ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE

2, quai du Fort Alleaume – CS55708 – 45057 ORLEANS Cedex

Financeurs :

ETUDE DE DEFINITION DES PROJETS DE RESTAURATION DE LA CONTINUITE ECOLOGIQUE AU DROIT DU SEUIL DE LA VIDANGE AU MOULIN GABET SUR LA SARTHE

Rapport de Phase 2 :
Conception au niveau Projet du scénario
« rivière de contournement »

AUTEUR DU PROJET :

Agence OUEST
Espace Performance Bât B3

CE 601

Janvier 2018

Indice C

SOMMAIRE

1. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DE L'ETUDE 3

1.1. CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION ET DE LA PRESENTE ETUDE 3

1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE ET DE LA PHASE DE CONCEPTION PRO 4

1.3. MOYENS D'INVESTIGATION MIS EN OEUVRE 4

1.4. SYNTHESE DES DONNEES NECESSAIRES A LA CONCEPTION 4

1.4.1. Hydrologie de la Sarthe 4

1.4.2. Répartition actuelle et future des débits au niveau de l'ensemble hydraulique 5

1.4.3. Débits et niveaux d'eau de projet au niveau du bras de la Vidange 5

1.4.4. Espèces piscicoles ciblées 7

1.4.5. Classement Natura 2000 au niveau du lit majeur 7

1.6. PROPRIETES FONCIERES 9

1.7. PRISE EN COMPTE DE L'ACTIVITE DE CANOË-KAYAK 10

2. CONCEPTION AU STADE PRO DE LA « RIVIERE DE CONTOURNEMENT » 12

2.1. PRINCIPES GENERAUX D'AMENAGEMENT ET DE FONCTIONNEMENT 12

2.2. PLAGE DE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE 12

2.3. NIVEAUX D'EAU AMONT ET AVAL CORRESPONDANT A LA PLAGE DE FONCTIONNEMENT 13

2.4. DEBIT D'ALIMENTATION SUR LA PLAGE DE FONCTIONNEMENT 13

2.5. MODELISATION HYDRAULIQUE DU PROJET 14

2.5.1. Rappel des objectifs de la modélisation 14

2.5.2. Type de modèle utilisé 14

2.5.3. Résultats du modèle à l'étiage : lignes d'eau, vitesses 15

2.5.4. Résultat du modèle en cas d'élévation du niveau d'eau amont 18

2.5.5. Compatibilité avec les espèces piscicoles visées 19

2.5.6. Compatibilité avec les techniques d'aménagement projetées 20

2.6. DIMENSIONNEMENT DE LA RIVIERE DE CONTOURNEMENT 21

2.6.1. Morphométrie générale 21

2.6.2. Aménagement du fond du lit 22
2.6.3. Aménagement des berges 24
2.6.4. Ouvrage d'admission amont 25
2.6.5. Ouvrage de restitution aval 26
2.6.6. Autres aménagements et équipements connexes 27

3. MISE EN ŒUVRE DU PROJET 28

3.1. MODALITES D'ACCES 28

3.2. MODALITES DE TRAVAUX 28

3.3. GESTION DES MATERIAUX ISSUS DES TERRASSEMENTS 30

4. ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET 31

4.1. COUT D'INVESTISSEMENT 31

4.2. COUT D'EXPLOITATION 32

ANNEXE 1 : PLAN A0 DES AMENAGEMENTS

1. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DE L'ETUDE

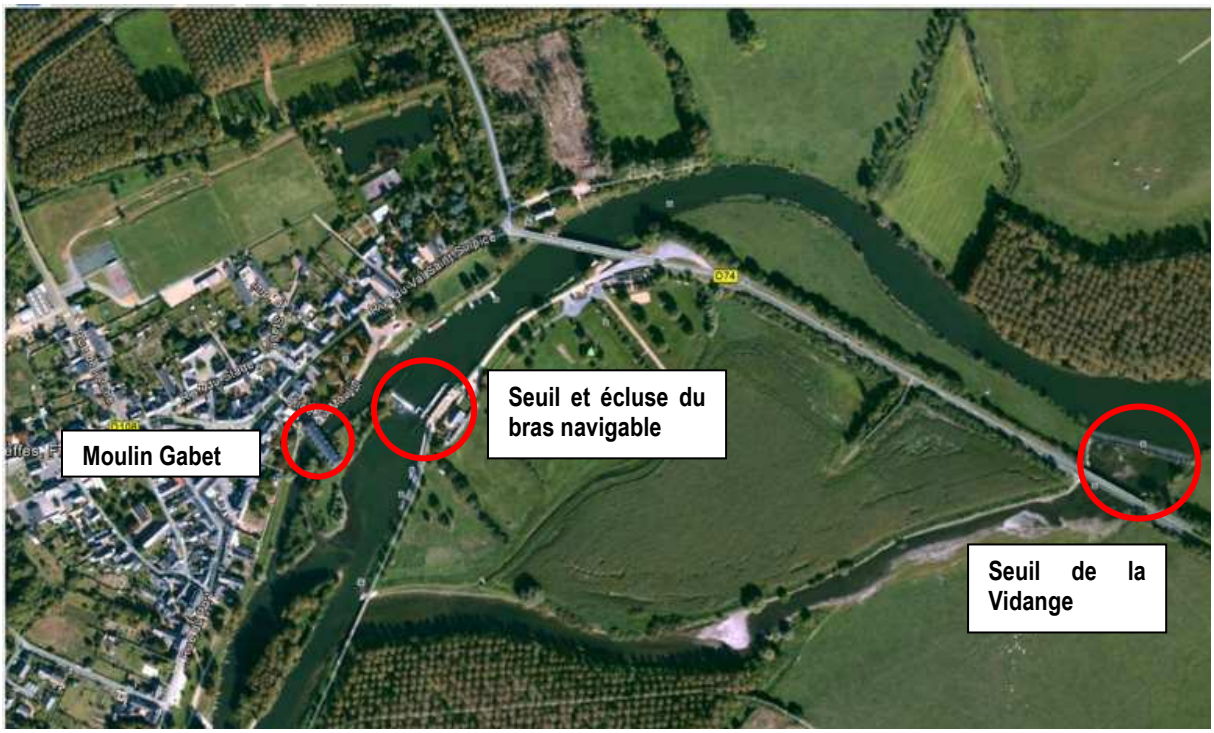
1.1. Contexte général de l'opération et de la présente étude

La communauté de Communes Sarthe et Loir est propriétaire du moulin Gabet sur la commune de Cheffes, en rive droite de la Sarthe. Ce moulin, anciennement dédié à la production de farine de blé, a produit de l'hydroélectricité sur la base d'une seule turbine hydroélectrique jusqu'à l'année 2011. Depuis 2012, la production d'électricité est stoppée. Les installations de production hydroélectriques sont fonctionnelles mais présentent un état de vétusté.

La société HYDROWATT, qui a été retenue suite à la consultation « Délégation de service public pour l'exploitation de l'usine hydroélectrique du Moulin GABET, commune de Cheffes » lancée par la collectivité, souhaite réexploiter le site.

Pour respecter les normes environnementales, le projet prévoyait d'installer des dispositifs de franchissement piscicole de type passes à poissons en génie civil au droit du moulin, ainsi qu'au droit du seuil du bras de la Vidange, qui appartient au Conseil Départemental de Maine-et-Loire. Pour ce dernier site, objet de la présente étude, la collectivité souhaite aujourd'hui savoir si la réalisation d'une rivière de contournement est faisable et peut présenter une alternative à la solution initialement étudiée, à savoir une double rampe à macrorugosités dont l'implantation est projetée au niveau de la rive gauche du seuil de la Vidange. Elle a donc demandé au Département du Maine-et-Loire, propriétaire du seuil (appelé déversoir dans la suite de l'étude), de mettre en place une étude de faisabilité.

Dans ce contexte, le Département a sollicité l'Etablissement public Loire pour porter la maitrise d'ouvrage de cette étude.



1.2. Objectif de l'étude et de la phase de conception PRO

L'objectif de l'étude est d'étudier de manière précise la faisabilité d'une solution de type « rivière de contournement » en vue du rétablissement de la libre circulation piscicole au niveau du déversoir du bras de la Vidange.

L'étude est constituée de 2 phases. La phase 1 vise à étudier la faisabilité d'une rivière de contournement et à comparer cette solution avec le scénario « passe à poissons ». La phase 2, objet du présent rapport, constitue le développement au stade projet du scénario qui a été retenu à la fin de la phase 1 par le COPIL, à savoir la rivière de contournement.

1.3. Moyens d'investigation mis en oeuvre

Pour la réalisation de cette étude, SINBIO a mis en œuvre les moyens particuliers suivants :

- L'analyse et la synthèse de la bibliographie existante : en particulier les études techniques et le dossier de demande d'autorisation au titre du code de l'environnement déposé par HYDROWATT en 2014, qui comprend les études réalisées par ALTECH et FISH-PASS

La réalisation d'une campagne de levés topographiques complémentaires, effectuée le 21 mars 2016, et qui a consisté à réaliser un semis de points du lit majeur, ainsi que des levés bathymétriques du fond du lit de la Sarthe et du bras de la Vidange au niveau des secteurs d'implantation pressentis pour les ouvrages d'admission et de restitution de la rivière de contournement. D'autre part, des mesures des lignes d'eau amont et aval ont été réalisées pour différents débits de la Sarthe, à chaque visite du site.
La reprise et l'affinage de la modélisation hydraulique de la rivière de contournement, à l'aide du logiciel HEC-RAS de simulation numérique des écoulements.

1.4. Synthèse des données nécessaires à la Conception

Ce chapitre synthétise les éléments déjà développés dans le cadre de la phase 1 de l'étude (Cf rapport de Phase 1 – Etude de scénarii).

1.4.1. Hydrologie de la Sarthe

L'hydrologie de la Sarthe est issue des études ALTECH-FISH PASS, complétée par SINBIO. Les débits caractéristiques du cours d'eau ont été calculés au droit du site à partir des données de la station hydrométrique la plus proche, à savoir celle de St-Denis d'Anjou (code M0680610).

Les valeurs des débits caractéristiques d'étiages, d'eaux moyennes et de crues sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Débits caractéristiques de la Sarthe pour le site d'étude

	Etiage	Etiage	Module	Double du	Crue 2 ans	Crue 10 ans

	QMNA 1/5	QMNA 1/2	interannuel	Module		
La Sarthe à Cheffes	8,8 m3/s	12,9 m3/s	49,6 m3/s	99,2 m3/s	326 m3/s	536 m3/s

Source : études ALTECH - FISH-PASS ,2014 + SINBIO pour QMNA ½, Crue 2 ans et Crue 10 ans, tous d'après la BANQUE HYDRO.

1.4.2. Répartition actuelle et future des débits au niveau de l'ensemble hydraulique

La répartition des débits au niveau de l'ensemble hydraulique constitué par le seuil de la Vidange, le tronçon navigable et le bras du moulin ont été étudiés finement dans l'étude d'impact (ALTECH – FISH-PASS 2014), aussi bien pour l'état actuel que pour l'état futur avec usage hydroélectrique.

On rappelle que le débit maximal utilisé au niveau des équipements hydroélectriques projetés est de 32 m^3/s.

Le tableau suivant récapitule la répartition des débits (exprimés en m^3/s) entre les trois bras en fonction des mois de l'année, pour l'état projeté correspondant à l'exploitation de la centrale hydroélectrique au niveau du moulin Gabet. La simulation faite par FISH PASS ne tient pas compte de la légère surverse sur le seuil à cette cote. Ainsi en réalité le débit dans le bras sera supérieur au débit réservé.

Tableau 2 : Débits moyens mensuels et répartition de ces débits au niveau des différents bras du site d'étude.

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Q total	101,9	99,0	83,6	59,6	41,1	26,7	19,4	14,7	16,2	24,5	40,5	70,9
Q bras Vidange	**65,4**	**65,2**	**47,1**	**25,0**	**25,0**	**25,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**34,6**
Q tronçon navig.	28,0	25,3	28,1	26,7	16,0	1,6	14,3	9,6	11,1	19,4	28,3	28,0
Q moulin	8,5	8,5	8,4	7,9	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	7,2	8,3

Source : ALTECH / FISH PASS – Dossier de demande d'autorisation – Pièce n°4B – Juillet 2014.- *Données les plus récentes mises à disposition.*

Globalement, le bras de la Vidange, objet de la présente étude, connaîtra lors de la phase d'exploitation de la centrale hydroélectrique une baisse du débit transitant dans son lit.

Il y aura au final 5 mois de l'année (juillet à novembre) où le débit correspondra au débit réservé réglementaire de 5 m^3/s. En dehors de ces mois, c'est-à-dire de février à juin, le débit respecté, égal à 25 m^3/s, sera supérieur au débit réservé légal *(d'après Etude d'impact – ALTECH / FISH PASS, 2014).*

1.4.3. Débits et niveaux d'eau de projet au niveau du bras de la Vidange

Les débits minimaux de projet au niveau du bras de la Vidange sont les suivants :

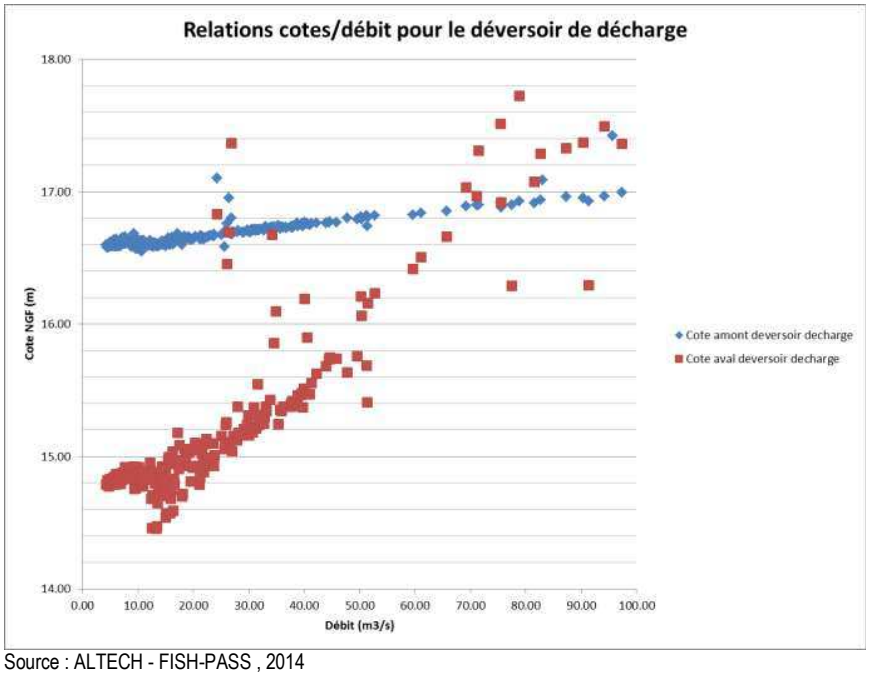
- 5 m^3/s à garantir en permanence et en toute situation hydrologique, toute l'année (débit réservé)
- 25 m^3/s (débit minimum biologique) à garantir en permanence sur la période allant de février à juin,, quand la situation hydrologique le permet. Cette valeur, demandé par l'AFB, représente le débit biologique qui garantit un niveau satisfaisant pour les habitats aquatiques du bras, lors

des principales périodes de circulation ou de reproduction des espèces cibles et tout particulièrement les grands migrateurs amphihalins.

Les niveaux d'eau de projet, pour la Sarthe à l'amont et pour le bras de la Vidange à l'aval, sont les suivants :

- Niveau normal d'exploitation de la Sarthe au niveau du seuil de la Vidange (amont du dispositif) : 16.60 NGF ; dans l'état projet, ce niveau sera maintenu constant à l'étiage jusqu'en eaux moyennes pour des débits avoisinant 2 x le module, c'est-à-dire sur la majorité de la plage de fonctionnement hydrologique. A noter que le niveau amont peut, en période d'exploitation, s'élever de 10 cm jusqu'à la cote 16.70 NGF.
- Niveau d'eau sur le bras de la Vidange en aval immédiat du seuil (aval du dispositif) : autour de 14.80 NGF à l'étiage. Contrairement au niveau amont, ce niveau aval varie plus sensiblement lorsque le débit augmente ; ainsi, les cotes atteintes peuvent s'échelonner de 15,40 à 16,40 NGF pour des débits allant jusqu'à 2 fois le module. Les variations de cotes pour un débit donné peuvent être dues à la multiplicité des configurations, selon l'ouverture des organes mobiles au niveau du bras principal de la Sarthe et du moulin Gabet.

Figure 3 : Relations entre cote du plan d'eau amont, cote du niveau d'eau aval et débit dans la Sarthe sur le site du bras de la Vidange.



Source : ALTECH - FISH-PASS , 2014

Dans la situation actuelle, les niveaux d'eau en amont et en aval du seuil de la Vidange ont été mesurés (soit par l'EP Loire, soit par SINBIO) pour différentes situations hydrologiques de la Sarthe. Le résultat de ces mesures est synthétisé dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Niveaux d'eau de la Sarthe mesurés pour différentes situations hydrologiques.

Jour et heure des mesures	Niveau d'eau amont	Niveau d'eau aval	Dénivelée calculée	Débit de la Sarthe à la station de St-Denis d'Anjou	Remarque
18 nov. 2015 *Heure non précisée*	16.70 NGF	14.99 NGF	1.71 m	19 m3/s	Débit de basses eaux supérieur au QMNA 1/2
09 fev. 2016 12h	16.99 NGF	16.61 NGF	0.38 m	112.9 m3/s	Débit de hautes eaux supérieur à 2 fois le module
21 mars 2016 11h30	16.81 NGF	15.19 NGF	1.62 m	51.4 m3/s	Débit d'eaux moyennes proche du module

1.4.4. Espèces piscicoles ciblées

La Sarthe est une rivière cyprinicole dont l'espèce repère est le brochet.

Sur le secteur d'étude, la rivière est classée en listes 1 et 2 au titre de l'article L214-17 du Code de l'Environnement. Les espèces cibles pour le rétablissement de la continuité écologique, sont les suivantes :

- Espèces amphialines : l'anguille, la grande alose, la lamproie marine ;
- Espèces holobiotiques : le brochet, la vandoise, le barbeau fluviatile, le hotu, le spirlin, la lote de rivière et la truite fario.

En plus de ces espèces, à la demande du COPIL, il a également été décidé de prendre en compte le mulet à grosses lèvres, autre espèce amphihaline présente sur le cours de la Sarthe.

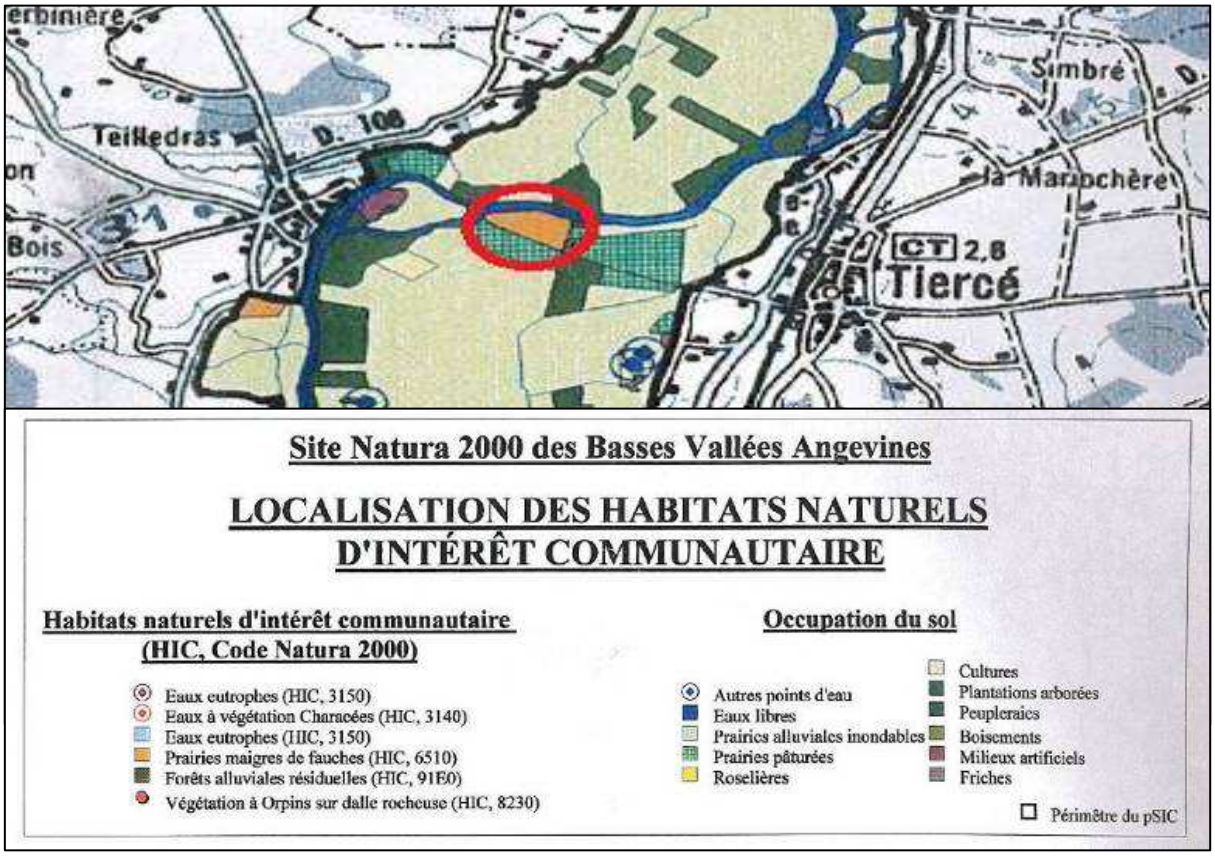
A noter que le bras de la Vidange constitue déjà dans la situation actuelle un secteur de frai avéré pour la grande alose ainsi que pour la lamproie marine (éléments confirmés par le suivi mis en place par la Fédération de pêche).

1.4.5. Classement Natura 2000 au niveau du lit majeur

Sur le site de projet, c'est-à-dire en rive gauche de la Sarthe et du bras de la Vidange, en amont de la RD 74, les parcelles du lit majeur de la Sarthe sont exclusivement occupées par des herbages qui sont actuellement affectés aux pâtures de bovins et équidés.

Les terrains concernés font partie du site Natura 2000 des « *Basses Vallées Angevines et prairies de la Baumette »*, où ils sont recensés comme prairies maigres de fauche (habitat naturel d'intérêt communautaire, code Natura 2000 : 6510).

Figure 5 : Extrait de la cartographie du site Natura 2000 des basses vallées angevines au niveau su site d'étude.

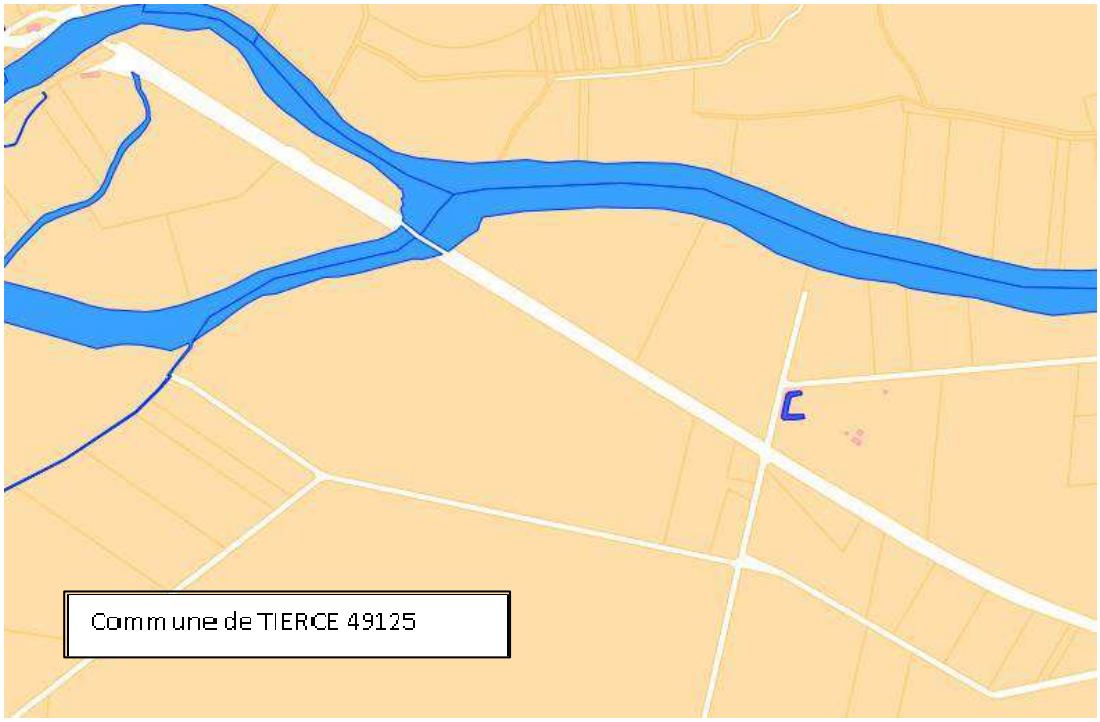


Vues du lit majeur en rive gauche de la Sarthe au niveau du secteur de projet..

1.6. Propriétés foncières

L'ensemble de la rive gauche de la Sarthe et du bras de la Vidange en amont de la RD 74 se situe sur le ban de la commune de Tiercé.

Figure 6a : Extrait cadastral de la zone de projet.



La propriété des 2 parcelles concernées appartient aux successeurs de M. FERYN Jean Yves – La Valérie – 49125 TIERCE. La succession est en cours à la date de réalisation du présent rapport.

Figure 6b : identification des parcelles cadastrales concernées.

1.7. Prise en compte de l'activité de canoë-kayak

La prise en compte de l'utilisation du futur dispositif de franchissement par les canoë-kayak, dont l'activité est importante sur le secteur, constitue une demande spécifique. Afin que la rivière de contournement soit compatible avec cette activité, son dimensionnement est effectué en tenant compte des différents critères synthétisés dans le guide *Les dispositifs de franchissement d'ouvrages - Fédération Française de Canoë-Kayak, juillet 2011*.

Les principaux avantages et inconvénients à connaître afin de rendre compatible une rivière avec l'utilisation par les canoës-kayaks sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tableau 7 : Compatibilité des différents types de dispositifs de rétablissement de la continuité écologique avec la pratique du canoë-kayak.

	La passe à bassins successifs La rivière de contournement Le pré-barrage
Débit interne	- Selon la section hydraulique (en général se compte en m3/seconde).
Avantages	- Fonctionnement possible avec un débit important. - Remontée de certaines espèces de poissons possible. - Favorise la pratique du Canoë-Kayak sans aller obligatoirement jusqu'au stade d'eau vive (veines d'eau, vagues à surf...).
Inconvénients	- Risque de phénomène de rappel/danger. - Technicité de la conception pour la rendre adaptée à la pratique du canoë kayak - Emprise foncière nécessaire pour les rivières de contournement, plus large et plus longue. - Nettoyage à prévoir après chaque crue

Source : Les dispositifs de franchissement d'ouvrages – Fédération Française de Canoë-Kayak, juillet 2011.

Les critères de compatibilité avec l'activité canoë-kayak des seuils au niveau d'une rivière de contournement sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Cahier des charges fonctionnel pour la conception de seuils compatibles avec la pratique du canoë-kayak pour un projet de rivière de contournement.

Cahier des charges fonctionnel				
Critères	*Spécifications*	*Caractéristiques techniques*		
Seuils (dans le cas d'un bras de franchissement)	Ne pas présenter de rappel. Guider les embarcations. Permettre le passage des bateaux.	Distance entre 2 seuils	Selon l'orientation des échancrures : Alignées : 6 mètres entre chaque bassin (mini 1,50 x la longueur du bateau) Décalés : de 12 à 20 mètres en fonction des vitesses d'écoulement interne à la période cible d'utilisation.	
		Hauteur	30 cm au débit moyen d'utilisation.	
		Echancrure	Forme	En forme de V ou en trapèze.
			Position	De préférence au centre du seuil.
			Profondeur	Minimum 12 cm de tirant d'eau.
			Largeur	Minimum 1,40 mètre.
		1er seuil amont	Hauteur	Le haut du seuil doit être 12 cm au dessous de la cote de la surface de l'eau du débit minimal.

Source : Les dispositifs de franchissement d'ouvrages - Fédération Française de Canoë-Kayak, juillet 2011.

Concrètement, la prise en compte de l'activité de canoë-kayak dans la détermination du dimensionnement de la rivière de contournement, inclut plusieurs points :

- Le respect de lames d'eau suffisamment importantes, afin de garantir de bonnes conditions de navigation ;
- L'aménagement de seuils intermédiaires en léger V, ainsi que de blocs dans le lit, de manière à créer ponctuellement 2 bras d'écoulement, le tout afin d'élargir le spectre des écoulements et des vitesses ;

2. CONCEPTION AU STADE PRO DE LA « RIVIERE DE CONTOURNEMENT »

2.1. Principes généraux d'aménagement et de fonctionnement

Le scénario de rivière de contournement consiste à créer, en rive gauche de la Sarthe à l'amont du déversoir du bras de la Vidange, un bras comportant des caractéristiques morphologiques proches d'un bras naturel de la rivière, qui soit :

- Franchissable par conception pour l'ensemble des espèces-cibles, en particulier lors des périodes de migration spécifiques de celles-ci. Le bras va recevoir la totalité du débit réservé devant transiter par le bras de la Vidange, à savoir 5 m^3/s (valeur déterminée dans le cadre du projet hydroélectrique et validée par l'AFB), et sera franchissable toute l'année, en toute situation hydrologique. Le critère de franchissabilité doit être traduit en particulier par des tirants d'eau et des vitesses compatibles avec les espèces les plus limitantes, à savoir la grande alose, le brochet et l'anguille.
- Compatible avec le franchissement des canoës-kayaks.
- Aménagé au niveau de son lit et de ses berges, de manière à s'intégrer au paysage et être le siège d'habitats naturels propices à la faune aquatique, semi-aquatique et terrestre.

Le bras à créer sera constitué des éléments fonctionnels suivants :

- un ouvrage d'admission en amont, au niveau de la berge rive gauche de la Sarthe ;
- un gabarit de forme trapézoïdale, avec des pentes très douces permettant de minimiser les contraintes hydrauliques sur les berges, d'accéder facilement au lit et de reconstituer un cordon de végétation rivulaire qui soit diversifié et fonctionnel ;
- une série de 4 seuils semi-noyés, répartis sur l'ensemble du linéaire du bras, permettant de rattraper une partie du dénivelé (l'autre partie étant rattrapée par la pente du lit) et de stabiliser l'ensemble par rapport aux éventuels phénomènes érosifs ;
- un ouvrage de restitution en aval, constituant le cinquième seuil semi-noyé, situé en pied du seuil de vidange afin de garantir une bonne attractivité. Cet ouvrage sera prolongé par une fosse de dissipation et d'appel dans le lit du bras de la Vidange, destiné à garantir les meilleures conditions d'appel pour les poissons ; il tiendra également compte de la sécurité pour les kayakistes vis-à-vis de la réception en pied du seuil actuel, en cassant l'effet de rappel par kla mise en place d'enrochements spécifiques à cet effet.
- des éléments connexes : dispositif pare-embâcles pour la protection de l'ouvrage d'admission amont, passerelle pour l'accès au secteur pâturé situé entre le bras et le déversoir

2.2. Plage de fonctionnement hydrologique

Le dispositif doit impérativement être fonctionnel sur une plage de débit de la Sarthe allant de l'étiage modéré (QMNA 1/2) à deux fois la valeur du module, c'est-à-dire pour une plage de débit comprise entre 12,9 et 99,2 m^3/s. Dans la réalité, la garantie de sa fonctionnalité est obtenue sur une plage plus importante, notamment en basses eaux, dès les étiages sévères (8,8 m^3/s correspondant au QMNA 1/5), puisque le débit réservé de 5 m^3/s continue d'y transiter intégralement, ainsi qu'en hautes eaux.

Ces valeurs correspondent à une cote du niveau de retenue amont variant de 16.60 NGF à un peu moins de 17.00 NGF d'après les modélisations effectuées ; lorsque le niveau amont augmente au-delà de cette cote, la rivière s'ennoie progressivement par l'aval, mais reste d'ailleurs hydrauliquement fonctionnelle. Le débit y transitant reste limité par le gabarit de l'ouvrage d'admission et par la condition d'ennoiement par l'aval. On rappelle que les débordements au niveau du lit majeur ont lieu pour des débits de la Sarthe de l'ordre de 150 m^3/s sur le secteur.

2.3. Niveaux d'eau amont et aval correspondant à la plage de fonctionnement

Les niveaux d'eau de projet amont et aval dans la rivière de contournement sont présentés ci-après.

- à l'amont du dispositif le niveau normal d'exploitation de la Sarthe au niveau du seuil de la Vidange est de 16.60 NGF, avec une variation habituelle possible entre les cotes 16,60 et 16,70 NGF en exploitation normale.
- à l'aval du dispositif le niveau d'eau sur le bras de la Vidange en aval immédiat du seuil (aval du dispositif) est de 14.90 NGF à l'étiage QMNA 1/2. Ce niveau aval augmente jusqu'aux environs de 16.40 NGF pour un débit égal au double du module (niveau égal à 16,61 NGF relevé pour 2,3 fois le module), ce qui traduit un ennoyage important.

Ainsi, la dénivelée maximale de projet, c'est-à-dire la différence entre le niveau amont et le niveau aval, est de 1,80 m. Elle est atteinte à l'étiage.

2.4. Débit d'alimentation sur la plage de fonctionnement

La rivière de contournement est dimensionnée pour faire transiter le débit réservé soit un 5 m^3/s. Ce débit minimal sera garanti dans la rivière de contournement sur l'ensemble de la plage théorique de fonctionnement [Etiage QMNA ½ ; 2 fois le module], ainsi que pour toutes les situations d'étiage sévère.

Le débit de fonctionnement de 5 m^3/s correspond à :

- 100 % du débit minimum devant transiter par le bras de la Vidange en toute situation hydrologique (débit minimum biologique) ;
- 20 % du débit minimum devant transiter par le bras de la Vidange durant les mois de février à mai (débit biologique relevé à 25 m^3/s) ;
- 7,6 % du débit moyen mensuel maximal transitant par le bras de la Vidange, correspondant au mois de janvier (65,4 m^3/s).

Au regard de ces éléments, le passage de 5 m^3/s dans le bras garanti une bonne attractivité du dispositif de franchissement.

2.5. Modélisation hydraulique du projet

2.5.1. Rappel des objectifs de la modélisation

La modélisation hydraulique du projet de rivière de contournement répond à un double objectif :

- Appréhender de manière fine le comportement hydraulique du nouveau bras à créer, aux limites basses et hautes de la plage de fonctionnement hydrologique (de l'étiage au double du module) ;
- Vérifier la compatibilité des écoulements (lames d'eau, vitesses) :
    - avec les capacités physiologiques et comportementales des espèces cibles, et ajuster si nécessaires les aménagements projetés ;
    - avec la pratique du canoë-kayak ;
    - avec la mise en œuvre des différentes techniques (minérales au niveau du fond du lit, végétales sur les berges) pour la protection physique et la renaturation du lit et des berges.

2.5.2. Type de modèle utilisé

La modélisation est réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS. Elle est menée en mode unidirectionnel, en régime permanent.

Le modèle est construit à l'aide de la topographie réalisée, de gabarits-types qui sont interpolés sur l'ensemble du linéaire et des seuils intermédiaires qui sont ajoutés dans le modèle.

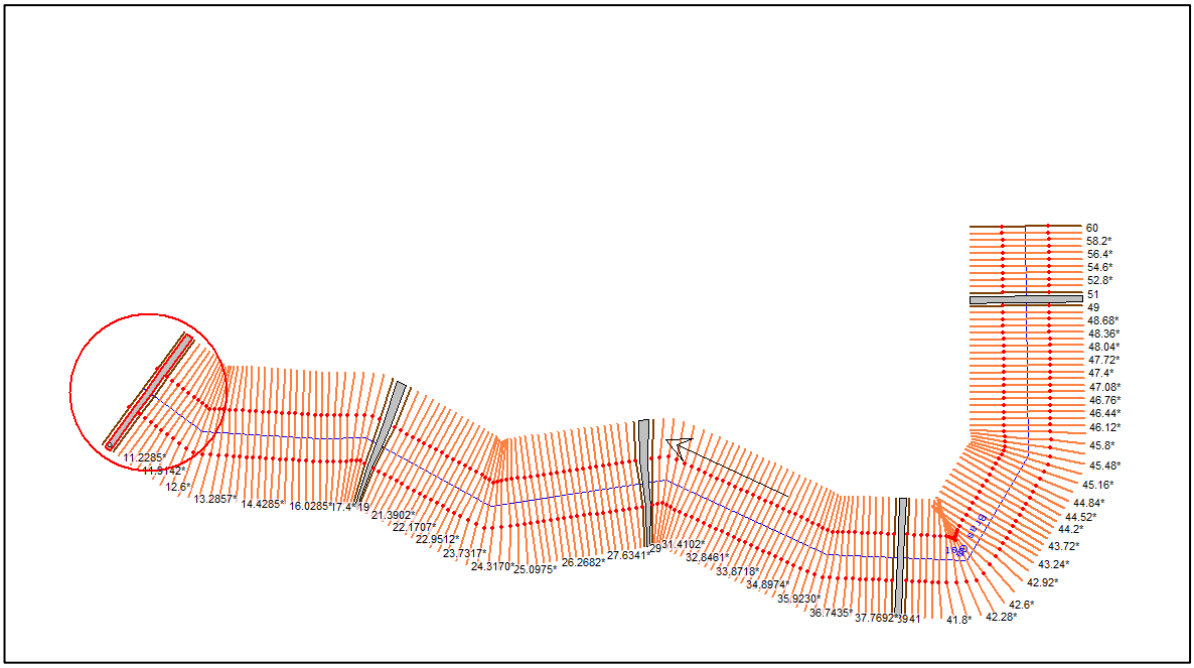
Le modèle est calé à l'aide :

- de coefficients de rugosité différenciés au niveau du fond (n=0,04) et des berges (n=0.05)
- de conditions aux limites amont (cote NE = 16.60 NGF) et aval (cote NE = 14.90 NGF). pour le fonctionnement normal à l'étiage,
- de variations de la cote NE amont à 16.70 , 16.80 et 16.90 NGF, selon le mode de fonctionnement au niveau de la centrale hydroélectrique prévue au moulin,
- Les conditions aux limites sont également modifiées pour intégrer le fonctionnement jusqu'au double du module : cote NE amont 17.00 NGF et cote NE aval 16.60 NGF

La modélisation est effectuée dans un premier temps pour un débit d'admission égal à 5 m^3/s pour la cote normale d'exploitation normale de 16,60 NGF.

Dans un second temps, une série de modélisations est effectuée pour des couples de niveaux d'eau atteints en amont et en aval.

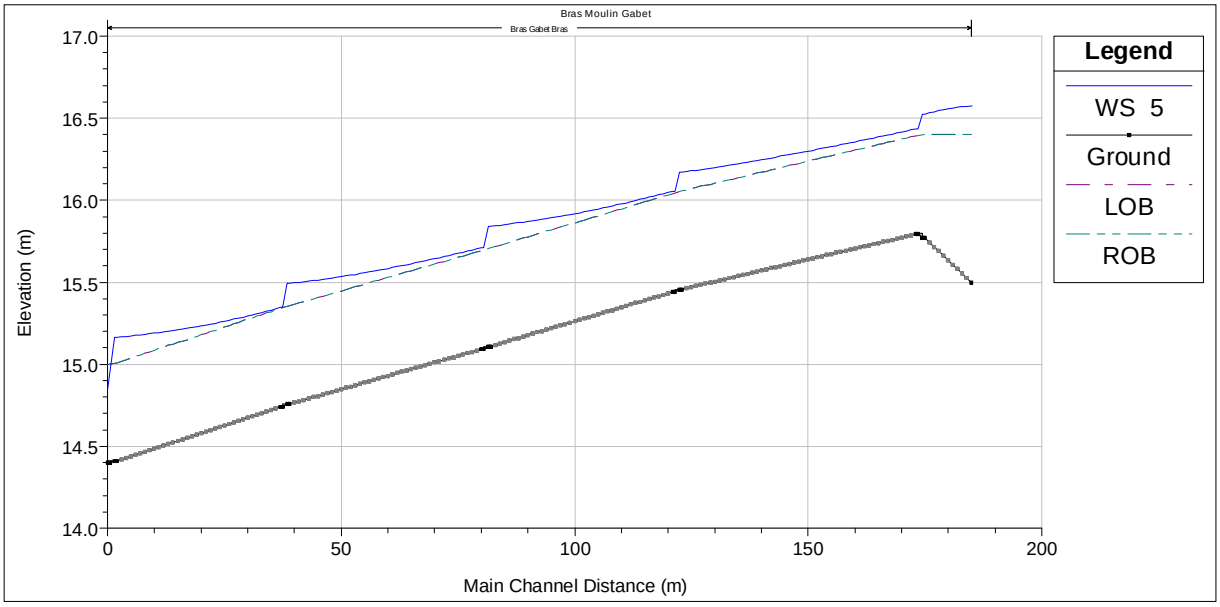
Figure 9 : Topologie du modèle hydraulique développé par SINBIO.



2.5.3. Résultats du modèle à l'étiage : lignes d'eau, vitesses

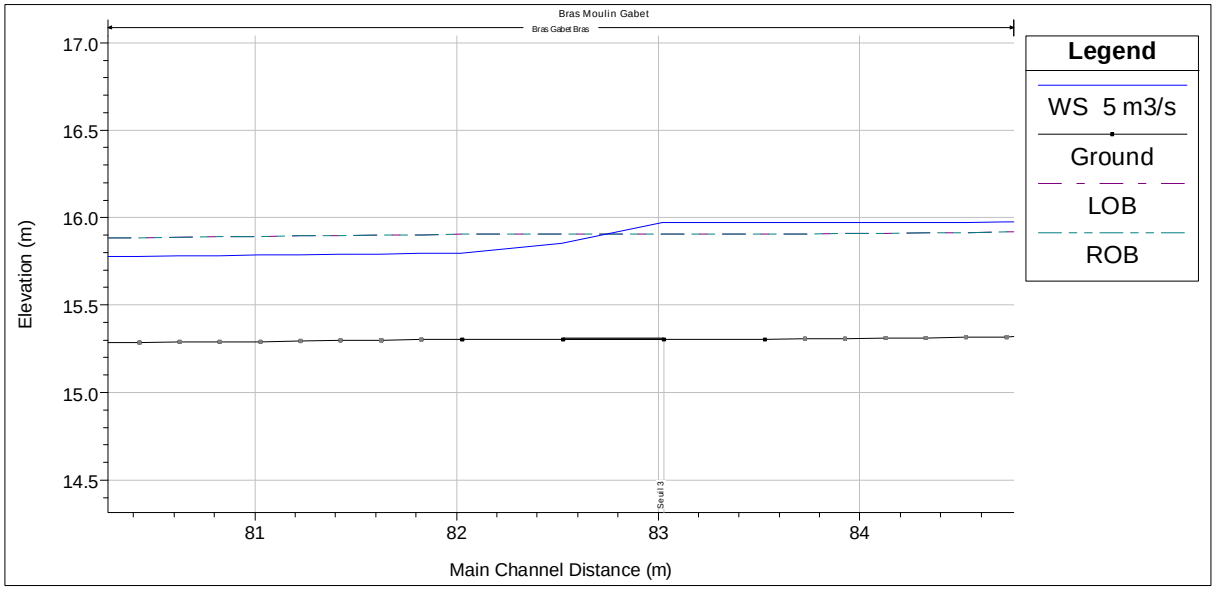
Le profil en long de la ligne d'eau est restitué sur les graphes suivants, pour le débit de 5 m³/s testé.

Graphique 10 : Profil en long du fond du lit et de la ligne d'eau pour la rivière de contournement, en situation de débit = 5 m3/s correspondant à un niveau d'admission amont = 16.60 NGF.



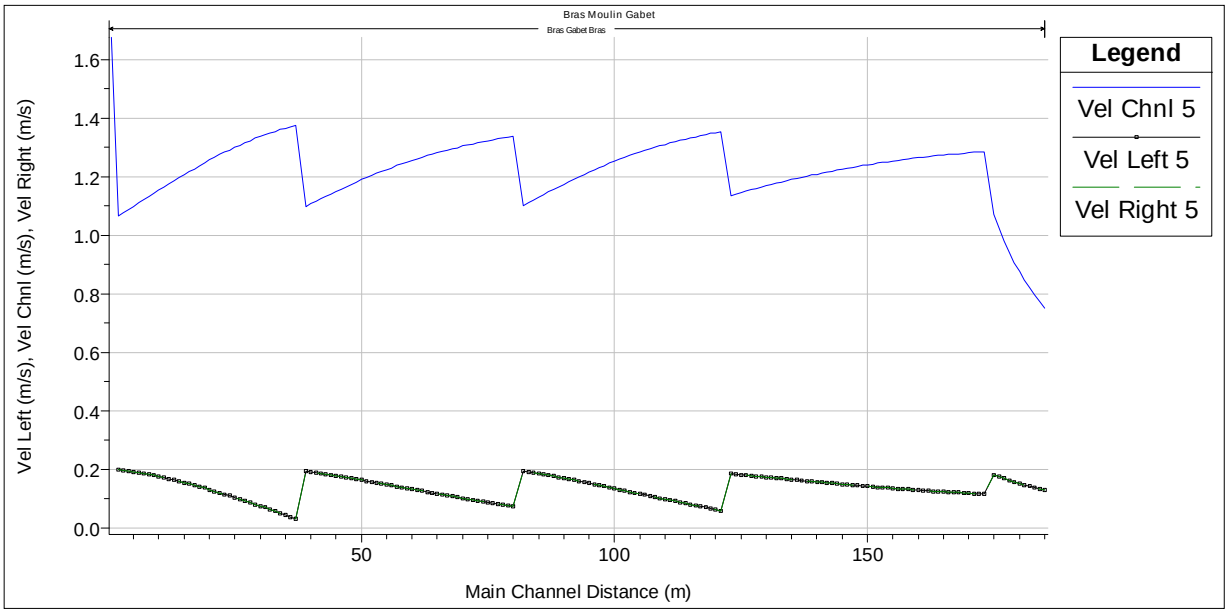
Les profils visualisent la contribution des seuils dans le rattrapage de la dénivelée global, en complément de la pente du fond du lit. La pente globale du fond est de 0,82 % ; la pente de la ligne d'eau en section courante est ainsi réduite à moins de 0,7 %.

Graphique 11 : Zoom sur la chute au niveau d'un seuil (situation pour 5 m3/s)



La dénivelée occasionnée par chaque seuil varie entre 0,09 et 0,14 m à l'étiage, hormis le seuil de restitution aval qui présente une dénivelée plus importante de 0,32 m propice à l'attrait du bras (voir sur le graphique 10 la ligne d'eau correspondant à 5 m3/s). Chaque seuil est le siège d'un écoulement partiellement noyé par l'aval, avec une veine d'eau conséquente (0.5 à 0.8 m) dans lesquels les poissons peuvent nager sans avoir à sauter (ce qu'ils ne savent pas faire pour la plupart des espèces cibles).

Graphique 12 : Profils de vitesses au centre du lit et sur les bords (valeurs pour 5 m3/s).



Les profils indiquent des valeurs de vitesses au centre du lit (courbe du haut en bleu) comprises :

- entre 1.1 et 1.3 m/s en sections courantes
- entre 1.2 et 1.4 m/s au niveau des seuils 1 à 4
- entre 1.1 et près de 2.0 m/s maximum au niveau du seuil 5 de restitution aval

En revanche, les vitesses près des berges sont nettement moins élevées, et toujours inférieures à 0,2 m/s.

En conclusion, le gradient de vitesse sur chaque profil en travers est important, du fait de la forme du profil, de la forme en V des seuils et de la rugosité apportée par la végétation ; cette hétérogénéité est favorable au franchissement d'un spectre large d'espèces et d'individus.

Tableau 13 : récapitulatif des grandeurs caractéristiques modélisées (valeurs pour Q = 5 m3/s).

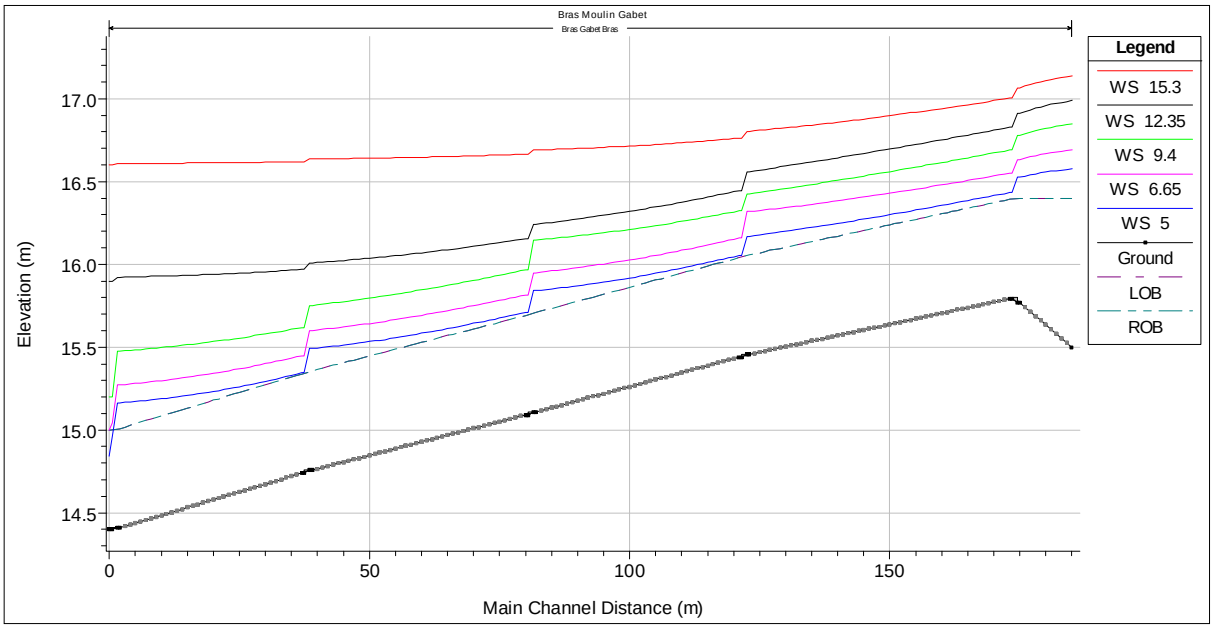
Point (amont à aval)	Débit dans le bras	Cote de la ligne d'eau	Vitesse au centre du lit	Profondeur en eau
River Sta	**Q Total**	**W.S. Elev**	**Vel Chnl**	**Hydr Depth**
	(m3/s)	(m)	(m/s)	(m)
60	5	16.60	0.75	0.79
51	5	16.52	1.07	0.58
50	Seuil 1			
49	5	16.43	1.29	0.53
40	Seuil 2			
39	5	16.05	1.35	0.52
31	5	15.84	1.1	0.58
30	Seuil 3			
29	5	15.71	1.34	0.52
21	5	15.49	1.1	0.59
20	Seuil 4			
19	5	15.35	1.38	0.52
11	5	15.16	1.07	0.60
10	Seuil 5			
9	5	14.84	1.97	0.39

Les profils en travers indiquent que les lames d'eau en sections courantes sont comprises entre 0.52 et 0.60 m. Le minimum de hauteur d'eau est atteint au niveau du seuil 5 de restitution aval : 0.39 m. Le maximum est atteint au niveau du seuil d'admission noyé : 0.79 m.

2.5.4. Résultat du modèle en cas d'élévation du niveau d'eau amont

Pour des niveaux de retenue amont variant autour de la cote de 16.60NGF, jusqu'à 16.70NGF (marnage possible et prévu dans la future exploitation), voire dépassant nettement cette cote d'exploitation (jusqu'à 17.00 NGF) les lignes d'eau et les débits dans la rivière de contournement sont synthétisés sur le graphe suivant.

Graphique 14 : Lignes d'eau pour différentes cotes d'admission correspondant à différents débits dans la rivière de contournement.



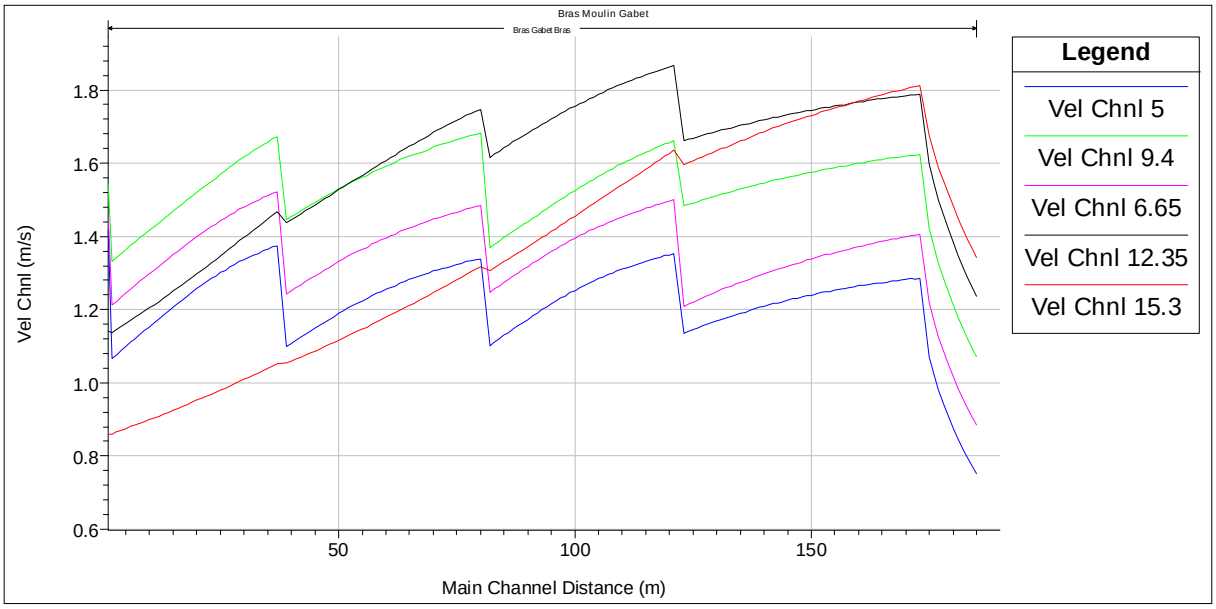
L'écoulement dans la rivière est progressivement influencé par l'aval, mais dans tous les cas testés, le premier seuil amont continue de contrôler l'écoulement qui reste dénoyé. Il en résulte une augmentation importante du débit transitant par la rivière, selon le tableau suivant.

Tableau 15 : Récapitulatif des débits et des cotes amont et aval modélisés.

Débits (m3/s)	Niveau d'eau amont (mNGF)	Niveau d'eau aval (mNGF)
5.00	16.60	14.90
6.65	16.70	15.00
9.40	16.85	15.20
12.35	17.00	15.90
15.30	17.15	16.60

Les vitesses d'écoulement sont présentées dans le graphique ci-après. On constate une augmentation des vitesses inférieure à 0,2 m/s lorsque le niveau de la retenue amont passe de 16.60 à 16.70 NGF

(débit passant de 5,00 à 6,65 m3/s), et de près de 0,4 m/s entre 16.60 et 16.85 NGF (débit passant de 5.00 à 9.40 m3/s), tout en restant inférieures à 1,7 m/s (maximum atteint au niveau du seuil 2).



Lorsque le niveau amont augmente encore (de 17.00 à 17.15 NGF), les vitesses dépassent 1.8 m/s au niveau du seuil 3, puis leurs maxima diminuent vers l'aval et diminuent fortement avec l'ennoyage du système rivière de contournement et seuil de la vidange.

2.5.5. Compatibilité avec les espèces piscicoles visées

L'analyse est faite sur la base d'un débit de fonctionnement égal à 5 m3/s.

Les hauteurs d'eau toujours supérieures à 0.4 m en section courante sont compatibles avec les espèces les plus exigeantes sur ce critère.

Les vitesses d'écoulement au centre du lit, toujours inférieures à 1,5 m/s pour la plage de fonctionnement normal entre les cotes de retenue amont 16.60 et 16.70 NGF sont elles aussi compatibles ; celles-ci augmentent avec le débit mais restent toujours inférieures à 2,0 m/s au niveau des seuils.

Les seuils sont le siège d'un écoulement à jet de surface partiellement noyé par l'aval, dont la veine d'eau conséquente permet aux poissons de nager (espèces cibles non sauteuses). Les chutes de 9 à 14 cm pour les seuils 1 à 4, et de 32 cm pour le seuil aval, sont aisément franchissables car inférieures aux hauteurs maximales préconisées pour les espèces cibles.

On rappelle dans le tableau ci-après les principales caractéristiques de nage et de saut pour les espèces cibles (source : guide ICE – AFB / MEDDE).

Espèce	Vitesse moyenne de sprint	Hauteur moyenne de saut
Grande alose	4,25 m/s	ne saute pas
Lamproie marine	3,75 m/s	ne saute pas
Anguille européenne	< 1,5 m/s	ne saute pas
Mulet	4,75 m/s	1,1 m

2.5.6. Compatibilité avec les techniques d'aménagement projetées

L'analyse est faite sur la base d'un débit de fonctionnement égal à 5 m3/s.

Les profils très doux des berges conduisent à des vitesses moyennes inférieures à 1,8 m/s, et très faibles près des berges (0,2 m/s) ; ces vitesses permettent l'utilisation des techniques végétales vivantes, plus « dures » comme les couches de branches, qui seront utilisées sur les profils les plus raides, ou moins « dures » comme les simples plantations et ensemencements.

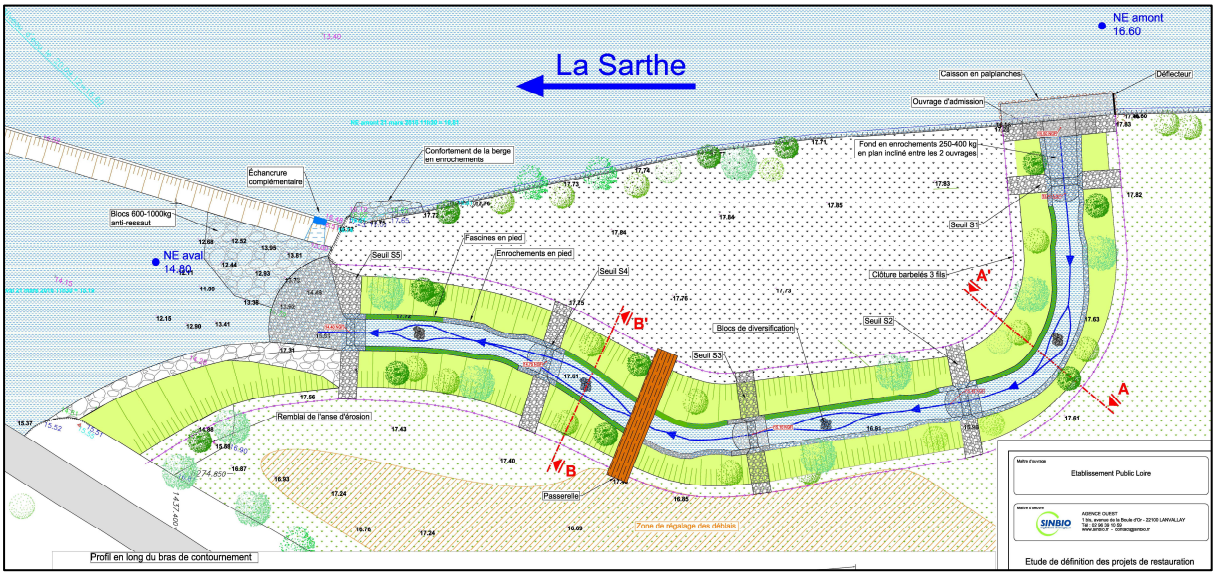
2.6. Dimensionnement de la rivière de contournement

2.6.1. Morphométrie générale

Les différentes caractéristiques morphométriques de la rivière de contournement sont rassemblées dans le tableau suivant.

Paramètre	Dimensions
Longueur linéaire	180 ml
Cote ouvrage admission amont	15.50 NGF
Cote premier seuil amont	15.80 NGF
Cote restitution aval	14.40 NGF
Pente moyenne hors tout	0,82 %
Nombre de seuils	5 dont 4 intermédiaires et 1 de restitution aval
Forme des seuils	en V avec flèche de 0.30 m ; largeur en gueule 5,0 m
Ecoulement au niveau des seuils	Partiellement noyé avec jet de surface
Largeur du fond courant	5,0 m
Largeur de la lame d'eau pour 5 m3/s	6,8 m
Largeur en gueule	17,0 à 21,0 m d'amont en aval
Profil en travers	Trapézoïdal avec fond non plat
Fruit des berges	Pentes moyennes variant de 3H/1V à 5H/1V
Hauteur des berges	1,4 à 2,8 m

Vue en plan sans échelle de la rivière de contournement (voir plan A0 joint au rapport pour plus de détails).



Exemples approchant de rivières de contournement

Exemple de bras végétalisé, un an après réalisation Le Bocq à Purnode (BEL), Région Wallone 2011.

Exemple de bras végétalisé, plusieurs années après sa création. L'Yonne à Courlon-sur-Yonne, site SAS ILE DE France, 2014.

2.6.2. Aménagement du fond du lit

Le lit est préalablement terrassé selon un profil trapézoïdal, avant que les berges ne soient modelées plus finement. Les matériaux issus du terrassement sont régalés sur une faible épaisseur au niveau du site, au niveau de la dépression de terrain située en rive gauche de la rivière à créer, et à proximité du talus de la RD 74 (zone d'écoulement non active en crues).

L'aménagement du fond du lit comprend :

- Les terrassements préalables
- la création de 4 seuils intermédiaires de fractionnement de la dénivelée et de stabilisation du profil en long ;
- Le nivellement du fond selon des pentes différenciées ;
- la mise en place du fond courant ;
- la création de 4 cairns centraux (amas de blocs rocheux formant des îlots) pour diversification des écoulements.

Terrassements préalables

Suite au piquetage des emprises, les terrassements se font en 2 temps :

- le terrassement pleine masse sur l'emprise du futur lit, avec mise en dépôt sur site pour régalage d'une part le long du talus de la RD 74, et d'autre part (une fois les aménagements de la rivière achevés) ;
- le modelage fin du fond du lit et des berges, réalisé au fur et à mesure des aménagements.

Sur la base des levés effectués au niveau de la zone de projet, ainsi que sur l'estimation de la volumétrie, SINBIO estime que 80 % des produits de terrassements pourront être régalés à proximité,

et que 20 % serviront à la réalisation des techniques de protection et de végétalisation des nouvelles berges.

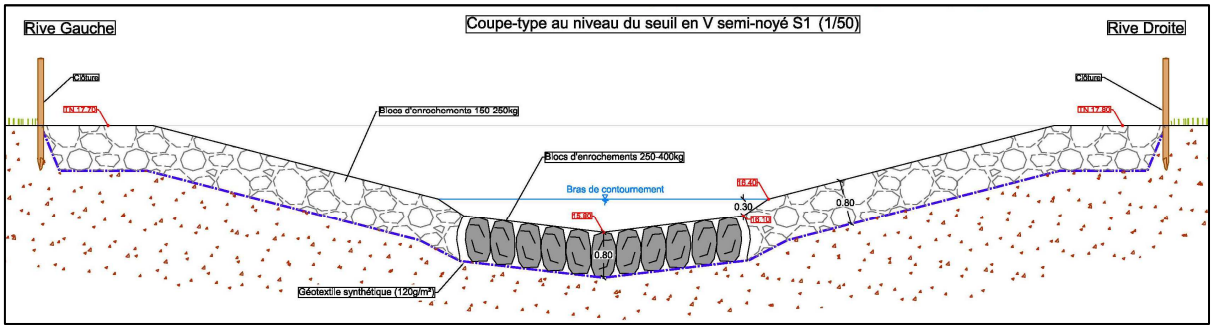
Création des seuils intermédiaires

Il est prévu la mise en place de 4 seuils intermédiaires, en plus des ouvrages d'admission amont et de restitution aval.

Les 4 seuils sont créés à intervalles réguliers (de l'ordre de 40 m) sur le linéaire de la rivière. A l'amont, le premier seuil occasionnant une chute est créé non pas au niveau de l'admission, mais suffisamment décalé à l'aval (20 m minimum), de manière à ne pas occasionner de chute au niveau de l'ouvrage d'admission, qui sera uniquement le siège d'une accélération de courant (effet de convergeant au niveau du seuil d'admission totalement noyé).

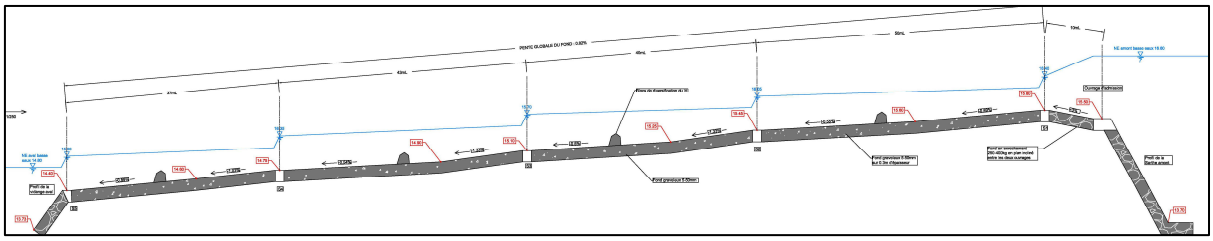
Les seuils ont un profil en V avec flèche centrale ; ils sont le siège d'un écoulement à jet de surface (non plongeant) partiellement noyé, avec limitation du phénomène de ressaut à l'aval : ainsi, les poissons peuvent circuler dans la veine d'eau noyée ou sur les côtés, où la lame d'eau et les vitesses sont réduites (petits individus, anguille). Les embarcations franchissent l'obstacle en partie centrale, là où le courant et le tirant d'eau sont les plus importants.

Les seuils sont construits en blocs d'enrochement calibrés (250-450 kg). Ils comportent chacun en partie amont une bêche d'ancrage, et en aval une fosse parafouille de dissipation d'énergie et d'appel.



Création du fond courant

Une fois les seuils mis en place et calés en altimétrie, le fond du lit fait l'objet d'un nivellement fin permettant de réaliser, entre les seuils, un profil en long avec pentes différenciées ; chaque inflexion est matérialisée par une ligne de blocs en fond eux-mêmes calés en altimétrie, permettant de stabiliser le profil.



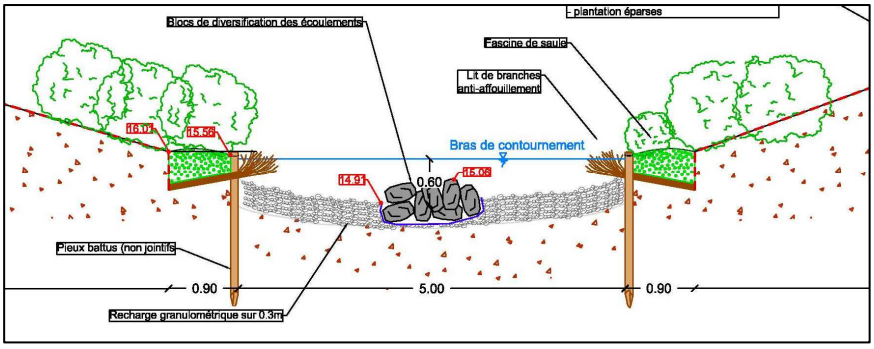
La re-création du fond naturel graveleux est réalisée par apport de grave de rivière (10-100 mm) sur une épaisseur de 30 cm, disposés directement sur le fond modelé, dans les casiers formés entre les seuils, afin d'éviter tout départ par lessivage.

Investigations complémentaires :
Des sondages nécessaires au niveau des terrains en place pourront confirmer ou non la présence d'horizons graveleux entre 1 et 4 m de profondeur. La réalisation de ces sondages, à la pelle mécanique ou par tout autre moyen (3 points de sondages au minimum), est comprise dans l'estimation des travaux (voir chapitre 5.).

Création de cairns dans le lit

Entre chaque seuil, sont disposés des blocs (450-600 kg minimum) ancrés dans le fond du lit et formant des îlots séparant la veine d'écoulement.

Ces îlots participent à la diversification des écoulements, aussi bien pour le milieu aquatique que pour la pratique du canoë-kayak.



2.6.3. Aménagement des berges

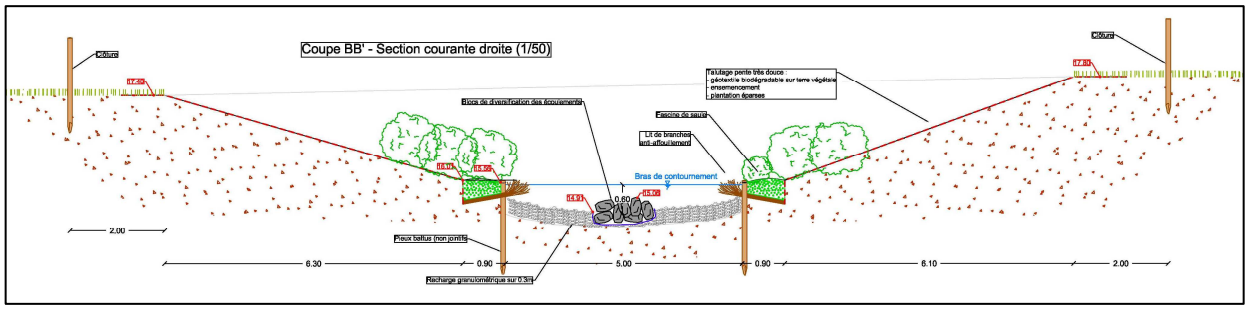
A l'issue des terrassements en pleine masse, les berges sont remodelées finement selon des pentes douces à très douces.

Il est proposé de traiter les berges en techniques végétales vivantes, avec les caractéristiques suivantes :

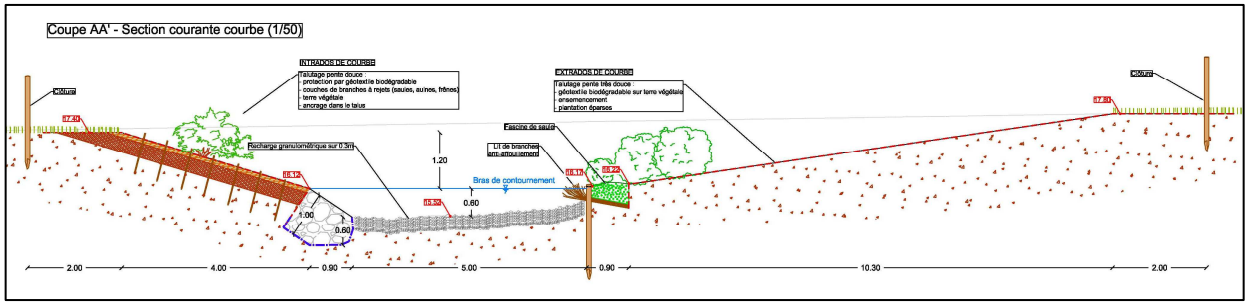
- Protection du pied de berge :
  - section courante et intrados de courbe : mise en œuvre d'un ouvrage de type fascine de saules avec maintien par pieux en bois et lit de branches anti-affouillement ;
  - extrados de courbe (soumis à plus fortes contraintes) : mise en œuvre de blocs d'enrochements (150 – 250 kg)
- Protection et renaturation des talus :
  - à pente faible à très faible (4H à 5H/1V, correspondant aux sections droites et aux intrados de courbe) : mise en œuvre de plantations éparses et d'ensemencement.

- à pente modérée (2H à 3H/1V, correspondant aux extrados de courbe) : mise en œuvre de couches de branches vivantes (saules, aulne, frêne) ;

Profil du lit et des berges : section courante (ici avec un cairn dans le fond du lit).



Profil du lit et des berges : section courbe (extrados à gauche, intrados à droite sur la coupe).

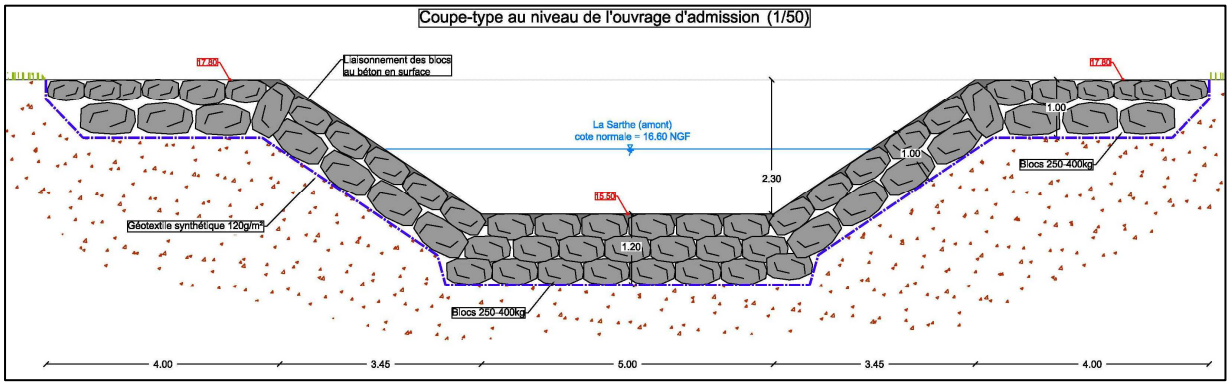


2.6.4. Ouvrage d'admission amont

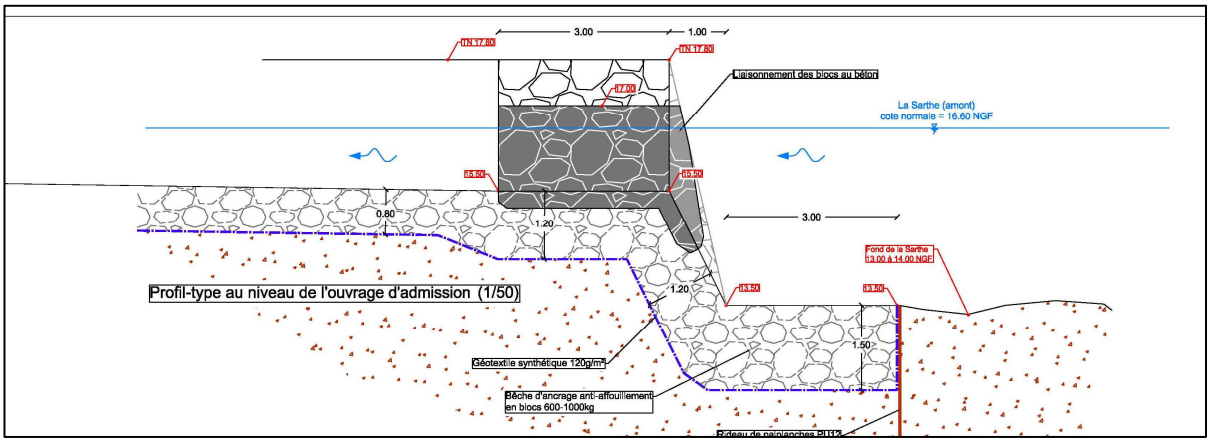
Les principes d'aménagement de l'ouvrage d'admission amont sont les suivants :

- Fondation amont à l'aide d'un caisson de palplanches ancrés jusqu'au fond du lit de la Sarthe à l'amont. Le rideau de palplanches (type PU12) servira de batardeau amont pendant les travaux d'aménagement du futur lit.
- Ouvrage constitué de blocs d'enrochements (250 – 450 g) avec liaisonnement au béton de la crête et des talus correspondant au périmètre mouillé ;
- Section d'admission trapézoïdale avec ancrages latéraux, siège d'une lame d'eau importante (1,1 m pour un fil d'eau à 15.50 NGF) en toute situation hydrologique, sans chute (la section limitante se situe au niveau du premier seuil intermédiaire situé à l'aval) ;

Coupe en travers de l'ouvrage d'admission amont



Coupe en long de l'ouvrage d'admission amont

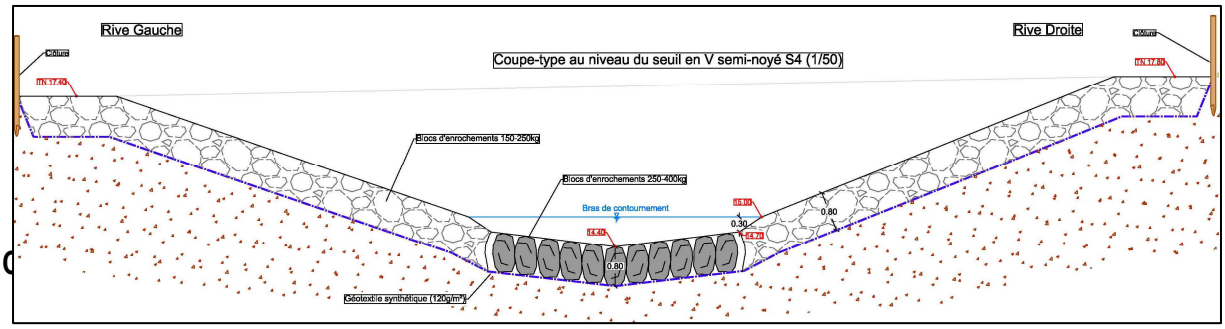


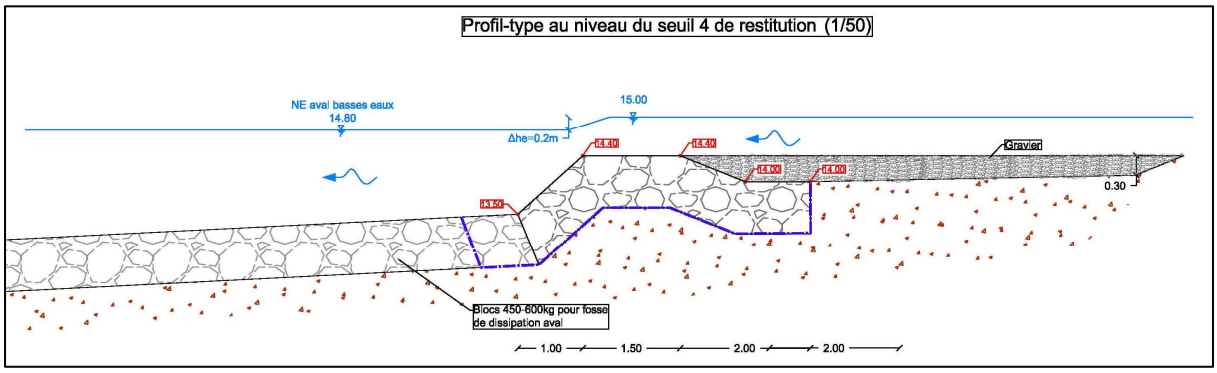
2.6.5. Ouvrage de restitution aval

L'ouvrage de restitution aval constitue le quatrième seuil en V mis en place au niveau de la rivière ; ces principes d'aménagement sont les mêmes que pour les seuils intermédiaires (voir plus haut), avec la spécificité suivante :

- Création d'une fosse de dissipation et d'appel plus conséquente que sur les 4 autres seuils intermédiaires jusqu'au fond du lit du bras de la Vidange, en pied du déversoir à l'aval.
- Mise en place de gros blocs (600 – 1000 kg) entre la sortie de la rivière de contournement et le pied du déversoir, de manière à casser l'énergie et à supprimer l'effet de rappel, pour une meilleure sécurité des usagers de canoë-kayak.

Coupe en travers de l'ouvrage de restitution (seuil aval)





2.6.6. Autres aménagements et équipements connexes

Les aménagements connexes retenus au stade projet sont :

Pare-embâcles au niveau de l'ouvrage d'admission amont
afin d'empêcher les embâcles dans l'ouvrage d'admission et dans la rivière, un dispositif métallique scellé au rideau de palplanches de l'ouvrage d'admission est prévu au niveau du retour amont + rideau principal sur 10 ml au total.

Passerelle sur la rivière de contournement
Une passerelle est créée afin d'accéder au terrain résiduel situé en rive droite de la rivière de contournement et au déversoir : passerelle sur culées béton sans radier, de largeur totale 4 m et de portée 15 ml, sans garde-corps. Tirant d'air minimal : 1,20 m pour NE amont = 17.00 NGF (1,60 m assuré en situation courante pour NE amont = 16.60 NGF).

Isolement de la rivière de contournement
Une clôture est prévue en haut de chaque berge de la rivière de contournement, de manière à éviter le piétinement et l'abroutissement par le bétail : clôture barbelée 3 fils avec pieux en bois ; retrait par rapport au haut de berge : 2 m.

Remarque :
A noter que l'aménagement des rehausses à la cote 16.60 NGF au niveau de la crête du déversoir du bras de la Vidange, afin de pouvoir faire transiter la part résiduelle du débit minimum biologique (20 des 25 m3/s dans le cas où le débit de fonctionnement de la rivière de contournement est pris égal à 5 m3/s), n'est pas incluse dans le présent projet, mais devra l'être dans le projet HYDROWATT.

3. MISE EN ŒUVRE DU PROJET

3.1. Modalités d'accès

L'accès est prévu depuis la rive gauche de la Sarthe en amont (lieu-dit le Chatelet), via la parcelle en pâture concernée.

Les modaités d'accès au chemin communal de desserte du lieu-dit Châtelet, par la RD 52 depuis le bourg de Tiercé ou directement depuis la RD 74, feront l'objet d'une demande spécifique auprès du service des routes du Département.

3.2. Modalités de travaux

Installation et repli de chantier

- Installations générales : plate-forme de stockage, aire d'accès et de retournement, locaux, autorisations diverses, constat d'huissier préalable. La prestation porte sur l'installation avant travaux, le repli et la remise en état après travaux.
- Accès à pied d'œuvre depuis la rive gauche amont : utilisation des voies et chemins existants + piste au niveau de la pâture.

Travaux préliminaires

- Implantation et piquetage des ouvrages
- Réalisation du caisson de palplanches type PU12 au niveau de la berge rive gauche de la Sarthe à l'amont : fourniture, battage, recépage en eau
- Batardeau provisoire aval : réalisé à l'aide des matériaux apportés (blocs) et des matériaux issus des premiers terrassements à l'amont (tout-venant et matériaux limoneux pour étanchéité)
- Pompage et épuisement des venues d'eau : sur la base de 30 j nécessaires de pompage, correspondant essentiellement à l'épuisement au niveau du caisson de palplanches amont ; l'ensemble des venues d'eau consécutives aux terrassements dans le lit majeur n'ont pas vocation à être épuisées.

Terrassements

- Décapage préalable de la couche de terre végétale sur l'emprise du nouveau lit et ses abords (sur la base de 0,1 m décapés) puis mise en attente des matériaux sur place, utilisation partielle pour la confection des ouvrages de génie végétal, puis remise en place lors de la remise en état.
- Terrassements pleine masse : volume calculé sur la base des gabarits du lit. Les matériaux sont mis en attente sur site avant régalage.
- Régalage sur site des excédents : l'opération a lieu une fois la rivière achevée.

- Modelage fin des berges : ce modelage concerne la forme des berges (profil de pente) ainsi que le tracé en plan. L'objectif est d'éviter un gabarit uniforme.

Ouvrage d'admission

- Blocs d'enrochements 250 - 400 kg pour parement et berges
- Béton de liaison sur les 50 premiers cm d'épaisseur du lit de blocs, au niveau de la section mouillée jusqu'à la cote 17.00 NGF.
- Géotextile synthétique : anti contaminant et anti poinçonnant mis en place sous les blocs.

Seuils intermédiaires

- Blocs d'enrochements 250 - 400 kg pour seuil ; appareillage soigné de manière à ménager la forme en V avec flèche centrale de 0,30 m.
- Blocs d'enrochements 150-250 kg pour berges
- Géotextile synthétique mis en place sous les blocs

Ouvrage de restitution et fosse d'appel aval

- Blocs d'enrochements 250 - 400 kg pour seuil ; appareillage soigné de manière à ménager la forme en V avec flèche centrale de 0,30 m.
- Blocs d'enrochements 150-250 kg pour berges
- Blocs d''enrochements 600 - 1000 kg pour parafouille anti-ressaut au niveau du déversoir
- Géotextile synthétique mis en place sous les blocs

Restauration du fond graveleux

- Blocs pour diversification du fond du lit : ancrage sous le niveau de fond, pose préalable d'un géotextile synthétique ; les blocs doivent émerger en situation courante (NE amont compris entre 16.60 et 16.80 NGF).
- Matériaux graveleux pour reconstitution du fond du lit : mise en place de grave de rivière (10-100 mm), matériau d'apport pouvant être remplacé par du matériau extrait des déblais, si ceux-ci révèlent une couche de grave correspondant à la granulométrie recherchée.

Protection et végétalisation des berges

- Fascine de saule en pied de berge : mise en place des pieux en butée, puis confection de la fascine à l'aide de rameaux prélevés sur place ou à proximité).
- Blocs d'enrochements en pied de berge extrados
- Couches de branches à rejets : confection à l'aide de branches issues de pépinières locales ou prélevées sur place ou à proximité
- Reprise de matériaux terreux issus du site, à l'arrière des fascines et au-dessus des couches de branches
- Treillis biodégradable en fibres de coco, sur l'ensemble des surfaces de berges en terre (notamment au niveau des couches de branches, qui font l'objet d'un
- Plantations sur sections courantes hors couches de branches : éparses ou par bosquets, à discrétion de l'aménageur suivant la densité souhaitée. Les plantations comprennent des espèces arbustives et buissonnantes, d'autre part des espèces arborées de haut jet. Toutes les espèces siont autochtones.
- Ensemencement des surfaces travaillées y compris en rive, à l'aide de mélanges grainiers spécifiques.

Equipements

- Clôture pour les deux rives
- Passerelle à tablier reposant sur deux culées coulées en berges, sans radier
- Déflecteur anti-embâcles fixé au niveau du rideau de palplanches amont

Investigations complémentaires

- Réalisation de sondages in situ à la pelle mécanique jusqu'à 5 m de profondeur (partie aval) + réalisation d'un sondage carotté et d'un essai pressiométrique au niveau de la berge amont, afin de déterminer la profondeur de fondation du rideau de palplanches.

3.3. Gestion des matériaux issus des terrassements

Dans un souci de bonne gestion de l'économie du marché, les apports de matériaux, comme les évacuations, sont minimisés.

C'est la raison pour laquelle il est proposé de régaler sur place les matériaux tout-venant issus des terrassements en déblais.

Le volume brut des matériaux terrassés est estimé à : 4200 m3.

Le volume net des matériaux soustraits au champ d'inondation est le volume brut amputé du volume toujours en au niveau de la rivière (= 570 m3), soit 3 630 m3. C'est ce volume de matériaux qui peut être théoriquement régalé sur place, sous réserve de la validation des services de la DDT du Maine-et-Loir.

A ce volume théorique, est soustrait le volume nécessaire à la confection des aménagements de génie végétal ; il demeure donc 3 350 m3 à régaler ; il est prévu de disposer ces matériaux, d'une part le long du talus de la RD 74, qui constitue une barrière physique hors zone active d'écoulements, ainsi qu'au niveau de la rive gauche de la rivière de contournement, qui fait apparaître sur sa partie centrale une zone de dépression.

4. ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET

4.1. Coût d'investissement

N°	Intitulé	Unité	Quantité	Prix unitaire € HT	Prix total € HT
1	**Installation et repli de chantier**				**12 500**
1.1	Installations générales	fft	1	6 500	6 500
1.2	Accès à pied d'œuvre depuis la rive gauche amont	fft	1	6 000	6 000
2	**Travaux préliminaires**				**45 050**
2.1	Implantation et piquetage	fft	1	1 500	1 500
2.2	Caisson amont en palplanches type PU12 : fourniture, battage, recépage en eau	ml	33	1 000	33 000
2.3	Batardeau provisoire aval	fft	1	1 800	1 800
2.4	Pompage et épuisement des venues d'eau	fft	1	8 750	8 750
3	**Terrassements**				**60 740**
3.1	Décapage préalable, mise en attente	m2	5 200	1	5 200
3.2	Terrassements pleine masse	m3	4 800	4	19 200
3.3	Régalage sur site des excédents	m3	3 820	2	7 640
3.4	Evacuation des excédents	m3	980	15	14 700
3.5	Modelage fin des berges	m2	2 800	5	14 000
4	**Ouvrage d'admission**				**20 850**
4.1	Blocs d'enrochements 250 - 400 kg	t	410	40	16 400
4.2	Béton de liaison	m3	15	230	3 450
4.3	Géotextile synthétique	m2	250	4	1 000
5	**Seuils intermédiaires**				**38 400**
5.1	Blocs d'enrochements 250 - 400 kg pour seuil	t	240	40	9 600
5.2	Blocs d'enrochements 150-250 kg pour berges	t	640	40	25 600
5.3	Géotextile synthétique	m2	800	4	3 200
6	**Ouvrage de restitution et fosse d'appel aval**				**22 160**
6.1	Blocs d'enrochements 250 - 400 kg pour seuil	t	60	40	2 400
6.2	Blocs d'enrochements 150-250 kg pour berges	t	280	40	11 200
6.3	Blocs d''enrochements 600 - 1000 kg pour parafouille anti-ressaut au niveau du déversoir	t	180	40	7 200
6.4	Géotextile synthétique	m2	340	4	1 360
7	**Restauration du fond graveleux**				**29 000**
7.1	Matériaux graveleux pour reconstitution du fond du lit	t	520	45	23 400
7.2	Blocs pour diversification du fond du lit	t	140	40	5 600
8	**Protection et végétalisation des berges**				**58 500**
8.1	Fascine de saule en pied de berge	ml	175	60	10 500
8.2	Blocs d'enrochements en pied de berge extrados	t	90	40	3 600
8.3	Reprise de matériaux terreux issus du site	m3	850	3	2 550

8.4	Couches de branches à rejets	m2	440	45	19 800
8.5	Treillis biodégradabe	m2	1 800	7	12 600
8.6	Plantations	u	150	15	2 250
8.7	Ensemencement	m2	3 600	2	7 200
9	**Equipements**				**25 600**
9.1	Clôture pour les deux rives	ml	360	10	3 600
9.2	Passerelle type tablier sur culées, sans radier	fft	1	20 000	20 000
9.3	Déflecteur anti-embâcles fixé au niveau du rideau de palplanches amont	fft	1	2 000	2 000
10	**Investigations complémentaires**				**6 500**
10.1	Réalisation de sondages in situ à la pelle mécanique jusqu'à 5 m de profondeur (partie aval) + berge amont (fondation de l'ouvrage d'admission)	fft	1	6 500	6 500
11	**Imprévus travaux (5 %)**				**15 965**
	TOTAL TRAVAUX € HT				**335 265**
	TOTAL TRAVAUX € TTC				**402 318**

4.2. Coût d'exploitation

En l'absence d'ouvrages mobiles et d'éléments hydromécaniques, le coût d'exploitation du dispositif se résume en un entretien de la végétation + un entretien des embâcles éventuels, notamment au niveau de l'admission amont. Le coût d'exploitation est donc faible et peut être évalué à 4 journées – homme par an.

En particulier, un contrôle visuel hebdomadaire devra être effectué en période de migration des aloses (avril à début juin), afin de vérifier la bonne alimentation du dispositif et l'absence d'embâcles gênants.

Annexe 1 :

Plan A0 des aménagements au niveau de conception PRO