m mais homogénéité de profondeurs sur le profil en travers	Diversification des profils en travers : recharge granulométrique / zones moins profondes en berges (banquettes minérales)
Ecoulements	vitesse	0,11 à 0,31 m/s	vitesse max (en surface) : 0,30 m/s ; vitesses nettement inférieures en profondeur : 0,05 m/s	Action sur la vanne de prise d'eau vers le château
	cisaillement	< 1,5 N / cm <sup>2</sup>	cisaillement trop élevé à l'aval immédiat de la prise d'eau (jusqu'à 30m) puis diminue dans le reste du canal	-
Fond du lit	substrat	gravier (60 %), sable (35 %), argile-limon (5 %)	grande majorité de limons "cailloux graviers" ou "graviers grossiers" uniquement sur 25 m en aval de la prise d'eau	Diversification des profils en travers : recharge granulométrique / zones moins profondes en berges (banquettes minérales)
	colmatage	faible	Elevé	Action sur la vanne de prise d'eau vers le château
Qualité de l'eau	oxygénation	6 à 11,3 mg/L	"Très bon état" en Seine au droit de la prise d'eau en 2021 pour l'oxygène. Cependant l'oxygénation peut être plus réduite au droit du canal (plus faibles profondeurs, variabilité saisonnière, peu d'ombrage)	Plantation de ripisylve / ombrage
	ammonium	4 à 6,5 mg /L	<0,05 mg/L en Seine au droit de la prise d'eau en 2021	-
	général	besoin physico-chimiques peu contraignants ; connaissances insuffisantes du point de vue des nitrates	-	-
Végétation aquatique	végétation aquatique	présente (Elodée et Glycérie)	présente (dont : Elodée de Nutall et Grande Glycérie) mais trop développée	Entretien des herbiers aquatiques
Espèces invasives	corbicule asiatique	nuisible à l'espèce (compétition)	présence de corbicule asiatique vivante, uniquement à 210 m en aval de la prise d'eau	Lutte contre la corbicule asiatique : absence d'action identifiée

	ragondins	nuisible à l'espèce (prédation)	présence de ragondins	Lutte contre le ragondin
Poissons hôtes	espèces	vairon, chabot, rotengle, hotu et chevesne	Dans le canal : chabot et chevesne En Seine (7 km en aval) : vairon, chabot, rotengle, hotu et chevesne	Amélioration de la franchissabilité de la prise d'eau
	concentration	40 indiv / 100 m <sup>2</sup>	5 chabots et 11 chevesnes (pêche électrique Aquascop, 2024)	

Source : étude Artelia, L. Le Roux, 2024

Source : observations Artelia 2024, Aquascop 2024, Biotope 2023

Légende

Conditions rencontrées au droit du canal au vu des exigences biologiques de la Mulette

- Satisfaisante
- Limitante
- Très limitante

## 5. HYDROLOGIE-HYDRAULIQUE

L'étude est étendue au canal Terray pour l'approche hydrologique et hydraulique, les deux systèmes (canal de Fréparoy et canal Terray) étant interdépendants.

### 5.1. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Le canal de Fréparoy et le canal Terray sont deux ouvrages hydrauliques historiques situés dans le département de l'Aube. Ces canaux ont été creusés à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle dans le cadre d'un système d'alimentation en eau du château de la Motte-Tilly.

Le canal Terray a été construit pour alimenter le bassin du château situé à la Motte-Tilly. Il a été mis en service en 1770. Le canal de Fréparoy est un canal annexe du canal Terray, creusé ultérieurement pour assurer un débit complémentaire suffisant à l'alimentation du bassin du château.

#### 5.1.1. Canal de Fréparoy

Le canal Fréparoy présente une longueur de 360 m et une largeur moyenne de 5 m, variant de 4 à 8 m selon les sections. La pente de la ligne d'eau est très faible, de l'ordre de  $4,57 \times 10^{-4}$  m/m. Les profondeurs d'eau sont variables, avec un minimum de 20 cm généralement en berges, et un maximum allant jusqu'à 1 m. Juste après la prise d'eau, on observe une surlargeur et une fosse de dissipation atteignant une profondeur de 1 m.

L'alimentation principale du canal provient d'une prise d'eau directe sur la Seine. L'ouvrage de prise d'eau consiste en un **ouvrage maçonné d'environ 50 cm de large** (cf figure 32).

Les débits et vitesses d'écoulement varient le long du canal. Selon l'étude Biotope, dans la partie amont, sur les 30 premiers mètres, les vitesses peuvent atteindre 0.5 m/s. La partie médiane voit ces vitesses réduites à environ 0.15 m/s. A l'exutoire, on observe une accélération due à une pente plus importante.

La sédimentologie du canal est contrastée. D'après l'étude Biotope, l'amont présente un substrat décolmaté, composé de cailloux fins et de sable. La partie médiane et aval est caractérisée par un fort envasement, avec des épaisseurs de sédiments atteignant 45 à 55 cm.

Les variations saisonnières du canal sont directement influencées par le régime de la Seine, avec un risque d'assecs en période d'étiage sévère, comme observé historiquement en 2009.

#### 5.1.2. Canal Terray

Le canal Terray s'étend sur une longueur de 2 km. Sa largeur est variable, allant de 3 à 8 m selon les secteurs. Son profil est généralement rectiligne avec des berges abruptes et un fond plat.

L'alimentation principale du canal Terray provient du canal de Fréparoy, complétée par une source secondaire située à Nogent-sur-Seine, dans la zone industrielle "Terray".

Le régime hydraulique du canal est caractérisé par des écoulements généralement lents dus à la faible pente. Les variations de débit sont atténuées par rapport au canal de Fréparoy.

La sédimentologie du canal Terray est marquée par un envasement important sur la majeure partie du linéaire. Le colmatage est particulièrement prononcé dans les zones de surlargeur et à faible courant.



Deux ouvrages hydrauliques principaux influencent le fonctionnement du canal :

- Un ouvrage de régulation près du château de la Motte-Tilly, constitué d'une vanne mobile permettant le contrôle du niveau d'eau et assurant l'alimentation de la prise d'eau du château. Cet ouvrage crée un différentiel amont/aval d'environ 1 mètre.
- Un seuil infranchissable sous le pont de la RD120, composé d'un seuil en béton et d'une buse métallique. Cet ouvrage empêche la remontée des poissons depuis la Seine en conditions normales.

On observe des zones à faciès plus courants entre le pont de la rue de la Croix des Champs et la rue de l'Ormeau. Dans les zones à faible courant, on note la formation d'herbiers aquatiques, notamment de nénuphars, qui influencent la dynamique sédimentaire.

La continuité hydraulique entre les deux canaux est cruciale, le canal de Fréparoy jouant un rôle essentiel dans l'alimentation du canal Terray. Les ouvrages du canal Terray régulent les débits et niveaux d'eau pour l'ensemble du système.

Les principaux enjeux de gestion concernent la lutte contre l'envasement progressif des deux canaux, le maintien d'un débit suffisant pour assurer les fonctions écologiques et patrimoniales, et l'amélioration des continuités écologiques tout en préservant la fonction d'alimentation du château.

## 5.2. OUVRAGES HYDRAULIQUES ET DE FRANCHISSEMENT

Les ouvrages hydrauliques (OH) et de franchissement (OF) présents sur le linéaire du canal de Fréparoy et Terray ont été recensés dans l'optique de définir la campagne de topographie, de construire le modèle hydraulique, et de proposer d'éventuels redimensionnements de certains ouvrages.

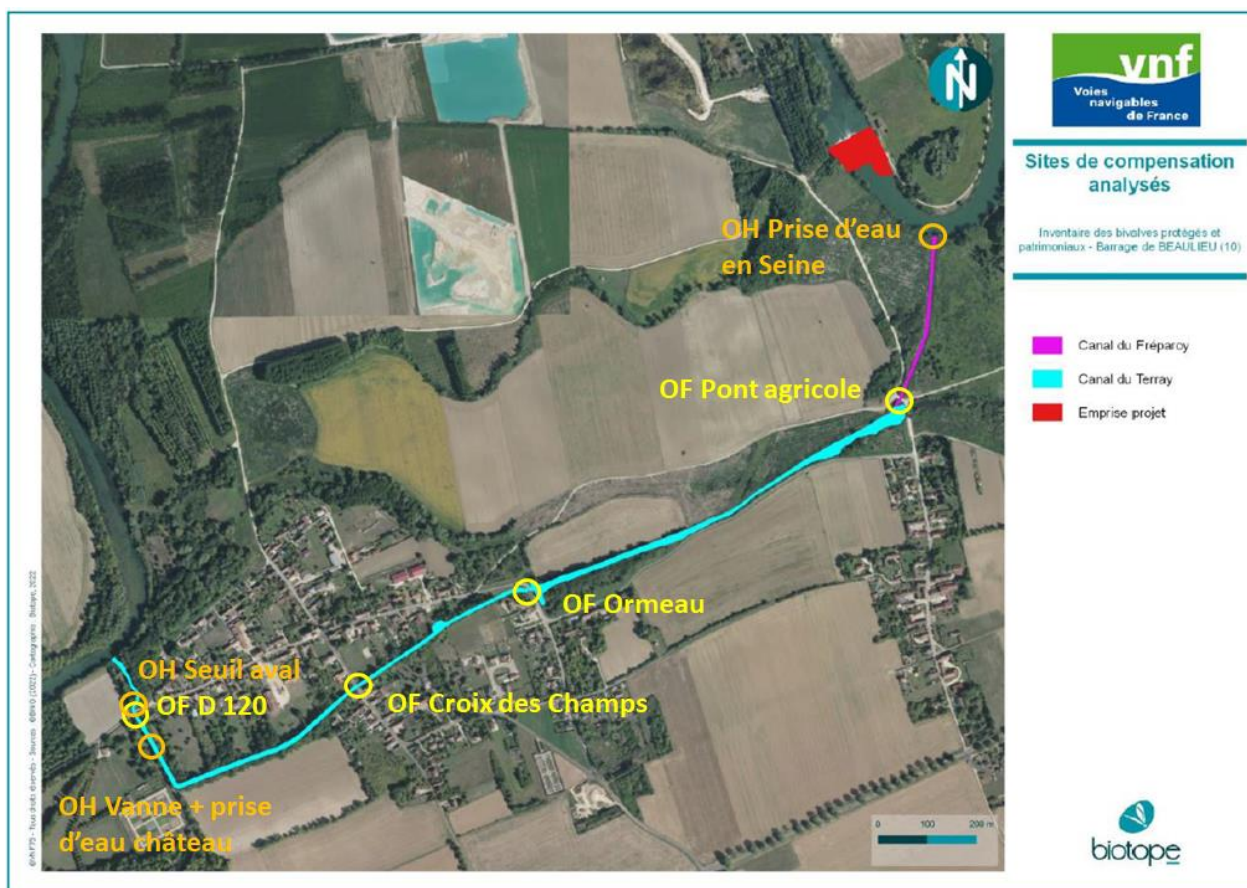


Figure 31. Localisation des ouvrages à expertiser (Fond de plan : Biotope)

Au niveau du canal de Fréparoy, deux ouvrages sont présents : la prise d'eau depuis la Seine et un ouvrage de franchissement agricole (pont) marquant la limite avec le canal Terray.



Figure 32. Prise d'eau en Seine vue depuis le Canal (à gauche) et pont agricole (à droite) (Source : Biotope)

Au niveau du canal Terray, sont présents d'amont en aval, deux ouvrages de franchissement (pont de la rue de l'Ormeau, pont de la rue de la Croix des Champs), un ouvrage de régulation (vanne mobile) /prise d'eau du château, une buse métallique sous la D120, et un seuil en béton.





Figure 33. *Ouvrage mobile et prise d'eau vers le château (Source : Biotope)*



Figure 34. *Buse métallique et seuil en aval de la D120 (Source : Biotope)*

### 5.3. MESURES DE DEBITS

Des mesures de débit ont été effectuées afin de disposer de données initiales sur le secteur des canaux de Fréparoy et Terray.

- **Campagne de mesure**

Une campagne de mesure a été réalisée le **27 juin 2024** par le bureau d'études Gestion Hydro. Cette campagne a été effectuée dans des conditions d'écoulement stables, le débit de la Seine était d'environ  $111 \text{ m}^3/\text{s}$ , un débit relativement élevé qui offre une bonne représentation des conditions hydrauliques du système en période de hautes eaux, tout en restant dans la plage de fonctionnement normale du barrage.

- **Localisation des points de mesure**

Conformément aux recommandations initiales, trois points de mesure ont été établis :

- Un point sur le canal de Fréparoy
- Un point sur le canal Terray en amont de la prise d'eau du château
- Un point sur le canal Terray en aval de la prise d'eau du château

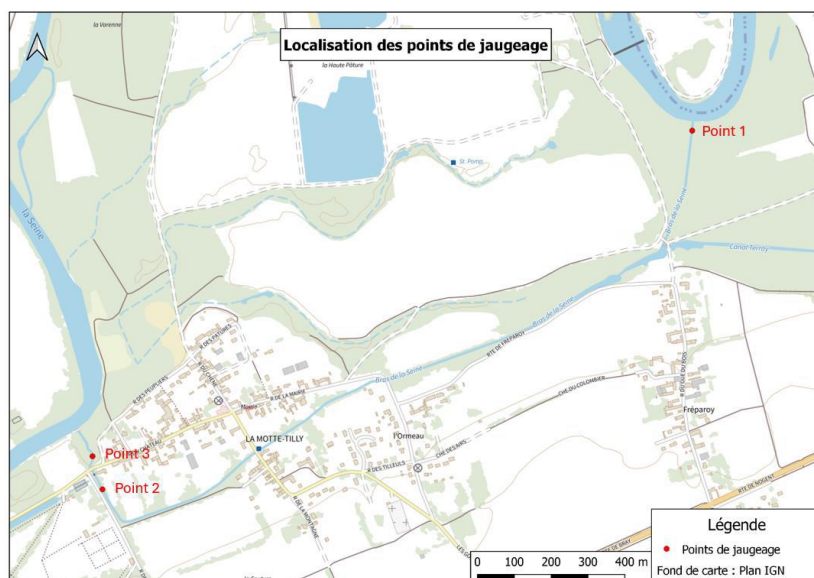


Figure 35. Localisation des points de jaugeage

La localisation précise de ces points a été déterminée sur la base de l'analyse des cartes IGN et des reconnaissances de terrain.

- **Méthode de jaugeage**

Les mesures de débit ont été réalisées en utilisant deux méthodes différentes, adaptées aux conditions d'écoulement de chaque point de jaugeage :

- Pour les transects avec une hauteur d'eau inférieure à 0,7 m, une perche Nivus NivuFlow Stick a été utilisée. Cet appareil fonctionne par émission d'impulsions ultrasoniques qui scannent les diffuseurs présents dans l'eau, permettant de calculer un profil des vitesses d'écoulement du fond vers la surface.
- Pour les niveaux au-delà de 0,7 m, un profileur acoustique SonTek RiverSurveyor S5 a été employé. Cet instrument s'appuie sur l'effet Doppler pour mesurer la géométrie de la section ainsi que le champ des vitesses.

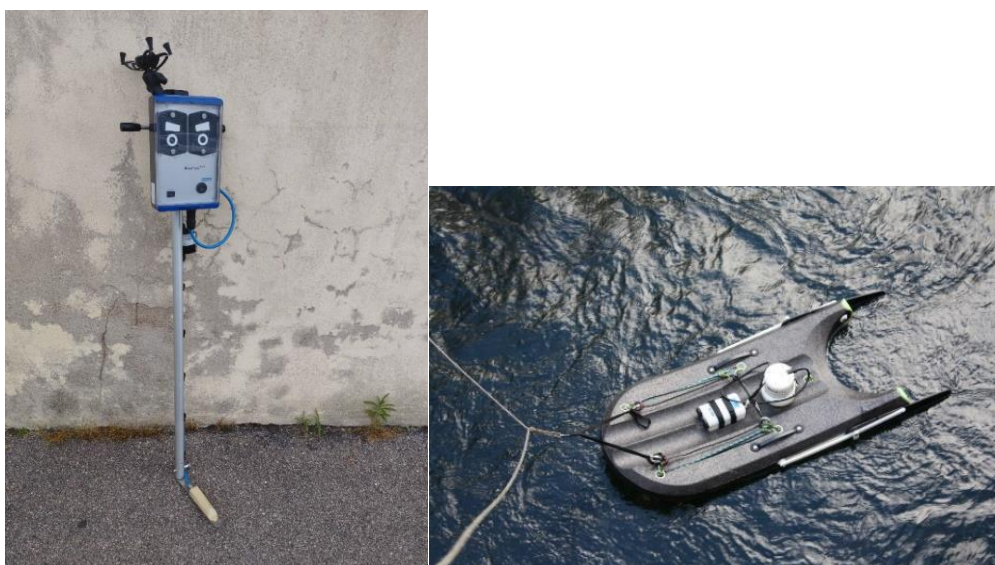


Figure 36. Perche Nivus NivuFlow Stick / SonTek RiverSurveyor S5



- **Position du vannage**

Lors de la campagne de jaugeage, la position de la vanne entre les points 2 et 3, ainsi que les conditions hydrauliques au niveau de l'ouvrage, ont également été relevées :

- La hauteur de charge en amont était de 70 cm
- L'ouverture de la vanne était inférieure à 2 cm
- De nombreuses fuites à travers l'ouvrage ont été observées

- **Résultats des mesures**

Les résultats de la campagne de mesure sont les suivants :

Tabl. 7 - *Résultat de la campagne de mesures*

N° pts de mesure	Date	Heure	Débits (m³/s)
1	27/06/2024	11:30	0.162
2	27/06/2024	13:00	0.345
3	27/06/2024	12:30	0.265

## 5.4. MODELISATION HYDRAULIQUE

### 5.4.1. Construction du modèle

Un modèle hydraulique 1D a été construit à l'aide du logiciel HEC RAS 6.2 et sur la base des données topographiques et bathymétriques qui ont été levées par le géomètre Axis conseils. L'objectif est de simuler le fonctionnement hydraulique des canaux de Fréparoy et Terray. Ce modèle permet de représenter les écoulements courants, hors crue, qui correspondent à la majorité du temps.

Le modèle couvre :

- Le linéaire complet du canal de Fréparoy
- Le canal Terray depuis sa confluence avec le canal de Fréparoy jusqu'à sa confluence avec la Seine

Le modèle hydraulique comprend donc les différents éléments suivants :

- Le lit mineur des canaux jusqu'en haut de berge
- Les ouvrages hydrauliques significatifs sur ce linéaire, notamment :
  - Le pont à la limite entre les canaux de Fréparoy et Terray
  - Les ponts de la rue de l'Ormeau et de la rue de la Croix des Champs
  - Le seuil vanné
  - La buse sous la D120

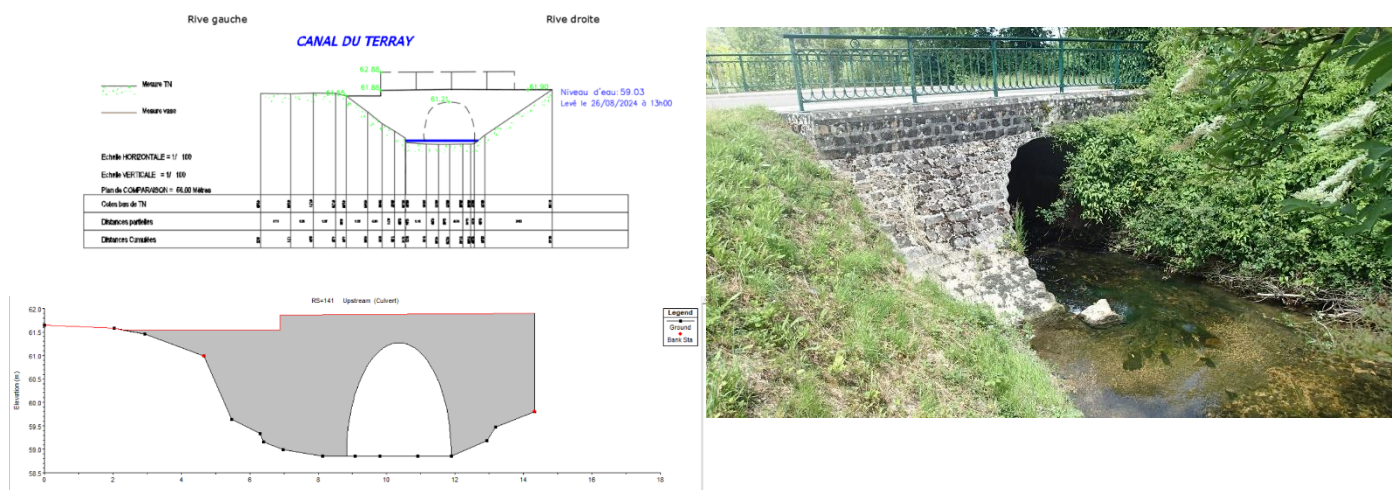


Figure 37. Exemple de l'ouvrage sous la D120 : levé de l'ouvrage (en haut à gauche), représentation dans le modèle hydraulique (en bas à gauche), photographie de terrain (à droite)

Les principales données d'entrée utilisées pour la construction du modèle hydraulique sont issues de la campagne de jaugeage réalisée le 27 juin 2024. Les débits injectés dans le modèle sont les suivants :

Tabl. 8 - Débits injectés dans le modèle hydraulique

Points de débits	Profil en travers	Débits (m³/s)
1	Profil n°1 (RS : 2323)	0.162
2	Profil n°22 (RS : 397)	0.345
3	Profil n°25 (RS : 142)	0.265

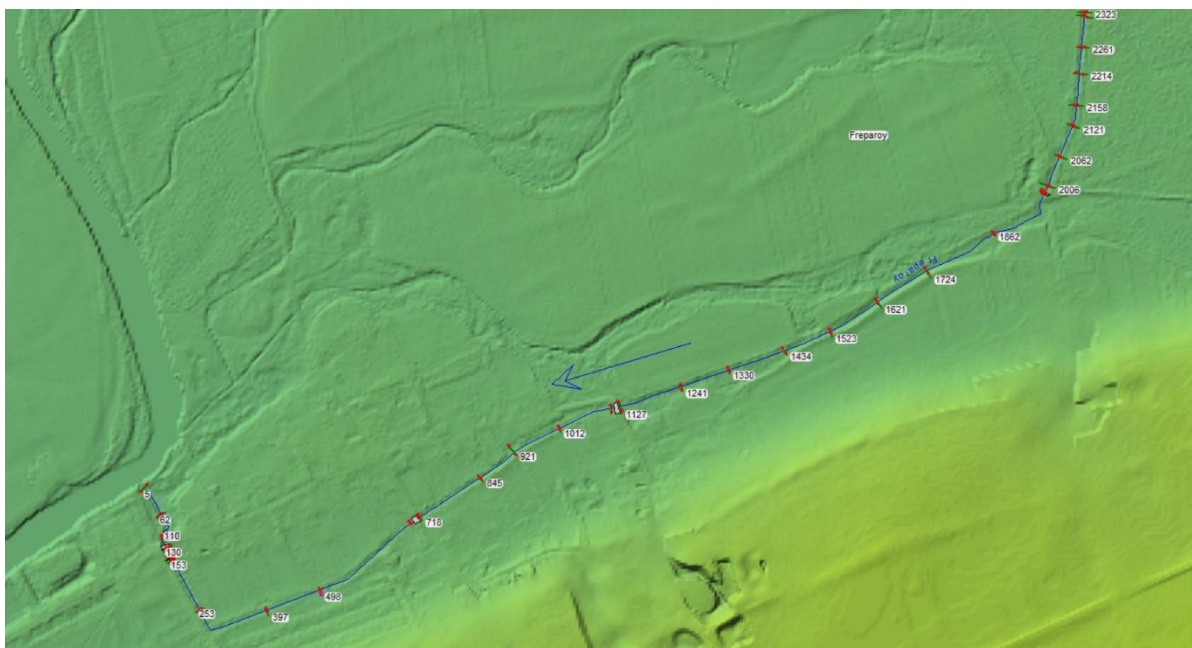


Figure 38. Vue générale du modèle hydraulique des canaux de Fréparoy et Terray sous HEC-RAS

Le calage du modèle a été effectué en ajustant les paramètres hydrauliques (notamment les coefficients de rugosité) pour que les niveaux d'eau simulés correspondent au mieux aux observations de terrain pour les débits mesurés.

# Profil en long : canal Fréparoy et Terray

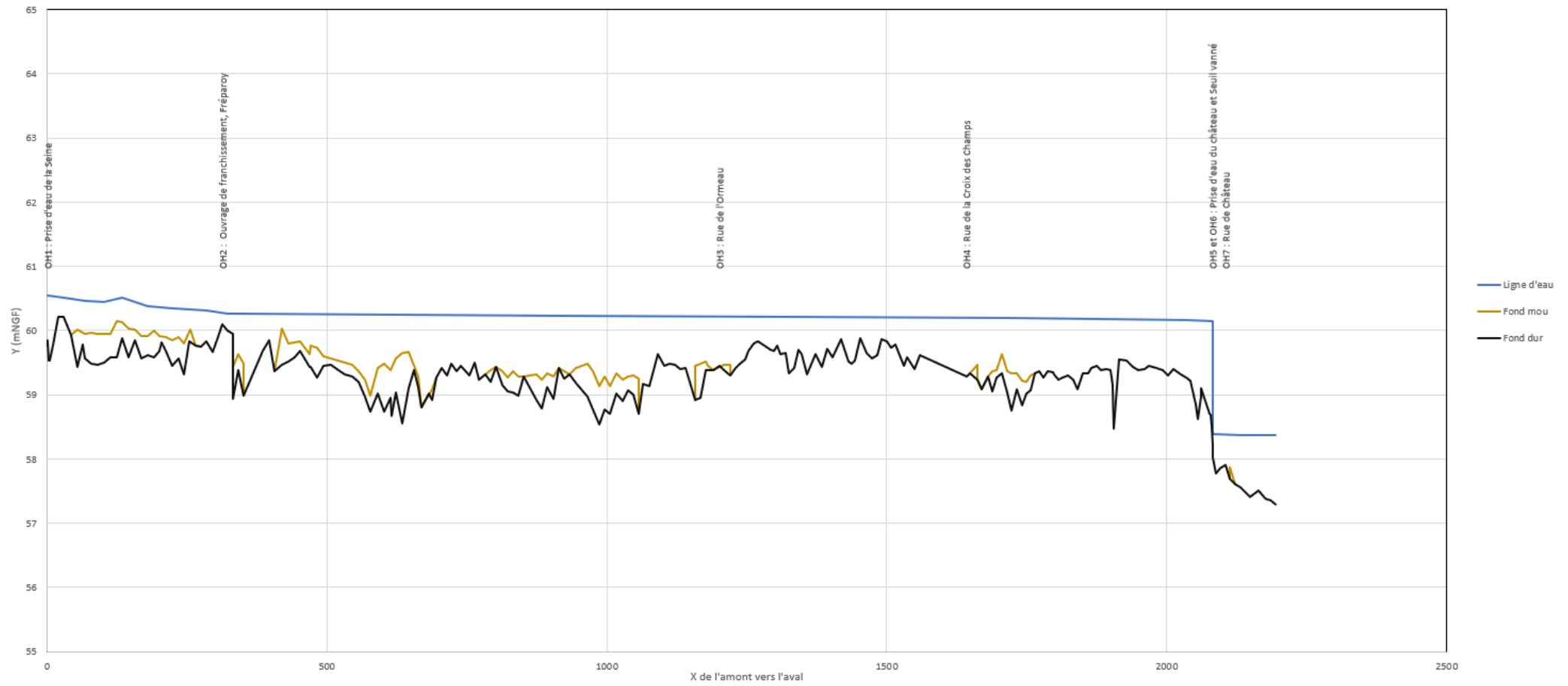


Figure 39. Profil en long du canal de Fréparoy et Terray



### 5.4.2. Analyse hydraulique de l'état initial

L'analyse approfondie du profil en long des canaux de Fréparoy et Terray, basée sur les résultats de la modélisation HEC-RAS et les observations de terrain, révèle un comportement hydraulique varié le long du système.

#### 5.4.2.1. Pentés et profil longitudinal

Le système présente une pente de la ligne d'eau très faible, de l'ordre de  $4 \times 10^{-4}$  m/m sur l'ensemble du linéaire. Cependant cette pente n'est pas uniforme :

- Dans le canal de Fréparoy amont, la pente est légèrement plus prononcée, favorisant des écoulements plus dynamiques.
- Le canal Terray présente une pente quasi nulle sur une longue distance, expliquant les faibles vitesses d'écoulement observées.
- Une rupture de pente significative est observée au niveau de l'ouvrage de régulation.

L'analyse du profil en long des canaux Fréparoy et Terray révèle une ligne d'eau caractérisée par trois zones distinctes :

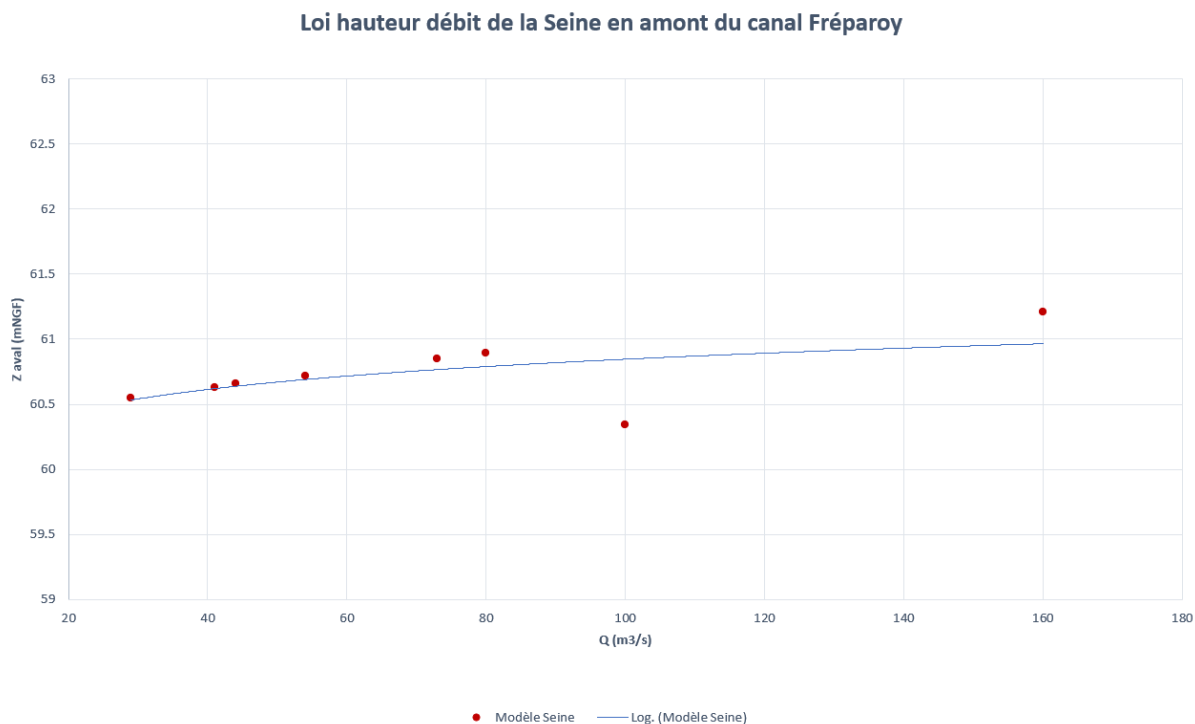
- **Zone amont (canal de Fréparoy)** : La ligne d'eau présente une pente douce et régulière, avec un niveau d'eau oscillant autour de 60,55 à 60,58 m NGF. Cette zone s'étend de la prise d'eau en Seine (OH1) jusqu'à l'ouvrage de franchissement de Fréparoy (OH2).
- **Zone centrale (canal Terray)** : On observe un plateau hydraulique remarquablement stable, avec un niveau d'eau maintenu constant à environ 60,55-60,56 m NGF sur une longue distance. Cette zone s'étend de l'ouvrage de franchissement de Fréparoy (OH2) jusqu'à la prise d'eau du château (OH5).
- **Zone aval** : Une chute brutale du niveau d'eau est observée au niveau de l'ouvrage de régulation (OH5), où la ligne d'eau passe d'environ 60,55 m à 59,09 m NGF. Après cette chute, la ligne d'eau reprend une pente plus prononcée jusqu'à la confluence avec la Seine, atteignant un niveau de 57,37 m NGF à l'exutoire.

Cette configuration de la ligne d'eau met en évidence que le seuil vanné constitue un **obstacle majeur dans le système hydraulique**. Il crée une rupture nette dans la continuité de l'écoulement, avec une chute d'eau importante qui sépare deux régimes hydrauliques distincts. En amont, il maintient artificiellement un plan d'eau surélevé dans la majeure partie du canal Terray, tandis qu'en aval, il provoque une accélération significative de l'écoulement. Cette discontinuité hydraulique a des implications importantes non seulement sur les niveaux d'eau, mais aussi sur la dynamique sédimentaire et la continuité écologique.

#### 5.4.2.2. Conditions d'écoulement

Les conditions d'écoulement le long des canaux Fréparoy et Terray présentent des variations significatives. On peut distinguer plusieurs zones aux caractéristiques notables :

- **Canal de Fréparoy amont** : Les vitesses moyennes d'écoulement sont modérées, oscillant entre 0.06 et 0.11 m/s. Ces fluctuations sont principalement liées aux variations de la section d'écoulement. Ces conditions d'écoulement favorisent un transport sédimentaire modéré et contribuent au maintien d'un substrat relativement décolmaté. Il est important de noter que le niveau d'eau dans cette partie du canal est directement conditionné par le niveau amont de la Seine. Ce dernier est lui-même conditionné par la gestion du barrage de Beaulieu.  
La loi ZQ de la Seine en amont montre que pour une plage allant d'environ 29 m<sup>3</sup>/s à 160 m<sup>3</sup>/s, le niveau d'eau varie entre 60,55 mNGF et 61,2 mNGF, ce qui assure que quel que soit le débit de la Seine amont, un débit est toujours maintenu dans le canal Fréparoy. Cette configuration hydraulique garantit une alimentation continue du canal, même en période de basses eaux de la Seine, assurant ainsi le maintien des fonctions hydrauliques du système.



*Figure 40. Loi hauteur débit de la Seine en amont du canal Terray*

- **Canal Terray amont** : Caractérisé par des vitesses moyennes d'écoulement très faibles, généralement inférieures à 0.05 m/s. Cette zone, s'étendant sur environ 1.7 km, se comporte comme un plan d'eau quasi-stagnant. Ces conditions sont propices à la sédimentation des particules fines et au développement d'herbiers aquatiques.
- **Seuil vanné** : Un changement brutal des conditions d'écoulement se produit au niveau du seuil vanné. A cet endroit, on observe une augmentation significative de la vitesse d'écoulement, passant de 0.12 m/s juste en amont à 0.31 m/s au droit de l'ouvrage. Cette accélération s'accompagne d'une chute d'eau d'environ 1.46 m, le niveau passant de 60.15 m NGF à 58.39 m NGF. Cette zone de transition crée des conditions locales de turbulence et favorise l'oxygénation de l'eau.
- **Canal Terray aval** : En aval du seuil vanné, les vitesses moyennes d'écoulement restent élevées, atteignant 0.87 m/s, avec une pente importante. Ces conditions sont favorables au transport sédimentaire et limitent le colmatage du lit.
- **Zone de confluence avec la Seine** : A l'approche de la confluence avec la Seine, la dynamique hydraulique devient plus complexe, influencée à la fois par les conditions d'écoulement du canal et par le niveau de la Seine en aval. Dans cette zone la vitesse moyenne dans le canal se maintient à 0.50 m/s, témoignant d'un écoulement encore dynamique. Cependant, les conditions hydrauliques dans cette zone sont fortement influencées par le niveau de la Seine en aval. L'analyse de la loi hauteur- débit de la Seine en aval du canal Terray révèle que le niveau d'eau du fleuve peut varier d'environ 57 m NGF pour les faibles débits à près de 59.5 m NGF pour les débits les plus élevés. Cette variation a des implications significatives sur le fonctionnement hydraulique du canal :
  - En période de basses eaux de la Seine, l'écoulement du canal vers le fleuve est facilité, maintenant des conditions d'évacuation favorables.

- Lors des crues de la Seine, l'élévation du niveau d'eau du fleuve peut créer un effet de remous dans la partie aval du canal, réduisant la capacité d'évacuation et potentiellement augmentant les niveaux d'eau plus en amont dans le système.
- Dans les conditions de fortes crues de la Seine, il est possible que des poissons de la Seine puissent remonter dans le canal Terray par l'aval, offrant une opportunité temporaire de connectivité écologique.

Loi hauteur débit de la Seine en aval du canal Terray

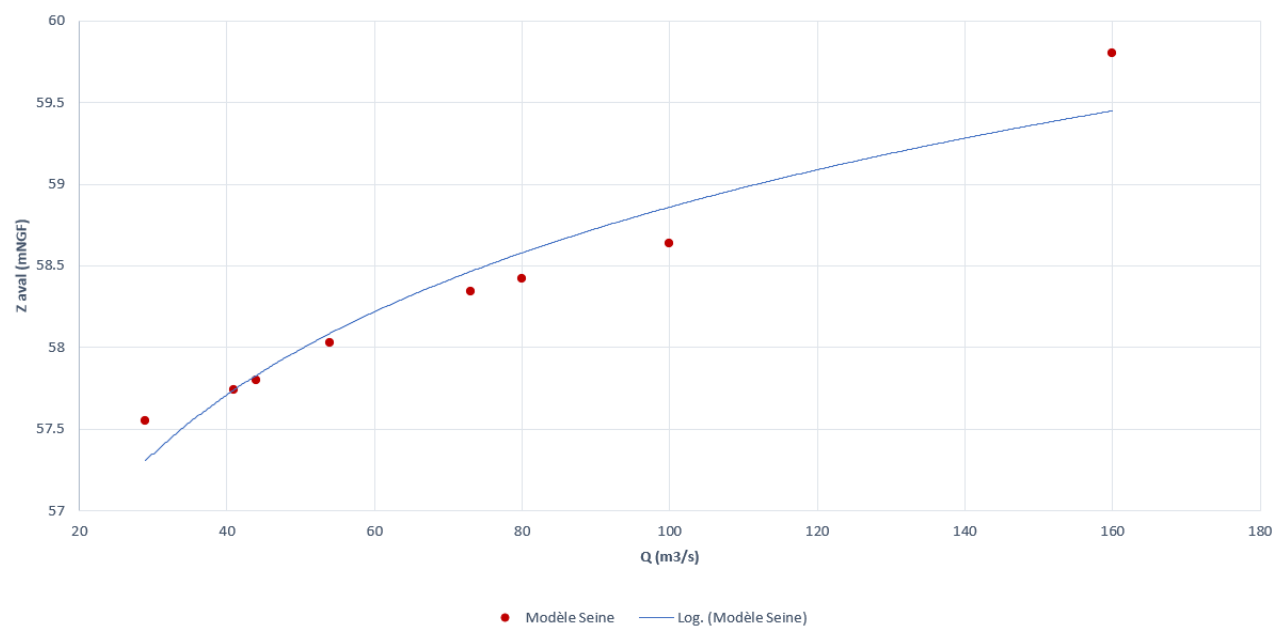


Figure 41. Loi hauteur débit de la Seine en aval du canal Terray

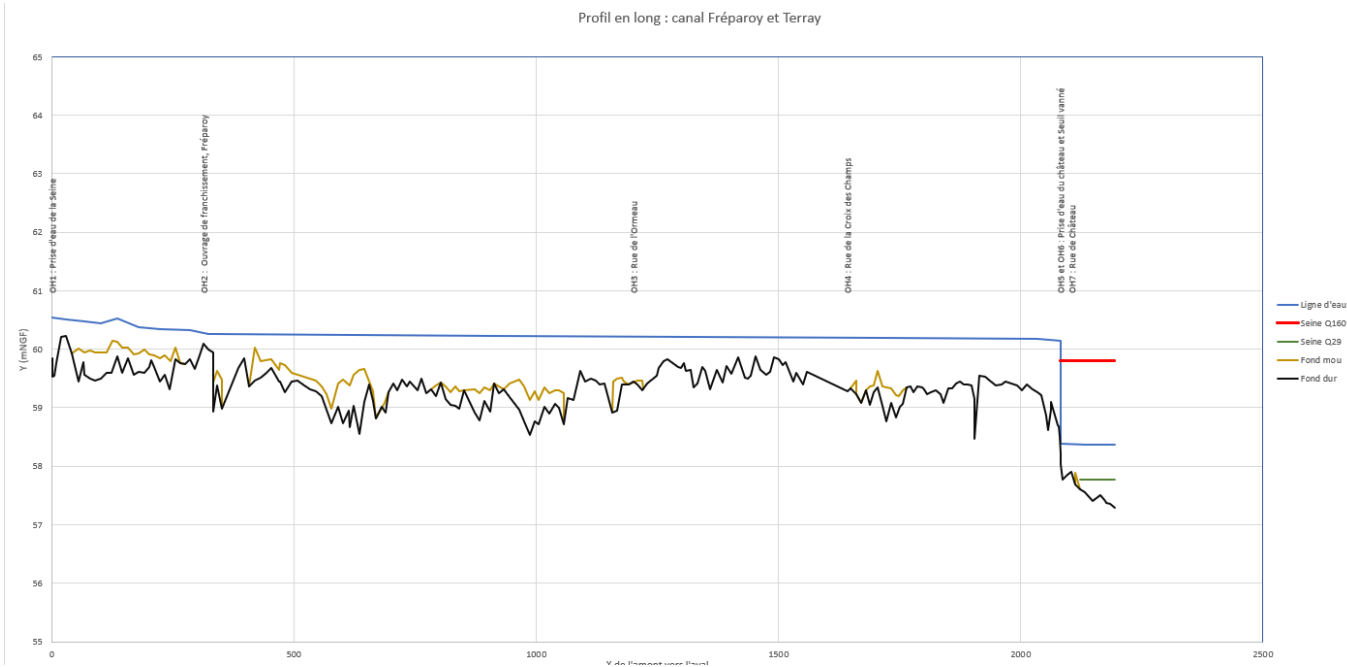


Figure 42. Profil en long des canaux de Fréparoy et Terray, avec les niveaux de la Seine pour différents débits

### 5.4.2.3. Ouvrages singuliers

Plusieurs ouvrages hydrauliques ponctuent le linéaire et influencent significativement les écoulements :

- **La prise d'eau depuis la Seine** : Cette prise d'eau est constituée d'un ouvrage maçonné d'environ 50 cm de large. Ses caractéristiques hydrauliques sont particulièrement importantes :
  - **Écoulement en charge** : L'écoulement dans l'ouvrage est principalement en charge due à la position de l'ouvrage par rapport au niveau d'eau de la Seine. Les observations sur site indiquent des vitesses d'écoulement modérées à la sortie d'ouvrage.
  - **Impact sur la faune piscicole** : La combinaison d'une petite ouverture et l'absence de luminosité rend cet ouvrage **peu attractif** pour les poissons. Les turbulences associées créent une barrière hydraulique que la plupart des espèces de poissons auront du mal à franchir.



Figure 43. *Prise d'eau en Seine, amont du canal de Fréparoy*

- **Le pont agricole à la limite entre les canaux de Fréparoy et Terray** : Ce pont crée un rétrécissement local de la section d'écoulement. Les résultats de calcul montrent une légère accélération de l'écoulement, avec des vitesses passant de 0.06 m/s à 0.11 m/s au droit de l'ouvrage.

L'augmentation de la vitesse peut limiter localement le dépôt de sédiments fins, créant une zone de substrat potentiellement plus grossier. Cet ouvrage ne semble pas constituer un obstacle majeur pour la faune aquatique, les variations de vitesse restant modérées.



Figure 44. *Pont agricole, aval du canal Fréparoy*



- **Les ponts de la rue de l'Ormeau et de la rue de la Croix des Champs** : Il s'agit d'ouvrages de franchissement simples sans rétrécissement de section. L'impact sur les écoulements semble limité, avec des vitesses restant très faibles ( $< 0.05$  m/s) dans ces zones.

Du fait des faibles vitesses, ces ouvrages sont des zones d'accumulation préférentielles de sédiments fins et ne constituent pas d'obstacles pour la faune aquatique en termes de franchissement.



Figure 45. Ouvrages de franchissement, rue de l'Ormeau (à gauche) et rue de la Croix des Champs (à droite)

- **L'ouvrage de régulation** : Il s'agit d'un seuil vanné, fermé en permanence et une charge amont de 70 cm. Il est noté des fuites à travers la maçonnerie de l'ouvrage, ce qui explique le transit d'un écoulement par cet ouvrage malgré la fermeture de la vanne. Cet ouvrage crée une chute d'eau importante, avec une augmentation significative des vitesses passant de 0.12 m/s à 0.31 m/s au droit de l'ouvrage. Cet ouvrage permet la régulation du niveau d'eau de l'ensemble du système en amont, maintenant un plan d'eau quasi-horizontal dans le canal Terray.

La chute d'eau et l'accélération de l'écoulement peuvent créer une zone de décolmatage local en aval de l'ouvrage. Avec sa fermeture et la chute d'eau importante, cet ouvrage constitue un obstacle majeur pour la circulation des poissons entre l'amont et l'aval.



Figure 46. Seuil vanné

- **La buse sous la D120 et le seuil en béton à l'aval** : Ces ouvrages provoquent une accélération de l'écoulement avec des vitesses atteignant 0.50 m/s à l'approche de la confluence avec la Seine. Cette accélération est due à la pente importante et le seuil en béton qui génère une chute d'eau.

L'augmentation des vitesses favorise le transport sédimentaire et limite le colmatage dans cette zone. Cependant, le seuil en béton peut constituer un obstacle pour certaines espèces de poissons.



Figure 47. Buse sous la D120

## 5.5. FAISABILITE D'UNE RECHARGE GRANULOMETRIQUE AU VU DE LA PENTE

### 5.5.1. Rappel du contexte

Le système hydraulique des canaux de Fréparoy et Terray présente une banalité hydromorphologique caractéristique des systèmes fluviaux anthropisés. Originellement conçus pour l'alimentation en eau du château de la Motte-Tilly, ces canaux ont évolué vers un équilibre précaire marqué par une sédimentation excessive et des vitesses d'écoulement insuffisantes pour maintenir des conditions écologiques favorables, notamment pour les populations de mulettes.

La problématique centrale réside dans l'interaction entre la géométrie du canal, les apports sédimentaires, et le régime hydraulique contrôlé par le seuil vanné. Ce dernier crée un point de contrôle hydraulique qui influence l'ensemble du système en amont.

L'état actuel du système est caractérisé par un régime d'écoulement fluvial très lent. Les vitesses d'écoulement, inférieures à 0.05 m/s, sont bien en deçà des seuils critiques nécessaires pour maintenir un transport sédimentaire efficace. Le profil en long présente une pente hydraulique quasi nulle sur une grande partie du canal Terray, résultant en un plan d'eau quasi-stagnant.

Le bilan sédimentaire du système est déséquilibré, avec un taux de sédimentation largement supérieur à la capacité de transport du cours d'eau. Les observations de terrain et les données bathymétriques révèlent une couche de sédiments fins pouvant atteindre **45 à 55 cm d'épaisseur** dans certaines zones du canal Terray.

La distribution granulométrique des sédiments montre une **prédominance de particules fines** (limons et argiles) dans la majeure partie du canal. Cette granulométrie fine est incompatible avec les besoins écologiques des mulettes, qui requièrent un substrat plus grossier (graviers et sables grossiers) pour leur développement optimal.

### 5.5.2. Approche de recharge granulométrique sans modification hydraulique (scénario 1)

Afin de satisfaire aux exigences de la Mulette épaisse, il serait intéressant de proposer une recharge granulométrique et ainsi de diversifier la granulométrie des fonds et les profondeurs.

Néanmoins, dans le contexte actuel du système hydraulique des canaux de Fréparoy et Terray, caractérisé par des vitesses d'écoulement très faibles et une sédimentation excessive, **l'option d'une recharge granulométrique sans modification des conditions hydrauliques (scénario 1) présente des limites :**

- **Stabilité excessive du substrat :** Les vitesses d'écoulement extrêmement faibles dans le canal entraînent une sédimentation importante. Les particules, une fois déposées, restent en place en raison de l'absence de forces suffisantes pour les remettre en mouvement. Cette situation empêche le transport sédimentaire naturel, essentiel à la dynamique fluviale et à la diversité des habitats. L'homogénéisation du substrat qui en résulte limite la formation de microstructures nécessaires à un habitat aquatique de qualité, impactant potentiellement la biodiversité du canal.
- **Colmatage rapide :** Les faibles vitesses d'écoulement favorisent la sédimentation des particules fines en suspension. Dans le contexte actuel, on peut estimer que le taux de sédimentation des particules fines, comme les limons, pourrait atteindre plusieurs millimètres par jour dans les zones les plus calmes du canal, tandis que d'autres zones (points hauts) sont épargnées. Ce phénomène de sédimentation rapide aurait pour conséquence, au droit des points bas, le colmatage des interstices entre les éléments plus grossiers qui seraient apportés lors d'une recharge granulométrique. En peu de temps, les espaces entre les graviers et les petits cailloux seraient comblés par des sédiments fins.
- **Absence de tri granulométrique :** Dans un cours d'eau naturel et dynamique, les variations de vitesse et de turbulence de l'eau créent un tri naturel des sédiments, formant une mosaïque de zones aux caractéristiques différentes (radiers, mouilles, plats). Ce tri est essentiel à la diversité des habitats aquatiques. Dans les conditions actuelles du canal, l'écoulement est tellement lent qu'il ne permet pas ces variations. Le profil de vitesse est quasiment uniforme sur toute la profondeur de l'eau, caractéristique d'un écoulement très calme, presque stagnant. Cette uniformité empêche la formation naturelle de structures sédimentaires diversifiées, conduisant à un lit homogène et peu propice à la biodiversité.

Pour conclure, l'approche de recharge granulométrique sans modification des conditions hydrauliques (scénario 1) comporte certaines limites. Elle serait cantonnée à certains secteurs de points hauts moins sensibles au colmatage. Les actions seraient plus coûteuses et l'efficacité des actions ne concernerait que quelques secteurs ponctuels et non l'ensemble des canaux.

**Une intervention sur les conditions hydrauliques (scénarios 2 et 3) constituerait donc une plus-value à la renaturation de l'habitat par recharge granulométrique.**



### 5.5.3. Scénarios d'intervention au droit du seuil vanné (scénarios 2 et 3)

Le seuil vanné joue un rôle de contrôle hydraulique déterminant. Il crée une rupture de pente dans le profil en long du canal, entraînant plusieurs effets :

- Ralentissement de l'écoulement : En amont du seuil, l'eau est retenue, créant une zone de faibles vitesses sur une longue distance.
- Sédimentation accrue : Les faibles vitesses favorisent le dépôt des particules en suspension, conduisant à un envasement progressif du canal en amont.
- Discontinuité écologique : Le seuil forme une barrière physique pour la faune aquatique, limitant les déplacements des espèces et le transport sédimentaire.
- Modification du régime hydraulique : Le contrôle des niveaux d'eau par le seuil altère le régime naturel du cours d'eau, impactant les processus écologiques qui en dépendent.

Ces effets combinés créent des conditions peu favorables à la diversité des habitats aquatiques et particulièrement préjudiciables aux populations de mulettes, qui nécessitent des écoulements plus dynamiques et des substrats moins envasés.

D'un point de vue purement écologique et hydraulique, la **suppression du seuil (scénario 3)** représenterait la solution optimale pour restaurer la dynamique naturelle du système. Cette option permettrait :

- Restauration de la continuité écologique : L'élimination de la barrière physique permettrait le libre déplacement des espèces et le transport naturel des sédiments.
- Rétablissement d'un profil d'écoulement naturel : Les vitesses d'écoulement augmenteraient, favorisant une diversification des habitats.
- Amélioration de la qualité de l'eau : Un substrat plus grossier et moins colmaté serait favorable aux espèces benthiques.
- Autorégulation du système et restauration des processus géomorphologiques : Le canal retrouverait un équilibre naturel entre érosion et dépôt.
- Augmentation de la pente générale du canal : Une pente plus importante favoriserait des écoulements plus dynamiques et un meilleur transport sédimentaire.
- Amélioration de la connectivité avec la Seine en aval : Les échanges biologiques et hydrauliques entre le canal et le fleuve seraient facilités, enrichissant la biodiversité du système.

**Cette solution se heurte cependant aux contraintes patrimoniales et fonctionnelles. Ainsi, il semble difficilement acceptable de supprimer l'alimentation en eau du parc du château, et il serait relativement coûteux et contraignant d'abaisser fortement le niveau d'eau (enjeux géotechniques et paysagers en centre-ville) et de remplacer la prise d'eau par un autre type de système (pompage...).**

**La gestion du système hydraulique (scénario 2) doit donc s'orienter vers des solutions permettant d'améliorer les conditions écologiques tout en conservant le seuil.** Ce scénario est décrit au § 6.

### 5.5.4. Identification de secteurs de recharge

Parallèlement à l'amélioration des conditions hydrauliques des canaux Fréparoy et Terray (scénario 2), **des secteurs spécifiques ont été identifiés comme particulièrement intéressants pour des travaux ou des opérations de recharge granulométrique.** Ces interventions visent à améliorer les conditions de vie pour les espèces cibles et à diversifier les habitats aquatiques.



Les secteurs choisis pour la recharge granulométrique répondent à des critères spécifiques :

- **Localisation sur des points hauts** : Ces points hauts existants présentent l'avantage d'être naturellement moins sédimentés. Le choix de ces zones vise à assurer la pérennité des aménagements en limitant les risques de ré-ensablement rapide.
- **Évitement des zones fortement envasées** : Les secteurs présentant une sédimentation importante (10 à 50 cm par endroits) ont été exclus des zones de recharge granulométrique directe.
- **Accessibilité** : Les zones sélectionnées offrent un accès facilité pour les opérations de recharge.

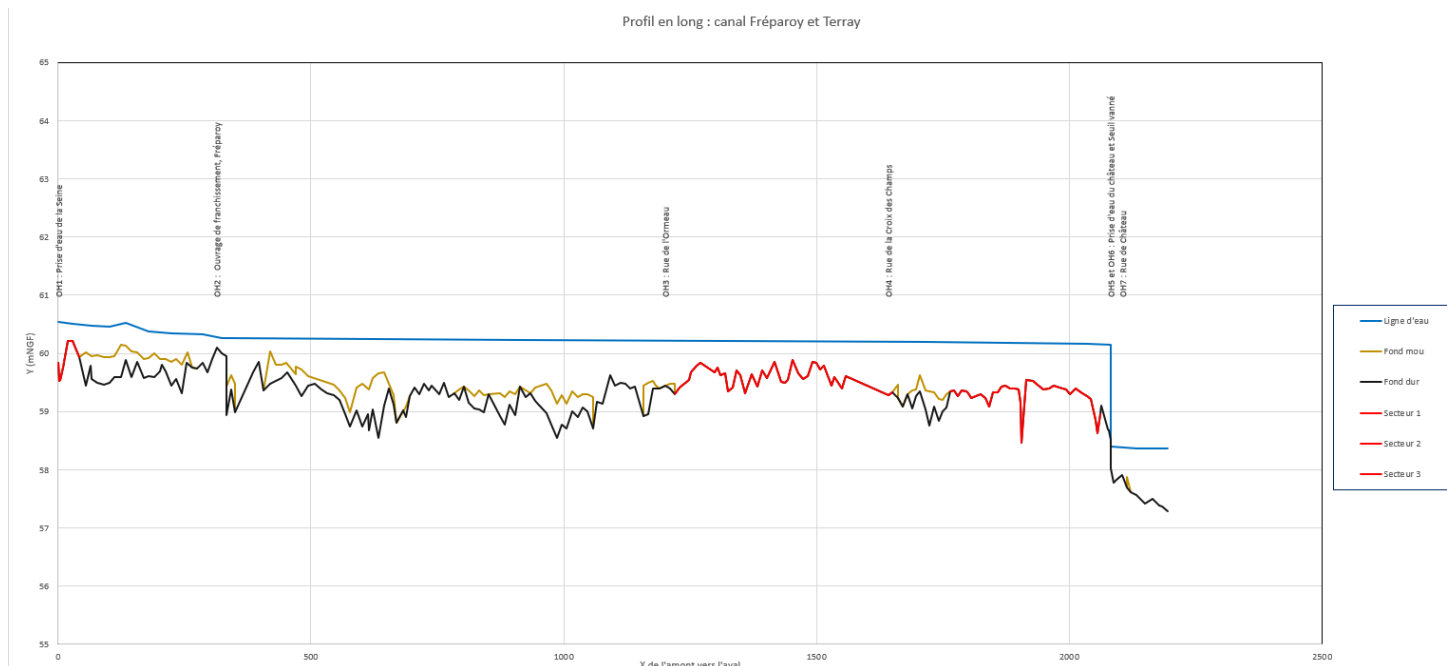


Figure 48. Localisation des secteurs retenus pour la recharge granulométrique (en rouge)

Nous constatons ici que les principaux secteurs où les aménagements de recharge granulométrique sont jugés faisables, se situent sur le canal Terray. Il est donc proposé d'étendre les propositions de compensation pour la Mulette épaisse au canal Terray.

*NB : L'étude préalable de Biotopie (« Mesure de compensation Mulette, 2023) concluait à une mauvaise faisabilité des actions de compensations sur le canal Terray en l'absence d'une amélioration de la connectivité avec la Seine. Or dans le cas présent, des propositions sont faites en ce sens.*

Finalement, les 3 secteurs représentent les linéaires et surfaces suivantes :

- **Secteur 1** : Prise eau en Seine, amont du canal de Fréparoy : 42 ml, 338 m<sup>2</sup> de surface de compensation potentielle ;
- **Secteur 2** : Tronçon entre l'OH3 (ru de l'Ormeau) et OH4 (rue de la Croix des Champs) : 430 ml, 1070 m<sup>2</sup> de surface de compensation potentielle ;
- **Secteur 3** : Tronçon entre le PT22 jusqu'à la prise d'eau du château : 280 ml, 1400 m<sup>2</sup> de surface de compensation potentielle.

Néanmoins, le secteur 1 est soumis à des forces de cisaillement trop importantes pour l'ancrage de la Mulette. Une recharge peut être proposée en même temps que le réaménagement de la prise d'eau, afin d'attirer les espèces lithophiles ; mais ce secteur n'entrera pas dans le calcul de la surface de compensation pour la mulette.

Ces secteurs et les aménagements correspondants sont décrits au § 6.

## 6. BILAN DES ACTIONS ENVISAGEABLES SUR LE VOLET ECOLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Les aménagements proposés sont présentés sur les cartographies ci-dessous, et détaillés en § suivants.

Globalement, **deux scénarios sont envisagés, selon qu'il est possible ou non d'ouvrir la vanne du château de la Motte-Tilly. Le scénario 1 considère une gestion similaire à l'actuelle tandis que le scénario 2 considère une ouverture périodique.**

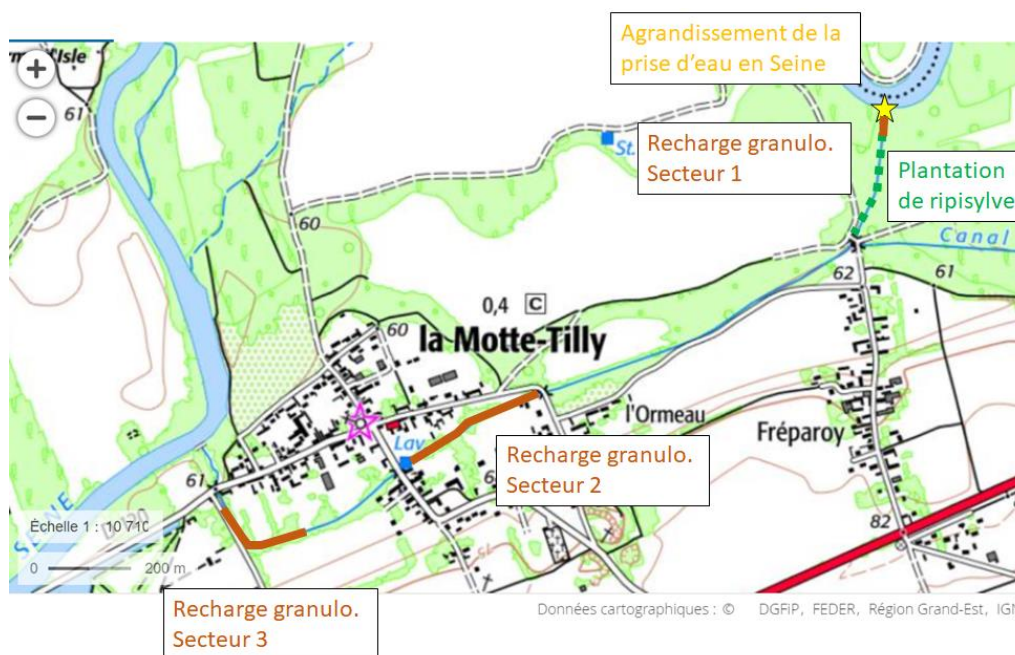


Figure 49. Vue générale des aménagements proposés en scénario 1

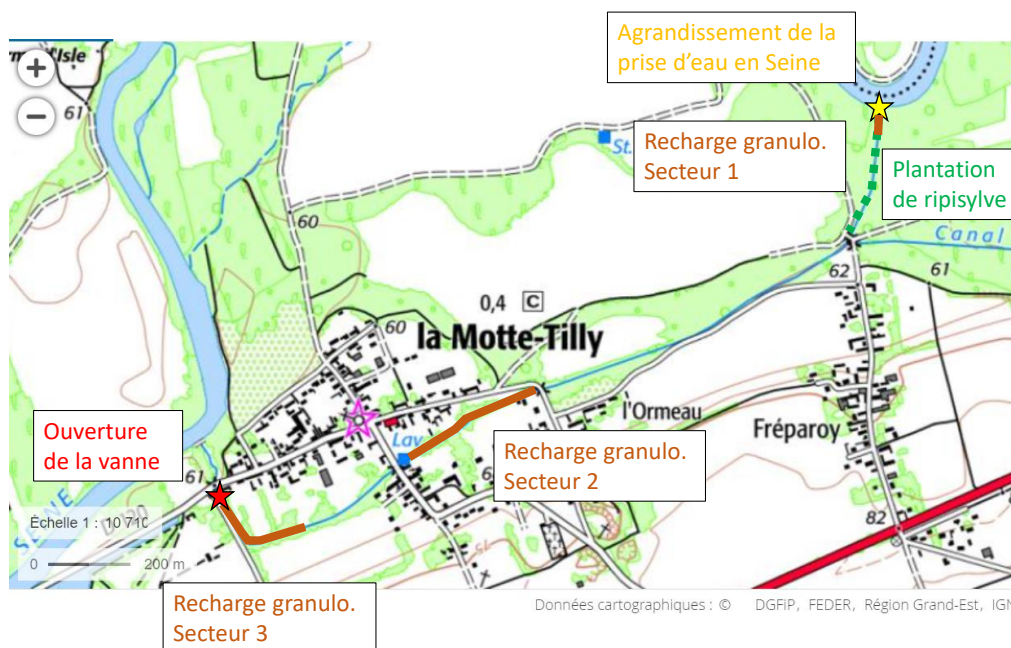


Figure 50. Vue générale des aménagements proposés en scénario 2

## 6.1. AMELIORATION DE LA FRANCHISSABILITE DE LA PRISE D'EAU DU CANAL DE FREPAROY (SCENARIOS 1 ET 2)

La prise d'eau actuelle en Seine, située en amont du canal de Fréparoy, présente plusieurs limitations qui affectent négativement le fonctionnement hydraulique et écologique du système :

- Obstacle à la continuité écologique :
  - L'ouvrage actuel est un ouvrage maçonné en mauvais état, de faible section et il constitue une barrière physique pour de nombreuses espèces aquatiques.
  - La faible section de l'ouvrage, combinée à une faible lame d'eau, rendent le passage difficile voire impossible pour de nombreux poissons.
- Manque de luminosité :
  - L'ouvrage actuel correspond à un conduit de longueur de 2 à 3 m ; il crée donc une zone d'obscurité.
  - Ce manque de lumière peut dissuader certaines espèces de poissons de s'engager dans le passage, limitant ainsi leurs déplacements entre la Seine et le canal.

Ces limitations entraînent des conséquences importantes sur le fonctionnement global du système, elles réduisent la connectivité écologique entre la Seine et le canal, limitant les échanges biologiques et la richesse écologique.

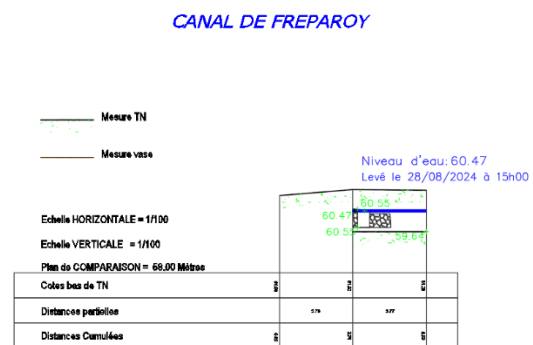


Figure 51. Prise d'eau en Seine actuelle

Notre proposition consiste à **remplacer la prise d'eau actuelle par une berge basse**, un aménagement hydraulique qui consiste à abaisser le niveau de la berge pour permettre un débordement contrôlé et une connexion plus naturelle entre la Seine et le canal de Fréparoy.

Cette transformation en berge basse vise à :

- **Créer un seuil naturel** : La berge sera abaissée à 60.30 m NGF pour agir comme un seuil à large crête, permettant un écoulement plus régulier et une meilleure répartition des vitesses.
- **Améliorer la continuité écologique** : La suppression de l'ouvrage ponctuel au profit d'une berge basse étendue facilite le passage des organismes aquatiques.
- **Réduire les pertes de charge** : L'absence de structure verticale diminue les turbulences et les pertes d'énergie à l'entrée du système.

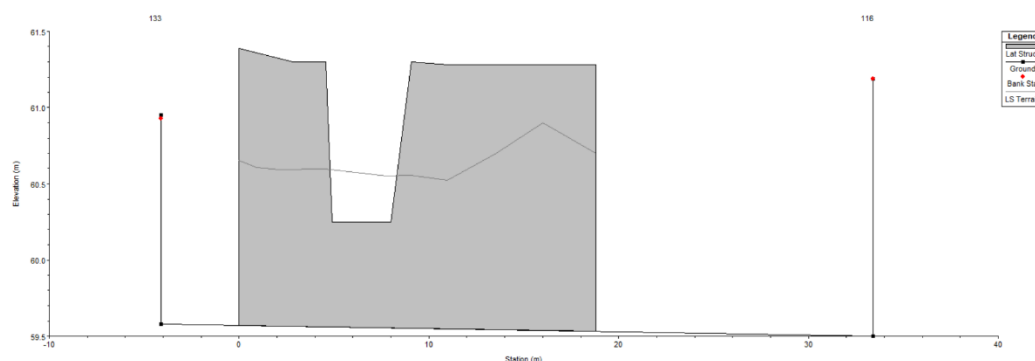


Figure 52. Berge basse à l'entrée du canal de Fréparoy (extrait du modèle HEC-RAS)

Pour cela, l'ouvrage actuel sera déposé, puis la berge basse sera aménagée par décaissement du terrain naturel.

Ce décaissement se fera sur toute l'emprise disponible entre la Seine et le canal de Fréparoy (3 m), sur une largeur de 3,2 m et une profondeur de 1 m. La berge ainsi le talus aval vers le canal de Fréparoy seront protégés des érosions par des enrochements ou alternativement par des matelas et boîtes gabion (ci-dessous).



Vue en plan



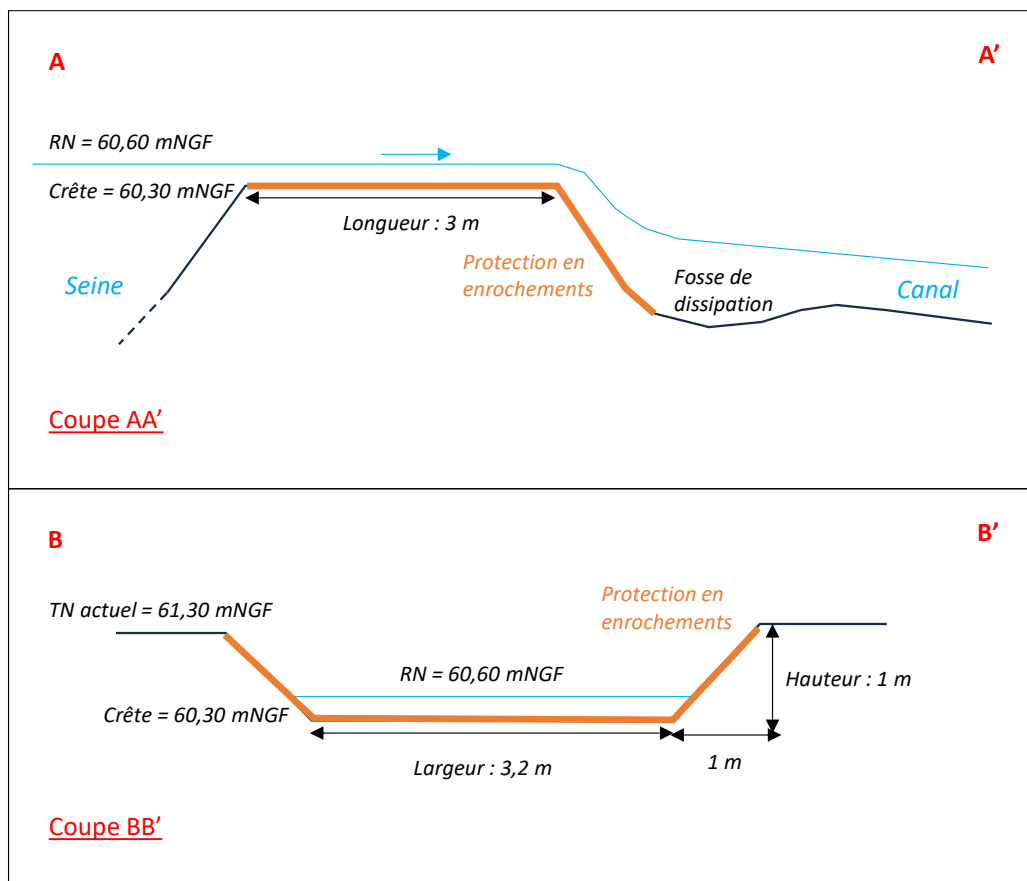


Figure 53. Principe d'aménagement de la nouvelle prise d'eau

## 6.2. OUVERTURE DE LA VANNE DE PRISE D'EAU DU CHATEAU (SCENARIO 2)

L'attention s'est portée sur la possibilité d'ouvrir la vanne du seuil de manière contrôlée. Cette approche consiste à :

- Ouvrir la vanne du seuil pour permettre un écoulement dans le canal,
- Fermer la vanne lorsque le château nécessite une alimentation en eau.

Cette gestion de la vanne vise à :

- Augmenter les vitesses d'écoulement dans le canal, favorisant ainsi un meilleur transport sédimentaire et réduisant l'envasement.
- Améliorer partiellement la continuité écologique en réduisant l'effet « barrage » du seuil lorsque la vanne est ouverte.
- Maintenir la capacité d'alimenter le château en eau lorsque nécessaire, préservant ainsi la fonction historique du système.

Plus la vanne sera ouverte longtemps, meilleures seront les fonctionnalités écologiques. Cependant, cette ouverture est à concilier avec l'alimentation des bassins du château, et nécessite la mise en place d'une gestion de la vanne (non observée aujourd'hui : ouvrage constamment fermé).

**Une discussion est en cours entre VNF et le propriétaire du château, afin de trouver le meilleur compromis entre les enjeux écologiques et patrimoniaux.**

## 6.3. RECHARGE GRANULOMETRIQUE SUR DES SECTEURS-CLE (SCENARIOS 1 ET 2)

### 6.3.1. Principe des aménagements

La recharge granulométrique possède de multiples avantages vis-à-vis de la Mulette (voir § « exigences écologiques ») :

- Substrat « graviers » apprécié par la mulette, par opposition aux limons actuellement observés,
- Diversification des profondeurs, aujourd'hui homogènes,
- Accélération des écoulements par réduction de la section (à condition d'améliorer les conditions hydrauliques, cf. scénario 2).

Une recharge en « cailloux-graviers » sera donc opérée sur les secteurs identifiés au § suivant. Elle portera aussi bien sur le fond (épaisseur : 10-20 cm) que sur les côtés (épaisseur : 40 cm), sur le principe des banquettes alternées présenté au schéma suivant.

En scénario 2, il serait intéressant de suivre l'évolution du milieu et le décolmatage à la suite de l'ouverture de la vanne aval, avant de procéder à cette recharge. Cela permettrait en effet d'adapter la recharge en volume et en localisation, et ainsi de proposer des aménagements moins coûteux et plus efficaces.

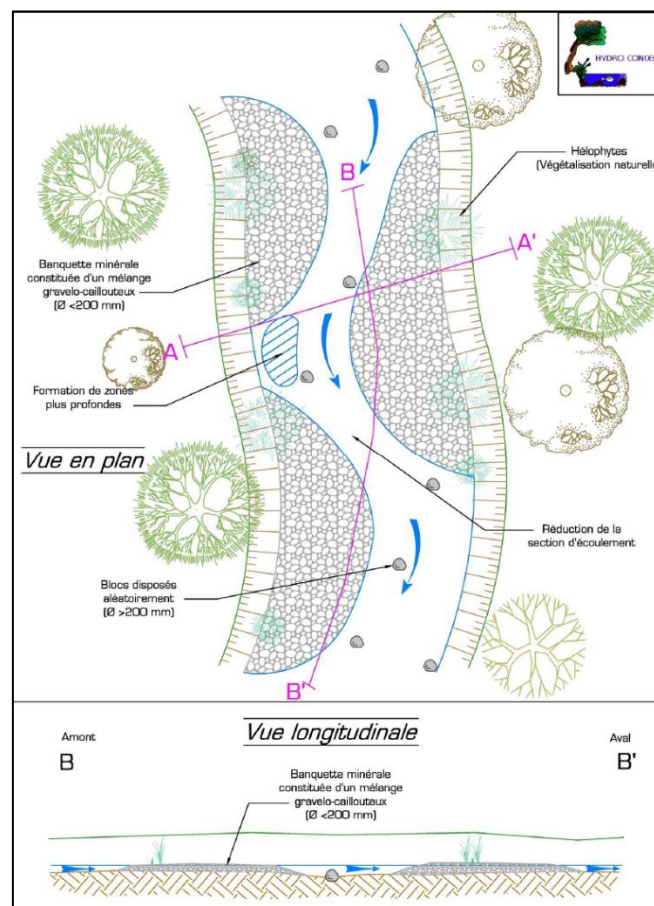


Figure 54. Schémas de principe d'un rétrécissement de la section par mise en œuvre de banquettes minérales (Source : SMGL, Hydroconcept)

### 6.3.2. Secteurs proposés

Les 3 secteurs proposés pour la recharge sont décrits ci-dessous.

■ **Secteur 1** : Prise eau en Seine, amont du canal de Fréparoy

Ce secteur concerne la modification de l'ouvrage de la prise d'eau et son environnement immédiat :

- Linéaire concerné : 42 m
- Largeur moyenne du secteur : 8 m
- Surface de compensation : 338 m<sup>2</sup>
- Caractéristiques de l'ouvrage de la prise d'eau : 3x5 m
- Accessibilité : le secteur est accessible depuis les rives gauches et droite, ce qui facilitera les travaux de modification de l'ouvrage.



Figure 55. Secteur 1

■ **Secteur 2** : Tronçon entre l'OH3 (ru de l'Ormeau) et OH4 (rue de la Croix des Champs)

- Linéaire total : 429,5 m
- Linéaire accessible pour les engins : 214 m
- Largeur moyenne du secteur : 5 m
- Surface de compensation : 1070 m<sup>2</sup>
- Accessibilité :
  - Une partie est accessible aux engins
  - L'autre moitié (environ 215,5 m) n'est accessible qu'à pied en raison de la présence de parcelles privées
  - L'accès principal se fait via les parcelles 0154/0155 (rue de la Mairie)
  - Il est important de vérifier que ces parcelles sont bien communales pour garantir l'accès
- Particularités : Pour la partie accessible uniquement à pied, des méthodes alternatives de recharge devront être envisagées, comme le transport manuel des matériaux ou l'utilisation d'engins légers.



Figure 56. Secteur 2

■ **Secteur 3 :** Tronçon entre le PT22 jusqu'à la prise d'eau du château

- Linéaire concerné : 280 m
- Largeur moyenne du secteur : 5 m
- Surface de compensation : 1400 m<sup>2</sup>
- Accessibilité :
  - Le secteur est accessible via un champ (parcelle 0222)
  - Il existe des difficultés d'accès pour les engins, ce qui pourrait nécessiter des aménagements provisoires ou l'utilisation d'engins spécialisés pour la recharge



Figure 57. Secteur 3



## 6.4. PLANTATION DE RIPISYLVE (SCENARIOS 1 ET 2)

La ripisylve aux abords du canal de Fréparoy est très peu présente, ce qui n'a pas toujours été le cas comme le montrent les cartes anciennes (ci-dessous).

Cette absence d'ombrage favorise des températures élevées et diminue par là-même le taux d'oxygène favorable à la Mulette épaisse.

C'est pourquoi, des replantations ainsi qu'une gestion adaptée sont proposés ici.

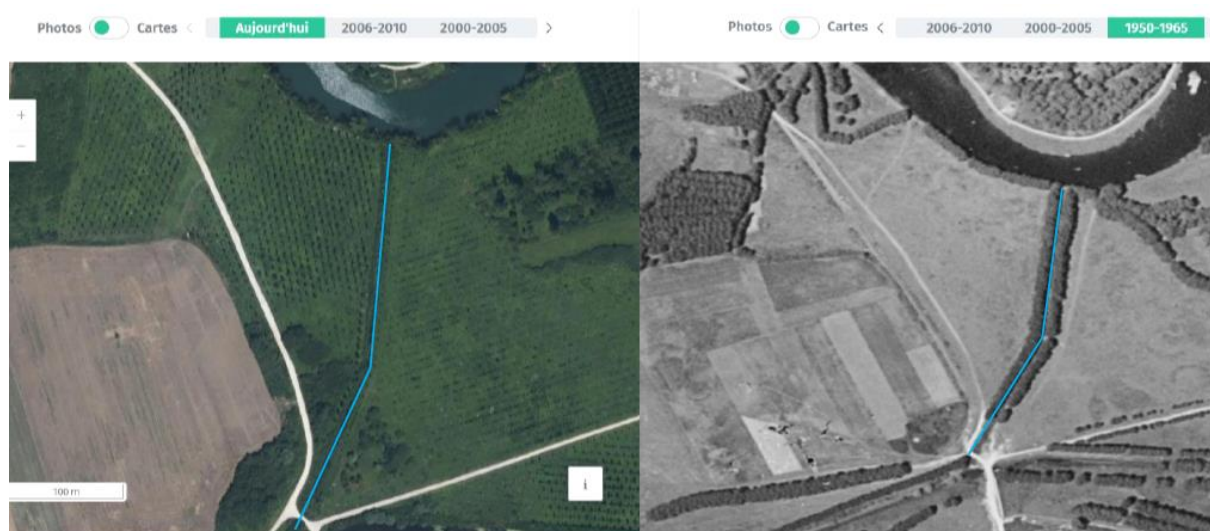


Figure 58. Comparatif sur la ripisylve du canal de Fréparoy en 2022 (à gauche) et 1949 (à droite) – Source IGN ; Biotope 2023

Les berges seront plantées d'espèces ligneuses alluviales sur environ 250 ml, dont un certain nombre d'espèces de saules et quelques aulnes de haute tige.

Certains secteurs seront maintenus ensoleillés afin de favoriser le développement d'hélophytes et la diversification des habitats (figure ci-après).

Le gestionnaire devra réaliser des coupes régulières des rejets arbustifs se développant sur les secteurs d'hélophytes ainsi qu'un débroussaillage des sujets en lisière. Afin de préserver les habitats naturels, ces coupes seront effectuées manuellement. Ces coupes seront réalisées deux fois par an, en fin d'automne et en fin de printemps au moins les 5 premières années.

Des arbres de haut jet seront maintenus afin de lutter contre l'érosion des berges.



Figure 59. Plantation de ripisylve

## 6.5. ENTRETIEN DES HERBIERS AQUATIQUES (SCENARIOS 1 ET 2)

Concernant la gestion de la végétation aquatique, il est préconisé un faucardage avec engins (porte-outils) amphibies légers pour le canal, à raison de 1/3 de sa surface tous les 3 ans en alternant rive gauche et rive droite.

**Les modalités de faucardage devront être adaptées à la présence de la Mulette, afin de ne pas impacter les individus qui auront réussi à s'implanter dans le canal.**

La hauteur de coupe sera de minimum 10 cm au-dessus du niveau du fond du lit. En cas d'intervention nécessaire en période défavorable (mars à mi-juillet), la hauteur de coupe sera réglée à la moitié de la hauteur d'eau.

Les produits de faucardage doivent impérativement être exportés.

Des filets de protection sont disposés en amont et en aval de chaque chantier pour stopper les boutures et les fragments de tiges en transit qui sont ramassés en fin d'intervention.

Ces actions visent à préserver le milieu (limitation de l'envasement, amélioration de la qualité d'eau) et ont pour objectif d'éviter l'occupation totale des voies d'eau par les végétaux.

## 6.6. LUTTE CONTRE LE RAGONDIN (SCENARIOS 1 ET 2)

Des ragondins ont été identifiés sur le linéaire du canal.

En plus des érosions de berges, cette espèce représente une menace sur la faune et la flore. Ses préférences alimentaires (potamots, carex, roseaux, etc.) engendrent des modifications des écosystèmes aquatiques au détriment de la faune autochtone (oiseaux, amphibiens, poissons...), qui utilise cette végétation comme habitat ou source de nourriture.

Plusieurs actions peuvent être mises en œuvre pour éradiquer cette espèce sur le secteur d'étude :

- sensibiliser les chasseurs afin qu'ils identifient l'espèce et contribuent significativement à limiter son expansion ;
- organiser des campagnes de piégeage au printemps ou à l'automne :
  - utilisation de cages avec morceaux de pommes pour les attirer,
  - positionnement : tous les 50 m environ sur les berges du canal de Fréparoy et en amont du canal Terray, soit une dizaine de cages,
  - cages à relever quotidiennement, au lever du jour, collecte et envoi des individus piégés dans un centre d'équarrissage.



Figure 60. Ragondin pris au piège (SMLG, Hydroconcept, 2016)

Le nombre de campagnes et la pression de piégeage seront à adapter en fonction du nombre d'individus collectés.

## 7. INCIDENCES DES AMENAGEMENTS

### 7.1. INCIDENCES HYDRAULIQUES

#### 7.1.1. Ouverture de la vanne de prise d'eau du Château

La modélisation hydraulique a été réalisée pour différentes ouvertures de la vanne du seuil, y compris une ouverture maximale. Les résultats montrent que les effets hydrauliques restent similaires pour les différentes configurations d'ouverture testées. Pour simplifier la présentation, nous nous concentrerons sur les résultats de l'ouverture à 50 cm, qui sont représentatifs des changements observés. Cette configuration a produit des résultats significatifs en termes de vitesses d'écoulement et de niveau d'eau dans le canal. Les principales observations sont :

- Augmentation significative des vitesses d'écoulement :
  - Dans le canal Terray, les vitesses augmentent globalement, passant de moins de 0.05 m/s dans l'état initial à des valeurs comprises entre 0.15 et 0.20 m/s sur de longues sections.
  - Dans la partie aval du canal, les vitesses atteignent 0.87 m/s, comparé à 0.50 m/s à la confluence avec la Seine.
- Modification du niveau d'eau :
  - Une baisse générale du niveau d'eau d'environ 60 cm est observée dans le canal Terray, passant de 60.55 m NGF dans l'état initial à environ 59.94 m NGF sur une grande partie du linéaire.
- Augmentation de la pente hydraulique :
  - La pente hydraulique passe de  $10^{-5}$  m/m dans l'état initial à des valeurs allant jusqu'à  $5 \times 10^{-4}$  m/m, notamment dans les zones aval.

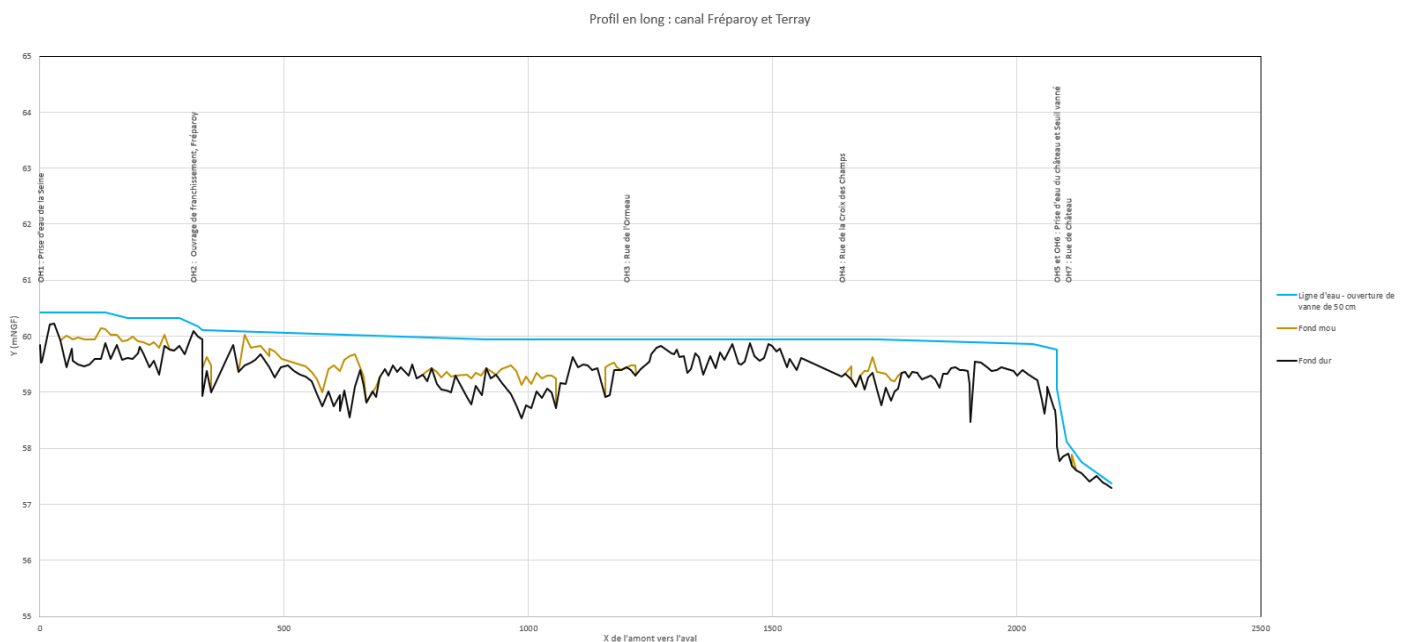


Figure 61. Profil en long des canaux Fréparoy et Terray en cas d'ouverture de vanne de 50 cm



- Analyse des forces de cisaillement :

Cette analyse est importante afin d'évaluer l'impact potentiel de l'ouverture de la vanne sur l'habitat des mulettes. Ces organismes protégés sont sensibles aux forces de cisaillement élevées, avec un **seuil critique généralement admis de 1,5 N/cm<sup>2</sup>**.

Nous avons analysé les forces de cisaillement à trois points du canal, en comparant l'état initial avec le scénario d'ouverture de vanne à 50 cm :

Tabl. 9 - Comparaison des forces de cisaillement

	Paramètre	Etat initial	Vanne ouverte (50 cm)
<b>Amont du canal Fréparoy</b>	Vitesses (m/s)	0.04	0.09
	Pente hydraulique (m/m)	0.000009	0.000017
	Force de cisaillement (N/cm <sup>2</sup> )	$4 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-7}$
<b>Milieu du canal Terray</b>	Vitesses (m/s)	0.01	0.15
	Pente hydraulique (m/m)	0.000001	0.00026
	Force de cisaillement (N/cm <sup>2</sup> )	~ 0	$1.2 \times 10^{-6}$
<b>Seuil vanné</b>	Vitesses (m/s)	0.12	1.05
	Pente hydraulique (m/m)	0.00017	0.12
	Force de cisaillement (N/cm <sup>2</sup> )	$6 \times 10^{-6}$	$1.35 \times 10^{-4}$

- **Amont du canal Fréparoy** : On observe une légère augmentation de la force de cisaillement avec l'ouverture de la vanne, mais les valeurs restent très faibles dans les deux cas.
- **Milieu du canal Terray** : Les forces de cisaillement sont très faibles dans les deux scénarios. L'ouverture de la vanne n'a qu'un impact minime à cet endroit.
- **Seuil vanné** : L'ouverture de la vanne provoque une augmentation significative de la force de cisaillement, passant de  $6 \times 10^{-6}$  N/cm<sup>2</sup> à  $1,35 \times 10^{-4}$  N/cm<sup>2</sup>. Bien que cette augmentation soit significative, elle reste très largement en dessous du seuil critique de 1,5 N/cm<sup>2</sup>.

Ces résultats montrent que **l'impact de l'ouverture de la vanne sur les forces de cisaillement est principalement localisé près de la vanne. Dans le reste du canal, les changements sont minimes et les forces de cisaillement restent de plusieurs ordres de grandeur inférieurs au seuil critique pour les mulettes.**

### 7.1.2. Modification de la prise d'eau du canal de Fréparoy

Le tableau ci-dessous présente une comparaison des résultats de modélisation pour les scénarios hydrauliques distincts étudiés pour le système des canaux de Fréparoy et Terray :

- Etat initial,
- Ouverture de la vanne à 50 cm,
- Remplacement de la prise d'eau par une berge basse,
- Combinaison de l'ouverture de la vanne à 50 cm et du remplacement de la prise d'eau par une berge basse.

Les données présentées se concentrent sur un point en aval du canal de Fréparoy, considéré comme représentatif des changements observés dans l'ensemble du canal.

Tabl. 10 - Comparaison des scénarios modélisés au PT 7 du canal de Fréparoy

	Etat initial	Vanne ouverte 50 cm	Berge basse	Vanne ouverte + berge basse
Débit (m <sup>3</sup> /s)	0.16	0.16	0.13	0.29
Vitesse d'écoulement (m/s)	0.07	0.17	0.07	0.19
Niveau d'eau (m NGF)	60.56	60.33	60.54	60.42

■ Scénario d'ouverture de la vanne seule :

L'ouverture de la vanne à 50 cm apporte une amélioration notable des conditions hydrauliques du canal. L'augmentation de la vitesse d'écoulement de 0,07 m/s à 0,17 m/s (soit une augmentation de 143%) favorise le transport sédimentaire et réduit les risques d'envasement. L'abaissement du niveau d'eau de 60,56 m NGF à 60,33 m NGF permet de dynamiser l'écoulement tout en maintenant une profondeur suffisante pour la vie aquatique. Le maintien du débit à 0,16 m<sup>3</sup>/s indique que cette intervention n'affecte pas le volume d'eau transitant dans le système, préservant ainsi les fonctions hydrauliques existantes.

■ Scénario de berge basse seule :

La mise en place d'un seuil latéral sans modification de la vanne montre un impact limité sur les conditions hydrauliques du canal. La légère réduction du débit de 0,16 m<sup>3</sup>/s à 0,13 m<sup>3</sup>/s (-19%) pourrait être attribuée à une modification des conditions d'entrée d'eau dans le système. Cependant, l'absence de changement significatif dans la vitesse d'écoulement (maintenue à 0,07 m/s) et le niveau d'eau (passant de 60,56 m NGF à 60,54 m NGF) suggère que cette intervention seule n'est pas suffisante pour améliorer la dynamique hydraulique du canal.

■ Scénario combiné (ouverture de la vanne + berge basse) :

La combinaison de l'ouverture de la vanne et de la mise en place d'un seuil latéral offre les améliorations les plus significatives :

**a. Augmentation importante du débit :**

Le débit passe de 0,16 m<sup>3</sup>/s à 0,29 m<sup>3</sup>/s, soit une augmentation de 81%. Cette augmentation substantielle du volume d'eau transitant dans le canal peut contribuer à :

- Un meilleur renouvellement de l'eau, améliorant potentiellement sa qualité
- Une capacité accrue à transporter les sédiments
- Un soutien plus important aux fonctions écologiques du canal

**b. Augmentation maximale de la vitesse d'écoulement :**

La vitesse passe de 0,07 m/s à 0,19 m/s, représentant une augmentation de 171%. Cette amélioration de la dynamique d'écoulement peut :

- Réduire considérablement les risques d'envasement
- Favoriser la création de micro-habitats diversifiés pour la faune aquatique
- Améliorer l'oxygénation de l'eau

## 7.2. INCIDENCES SUR LE MILIEU HUMAIN

Les incidences sur le milieu humain sont très faibles étant donné le peu d'enjeux sur le secteur.

Seule, une question sur le franchissement de la future prise d'eau en Seine est en cours de réflexion. En effet, la création d'une berge basse ne sera plus franchissable par les piétons et encore moins pour les véhicules.

La mise en place d'une passerelle est à l'étude.

## 7.3. GAINS ECOLOGIQUES

### ■ Habitabilité du canal de Fréparoy et Terray avant et après aménagement

Nous proposons ici de reprendre le tableau « bilan des conditions rencontrées au vu des exigences biologiques de la Mulette », en étendant d'une part le secteur au canal Terray, puisque les aménagements y seront réalisés ; et d'autre part, en proposant une « évaluation des gains écologiques après restauration ». Ce tableau est présenté page suivante.

Les gains écologiques sont qualifiés de « forts », « moyens » ou « faibles » par rapport à la situation actuelle sur le site. Il est indiqué à chaque fois quel scénario est concerné (1 – sans ouverture ou 2 – avec ouverture, le scénario 3 – effacement de la vanne – étant considéré comme non faisable).

Le gain principal concerne la recharge granulométrique qui permettra de recréer des habitats favorables à la mullette. De plus, en scénario 2, l'augmentation des vitesses engendrera : un décolmatage des substrats, une diversité des écoulements et une meilleure oxygénation, tout en restant en-dessous des valeurs de cisaillement acceptables par la mullette.

L'amélioration de la franchissabilité de la prise d'eau est également un gain fort pour l'accomplissement du cycle de vie de la mullette (poissons hôtes dans le canal).

### ■ Conclusion

Différentes mesures de compensation ont été définies pour compenser les impacts résiduels notables du projet sur les habitats de vie de la Mulette épaisse. Une surface de **1 691 m<sup>2</sup>** avait été retenue dans le dimensionnement du besoin compensatoire (Biotope, 2023).

La restauration hydromorphologique par recharge granulométrique (secteurs 2 et 3 sur le canal Terray) concerne une surface de **2 470 m<sup>2</sup>**, avec un gain écologique moyen à fort selon le scénario.

En outre, l'adaptation de la prise d'eau en Seine, et donc l'amélioration des continuités écologiques, devrait favoriser l'accès des poissons hôtes de l'espèce au canal de Fréparoy et Terray. Enfin, l'ouverture de la vanne en scénario 2 permettrait d'obtenir une plus-value sur l'ensemble des habitats hydromorphologiques des canaux. Ces deux améliorations concernent l'ensemble du linéaire étudié soit environ 14 000 m<sup>2</sup> en considérant une largeur de 6 m.

Enfin, à cela s'ajoutent de manière indirecte, les actions menées de part et d'autre du canal via la plantation de ripisylve sur 250 ml soit environ 500 à 1000 m<sup>2</sup>.

**La mise en œuvre des mesures de compensation et de leur suivi permet donc de contrebalancer les impacts résiduels du projet et de garantir que le projet n'entraîne pas de dégradation de l'état de conservation des populations de Mulette épaisse à l'échelle locale.**

**Ainsi, les propositions d'aménagement permettent largement de compenser les 1 691m<sup>2</sup> identifiés, et ce quel que soit le scénario retenu, même si les gains sont supérieurs en scénario 2.**

Tabl. 11 - Evaluation des gains écologiques pour la Mulette épaisse

Exigences biologiques de la Mulette épaisse			Conditions actuelles au droit du canal de Fréparoy et du canal Terray	Gains écologiques après restauration	
				SCENARIO 1 Absence d'ouverture de la vanne du château	SCENARIO 2 Ouverture de la vanne du château
Dimensions du lit mineur	largeur	1 à 200 m	6 m (Fréparoy) 3 à 8 m (Terray)	RAS	
	profondeur	0,4 à 0,8 m avec diversité de profondeurs	0,6 m (Fréparoy) à 1 m (Terray) homogénéité de profondeurs sur les profils en travers	Profondeurs variées sur les linéaires faisant l'objet d'une recharge, soit 752 ml et 2808 m <sup>2</sup> .	
Ecoulements	vitesse	0,11 à 0,31 m/s	vitesse max (en surface) : 0,30 m/s ; vitesses nettement inférieures en profondeur : 0,05 m/s (Fréparoy et Terray) Cisaillement trop élevé uniquement en aval immédiat de la prise d'eau	RAS	Augmentation des vitesses à 0,19 (Fréparoy) et 0,15-0,20 (canal Terray)
	cisaillement	< 1,5 N / cm <sup>2</sup>	Trop élevé à l'aval immédiat de la prise d'eau (jusqu'à 30m) puis diminue ensuite sur le reste du linéaire	RAS	Cisaillement à l'état projet restant < 1,5 N / cm <sup>2</sup>
Fond du lit	substrat	gravier (60 %), sable (35 %), argile-limon (5 %)	grande majorité de limons "cailloux graviers" ou "graviers grossiers" ponctuellement (Fréparoy et Terray)	Habitats de type « cailloux graviers » sur 2808 m <sup>2</sup> offrant un ancrage stable pour la Mulette au niveau de zones de « points hauts » moins sensibles au colmatage	Habitats de type « cailloux graviers » sur 2808 m <sup>2</sup> offrant un ancrage stable pour la Mulette ; décolmatage généralisé sur les deux canaux du fait de l'ouverture de la vanne et de l'augmentation de la prise d'eau en Seine
	colmatage	Faible	Elevé quasiment partout (Fréparoy) Elevé sauf au droit de 3 secteurs de points hauts (Terray)		
Qualité de l'eau	oxygénation	6 à 11,3 mg/L	"Très bon état" en Seine au droit de la prise d'eau en 2021 pour l'oxygène. Cependant l'oxygénation peut être plus réduite au droit des canaux (plus faibles profondeurs, variabilité saisonnière, peu d'ombrage)	Amélioration de l'ombrage par plantation de ripisylve sur 250 ml	Amélioration de l'ombrage par plantation de ripisylve sur 250 ml Meilleure oxygénation sur l'ensemble des canaux du fait de l'augmentation des vitesses
	ammonium	4 à 6,5 mg /L	<0,05 mg/L en Seine au droit de la prise d'eau en 2021	RAS	



Exigences biologiques de la Mulette épaisse			Conditions actuelles au droit du canal de Fréparoy et du canal Terray	Gains écologiques après restauration	
				SCENARIO 1 Absence d'ouverture de la vanne du château	SCENARIO 2 Ouverture de la vanne du château
	général	besoin physico-chimiques peu contraignants	-	RAS	
Végétation aquatique	végétation aquatique	présente (Elodée et Glycérie)	présente (dont : Elodée de Nutall et Grande Glycérie) mais trop développée (Fréparoy) Abondance de nénuphars (Terray)	Entretien des herbiers aquatiques permettant d'éviter leur prolifération	
Espèces invasives	corbicule asiatique	nuisible à l'espèce (compétition)	présence de corbicule asiatique vivante, uniquement à 210 m en aval de la prise d'eau (Fréparoy) Absence de diagnostic (Terray)	RAS	
	ragondins	nuisible à l'espèce (prédation)	présence de ragondins (principalement Fréparoy)	Diminution de la prédation par le ragondin	
Poissons hôtes	espèces	vairon, chabot, rotengle, hotu et chevesne	Dans les 2 canaux : chabot et chevesne En Seine (7 km en aval) : vairon, chabot, rotengle, hotu et chevesne	Amélioration de la franchissabilité de la prise d'eau, permettant une augmentation de la densité et de la diversité des poissons hôtes dans les canaux	
	concentration	40 indiv / 100 m²	Dans les 2 canaux : 5 chabots et 11 chevesnes (pêche électrique Aquascop, 2024)		

Légende

Conditions rencontrées au droit du canal au vu des exigences biologiques de la Mulette

- Satisfaisante
- Limitante
- Très limitante

Gain écologique

- Fort
- Moyen
- Faible

## 7.4. PRECAUTIONS A PRENDRE EN PHASE TRAVAUX

Des précautions et mesures spécifiques seront à prendre en phase travaux concernant les espèces sensibles présentes sur le site et identifiées au § 2.3.3 (notamment : ne pas impacter les bivalves déjà présents, amphibiens, odonates, ne pas favoriser la dispersion du corbicule asiatique, etc.).

**Un passage d'écologue sera à prévoir avant travaux afin de localiser les éventuelles espèces patrimoniales et mettre en œuvre les mesures adéquates.**

Néanmoins, au vu du diagnostic d'Aquascop en 2024, les enjeux sont faibles au droit du canal et les incidences négatives de la recharge granulométrique notamment devraient être quasi-nulles.

## 8. SUIVI

Un suivi écologique sera à mettre en place sur plusieurs années afin de qualifier l'évolution des habitats.

Le suivi sera réalisé par un écologue, en accord avec le dossier de dérogation « espèces protégées », et pourra notamment comprendre :

- Un suivi piscicole pour vérifier la recolonisation par les poissons hôtes,
- Un suivi hydromorphologique : décolmatage, évolution des faciès,
- Etc.

## 9. CHIFFRAGE

Le chiffrage des aménagements est proposé ci-dessous. La différence entre les scénarios 1 et 2 étant une mesure de gestion (ouverture de la vanne par son propriétaire), le coût est considéré comme similaire dans les deux scénarios.

Tabl. 12 - Chiffrage des aménagements

Poste	Intitulé	Unité	Quantité	P.U. (€ HT)	Prix (€ HT)
0	Installation de chantier, accès, repli	ft	1	25 000,00	25 000,00
<b>1. Agrandissement de la prise d'eau en Seine</b>					
1.1	Décaissement	m3	15	30,00	450,00
1.2	Dépose du dallot existant, démolition des parties maçonnées	ft	1	7 000,00	7 000,00
1.3	Protection de l'ouvrage en enrochements ou matelas gabions	m2	34	370,00	12 580,00
<b>Sous-total 1.</b>					<b>20 030,00</b>
<b>2. Plantation de ripisylve</b>					
2	Plantations arbres de haute tige	u	50	500,00	25 000,00
<b>Sous-total 2.</b>					<b>25 000,00</b>
<b>3. Recharge granulométrique</b>					
3.1	Recharge secteur 1	ml	42	60,00	2 520,00
3.2	Recharge secteur 2	ml	430	60,00	25 800,00
3.3	Recharge secteur 3	ml	280	60,00	16 800,00
<b>Sous-total 3.</b>					<b>45 120,00</b>
<b>4. Entretien des herbiers aquatiques</b>					
4	Entretien des herbiers aquatiques (coût annuel)	ft	1	3 000,00	3 000,00
<b>Sous-total 4.</b>					<b>3 000,00</b>
<b>5. Lutte contre les ragondins</b>					
5	Campagne de piégeage des ragondins avec mise en oeuvre de cages sur 400 ml	ft	1	3 000,00	3 000,00
<b>Sous-total 6.</b>					<b>3 000,00</b>
TOTAL (€ H.T)					<b>121 150,00</b>
TVA 20%					24 230,00
<b>TOTAL (€ T.T.C)</b>					<b>145 380,00</b>

## 10. PLANNING

Pour rappel, les mesures de compensation sont idéalement, pleinement effectives au moment des impacts. Pour cela, elles doivent être réalisées en anticipation des atteintes sur la biodiversité.

Dans le cas présent, les travaux proposés en eux-mêmes représentent une faible durée, estimée à environ 2 mois.

En revanche, une démarche de concertation et discussion est à engager par VNF avec le propriétaire du château, qui peut nécessiter plusieurs mois.

De plus, il sera nécessaire de laisser le milieu se réadapter suite à l'ouverture de la vanne : décolmatage des substrats, diversification des faciès, colonisation par les poissons hôtes, pendant au moins 1 an.

La plus-value s'exprimera pleinement au bout de quelques années (objet du suivi proposé).

Les démarches et travaux sont donc à lancer aussitôt que les conditions opérationnelles seront réunies.



## 11. BIBLIOGRAPHIE

- A Schwalb, & MT Pusch. (2007). Horizontal and vertical movements of unionid mussels in a lowland river. *Leibniz-Institut Fur Gewässerökologie Und Binnenfischerei, Muggelseedamm*.  
[https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2007\)26\[261:HAVMOU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2007)26[261:HAVMOU]2.0.CO;2)
- Ackerman, J. D. (1999). Effect of velocity on the filter feeding of dreissenid mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*): Implications for trophic dynamics. *Article in Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. <https://doi.org/10.1139/f99-079>
- Denic, M., Stoeckl, K., Gum, B., & Geist, J. (2014). Physicochemical assessment of *Unio crassus* habitat quality in a small upland stream and implications for conservation. *Hydrobiologia*, 735(1), 111–122.  
<https://doi.org/10.1007/s10750-013-1467-z>
- Douda, K., Horký, P., & Bílý, M. (2012). Host limitation of the thick-shelled river mussel: Identifying the threats to declining affiliate species. *Animal Conservation*, 15(5), 536–544.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2012.00546.x>
- E Angelier. (2000). *Ecologie des eaux courantes*.
- Engel, h., & Wächtler, k. (1989). Some peculiarities in developmental biology of two forms of the freshwater bivalve *Unio crassus* in northern Germany. *Schweizerbart, Stuttgart*, 3, 441–450.
- Fouillé S. (2013). *Étude d'impact de la qualité intra-sédimentaire en vue de la protection des naïades sur les rivières de la Cure et du Cousin*.
- H Engel, & K Wächtler. (1989). Some peculiarities in development biology of two forms of the freshwater bivalve *Unio crassus* in northern Germany. *Archiv Für Hydrobiologie*.
- Hochwald, S. (1997). *Das Beziehungsgefüge innerhalb der Größenwachstums- und Fortpflanzungsparameter bayerischer Bachmuschelpopulationen (Unio crassus Phil. 1788) und dessen Abhängigkeit von Umweltparametern*.
- Hochwald, S. (2001). *Plasticity of Life-History Traits in Unio crassus*. 127–141. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-56869-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56869-5_7)
- Hochwald, S., & Bauer. (1990). Untersuchungen zur Populationsökologie und Fortpflanzungsbiologie der Bachmuscheln *Unio crassus* (PHIL.) 1788. *Schriftenreihe Bayerisches Landesamt Für Umweltschutz Heft*, 31–49.
- Jansen, W., Bauer, G., & Zahner-Meike, E. (2001). *Glochidial Mortality in Freshwater Mussels*. 185–211.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-56869-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56869-5_11)
- Leopold, L. B. (Luna B., Wolman, M. G., Miller, J. P. (John P., & Wohl, E. E. (2020). Fluvial processes in geomorphology. In *Freeman and Co*.  
[https://books.google.com/books/about/Fluvial\\_Processes\\_in\\_Geomorphology.html?hl=fr&id=vnb2DwAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/Fluvial_Processes_in_Geomorphology.html?hl=fr&id=vnb2DwAAQBAJ)

- Newton, T. J., Zigler, S. J., Schrank, P. R., Davis, M., & Smith, D. R. (2020). Estimation of vital population rates to assess the relative health of mussel assemblages in the Upper Mississippi River. *Freshwater Biology*, 65(10). <https://doi.org/10.1111/FWB.13575>
- Pacyna L. (2023). *Analyse hydrogéomorphologique comparative de deux tronçons de densité différente de mulettes épaisses (Unio crassus) sur la Vierre*.
- Prié, V. (2017). *Naïades et autres bivalves d'eau douce de France*. <https://www.researchgate.net/publication/322056161>
- Rantamo, K., Arola, H., Aroviita, J., Hämäläinen, H., Hannula, M., Laaksonen, R., Laamanen, T., Leppänen, M. T., Salmelin, J., Syrjänen, J. T., Taskinen, A., Turunen, J., & Ekholm, P. (2023). Analyse hydrogéomorphologique comparative de deux tronçons de densité différente de mulettes épaisses (Unio crassus) sur la Vierre. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(1), 108–121. <https://doi.org/10.1002/etc.5248>
- Serdar, S., Bulut, H., Eden, M., & Özdemir, Y. (2019). Determining Bioecological and Biometric Properties of Freshwater Mussels (Unio crassus Philipsson, 1788). *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(3), 1917–1924. <https://doi.org/10.15244/pjoes/90621>
- Stockl. (2016). *Defining the ecological niche of the thick-shelled river mussel Unio crassus – implications for the conservation of an endangered species*. Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität.
- Stoeckl, K., & Geist, J. (2016). Hydrological and substrate requirements of the thick-shelled river mussel Unio crassus (Philipsson 1788). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26(3), 456–469. <https://doi.org/10.1002/AQC.2598>
- Stoeckl, K., Taeubert, J. E., & Geist, J. (2015). Fish species composition and host fish density in streams of the thick-shelled river mussel (Unio crassus) – implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 25(2), 276–287. <https://doi.org/10.1002/AQC.2470>
- Strayer, D. L. (2014). Understanding how nutrient cycles and freshwater mussels (Unionoida) affect one another. *Hydrobiologia*, 735(1), 277–292. <https://doi.org/10.1007/S10750-013-1461-5/METRICS>
- Sven Bjork. (1962). *Investigations on Margaritifera margaritifera and Unio crassus. Limnologic studies in rivers in South Sweden*.
- Sylvain Vrignaud. (2016). *Les espèces face à l'instabilité des hydrosystèmes fluviaux : le cas de la mulette épaisse Unio crassus Philipsson, 1788 (Mollusca : Bivalvia : Unionida)*.
- Taeubert, J. E., Gum, B., & Geist, J. (2012a). Host-specificity of the endangered thick-shelled river mussel (Unio crassus, Philipsson 1788) and implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22(1), 36–46. <https://doi.org/10.1002/aqc.1245>
- Taeubert, J. E., Martinez, A. M. P., Gum, B., & Geist, J. (2012b). The relationship between endangered thick-shelled river mussel (Unio crassus) and its host fishes. *Biological Conservation*, 155, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.005>
- Vaessen, Q., Houbrechts, G., Peeters, A., & van Campenhout, J. (2021). Caractéristiques hydro-géomorphologiques des microhabitats d'Unio crassus (Ardenne, Belgique).

[Http://Journals.Openedition.Org/Geomorphologie](http://Journals.Openedition.Org/Geomorphologie), 27(vol. 27-n° 1), 3–18.  
<https://doi.org/10.4000/GEOMORPHOLOGIE.15113>

- Vaughn, C. C. (2010). Biodiversity Losses and Ecosystem Function in Freshwaters: Emerging Conclusions and Research Directions. *BioScience*, 60(1), 25–35. <https://doi.org/10.1525/BIO.2010.60.1.7>
- Vaughn, C. C., & Hakenkamp, C. C. (2001). The Functional Role of Burrowing Bivalves in Freshwater Ecosystems. *Freshwater Biology*. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00771.x>
- Vaughn, C. C., Nichols, S. J., & Spooner, D. E. (2008). Community and foodweb ecology of freshwater mussels. *Am. Benthol. Soc*, 27(2), 409–423. <https://doi.org/10.1899/07-058.1>
- Vrignaud, S. (2016). *Les espèces face à l'instabilité des hydrosystèmes fluviaux: le cas de la mulette épaisse Unio crassus Philipsson, 1788 (Mollusca: Bivalvia: Unionida)*.
- Xavier Cucherat, Florent Lamand, & Vincent Prié. (2021). *Guide Mulette épaisse et autres bivalves*.
- Zajac, K., Florek, J., Zajac, T., Adamski, P., Bielański, W., Ćmiel, A. M., Klich, M., & Lipińska, A. M. (2017). On the reintroduction of the endangered thick-shelled river mussel *Unio crassus*: The importance of the river's longitudinal profile. *Science of the Total Environment*, 624, 273–282.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.346>
- Zajac, K., & Zajac, T. (2011). The role of active individual movement in habitat selection in the endangered freshwater mussel *Unio crassus* Philipsson 1788. *Journal of Conchology*.  
[https://www.researchgate.net/profile/Katarzyna-Zajac-4/publication/289186098\\_The\\_role\\_of\\_active\\_individual\\_movement\\_in\\_habitat\\_selection\\_in\\_the\\_endangered\\_freshwater\\_mussel\\_unio\\_crassus\\_philipsson\\_1788/links/57e5291808ae978dd24d0a84/The-role-of-active-individual-movement-in-habitat-selection-in-the-endangered-freshwater-mussel-unio-crassus-philipsson-1788.pdf?\\_sg%5B0%5D=started\\_experiment\\_milestone&origin=journalDetail&\\_rtd=e30%3D](https://www.researchgate.net/profile/Katarzyna-Zajac-4/publication/289186098_The_role_of_active_individual_movement_in_habitat_selection_in_the_endangered_freshwater_mussel_unio_crassus_philipsson_1788/links/57e5291808ae978dd24d0a84/The-role-of-active-individual-movement-in-habitat-selection-in-the-endangered-freshwater-mussel-unio-crassus-philipsson-1788.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail&_rtd=e30%3D)

# ANNEXE 1 : ETUDE AQUASCOP, 2024