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 1 : Etude du scénario « rivière de contournement »

AUTEUR DU PROJET :

Agence OUEST
1bis, rue de la Boule d'Or
22100 LANVALLAY
Tél. : 02 96 39 10 59
Site Internet : www.sinbio.fr / Courriel : contact@sinbio.fr

CE 601

Août 2016

Indice B

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE 3

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

1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE 4

1.3. MOYENS D'INVESTIGATION MIS EN OEUVRE 4

2. SYNTHESE DES DONNEES NECESSAIRES A L'ETUDE 5

2.1. HYDROLOGIE DE LA SARTHE 5

2.2. REPARTITION DES DEBITS DE PROJET AU NIVEAU DE L'ENSEMBLE D'OUVRAGES HYDRAULIQUES 5

2.3. DEBITS ET NIVEAUX D'EAU DE PROJET AU NIVEAU DU BRAS DE LA VIDANGE 6

2.4. ESPECES PISCICOLES CIBLEES 7

2.5. NATURE DU LIT MAJEUR SUR LE SITE PROJET – CLASSEMENT DES TERRAINS 7

2.6. NATURE DES BERGES ET DU LIT MINEUR SUR LE SITE PROJET 9

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

2.8. PROPRIETES FONCIERES 11

3. PRESENTATION DU SCENARIO « RIVIERE DE CONTOURNEMENT » 13

3.1. PRINCIPES GENERAUX D'AMENAGEMENT ET DE FONCTIONNEMENT 13

3.2. PLAGE DE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE 13

3.3. NIVEAUX D'EAU AMONT ET AVAL CORRESPONDANT A LA PLAGE DE FONCTIONNEMENT 14

3.4. DEBIT DE FONCTIONNEMENT DE LA RIVIERE DE CONTOURNEMENT 14

3.5. MORPHOMETRIE DE LA RIVIERE DE CONTOURNEMENT 15

3.6. AMENAGEMENT DU FOND DU LIT 16

3.7. AMENAGEMENT DES BERGES 17

3.8. OUVRAGE D'ADMISSION AMONT 18

3.9. OUVRAGE DE RESTITUTION AVAL 18

3.10. AUTRES AMENAGEMENTS ET EQUIPEMENTS CONNEXES 18

4. MODELISATION HYDRAULIQUE 19

4.1. OBJECTIF DE LA MODELISATION 19

4.2. TYPE ET PRINCIPES DU MODELE UTILISE 19

4.3. RESULTATS DU MODELE A L'ETIAGE : LIGNES D'EAU, VITESSES 20

4.4. RESULTAT DU MODELE EN CAS D'ELEVATION DU NIVEAU D'EAU AMONT 23

4.5. COMPATIBILITE AVEC LES ESPECES PISCICOLES VISEES 25

4.6. COMPATIBILITE AVEC LES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT PROJETEES 25

5. CHIFFRAGE DU SCENARIO « RIVIERE DE CONTOURNEMENT » 26

5.1. COUT D'INVESTISSEMENT 26

5.2. COUT D'EXPLOITATION 27

6. COMPARATIF MULTICRITERES DES DEUX SCENARIOS 28

6.1. NATURE DU COMPARATIF 28

6.2. SYNTHESE DES SOLUTIONS TECHNIQUES ENVISAGEABLES 29

ANNEXE 1 : PLANS TOPOGRAPHIQUES

ANNEXE 2 : PLANS DES AMENAGEMENTS

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

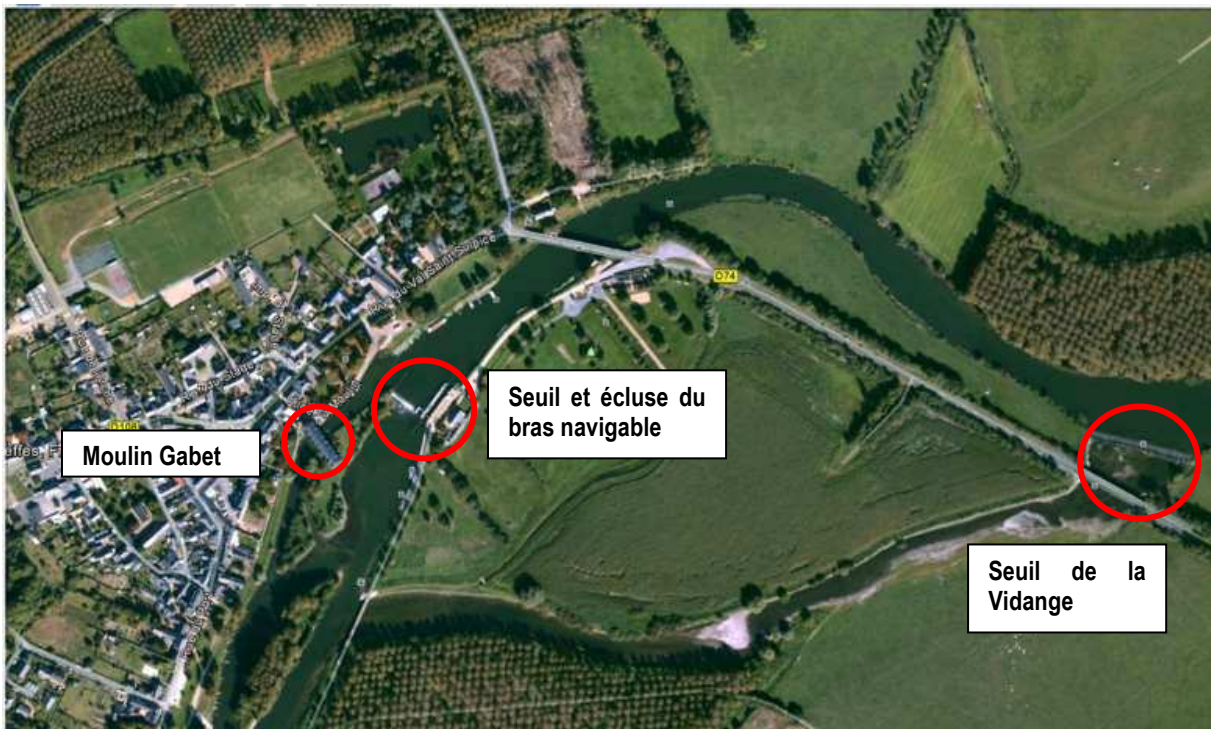
1.1. Contexte général de l'opération et de la présente étude

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

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 doit, quant à elle, permettre de développer au stade projet le scénario qui aura été retenu à la fin de la phase 1.

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 réalisation d'une modélisation hydraulique de la rivière de contournement projetée, à l'aide du logiciel HEC-RAS de simulation numérique des écoulements.

2. SYNTHESE DES DONNEES NECESSAIRES A L'ETUDE

2.1. 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.

	Etiage QMNA 1/5	Etiage QMNA 1/2	Module interannuel	Double du Module	Crue 2 ans	Crue 10 ans
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 : ALTECH - FISH-PASS , 2014 + SINBIO pour QMNA ½, Crue 2 ans et Crue 10 ans, tous d'après la BANQUE HYDRO.

2.2. Répartition des débits de projet au niveau de l'ensemble d'ouvrages hydrauliques

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 m3/s.

Le tableau suivant récapitule la répartition des débits (exprimés en m3/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.

	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.

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 m3/s. En dehors de cesmois, c'est-à-dire de février à juin, le débit respecté, égal à 25 m3/s, sera supérieur au débit réservé légal *(d'après Etude d'impact – ALTECH / FISH PASS, 2014).*

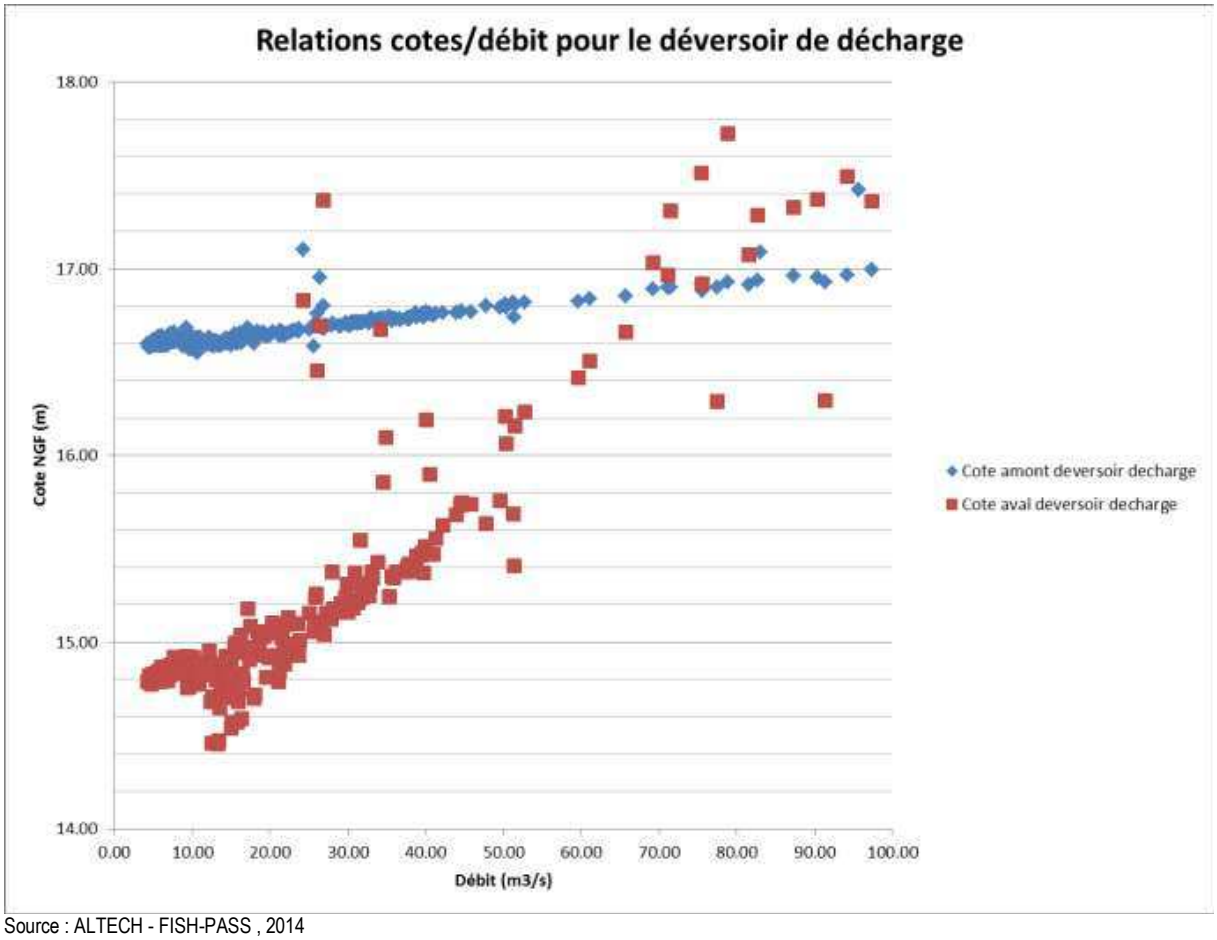
2.3. Débits et niveaux d'eau de projet au niveau du bras de la Vidange

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

- 5 m3/s à garantir en permanence et en toute situation hydrologique, toute l'année (part du débit réservé)
- 25 m3/s à garantir en permanence, quand la situation hydrologique le permet, sur la période allant de février à juin ; cette valeur, demandé par l'ONEMA, 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.

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 mNGF ; 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 mNGF.
- Niveau d'eau sur le bras de la Vidange en aval immédiat du seuil (aval du dispositif) : autour de 14.80 mNGF à l'étiage. Contrairement au niveau amont, ce niveau aval varie plus sensiblement lorsque le débit augmente.



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.

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 ?	16.70 mNGF	14.99 mNGF	1.71 m	19 m3/s	Débit de basses eaux supérieur au QMNA 1/2
09 fev. 2016 12h	16.99 mNGF	16.61 mNGF	0.38 m	112.9 m3/s	Débit de hautes eaux supérieur à 2 fois le module
21 mars 2016 11h30	16.81 mNGF	15.19 mNGF	1.62 m	51.4 m3/s	Débit d'eaux moyennes proche du module

2.4. 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 précisées dans l'arrêté correspondant au classement en liste 2, puis dans les documents établis par la DDT du Maine-et-Loire, et qui constituent 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 loche de rivière et la truite fario.

En plus de ces espèces, il est également proposé de prendre en compte le mulet à grosses lèvres, autre espèce amphialine.

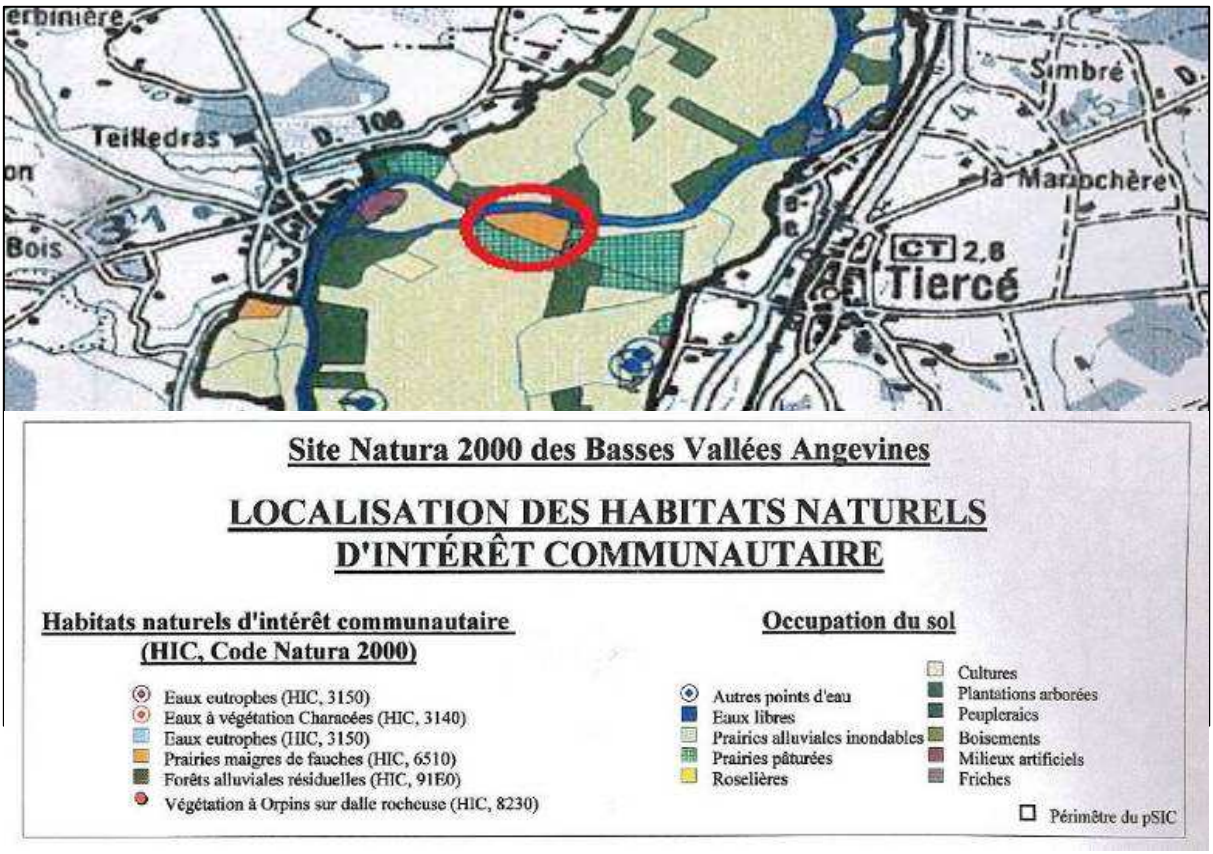
A noter que d'après la FRDPPMA du Maine-et-Loire, le bras de la vidange constitue déjà dans la situation actuelle un secteur de frai avéré pour la grande alose ainsi que pour la lamproie marine.

2.5. Nature du lit majeur sur le site projet – Classement des terrains

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 sont classés au titre de Natura 2000 : ils font partie du site 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).

Des micro-dépressions sont visibles au niveau de ces terrains, vestiges d'anciens chenaux ou fossés de drainage. Ces points particuliers ont été relevés lors de la campagne de levés topographiques complémentaires effectuée par SINBIO.



Vues du lit majeur en rive gauche de la Sarthe au niveau du secteur de projet. Sur la photo de droite, les micro-dépressions sont visibles.

2.6. Nature des berges et du lit mineur sur le site projet

Les berges, de nature limoneuse, sont sujettes à l'érosion, qui se manifeste sous forme d'encoches de quelques mètres de longueur au niveau du lit amont, et de deux anses de taille plus importante à l'aval immédiat du déversoir.

Le piétinement bovin et le caractère épars de la ripisylve expliquent ces désordres érosifs ; la ripisylve constitue un cordon réduit en largeur et peu dense en amont, davantage discontinu en aval entre le déversoir et le pont. Elle est majoritairement constituée d'aulnes, avec des frênes, différentes espèces de saules et d'autres espèces buissonnantes.

Vues des berges rive gauche en amont (encoches d'érosion et ripisylve éparse), et de la première anse d'érosion en aval du déversoir du bras de la Vidange.

Vues de la berge à l'aval du déversoir, avec les effets du piétinement bovin.

2.7. 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*.

La compatibilité d'utilisation d'un dispositif de type rivière de contournement pour les circulations piscicoles et la circulation des canoës-kayaks est synthétisée dans le tableau suivant.

FFCK	Usage CK		Usage poissons		ONEMA
Dispositif	Critères	Compatibilité d'utilisation		Critères	Dispositif
Rivière de contournement	▪ Bassin long ▪ Echancrures alignées ▪ Largeur suffisante	Possible	Possible		Rivière de contournement
		Impossible	Possible	▪ Bassin court ▪ Epis longs pénétrant dans le lit mineur ▪ Faible largeur ▪ Courant Impossible rectiligne	

Source : 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.

	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.

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.

2.8. 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.

Extrait cadastral de la zone de projet

Le propriétaire des 2 parcelles concernées est : M. FERYN Jean Yves – La Valérie – 49125 TIERCE

YH1
45 591m²
YH2
45 499m²
Commune de TIERCE 49125

3. PRESENTATION DU SCENARIO « RIVIERE DE CONTOURNEMENT »

3.1. 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. En réalité, le bras va recevoir une part importante ou la totalité du débit réservé, ce qui le rendra 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 l'ensemble des espèces cibles.
- Compatible avec le franchissement des canoës-kayaks ;
- Aménagé au niveau de son lit et de ses berges, de manière à 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 de la Sarthe ;
- Un lit de forme trapézoïdale, avec des pentes douces permettant de reconstituer une ripisylve fonctionnelle et diversifiée ;
- Une série de 5 seuils semi-noyés, répartis sur l'ensemble du linéaire du bras, permettant de rattraper une partie de la dénivelée (l'autre partie étant rattrapée par la pente du lit) et de stabiliser l'ensemble par rapport à d'éventuels phénomènes érosifs ;
- Un ouvrage de restitution en aval, 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 ;
- Des éléments connexes : déflecteur anti-embâcles pour la protection de l'ouvrage d'admission amont, passerelle pour l'accès au secteur pâturé situé entre le bras et le déversoir

3.2. Plage de fonctionnement hydrologique

Le dispositif doit impérativement être fonctionnel sur une plage de débit de la Sarthe allant de l'étiage modéré (QMNA ½) à deux fois la valeur du module, c'est-à-dire pour une plage de débit comprise entre 12,9 et 99,2 m3/s. Ces valeurs correspondent à une cote du niveau de retenue amont variant de 16.60 mNGF à un peu moins de 17.00 mNGF d'après les modélisations effectuées (voir chapitre 4.).

Pour les débits inférieurs à 12,9 m3/s, qui correspondent aux étiages sévères, le dispositif continuera d'être fonctionnel, puisque le débit réservé de 5 m3/s continuera d'y transiter.

Pour les débits supérieurs à 99,2 m3/s, la cote du niveau d'eau amont s'élève, occasionnant une alimentation plus importante de la rivière de contournement ; cette alimentation reste limitée par le

gabarit de l'ouvrage d'admission, avant débordement général au niveau du lit majeur, qui a lieu pour des débits de l'ordre de 150 m3/s sur le secteur.

3.3. 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 :

- à l'amont du dispositif : niveau normal d'exploitation de la Sarthe au niveau du seuil de la Vidange : 16.60 mNGF ;
- à l'aval du dispositif : niveau d'eau sur le bras de la Vidange en aval immédiat du seuil (aval du dispositif) : 14.80 mNGF à l'étiage QMNA ½ ; ce niveau aval augmente jusqu'à environ 16.60 mNGF pour un débit égal au double du module.

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.

3.4. Débit de fonctionnement de la rivière de contournement

A ce premier stade de conception (esquisse), la rivière de contournement est dimensionnée pour un débit de fonctionnement de 4 m3/s, soit 80 % du débit réservé. Ce débit sera garanti dans la rivière pour l'ensemble des débits appartenant à la plage de fonctionnement, ainsi que pour toutes les situations d'étiage sévère.

A noter qu'un dimensionnement pour un débit de 5 m3/s est possible, mais compte-tenu du critère de vitesse (voir paragraphe 4.4.), il implique un élargissement du gabarit de l'ordre de 25 %, et donc une plus-value du même ordre au niveau du coût d'investissement.

Le débit de fonctionnement de 4 m3/s correspond à :

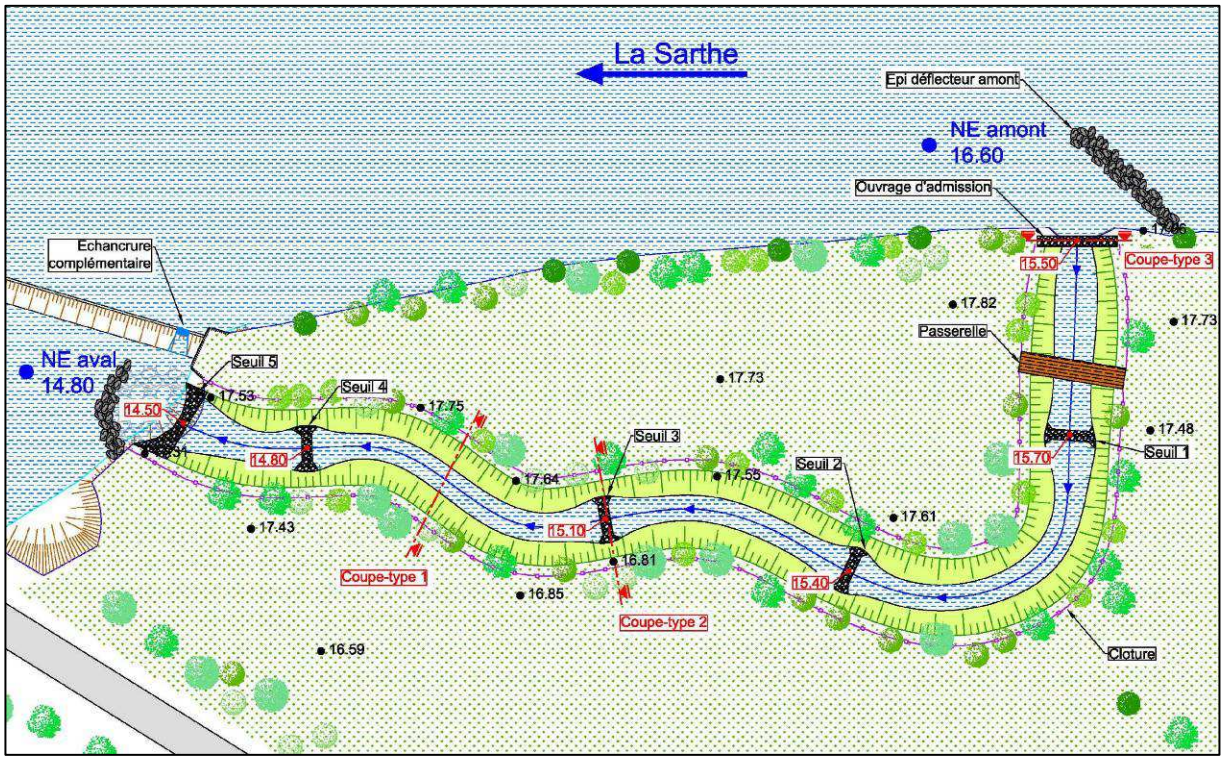
- 80 % du débit minimum total transitant par le bras de la Vidange en toute situation hydrologique (débit minimum biologique) ;
- 16 % du débit minimum total transitant par le bras de la Vidange durant les mois de février à mai (débit biologique relevé à 25 m3/s) ;
- 6 % du débit moyen mensuel maximal transitant par le bras de la Vidange, correspondant au mois de janvier.

Ces différentes proportions garantissent avec une bonne attractivité du dispositif de franchissement.

3.5. Morphométrie de la rivière de contournement

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

Paramètre	Dimensions
Longueur linéaire	225 ml
Pente moyenne	0.8 %
Cote fe admission aval	15.70 mNGF
Cote fe restitution aval	14.50 m NGF
Nombre de seuils	5
Forme des seuils	en V avec flèche de 0.25 m
Ecoulement au niveau des seuils	Partiellement noyé
Largeur du fond courant	5.0 m minimum
Largeur en gueule	14.0 m en moyenne
Forme du lit	Trapézoïdal avec fond non plat
Fruit des berges	Pentes douces 3H/1V à 5H/1V
Hauteur des berges	1.2 m maximum



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.

3.6. Aménagement du fond du lit

Le lit est préalablement terrassé selon un profil trapézoïdal, avant que les berges ne soient modelées plus finement. A ce stade de la conception, les matériaux issus du terrassement sont régalés sur une faible épaisseur au niveau du site, à proximité du talus de la RD 74 (zone d'écoulement non active en crues).

L'aménagement du fond du lit comprend :

- la re-création du fond courant ;
- la création de 5 seuils de fractionnement de la dénivelée et de stabilisation du profil en long.

Re-création du fond courant

A ce stade de la conception, la re-création du fond naturel graveleux est envisagée par apport de grave de rivière(5 à 50 mm)

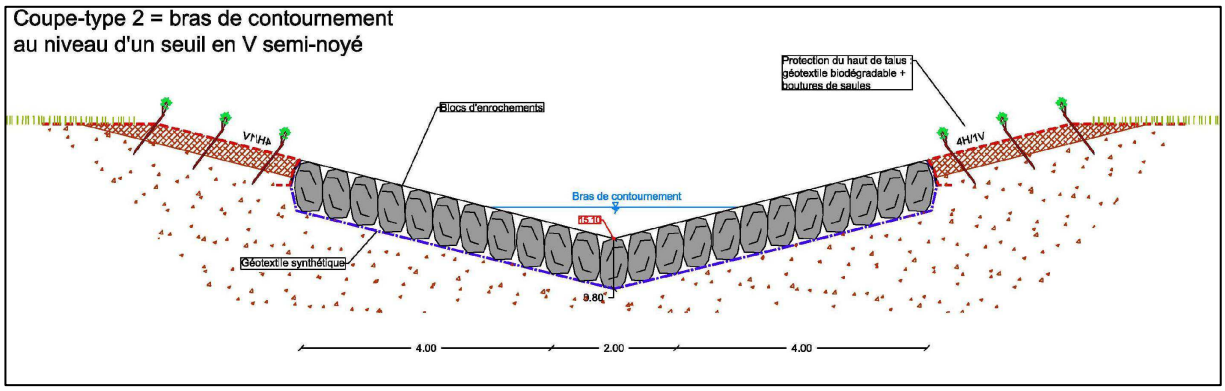
Des sondages nécessaires au niveau des terrains en place pourront confirmer ou non la présence d'horizons graveleux à 1.2 m de profondeur. La réalisation de ces sondages est comprise dans le coût du scénario (voir chapitre 6.).

Création des seuils

Les 5 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, 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, voir paragraphe 3.8.).

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 circulent dans la veine d'eau noyée ou sur les côtés, où la lame d'eau et les vitesses sont réduites (petites 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. Ils comportent chacun en partie aval une fosse parafouille de dissipation d'énergie et d'appel.

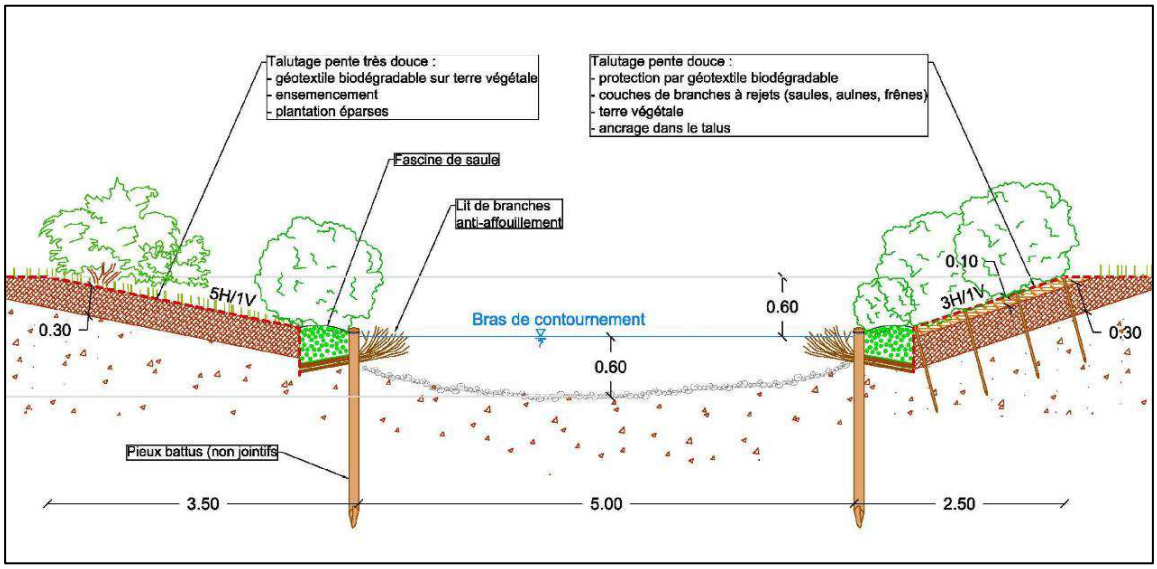


3.7. Aménagement des berges

A l'issue des terrassements en pleine masse, les berges sont remodelées finement selon des pentes douces (3H/1V) à très douces (5H/1V).

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

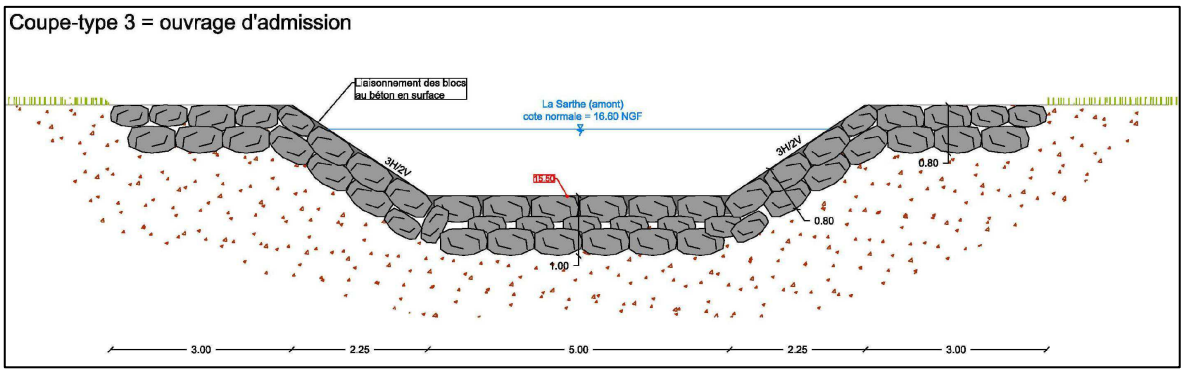
- Protection du pied de berge : mise en œuvre d'un ouvrage de type fascine ou tressage de saules, afin de parer aux problèmes érosifs ;
- Renaturation de talus à faible pente (3H/1V) : mise en œuvre de couches de branches vivantes (saules, aulne, frêne) ;
- Renaturation de talus à très faible pente (5H/1V) : mise en œuvre de plantations éparses et d'ensemencement.



3.8. Ouvrage d'admission amont

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

- Ouvrage de section trapézoïdale avec ancrages latéraux, siège d'une lame d'eau importante (de l'ordre de 1 m) en toute situation hydrologique, sans chute mais avec effet de convergeant ;
- Ouvrage en enrochements avec liaisonnement béton de la crête ;
- Création d'une bêche d'ancrage jusqu'au fond du lit de la Sarthe à l'amont.



3.9. Ouvrage de restitution aval

L'ouvrage de restitution aval est le cinquième 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.

3.10. Autres aménagements et équipements connexes

Les aménagements connexes prévus à ce stade sont :

- Un déflecteur en rive gauche de la Sarthe à l'amont immédiat de l'ouvrage d'admission, afin de parer aux embâcles ;
- Une passerelle sans radier (largeur totale 4 m) permettant d'accéder au déversoir et au bout de pâture résiduel ;
- Une clôture en haut de chaque berge de la rivière de contournement, de manière à éviter le piétinement et l'abroutissement par le bétail.
- L'aménagement d'une échancrure supplémentaire dans la crête du déversoir du bras de la Vidange, afin de faire transiter la part résiduelle du débit minimum biologique (1 m3/s dans le cas où le débit de fonctionnement de la rivière de contournement est pris égal à 4 m3/s).

4. MODELISATION HYDRAULIQUE

4.1. Objectif de la modélisation

La modélisation hydraulique du scénario 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.

4.2. Type et principes du modèle utilisé

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

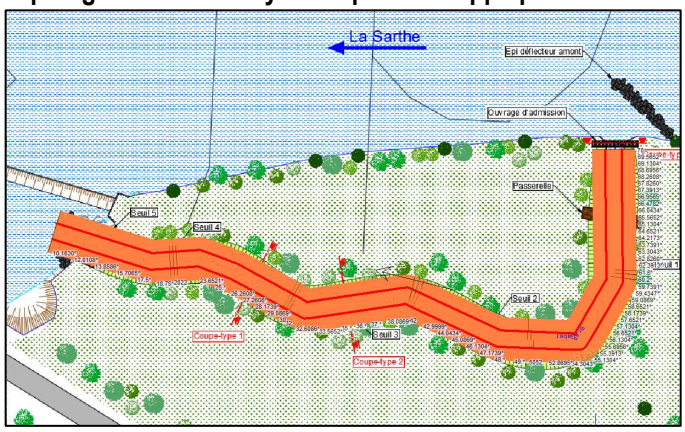
Le modèle est construit à l'aide de la topographie réalisée, de gabarits-types qui sont interpolés sur l'ensemble du linéaire et des seuils intermédiaires qui sont ajoutés dans le modèle.

Le modèle est calé à l'aide :

- de coefficients de rugosité différenciés au niveau du fond (n=0,03) et des berges (n=0.05)
- de conditions aux limites amont (cote NE = 16.60 mNGF) et aval (cote NE = 14.80 mNGF). pour le fonctionnement normal à l'étiage
- Les conditions aux limites sont modifiées pour intégrer le fonctionnement jusqu'au double du module : cote NE amont 17.00 mNGF et cote NE aval 16.60 mNGF

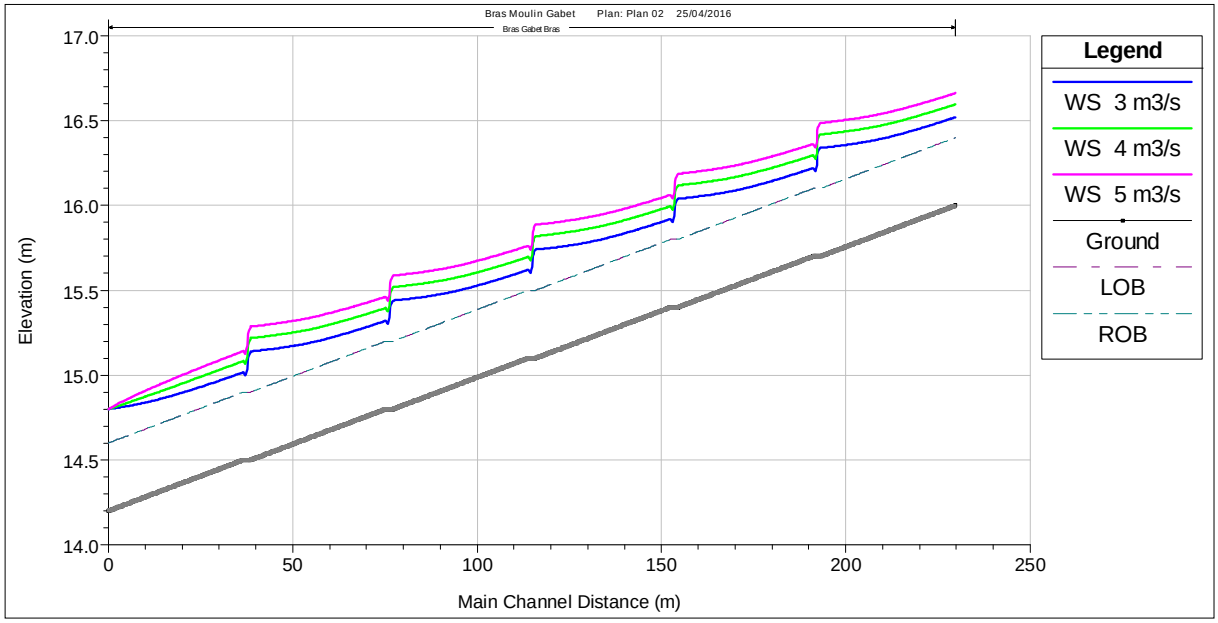
Les modélisations sont effectuées pour une gamme de débits entrants de 3, 4 et 5 m3/s.

Topologie du modèle hydraulique développé par SINBIO.



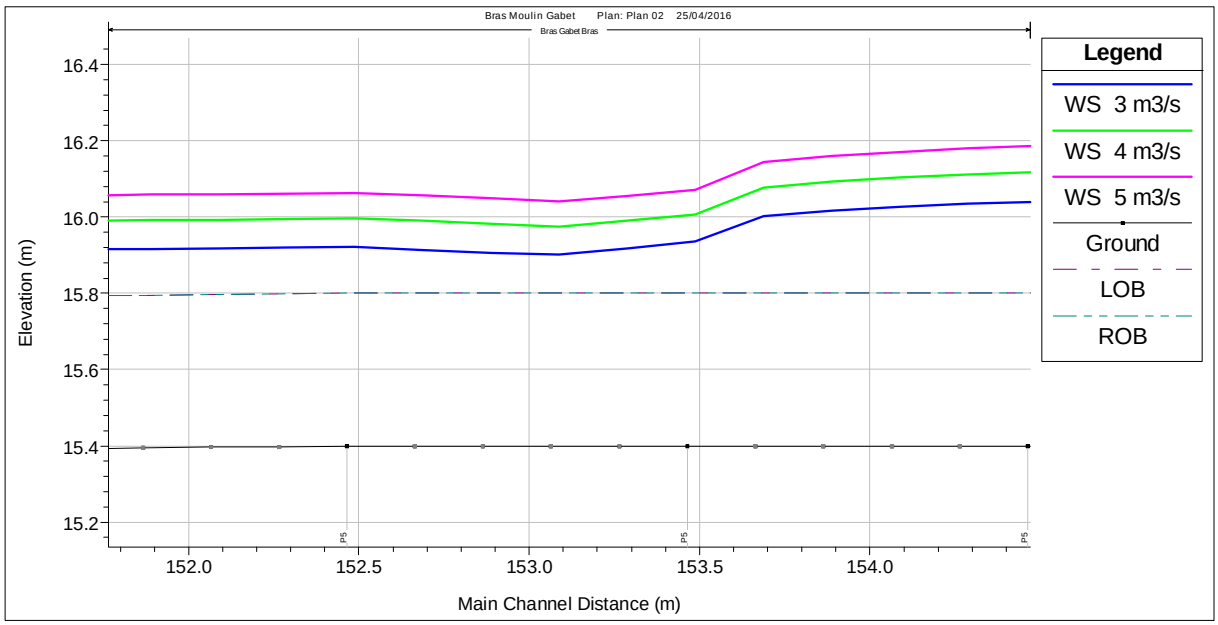
4.3. Résultats du modèle à l'étiage : lignes d'eau, vitesses

Les profils en long de la ligne d'eau sont restitués sur les graphes suivants, pour les 3 débits testés.



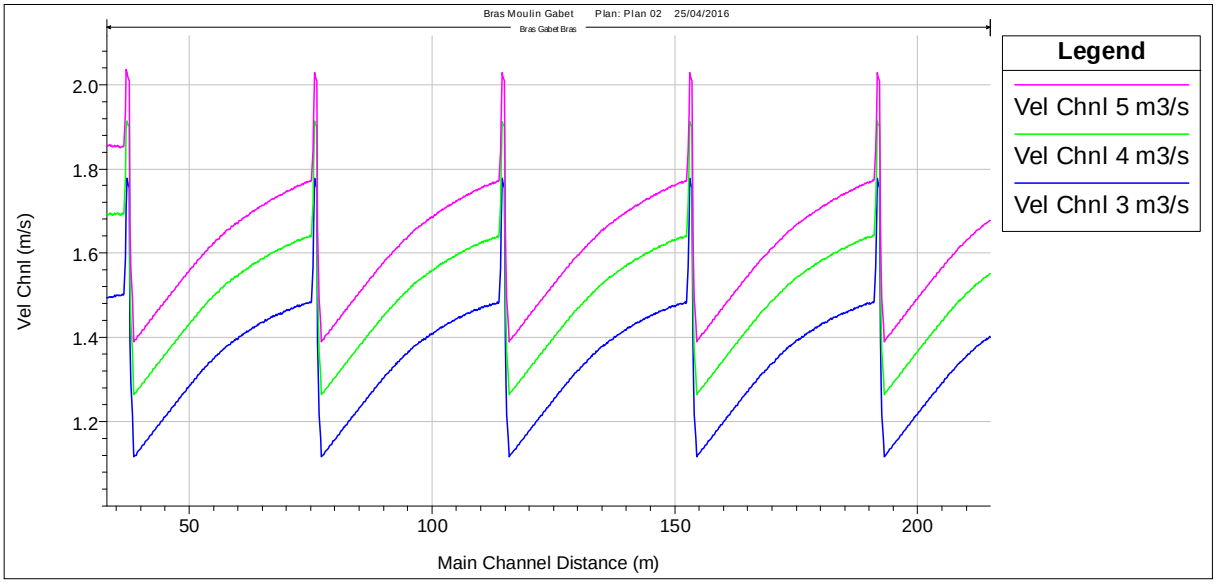
Les profils visualisent la contribution des seuils dans le rattrapage de la dénivelée globale, en complément du rattrapage via la pente du fond du lit de 0.8 %.

Zoom sur la chute au niveau d'un seuil



La dénivelée occasionnée par chaque seuil est de 0.15 m à 0.18 m ; en effet, le seuil est bien siège d'un écoulement partiellement noyé par l'aval, avec une veine d'eau conséquente (0.5 à 0.75 m) dans lesquels les poissons peuvent nager (sans avoir à sauter, ce qu'ils ne savent pas faire pour la plupart des espèces cibles). L'effet de ressaut à l'aval est visible, mais peu marqué.

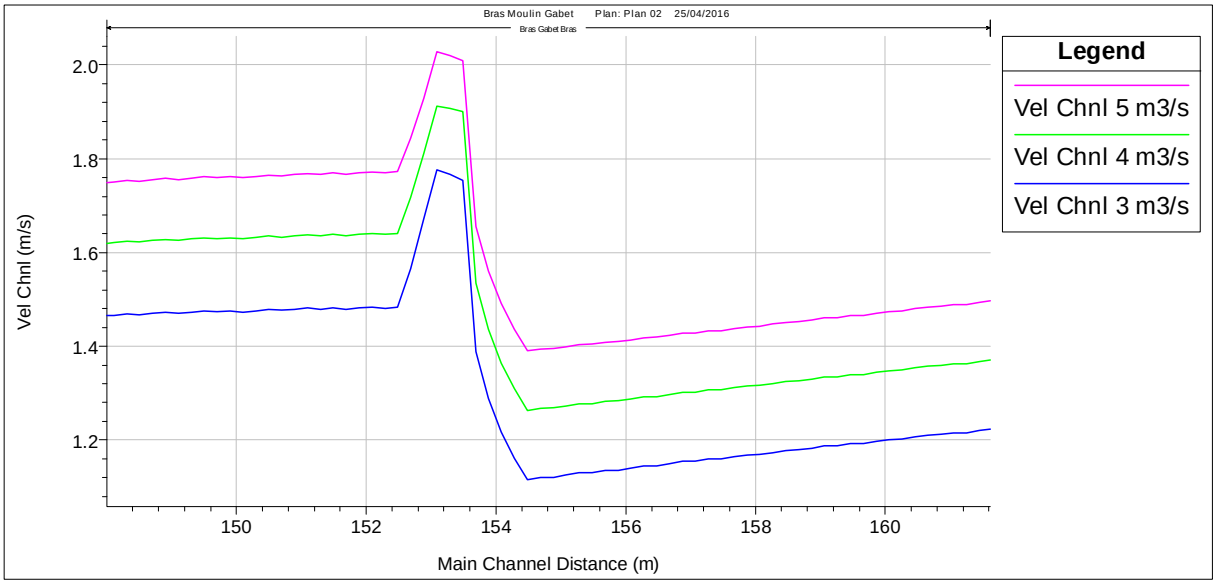
Profils de vitesses



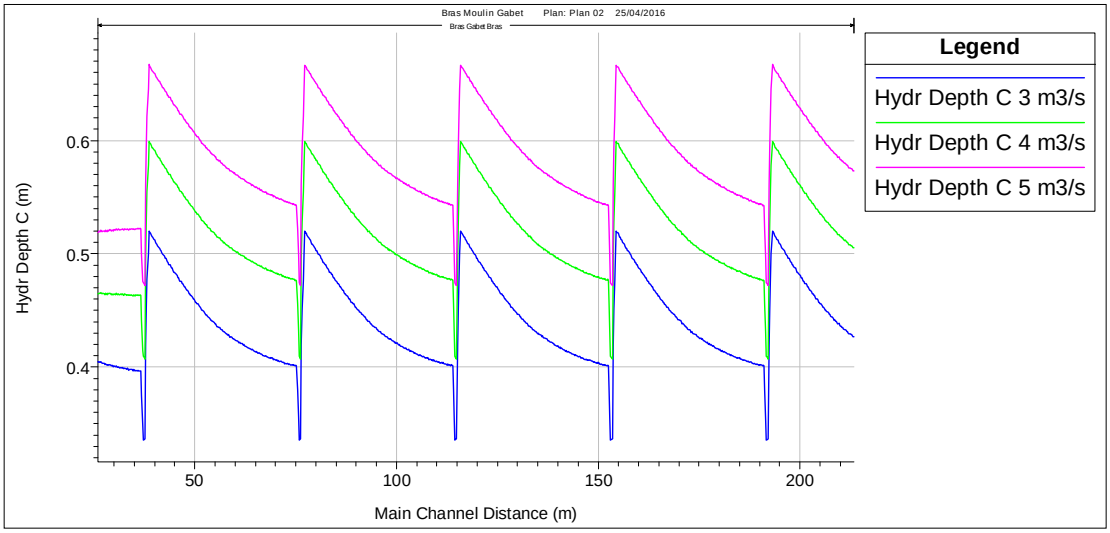
Les profils indiquent des valeurs de vitesses comprises :

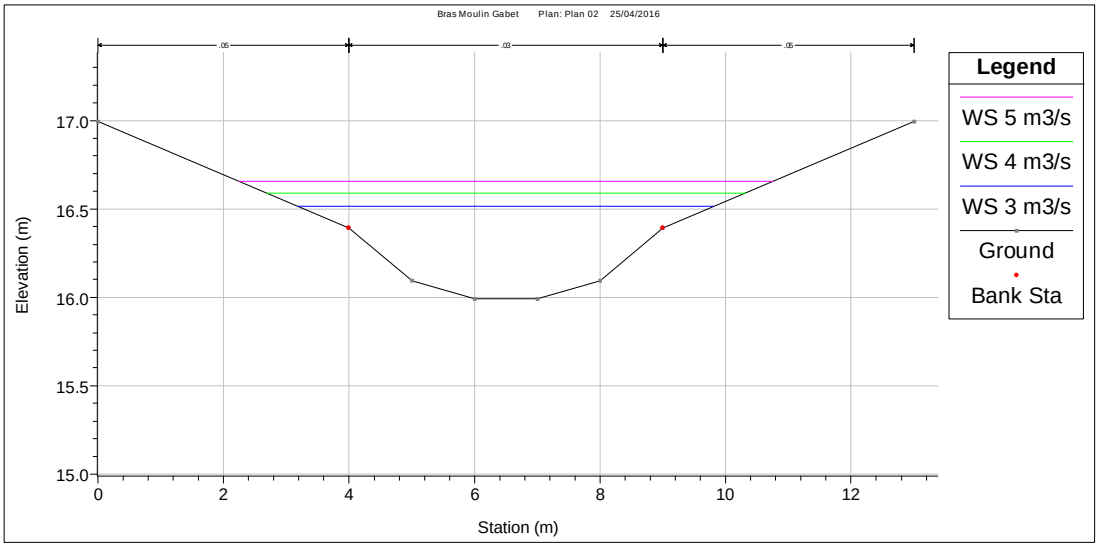
- entre 1.1 et 1.7 m/s en sections courantes
- entre 1.7 et 2.0 m/s en maxima au niveau des seuils

Zoom sur les profils de vitesses au niveau d'un seuil



Hauteurs d'eau : profil en long, profil en travers





Les profils en travers indiquent que les lames d'eau en sections courantes sont comprises entre 0.5 et 0.7 m.

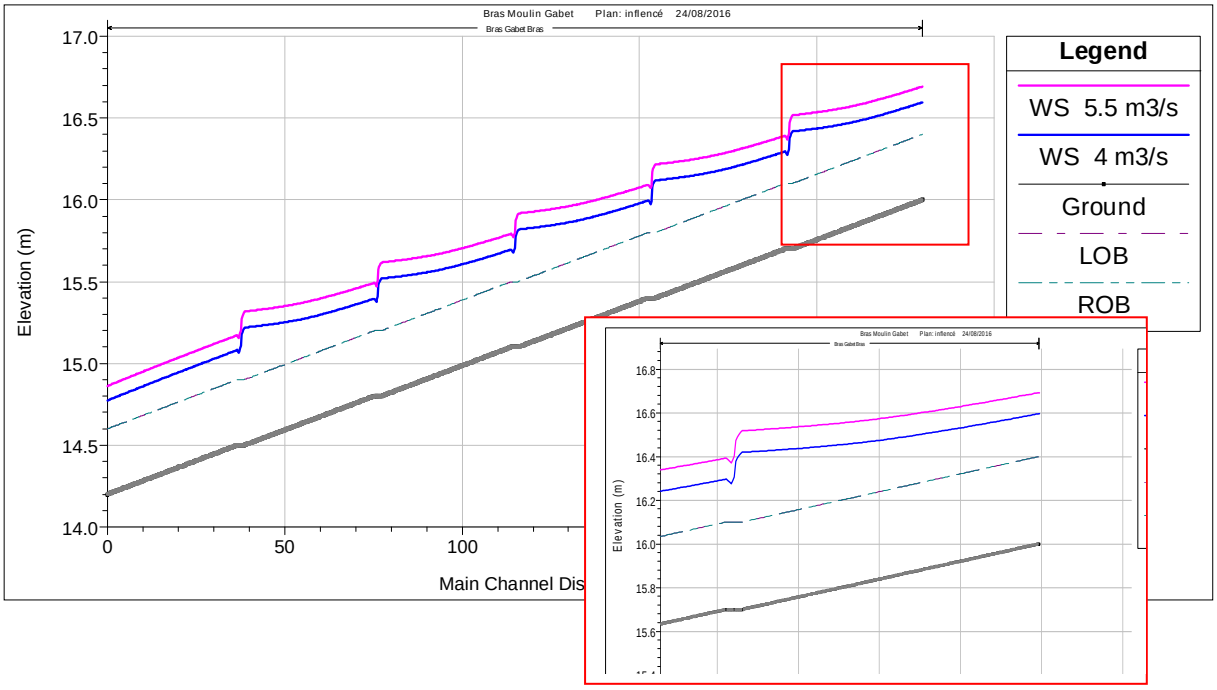
Au vu de l'ensemble de ces résultats, il est décidé à ce stade de retenir comme débit de fonctionnement la valeur de 4 m3/s. Cette valeur offre en effet le meilleur compromis entre une lame d'eau suffisamment élevée (0.6m en section courante) et des vitesses modérées (1.3 à 1.6 m/s en section courante, 1.8 m/s maximum au niveau des seuils). Si cette valeur est retenue, alors le déversoir principal devra être échancré pour laisser transiter le 1 m3/s minimal restant.

L'augmentation du débit de fonctionnement à 5 m3/s (valeur du débit minimum biologique pour le bras de la Vidange) implique nécessairement d'élargir la rivière, afin de ne pas trop augmenter les vitesses d'écoulement, à pente constante.

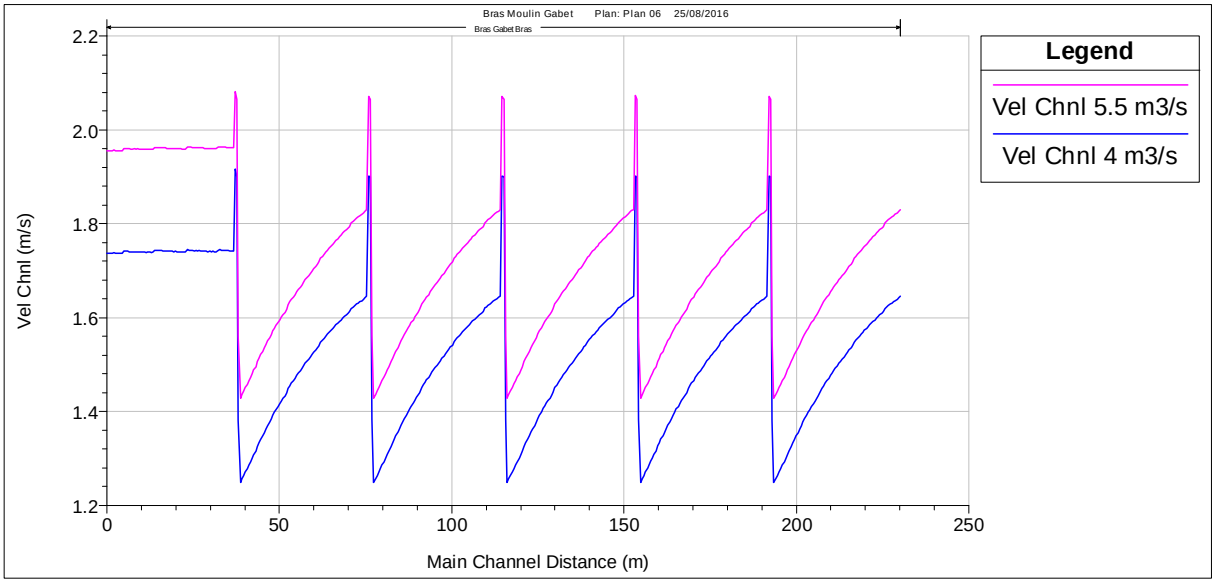
Dans ce cas, une autre solution pourrait consister à augmenter plus légèrement le gabarit, et en parallèle à augmenter légèrement la pente moyenne, ce qui reviendrait à diminuer d'autant le linéaire de la rivière de contournement.

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

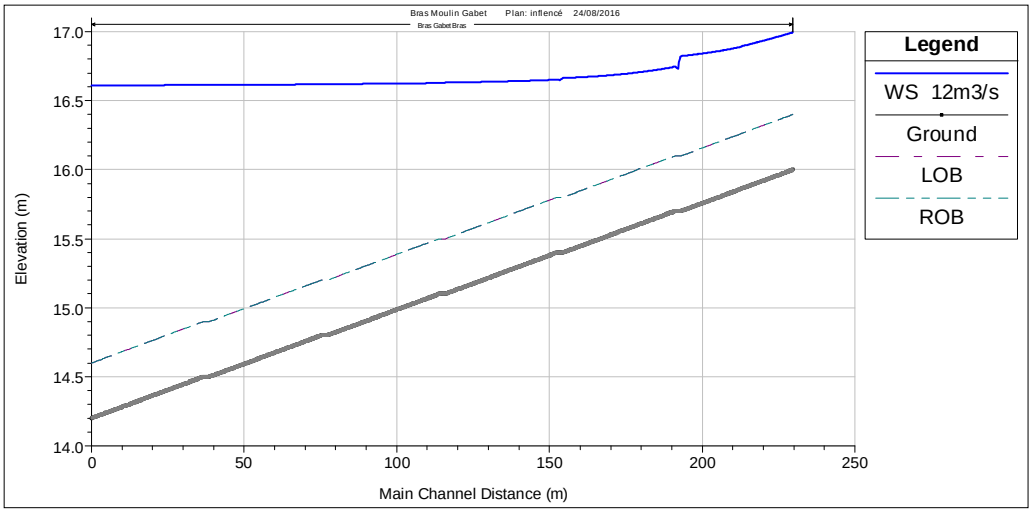
Pour des niveaux de retenue amont variant autour de la cote de 16.60mNGF, jusqu'à 16.70mNGF (marnage possible et prévu dans la future exploitation), les lignes d'eau et les débits dans la rivière de contournement sont les suivants :



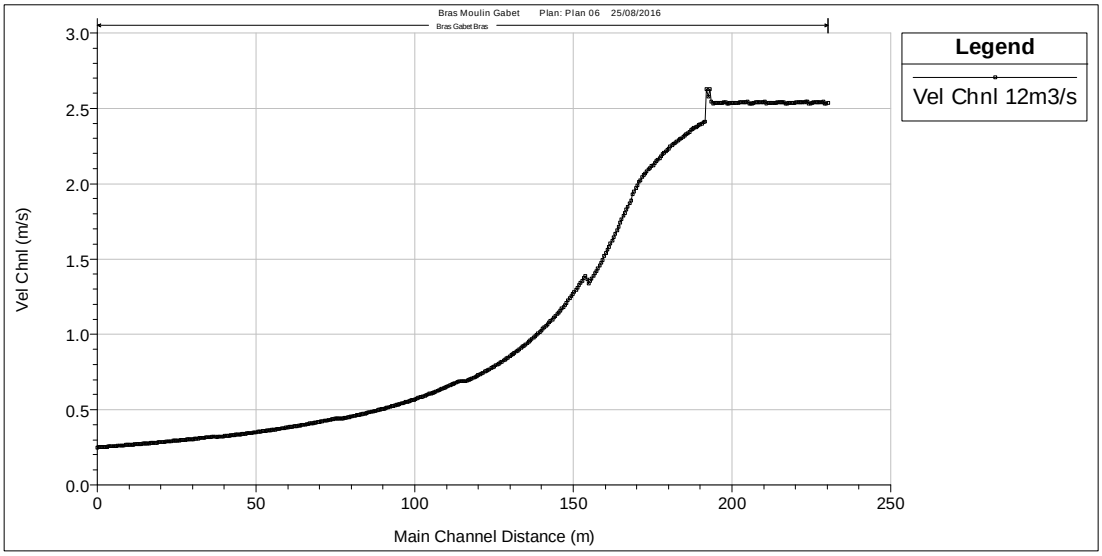
L'écoulement dans la rivière est libre (c'est-à-dire non influencé par l'aval) et les débits à l'admission sont régulés par la section d'admission ; ces débits sont respectivement de 4m3/s pour la retenue à 16.60 mNGF et de 5.5m3/s pour la retenue à 16.70 mNGF.
Les vitesses d'écoulement sont les suivantes sur l'ensemble de la rivière ; elles augmentent d'environ 0,2 m/s lorsque la retenue passe de 16.60 à 16.70 mNGF.



Concernant la configuration d'écoulement pour une cote de retenue amont de 17.00 mNGF, correspondant à un débit de la Sarthe d'environ deux fois le module, le niveau d'eau en aval du seuil de la Vidange augmente sensiblement et influe la rivière de contournement sur une bonne partie de son cours, en ennoyant l'écoulement.
Cette configuration d'écoulement a été observée le 09/02/16 : les niveaux d'eau ont été mesurés en amont et en aval du déversoir par l'EP Loire, ils étaient alors de 16.99mNGF en amont et 16.61mNGF en aval, pour un débit de 112,9 m3/s relevé à la station de St-Denis d'Anjou . La dénivelée au droit du déversoir de vidange était donc alors réduite à 38cm.
Pour de telles conditions hydrologiques, la modélisation du comportement hydraulique de la rivière de contournement donne le résultat suivant :



Pour un niveau de retenue amont égal à 17.00 mNGF, l'admission se fait de façon libre avec un débit de 12m/3. Seule la partie amont de la rivière, sur environ 60-70m, est courante avec des vitesses d'écoulement importantes, comprises entre 1.5 et 2.5 m/s ; on constate d'autre part que le seul le seuil de fond amont reste actif, générant une chute faible de 10cm. L'aval est complètement ennoyé par le niveau d'eau aval du le bras de la Vidange, et l'écoulement est fortement ralenti par la masse d'eau, avec une vitesse moyenne réduite à 0,25 m/s au niveau de la sortie de la rivière de contournement.
Les vitesses d'écoulement sont les suivantes sur l'ensemble de la rivière pour cette situation hydraulique:



4.5. Compatibilité avec les espèces piscicoles visées

L'analyse est faite sur la base d'un débit de fonctionnement égal à 4 m3/s.

Les hauteurs d'eau de l'ordre de 0.60 m en section courante au centre du lit sont compatibles avec les espèces les plus exigeantes sur ce critère, à savoir l'alose.

Les vitesses d'écoulement de 1.3 à 1.6 m/s sont elles aussi compatibles, bien que notables.

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 (sans avoir à sauter, ce qu'ils ne savent pas faire pour la plupart des espèces cibles). Les chutes de 18 cm sont aisément franchissables.

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

Espèce	Vitesse moyenne de sprint	Hauteur moyenne de saut
Saumon atlantique	5,5 m/s	1,5 m
Truite de mer	4 m/s	0,9 m
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

4.6. Compatibilité avec les techniques d'aménagement projetées

L'analyse est faite sur la base d'un débit de fonctionnement égal à 4 m3/s.

Les profils très doux des berges conduisent à des vitesses moyennes inférieures à 2 m/s, qui 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.

Le profil en travers du lit conduit à des hauteurs d'eau de l'ordre de 0.3 m au niveau des berges : cet ordre de grandeur est compatible avec la réalisation de fascines en pied.

A noter que des calculs de forces tractrices sur les berges et de mise en mouvement des matériaux du fond du lit, seront effectués lors de la phase PRO, sur les profils en long et en travers définitifs.

5. CHIFFRAGE DU SCENARIO « RIVIERE DE CONTOURNEMENT »

5.1. Coût d'investissement

N°	Intitulé	Unité	Quantité	Prix unitaire € HT	Prix total € HT
1	**Installation et repli de chantier**	**fft**	**1**	**13 000**	**13 000**
2	**Travaux préliminaires**				**21 500**
2.1	Implantation et piquetage	fft	1	1 500	1 500
2.2	Batardeaux provisoires amont et aval	fft	1	7 500	7 500
2.3	Pompage et épuisement des venues d'eau	fft	1	12 500	12 500
3	**Terrassements**				**37 710**
3.1	Décapage préalable, mise en attente	m2	4 400	1,5	6 600
3.2	Terrassements pleine masse	m3	2 760	6	16 560
3.3	Terrassements spécifiques des ouvrages	m3	300	6	1 800
3.4	Régalage sur site des excédents	m3	2 300	2	4 600
3.5	Modelage fin des berges	m2	1 630	5	8 150
4	**Ouvrage d'admission**				**23 600**
4.1	Enrochements	t	390	45	17 550
4.2	Béton de liaison	m3	22	230	5 060
4.3	Géotextile synthétique	m2	220	4,5	990
5	**Seuils intermédiaires**				**27 855**
5.1	Enrochements	t	575	45	25 875
5.2	Géotextile synthétique	m2	440	4,5	1 980
6	**Fosse d'appel aval**				**5 400**
6.1	Enrochements	t	120	45	5 400
7	**Restauration du fond graveleux**				**24 900**
7.1	Matériaux graveleux pour reconstitution du fond du lit	t	830	30	24 900
8	**Végétalisation du bras**				**70 680**
8.1	Fascine de saule en pied de berge	ml	450	60	27 000
8.2	Reprise de matériaux terreux issus du site	m3	460	3	1 380
8.3	Couches de branches à rejets	m2	620	45	27 900
8.4	Treillis biodégradabe	m2	900	7	6 300
8.5	Plantations	u	225	20	4 500
8.6	Ensemencement	m2	1 800	2	3 600
9	**Equipements**				**27 300**
9.1	Clôture pour les deux rives	ml	480	10	4 800
9.2	Passerelle type tablier sur culées, sans radier	fft	1	18 000	18 000
9.3	Epis déflecteur anti-embâcles au niveau de la Sarthe	fft	1	4 500	4 500
9.4	Adaptation de l'échancrure dans le déversoir				pm
9	**Imprévus travaux (10 %)**				**25 200**
	TOTAL TRAVAUX € HT				**277 145**
	TOTAL TRAVAUX € TTC				**332 574**

5.2. 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. Le coût d'exploitation est donc faible et peut être évalué à 2 journées – homme par an.

6. COMPARATIF MULTICRITERES DES DEUX SCENARIOS

6.1. Nature du comparatif

En vue de la comparaison du présent scénario de rivière de contournement avec le scénario originel de double rampe rugueuse en génie civil, les deux solutions sont passées au crible de plusieurs critères d'évaluation :

- L'efficacité du scénario sur le franchissement piscicole par les espèces cibles et les autres espèces
- L'incidence sur la gestion et l'exploitation des dispositifs
- L'incidence sur les usages associés : loisirs aquatiques, paysage et cadre de vie
- L'incidence sur le milieu et les habitats naturels : milieu aquatique
- L'incidence sur le milieu et les habitats naturels : milieu terrestre
- Le coût d'investissement : estimation des travaux
- Le coût de fonctionnement : gestion, maintenance, entretien courant

Chaque critère est apprécié de manière qualitative, les éléments d'appréciation étant recensés de manière synthétique.

6.2. Synthèse des solutions techniques envisageables

Critère	Scénario originel : Double rampe en génie civil à rugosités régulièrement réparties, en rive gauche du déversoir	Scénario alternatif : Rivière de contournement, en rive gauche du déversoir
Efficacité pour les espèces cibles et les autres espèces	Bonne efficacité du fait du large spectre de vitesses et hauteurs d'eau	Bonne efficacité du fait de la naturalité du dispositif et donc de la bonne variabilité de vitesses et hauteurs d'eau
Incidence sur l'exploitation et la gestion du dispositif	Dispositif vulnérable aux embâcles Faible entretien du génie civil	Dispositif moins vulnérable aux embâcles Entretien de la végétation à prévoir
Incidence sur les usages associés	Impossibilité de circulation pour le canoë-kayak	Adapté à la circulation des canoës-kayaks
Incidence sur les habitats aquatiques	Les rugosités de fonds génèrent un substrat propice à certaines espèces	La rivière constitue un bras pseudo-naturel à fort potentiel d'habitats au niveau du fond du lit et au niveau des berges végétalisées
Incidence sur les habitats terrestres	Perte d'habitats naturels au niveau de l'emprise du dispositif en génie civil sur plus de 5000 m2 (actuellement herbages en zone Natura 2000)	Perte des herbages sur une emprise de 3 680 m2 compensée par la création d'un nouveau milieu de type bras secondaire Reconstitution d'une ripisylve favorable à l'avifaune
Coût d'investissement	400 à 500 k€ TTC	332 k€ TTC
Coût d'exploitation	Faible	Faible

En conclusion, SINBIO préconise le choix du scénario alternatif, à savoir l'aménagement de la rivière de contournement en rive gauche du bras de la Vidange.

Annexe 1 :

Levés topographiques

Annexe 2 :

Plans des aménagements au niveau ESQ