



SYNDICAT DU BASSIN VERSANT DE LA VOUGE

La Cent-Fonts au Moulin aux Moines
à Saulon-la-Chapelle (21)

Etude de restauration de la continuité biologique

Rapport d'étude

Réf. A19484 / REAUCE01941-05

TLT / EGU /CM

14/10/2016



www.burgeap.fr

SYNDICAT DU BASSIN VERSANT DE LA VOUGE

La Cent-Fonts au Moulin aux Moines à Saulon-la-Chapelle (21)

Etude de restauration de la continuité biologique

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
	08/04/2016	01						
	27/05/2016	02						
	18/08/2016	03						
	30/09/2016	04						
Rapport	14/10/2016	05	T.LAMBERET		E.GUILMIN		C.MICHELOT	

Numéro de contrat / de rapport :	Réf. A19484 / REAUCE01941-054
Numéro d'affaire :	A19484
Domaine technique :	BV07
Mots clé du thésaurus	AMENAGEMENT PISCICOLE, PRISE D'EAU EN RIVIERE

BURGEAP Agence Centre-Est – site de Lyon
 19, rue de la Villette – 69425 Lyon CEDEX 03
 Tél : 04.37.91.20.50 • Fax : 04.37.91.20.69
agence.de.lyon@burgeap.fr

Réf. A19484 / REAUCE01941-05	
TLT / EGU / CM	
14/10/2016	2/41

SOMMAIRE

1.	Présentation de l'étude.....	5
1.1	Contexte de l'étude	5
1.2	Objectifs de l'étude	7
2.	Investigations et analyses préalables	8
2.1	Investigations préalables	8
2.2	Analyse hydrologique	10
2.2.1	Station hydrométrique de Saulon-la-Rue	10
2.2.2	Débits de référence au droit du Moulin aux Moines.....	10
2.2.3	Estimation de la courbe des débits classés.....	12
2.2.4	Définition des périodes favorables à la migration de la Truite fario.....	15
2.3	Réalisation du protocole ICE	18
2.4	Analyse hydraulique	22
2.4.1	Analyse de l'ouverture des vannes	22
2.4.2	Analyse hydraulique du transit du débit réservé	25
3.	Dimensionnement et conception des aménagements	29
3.1	Prise d'eau du Moulin aux Moines.....	29
3.1.1	Comparaison des différentes solutions de gestion du barrage.....	29
3.1.2	Définition du protocole de gestion des vannages.....	30
3.1.3	Description des mesures	31
3.2	Réalisation des travaux sur le chenal aval	33
3.2.1	Principes de l'aménagement.....	33
3.2.2	Description de l'aménagement.....	35
3.3	Réalisation des travaux.....	36
3.3.1	Planning des travaux	36
3.3.2	Suivi à l'issue des travaux	37
3.3.3	Aménagements complémentaires éventuels.....	37
3.4	Estimatif du coût prévisionnel des travaux	37
3.4.1	Plan de gestion des vannes de la prise d'eau	37
3.4.2	Réalisation des travaux sur le chenal aval.....	38
4.	Notice d'impact.....	39
4.1	Impact hydrauliques.....	39
4.2	Impacts sur la qualité des habitats aquatiques.....	39
4.3	Impact sur la morphologie de la Cent fonts.....	39
4.4	Impacts sur le profil en long	39
4.5	Impacts sur la continuité sédimentaire	40
4.6	Impacts sur la continuité biologique	40

FIGURES

Figure 1 : Périmètre d'étude pour la restauration de la continuité écologique de 2012-2013 (BURGEAP)	6
Figure 2 : Schéma de fonctionnement hydraulique de l'ouvrage du Moulin aux Moines	7
Figure 3 : Débits moyens mensuels de la Cent Fonts à Saulon-la-Rue (DREAL Bourgogne)	8
Figure 4 : Mesure du débit journalier le 21/01/2016 sur la Cent Fonts (DREAL Bourgogne).....	9
Figure 5 : Localisation de la station hydrométrique (Geoportail)	9
Figure 6 : Profil en long des mesures de débit de la Cent Fonts (distance en km).....	11
Figure 7 : Extrapolation de la courbe des débits classés au droit de l'ouvrage du Moulin aux Moines	13
Figure 8 : Période de fraie et type de substrat des principales espèces piscicoles en France (ONEMA 2013)	15
Figure 9 : Analyse journalière moyenne de l'évolution des débits de la Cent Fonts	17
Figure 10 : Suivi des températures de la Cent Fonts à Saulon-la-Rue en 2014 (AERMC)	18
Figure 11 : Analyse statistique des vitesses d'écoulements au droit des ouvrages	19
Figure 12 : Localisation des transects longitudinaux P1, P2 et P3	20
Figure 13 : Profil en long du passage sur le radier des vannes (P3)	20
Figure 14 : Profil en long schématisé de la chute aval au niveau du retour du tronçon court-circuité	21
Figure 15 : Evaluation de la répartition des débits en position vannes ouvertes.....	22
Figure 16 : Variation des hauteurs d'eau et des vitesses de déversement au droit des vannes selon l'évolution du débit en position de vannes ouvertes.....	24
Figure 17 : Evolution de la répartition des débits entre le bief et le tronçon court-circuité avec une ouverture de vannes de 0,10 m (débit réservé fixé à 120 l/s)	26
Figure 18 : Répartition des débits entre les vannes et le bief avec une ouverture des vannes de 0,10 m (débit réservé fixé à 120 l/s)	27
Figure 19 : Répartition à travers le bief de l'ouvrage du Moulin aux Moines selon différents scénarios de gestion (débit réservé fixé à 120 l/s).....	28
Figure 20 : Variation des hauteurs d'eau au niveau du radier des vannes selon les différentes solutions (débit réservé fixé à 120 l/s)	29
Figure 21 : Calendrier de gestion des vannes du Moulin aux Moines.....	31
Figure 22 : Projet du profil en long du chenal aval du tronçon court-circuité	33
Figure 23 : Localisation des travaux	35
Figure 24 : Mise à sec de la zone de chantier aval.....	36

TABLEAUX

Tableau 1 : Station hydrométrique de Saulon-la-Rue	10
Tableau 2 : Module et QMNA5 estimés au droit des ouvrages	11
Tableau 3 : Débits de crue estimés au droit des ouvrages	12
Tableau 4 : Fréquence de non dépassement des débits sur la Cent Fonts au niveau de la station hydrométrique	14
Tableau 5 : Classes de franchissabilité ICE au niveau des profils longitudinaux	21
Tableau 6 : Evolution des hauteurs de chute au niveau du radier des vannes en position ouverte	23
Tableau 7 : Synthèse comparative des conditions de gestion de l'ouverture du vannage en fonction de la valeur du débit réservé	27
Tableau 8 : Evaluation de la baisse du niveau dans le chenal avant la confluence	39

1. Présentation de l'étude

1.1 Contexte de l'étude

La Cent Fonts est l'un des principaux affluents de la Vouge, dont le bassin versant s'étend sur 428 km² au sud de l'agglomération dijonnaise.

La Cent Fonts correspond à l'exutoire principal de la nappe de Dijon Sud. Celle-ci présente un cours naturel sur les 5 premiers kilomètres de son parcours puis devient canalisée à partir de la commune de Saulon la Chapelle. Une étude de restauration de la continuité biologique et sédimentaire entre la Cent Fonts et la Varaude inscrite dans le cadre du Contrat de Bassin Vouge a été réalisée en 2012-2013 (BURGEAP). Les enjeux majeurs de cette étude ont concerné spécifiquement la restauration de la continuité écologique sur la partie naturelle de la Cent Fonts.

En effet, la qualité hydromorphologique de la Cent Fonts sur sa partie naturelle amont présente un intérêt biologique pertinent, notamment à travers la présence d'habitats aquatiques et de faciès d'écoulements diversifiés et une ripisylve d'assez bonne qualité. A ce titre, le tronçon naturel de la Cent Fonts, sur lequel se situe le Moulin aux Moines, est classé en liste 2. L'ouvrage de prise d'eau du Moulin aux Moines doit ainsi réglementairement faire l'objet d'un aménagement pour garantir la continuité écologique avant septembre 2018. Le Contrat de Bassin Vouge, signé le 17 juillet 2009, réaffirme par ailleurs l'enjeu majeur de continuité écologique (fiche action E4-5 concernant la continuité écologique de la Cent Fonts).

Dans ce contexte, l'étude de 2012-2013 a permis de réaliser des projets au niveau AVP de restauration de la continuité écologique au niveau de 4 ouvrages de la Cent Fonts. L'étude a visé les ouvrages suivants :

- Moulin des Etangs à Fénay ;
- Moulin Bruet à Saulon-la-Rue ;
- Moulin Bresson à Saulon la Chapelle (Moulin aux Moines) ;
- Déversoir du Pont Aqueduc des Arvaux à Noiron sous Gevrey.

Néanmoins, en 2015, un travail de concertation entre l'ONEMA, le propriétaire de l'ouvrage et le Syndicat de la Vouge (SBV) a été réalisé sur le projet retenu sur le Moulin aux Moines. Suite aux conclusions de l'étude, l'ONEMA a finalement proposé de retenir des principes de solutions techniques simplifiés concernant l'ouvrage du Moulin aux Moines, les enjeux de continuité sédimentaire et biologique étant considérés comme limités sur ce secteur.

Le présent rapport a pour vocation de définir les modifications à apporter au projet dans le cadre des conclusions du travail de concertation réalisé en 2015 et des nouvelles préconisations de l'ONEMA.



Photo 1 : Photos de l'ouvrage du Moulin aux Moines (BURGEAP, 2016)

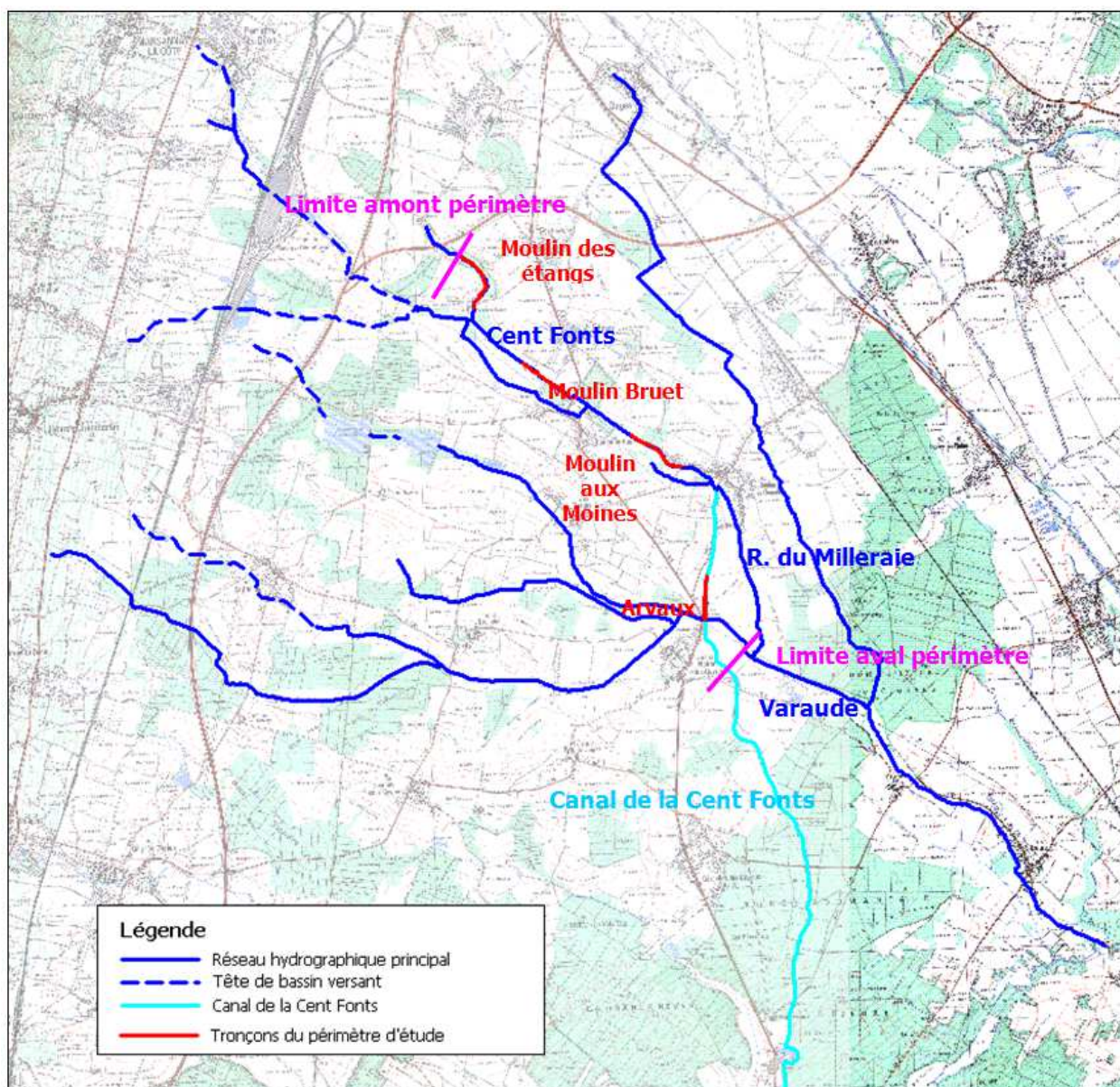


Figure 1 : Périmètre d'étude pour la restauration de la continuité écologique de 2012-2013 (BURGEAP)

1.2 Objectifs de l'étude

Les solutions techniques à étudier s'appuieront ainsi sur les principes suivants, comme défini par l'ONEMA :

- la non réalisation d'aménagement spécifique concernant la continuité sédimentaire compte-tenu de l'enjeu sédimentaire limité dans ce secteur ;
- la gestion du vannage présent pour l'amélioration des conditions hydrauliques en vue de la franchissabilité de l'ouvrage ;
- la réalisation d'une échancrure aménagée dans l'ouvrage principal (Spbres1), seuil de prise d'eau, pour la restitution d'un débit réservé ; le seuil situé en extrémité aval du tronçon court-circuité (Sbres3) devra également être aménagé au moyen d'une échancrure.

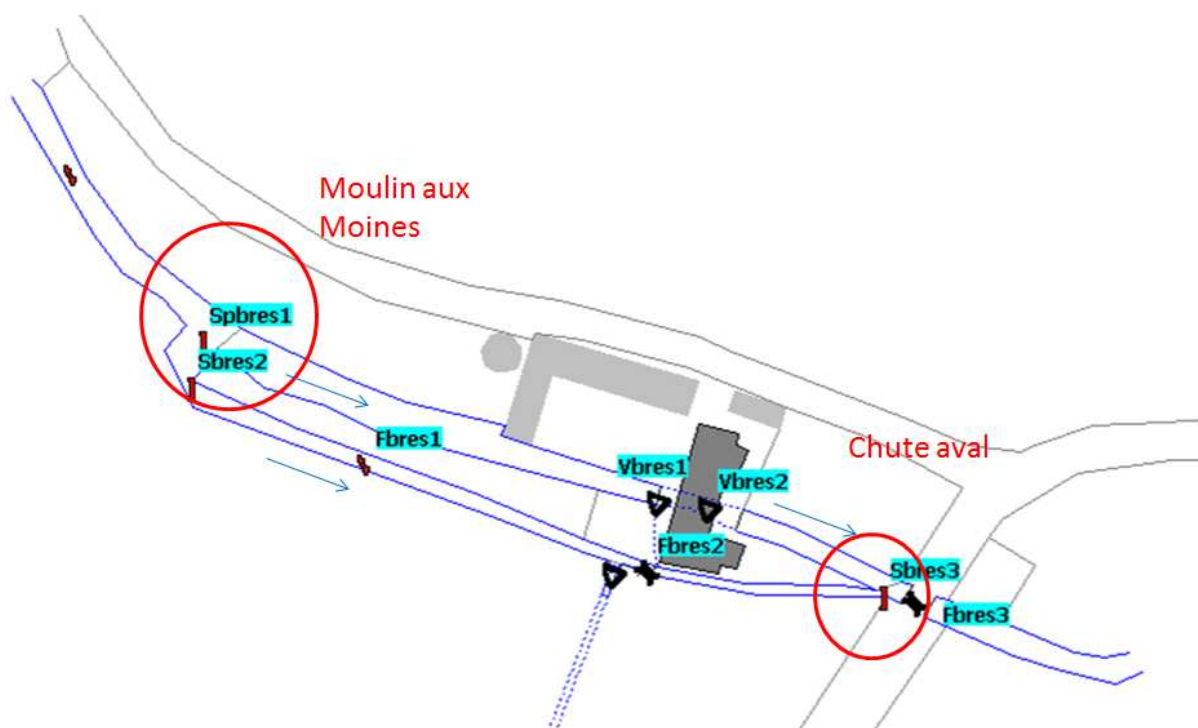


Figure 2 : Schéma de fonctionnement hydraulique de l'ouvrage du Moulin aux Moines

Les objectifs de l'étude de restauration de la continuité biologique de la Cent Fonts au droit de l'ouvrage du Moulin aux Moines sont les suivants :

- réaliser l'Avant-projet du scénario dont les principes techniques ont été fixés par l'ONEMA ;
- le respect du transit du débit réservé, fixé à 120 l/s par les services de la DDT21 et de l'ONEMA et la réalisation des incidences sur le projet pour des valeurs de débit réservé de 36 l/s et 80 l/s ;
- fournir les éléments nécessaires à la réalisation du dossier Loi sur l'Eau ;
- fournir les éléments nécessaires à la réalisation du cahier des charges des travaux.

2. Investigations et analyses préalables

2.1 Investigations préalables

Une journée de terrain a été réalisée sur le site par les équipes de BURGEAP le 21 janvier 2016. Lors de cette journée plusieurs données ont été collectées :

- Profil topographique des crêtes du radier des vannes de l'ouvrage principal (Spbres1) ;
- Profil topographique de la crête d'alimentation du bief ;
- 3 profils en long topographiques de l'ouvrage principal (protocole ICE) ;
- Relevés topographiques lâches de la chute d'eau aval (Spbres2);
- Mesures de vitesses.

La présence de la station hydrométrique de la DREAL Bourgogne (La Sansfond à Saulon-la-Rue, U1415410) qui suit en continu les débits de la Cent Fonts à Saulon-la-Rue nous permet par ailleurs de cibler finement le régime hydrologique du cours d'eau lors des investigations de terrain.

En effet, la station de suivi de la Cent Fonts se situe 640,0 m en amont de l'ouvrage de prise d'eau du Moulin aux Moines, on peut ainsi faire l'hypothèse, en l'absence d'affluents sur ce secteur, que les débits transitant au niveau de l'ouvrage sont relativement proches de ceux mesurés à la station hydrométrique, ce qui nous permet de réduire les incertitudes sur l'extrapolation des débits au droit de l'ouvrage du Moulin aux Moines.

Le débit journalier mesuré à la station lors de la journée d'investigations est de 272 l/s, soit une valeur légèrement en dessous du module (-8,1%), mais bien supérieure au QMNA5 (+70%). Les investigations de terrain correspondent donc à une situation de moyennes eaux.

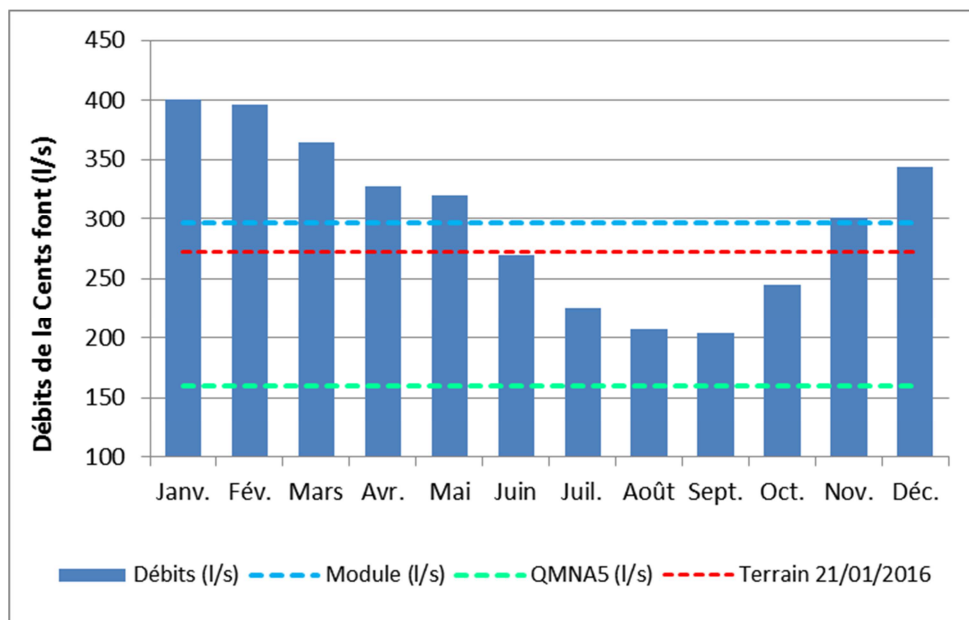


Figure 3 : Débits moyens mensuels de la Cent Fonts à Saulon-la-Rue (DREAL Bourgogne)

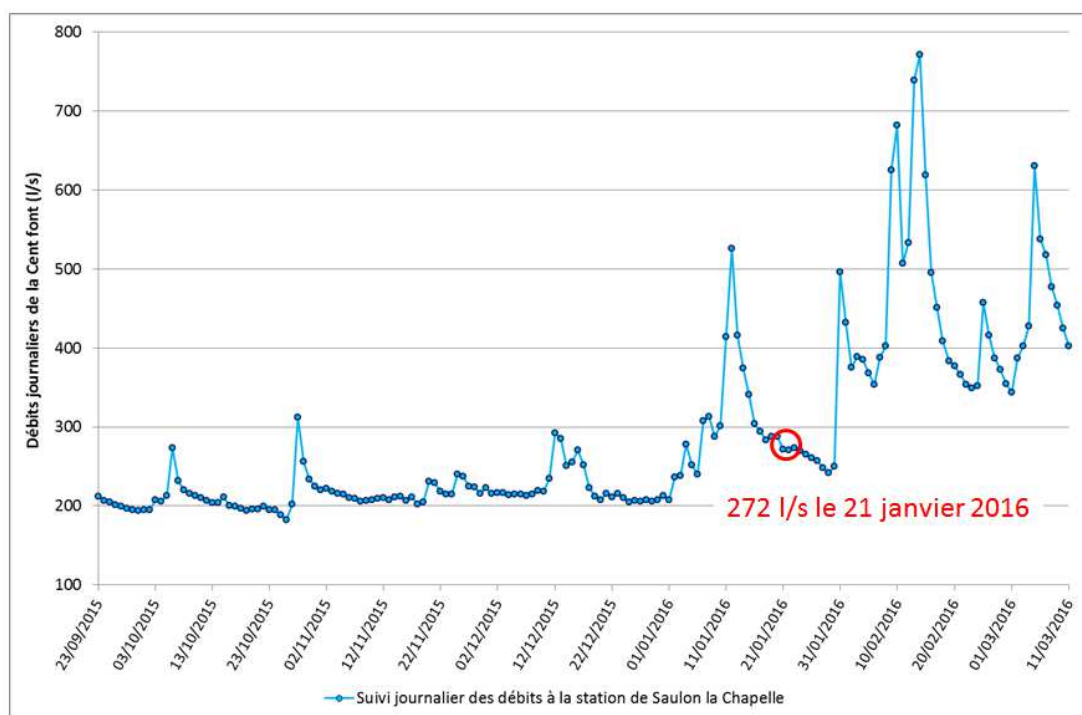


Figure 4 : Mesure du débit journalier le 21/01/2016 sur la Cent Fonts (DREAL Bourgogne)

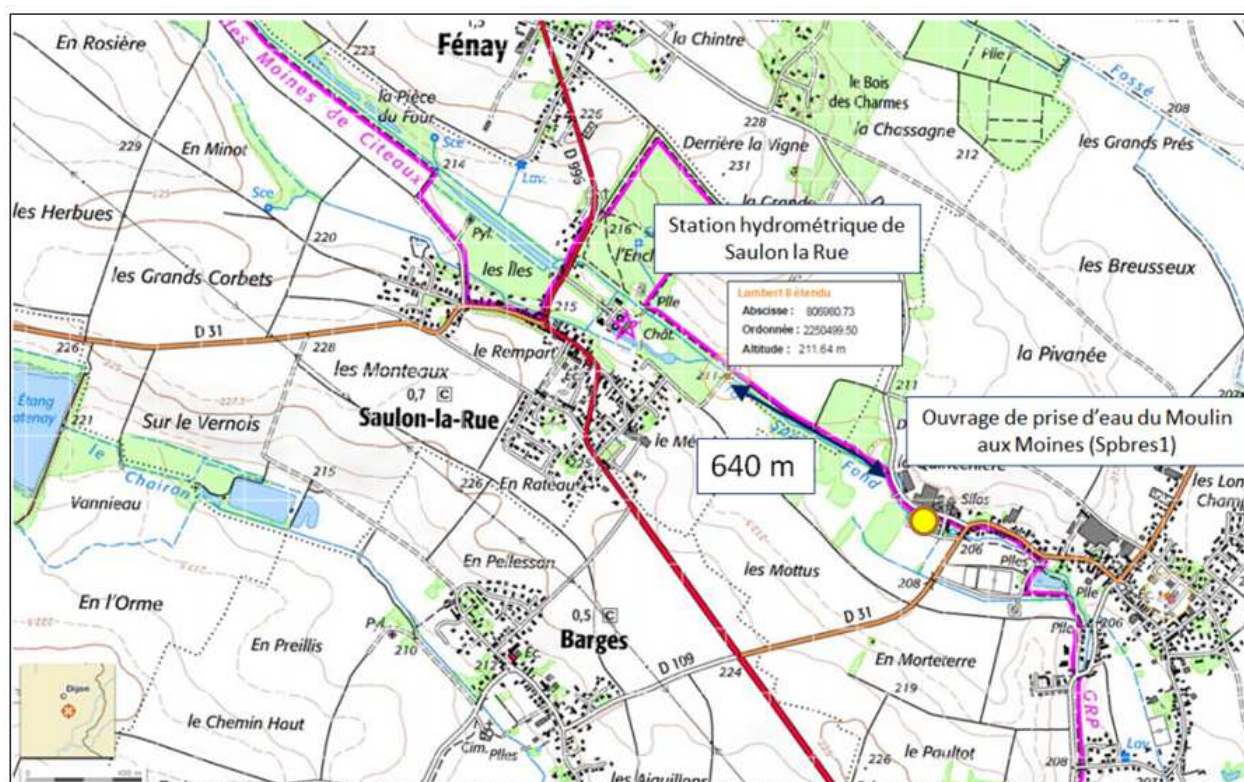


Figure 5 : Localisation de la station hydrométrique (Geoportail)

2.2 Analyse hydrologique

L'analyse hydrologique doit ici nous permettre, à partir de la chronique des débits à la station de Saulon-la-Rue, de déterminer plusieurs points clés de l'étude :

- Débits de références au niveau du seuil ;
- Courbe des débits classés et fréquences des débits caractéristiques (Q50, Q2, QMNA5, Qm, débit réservé, débit minimum biologique, etc.) ;
- Période de migrations de la truite.

2.2.1 Station hydrométrique de Saulon-la-Rue

La seule station hydrométrique sur la Cent Fonts se situe à Saulon-la-Rue et présente les caractéristiques suivantes.

Tableau 1 : Station hydrométrique de Saulon-la-Rue

Station DREAL	Code	Bassin versant	Durée de fonctionnement
La Cent Fonts	U1415410	51,5 km ²	1981-2016 (34 ans)

Les débits de crue instantanés de référence au droit de la station sont les suivants :

Occurrence du débit	Valeur du débit (QIX)
QMNA5	160 l/s (2% du Module)
Module	296 l/s
Q2	1,2 m ³ /s
Q5	1,9 m ³ /s
Q10	2,4 m ³ /s

Comme cité dans le paragraphe précédent, nous faisons ici l'hypothèse que les débits restent relativement proches entre la station de Saulon-la-Rue et au droit de l'ouvrage de prise d'eau du Moulin aux Moines. On constate que le QMNA5 représente 54% du Module (Ce rapport étant en moyenne de 10% à 20% pour les cours d'eau français), ce qui traduit la pérennité et la régularité de la ressource de la Cent Fonts qui permet d'assurer une continuité du débit lors des périodes estivales.

2.2.2 Débits de référence au droit du Moulin aux Moines

Les débits de référence moyens et d'étiage (module et QMNA5) ont été estimés à partir des débits connus au droit de la station hydrométrique et des mesures de jaugeage réalisées lors des investigations de terrain en 2012.

Les résultats des jaugeages réalisés fin janvier 2012 ont été superposés aux jaugeages réalisés en septembre 2007 dans le cadre de l'étude hydraulique de la Cent Fonts (BURGEAP, 2007). La Cent Fonts était en situation d'étiage assez sévère en septembre 2007 alors que l'hydrologie était proche du module fin janvier 2012.

Des jaugeages complémentaires ont été réalisés par le Syndicat du Bassin versant de la Vouge durant l'automne 2012 au niveau du pont Neuf en amont du moulin des Etangs (91 l/s mesurés le 4 octobre 2012) alors que la station de Saulon la Rue mesurait 200 l/s).

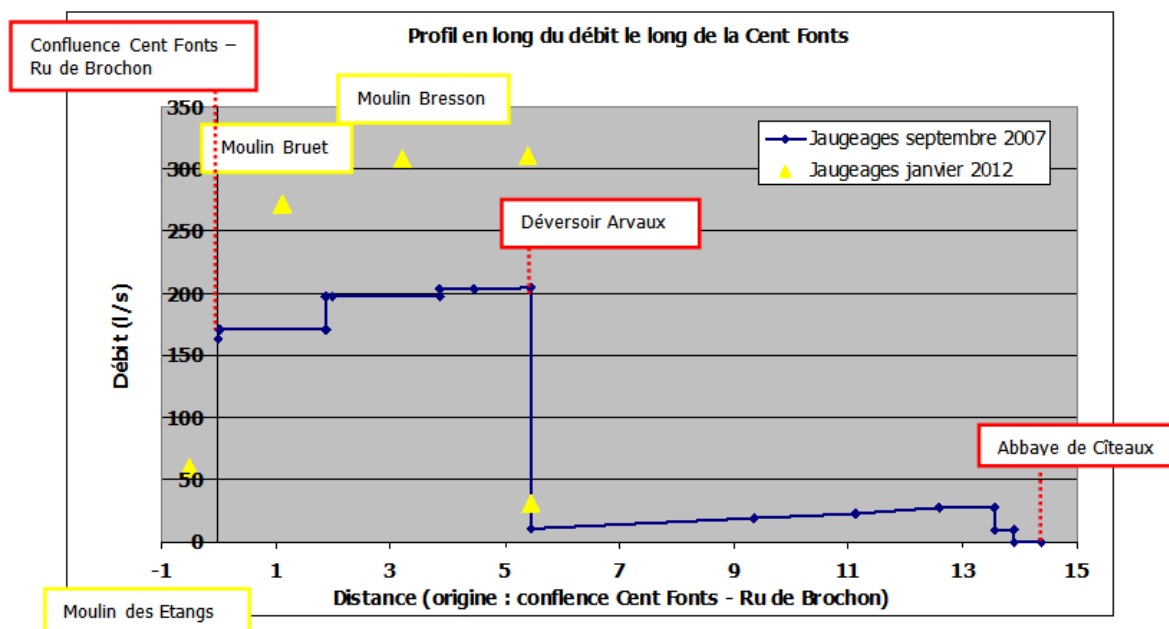


Figure 6 : Profil en long des mesures de débit de la Cent Fonts (distance en km)

Tableau 2 : Module et QMNA5 estimés au droit des ouvrages

Secteur	Situation	Surface (km ²)	Module (l/s)	QMNA5 (l/s)
Moulin aux Moines	Amont prise d'eau sur la Cent Fonts	54,1	360	190

Concernant les débits de crue, une modélisation hydrologique a été menée dans le cadre de l'étude de lutte contre les inondations et de ralentissement de la dynamique d'envasement (BURGEAP, 2007) et a permis l'estimation des débits de crue en différents points du bassin versant de la Cent Fonts et de la Varaude.

Les débits de crue au droit de l'ouvrage étudié peuvent être obtenus en appliquant la formule de transposition :

$$\frac{Q2}{Q1} = \left(\frac{S2}{S1} \right)^n$$

Avec :

- Q1 : débit au point 1 ;
- Q2 : débit au point 2 (en amont du point 1) ;
- S1 : superficie du bassin versant au point 1 ;
- S2 : superficie du bassin versant au point 2 ;

- n : coefficient d'amortissement (pris égale à 0,67 : calé à partir des valeurs du Tableau 1 et du Tableau 2).

Tableau 3 : Débits de crue estimés au droit des ouvrages

Secteur	Situation	Surface (km ²)	Q2	Q10	Q20	Q50	Q100
Moulin aux Moines	Amont prise d'eau sur la Cent Fonts	54,1	2,45	4,9	8,8	13,7	17,6

Remarque :

On constate, malgré leur proximité géographique, une différence notable pour les valeurs de Q2 (+51%) et Q10 (+48%) au niveau des extrapolations des débits de crue de pointe au niveau de l'ouvrage et les débits analysés au niveau de la station de Saulon-la-Rue. Cette différence s'explique par le fait que les valeurs issues de la station proviennent d'un traitement statistique sur 29 années de suivi tandis que les valeurs de l'étude BURGEAP de 2007 proviennent de méthodes empiriques et/ou déterministes basées sur l'analyse entre précipitations et caractéristiques physiques du bassin versant (CRUPEDIX, GRADEX, Méthode rationnelle, etc.).

En effet, l'approche de 2007 ayant pour objectif la lutte contre les inondations, la caractérisation des bassins versant a été nécessaire et a ainsi conditionné des valeurs théoriques plus élevées que les observations réalisées à la station de mesure, ce qui reste cohérent avec une approche pénalisante de gestion des risques inondations.

Concernant les conditions de basses et moyennes eaux, des jaugeages récents du Syndicat de la Vouge ont démontré un écart faible entre les débits mesurés à la station de jaugeage et au droit du Moulin dans des conditions de moyennes eaux. Ainsi, dans le contexte du fonctionnement hydrogéologique de la Cent fonts en basses et moyennes eaux, les valeurs estimées au Tableau 2 peuvent être considérées comme surestimées.

Ainsi, dans le cadre de la présente étude, les résultats de l'étude de 2007 sont donnés à titre indicatif, notre analyse se basera exclusivement sur les données de suivi à la station de mesure, traduisant davantage les débits transitant quotidiennement au droit de la station, de manière cohérente avec l'influence du régime hydrologique sur les conditions de franchissement piscicole et avec les mesures récentes du syndicat de la Vouge.

2.2.3 Estimation de la courbe des débits classés

D'après les données de débits journaliers enregistrés à la station de Saulon-la-Rue entre 1981 et 2016, nous avons déterminé la courbe des débits classés de la Cent Fonts au droit de l'ouvrage. Nous considérons en effet ici, que les fréquences d'apparition des débits sont similaires à celle de la station, étant donné les faibles différences des superficies drainées.

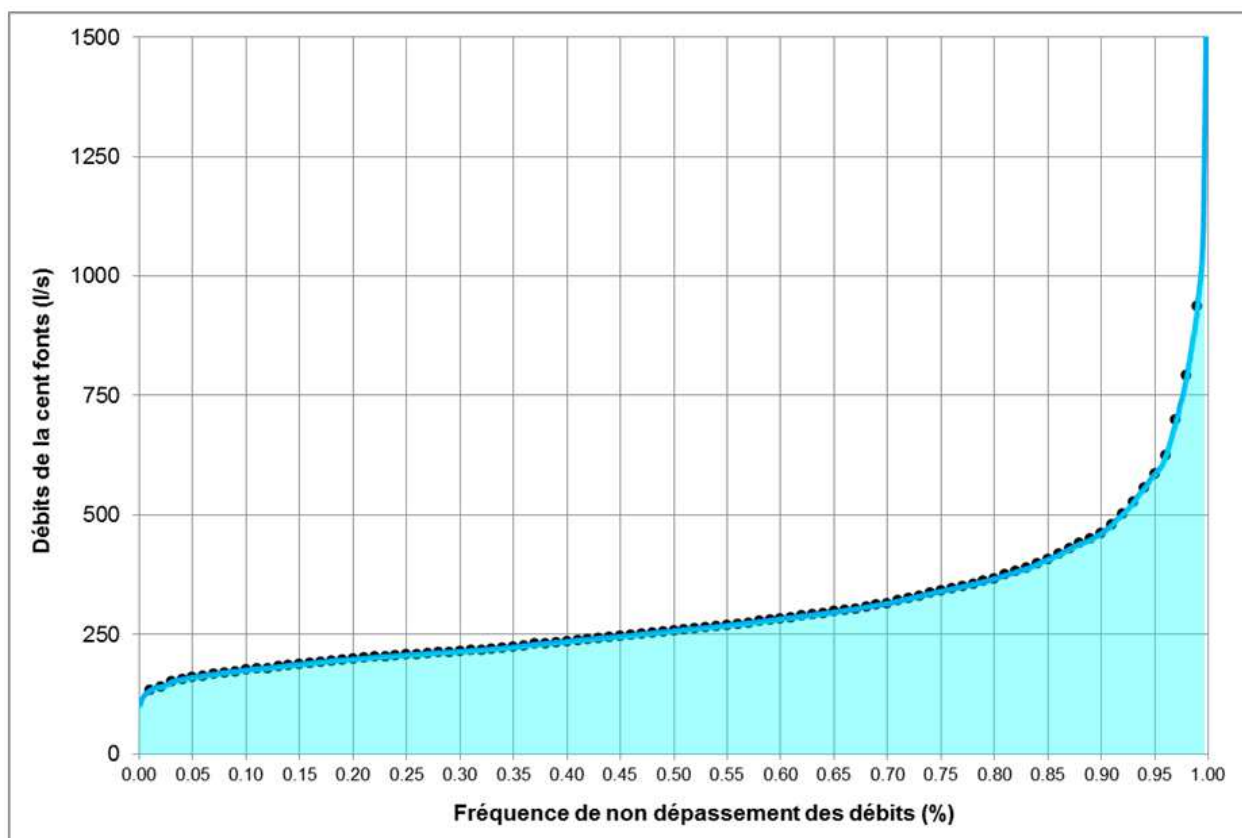


Figure 7 : Extrapolation de la courbe des débits classés au droit de l'ouvrage du Moulin aux Moines

Tableau 4 : Fréquence de non dépassement des débits sur la Cent Fonts au niveau de la station hydrométrique

Centile t	Débit Qt (l/s)	Temps annuel de dépassement (jours)
Q ₁₀	175	329
Q ₂₅	207	274
Q ₅₀	257	183
Q ₇₅	339	91
Q ₉₀	461	37

Q _{REF}	Débit Station (l/s)	Débit au droit de l'ouvrage (l/s)	Qt	Temps annuel de dépassement (jours)
QMNA5	160	190	Q ₅	347
Q _m	296	360	Q ₆₅	128
Q ₂	1 200	/	Q ₉₉	< 2
Q _r	/	36	Q ₁	> 361
	/	80	Q ₁	> 361
	/	120	Q ₁	> 361
	/	170	Q ₈	336

Q_r = débit réservé au droit du Moulin aux Moines fixé par les services de la DDT21 et par l'ONEMA

L'analyse de la courbe des débits classés nous permet de faire plusieurs constats :

- Le débit réservé théorique de l'ouvrage estimé, par exemple, à 120 l/s, se caractérise par une fréquence de non dépassement inférieure à 1%, ce qui se traduit par le fait que les débits de la Cent Fonts, du fait d'une alimentation pérenne, se situent toujours au-dessus de la valeur du débit réservé, hormis condition exceptionnelle (pompage artificiel, étiage extraordinaire, etc.) ;
- On constate que les débits de la Cent Fonts sont très stables avec une plage de variation de 133 l/s entre le Q₂₅ et le Q₇₅, et une variation de 287 l/s entre le Q₁₀ et le Q₉₀, ce qui traduit des écarts moyens assez faibles entre les périodes d'étiages et de crue ;
- La fréquence de 99% de non dépassement du débit d'occurrence biennale est cohérente avec les données courantes propres au régime hydrologique du cours d'eau. L'approche hydrologique statistique estime le Q₂ proche du Q₉₉.

2.2.4 Définition des périodes favorables à la migration de la Truite fario

Les recherches scientifiques sur le cycle de reproduction de la Truite fario ont démontré l'importance de plusieurs facteurs environnementaux sur le déclenchement des périodes de fraie et de migration¹, dont les principaux sont le régime hydrologique (niveau et vitesse des écoulements), la température de l'eau et le photopériodisme².

La littérature donne une période moyenne favorable à la reproduction de la truite de mi-octobre à février avec la montée et le refroidissement des eaux.

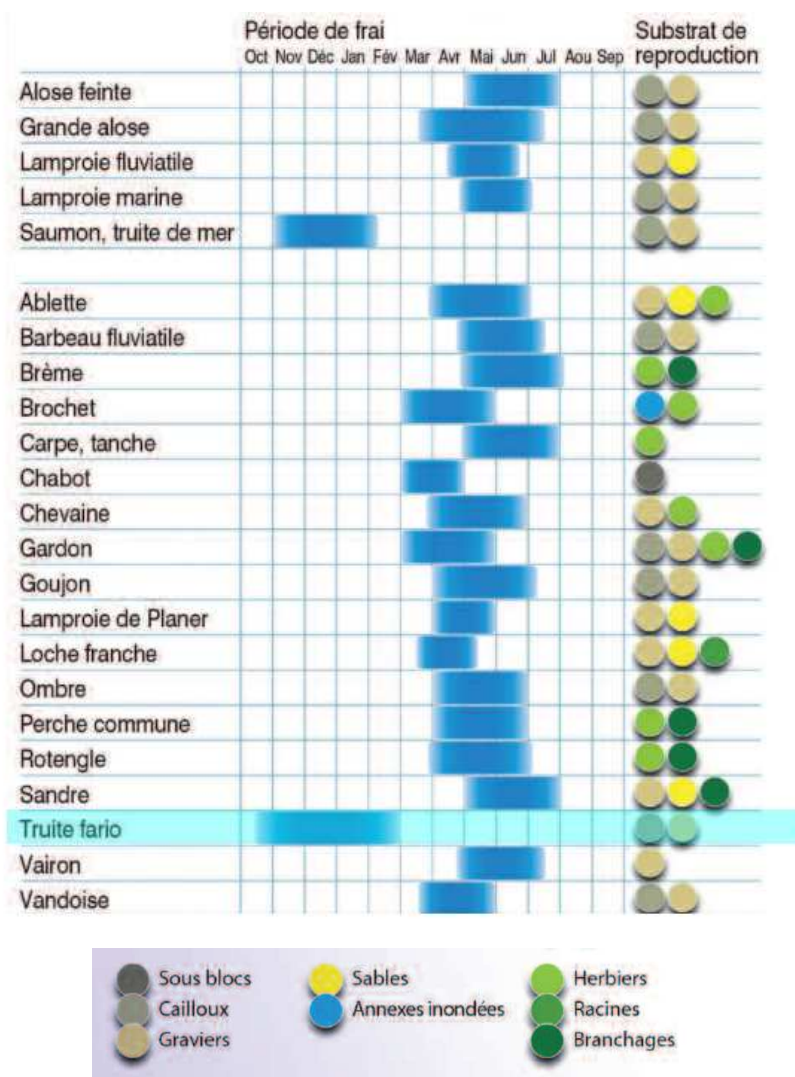


Figure 8 : Période de fraie et type de substrat des principales espèces piscicoles en France (ONEMA³ 2013)

¹ MUNRO et BALMAN, 1956 ; STUART, 1957 ; HUET, 1961 ; LIBOSVARSKY, 1976 ; HUET et TIMMERMANS, 1979

² Le photopériodisme est le rapport entre la durée du jour et de la nuit. Ce paramètre est un facteur écologique qui joue un rôle prépondérant sur les végétaux et les animaux.

³ Evaluer le franchissement piscicole des obstacles par les poissons – Principes et méthodes ONEMA / ICE ONEMA 2014

Néanmoins, plusieurs articles scientifiques mettent en avant l'importance de facteurs clés dans le déclenchement de la migration des Truites fario⁴, notamment l'augmentation des débits et des niveaux d'eau et le refroidissement de l'eau.

Actuellement, par conventionnement les propriétaires ont acté l'ouverture totale de leur vanne du 01/12 au 31/03, soit 4 mois. Dans ce contexte, nous proposons deux scénarios d'ouverture de vanne :

- Un scénario d'ouverture sur une période optimale pour la continuité biologique propre à la migration des Truites fario sur une durée de 4,5 mois. La durée de cette période serait ainsi cohérente avec le mode de gestion actuelle ;
- Un scénario d'ouverture complète des vannes sur une période nécessaire pour la continuité biologique sur une durée de 2,5 mois propre au pic de migration des Truite fario. L'objectif de ce scénario est de proposer une ouverture complète sur la période nécessaire et un mode de gestion modulé sur le reste de la période optimale assurant un compromis entre continuité biologique et alimentation du bief.

D'un point de vue scientifique, la définition précise de ce type de plage demanderait un suivi biologique exhaustif des truites fario (pêches, comptage, radiopistage, etc.) pendant les périodes automnales et hivernales. Dans le contexte de l'étude, nous nous baserons sur les données existantes, à savoir les chroniques de débits de la station hydrométrique de Saulon-la-Rue (DREAL) et le suivi des températures mensuelles de 2014 à la station de suivi RCS de Saulon-la-Rue (AERMC).

Afin d'analyser l'influence du régime hydrologique sur la migration, nous analysons les débits moyens journaliers de la Cent Fonts et les variations moyennes journalières à l'échelle d'une année, à partir des chroniques de débits journaliers de janvier 1981 à mars 2016.

⁴ M.OVIDIO, Cycle annuel d'activité de la truite commune adulte : Etude par radiopistage dans un cours d'eau de l'Ardenne belge, 1998, Université de Liège.

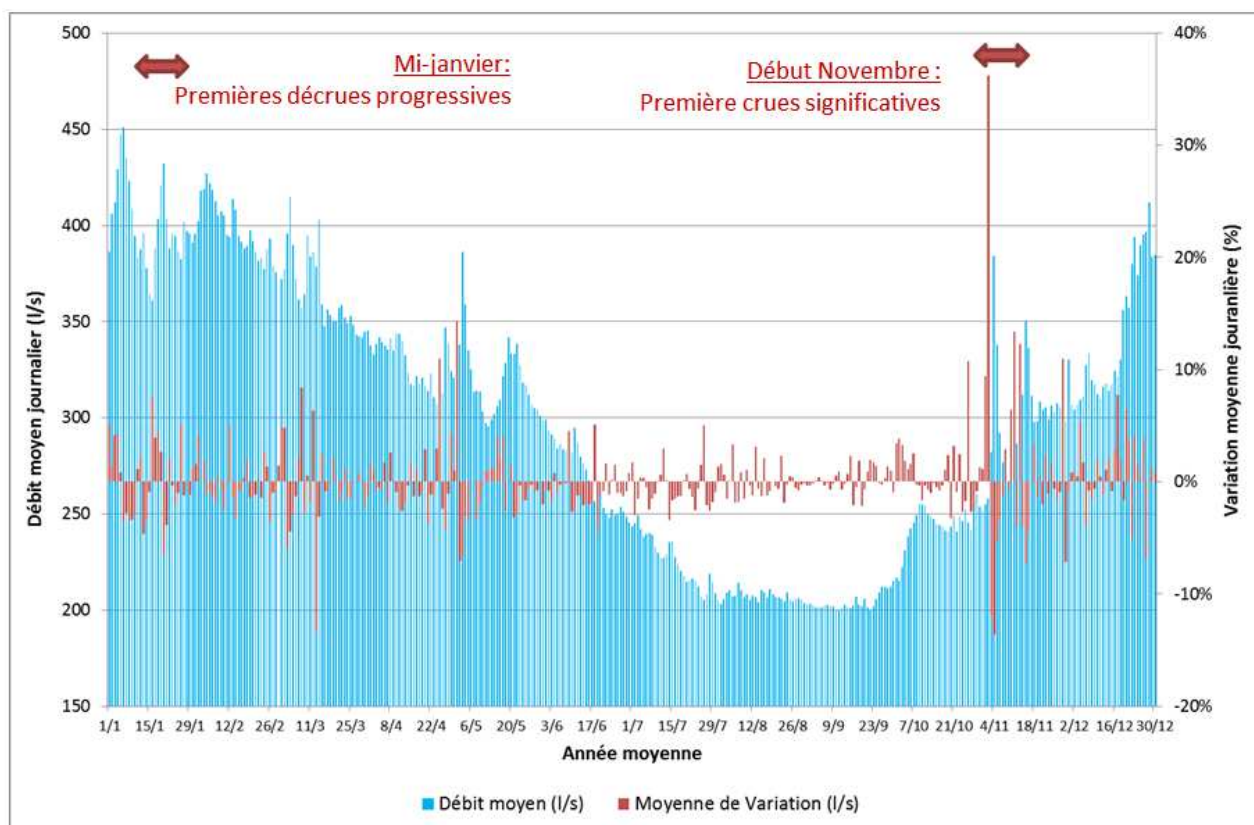


Figure 9 : Analyse journalière moyenne de l'évolution des débits de la Cent Fonts

Cette analyse nous permet d'identifier le début du mois de novembre comme le premier départ statistique significatif de montées des eaux (augmentation statistique des débits) et la mi-janvier comme la fin de la stabilisation des hauts débits avec un départ de diminution progressive des débits vers début février.

Ainsi, en termes de montaison, **on fixe la période du 01/11 au 15/01 comme période nécessaire d'ouverture des vannes de l'ouvrage**, assurant un franchissement fonctionnel à la montaison, le reste de la période hivernale ciblant plus particulièrement les étapes d'éclosion et de dévalaison des juvéniles. Concernant la période optimale, nous définissons **la période optimale du 15/10 au 28/02**, intégrant l'apparition potentielle des premières crues dès la mi-octobre et la réduction des hautes eaux jusqu'à fin février (extensible à mi-mars) afin d'assurer le passage des débits supérieurs à Q_{75} .

Par ailleurs, dans le cadre des 2 scénarios, les vannes de l'ouvrage seront adaptées de telle manière à assurer une dévalaison fonctionnelle en période optimale et un transit du débit réservé tout au long de l'année.

L'analyse du suivi des températures en 2014 (AERMC) semble cohérent avec la sélection des périodes optimales et nécessaires avec une période de refroidissement entre fin octobre et fin novembre ($-3,1^{\circ}\text{C}$) et une période de réchauffement entre mi-février et mi-mars ($+4,7^{\circ}\text{C}$).

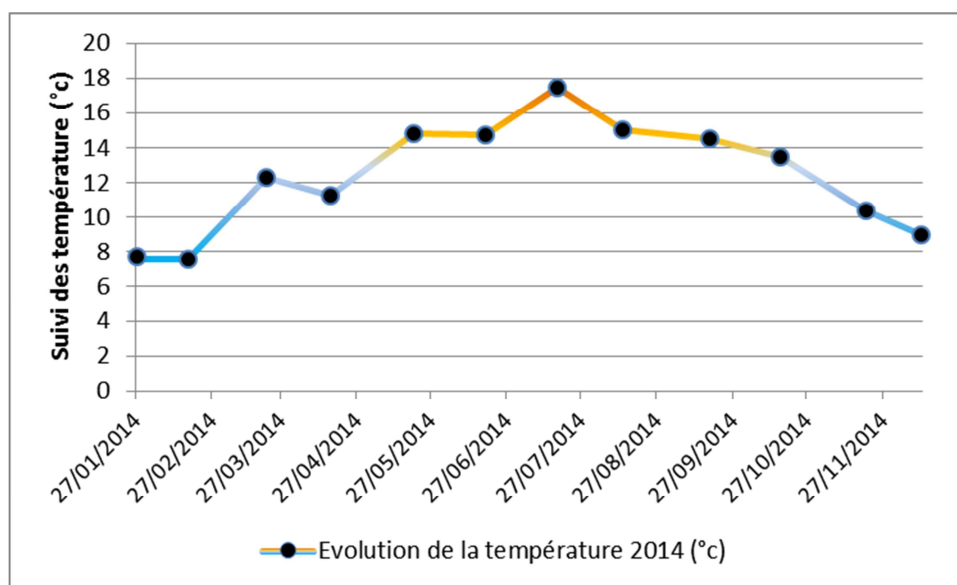


Figure 10 : Suivi des températures de la Cent Fonts à Saulon-la-Rue en 2014 (AERMC)

Dans ce contexte, nous évaluons à partir des chroniques de débits et du logiciel HYDROKIT, les plages de débits fonctionnels des périodes de migration optimales et nécessaires au droit de la station hydrométrique et de l'ouvrage du Moulin aux Moines.

Débit (m3/s)	QMin	QMoy	QMax	QMedian	Q99	Q90	Q75	Q25	Q10	Q1
Station Saulon-la-Rue										
Période optimale	0.14	0.35	3.08	0.29	1.05	0.56	0.40	0.22	0.19	0.16
Période nécessaire	0.15	0.34	3.08	0.27	1.40	0.52	0.37	0.22	0.19	0.16
Moulin aux Moines										
Période optimale	0.17	0.42	3.70	0.35	1.26	0.67	0.48	0.26	0.23	0.19
Période nécessaire	0.18	0.41	3.70	0.32	1.68	0.62	0.44	0.26	0.23	0.19

2.3 Réalisation du protocole ICE

Lors des investigations de terrain, les données nécessaires à la réalisation du protocole ICE⁵ ont été relevées sur l'ouvrage du Moulin aux Moines (Spbres1) et sur la chute aval (Spbres3).

D'une part, les vitesses d'écoulements moyennes ont été relevées au droit des deux chutes. Pour les conditions hydrologiques de terrain (272 l/s), on mesure ainsi une vitesse au droit de l'ouvrage de prise d'eau de 1,36 m/s [1,07 ; 1,70] et en amont de la chute aval de 0,43 m/s [0,19 ; 0,71]. La figure suivante illustre le panel des vitesses mesurées.

⁵ Le Protocole ICE (Information sur la Continuité Ecologique), développé par l'ONEMA, consiste en la réalisation de mesures sur les ouvrages présents sur les cours d'eau permettant de diagnostiquer l'état de franchissabilité d'un obstacle par l'ichtyofaune de manière objective, en évitant au maximum le recours à l'expertise.

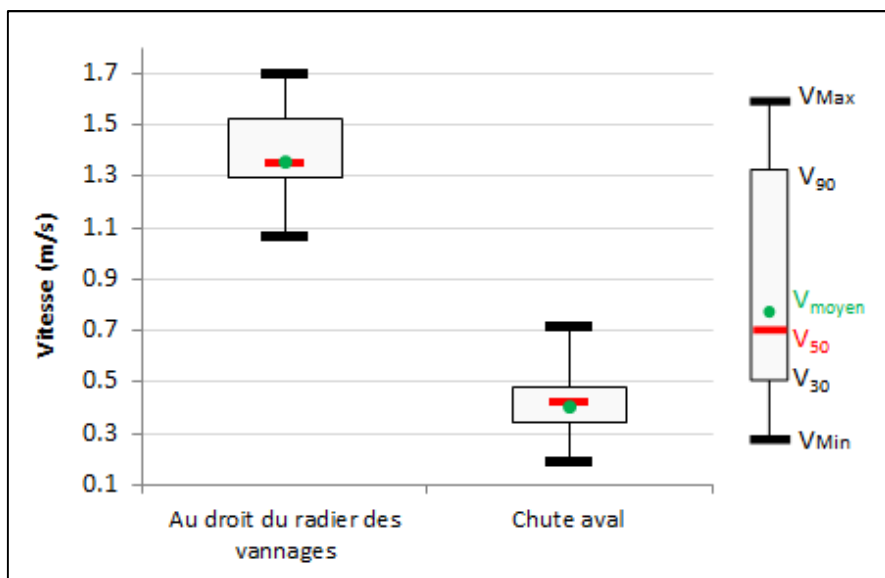


Figure 11 : Analyse statistique des vitesses d'écoulements au droit des ouvrages

Les vitesses V_{50} , V_{30} et V_{90} représentent les valeurs médiane (50^{ème} centile), du 30^{ème} centile et du 90^{ème} centile de l'échantillon des vitesses mesurées au droit des ouvrages lors des investigations de terrain.

Les profils en long au niveau de plusieurs transects longitudinaux de l'ouvrage de prise d'eau (Spbres1) ont également été réalisés dans les conditions de terrain (272 l/s le 21 janvier 2016 en position de vannes ouvertes) afin de définir les classes de franchissabilité ICE suivant l'arbre décisionnel du guide de l'ONEMA.

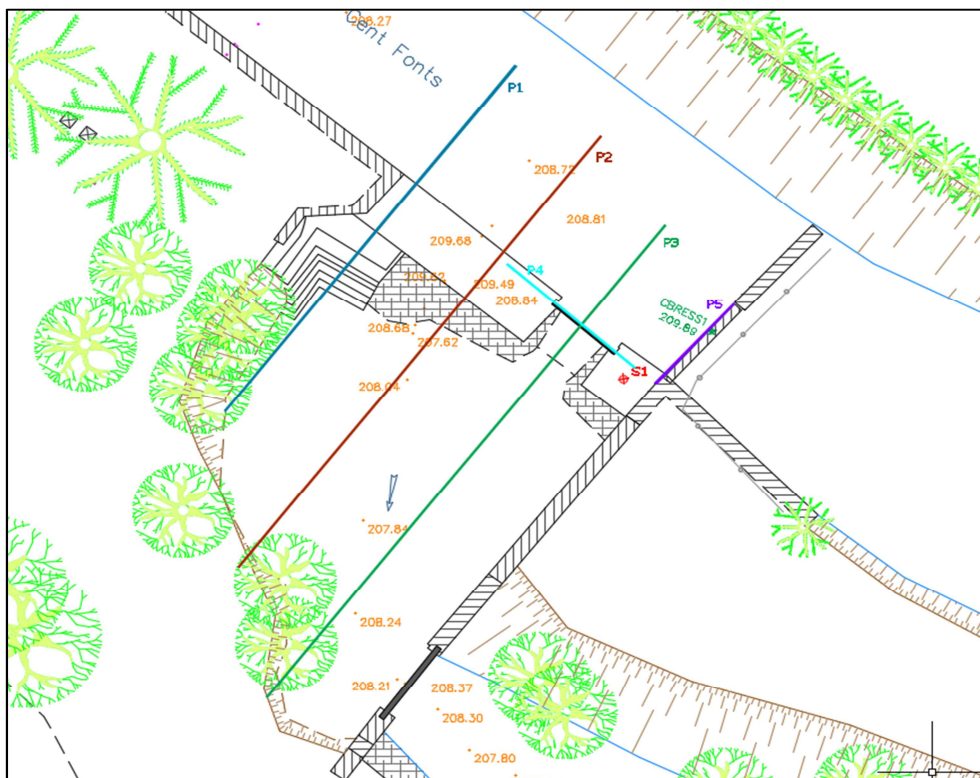


Figure 12 : Localisation des transects longitudinaux P1, P2 et P3

Au niveau de l'ouvrage de prise d'eau, en condition de vannes ouvertes, le passage des écoulements se fait uniquement par le radier des vannes (P3). Ainsi, au niveau de la prise d'eau, nous sélectionnons le profil P3 pour la définition de la classe de franchissabilité ICE. Au niveau de la chute aval, nous réalisons de même, un profil en long de l'ouvrage.

Les profils P4 et P5 de la Figure 12 représentent respectivement les crêtes de déversement du radier des vannes et de l'entrée du bief.

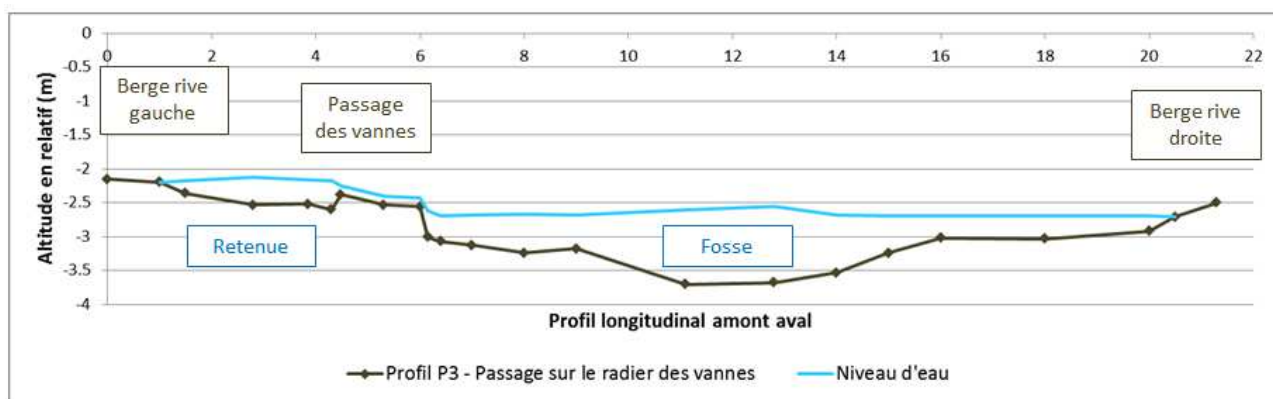


Figure 13 : Profil en long du passage sur le radier des vannes (P3)

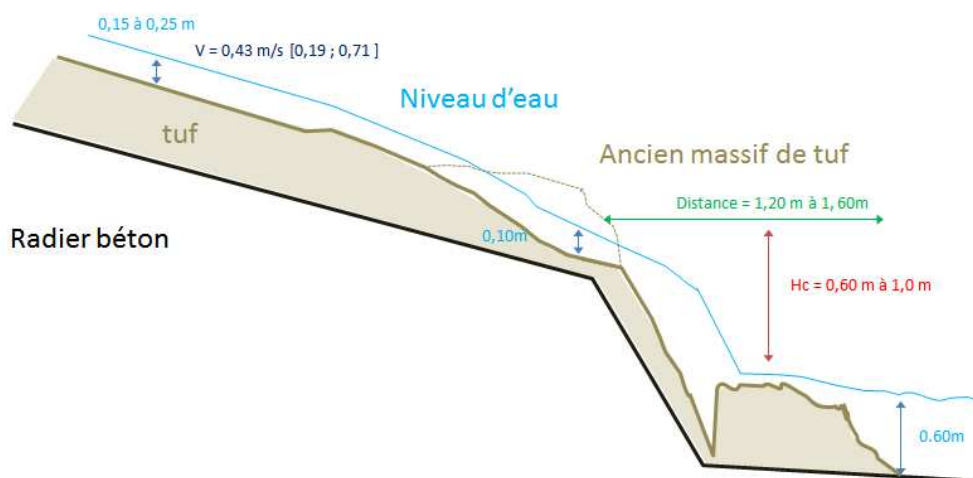


Figure 14 : Profil en long schématique de la chute aval au niveau du retour du tronçon court-circuité

A partir de l'exploitation de ces données, nous estimons les classes de franchissabilité ICE des deux profils.

Tableau 5 : Classes de franchissabilité ICE au niveau des profils longitudinaux

Profil	Houv (m)	DH (Hauteur de chute en m)	h (lame d'eau en m)	Hf (Hauteur fosse en m)	a	c
Profil 1	1.26	/	0.0	0.33	0.21	1.02
Profil 2	1.95	/	0.0	0.82	/	/
Profil 3	0.63	0.50	0.13	0.57	/	/
Profil - Chute aval	1.4	0.76	0.11	0.65	/	/

Valeur extrême TRF 4a (25-55 cm)		2.0	0.10	0.10	0.2	0.3
Valeur extrême TRF 4b (15-30 cm)		1.5	0.05	0.10	0.1	0.15
Valeur extrême CHA 9b		1.0	0.05	0.10	0.05	0.1

Profil	Note 4a	Note 4b	Note 9b
Profil 1	0	0	0
Profil 2	0	0	0
Profil 3 – Radier des vannes	1	0,66	0,33
Profil - Chute aval	0,66	0,33	0

Le profil 3 a été classé selon la valeur de la hauteur de chute estimée à 0,50 m pour un parement à paroi inclinée (40,7%) alors que la chute aval a été notée d'après la hauteur d'eau insuffisante de la fosse de dissipation (0,65 m en moyenne) pour un seuil à paroi verticale.

On en conclut que l'ouvrage de prise d'eau est franchissable au niveau du radier des vannes (en position d'ouverture complète) pour les truites adultes (taille > 25 cm) et sélective selon l'hydrologie pour les petits individus et les juvéniles (taille > 15 cm).

2.4 Analyse hydraulique

2.4.1 Analyse de l'ouverture des vannes

Nous avons analysé la situation avec vannes ouvertes, en estimant la répartition des débits entre le passage à travers le radier des vannes et le canal du bief, et l'évolution de la hauteur d'eau entre la crête du radier des vannes et l'aval de la chute pour les débits de la période de migration de la truite fario.

Afin de modéliser hydrauliquement la répartition du débit, nous avons évalué les débits déversés au niveau des deux crêtes, considérées comme des déversoirs à crête épaisse au vu des largeurs de déversement. La topographie des deux crêtes de déversement ont été relevées avec précision lors des investigations de terrain (P4 et P5).

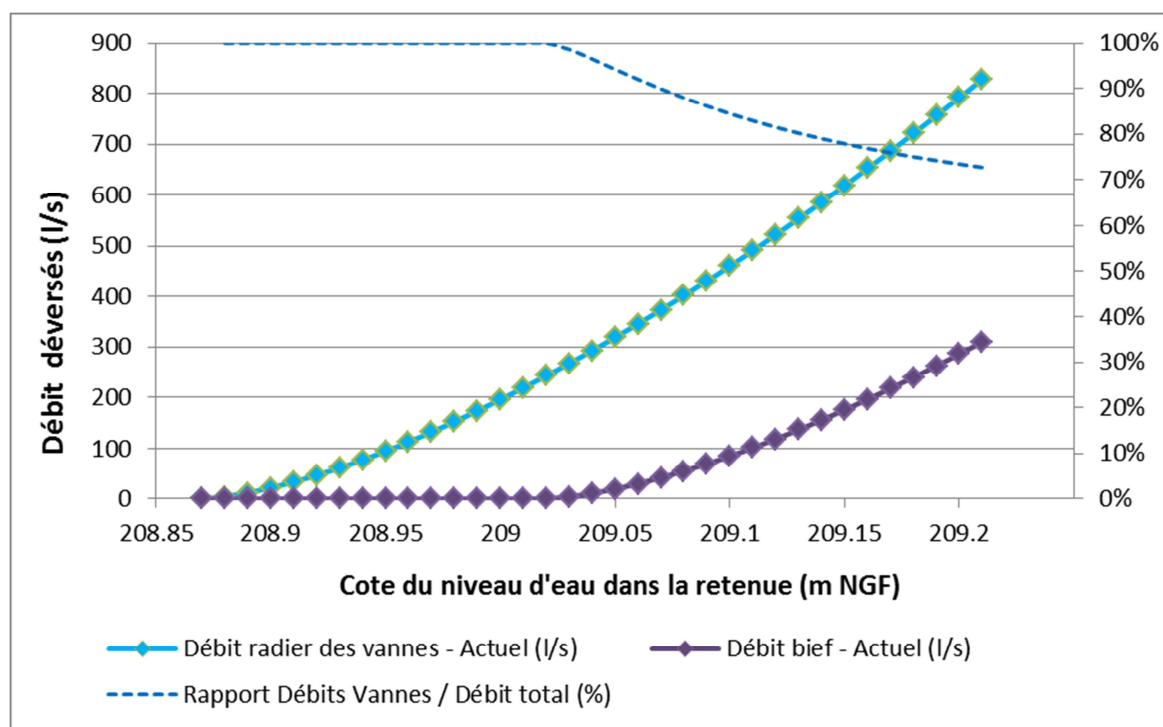


Figure 15 : Evaluation de la répartition des débits en position vannes ouvertes

On estime que dans la situation de vannes ouvertes, le canal du bief commence à être alimenté à partir d'un débit de la Cent Fonts de 250 l/s, ce qui permet largement d'assurer le transit du débit réservé de 120 l/s à travers la Cent Fonts avant prélèvement.

Sur la plage de débits de migration de la truite [230 l/s ; 670 l/s], on constate que le débit transitant à travers le radier des vannes varie de 75% à 100% du débit total de la Cent Fonts, ce qui assure une

attractivité fonctionnelle pour la montaison au niveau de l'ouvrage de prise d'eau et au niveau de la chute située à l'aval du tronçon court-circuité.

On notera que la présence de la grille, présentant un espacement moyen entre barreaux de 1,75 cm, assure de plus, un obstacle fonctionnel permettant de privilégier l'axe de montaison – dévalaison le long de la Cent Fonts pour les espèces piscicoles autochtones.

A partir de ce constat, nous évaluons, par une modélisation hydraulique, les évolutions de la hauteur de chute au droit du passage des vannes sur les plages de débits de migration de la Truite. Pour cela nous utilisons le logiciel de modélisation hydraulique ISIS, en utilisant les données topographiques de l'étude de 2012 (ALTEA) et les relevés réalisés en janvier 2016.

Le modèle hydraulique est centré sur le radier béton des vannes et sur la fosse de dissipation. Pour le calage du modèle, nous utilisons les observations de terrain réalisées le 21 janvier 2016, à savoir un débit transitant de 272 l/s. La valeur de chute prend ici en considération le niveau d'eau en amont de la crête du radier, afin d'avoir une donnée d'entrée en situation pénalisante. Le dénivelé du niveau mesuré au droit de l'ouvrage étant de 0,45 m.

Les résultats de modélisation ainsi que l'évolution des notes de franchissabilité ICE sont précisés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Evolution des hauteurs de chute au niveau du radier des vannes en position ouverte

Période optimale					
Qt	Débit (l/s)	DH (m)	Note 4a	Note 4b	Note 9b
Q10	230	0.71	0.66	0.33	0
Q25	260	0.50	1	0.66	0
Q50	322	0.50	1	0.66	0
Q75	413	0.51	0.66	0.33	0
Q90	536	0.53	0.66	0.33	0

Période nécessaire					
Qt	Débit (l/s)	DH (m)	Note 4a	Note 4b	Note 9b
Q10	230	0.71	0.66	0.33	0
Q25	260	0.50	1	0.66	0
Q50	301	0.50	1	0.66	0
Q75	387	0.51	0.66	0.33	0
Q90	508	0.53	0.66	0.33	0

Du fait des faibles variations de débit du cours d'eau, on constate une faible évolution des hauteurs de chute entre la crête du radier des vannes (parement incliné) et la réception dans la fosse de dissipation aval, hormis pour les faibles débits où les variations de hauteurs d'eau sont plus sensibles.

Au vu des notes de franchissabilité et des faibles variations de la hauteur de chute au niveau du seuil, nous jugeons la situation actuelle comme acceptable dans le cadre des enjeux de montaison sur le site et pour les périodes d'ouverture optimale et nécessaire.

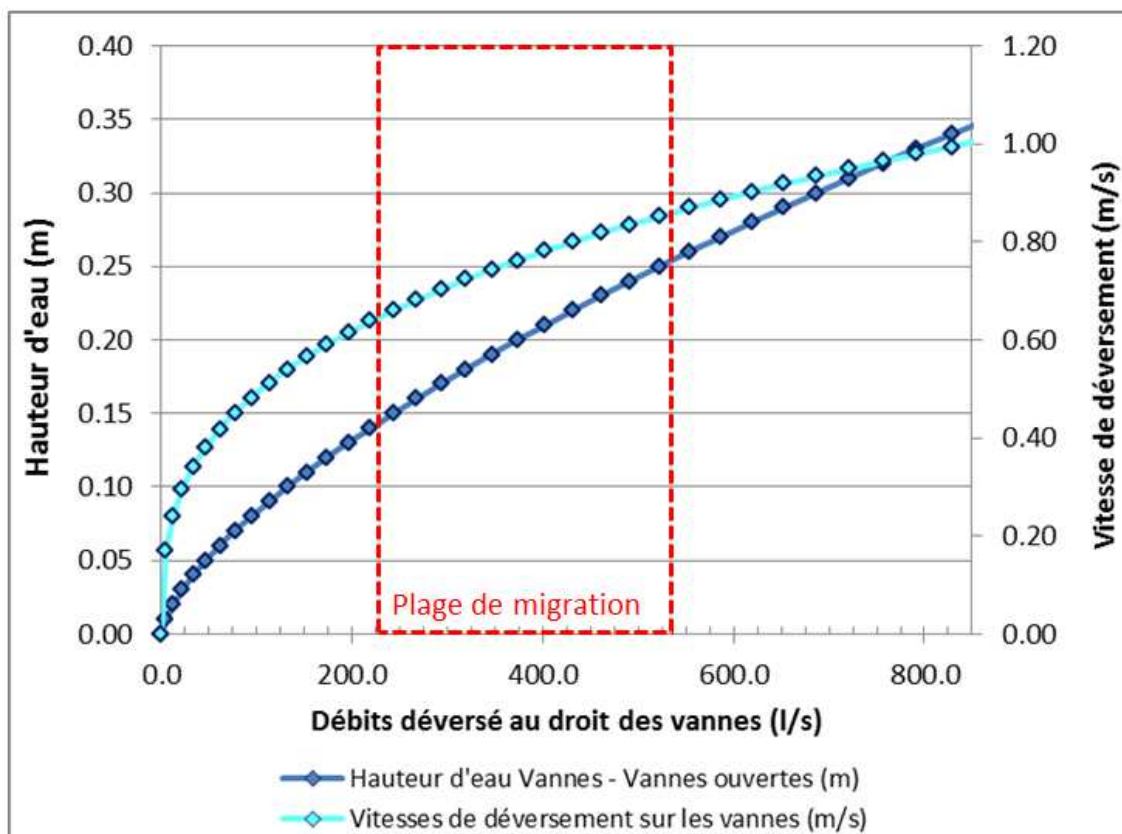


Figure 16 : Variation des hauteurs d'eau et des vitesses de déversement au droit des vannes selon l'évolution du débit en position de vannes ouvertes

Analyse de l'effet d'une rehausse de la crête du bief

D'autre part, la possibilité d'une rehausse de la crête de déversement dans le bief du canal a été étudiée afin d'analyser si le fait de concentrer davantage les débits au droit du radier des vannes lors de la période de migration est bénéfique à la franchissabilité. Les résultats de modélisation ont démontré que le fait d'augmenter les débits transitant au droit du radier des vannes accentuait la hauteur de chute dans des proportions assez réduites, de l'ordre de 2% à 4%, pénalisant ainsi les conditions hydrauliques de montaison.

Cet état de fait s'explique par une augmentation plus importante des hauteurs d'eau au niveau de la crête de déversement du radier, qu'au niveau de la fosse de dissipation, dont la capacité d'étalement est largement plus importante. La situation actuelle est ainsi considérée comme la plus avantageuse pour la montaison de la truite fario.

2.4.2 Analyse hydraulique du transit du débit réservé

Dans le cadre de la présente étude, l'analyse du débit réservé de la Cent Fonts au droit de l'ouvrage du Moulin aux Moines présentes plusieurs spécificités. Comme défini dans la circulaire du 5 juillet 2011⁶, la valeur du débit plancher est fixée à 36 l/s, correspondant au 1/10^{ème} du Module (360 l/s). La valeur du Débit Minimum Biologique (DBM) a été fixée à 170 l/s (été et automne) et à 230 l/s (hiver et printemps) par délibération de la CLE du bassin de la Vouge en juin 2012⁷, suite à la réalisation de l'étude des volumes prélevables en décembre 2011⁸. Dans ce contexte, en concertation entre le Syndicat de la Vouge et les services de l'état, plusieurs valeurs ont été proposées comme valeur de débit réservé au droit du barrage :

- 36 l/s comme valeur plancher ;
- 80 l/s comme validé par les services de la DDT21 le 11 août 2016 ;
- 120 l/s comme validé par les services de la DDT21 le 23 septembre 2016 ;
- 170 l/s comme valeur du DBM en période de basse et moyenne eaux ;

De plus, dans un souci de minimiser les coûts d'investissement des travaux sur l'ouvrage, deux solutions de gestion simple nous semblent pertinentes :

- Ouverture minimale et suffisante des vannes afin d'assurer le passage du débit réservé en permanence ;
- Ouverture complète des vannes et mise en place d'un batardeau sur l'intégralité du radier des vannes ;

Les deux solutions ont été étudiées et comparées en termes d'intérêt pour la continuité biologique et le transit du débit réservé.

L'ensemble des solutions sont déclinées pour chaque possibilité de débit réservé, hormis pour la valeur de 170 l/s, qui après concertation du comité de pilotage, a été jugée trop pénalisante par rapport à l'usage de la prise d'eau et aux enjeux en présence.

Ouverture minimale et suffisante des vannes

L'analyse de la répartition des débits, nous indique qu'une ouverture de 0,10 m des vannes suffit à faire transiter 132 l/s vers l'aval, soit 110% du débit réservé, **en considérant une valeur de 120 l/s**. Ce mode de gestion, hors période de migration, nous paraît ainsi fonctionnel en termes de transit du débit réservé.

Nous analysons par ailleurs, les lois de répartition du débit au droit de l'ouvrage avec une position d'ouverture de vanne à 0,10 m. Pour cela, nous utilisons la formule d'écoulement par orifice dénoyé pour une vanne verticale.

On constate que l'amont de la vanne se met en charge plus rapidement, du fait d'une capacité réduite du passage à travers les vannes. Par exemple pour le module ($Q=360$ l/s), la hauteur d'eau au droit des vannes est de 0,19 m ($Q_{\text{VANNE}} = 330$ l/s) en position d'ouverture complète et de 0,23 m ($Q_{\text{VANNE}} = 275$ l/s) pour une ouverture à 0,10 m.

⁶ Circulaire du 5 juillet 2011 relative à l'application de l'article L. 214-18 du code de l'environnement sur les débits réservés à maintenir en cours d'eau

⁷ Délibération n°2012-01 de la Commission Locale de l'Eau (CLE) du Bassin de la Vouge : Approbation des Volumes Prélevables et des Débits Minimums Biologiques sur le bassin de la Vouge et la Nappe de Dijon, 15 juin 2002

⁸ Etude des Volumes Prélevables sur le bassin versant de la Vouge, Phases 4,5 & 6, BRL, Syndicat de la Vouge, 2011

La mise en charge de la vanne impose un écoulement en charge dénoyé au niveau de l'ouverture de la vanne conditionnant ainsi une augmentation des vitesses d'écoulements au niveau du déversement (de 1,84 m/s à 2,90 m/s sur la période de migration) et limitant fortement la dévalaison et la montaison piscicole.

Du fait de la cote actuelle de la crête du radier, **pour un débit réservé de 120 l/s**, l'alimentation du bief débute à partir d'un débit de la Cent Fonts de 230 l/s, ce qui implique une alimentation pour environ 230 jours dans l'année.

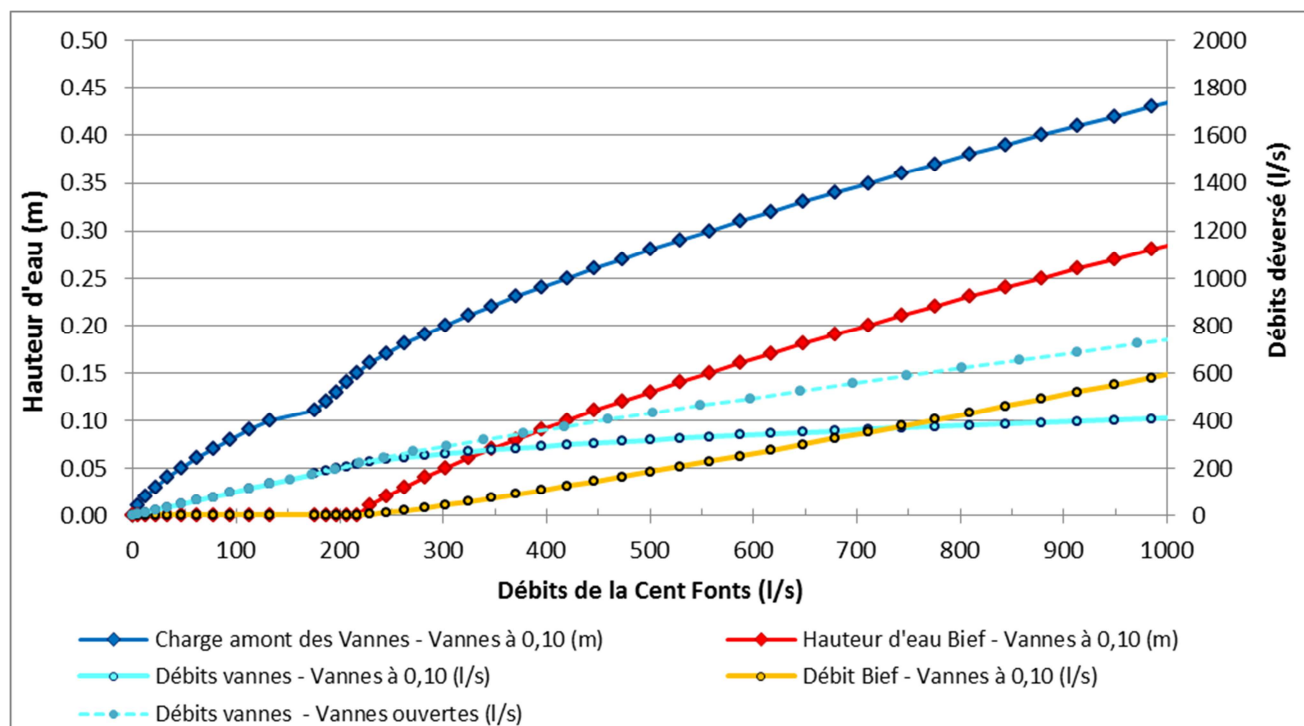


Figure 17 : Evolution de la répartition des débits entre le bief et le tronçon court-circuité avec une ouverture de vannes de 0,10 m (débit réservé fixé à 120 l/s)

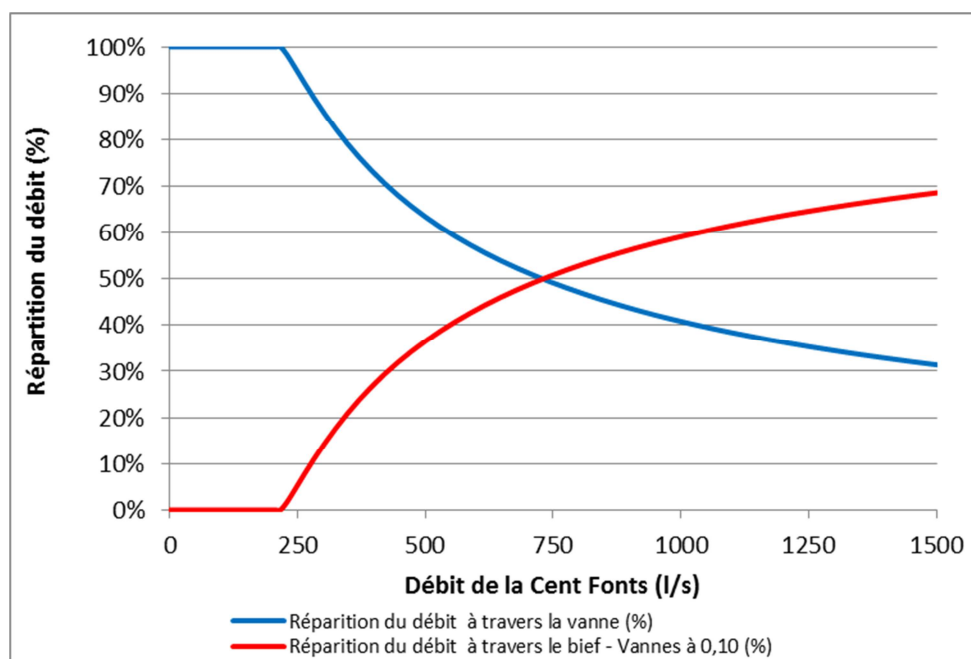


Figure 18 : Répartition des débits entre les vannes et le bief avec une ouverture des vannes de 0,10 m (débit réservé fixé à 120 l/s)

Afin d'intégrer une réflexion de gestion sur plusieurs possibilités de débit réservé, nous estimons les valeurs de répartition hydraulique développées plus haut pour l'ensemble des scénarios de débit réservé proposés. Les résultats sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Synthèse comparative des conditions de gestion de l'ouverture du vannage en fonction de la valeur du débit réservé

Valeur théorique du débit réservé (l/s)	Ouverture de vanne minimale (m)	Débit réservé transité		Passage du module (360 l/s)			
				Position de vanne avec ouverture minimale		Vannes ouvertes entièrement	
		Valeur réelle (l/s)	Marge acceptée (%)	Hauteur d'eau dans la retenue (m)	Q _{bief} (l/s)	Hauteur d'eau dans la retenue (m)	Q _{bief} (l/s)
36	0.05	47	31%	0.29	220	0.19	30
80	0.08	95	19%	0.25	120	0.19	30
120	0.10	132	10%	0.23	85	0.19	30

Alimentation du bief				
Valeur théorique du débit réservé (l/s)	Ouverture de vanne minimale (m)	Q _{Cent Fonts} de début d'alimentation	Durée d'alimentation annuelle (j)	Durée d'alimentation annuelle (%)
36	0.05	120	> 361	99%
80	0.08	189	307	84%
120	0.10	230	230	63%

Les écarts entre débit réservé théorique et réel sont issus du degré de précision centimétrique des hauteurs de charge sur le radier des vannes qui conditionnent les débits transités lors de l'ouverture minimale des vannes.

En effet, au centimètre près, nous ne pouvons atteindre exactement la valeur de débit réservé souhaitée, dans un souci de respect du débit réservé, nous choisissons la valeur directement supérieure et caractérisons la marge d'erreur acceptée. Cette dernière est logiquement plus importante pour les faibles débits.

Ouverture complète des vannes et mise en place d'un batardeau de 0,06 cm sur l'intégralité du radier des vannes

Cette solution consiste à conserver la structure actuelle de l'ouvrage, mais de rajouter temporairement et de manière manuelle un batardeau de 0,06 m au droit du radier des vannes afin d'assurer une répartition des débits privilégiant un passage du débit réservé dans le tronçon court-circuité pour les bas débits, **tout en assurant le transit du débit réservé à travers la Cent Fonts fixé ici à 120 l/s.**

L'avantage de cette solution est qu'elle permet un déversement dénoyé et superficiel assurant une fonctionnalité de la dévalaison contrairement à l'écoulement en charge de l'ouverture à 0,10 m des vannes.

Le désavantage de cette solution est qu'elle assure une alimentation moins rapide du bief lors des basses à moyennes eaux, mais assure néanmoins une meilleure alimentation que la position de vannes ouvertes sans batardeau. Par ailleurs, les manœuvres (pose et enlèvement du batardeau) sont également plus lourdes que la manœuvre des vannes.

Pour les autres valeurs de débit réservé considérées, la hauteur des batardeaux ont également été évaluées. Pour un débit réservé fixé à 36 l/s, la hauteur nécessaire de batardeau est évaluée à 0,10 m et pour un débit réservé fixé à 80 l/s, nous estimons la hauteur de batardeau nécessaire à 0,08 m.

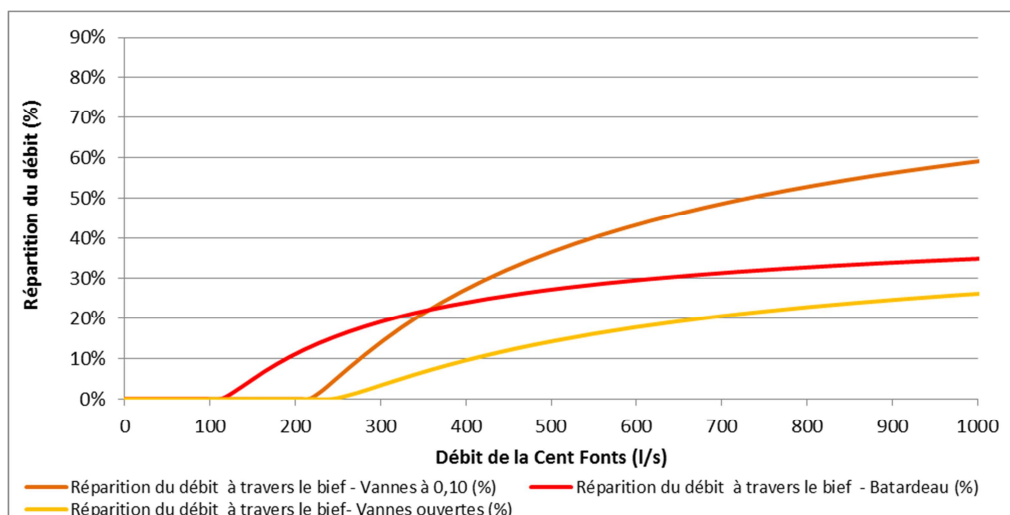


Figure 19 : Répartition à travers le bief de l'ouvrage du Moulin aux Moines selon différents scénarios de gestion (débit réservé fixé à 120 l/s)

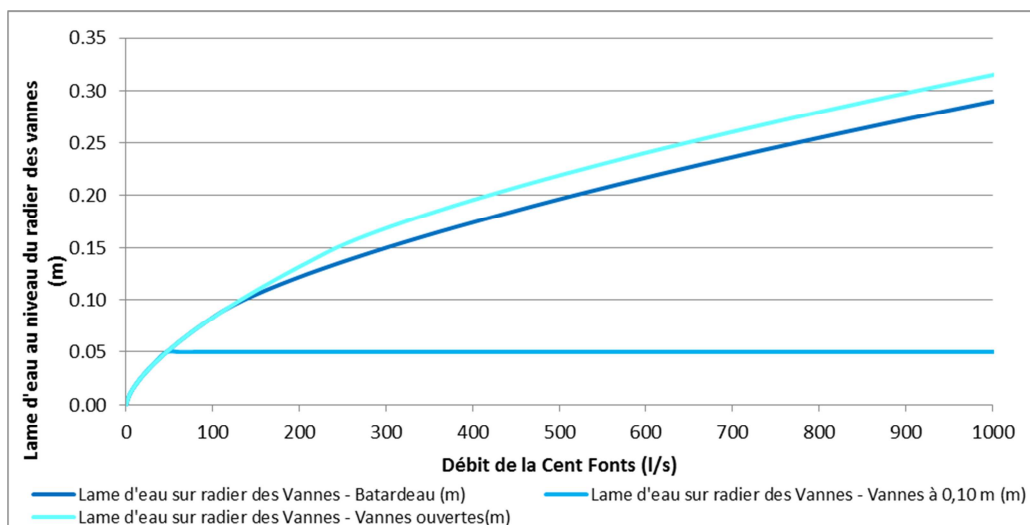


Figure 20 : Variation des hauteurs d'eau au niveau du radier des vannes selon les différentes solutions (débit réservé fixé à 120 l/s)

3. Dimensionnement et conception des aménagements

3.1 Prise d'eau du Moulin aux Moines

3.1.1 Comparaison des différentes solutions de gestion du barrage

Le tableau suivant compare les trois solutions de gestion proposées selon les différents enjeux de l'ouvrage.

Solution de gestion	Transit du débit réservé	Continuité sédimentaire	Alimentation du bief	Montaison		Dévalaison	
				Période nécessaire de migration	Période optimale de migration	Période nécessaire de migration	Période optimale de migration
Ouverture complète des vannes	++	++	--	++	++	++	++
Ouverture minimale des vannes (0,10 m)	++	+	+	--	--	--	--
Ouverture complète des vannes et mise en place d'un batardeau (0,06 m)	++	+	++ / +	--	--	++	++

++ Enjeu atteint + Enjeu atteint partiellement -- Enjeu non atteint

Le niveau comparatif d'atteinte des enjeux entre les différents scénarios est jugé équivalent pour l'ensemble des possibilités de débit réservé, hormis pour le paramètre d'alimentation du bief dans le cadre d'un débit réservé fixé à 120 l/s et conditionnant une alimentation du bief pendant uniquement 64% de l'année.

3.1.2 Définition du protocole de gestion des vannages

Nous déduisons ainsi deux protocoles de gestion possibles, exploitant les périodes de migration optimales et nécessaire afin d'assurer l'ensemble des enjeux associés à l'ouvrage, tout en minimisant les contraintes de gestion.

Les deux solutions sont les suivantes :

- **1^{ère} solution** : ce mode de gestion est le plus simple à mettre en place. Il consiste à ouvrir complètement les vannes entre le 15 octobre et le 28 février (ou le 29 février les années bissextiles et avec une extension possible jusqu'au 15/03) afin d'assurer la circulation des Truites fario à la montaison comme à la dévalaison pendant la période de migration optimale de ces dernières. Le reste de l'année, les vannes pourront être descendues avec une ouverture minimale de 0,10 m afin de permettre le transit du débit réservé ou bien un batardeau de 0,06 m peut-être posé sur le radier des vannes.

Cette solution est la plus efficace en termes de continuité biologique mais impose une contrainte en termes d'alimentation du bief du canal du Moulin aux Moines ;

- **2^{ème} solution** : ce mode de gestion consiste à conserver une ouverture complète des vannes pendant la période de migration nécessaire des Truites fario, soit du 1^{er} novembre (ou du 15 octobre selon l'avancée des première hautes eaux) au 15 janvier, et d'optimiser l'alimentation du bief tout en conservant la fonctionnalité de la dévalaison au droit de l'ouvrage de prise d'eau, en mettant en place un batardeau de 0,06 m de hauteur au droit de la crête de déversement des vannes à la fin de la période optimale de migration, soit du 15 janvier au 28 ou 29 février. Le reste de l'année, les vannes pourront être descendues avec une ouverture minimale de 0,10 m afin de permettre le transit du débit réservé ou bien le batardeau de 0,06 pourra être conservé sur le radier des vannes.

Cette solution impose ainsi une montaison non fonctionnelle pour les espèces piscicoles hors période nécessaire de migration.

Dans le cadre de ces deux solutions, afin d'assurer un fonctionnement optimal de la répartition hydraulique des débits, une attention particulière devra être donnée à l'entretien des différents ouvrages du système (encombrant, colmatage des grilles, etc.).

Réf. A19484 / REAUCE01941-05	
TLT / EGU / CM	
14/10/2016	30/41

1ère solution de gestion

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Ouverture complète des vannes												
Ouverture de la vanne à 0,10 m*												

2ème solution de gestion

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Ouverture complète des vannes												
Ouverture complète + batardeau												
Ouverture de la vanne à 0,10 m*												

* afin d'optimiser l'alimentation du bief, la solution du batardeau de 0,06 m peut également être employée car permettant le transit du débit réservé

Figure 21 : Calendrier de gestion des vannes du Moulin aux Moines

En conclusion de l'analyse, la 1^{ère} solution de gestion nous paraît la plus intéressante car elle n'impose pas un écart important avec le mode de gestion actuelle et évite un entretien et une gestion supplémentaire, contrairement à la 2^{ème} solution, et pour des résultats plus efficaces en termes de continuité biologique.

3.1.3 Description des mesures

Nous ne prévoyons pas de travaux à proprement parlé dans le cadre du protocole de gestion des vannes du Moulin aux Moines. Néanmoins, plusieurs tâches secondaires pourront être réalisées au droit de l'ouvrage :

- Réalisation de 2 batardeaux de 1,30 de long, de 0,06 m de haut et de 0,20 m – 0,25 m de large compatible pour une pose temporaire au niveau de la crête d'entrée des vannes dans le cadre de la 2^{ème} solution de gestion ;
- Travaux annuels d'entretien du mécanisme des vannes et du radier des vannes, et de nettoyage de la grille afin d'éviter les problématiques de colmatage dans le but d'assurer la cohérence de la répartition des débits ;
- Création d'une marque de contrôle du débit réservé en position de vanne fermée avec une ouverture minimale de 0,05 m ;
- En dehors de la période de migration (de mars à mi-octobre), il est bon de prévoir 2 à 3 ouvertures de vannes ponctuelles, de préférence lors de montées des eaux ponctuelles, afin d'éviter les problématiques de sédimentation et d'encombrement dans la retenue ;
- A long terme, travaux de remplacement de la vanne pour bénéficier d'un système plus fonctionnel.



Mise en place de 2 batardeaux en période de migration optimale



Marquage des repères pour le contrôle du débit réservé hors période de migration

Photo 3 : Illustrations des mesures de gestion au niveau des vannes

3.2 Réalisation des travaux sur le chenal aval

3.2.1 Principes de l'aménagement

Au niveau de la chute aval, l'objectif des travaux est de redonner au chenal aval du tronçon court-circuité un profil en long compatible avec la continuité biologique. Le principe est de rabaisser le radier actuel du fond du chenal afin d'aboutir à une pente d'écoulement et à une connexion avec l'aval cohérentes avec la remontée de la Truite fario dans le tronçon court-circuité.

Pour cela deux moyens seront mis en œuvre :

- Une première étape indispensable d'enlèvement de la couche de dépôt calcaire (tuf) actuellement présente sur le radier ;
- Au cas où le profil atteint après retrait du tuf ne soit pas suffisant, une reprise des fondations de l'ouvrage sera nécessaire afin d'atteindre le profil voulu.

Dans ce contexte, nous avons évalué le nouveau profil en long du chenal permettant d'assurer une meilleur franchissabilité piscicole.

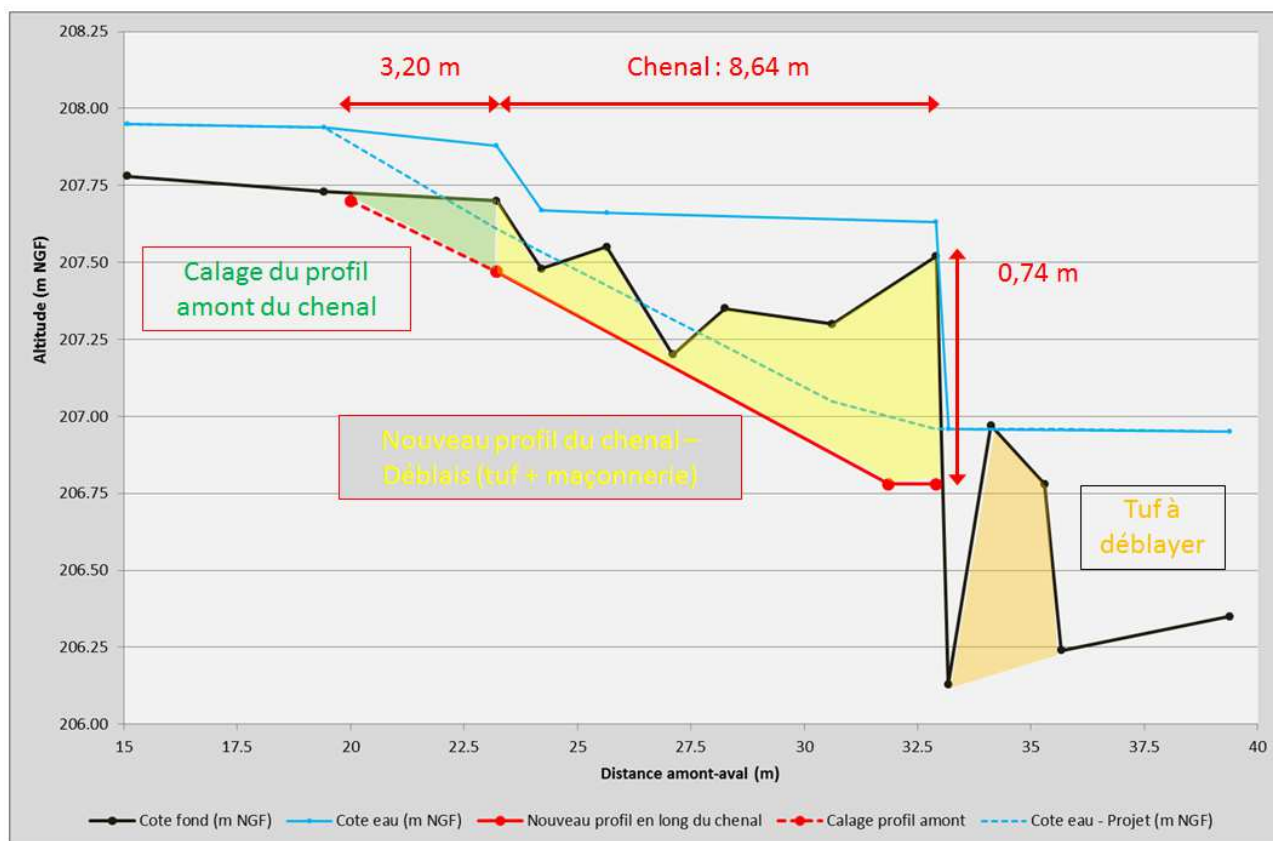


Figure 22 : Projet du profil en long du chenal aval du tronçon court-circuité

Le niveau aval du chenal est calé sur l'estimation du niveau dans la Cent-Fonts pour le Q_{10} de la période optimale de migration, afin de s'assurer de l'efficacité de la franchissabilité par rapport à l'hydrologie du cours d'eau.

La nouvelle cote du radier du chenal est ainsi fixée à 206,78 m NGF, soit 10,0 cm au-dessus du niveau de l'eau dans le cours d'eau pour le passage de Q_{10} (estimé à 206,68 m NGF, d'après les données de calage lors des investigations de terrain). On estime que pour la situation la plus pénalisante, la chute d'eau entre l'aval du chenal et le cours d'eau aval est de 21,0 cm, ce qui est considéré comme acceptable pour la Truite fario, sachant que :

- Pour le Q_{25} , le dénoyage de l'arrivé du chenal est de 20,0 cm. Pour le Q_{50} , le dénoyage est de 14,0 cm. A partir du Q_{75} , la chute aval est considérée comme noyée ;
- Les hauteurs d'eau dans le chenal varient de 0,10 cm à 0,16 cm sur la période optimale, avec une pente moyenne du radier de 8% et la conservation d'un replat de 1,0 m à l'aval, à la sortie du chenal, afin de permettre une stabilisation locale du niveau et la stabilisation d'une lame d'eau pour la réception des poissons à la montaison ;
- Du fait de l'arrivée des écoulements depuis le chenal avec une vitesse importante (>1 m/s) par rapport à l'amont du cours d'eau, l'attractivité du chenal à la montaison est assurée pour le tronçon court-circuité par rapport au canal de restitution du Moulin aux Moines ;
- Avec le déblaiement des dépôts de tuf qui se sont accumulés au pied de l'arrivé du chenal, on obtiendra une fosse d'appel en pied d'une profondeur en eau variant de 0,55 m à 0,87 m sur la période optimale de migration. Dans la situation la plus pénalisante (Q_{10}), on estime à 2.6 le rapport entre la profondeur de la fosse et la hauteur de chute aval ;

La hauteur d'arasement au niveau de la chute à l'aval est estimée à 0,74 m. En amont, au niveau de l'entrée du chenal, le radier actuel sera abaissé de 0,23 m, afin d'assurer une pente d'écoulement inférieure à 8,0%. Etant donné la nature des alluvions présents (graviers, cailloux, etc.) et le risque d'érosion régressive limité, le calage du profil en amont du tronçon court-circuité ne devrait pas poser de problème. La pose de pierres fines et grossières (d50 variant de 10,0 cm à 30 cm) sur une longueur de 3,2 m en amont de l'entrée du chenal suffira à stabiliser le profil en long.

Concernant les vitesses d'écoulement dans le chenal, en considérant un fond lisse ($K=65$), nous obtenons une plage de vitesse de 2,7 m/s à 4,0 m/s sur la période de migration, ce qui est trop élevé en comparaison des vitesses de pointe de la Truite Fario (de 2,5 m/s à 3,0 m/s). Ainsi, lors des travaux, il sera nécessaire de réaliser une rugosité de fond sur le radier (légères anfractuosités) et une disparité des sections d'écoulement afin de favoriser une dissipation de l'énergie cinétique directement sur le parement du chenal. Avec ce procédé, on peut évaluer la réduction des vitesses d'écoulement à une plage de vitesses de 2,2 m/s à 3,2 m/s ($K=45$), ce qui semble suffisant. Le type de rugosité utilisé pourra correspondre à l'enchevêtrement de pierres grossière et blocs, propre à des granulats d'un diamètre variant de 10,0 à 50,0 cm.



Entrée du chenal en aval du tronçon court-circuité



Aménagement de la zone aval du chenal

Réf. A19484 / REAUCE01941-05	
TLT / EGU / CM	
14/10/2016	34/41

3.2.2 Description de l'aménagement

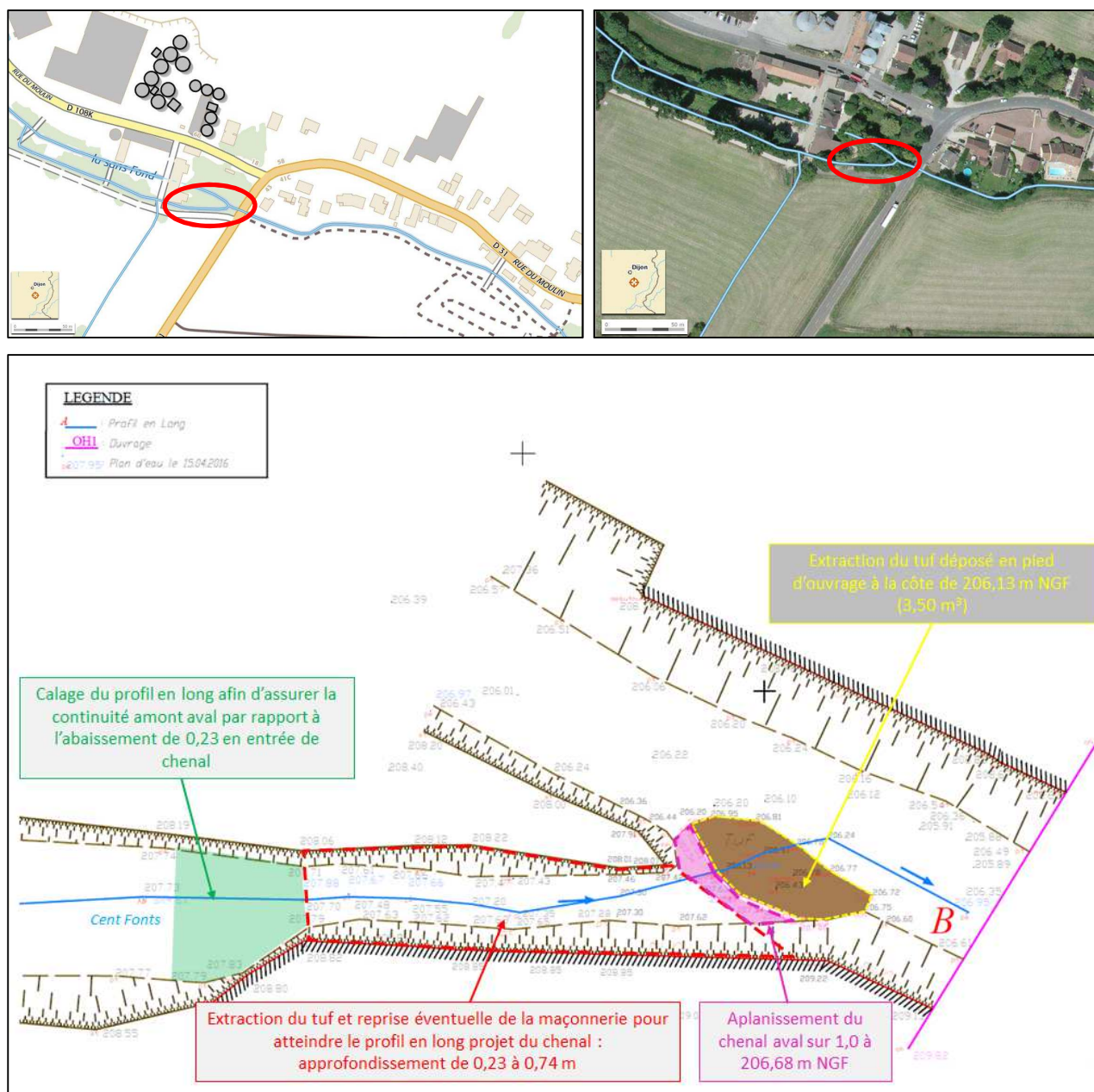


Figure 23 : Localisation des travaux

Les plans des travaux sont donnés en Annexe 1.

3.3 Réalisation des travaux

Le paragraphe 3.3.1 ne concerne que la partie aval du tronçon court-circuité.

3.3.1 Planning des travaux

Les travaux suivront les grandes étapes suivantes :

- Mise à sec du tronçon court-circuité ;
- Si nécessaire, batardage de la zone d'appel et du dépôt calcaire en aval du chenal
- Extraction du dépôt calcaire (tuf) situé en aval de la chute ;
- Démantèlement de la couche de dépôt calcaire à l'aide d'une mini-pelle avec brise roche et d'un burineur électrique ;
- Extraction des déblais et évacuation en décharge ;
- Analyse et mesure métrique du radier : longueur, pente, chute aval ;
- Si nécessaire, ajustement du profil en long par démantèlement du radier existant et reconsolidation du fond et des parements latéraux après abaissement ;

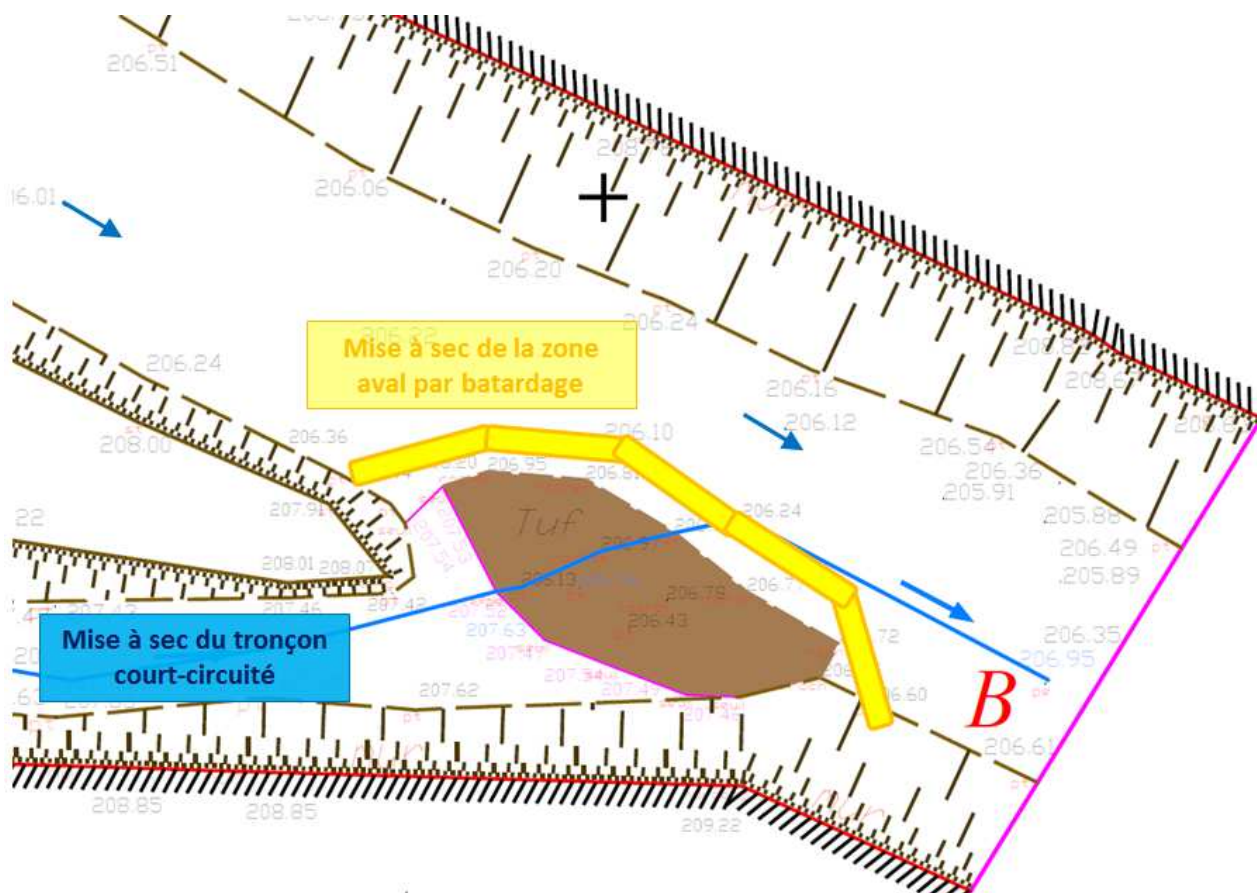


Figure 24 : Mise à sec de la zone de chantier aval

3.3.2 Suivi à l'issue des travaux

Une fois les travaux réalisés, il sera intéressant de mener un suivi du profil en long de l'aval du tronçon court-circuité afin d'anticiper tout risque d'érosion régressive et d'analyser l'évolution des dépôts calcaires.

Le suivi consistera en des relevés du profil en long du chenal réalisés 2 à 3 ans après les travaux.

Des inventaires piscicoles pourront également être réalisés sur des stations situées en amont de l'ouvrage de prise d'eau et en aval de la restitution du tronçon court-circuité afin d'assurer une continuité du suivi piscicole suite aux aménagements.

3.3.3 Aménagements complémentaires éventuels

Concernant l'amont, le marnage annuel de la retenue avec l'ouverture des vannes devrait favoriser l'auto-curage des sédiments dans la retenue. Néanmoins suite à des crues importantes, il est possible que des dépôts se fixent et se végétalisent. Un dégrèvement des matériaux ou une simple remobilisation des sédiments devra alors être réalisé.

Concernant l'aval, suite à l'analyse des relevés, si la morphologie du tronçon court-circuité de la Cent Fonts et l'évolution de son profil en long sont jugées satisfaisantes d'un point de vue éco-géomorphologique, il ne sera pas proposé d'aménagement complémentaire. En cas de développement d'un phénomène d'érosion régressive conduisant à un abaissement du profil en long au-delà du profil moyen envisagé (cf. Figure 21), il y aura possibilité de fixer un point dur dans le secteur érodé au moyen de blocs d'enrochements ($d > 256$ mm) ou de pierres grossières ($128 \text{ mm} < d < 256 \text{ mm}$).

3.4 Estimatif du coût prévisionnel des travaux

3.4.1 Plan de gestion des vannes de la prise d'eau

L'évaluation des coûts théoriques propres à la réalisation du protocole de gestion a été calculé à partir d'un prix jour H.T d'un technicien en régie, soit 400 € H.T / jour.

	POSTES DE TRAVAUX	Unité	Quantitatif	PU (€ HT)	Coût total (€ HT)
1	TRAVAUX PREPARATOIRES				
1-01	Fourniture et pose de 2 batardeaux 0,06 m x 0,20 m x 1,30 m	forfait	1	500.00€	1 000.00 €
	Sous-Total 1				1 000.00 €
2	PROTOCOLE DE GESTION (Temps annuel)				
2-01	Temps de gestion des vannes en période de migration (ouverture initiale, fermeture finale, gestion des batardeaux, etc.)	j	1.5	400.00 €	600.00 €
2-02	Temps de gestion des vannes hors période de migration (ouverture ponctuelle des vannes, etc.)	j	1.0	400.00 €	400.00 €
2-03	Entretien de la prise d'eau (vannes, radier des vannages, plan grille, etc.)	j	2.0	400.00 €	800.00 €
	Sous-Total 2				1 800.00 €

	POSTES DE TRAVAUX	Unité	Quantitatif	PU (€ HT)	Coût total (€ HT)
3	REPRISE DES VANNAGES				
3-01	Fourniture et pose d'un nouveau système de vanne murale inox bidirectionnelle (vanne, structure, crémaillère, cri, volant fonte, etc.)*	u	1	7 000.00 €	7 000.00 €
	Sous-Total 3				7 000.00 €
4	DIVERS				
4-01	Aléas (25%)				2 450.00 €
	Sous-Total 4				2 450.00 €
	TOTAL				12 250.00 €

* Basé sur devis professionnel (Société Eco Xper)

3.4.2 Réalisation des travaux sur le chenal aval

	POSTES DE TRAVAUX	Unité	Quantitatif	PU (€ HT)	Coût total (€ HT)
1	TRAVAUX PREPARATOIRES				
1-01	Installation de chantier	Forfait	1	2 000.00€	2 000.00 €
1-02	Mise à sec du chantier	forfait	1	1 500.00 €	1 500.00 €
	Sous-Total 1				3 500.00 €
2	ENLEVEMENT DES DEPOTS CALCAIRES				
2-01	Extraction des dépôts au pied de la chute du chenal	m ³	3.5	20.00 €	70.00 €
2-02	Démantèlement de la couche de dépôts présente sur le radier avec une mini pelle et un burineur électrique	m	8.5	350.00 €	2 975.00 €
2-03	Extraction des matériaux démantelés	m ³	4.0	20.00 €	80.00 €
	Sous-Total 2				3 125.00 €
3	REPRISE DU GENIE CIVIL DU CHENAL				
3-01	Démantèlement du génie civil du radier de fond et des pieds de berge afin d'assurer l'abaissement	m	8.0	250.00 €	2 000.00 €
3-02	Agencement et reconsolidation des éléments de maçonnerie du chenal afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage après abaissement	m	8.0	2 000.00 €	16 000.00 €
	Sous-Total 3				18 000.00 €
4	DIVERS				
4-01	Aléas (25%)				6 000.00 €
	Sous-Total 4				6 000.00 €
	TOTAL				30 625.00 €

4. Notice d'impact

4.1 Impact hydrauliques

La gestion des vannages au niveau de la prise d'eau permettra un abaissement du niveau dans la retenue durant la période d'ouverture des vannes du 15 octobre au 28 février par rapport à la situation en vannes fermée. Ce protocole de gestion n'impliquera pas davantage d'incidence sur le fonctionnement hydraulique du cours d'eau que la gestion actuelle.

Au niveau de la chute aval, la reprise du profil en long du chenal avec les cotes de projet défini précédemment n'impliquera pas d'incidence sur les niveaux d'eau dans la Cent Fonts en aval. On observera néanmoins une baisse des niveaux d'eau dans le chenal du fait de la reprise du radier. Ces différentiels de niveau d'eau sont estimés et présentés dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Evaluation de la baisse du niveau dans le chenal avant la confluence

	QMNA5 = 190 l/s	Qm = 360 l/s	Q2 = 1200 l/s	Q5 = 1900 l/s
Incidences sur les niveaux d'eau (m) en aval du chenal avant la confluence avec la Cent Fonts	-0.80	-0.84	-0.94	-0.99

Ces estimations sont réalisées dans la situation où l'ensemble du débit de la Cent Fonts transite dans le tronçon court-circuité.

4.2 Impacts sur la qualité des habitats aquatiques

L'abaissement périodique de la Cent Fonts en amont de la prise d'eau, associé à l'ouverture des vannes aura un effet bénéfique sur la diminution de l'effet de retenue et la diversité des écoulements.

4.3 Impact sur la morphologie de la Cent Fonts

L'ouverture des vannes de la prise d'eau du Moulin aux moines conduisant à un abaissement de la ligne d'eau, l'impact sur le fonctionnement humide se fera sentir sur le linéaire de remous du seuil (jusqu'à plus de 400 m en amont).

Toutefois, cet impact est à relativiser du fait de la période ponctuelle d'ouverture des vannes et de l'absence de zone humide actuellement connectée dans la zone d'influence du remous.

4.4 Impacts sur le profil en long

La mise en place du protocole d'ouverture des vannes au niveau de la prise d'eau du Moulin aux Moines, n'aura pas d'incidence sur le profil en long de la Cent Fonts du fait du maintien de l'ouvrage.

Au niveau du chenal aval, l'abaissement du niveau du radier impliquera une nouvelle pente d'équilibre dans le tronçon court-circuité sur une distance estimée à 3,2 m en amont immédiat de ce dernier. Afin de compenser le risque d'érosion régressive, une granulométrie grossière (blocs, pierres) devra être mise en oeuvre dans le fond du tronçon court-circuité en amont de l'entrée du chenal.

4.5 Impacts sur la continuité sédimentaire

L'aménagement n'est pas conçu pour assurer le transit des sédiments, l'enjeu de continuité sédimentaire ayant été jugé comme secondaire (avis de l'ONEMA) dans ce secteur de la Cent Fonts par rapport à l'enjeu de continuité écologique.

Néanmoins, le protocole d'ouverture des vannes lors des périodes de hautes eaux permettra de favoriser la remobilisation partielle des matériaux de la retenue. En période de basses et moyennes eaux, l'ouverture minimale de la vanne n'aura pas d'incidence significative sur le fonctionnement sédimentaire de la Cent Fonts, du fait des faibles capacités de charriage de cette dernière, hors période de crues régulières.

4.6 Impacts sur la continuité biologique

L'objectif de l'aménagement étant la franchissabilité de la truite en période de migration, celui-ci aura un impact bénéfique sur la continuité biologique. Le protocole d'ouverture des vannes et la reprise du profil en long permettront la montaison des espèces adultes (4a), mais pourront rester sélective selon l'hydrologie pour les petits individus ou les juvéniles (4b).

Néanmoins, étant donné le niveau d'enjeu piscicole sur ce secteur de la Cent Fonts (Avis de l'ONEMA), ces conclusions semblent satisfaisantes.

Annexe 1.

Plans des aménagements