

BASSIN DU LOING

Étude et suivi des travaux de restauration de la
continuité écologique du Betz à Bransles – Moulin
Brandard

Dossier de déclaration d'Intérêt Général

47008 | Septembre 2022 | FNO





Immeuble Central Seine

42-52 quai de la Rapée

75583 Paris Cedex 12

Email : hydra@hydra.setec.fr

T : 01 82 51 64 02

Chef de projet : Florent NOLIN

N°affaire : 50472

Fichier :

Version	Date	Etabli par	Vérfié par	Nb pages	Observations / Visa
1	18/05/2022	Jean-Loïc DOUARD		41 + Annexes	Première émission
2	25/05/2022	Jean-Loïc DOUARD		41 + Annexes	Prise en compte des remarques de l'EPAGE du bassin du Loing suite à la première émission
3	31/05/2022	Jean-Loïc DOUARD		41 + Annexes	Prise en compte des remarques de l'EPAGE du bassin du Loing suite à la seconde émission
4	27/09/2022	Florent NOLIN		59 + Annexes	Prise en compte des observations de la DDT suite à l'instruction du dossier de déclaration d'intérêt général (cf. courrier du 25 août 2022 référencé 77-2022-00087)

TABLE DES MATIERES

1	PREAMBULE	8
2	NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR	9
3	DUREE DE LA DIG	10
4	JUSTIFICATION DE L'INTERET GENERAL DES TRAVAUX.....	11
5	MEMOIRE EXPLICATIF	12
5.1	Contexte général	12
5.2	Situation actuelle de la zone d'intervention.....	16
5.2.1	Zones humides.....	16
5.2.2	Eléments relatifs à l'état des lieux et au diagnostic	17
5.2.3	Organisation générale du réseau hydrographique	17
5.2.4	Analyse du profil en long du bras principal du Betz sur la zone d'étude.....	20
5.2.5	Analyse du profil en long du bras naturel court-circuité du Betz sur la zone d'étude (segment 5)	24
5.2.6	Analyse du fonctionnement hydraulique du cours d'eau sur la zone de projet.....	26
5.2.7	Analyse du fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau.....	28
5.2.8	Analyse de la franchissabilité piscicole des ouvrages	29
5.2.9	Synthèse des altérations au milieu naturel	29
5.2.10	Synthèse des enjeux, contraintes et opportunités	30
5.3	Conception du système répartiteur	32
5.3.1	Hypothèses de répartition des eaux entre le bief du moulin Brandard et le bras de contournement	32
5.3.2	Implantation et type d'aménagement préconisés	32
5.4	Reprofilage du lit sur le bras naturel court-circuité et dans l'emprise du plan d'eau exondé 33	
5.4.1	Positionnement en plan du nouveau tracé du lit mineur.....	33
5.4.2	Profil en long du nouveau tracé du lit mineur	33
5.4.3	Dimensionnement du gabarit du lit mineur	34
5.4.4	Restauration du matelas alluvial et diversification des habitats aquatiques	35
5.4.5	Choix des matériaux constituant les radiers	37
5.4.6	Fonctionnement hydraulique du bras naturel court-circuité restauré	39
5.5	Remodelage du lit sur le bief du moulin Brandard	45
5.6	Nature des travaux	48
5.7	Localisation des travaux et accès	52
5.8	Estimation des investissements par catégorie de travaux d'ouvrages ou d'installations	55

5.9	Modalités d'entretien ou d'exploitation des ouvrages, installations ou du milieu et estimation des dépenses correspondantes.....	55
5.10	Participation des personnes ayant rendu les travaux nécessaires ou y trouvant un intérêt	56
5.10.1	Liste des personnes publiques ou privées, physiques ou morales, appelées à participer aux dépenses.....	56
5.10.2	Collecte des participations demandées.....	56
5.11	Calendrier prévisionnel.....	56
5.11.1	Réalisation des travaux.....	56
5.11.2	Suivi hydromorphologique des travaux.....	59
5.12	Servitudes de passages.....	59

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du moulin Brandard à l'échelle du bassin versant du Betz - Source : EPAGE du bassin du Loing	13
Figure 2. Localisation du moulin Brandard sur fond de plan IGN Scan 25 à l'échelle de la commune de Bransles (77) - Source : Géoportail	14
Figure 3. Localisation du moulin Brandard sur Orthophotoplan et fond de plan cadastral - Source : Géoportail	15
Figure 4 : cartographie des enveloppes d'alerte zones humides (DRIEAT)	16
Figure 5 : Vue d'ensemble reportant les principaux segments, ouvrages et profils de la zone d'étude	19
Figure 6. Profil en long du fond, des berges et des lignes d'eau sur le Betz à l'échelle de la zone d'étude	22
Figure 7. Profil en long du fond, des berges et des lignes d'eau sur le bras naturel court-circuité du Betz à l'échelle de la zone d'étude	25
Figure 8. Profil en long des lignes d'eau modélisées sur le bras principal du Betz à l'échelle de la zone d'étude pour les régimes hydrologiques et les deux configurations testées	27
Figure 9. Plages de valeurs guides pour l'habitat de la truite fario – Source : ONEMA	34
Figure 10 : Courbe granulométrique (en nombre d'éléments et non en poids) représentative de la couche d'armure des alluvions présentes sur les portions d'écoulements courantes du Betz	36
Figure 11. Classes blocométriques de références et exigences standards applicables aux enrochements – Source : Rock Manual, CETMEF	39
Figure 12. Principales variables hydrauliques moyennes modélisées à l'échelle sur le bras naturel court-circuité aménagé en situation de projet	41
Figure 13. Profil en long des lignes d'eau modélisées sur le bras naturel court-circuité en situation de projet	42
Figure 14. Profil en long des hauteurs d'eau modélisées sur le bras naturel court-circuité en situation de projet	43
Figure 15. Profil en long des vitesses modélisées sur le bras naturel court-circuité en situation de projet	44
Figure 16. Schéma type du principe d'intervention à privilégier sur cours d'eau élargis et curés - Source : La Recharge en Granulats – CATER Basse Normandie	46
Figure 17. Schéma type d'implantation de risbermes alternées – Source : Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau - AESN	47
Figure 18. Localisation des accès et cheminements des engins pour la réalisation des travaux	53
Figure 19. Localisation des parcelles et propriétaires correspondants concernés par le programme de travaux – Source : Géoportail	54

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1. Principales variables hydromorphologique d'intérêt sur le Betz à l'échelle de la zone d'étude	23
Tableau 2. Principales variables hydromorphologique d'intérêt sur le bras naturel court-circuité du Betz à l'échelle de la zone d'étude	25
Tableau 3. Principales caractéristiques de dimensionnement des banquettes sur le bief du moulin	47
Tableau 3. Synthèse des coûts estimatifs pour le projet de restauration	55
Tableau 4. Calendrier proposé pour la réalisation des travaux	58

1 PREAMBULE

Ce document fait partie du dossier d'autorisation environnementale (pièce n°2/2) relatif au projet de restauration de la continuité écologique du Betz au droit du moulin Brandard à Bransles (77), et consiste en la déclaration d'intérêt général (DIG).

Il est accompagné de la pièce suivante :

- Pièce n°1/2 : demande d'autorisation au titre du code de l'environnement (en application des articles L 214.1 à 6) avec son étude d'incidence (Décret n° 2006-880 du 17 juillet 2006) et ses annexes.

Les travaux de restauration projetés et portés par l'EPAGE du bassin du Loing, et définis en concertation avec le propriétaire du site, consistent en :

- L'effacement de l'ouvrage de décharge amont (**OH1**) associé au bief du moulin Brandard ;
- Le remodelage fonctionnel du lit en aval de celui-ci (recharge granulométrique avec diversification du profil en long et en travers) pour rattraper progressivement le dénivelé de fond existant au droit de l'ouvrage ;
- La suppression du plan d'eau en rive gauche du bras naturel en fond de vallée et l'arasement de la digue qui les sépare donnant ainsi l'opportunité de créer une zone humide riveraine fonctionnelle dans l'emprise des surfaces exondées.

Ces opérations relèvent de la Loi sur l'Eau et des milieux Aquatiques (LEMA) conformément au décret n°2006-881 du 17 juillet 2006 modifiant le décret 93-743 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L 214-1 à 214-6 du code de l'environnement.

Dans le cas présent, la nature et l'ampleur du programme nécessitent une procédure de Déclaration administrative au titre de la Loi sur l'Eau (rubrique 3.3.5.0 de la nomenclature I.O.T.A).

Les travaux concernant des parcelles privées, le projet nécessite une demande de Déclaration d'Intérêt Général.

Le projet de restauration de la continuité écologique du Betz au droit du moulin Brandard à Bransles (77) n'a fait l'objet d'aucune demande d'autorisation ou de déclaration auprès d'une autre législation.

2 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR

Ce document de demande de Déclaration d'Intérêt Général pour la mise en œuvre des travaux de restauration de la continuité écologique du Betz au droit du moulin Brandard à Bransles est présenté par :

Nom et adresse du demandeur	EPAGE du bassin du Loing
Adresse	25 RUE JEAN JAURES 45200 MONTARGIS
Tel	02 38 28 55 11
Site internet ou Email	https://www.epageloing.fr/
Numéro SIRET	20008700500019
Forme juridique	Etablissement public syndicat mixte communal
Représentant	Monsieur le Président de l'EPAGE du bassin du Loing

Personne en charge du dossier	Vincenzo IOELE
Fonction	Chargé de mission milieux aquatiques – Bassins du Betz et de la Cléry
Adresse	25 RUE JEAN JAURES 45200 MONTARGIS
Tel (standard)	02 38 89 89 80
Tel (portable)	06 32 13 93 29
Email	v.ioele@epageloing.fr

3 DUREE DE LA DIG

Conformément à l'article R. 214-97 du code de l'environnement, en l'absence de déclaration d'utilité publique, la décision déclarant une opération d'intérêt général ou d'urgence fixe le délai au-delà duquel elle deviendra caduque si les travaux, actions, ouvrages ou installations qu'elle concerne n'ont pas fait l'objet d'un commencement de réalisation substantiel. Ce délai ne peut être supérieur à cinq ans en cas de participation aux dépenses des personnes qui ont rendu les travaux nécessaires ou y trouvent un intérêt.

Dans le cas présent, la durée de cette DIG est fixée à 3 ans¹, sachant que les travaux sont envisagés en fin de période estivale de l'année 2022 (cf. paragraphe n°5.8).

¹ Pour mémoire, la durée de l'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau sera fixée par l'arrêté préfectoral. Elle est généralement de 5 ans et ne peut excéder 10 ans.

4 JUSTIFICATION DE L'INTERET GENERAL DES TRAVAUX

Les collectivités territoriales ont la possibilité de se substituer aux propriétaires afin de réaliser les travaux sous réserve que la collectivité dépose une demande de Déclaration d'Intérêt Général (D.I.G.) des travaux, qui sera prononcée par le préfet après enquête publique.

La notion d'Intérêt Général se situe au cœur de la pensée politique et juridique française, de par la finalité et la légitimité qu'il donne à l'action publique.

Concernant les milieux humides et aquatiques, la notion d'Intérêt Général - au sens commun du dépassement des intérêts particuliers au profit de la collectivité – est sous-tendue dans différents textes et documents nationaux et internationaux.

Au niveau européen, la Directive Cadre sur l'Eau (n°2000/60/CE) adoptée le 23 Octobre 2000 par le Conseil et le Parlement européen est un des outils majeurs de préservation de l'Intérêt Général dans le domaine de l'Eau, en fixant notamment les objectifs de restaurations du « bon état ».

En France, deux articles du code de l'environnement définissent la notion d'intérêt général dans le domaine de l'eau :

- Article L 430-1 (Loi « pêche ») : « La préservation des milieux aquatiques et la protection du patrimoine piscicole sont d'intérêt général. »
- Article L.210-1 (LEMA) : « l'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général.»

Les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), et plus récemment les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE) fixent les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau dans l'intérêt général et dans le respect des principes de la loi sur l'eau.

En la matière, le projet de restauration de la continuité écologique du Betz au droit du moulin Brandard à Bransles s'inscrit pleinement dans cette politique de l'intérêt général, de par :

- Ses objectifs (restauration de la continuité écologique, restauration hydromorphologique participant à la restauration des habitats, à la préservation voire à l'essor de la biodiversité et à l'amélioration de la qualité écologique de la masse d'eau, amélioration des échanges entre lit mineur et le lit majeur...);
- Son contenu technique (remise en fond de vallée du cours d'eau, effacement de plan d'eau, arasement d'une digue de séparation de plan d'eau permettant d'offrir une nouvelle zone d'expansion de crue en rive gauche du bras naturel favorisant à ce niveau l'essor de fonctionnalités de type zones humides, déboisement d'une ripisylve ornementale et non adaptée aux bordures de cours d'eau et replantation par des espèces adaptées et indigènes...)

5 MEMOIRE EXPLICATIF

5.1 CONTEXTE GENERAL

L'EPAGE du bassin du Loing exerce la compétence GEMAPI sur l'ensemble de son territoire depuis le 1^{er} janvier 2019.

Il regroupe 269 communes du Loiret, de l'Yonne et de la Seine-et-Marne, soit trois régions: Centre Val-de-Loire, Ile-de-France et Bourgogne-Franche-Comté et porte le Contrat Eau et Climat 2019-2024 qui vise à restaurer les secteurs de cours d'eau les plus dégradés et maintenir les secteurs considérés en bon état.

Dans le cas présent, les principaux objectifs poursuivis par l'EPAGE du bassin du Loing relèvent d'une volonté d'améliorer la qualité écologique de la masse d'eau en privilégiant la restauration d'écoulement libres et courants et la diversification des formes du lit et des habitats sur le Betz, en réponse aux travaux hydrauliques passés.

La zone d'intervention se situe sur la commune de Bransles dans le département de Seine-et-Marne (77) et concerne le cours du Betz dans la zone d'influence du moulin Brandard.

Les cartes pages suivantes situent la zone de projet à l'échelle du bassin versant du Betz, de Bransles (77) et sur le plan cadastral.



Figure 1 : Localisation du moulin Brandard à l'échelle du bassin versant du Betz - Source : EPAGE du bassin du Loing

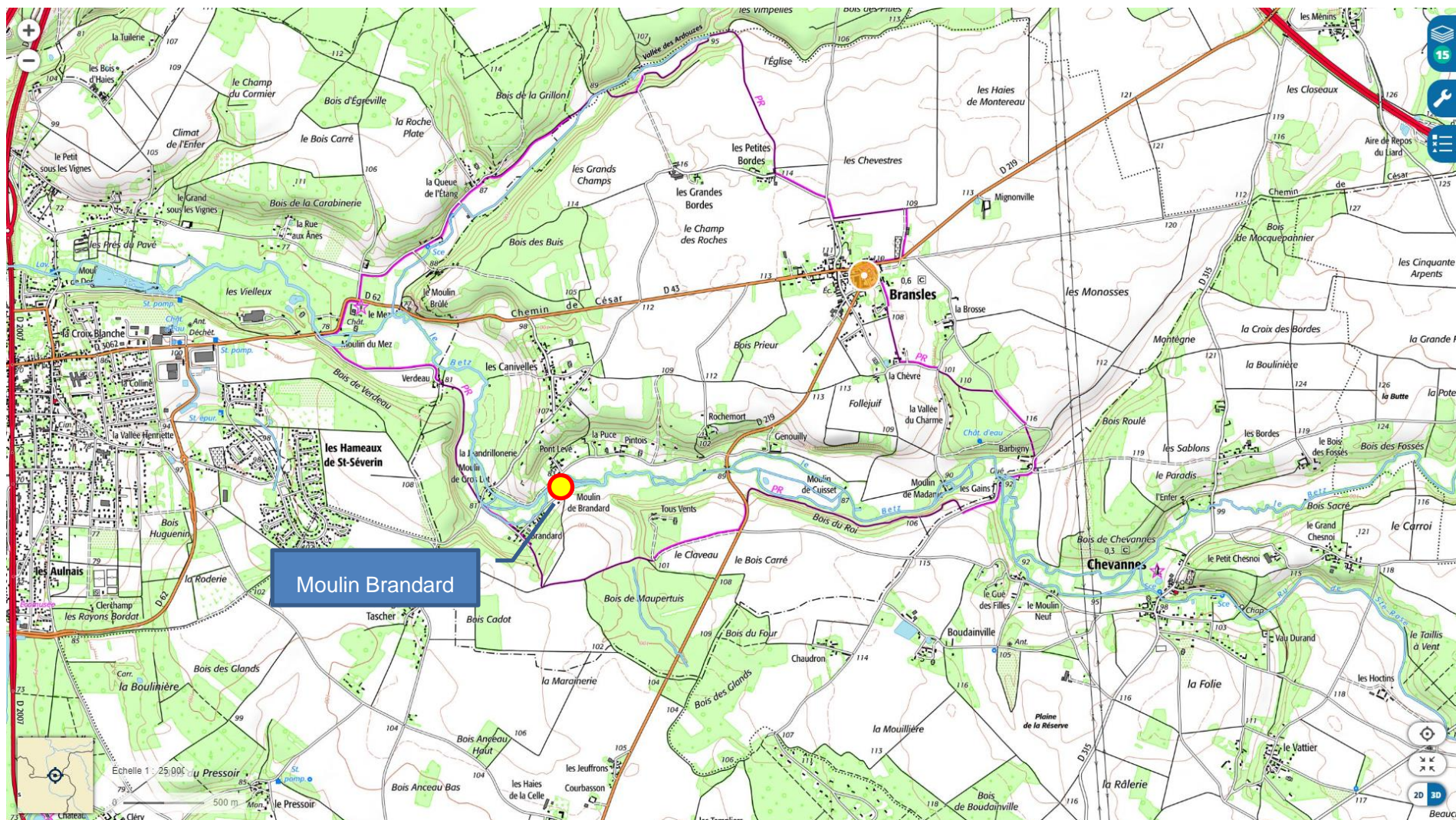


Figure 2. Localisation du moulin Brandard sur fond de plan IGN Scan 25 à l'échelle de la commune de Bransles (77) - Source : Géoportail



Figure 3. Localisation du moulin Brandard sur Orthophotoplan et fond de plan cadastral - Source : Géoportail

5.2 SITUATION ACTUELLE DE LA ZONE D'INTERVENTION

5.2.1 Zones humides

Le projet est situé en zone A, B et D conformément à la cartographie éditée par la DRIEAT.

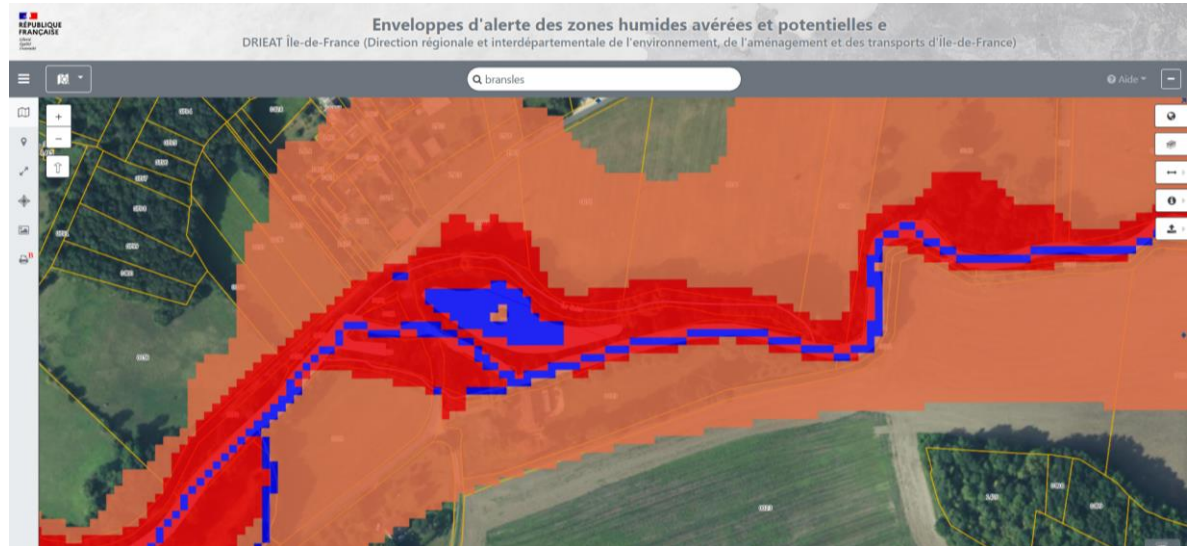


Figure 4 : cartographie des enveloppes d'alerte zones humides (DRIEAT)

👁 Enveloppes d'alerte des zones humides (A visualiser de préférence à l'échelle limite 1/15000)

- Classe A: Zones humides avérées dont les limites peuvent être à préciser.
- Classe B: Zones humides probables dont le caractère humide reste à vérifier et les limites à préciser
- Classe C: Manque d'information ou faible probabilité de présence de zones humides
- Classe D: Non humides : plan d'eau et réseau hydrographique.

Tableau 1

Classe 2010	Classe 2021	Description
1 et 2	A	Zones humides avérées dont le caractère humide peut être vérifié et les limites à préciser : <ul style="list-style-type: none"> - zones humides délimitées par des diagnostics de terrain selon un ou deux des critères et la méthodologie décrits dans l'arrêté du 24 juin 2008 ; - zones humides identifiées selon les critères et la méthodologie de l'arrêté du 24 juin 2008, mais dont les limites n'ont pas été définies par des diagnostics de terrain (photo-interprétation) ; - zones humides identifiées par des diagnostics de terrain, mais à l'aide de critères et/ou d'une méthodologie différents de ceux de l'arrêté du 24 juin 2008.
3	B	Probabilité importante de zones humides, mais le caractère humide et les limites restent à vérifier et à préciser.
4	C	Enveloppe en dehors des masques des 2 classes précédentes, pour laquelle soit il manque des informations, soit des données indiquent une faible probabilité de présence des zones humides.
5	D	Non humides : plan d'eau et réseau hydrographique

Bien qu'elle soit de nature informative, les services franciliens chargés de l'instruction des dossiers soumis à des procédures environnementales peuvent s'appuyer sur cette cartographie (cf. tableau 2).

Tableau 2

Classe	Pratique en termes d'instruction
A	La zone est considérée comme intégralement humide par le service instructeur, sauf démonstration contraire de la part du pétitionnaire validée par le service instructeur. Les limites des zones humides peuvent être précisées par le pétitionnaire. Un diagnostic complémentaire est demandé si l'emprise du projet et les alentours susceptibles d'être impactés s'étendent au-delà de la zone humide décrite par la classe A.
B	Un diagnostic zones humides conforme à l'arrêté du 24 juin 2008 est demandé sur toute l'emprise du projet et les alentours susceptibles d'être impactés par le projet, sauf si la classe B se trouve au niveau de surfaces imperméabilisées.
C	Le pétitionnaire apporte les éléments d'appréciation supplémentaires sur la probabilité de présence de zones humides. Un diagnostic zones humides conforme à l'arrêté du 24 juin 2008 doit être réalisé lorsque les faisceaux d'indices se dessinent ou s'il n'y a pas d'information disponible. Il est possible de ne pas réaliser de diagnostic zones humides sous réserve d'une démonstration solide d'une faible probabilité de présence de zones humides validée par le service instructeur.
D	Par définition, les surfaces en eau ne sont pas des zones humides au sens réglementaire. Cela étant, les berges et abords de plans d'eau ainsi que certaines mares peuvent être considérés comme des zones humides au cas par cas.

5.2.2 Eléments relatifs à l'état des lieux et au diagnostic

La description du site, l'analyse du fonctionnement hydraulique et hydromorphologique du cours d'eau et l'impact des ouvrages actuels sur la franchissabilité piscicole sont décrits en détail dans l'étude d'incidence du dossier de demande d'autorisation au titre des articles L.214-1 à 6 du code de l'environnement (Pièce n°1 du dossier).

Les paragraphes suivants donnent une synthèse des principaux éléments d'état des lieux et diagnostic.

5.2.3 Organisation générale du réseau hydrographique

Les reconnaissances de terrain et l'analyse des données topographiques et photographies aériennes anciennes et récentes permet d'identifier les principaux segments homogènes suivants :

- **Segment 1 : Le Betz non influencé en amont du moulin Brandard.** Ce dernier est décrit en amont du linéaire influencé par le moulin Brandard sur une distance de **300 m** en amont de la confluence des deux bras entourant l'île au lieu-dit « Tous vents » ;
- **Segment 2 : Le Betz peu influencé en amont du moulin Brandard.** Ce dernier s'étend sur une distance de **412 m** entre la confluence des deux bras entourant l'île au lieu-dit « Tous vents » et le déversoir de décharge amont du moulin (OH1) à P12 ;
- **Segment 3 : Le Betz fortement influencé.** Ce linéaire correspond au bief perché du moulin Brandard. Il s'étend sur une distance de **200 m** entre le déversoir de décharge amont du moulin (OH1) à P12 et le vannage usinier du moulin de Brandard (OH5) ;
- **Segment 4 : Le canal de fuite du moulin Brandard.** Ce dernier s'étend sur une distance de **100 m** entre le vannage usinier du moulin Brandard (OH5) et la confluence avec le bras naturel court-circuité en fond de vallée à P22.

- **Segment 5 : Le bras naturel court-circuité du Betz en fond de vallée.** Ce dernier s'étend sur une distance de **316 m** entre le déversoir de décharge amont du moulin (**OH1**) et la confluence avec le bras de décharge du moulin Brandard à **P21**;
- **Segment 6 : Le bras de décharge aval.** Ce dernier s'étend sur une distance de **100 m** entre le vannage de décharge du moulin (**OH3**) et la confluence avec le bras naturel court-circuité en fond de vallée à **P21**;

Le complexe hydraulique formé par le moulin Brandard se compose des ouvrages structurants suivants :

- Un déversoir de décharge en rive droite et en limite amont du bief à **200 m** en amont du moulin Brandard (**OH1**) ;
- Un vannage de décharge en rive droite du bief en amont proche du moulin Brandard (**OH3**) ;
- Le vannage usinier du moulin Brandard à l'extrémité aval du bief (**OH5**).

Il est à noter également la présence de quelques seuils et ouvrages de franchissements :

- Seuil sur le bras de décharge (**OH7**) en aval immédiat du vannage de décharge;
- Seuil sur le bras de décharge (**OH8**) entre le vannage de décharge et le pont **OH9** au droit de la rue du moulin Brandard ;
- Pont sur le bras naturel court-circuité du Betz au droit de la rue du moulin Brandard (**OH2**) ;
- Pont sur le bras de décharge du Betz au droit de la rue du moulin Brandard (**OH9**) ;
- Pont sur le canal de fuite du moulin Brandard au droit de la rue du même nom (**OH6**).



Figure 5 : Vue d'ensemble reportant les principaux segments, ouvrages et profils de la zone d'étude

5.2.4 Analyse du profil en long du bras principal du Betz sur la zone d'étude

De façon respective, la figure et le tableau pages suivantes:

- Illustre le profil en long du bras principal du Betz passant par le bief et le canal de fuite, avec report des profils s'établissant sur les principaux axes d'écoulements parallèles (bras secondaire amont et bras naturel court-circuité en fond de vallée) pour faciliter la comparaison ;
- Synthétise les principales variables hydromorphologiques d'intérêt.

L'analyse de ces données amène aux commentaires suivants :

- Le Betz présente sur la zone d'étude une pente moyenne de **0.3%** ;
- **Sur le segment 1 :**

Le profil en long du lit concorde relativement bien avec le profil de fond hydromorphologique théorique jusqu'à la défluence des bras et via le bras secondaire contournant par le Nord l'île au lieu-dit « Tous Vents », les radiers et mouilles en présence oscillant quelque peu autour de celui-ci. Le bras principal contournant l'île par le Sud présente quant à lui une zone d'exhaussement continu et marqué du fond depuis la défluence jusqu'à **P31**, soit sur **160 m** environ, puis un court linéaire (**≈ 40 m**) à plus forte pente jusqu'à la confluence des bras. Le volume de sédiments accumulés sur cet axe (matériaux alluvionnaires granulaires) est estimé à **≈ 374 m³**. Il est possible que ce phénomène d'exhaussement trouve son origine :

- En une perte de compétence morphogène du fait de la diminution des débits liquides (répartition sur deux bras) à débits solides peu modifiés (report préférentiel de la charge solide en transit vers le bras Sud en lien avec la présence d'un ouvrage transversal en amont du bras secondaire Nord) ;
- En d'anciens travaux hydrauliques ayant eu pour objet de dériver une partie du cours d'eau en direction du coteau Sud pour former une chute d'eau exploitable. Le bras Sud pourrait alors constituer un bras d'origine artificielle tandis que le bras Nord s'apparenterait à l'ancien tracé naturel du cours d'eau en fond de vallée. L'absence de moulin visible à ce niveau à l'heure actuelle ou sur les plans anciens ne permet pas toutefois de valider cette hypothèse.

L'écoulement est à dominante lenticulaire en amont de l'île et sur le bras principal jusqu'au radier situé à **P31** du fait de la présence conjointe de ce haut fond et de l'ouvrage transversal en amont du bras Nord, significativement relevés par rapport au profil hydromorphologique théorique.

Sur la majeure partie du bras secondaire Nord et la partie aval du bras principal Sud (en aval de **P31**), les écoulements sont peu profonds et relativement courants et s'apparentent à des faciès de type radiers/plats courants.

La largeur à plein bord du lit est de l'ordre de **10 m** en amont et en aval de l'île et diminue jusqu'à **7 m** sur le bras principal Sud.

Compte tenu de la hauteur de berge moyenne observée (**≈ 1.2 m** / fond en amont de l'île et **≈ 1 m** / fond sur le bras principal Sud), la rapport Largeur / Hauteur à plein bord s'établit entre **7 et 8.5** ce qui est cohérent avec des cours naturels de plaine à berges cohésives (**≈ 6 à 8** en région Centre).

- **Sur le segment 2 :**

Le profil en long du lit concorde relativement bien avec le profil de fond hydromorphologique théorique depuis la confluence des bras et jusqu'à **P7**, soit sur

une distance de **100 m** environ, les radiers et mouilles en présence oscillant quelque peu autour de celui-ci, puis présente une zone d'exhaussement continu et marqué du fond jusqu'en limite aval du segment, soit sur une distance de **300 m** environ jusqu'au droit du déversoir de décharge amont (**OH1**) du moulin Brandard.

Le volume de sédiments accumulés sur cet axe (matériaux alluvionnaires granulaires) est estimé à $\approx 1313 \text{ m}^3$. Ce phénomène est probablement favorisé par le ralentissement généralisé des écoulements sous l'influence des ouvrages du moulin Brandard.

L'écoulement est lent, homogène bien que peu profond jusqu'à **P9**, et s'apparente à un faciès de type plat lentique, puis le devient davantage à partir du méandre prononcé à **P10** (faciès de type chenal lentique).

La largeur à plein bord du lit est de l'ordre de **10 m** comme sur les portions d'écoulement plus naturelles à l'amont. La hauteur de berge y est un peu plus élevée ($\approx 1.3 \text{ m}$) compte tenu de la présence de merlons de terre en rive bien que le rapport Largeur / Hauteur à plein bord reste conforme à la gamme de valeurs classiquement observée sur les cours d'eau naturels en région Centre en s'établissant à **7.9**.

- **Sur le segment 3 :**

Le profil de fond « dur » est relativement plat et significativement relevé par rapport au profil hydromorphologique théorique (relèvement continuellement croissant de l'amont vers l'aval, de **0.95 m** en moyenne et jusqu'à **1.17 m** localement) et témoigne du caractère artificiel du bras, lequel a été très anciennement creusé en déport du tracé naturel en fond de vallée et vers le coteau Sud à l'édification du moulin pour créer une chute d'eau exploitable à ce niveau.

Les très faibles vitesses d'écoulement qui y règnent, en lien avec le relèvement artificiel de la ligne d'eau et l'abaissement drastique de sa pente, ont conduit à un envasement généralisé et important du fond.

Ainsi, le volume de sédiments meubles (limons, vase, matière organique) accumulés sur cet axe est estimé à **800 m³** et s'établit sur une épaisseur moyenne de l'ordre de **0.5 m**.

La hauteur d'eau est particulièrement faible dans la configuration actuelle des ouvrages (vanne usinière ouverte) bien qu'elle ait pu être supérieure autrefois ($\approx +0.4 \text{ m}$) lorsque la ligne d'eau était gérée à la cote légale de retenue.

La largeur à plein bord du lit est de **9 m** environ, soit un peu moins que sur les portions d'écoulement plus naturelles à l'amont ($\approx 10 \text{ m}$). La hauteur de berge y est un peu plus élevée ($\approx 1.4 \text{ m}$) compte tenu de la présence de merlons en rive bien que le rapport Largeur / Hauteur à plein bord reste conforme à la gamme de valeurs classiquement observée sur les cours d'eau naturels en région Centre en s'établissant à **6.3**.

- **Sur le segment 4 :**

Le profil de fond sur le canal de fuite du moulin est significativement relevé sur toute sa longueur par rapport au profil hydromorphologique théorique (**+0.53 m** en moyenne et jusqu'à **0.93 m**) localement et présente une pente accentuée sur sa partie la plus aval pour rejoindre le fond du lit naturel du Betz.

L'écoulement est globalement courant et peu profond en lien avec la forte pente et les faibles débits dérivés.

Le lit est beaucoup plus étroit (largeur à plein bord $\approx 7 \text{ m}$) que sur les portions d'écoulement plus naturelles à l'amont ($\approx 10 \text{ m}$) tout en conservant une hauteur de berge significative ($\approx 1.3 \text{ m}$). Le rapport Largeur / Hauteur est faible (≈ 5.4) et renvoie au caractère artificiel et encaissé du lit.

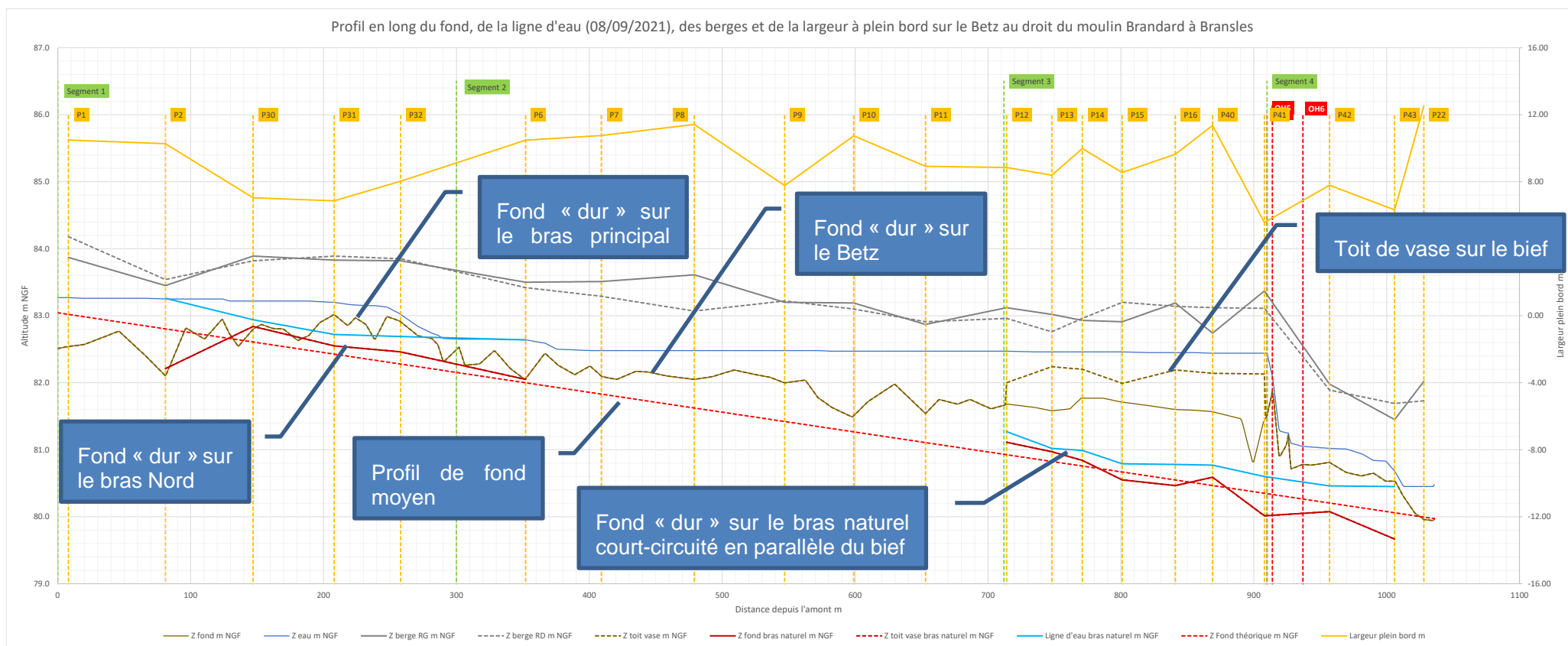


Figure 6. Profil en long du fond, des berges et des lignes d'eau sur le Betz à l'échelle de la zone d'étude

Tronçon	Variation moyenne du fond / Profil théorique m	Surprofondeur maximum / profil théorique m	Exhaussement maximum / profil théorique m	Hauteur d'eau moyenne m	Hauteur de berge moyenne m	Largeur moyenne à plein bord m	Largeur moyenne pied de berge m
Segment 1	0.09	-0.70	0.68	0.47	1.1	8.5	6.9
Segment 1 – Amont défluence	-0.39	-0.70	0.00	0.72	1.2	10.4	9.1
Segment 1 – Bras principal Sud	0.40	0.00	0.68	0.34	1.0	7.2	5.5
Segment 2	0.46	0.00	0.80	0.50	1.3	9.9	7.4
Segment 3	0.95	0.00	1.17	0.33	1.4	9.1	7.8
Segment 4	0.53	0.00	0.93	0.27	1.3	7.0	3.5

Tableau 1. Principales variables hydromorphologique d'intérêt sur le Betz à l'échelle de la zone d'étude

5.2.5 Analyse du profil en long du bras naturel court-circuité du Betz sur la zone d'étude (segment 5)

De façon respective, la figure et le tableau pages suivantes :

- Reporte le profil en long du bras naturel court-circuité du Betz en aval du déversoir de décharge (**OH1**) du moulin Brandard et contournant le site par le Nord ;
- Synthétise les principales variables hydromorphologiques d'intérêt.

L'analyse de ces données amène aux commentaires suivants :

Le profil en long du lit concorde relativement bien avec le profil de fond hydromorphologique théorique, les radiers et mouilles en présence oscillant quelque peu autour de celui-ci.

Il se situe à une altimétrie significativement plus basse que le bief du moulin (**-0.95 m** en moyenne) et le canal de fuite (**-0.53 m** en moyenne) mettant en évidence le caractère « perché » de ces derniers.

A l'étiage, et dans la configuration actuelle des ouvrages (vanne usinière du moulin ouverte), les écoulements sont interrompus au droit du déversoir de décharge amont (**OH1**) si bien que le bras naturel court-circuité se trouve à sec en de nombreux endroits. Les mouilles forment toutefois des vasques d'eau formant un abris précaire pour une partie des espèces aquatiques (observations lors des reconnaissances de terrain de fin d'été de chabots et de macroinvertébrés sous les pierres dans les poches d'eau résiduelles).

En moyennes et hautes eaux annuelles, les écoulements sont globalement courants et peu profonds et s'apparentent à des alternances de faciès de type radiers/plats courants.

La largeur à plein bord du lit est particulièrement importante, de l'ordre de **11 m**, au regard de celle observée sur les portions d'écoulement les plus naturelles en amont (**≈ 10 m**) et de l'hydrologie réduite sur ce bras du fait du partage des eaux opéré avec le bief du moulin Brandard. La largeur en pied de berge (**≈ 6 m**) reste comparable à celle observée sur les sections d'écoulement amont les plus naturelles.

La hauteur de berge est également importante (**≈ 1.9 m** / fond) et significativement supérieure à celle observée sur les autres segments (**≈ 1-1.4 m**) en lien notamment avec la réalisation de travaux hydrauliques passés (rectification/recalibrage) et la formation d'un merlon épais en rive droite.

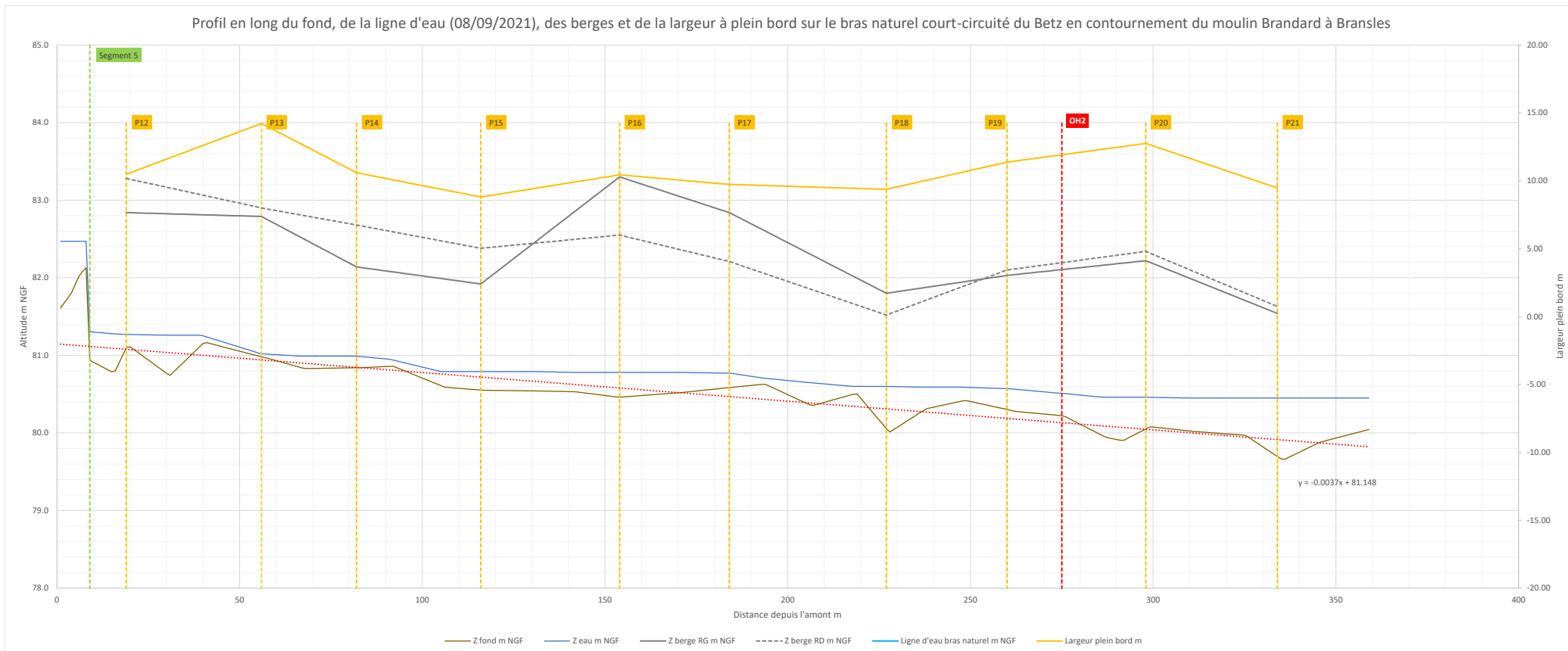


Figure 7. Profil en long du fond, des berges et des lignes d'eau sur le bras naturel court-circuité du Betz à l'échelle de la zone d'étude

Tronçon	Variation moyenne du fond / Profil théorique m	Surprofondeur maximum / profil théorique m	Exhaussement maximum / profil théorique m	Hauteur d'eau moyenne m	Hauteur de berge moyenne m	Largeur moyenne à plein bord m	Largeur moyenne pied de berge m
Segment 5	-0.02	-0.29	0.19	0.27	1.9	10.8	5.7

Tableau 2. Principales variables hydromorphologique d'intérêt sur le bras naturel court-circuité du Betz à l'échelle de la zone d'étude

5.2.6 Analyse du fonctionnement hydraulique du cours d'eau sur la zone de projet

En synthèse, l'analyse du fonctionnement hydraulique sur la zone de projet amène aux commentaires suivants (dans la configuration actuelle et habituelle des ouvrages du moulin).

Le bief du moulin Brandard capte la totalité des débits du Betz jusqu'à un débit total de l'ordre de **0.22 m³/s**, soit un débit non atteint **30%** du temps en année normale. L'écoulement sur le bras naturel court-circuité en fond de vallée est alors totalement interrompu pour ces régimes de basses eaux qui représentent une fraction importante du temps en année normale.

Pour les régimes hydrologiques plus soutenus, la part de débit restituée au bras naturel court-circuité augmente à mesure que le débit total du cours d'eau s'accroît bien que le bief reste le bras d'écoulement dominant plus de **80%** du temps en année normale. Ainsi, le bras naturel court-circuité ne devient dominant qu'en régime de hautes eaux annuelles (au-delà du **DC80**).

A l'étiage et jusqu'à **20%** du temps en année normale, le bras de décharge dérive la majeure partie des débits du cours d'eau depuis le bief du moulin. L'importance des débits dérivés diminue rapidement toutefois avec l'élévation des débits du cours d'eau ($\approx 1/4$ du débit total seulement en régime médian et **10%** au **DC90**).

Le canal de fuite est quant à lui dominant à l'échelle du site pour les débits de basses eaux (entre **DC20** et jusqu'au régime médian).

La dominance des écoulements est ainsi représentée successivement, pour une évolution croissante des débits par le bras de décharge (à l'étiage), le canal de fuite du moulin (jusqu'au régime médian), puis le bras naturel court-circuité en fond de vallée (moyennes et hautes eaux annuelles).

Le complexe hydraulique formé par le moulin de Brandard influence la ligne d'eau jusqu'en limite amont du **segment 2**, soit à **412 m** en amont du déversoir de décharge **OH1** et **712 m** en amont du moulin Brandard.

Sur le segment 1, l'écoulement est à dominante lenticule en amont de l'île et sur le bras principal jusqu'au radier situé à **P31 (0.8 m** de profondeur et **0.15 m/s** en moyenne au module) du fait de la présence conjointe de ce haut fond et de l'ouvrage transversal en amont du bras Nord, significativement relevés par rapport au profil hydromorphologique théorique.

Sur la partie aval du bras principal Sud (en aval de **P31**), les écoulements sont peu profonds et davantage courants et s'apparentent à des faciès de type radiers/plats courants (**0.42 m** de profondeur et **0.23 m/s** en moyenne au module).

Sur la partie amont du segment 2 (jusqu'à P9), l'écoulement est moyennement lent (**0.24 m/s** en moyenne au module) et profond (**0.49 m** en moyenne au module) et s'apparente à un faciès de type plat lent.

En aval du méandre prononcé à **P10 (partie aval du segment 2)**, l'écoulement est encore plus lent (**0.14 m/s** au module) et profond (**0.87 m** au module) jusqu'au déversoir de décharge amont (**OH1**) du moulin Brandard et s'apparente à un faciès de type chenal lenticule.

Sur le segment 3 (bief du moulin), l'écoulement est très lent (**0.09 m/s** en moyenne au module) et de profondeur modeste (**0.48 m**), celle-ci étant limitée par la forte épaisseur de vase en présence et l'ouverture totale de la vanne usinière du moulin.

Sur le segment 4, l'écoulement est globalement courant et peu profond (**0.3 m/s** et **0.3 m** de profondeur en moyenne au module) en lien avec la plus forte pente de fond et les faibles débits dérivés.

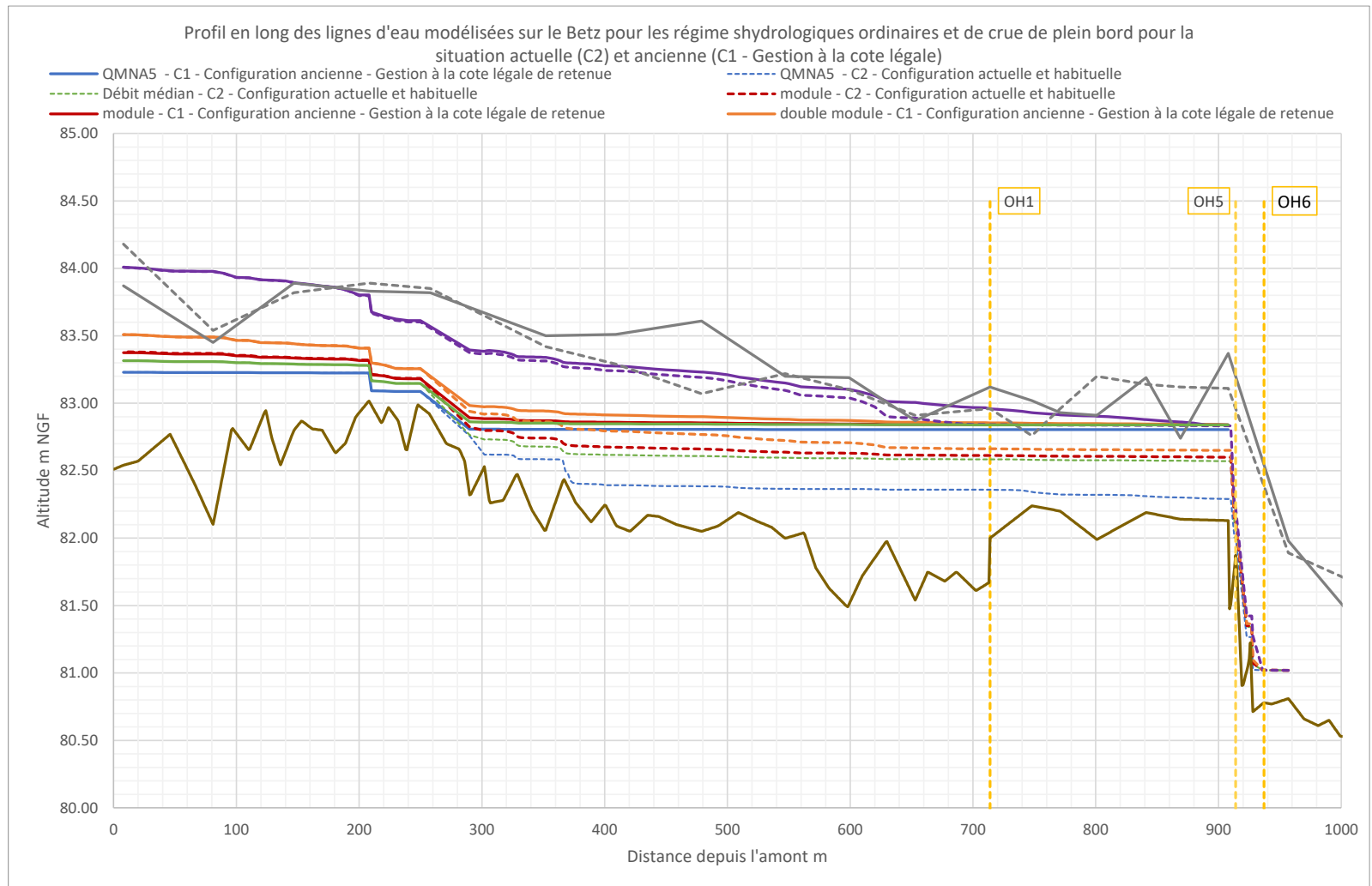


Figure 8. Profil en long des lignes d'eau modélisées sur le bras principal du Betz à l'échelle de la zone d'étude pour les régimes hydrologiques et les deux configurations testées

5.2.7 Analyse du fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau

En synthèse, du point de vue du transit sédimentaire, la description des segments homogènes a permis de mettre en évidence :

- **Sur le segment 1, en amont du linéaire faiblement influencé par les ouvrages du moulin Brandard:**
 - L'absence de désordres hydromorphologiques majeurs ;
 - Un fond dominé par des alluvions grossières décolmatées sur les portions les plus courantes, les dépôts de limons, sables et vases lorsqu'ils existent restant confinés sur les marges du lit, en amont des embâcles et les quelques zones élargies à plus faible courantologie;
 - La présence d'une zone d'exhaussement continu et marqué du fond depuis la défluence jusqu'à **P31**, soit sur **160 m** environ, puis un court linéaire (**≈ 40 m**) à forte pente jusqu'à la confluence des bras. Le volume de sédiments accumulés sur cet axe (matériaux alluvionnaires granulaires) est estimé à **≈ 374 m³**. Il est possible que ce phénomène d'exhaussement trouve son origine :
 - En une perte de compétence morphogène du fait de la diminution des débits liquides (répartition sur deux bras) à débits solides peu modifiés (report préférentiel de la charge solide en transit vers le bras Sud en lien avec la présence d'un ouvrage transversal en amont du bras secondaire Nord) ;
 - En d'anciens travaux hydrauliques ayant eu pour objet de dériver une partie du cours d'eau en direction du coteau Sud pour former une chute d'eau exploitable. Le bras Sud pourrait alors constituer un bras d'origine artificielle tandis que le bras Nord s'apparenterait à l'ancien tracé naturel du cours d'eau en fond de vallée. L'absence de moulin visible à ce niveau à l'heure actuelle ou sur les plans anciens ne permet pas toutefois de valider cette hypothèse.
- **Sur le segment 2, linéaire faiblement influencé par les ouvrages du moulin Brandard :**
 - Un exhaussement continu du fond du lit par rapport au profil de fond théorique (**+0.46 m** en moyenne et localement jusqu'à **+0.8 m**) sur une distance de **300 m** environ en amont du déversoir de décharge amont (**OH1**), témoignant d'un effet de dépôt préférentiel de la charge solide en transit qu'implique le ralentissement généralisé des écoulements sous l'effet des ouvrages du moulin Brandard. Le volume de sédiments accumulés sur cet axe (matériaux alluvionnaires granulaires) est estimé à **≈ 1313 m³**.
- **Sur le segment 3, correspondant au bief du moulin Brandard :**
 - Le colmatage des substrats et l'envasement généralisé du fond du lit, en lien avec le relèvement du fond « dur », de la ligne d'eau en amont du déversoir principal et le ralentissement important des écoulements. Ainsi, le volume de sédiments meubles (limons, vase, matière organique) accumulés sur cet axe est estimé à **≈ 800 m³** et s'établit sur une épaisseur moyenne de l'ordre de **0.5 m**.

Le profil de fond « dur » est relativement plat et significativement relevé par rapport au profil hydromorphologique théorique (relèvement continuellement croissant de l'amont vers l'aval, de **0.95 m** en moyenne et jusqu'à **1.17 m** localement) et témoigne du caractère artificiel du bras, lequel a été très anciennement creusé en déport du tracé naturel en fond de vallée et vers le coteau Sud à l'édification du moulin pour créer une chute d'eau exploitable à ce niveau.

- **Sur le segment 5, correspondant au bras naturel court-circuité en fond de vallée :**
 - L'absence de désordres majeurs apparents concernant la nature, l'épaisseur et la granulométrie des alluvions constituant le fond du lit.

5.2.8 Analyse de la franchissabilité piscicole des ouvrages

Dans le cas présent :

- Le canal usinier ne peut être considéré comme une voie de franchissement potentielle compte tenu de la présence de la roue, de l'absence de fosse d'appel en pied de chute, de la forte hauteur de chute, du faible débit d'attrait, et de la présence d'une grille en très grande partie occultée par des dépôts de bois et de vase en amont immédiat de la vanne usinière ;
- Le bras de décharge ne peut être considéré comme une voie de franchissement potentielle compte tenu de la présence d'un seuil à forte chute, faible tirant d'eau sur le parement et avec redan épais en crête (**OH7**), situé entre le vannage de décharge et le pont de la rue du moulin Brandard, de la présence d'un vannage de décharge dont l'entrouverture est en très grande partie occultée par des dépôts de bois et de vase
- Le bras naturel court-circuité peut être considéré comme une voie de franchissement potentielle, mais uniquement pour les espèces sauteuses (truite fario dans le cas présent) et en cas d'alimentation du bras soit pour les régimes de moyennes et de hautes eaux annuelles.

Le diagnostic de franchissabilité piscicole réalisé à ce niveau (ICE) montre toutefois que les conditions d'écoulement au passage du déversoir de décharge amont du moulin Brandard sont incompatibles avec les capacités de saut et de nage de l'ensemble des espèces en présence compte tenu de la chute d'eau trop importante et de la profondeur insuffisante de la fosse d'appel. L'ouvrage peut donc être considéré comme une barrière totale pour la circulation des espèces piscicoles.

5.2.9 Synthèse des altérations au milieu naturel

En synthèse, les principales altérations au milieu naturel recensées sur le cours d'eau à l'échelle de la zone d'étude sont les suivantes :

Présence d'ouvrages associés au complexe hydraulique du moulin Brandard :

- Altération de la continuité écologique :
 - Franchissabilité piscicole interrompue au droit des ouvrages de décharge pour l'ensemble des régimes hydrologiques ordinaires;
 - Transit sédimentaire perturbé dans l'emprise du linéaire influencé par le moulin :
 - Ecoulement lent à stagnant favorisant la décantation des matières en suspension et le colmatage des substrats grossiers ;
- Homogénéisation et banalisation des faciès d'écoulement :
 - Banalisation et appauvrissement des habitats aquatiques : écoulement lent, peu profond et très homogène sur l'ensemble du bief sur fond colmaté ;
 - Réchauffement et anoxie des eaux et effets de l'eutrophisation favorisés ;
 - Mise en danger chronique des espèces inféodées au bras naturel court-circuité du Betz en cas de non restitution du débit minimum réservé au droit du déversoir de décharge amont;
- Rectification et déport ancien du Betz sur le coteau Sud sur environ **200 m** en amont du moulin Brandard :

- Altération des habitats physiques et hydrauliques ;
- Altération du profil en travers, en long et du tracé en plan;
- Dérèglement des processus naturels de débordements ;
- Création ancienne de nombreux bras secondaires associés au complexe hydraulique du moulin Brandard :
 - Problématique de faibles débits sur chaque bras du fait de leur diffusion, à l'origine de pertes de fonctionnalités écologiques à l'échelle de l'ensemble du complexe hydraulique;
- Dérèglement des processus naturels de débordements :
 - Perte de fréquence et durée de submersion du lit majeur et des annexes ;
 - Aggravation des inondations en aval ;
- Présence d'un plan d'eau en lit majeur en dérivation du bief du moulin:
 - Réchauffement et anoxie de la masse d'eau superficielle et effets de l'eutrophisation favorisés ;
 - Peuplement piscicole du plan d'eau dérivant fortement de la typologie naturelle attendue et pouvant participer à déstructurer le peuplement piscicole sur le Betz;
- Rectification et recalibrage récent d'une partie du bras naturel court-circuité du Betz en fond de vallée (travaux hydrauliques des années 80) :
 - Banalisation et appauvrissement des habitats aquatiques ;
 - Disparition d'une grande partie des substrats granulaires sur le fond du lit propices à la vie aquatique ;
 - Dérèglement des processus naturels de débordements ;
- Endiguement des rives du bras naturel court-circuité du Betz :
 - Altération du profil en travers ;
 - Dérèglement des processus naturels de débordements ;
- Comblement d'anciens méandres du bras naturel court-circuité du Betz en rive droite du tracé actuel rectifié et recalibré (travaux hydrauliques des années 80):
 - Perte d'habitats de type annexe hydraulique ;
- Dérèglement des processus naturels de débordements.

Il est à signaler enfin la sévérité des étiages observés ces dernières années sur le secteur, particulièrement préjudiciables au milieu aquatique dans son ensemble, même si cette problématique ne peut être ici imputée à la présence de petits ouvrages transversaux sur le cours d'eau. Elle renforce toutefois l'enjeu de restauration de la continuité écologique du cours d'eau puisqu'il apparaît d'autant plus important que les espèces piscicoles puissent circuler librement afin de rejoindre des zones refuges dès que le besoin s'en fait sentir d'une part, et recoloniser rapidement le milieu une fois que les conditions minimales requises à la vie aquatique sont rétablies d'autre part.

5.2.10 Synthèse des enjeux, contraintes et opportunités

L'analyse des enjeux, contraintes et opportunités sur la zone d'étude fait ressortir les points suivants :

Enjeux pour le milieu aquatique :

- Restauration de la continuité piscicole et sédimentaire à l'échelle du complexe hydraulique du moulin Brandard ;
- Diversification des écoulements et des habitats sur l'ensemble des linéaires influencés, en réponse à l'artificialisation du lit et à l'homogénéisation des écoulements ;
- Soutien des débits sur le bras naturel court-circuité du Betz, en réponse aux très faibles débits observés sur ce dernier en période d'étiage et aux plus fortes potentialités biologiques constatées sur ce tronçon ;

- Amélioration des échanges entre le lit mineur et le lit majeur sur les secteurs à faibles enjeux humains et matériels, en réponse à la diffusion des débits sur de multiples bras et aux endiguements de faible hauteurs (probables merlons de curage) réalisés dans le cadre de travaux hydrauliques passés;
- Diminution des impacts générés par la présence du plan d'eau.

Contraintes

- Non aggravation des inondations au droit des secteurs à enjeux humains et matériels ;
- Conservation d'un débit et d'une ligne d'eau minimale dans le bief pour :
 - Permettre une alimentation minimale de la roue et sa mise en valeur (après restauration ou remplacement) à des fins d'agrément esthétique;
 - Préserver l'aspect paysager du site ;
 - Préserver les sous-bassements et fondations anciennes des bâtiments au contact direct de l'eau, potentiellement sujettes à une dégradation rapide en cas d'exondation sur tout ou partie de leur hauteur ;
- Préservation de l'usage de point d'eau incendie au droit de l'étang ou à proximité ;
- Absence de maîtrise foncière en rive droite du déversoir et du bras naturel court-circuité en fond de vallée (en cas de volonté d'araser le merlon en rive droite pour la recharge et le reprofilage du bras naturel court-circuité et l'amélioration des échanges du lit mineur avec sa plaine inondable ;

Opportunités

- Réduction du plan d'eau envisageable en superficie voire suppression totale, libérant un espace disponible pour la diversification des écoulements (reméandrage du bras naturel court-circuité), l'expansion des crues et la formation d'une zone humide fonctionnelle ;
- Réduction possible du débit et du niveau de retenue sur le bief dans la mesure où les possibilités de mise en mouvement de la roue de moulin ne sont pas totalement compromises ;

5.3 CONCEPTION DU SYSTEME REPARTITEUR

5.3.1 Hypothèses de répartition des eaux entre le bief du moulin Brandard et le bras de contournement

D'une façon générale, et à l'échelle d'un complexe hydraulique, le débit dimensionnant de la solution de rétablissement de la continuité piscicole doit être suffisamment important pour concurrencer les débits dérivés par les autres axes d'écoulement et/ou parties d'ouvrages, et constituer un point d'attrait piscicole préférentiel à la sortie hydraulique (entrée piscicole) de l'aménagement.

Il doit donc être adapté à l'hydrologie du cours d'eau mais également à la configuration du site, notamment lorsque ce dernier présente des points d'attraits multiples et distants.

Pour des cours d'eau de taille modeste, il peut être envisagé d'allouer à l'aménagement destiné à rétablir la continuité piscicole la totalité du débit minimum réservé, soit le **1/10^{ième} du module interannuel** au minimum (débit plancher réglementaire), voire plus en fonction des usages du site.

Dans le cas présent, il convient en premier lieu de favoriser l'attractivité du bras naturel court-circuité à la confluence avec le bras de décharge et le canal de fuite du moulin Brandard.

Cela peut être obtenu en assurant pour les régimes hydrologiques ordinaires un débit **quatre fois plus élevé** sur le bras naturel court-circuité à la confluence des bras.

Cette disposition revient à assurer un partage des eaux en régime ordinaire de l'ordre de **≈ 80 %** du débit total du Betz sur le bras naturel court-circuité au droit du point de répartition amont (soit **≈ 20%** du débit du Betz sur le bief).

En cas de situation d'étiage sévère (débit du Betz inférieur au débit minimum réservé estimé sur site à **58 l/s**, soit une situation très rare et potentiellement atteinte moins de **1%** du temps en année normale), l'hypothèse de travail retenue consiste à restituer l'intégralité du débit du Betz sur le bras naturel court-circuité (soit une déconnexion du bief pour tout débit du Betz inférieur à **58 l/s** sur le site).

5.3.2 Implantation et type d'aménagement préconisés

D'une façon générale, un système répartiteur doit être composé de parties d'aménagement formant des sections de contrôle hydraulique dont le fonctionnement ne peut dépendre que de la géométrie de leur section et des conditions d'écoulement à leur aval.

Dans le cas présent, il est proposé de recourir à un système répartiteur composé :

- Des radiers de la vanne usinière (**OH5**) et des vannes de décharge de décharge du moulin (**OH3**), tous deux situés à la même cote (**81.91 m NGF**) considérant par ailleurs le démantèlement définitif des parties mobiles ;
- Du premier radier aménagé en amont du bras naturel court-circuité, en lieu et place de l'ouvrage de décharge amont **OH1**.

Les modestes vitesses attendues sur le bras de contournement n'exigent pas nécessairement de recourir à des blocs pour stabiliser le fond de la section, la granulométrie envisagée pour la reconstitution du matelas alluvial étant largement suffisante de ce point vue.

5.4 REPROFILAGE DU LIT SUR LE BRAS NATUREL COURT-CIRCUITE ET DANS L'EMPRISE DU PLAN D'EAU EXONDE

Le reprofilage du lit sur le bras naturel court-circuité et dans l'emprise du plan d'eau exondé cherche à restaurer un lit d'écoulement fonctionnel sur le plan écologique (continuité et habitabilité piscicole, développement des biocénoses associées au substrat...) et hydromorphologique (transit des sédiments, ajustement et renouvellement des formes du lit...) en réponse aux altérations constatées et décrites dans l'état des lieux et diagnostic.

L'objectif est alors de favoriser la dynamisation et la diversification des écoulements, ce qui peut être obtenu par :

- **La mise en forme d'un tracé sinueux**, de façon à potentialiser les bénéfices écologiques attendus par le méandrage du lit ;
- **La diversification du profil en travers du lit :**
 - Profil de fond approfondi (fosses) en extrados de méandre ;
 - Profil de fond régulier (radier/plats courants) aux points d'inflexion du tracé ;
- **La diversification du profil en long du lit** par la mise en place à intervalles réguliers:
 - De raders/hauts fonds situés aux points d'inflexion du tracé (zones de plus fort courant favorables à l'oxygénation de l'eau) ;
 - De mouilles en zone courbe (zones de repos, d'alimentation et de croissance offrant un plus grande volume habitable pour la faune piscicole, zones de refuge en période de très basses eaux estivales).

Il convient alors de définir le positionnement du nouveau tracé de cours d'eau ainsi que ses principales caractéristiques dimensionnelles et altimétriques et son espace de fonctionnalité (espace nécessaire à un cours d'eau pour y assurer ses diverses fonctionnalités).

5.4.1 Positionnement en plan du nouveau tracé du lit mineur

Le projet prévoit le reprofilage du lit dans l'emprise stricte du tracé actuel du bras naturel court-circuité depuis l'ouvrage de décharge amont (**OH1**) jusqu'au radier naturel situé à **80 m** environ en amont du pont de la rue du moulin Brandard soit une linéaire à remodeler de l'ordre de **195 m**

5.4.2 Profil en long du nouveau tracé du lit mineur

Dans le cas présent, le profil en long du nouveau tracé est choisi de façon à ce que :

- La ligne d'eau amont atteinte en amont du bras naturel court-circuité pour la situation de débit minimum réservé sur le Betz correspond à la cote de radier de la vanne usinière et des vannes de décharge, afin de permettre le report intégral du débit du cours d'eau sur le bras naturel court-circuité pour tout régime hydrologique égal ou inférieur ;
- Il relie le radier/haut fond rencontré sur le bras naturel court-circuité en fond de vallée à **80 m** environ en amont du pont de la rue du moulin Brandard.

De ce fait, la pente générale de fond retenue s'établit à **0.67%** soit plus du double de la pente de fond moyenne observée sur le secteur d'étude (**≈ 0.29%**) :

- Cote fond tête de radier amont : **81.79 m NGF (-0.12 m / cote radier OH3 et OH5 à 81.91 m NGF) ;**
- Cote fond tête de radier aval : **80.63 m NGF.**

Le profil en long présentera une alternance de zones de radiers/hauts aux points d'inflexion du tracé et de mouilles en zones courbes, lesquelles présenteront une surprofondeur de l'ordre de **0.25 m** par rapport au profil de fond moyen théorique.

En contexte naturel, il est classiquement observé une alternance des zones de mouilles et de radiers/hauts fonds tous les **5 à 10 fois** la largeur du lit à plein bord.

Dans le cas présent, considérant une largeur à plein bord du lit reconstitué d'environ **7.8 m**, il a été considéré un espacement moyen entre deux radiers ou mouilles successifs de l'ordre de **43 m** (soit \approx **5 fois** la largeur du lit à plein bord).

5.4.3 Dimensionnement du gabarit du lit mineur

Le dimensionnement du gabarit du lit mineur a été réalisé par approche calculatoire (formulation de Manning-Strickler), au regard de l'hydrologie en présence et de la répartition des eaux prévue au droit du système répartiteur de façon à :

- Permettre le maintien d'un substrat grossier peu ou pas colmaté ;
- Offrir des variables hydrauliques compatibles avec la vie aquatique et en particulier avec les exigences d'habitat de la truite fario et des petites espèces d'accompagnement ;
- Favoriser les débordements en dehors du lit reconstitué pour des crues relativement courantes (période de retour d'une crue journalière de l'ordre de **2 ans**) en vue de favoriser le développement des fonctionnalités de type zone humide au niveau du plan d'eau exondé riverain (fonctions hydrologiques, biogéochimiques et écologiques).

La figure ci-après donne quelques valeurs guides pour l'habitat de la truite fario, espèce repère du contexte piscicole sur le Betz.

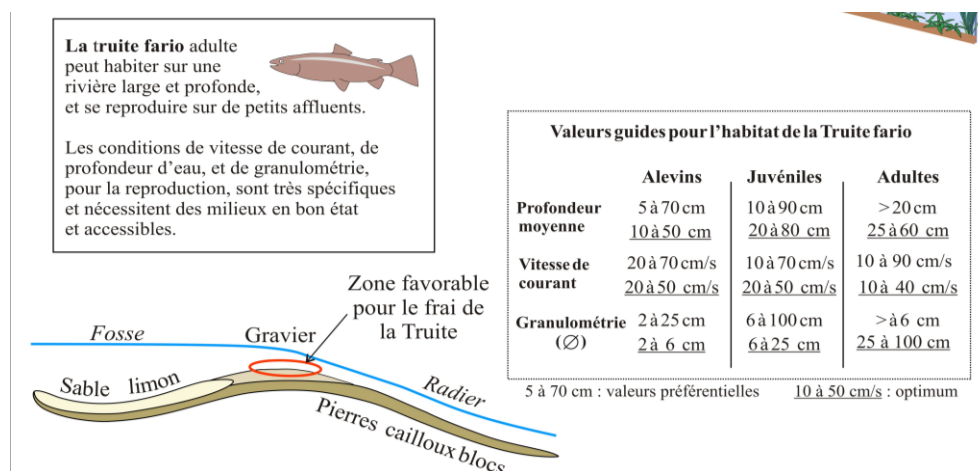


Figure 9. Plages de valeurs guides pour l'habitat de la truite fario – Source : ONEMA

Considérant ces données, le dimensionnement du gabarit moyen du bras de contournement a cherché à obtenir :

- Au droit des sections régulières, et pour les régimes hydrologiques ordinaires (**QMNA5 → Double module**) :
 - Une hauteur d'eau comprise entre **0.1 et 0.3 m**;
 - Une vitesse d'écoulement comprise entre **0.4 et 0.7 m/s**;
- Au droit des zones courbes :
 - Des fosses de l'ordre de **0.3 à 0.5 m** de profondeur.

Il est ainsi considéré au droit des sections régulières (hors mouilles) :

- Une largeur en base de **6 m** ;
- Une hauteur de berge de **0.8 m** par rapport au fond du lit ;
- Une légère surélévation du fond en pied de berge de **0.2 m** par rapport au centre du lit reconstitué (soit une hauteur de berge de l'ordre de **0.6 m** par rapport au fond en pied de berge);
- Un profil de berge auto-stable pour les matériaux granulaires à mettre en œuvre et de l'ordre de **3/2** – Horizontal/Vertical;
- Une largeur à plein bord de **7.8 m** (rapport Largeur plein bord / Hauteur plein bord de l'ordre de **10**, soit un rapport de forme classiquement observé sur des cours d'eau naturels de plaine où les matériaux de berge sont à dominante cohésive).

Il est précisé que le gabarit a été dimensionné en considérant une pente de fond moyenne de **0.67%** et un coefficient de rugosité (coefficient de Strickler) de **20**.

Les mouilles sont positionnées quant à elles en zone courbe du tracé et sont calées en altimétrie à **0.25 m** sous le radier immédiatement à leur aval.

5.4.4 Restauration du matelas alluvial et diversification des habitats aquatiques

La reconstitution du matelas alluvial vise à assurer sur le moyen/long terme une superficie, une épaisseur, une nature granulométrique, un agencement de substrat alluvial et une fréquence de mise en mouvement permettant le bon fonctionnement des biocénoses aquatiques.

Dans des conditions d'écoulement naturelles, il est fréquemment observé la présence d'une couche d'armure sur le fond. Celle-ci se met généralement en place à la suite des crues morphogènes, qui charrient efficacement les sédiments d'amont en aval et qui les redistribuent également sur l'épaisseur du matelas alluvial.

Un tri granulométrique s'opère verticalement avec un recouvrement des éléments fins (sables, graviers) par des matériaux alluvionnaires plus grossiers (cailloux, pierre).

La couche d'armure limite ainsi l'évolution du matelas alluvial sous l'action des contraintes érosives en crue (phénomène de rétroaction). Ce phénomène est toutefois réversible, les crues de plus forte ampleur permettant de remobiliser les matériaux les plus grossiers sur le fond.

Le matelas alluvial sera reconstitué par une recharge en granulats sur la totalité du fond du lit reconstitué sur une épaisseur minimale de **0.2 m**.

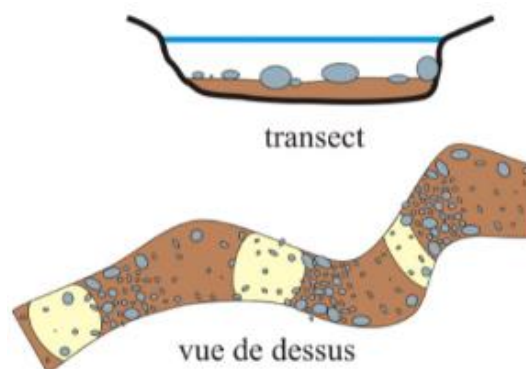
La granulométrie proposée pour les matériaux granulaires d'apport est étendue (**calibre 10-100 mm**) et cohérente avec les alluvions naturellement présentes sur les portions non colmatées du cours d'eau, et les conditions d'écoulement en présence.



Figure 10 : Courbe granulométrique (en nombre d'éléments et non en poids) représentative de la couche d'armure des alluvions présentes sur les portions d'écoulements courantes du Betz

La proportion proposée pour les différentes gammes de granulats est la suivante :

- $\approx 20\%$ du poids de granulats de **calibre 10-20 mm (graviers grossiers)**. Une proportion d'éléments fins est souhaitée pour le remplissage partiel des interstices formé par les plus cailloux et les pierres et le « nappage » des têtes de radier en vue de reconstituer un substrat favorable à la reproduction de petite espèces piscicoles;
- $\approx 40\%$ du poids de granulats de **calibre 20-40 mm (cailloux fins)**. Une proportion significative des matériaux doit être rendue mobilisable par les crues morphogènes pour favoriser une certaine adaptation et un renouvellement efficace des formes du lit ;
- $\approx 40\%$ du poids de granulats de **calibre 40-100 mm (cailloux grossiers)**. Une proportion plus faible d'éléments grossiers est proposée pour la constitution d'une couche d'armure sur le fond, limitant l'érosion du matelas alluvial pour des conditions d'écoulement courantes et les crues de faible ampleur, mais restant mobilisable pour des crues moyennes à rares.



Comme décrit-après, le fuseau granulométrique retenu pour les radiers est un peu plus important de façon à ce que le profil en long n'évolue pas dans le temps et à éviter toute déconnexion potentielle du bief par dérive de l'altimétrie des fonds reconstitués.

5.4.5 Choix des matériaux constituant les radiers

La taille des granulats constituant un aménagement hydraulique est classiquement choisie dans un premier temps en fonction :

- Des conditions de vitesse et de turbulence à leur voisinage pour la situation hydraulique la plus pénalisante ;
- De la pente transversale de l'aménagement ;
- De la granulométrie des matériaux constitutifs du terrain sous-jacent (en berge et dans le lit) ;

Puis dans un second temps en fonction :

- Des classes granulaires standards existantes se rapprochant du fuseau blocométrique adapté aux conditions précitées ;
- Des contraintes de manipulation des matériaux par les engins de travaux ;
- Des autres contraintes physiques pouvant s'appliquer de façon occasionnelle (chocs d'embâcles par exemple) ;
- D'éventuelles contraintes de disponibilité en matériaux de proximité de bonne qualité.

Dans le cas présent, les vitesses d'écoulement moyennes maximales modélisées sur les radiers sont de l'ordre de **1.2 m/s** pour la situation hydrologique la plus pénalisante sur l'ensemble des régimes hydrologiques testés.

Le diamètre médian des blocs à choisir pour garantir la stabilité des matériaux aux contraintes hydrauliques en présence, considérant une zone d'écoulement rectiligne relativement turbulente, une pente longitudinale de radier de **1.5%**, et un angle de stabilité des enrochements de l'ordre de **40°**, est donné par la formule d'Isbash suivante :

$$d = \frac{0.7}{s - 1} \frac{U^2}{2 \cdot g} \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \beta}{\sin^2 \varphi}}$$

Avec :

U : vitesse du courant au voisinage des enrochements ;

d : valeur intermédiaire des trois dimensions d'un bloc en forme d'ellipsoïde ;

g : constante gravitationnelle égale à 9.81 m/s² ;

β : angle de stabilité du talus avec l'horizontale ;

ψ : angle d'équilibre des enrochements ;

Pour une meilleure imbrication des granulats, il convient par ailleurs d'adopter une granulométrie étalée :

$$d_{min} > 0.7 \cdot d; d_{50} \geq d; d_{max} > 2 \cdot d$$

La prise en compte de ces considérations amène aux propositions suivantes :

Diamètre des granulats - m		
D min	D 50	D max
0.04	0.06	0.12

Selon la norme **NF EN 13 383-1**, le fuseau blocométrique de référence le plus proche correspond au standard **CP 45/125 (≈ calibre 45-125 mm)**.

Le calibre des matériaux envisagé pour la recharge en granulats (**calibre 10-100 mm**) semble donc auto-stable au droit des radiers pour les conditions d'écoulement envisagées,

sans réelle marge de sécurité toutefois. Il est ainsi alors proposé de recourir au droit des radiers à l'emploi de matériaux appartenant à un fuseau blocométrique de référence supérieur, correspond au standard **LMA 5/40** (calibre **150-300 mm** environ), de façon à ce que le profil en long n'évolue pas dans le temps et à éviter toute déconnexion potentielle du bief par dérive de l'altimétrie des fonds reconstitués.

Les granulats seront mis en œuvre sur une double couche et sur une épaisseur de protection portée à **1.5 fois** environ la dimension des plus gros granulats, soit **0.45 m** dans le cas présent. Les enrochements utilisés pour la construction doivent être de bonne qualité apparente (pierre propre, dure, non gélive, résistante à l'eau et aux agressions extérieures) et de forme tétraédrique pour une meilleure imbrication des blocs entre eux.

Les enrochements de type **LMA 5/40** seront disposés directement sur le fond de forme terrassé, dont le fuseau granulométrique (calibre **10-100 mm**) permettra finalement d'assurer les fonctions attendues d'une couche filtre de transition (absence de mobilité des matériaux du fond à travers ses éléments d'une part, et du passage de ses propres éléments à travers les pierres formant les radiers pierreux d'autre part) et d'éviter le recours à la mise en œuvre d'un géotextile synthétique sous-jacent.

Fuseau retenu pour les granulats constituant les radiers

Gros enrochement	Classe de référence	ELL	NLL	NUL	EUL	M_{em}	
	Passant associé kg	< 5 % kg	< 10 % kg	> 70 % kg	> 97 % kg	llimite Inférieure kg	limite supérieure kg
	10 000 – 15 000	6500	10 000	15 000	22 500	12 000	13 000
6 000 – 10 000	4 000	6 000	10 000	15 000	7 500	8 500	
3 000 – 6 000	2 000	3 000	6 000	9 000	4 200	4 800	
1 000 – 3 000	700	1 000	3 000	4 500	1 700	2 100	
300 – 1 000	200	300	1 000	1 500	540	690	

Enrochement moyen	Classe de référence	ELL	NLL	NUL	EUL	M_{em}	
	Passant associé kg	< 2 % kg	< 10 % kg	> 70 % kg	> 97 % kg	llimite Inférieure kg	limite supérieure kg
	60 – 300	30	60	300	450	120	190
10 – 60	2	10	60	120	20	35	
40 – 200	15	40	200	300	80	120	
5 – 40	1.5	5	40	80	10	20	
15 – 300 *)	3	15	300	450	45	135	

Petit enrochement	Classe de référence	ELL	NLL	NUL	EUL	
	Passant associé mm	< 5 % mm	< 15 % mm	> 90 % mm	> 98 % mm	< 50 % mm
	45/125	22.4	45	125	180	63
63/180	31.5	63	180	250	90	
90/250	45	90	250	360	125	
45/180 **)	22.4	45	180	250	63	
90/180 ***)	45	90 ***)	180 ***)	250	n.d.	

Note : *) enrochement moyen à blocométrie étalée, **) petit enrochement à granulométrie étalée, ***) granulométrie pour gabions, NLL = 20 % et NUL = 80 %

Figure 11. Classes blocométriques de références et exigences standards applicables aux enrochements – Source : Rock Manual, CETMEF

5.4.6 Fonctionnement hydraulique du bras naturel court-circuité restauré

Le bras naturel restauré a fait l'objet d'une modélisation hydraulique **1D** pour les régimes hydrologiques d'étiage (**QMNA5**), moyen (**module**), de hautes eaux annuelles (**double module**) et de crue courante (\approx **QJ1.9** = Plein bord sur le Betz en amont de la zone influencée par le moulin Brandard) en intégrant l'ensemble des sections de type mouilles et hauts fonds et en considérant un coefficient de Strickler (rugosité) de **20**.

Le profil en long des lignes d'eau ainsi que les principales variables hydrauliques observées à l'échelle de l'aménagement sont reportées sur le tableau et la figure pages suivantes.

Au droit des sections régulières, le faciès d'écoulement dominant s'apparente en régime moyen au plat courant (hauteur d'eau < **0.6 m**, vitesse > **0.3 m/s**).

Il apparaît que la hauteur d'eau moyenne (comprise entre \approx **0.24 et 0.43 m** pour les régimes hydrologiques ordinaires) et les vitesses moyennes (comprises entre \approx **0.2 et 0.5 m/s** pour les régimes hydrologiques ordinaires)) sont compatibles avec les exigences des espèces piscicoles en présence, en particulier la truite fario.

Les plages de fonctionnement optimales, en termes de hauteurs d'eau et de vitesse, pour les différents stades de vie de la truite fario (alevin, juvénile, adulte) se trouvent en particulier satisfaites sur la majeure partie de la longueur du bras naturel court-circuité pour les différents régimes hydrologiques ordinaires. En hautes eaux annuelles, les espèces trouveront des conditions de vie optimales au droit des mouilles lorsque les vitesses d'écoulement seront plus importantes au droit des radiers.

L'écoulement est par ailleurs suffisamment rapide pour limiter le dépôt de sédiments fins et le colmatage des substrats bien qu'il ne soit pas particulièrement puissant.

En régime de crue courante (**QJ1.9**), l'écoulement est affleurant avec la rive gauche aménagée (digue de séparation arasée), tout en restant contenu dans le lit reconstitué (situation de plein bord).

Tronçon	QMNA5			Débit médian			module			double module			Plein bord		
	Hauteur d'eau moyenne / tronçon m	Vitesse moyenne / tronçon m/s	Matériau mobilisable	Hauteur d'eau moyenne / tronçon m	Vitesse moyenne / tronçon m/s	Matériau mobilisable	Hauteur d'eau moyenne / tronçon m	Vitesse moyenne / tronçon m/s	Matériau mobilisable	Hauteur d'eau moyenne / tronçon m	Vitesse moyenne / tronçon m/s	Matériau mobilisable	Hauteur d'eau moyenne / tronçon m	Vitesse moyenne / tronçon m/s	Matériau mobilisable
Segment 5	0.25	0.20	Sables grossiers	0.32	0.31	Sables grossiers	0.36	0.38	Sables grossiers	0.46	0.51	Graviers moyens	0.77	0.85	Graviers grossiers
Radier	0.15	0.33	Sables grossiers	0.19	0.55	Graviers grossiers	0.22	0.62	Graviers grossiers	0.29	0.79	Graviers grossiers	0.54	1.17	Cailloux fins
Mouille	0.26	0.17	Sables grossiers	0.33	0.27	Sables grossiers	0.37	0.34	Sables grossiers	0.46	0.48	Graviers moyens	0.74	0.87	Graviers grossiers

Figure 12. Principales variables hydrauliques moyennes modélisées à l'échelle sur le bras naturel court-circuité aménagé en situation de projet

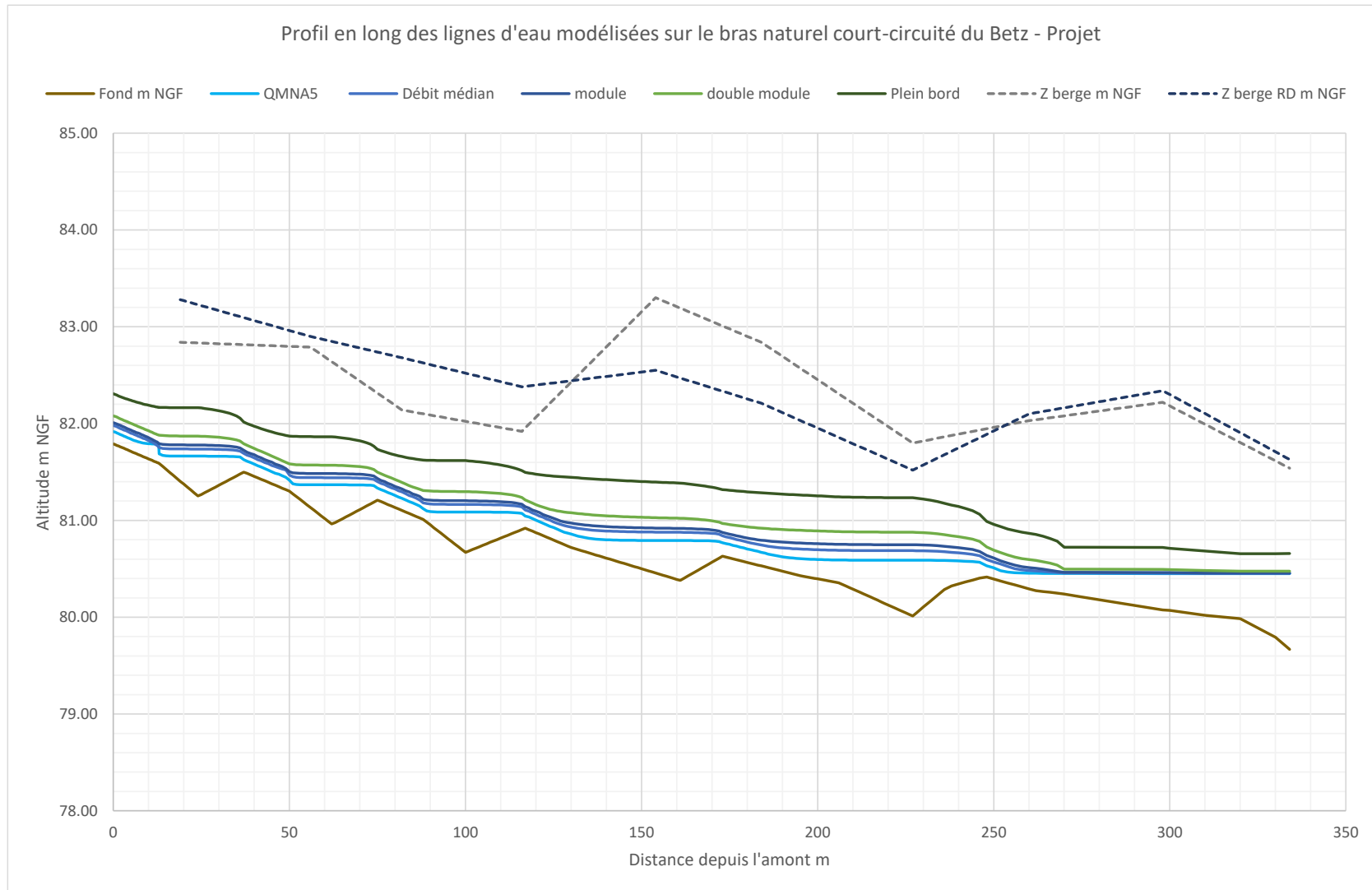


Figure 13. Profil en long des lignes d'eau modélisées sur le bras naturel court-circuité en situation de projet

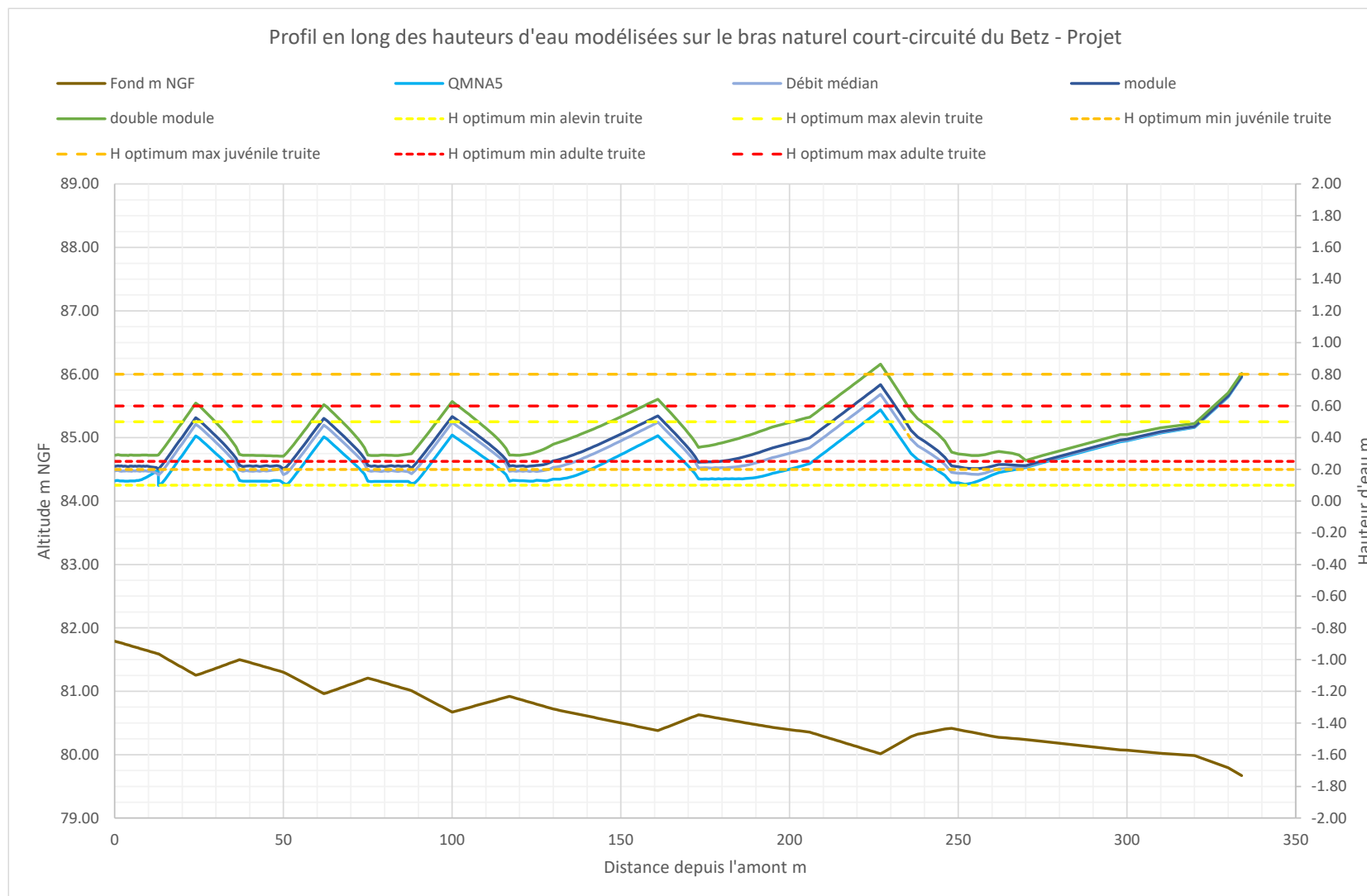


Figure 14. Profil en long des hauteurs d'eau modélisées sur le bras naturel court-circuité en situation de projet

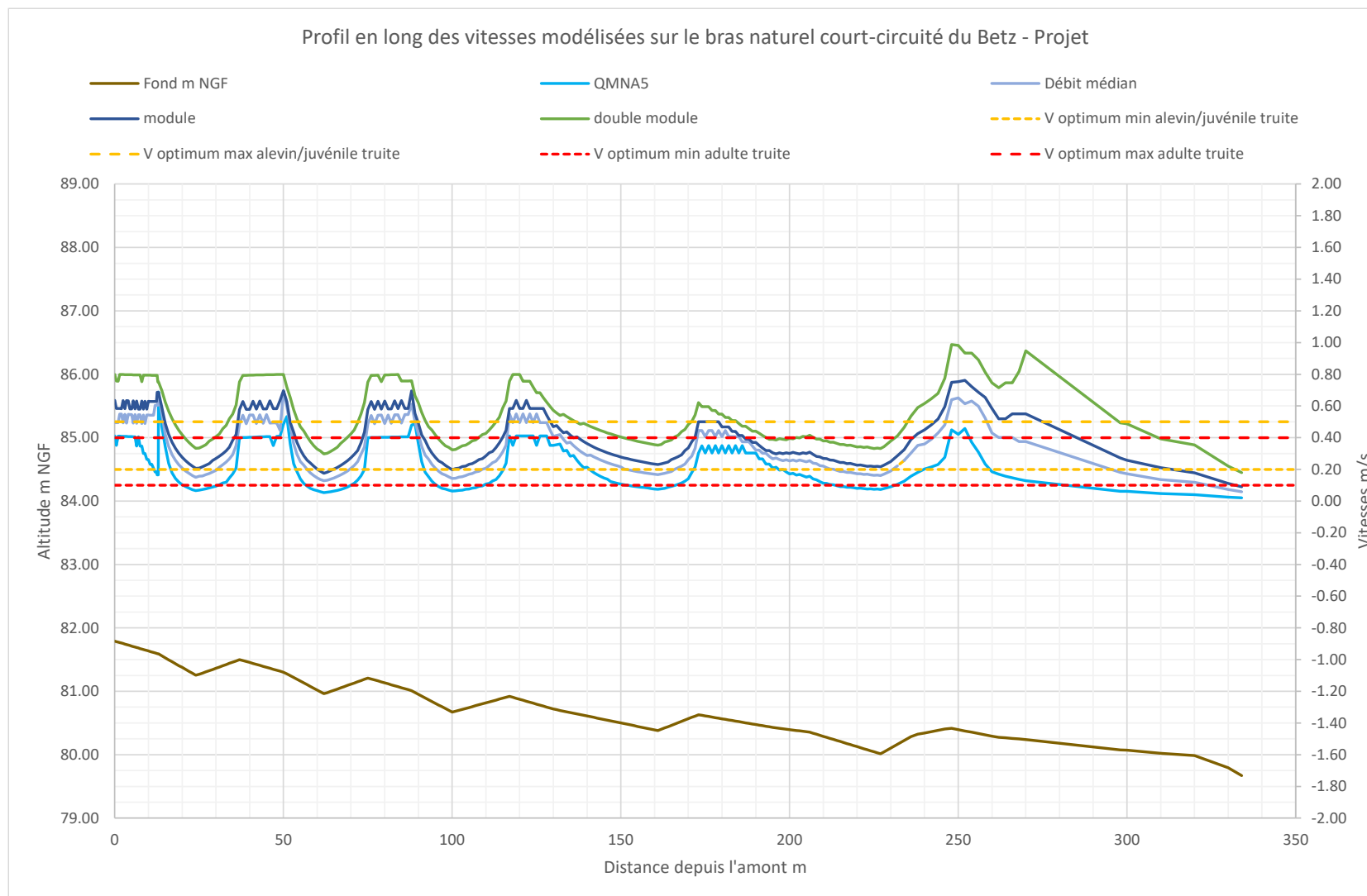


Figure 15. Profil en long des vitesses modélisées sur le bras naturel court-circuité en situation de projet

5.5 REMODELAGE DU LIT SUR LE BIEF DU MOULIN BRANDARD

Le remodelage du lit sur le bief du moulin Brandard doit permettre d'améliorer le fonctionnement écologique et hydromorphologique du tronçon, de tracé globalement rectiligne et de gabarit homogène et surélargi par rapport aux débits écoulés.

Cette opération s'avère d'autant plus utile que le programme d'aménagement se traduit par une baisse significative des débits dérivés sur ce segment, au bénéfice du bras naturel court-circuité, et donc une tendance accrue à l'envasement en l'absence de mesure d'accompagnement particulière. Il apparaît donc pertinent d'adapter la section aux débits attendus pour éviter une lentification encore plus importante des écoulements, et permettre le maintien d'un substrat grossier non colmaté tout en favorisant la diversité des formes du lit.

Il est précisé d'ores et déjà que la pente de fond sur ce tronçon est quasi-nulle et qu'elle est même négative à son extrémité aval (remontée du fond à l'approche des radiers de la vanne usinière et de la vanne de décharge). De ce fait, la recherche d'un écoulement relativement dynamique ne peut être espérée à ce niveau.

La surlargeur importante du lit autorise ici à recréer un tracé plus étroit et sinueux à l'intérieur même de l'espace disponible entre les berges, en préservant ainsi au maximum leur structure et la végétation développée, dont le maintien est souhaité.

La mise en forme de ce tracé peut être envisagée en adoptant le gabarit plus étroit observé en limite aval du bief (largeur d'environ **5 m** à plein bord) et en l'encadrant par des risbermes alternes situées en pied des berges actuelles (hauteur de risberme variable et comprise entre **0.4** et **0.8 m** pour obtenir le plein bord en régime de haute eaux annuelles soit au double module).

L'alternance d'amont en aval des risbermes d'une rive à l'autre et leur chevauchement sur la moitié de leur longueur (extrémités amont/aval d'une risberme opposées à la zone centrale de la risberme qui lui fait face) permet en effet d'initier un tracé sinueux où :

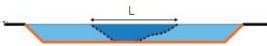
- Les hauts fonds (sections régulières) s'inséreront de préférence au droit des zones de chevauchement des risbermes ;
- Les mouilles se formeront naturellement au droit des zones courbes (en extrémité amont/aval d'une risberme donc).

La longueur d'une risberme représente alors la demi-longueur d'onde d'une sinusoïde.

Dans le cas présent, cela revient à considérer une longueur moyenne des risbermes de l'ordre de **30 à 40 m** (soit l'interdistance considérée entre deux radiers ou mouilles successifs).

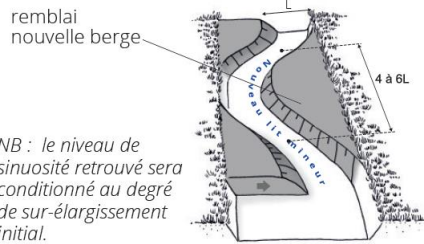
Il n'est pas proposé enfin d'adopter de dévers transversal pour les risbermes (banquettes « plates ») afin de favoriser leur pleine submersion et d'assurer une dissipation optimale de l'énergie du cours d'eau au-delà du plein bord.

Lit mineur élargi



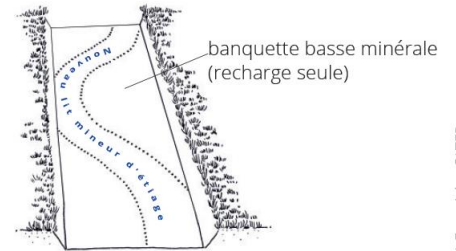
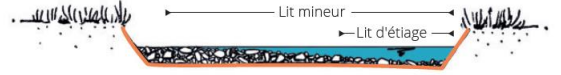
À privilégier

- 1 - Remblai des berges
- 2 - Recharge en granulats

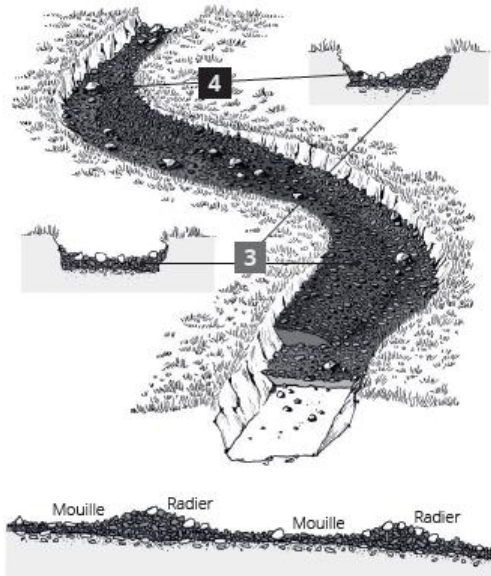


À défaut

- 1 - Recharge en granulats



Lit curé



Ordre de mise en oeuvre

- 1 Réhaussement du fond si nécessaire (matériau de comblement)
- 2 Remblaiement latéral pour reconstituer la berge si nécessaire (matériau de comblement)
- 3 Reconstitution du matelas alluvial et des radiers (matériau de recharge)
- 4 Apport de quelques blocs

Le **matériau de comblement** est utilisé pour compenser latéralement et verticalement les travaux d'élargissement et d'approfondissement. Il est moins coûteux et plus grossier que le matériaux de recharge.

Figure 16. Schéma type du principe d'intervention à privilégier sur cours d'eau élargis et curés
- Source : La Recharge en Granulats – CATER Basse Normandie

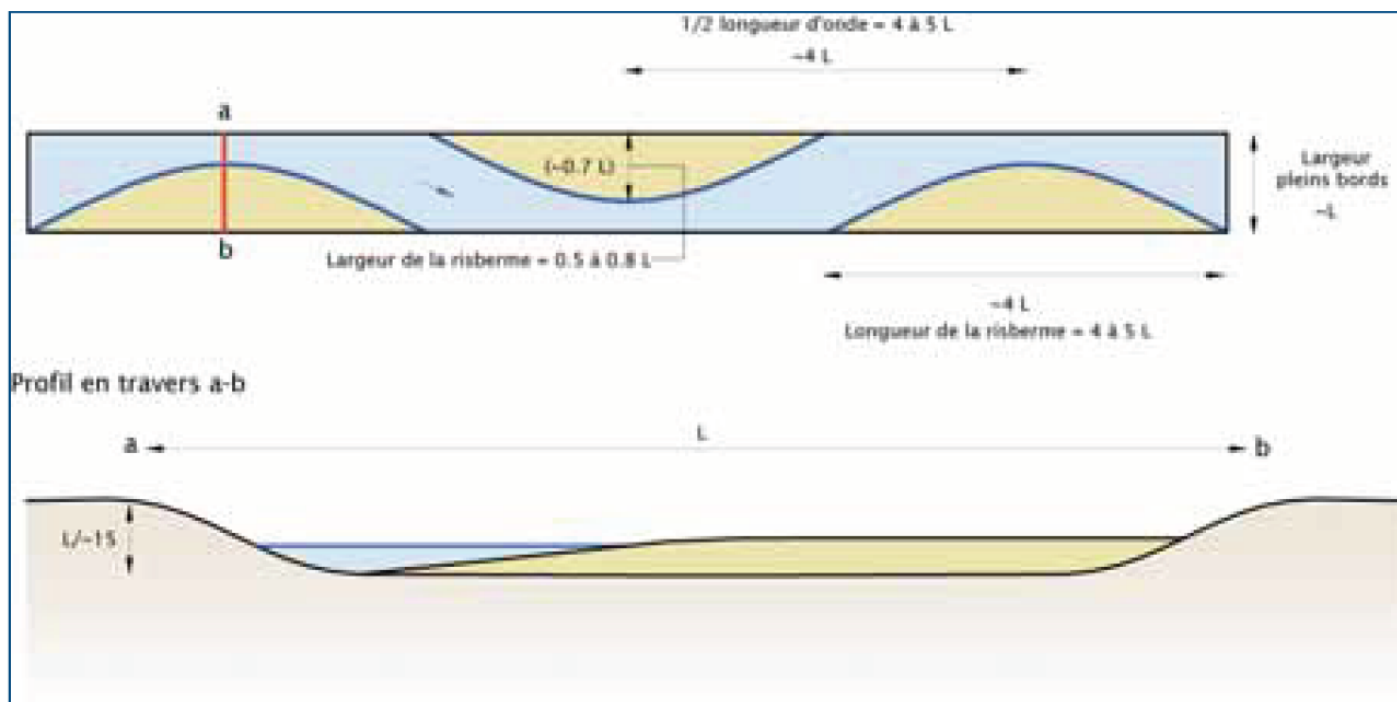


Figure 17. Schéma type d'implantation de risbermes alternées – Source : Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau - AESN

Les risbermes seront délimitées par des cordons de matériaux granulaires au contact du lit mineur dans la continuité du matelas alluvial existant sur le fond, et seront remplis en arrière de ces derniers et jusqu'à l'atteinte de la berge actuelle par des matériaux gravelo-terreux excédentaires issus des terrassements en déblais sur site de façon à permettre leur végétalisation par des plantes herbacées caractéristiques des bordures de cours d'eau.

Le tableau ci-après reporte les principales variables de dimensionnement retenues pour le remodelage du bief du moulin Brandard.

Régime hydrologique de plein bord	Double module
Cote supérieure de risberme (m NGF IGN 69)	82.1 (+0.19 m / radier OH3 et OH5, $\approx +0.4$ à 0.8 m / fond dur du bief)
Cote de fond dur actuelle sur le bief après extraction des vases (m NGF IGN 69)	Variable : 81.44 à 81.77, cote moyenne à ≈ 81.6
Largeur à plein bord actuelle du bief (m)	$\approx 5 - 6$ m à l'aval du bief, 8 à 11 m sinon
Largeur à plein bord en sommet de banquettes (m)	5
Fruit des talus de raccordement au fond après extraction des vases	2/1 – Horizontal/Vertical

Tableau 3. Principales caractéristiques de dimensionnement des banquettes sur le bief du moulin

5.6 NATURE DES TRAVAUX

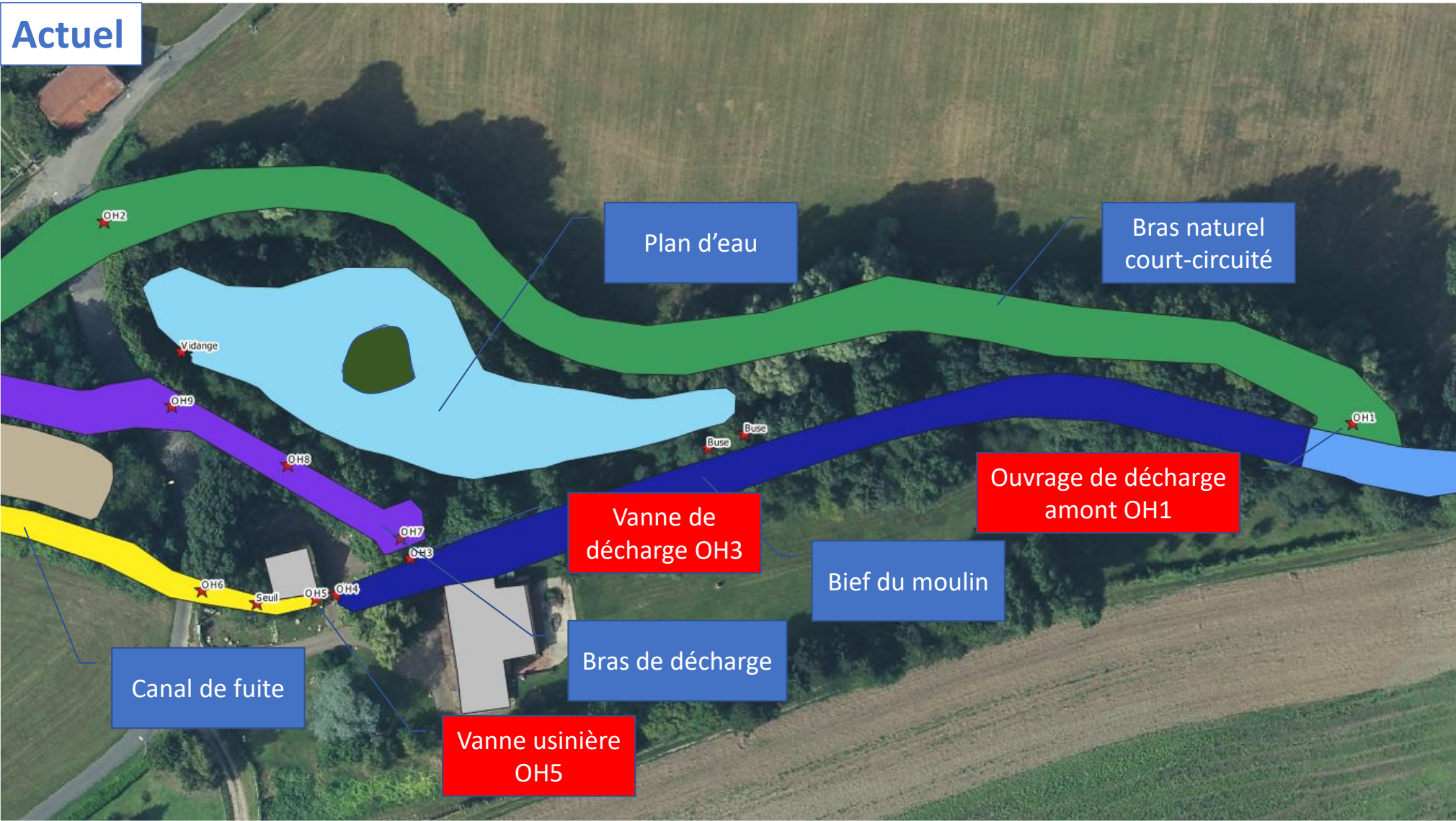
D'une façon générale, le programme de restauration prévoit des interventions de type effacement d'ouvrages, déboisement avant restauration d'une ripisylve fonctionnelle (en lieu et place de l'actuelle non adaptée en rive gauche du bras naturel court-circuité), remise en fond de vallée du cours d'eau avec remodelage fonctionnel du lit, restauration du milieu alluvial par recharge granulométrique, création d'une zone d'expansion de crue et de milieux humides associés.

D'une façon générale, le programme de travaux s'accompagne :

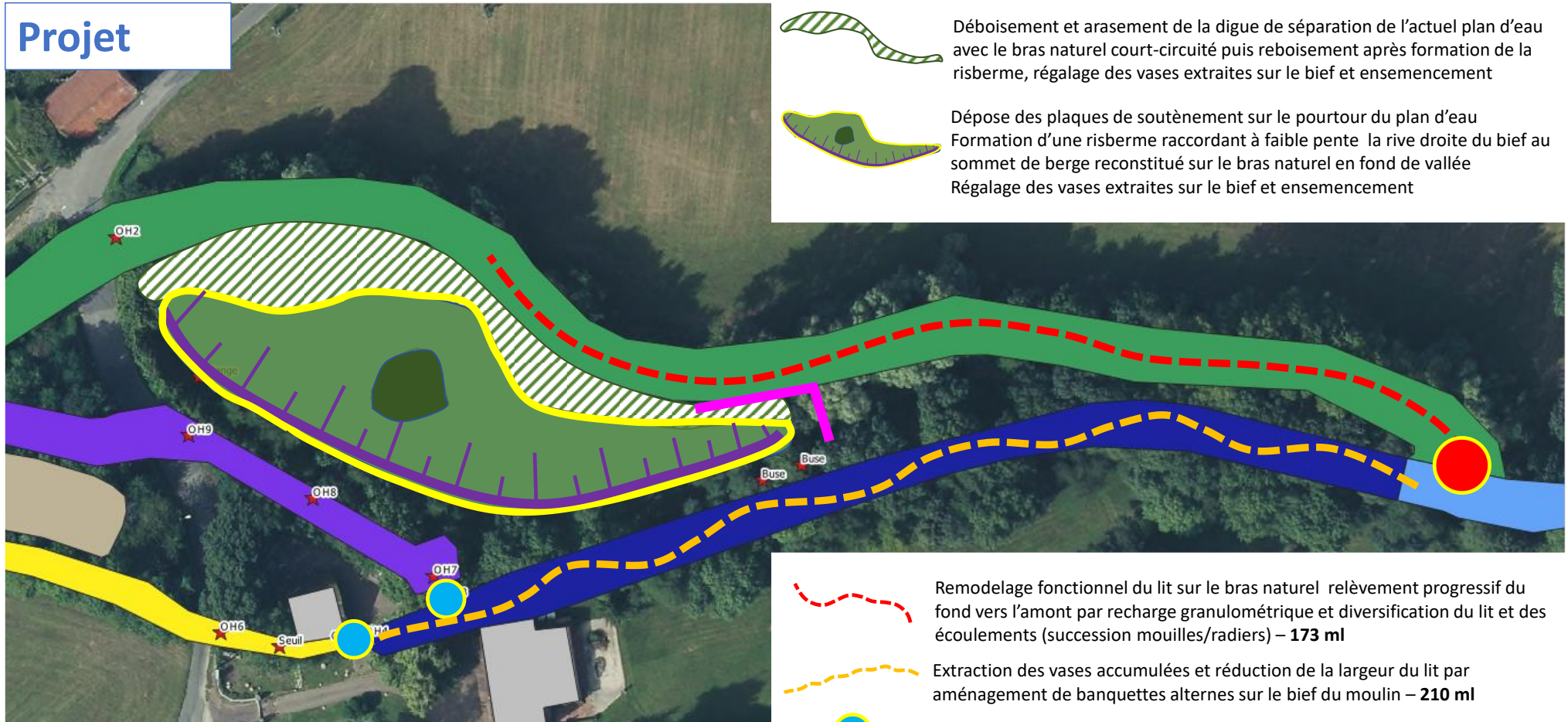
- **De travaux forestiers :**
 - Déboisement et débroussaillage du pourtour du plan d'eau concerné par des plantations de tuyas;
- **De travaux de nettoyage/dépose/démolition :**
 - Enlèvement des éléments encombrants dans l'emprise de l'ouvrage de décharge amont ;
 - Dépose des enrochements dans l'environnement proche de l'ouvrage de décharge amont ;
 - Dépose de la vanne usinière (**OH5**), de la grille métallique amont et des vannes de décharge (**OH3**) ;
 - Démolition de l'ouvrage de décharge amont (**OH1**) ;
 - Démolition du mur de soutènement en rive gauche du bras naturel court-circuité ;
 - Dépose des plaques de soutènement en béton sur l'ensemble du pourtour de l'étang;
 - Evacuation des matériaux de démolition de toutes natures ;
- **De travaux de terrassement :**
 - Arasement de la digue de séparation entre le plan d'eau et le bras naturel court-circuité jusqu'au niveau de berge souhaité sur le tracé restauré du bras naturel court-circuité;
 - Formation d'une risberme raccordant progressivement et à faible pente la rive droite du bief au sommet de berge reconstitué en rive gauche du bras naturel en fond de vallée, soit dans l'emprise du plan d'eau exondé et de la digue de séparation arasée, par terrassement en remblais valorisant les matériaux de déblais produits par l'arasement de la digue de séparation ;
 - Remodelage fonctionnel du bras naturel court-circuité sur **195 ml** en aval de l'actuel ouvrage de décharge amont (**OH1**):
 - Apport de matériaux granulaires pour le raccordement progressif des fonds amont/aval, la reconstitution du matelas alluvial et la diversification des écoulements ;
 - Remodelage fonctionnel du bief jusqu'au moulin Brandard :
 - Extraction des vases accumulées jusqu'au fond dur existant (vieux fonds, vieux bords) et régalaie sur la risberme formée dans l'emprise du plan d'eau exondé et de la digue de séparation arasée ;
 - Apport de matériaux granulaires et de matériaux gravelo-terreux pour la constitution de banquettes alternes dans l'emprise du lit actuel valorisant également les matériaux de déblais produits par l'arasement de la digue de séparation;
- **De travaux de génie végétal :**
 - Végétalisation des banquettes reconstituées sur le bief et de la risberme formée dans l'emprise du plan d'eau exondé et de la digue de séparation arasée (végétation herbacée de type « zone humide »);



- Reconstitution d'une ripisylve en bordure du nouveau lit (essences locales et typiques de bordure de cours d'eau comme l'aulne, le saule, le frêne, le noisetier, le cornouiller...);
- **De travaux divers (mesures d'accompagnement pour les usages) :**
 - Aménagement d'une nouvelle prise d'eau incendie de type puisard connecté à la rivière, déporté en rive et accessible depuis la route du moulin Brandard ;
 - Pose d'une clôture de type « agricole » en léger recul de sommet de berge reconstitué sur le bras naturel court-circuité (soit dans l'emprise de la séparation arasée) ;
 - Occultation définitive des prises d'eau de l'étang.






Les figures pages suivantes reportent les principales interventions prévues sur la zone de projet.



Projet



- 
 Déboisement et arasement de la digue de séparation de l'actuel plan d'eau avec le bras naturel court-circuité puis reboisement après formation de la risberme, régalaage des vases extraites sur le bief et ensemencement
- 
 Dépose des plaques de soutènement sur le pourtour du plan d'eau
 Formation d'une risberme raccordant à faible pente la rive droite du bief au sommet de berge reconstitué sur le bras naturel en fond de vallée
 Régalaage des vases extraites sur le bief et ensemencement

- 
 Remodelage fonctionnel du lit sur le bras naturel relèvement progressif du fond vers l'amont par recharge granulométrique et diversification du lit et des écoulements (succession mouilles/radiers) – **173 ml**
- 
 Extraction des vases accumulées et réduction de la largeur du lit par aménagement de banquettes alternes sur le bief du moulin – **210 ml**
- 
 Dépose des vannes existantes
- 
 Démolition de l'ouvrage de décharge amont
- 
 Mur de soutènement en rive gauche du bras naturel court-circuité à démolir

5.7 LOCALISATION DES TRAVAUX ET ACCES

L'accès aux différentes zones de travaux et leur réalisation nécessitera le cheminement d'engins sur les chemins existants, le pourtour et le fond du plan d'eau, le fond du lit sur le bief du moulin et le bras naturel court-circuité.

Dans le cas présent, l'aménagement de pistes d'accès en remblai n'apparaît pas nécessaire compte tenu de la bonne portance des sols attendue sur la période d'intervention (fin de période estivale réputée sèche), et de leur faible vulnérabilité au passage répété d'engins lourds.

D'une façon générale, une convention d'occupation temporaire des terrains devra être réalisée au préalable par le maître d'ouvrage avec les propriétaires des parcelles concernées par les accès, bases vies et aires temporaires de stockage.

Aucune espèce protégée et exotique envahissante n'a été repérée sur ce site. Toutefois, si des EEE sont observés durant les travaux, nous réaliserons une gestion appropriée au cas par cas.

L'entreprise de travaux aura à sa charge la réalisation d'un état des lieux (constat d'huissier) des portions de terrain utilisées comme accès au site et stockage temporaire des matériaux avant et après travaux et devra soumettre à l'agrément du Maître d'œuvre les mesures qu'elle envisage de prendre pour respecter l'ensemble des contraintes d'environnement précisées dans le CCTP.

L'implantation précise des pistes d'accès et zones d'installation de chantier sera proposée par l'entreprise de travaux et soumise à l'agrément du maître d'ouvrage, des propriétaires des terrains concernés par les travaux et au **VISA** du maître d'œuvre en phase **EXE**.

L'entreprise de travaux aura à sa charge la réalisation d'un état des lieux (constat d'huissier) des portions de terrain utilisées comme accès au site et stockage temporaire des matériaux avant et après travaux et devra soumettre à l'agrément du Maître d'œuvre les mesures qu'elle envisage de prendre pour respecter l'ensemble des contraintes d'environnement précisées dans le CCTP.

Les matériaux résultant de l'effacement d'ouvrage ne seront pas entreposés temporairement sur les berges.

L'entreprise de travaux aura à sa charge les **travaux de finition, à savoir** :

- Evacuation des déchets de toutes natures vers une filière de valorisation/traitement/stockage adaptée ;
- Retrait des installations de chantier et remise en état des terrains empruntés (décompactage, nivellement et engazonnement si nécessaire des terrains empruntés, réempierrement si nécessaire des chemins existants empruntés...).

Les figures pages suivantes reportent :

- Un plan de localisation des accès et cheminements des engins pour la réalisation des travaux ;
- Un plan cadastral sur la zone de projet avec mention des parcelles et propriétaires correspondant concernés par les travaux.

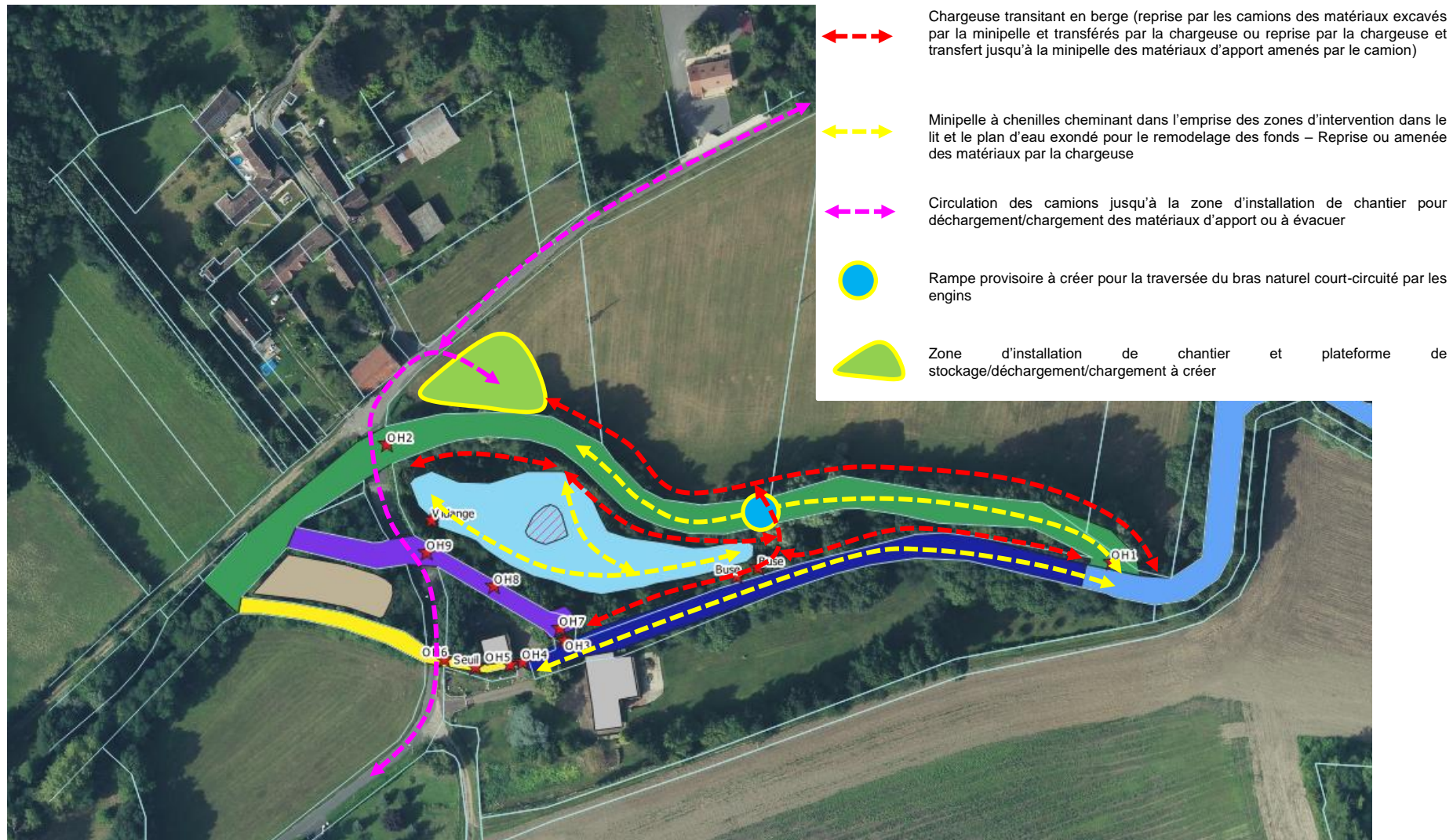


Figure 18. Localisation des accès et cheminements des engins pour la réalisation des travaux

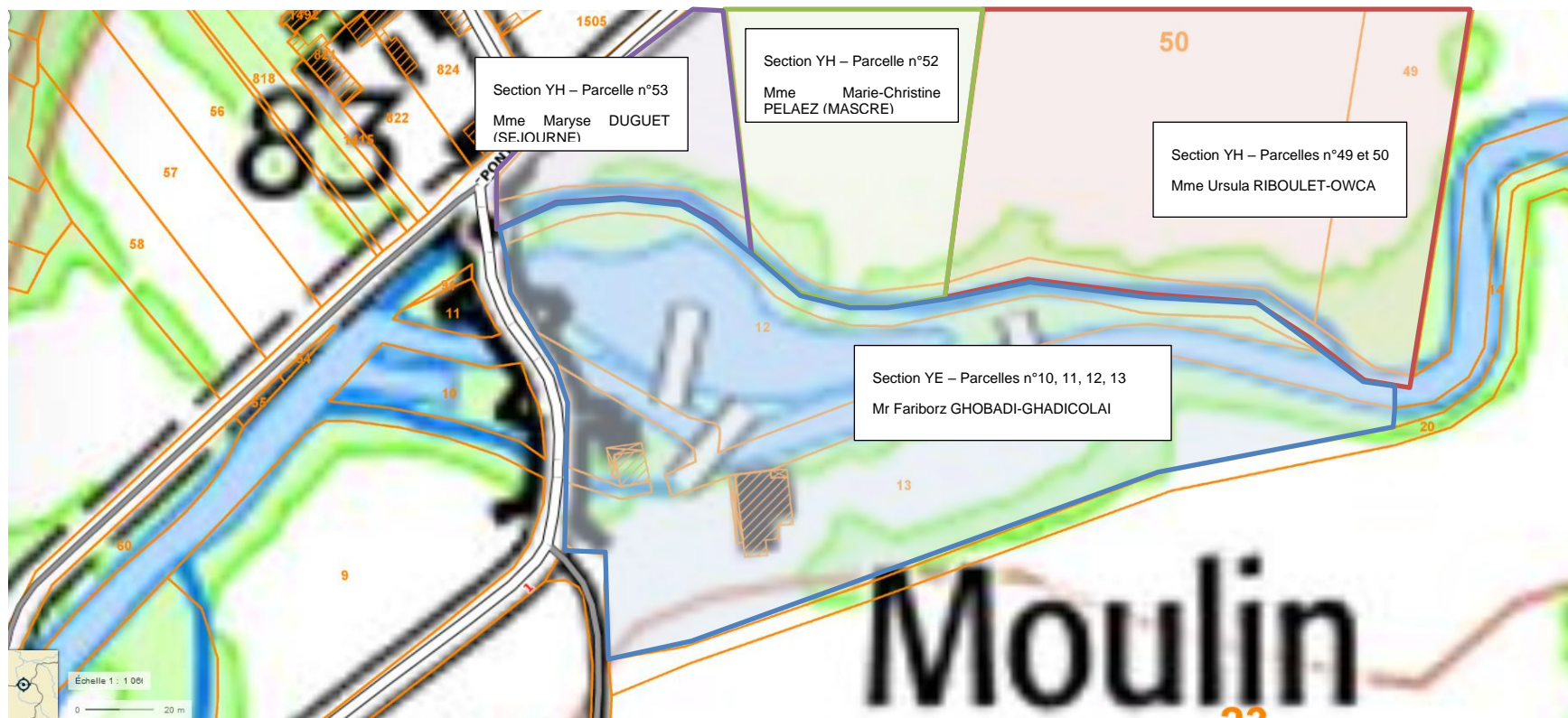


Figure 19. Localisation des parcelles et propriétaires correspondants concernés par le programme de travaux – Source : Géoportail

5.8 ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS PAR CATEGORIE DE TRAVAUX D'OUVRAGES OU D'INSTALLATIONS

Le montant total estimatif des investissements concernés par le projet de restauration de la continuité écologique du Betz au droit du moulin Brandard à Bransles s'élève à **212 000 € HT**.

La décomposition des différents postes est précisée dans le tableau ci-dessous.

Postes de dépense	Projet
Prix généraux	32 000 €
Travaux de restauration	176 000 €
Mesures d'accompagnement pour les usages	4 000 €
TOTAL	212 000 €

Tableau 4. Synthèse des coûts estimatifs pour le projet de restauration

5.9 MODALITES D'ENTRETIEN OU D'EXPLOITATION DES OUVRAGES, INSTALLATIONS OU DU MILIEU ET ESTIMATION DES DEPENSES CORRESPONDANTES

Dans le cas présent, les aménagements prévus pour la restauration de la continuité écologique du Betz au droit du moulin Brandard ne nécessitent pas réellement à terme de surveillance, gestion et entretien autre que celle qui pourrait s'appliquer à n'importe quelle autre section semblable de cours d'eau, contrairement à ce qui pourrait être proposé par exemple pour la mise en œuvre d'un dispositif de franchissement piscicole (passes à bassin réputées exigeantes de ce point de vue pour garantir une fonctionnalité et efficacité satisfaisantes à long terme).

Setec Hydratec préconise toutefois la mise en œuvre d'un entretien régulier et raisonné de la végétation en bordure du bras naturel court-circuité et de la zone humide formée dans l'emprise de la digue arasée et du plan d'eau exondé de façon à éviter la fermeture du milieu, et à favoriser une plus grande diversité des conditions de luminosité, propice à une plus grande biodiversité végétale et animale, qu'elle soit aquatique ou rivulaire.

L'entretien de la ripisylve en bordure du tronçon restauré pourrait dès lors consister à programmer à échéance régulière des opérations d'élagage, avec coupes de branches et recépages sélectifs par taille douce, afin de les préserver au maximum.

Il n'est pas précisé ici si cet entretien serait conduit par l'EPAGE du bassin du Loing, dans le cadre de ses actions d'entretien programmées dans les années à venir, ou laissé à l'entière charge des propriétaires du site.

Il peut apparaître souhaitable en tout cas que l'EPAGE du bassin du Loing s'y investisse les premières années après les travaux du moins, afin qu'il se donne toutes les chances de pouvoir atteindre les objectifs recherchés par les travaux de restauration.

5.10 PARTICIPATION DES PERSONNES AYANT RENDU LES TRAVAUX NECESSAIRES OU Y TROUVANT UN INTERET

5.10.1 Liste des personnes publiques ou privées, physiques ou morales, appelées à participer aux dépenses

Les dépenses d'investissement relatives aux travaux de restauration de la continuité écologique du Betz au droit du moulin Brandard à Bransles, ainsi que les dépenses liées au suivi hydromorphologique du site restauré pourraient être financées à hauteur de **80%** voire **90%** par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie dans le cadre de son **11^{ième} programme (2019-2024)**.

Les possibilités de financement doivent être dans tous les cas validées par l'Agence de l'Eau Seine Normandie au regard de la consistance du scénario d'intervention retenu et des gains écologiques attendus.

D'autres sources de financement pourraient également être sollicitées en complément des aides de l'Agence de l'Eau Seine Normandie ou substitution d'une partie d'entre elles, dans la limite d'un plafond d'aides publiques de 95% toutefois, et pourront être précisées ultérieurement par les collectivités et organismes concernés. De plus, dans le cadre des projets de zones d'expansion de crues (suppression de l'étang et création d'une zone humide dans notre cas) de l'Etablissement Public Territorial de Bassin Seine Grands Lacs, ce dernier pourrait participer au financement d'une partie du reste à charge de l'EPAGE du Bassin du Loing.

Aucun propriétaire riverain privé ne sera appelé à participer aux dépenses d'investissement, d'entretien ou d'exploitation des ouvrages ou des installations, et l'EPAGE du bassin du Loing assumera seul le reste à charge des dépenses non prises en charge par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, avec éventuellement une participation financière de l'EPTB SGL.

Les propriétaires des parcelles privées riveraines du Betz sur la zone de projet continueront à assurer l'entretien des berges et du lit conformément à la loi LEMA n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 (Titre Ier, Chapitre Ier, article 8, 3°) et au Code de l'environnement (Partie Législative, Livre II « Milieux Physiques », Art. L. 215-14.)

5.10.2 Collecte des participations demandées

La collecte des participations demandées sera effectuée par l'EPAGE du bassin du Loing lui-même.

5.11 CALENDRIER PREVISIONNEL

5.11.1 Réalisation des travaux

La période la plus propice pour la conduite des travaux de terrassement en rivière se situe plutôt en **période estivale** car elle permet :

- D'éviter les périodes de fraie des poissons (frai de la truite fario en fin d'automne, début d'hiver) ;
- De limiter fortement le départ des fines vers l'aval, préjudiciable pour le milieu aquatique ;
- De faciliter les opérations de mise à sec et l'intervention des engins dans le cours d'eau ou à proximité.

La saison hivernale est à éviter au regard des risques de crues, des conditions d'humidité pouvant contraindre les opérations de terrassement, et des risques de colmatage des frayères par les dépôts de matières en suspension remobilisées par les travaux.

L'ensemencement et les plantations de végétaux impliquent quant à eux de respecter des périodes de mise en œuvre étroites pour permettre le bon développement des couverts herbacés et la reprise des plants.

L'ensemencement doit ainsi se faire hors période de gel et de déficit hydrique potentiel pour permettre aux graines de lever avec une bonne réussite : une première période printanière de **mi-mars à fin avril** est propice, la seconde s'étend du **début septembre à la mi-octobre**.

Ainsi, il apparaît judicieux de limiter la réalisation des travaux de terrassement, à une durée de 3 mois maximum, idéalement sur les mois d'août, septembre et octobre, postérieurement aux travaux préparatoires (≈ 1 mois dont travaux forestiers et certains travaux de dépose/démolition) et préalablement à :

- **La végétalisation des risbermes, de la digue arasée et de la nouvelle digue de séparation du plan d'eau sur le mois d'octobre ;**
- **La plantation des arbres sur les mois de novembre ou décembre.**

Le tableau ci-après propose un calendrier général pour la conduite des travaux.

Ce dernier pourra être précisé par semaine par les entreprises de travaux au moment de la remise de leur offre (phase **ACT**), et dans tous les cas par l'entreprise retenue par le maître d'ouvrage en phase **EXE/VISA**.

Les durées de terrassement ont été estimées en première approche à **7 semaines** en tenant compte d'une cadence de terrassement relativement faible de l'ordre de **100 m³/j** pour les déblais et remblais.

Proposition de calendrier général pour les travaux

Mois	Juillet					Aout				Septembre					Octobre				Novembre			
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Semaines																						
Travaux préparatoires, forestiers, de dépose et de démolition																						
Installation de chantier (installation base vie, acheminement d'engins et approvisionnements, balisage, mise en place de panneaux d'information etc)																						
Constat d'huissier																						
Travaux forestiers: abattage/Dessouchage des sujets ligneux (résineux essentiellement) implantés sur la digue de séparation de l'actuel plan d'eau avec le bras naturel court-circuité, débroussaillage des zones d'intervention terrestres																						
Dépose d'une partie de la clôture en rive gauche du bras naturel court-circuité au niveau de la digue de séparation du plan d'eau																						
Occultation définitive des buses d'alimentation actuelles de l'étang																						
Mise en place d'un dispositif anti-MES sur le canal de fuite et sur le bras de décharge en aval du point de restitution de l'étang et avant confluence avec le bras naturel court-circuité																						
Dépose de la vanne usinière et des vannes de décharge du moulin																						
Réalisation d'une pêche de sauvegarde piscicole sur l'étang vidangé (pêche complète au filet)																						
Phase d'attente pour le ressuyage et le tassement des matériaux meubles et gorgés d'eau																						
Mise hors d'eau du bras naturel court-circuité																						
Réalisation d'une pêche de sauvegarde piscicole sur le bras naturel court-circuité mis hors d'eau																						
Enlèvement des encombrants et dépose des enrochements en berge et sur le fond au droit de l'ouvrage de décharge amont																						
Démolition du mur de soutènement en rive gauche du bras naturel court-circuité																						
Dépose des plaques de soutènement en béton sur le pourtour de l'étang à déconnecter et évacuation																						
Dépose de l'actuelle prise d'eau incendie																						
Démolition de l'ouvrage de décharge amont (OH1) et mise hors d'eau du bief																						
Réalisation d'une pêche de sauvegarde piscicole sur le bief																						
Implantation/piquetage des aménagements																						
Travaux de terrassement																						
Extraction des vases sur le bief																						
Travaux de terrassement en déblais/remblais																						
Reconstitution du matelas alluvial - Mise en œuvre de matériaux granulaires d'apport de calibre 10-100 mm																						
Travaux divers																						
Aménagement d'un puisard connecté à la rivière et déporté en rive accessible depuis la route du moulin Brandard																						
Pose d'une clôture de type « agricole » en léger recul de sommet de berge reconstitué sur le bras naturel court-circuité																						
Travaux de génie végétal																						
Ensemencement des risbermes																						
Plantations d'arbres et arbustes																						
Equipements divers (pare-embacles, échelles limnimétriques)																						
Repli de chantier																						
Repli des installations de chantier																						
Remise en état du site (décompactage des sols dans l'emprise des aires de circulation des engins après repli des pistes, nettoyage des chemins d'accès et réparations diverses si nécessaire etc)																						

Tableau 5. Calendrier proposé pour la réalisation des travaux

5.11.2 Suivi hydromorphologique des travaux

L'EPAGE du bassin du Loing privilégie un protocole de suivi simplifié, bien que ce dernier ne puisse prétendre restituer une analyse aussi complète et objective que celle qui serait obtenue à l'issue d'un protocole de suivi scientifique minimal (SSM).

Ce dernier doit permettre :

- De mesurer les gains écologiques de l'opération ;
- De statuer sur la suffisance des opérations à l'issue d'une période d'observation, en vue de définir d'éventuels besoins d'aménagements complémentaires ou correctifs nécessaires pour atteindre les objectifs initialement fixés.

Le protocole proposé consiste à suivre les compartiments suivants:

- **Compartiment Biologie:**
 - Protocoles de prélèvement :
 - **Poissons** : réalisation de **pêches électriques** complètes à deux passages avec calcul et interprétation de l'**IPR** ;
 - **Invertébrés** : protocole de **prélèvements de macroinvertébrés** avec calcul et interprétation de l'**IBGN et I2M2** ;
 - Fréquences de suivi:
 - **Poissons et invertébrés: année n-1, années n+3 et n+5 ;**
 - Localisation :
 - Bras naturel court-circuité faisant l'objet d'un remodelage fonctionnel.
- **Compartiment Hydromorphologie :**
 - Protocole de prélèvement : **IAM**
 - Fréquences de suivi: **année n-1, années n+3 et n+5**
 - Localisation:
 - Bras naturel court-circuité faisant l'objet d'un remodelage fonctionnel.

Un suivi étendu pourra être réalisé par analyse comparative des données de suivi acquises simultanément à la station de suivi de Bransles (**station n°03053750**) existante en amont proche du secteur à restaurer (analyse comparative possible uniquement pour le compartiment Biologie toutefois).

5.12 SERVITUDES DE PASSAGES

En application de l'article L.215-19 du code de l'Environnement, le maître d'ouvrage disposera d'une servitude de passage pendant la durée des travaux².

Les accès envisagés à ce stade du projet concernent en partie des parcelles communales et en partie des parcelles privées, cf. paragraphe 5.7.

² dans la limite d'une largeur de six mètres et à l'exception des terrains bâtis ou clos de murs à la date du 3 février 1995 ainsi que les cours et jardins attenants aux habitations.