

RAPPORT

Septembre 2016

COMMUNE D'AMAGE

ETUDE PREALBLE A LA RESTAURATION DE LA CONTINUTE ECOLOGIQUE
DU BREUCHIN AU NIVEAU DU BARRAGE D'AMAGE

PHASE PRO



HISTORIQUE DES REVISIONS

VERSION	DATE	COMMENTAIRES	REDIGE PAR :	VERIFIE PAR :
3	09/2016	Chiffrage du scénario n°2	StB	GMG
2	07/2016	Modification du profil en long et en travers du futur Rudivet	StB	GMG
1	06/2016	Déviation du Rudivet à l'Est.	StB	GMG
0	04/2016		StB	GMG

N° affaire : BL5033

Contact

Naldeo
Agence de Besançon
4 chemin de l'Ermitage
FR-25000 BESANCON
Tél. 03.81.52.38.38
Fax 03.81.41.09.96

Stéphanie BRUNIGER
Chargée d'affaires
stephanie.bruniger@naldeo.com

Michel LENGLET
Chargé d'affaires
michel.lenglet@naldeo.com

Table des matières

1_ CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
2 PRESENTATION DES SCENARIOS D'AMENAGEMENT	6
2.1 Scénario n°1	6
2.2 Scénario n°2	8
3 DERASEMENT DU SEUIL	9
3.1 Rappel des incidences	9
3.2 Mode opératoire	9
4 RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DU RUDIVET	11
4.1 Hydrologie du rudivet	11
4.1.1 Présentation du bassin versant	11
4.1.2 Estimation du module	11
4.1.3 Estimation des debits d'étiage	12
4.1.4 Estimation de la courbe des débits classés du Rudivet	13
4.1.5 Estimation des debits de crue	13
4.2 Principe de restauration morphologique	17
4.2.1 Style morphologique	17
4.2.2 Règles de dimensionnement	18
4.3 Aménagement du Rudivet dans le scenario n°1 (scénario non retenu)	19
4.3.1 Contraintes d'aménagement	19
4.3.2 Le dimensionnement	19
4.3.3 Constitution du lit	24
4.3.4 Création d'ouvrages hydrauliques	24
4.3.5 Restauration de la continuité biologique au droit du pont sur le Rudivet	25
4.4 Aménagement du Rudivet dans le scenario n°2 (scénario retenu)	27
4.4.1 Contraintes d'aménagement	28
4.4.2 Dimensionnement	28
4.4.3 Constitution du lit	32
5 BASSIN PAYSAGER	33
5.1 Scénario n°1 (non retenu)	33
5.1.1 Dimensionnement	33
5.1.2 Alimentation	33
5.2 Scénario n°2 (scénario retenu)	35
5.2.1 Dimensionnement	35
5.2.1 Alimentation	35
6 ABREUVEMENT DU BETAIL	37
6.1 Solution retenue	37
6.2 Source d'énergie	38
6.2.1 Pompage éolien	38
6.2.2 Pompage solaire	38

6.2.3	Comparaison	38
7	CHIFFRAGE DES AMENAGEMENTS	39
7.1	Scénario n°1	39
7.1.1	Cout des travaux	39
7.1.2	Cout de la maîtrise d'œuvre et des missions complémentaires	40
7.1.3	Cout de l'opération	40
7.2	Scénario n°2	41
7.2.1	Cout des travaux	41
7.2.2	Cout de la maîtrise d'œuvre et des missions complémentaires	42
7.2.3	Cout de l'opération	42

ANNEXES HORS TEXTE

Plans :

Aménagements proposés. Scénario n°1.

Aménagements proposés. Scénario n°2.

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le seuil du moulin d'Amage a une incidence forte sur le milieu naturel. Il est très difficilement franchissable pour les poissons, et entraîne un plan d'eau sur environ 700 m (colmatage des fonds, faciès lentique...). Il ne possède plus d'usage lié à l'énergie, mais permet l'alimentation d'un canal utilisé pour l'abreuvement du bétail.

En outre, la commune d'Amage, propriétaire du moulin, souhaite valoriser le site au titre de la préservation du patrimoine. Au titre de cette valorisation, la commune a décidé de conserver la turbine et le génie civil en place.

Dans ce contexte, plusieurs scénarios d'aménagement ont été étudiés au niveau faisabilité. Les objectifs des scénarios sont :

- la restauration de la continuité écologique,
- l'amélioration de la qualité physique des cours d'eau,
- la définition de mesures pour satisfaire les usages.

Un scénario a été retenu en début d'année 2015. Il a été développé au niveau AVP. Cette phase a été présentée le 18/12/2015.

La passerelle a été enlevée au projet.

Deux scénarios d'aménagement sont finalement développées dans ce rapport. Ils sont différents au niveau de l'emplacement du bassin (son alimentation est identique dans les deux scénarios), et au niveau de la solution retenue pour reconnecter le Rudivet. Ils sont en revanche identiques concernant la restauration de la continuité écologique sur le Breuchin (dérasement du seuil), et pour l'abreuvement du bétail en remplacement du canal d'irrigation qui n'est plus alimenté.

Les aménagements sont présentés sur des plans annexés à ce rapport.

2 PRESENTATION DES SCENARIOS D'AMENAGEMENT

2.1 Scénario n°1

Le barrage est dérasé sur sa moitié rive gauche afin de :

- restaurer la libre circulation du poisson et des sédiments,
- supprimer l'effet plan d'eau.

La moitié rive droite du barrage est conservée et valorisée sur le plan patrimonial (restauration du parement, sécurisation de l'accès ...).

Dans ce scénario, le bassin, mesure d'accompagnement du projet, est construit en partie dans le lit mineur et majeur du Breuchin, devant le moulin. Il s'appuie sur la partie du barrage conservée. L'entrée du canal d'irrigation, devant l'ancien moulin, est conservé à titre patrimonial et relié au bassin. Les murs devront être étanchés.

Cet aménagement entraîne la suppression :

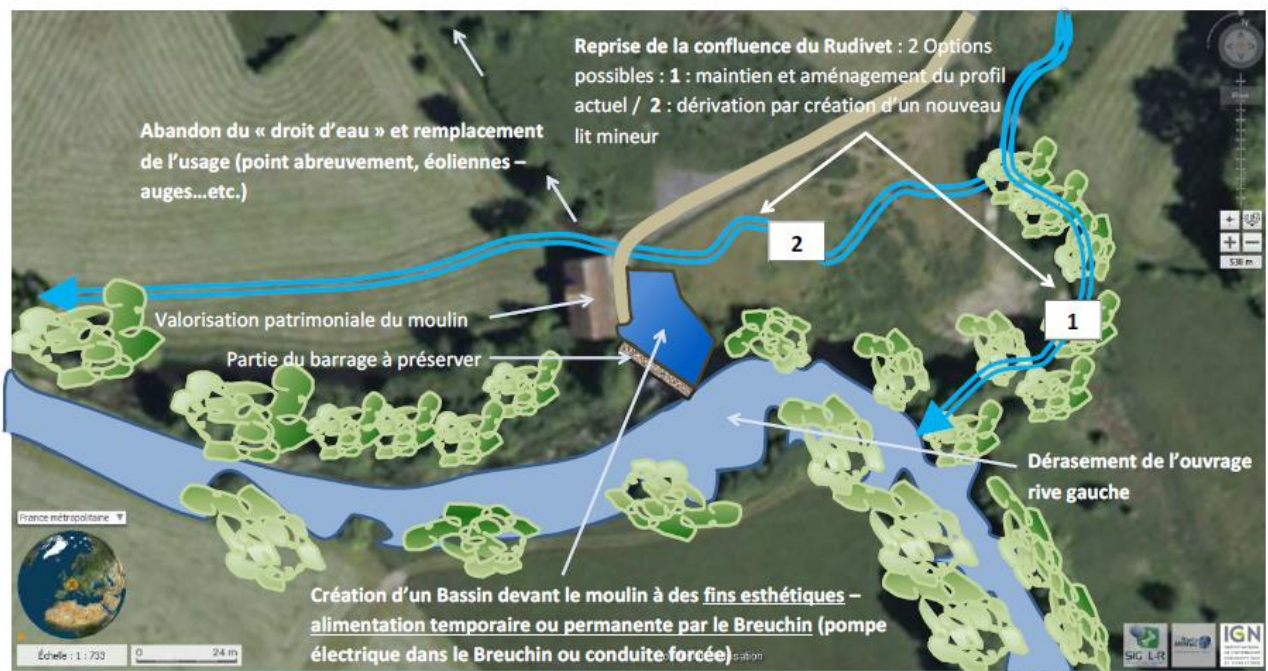
- de la lie,
- de l'alimentation en eau du moulin, et de l'alimentation du canal d'irrigation directement par le Breuchin.

Breuchin.

Il a été discuté avec les agriculteurs des conditions pour satisfaire à l'abreuvement du bétail. Un point d'abreuvement, contigu aux parcelles des 4 exploitants, a été retenu pour la mise en place d'une solution d'abreuvement par pompage dans la nappe.

Des solutions ont été cherchées pour rappeler la force hydraulique dans le cadre du projet de valorisation du moulin. En mesures d'accompagnement du projet, un bassin paysager en eau sera mis en place en amont du moulin ; le vannage de gestion des débits dérivés est également conservé.

Le dérasement du seuil va entraîner une érosion régressive des matériaux de la retenue. Cette érosion va engendrer une déconnection du Rudivet. Deux solutions ont été étudiées dans le cadre de l'avant-projet concernant cette reprise de la confluence du Rudivet avec le Breuchin. La solution retenue (n°2 sur le plan ci-dessous) consiste à dériver le Rudivet, en créant un nouveau tracé valorisant sa qualité écologique ; le tracé actuel est conservé pour l'évacuation des crues.



Source : Fédération de Haute Saône pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.

Rappel sur le choix du scénario d'aménagement.

La possibilité d'alimenter le canal d'irrigation par le Rudivet a été étudiée. Cependant, le tracé actuel du Rudivet manque de pente sur une partie du linéaire. Ce manque de pente entraîne une forte sédimentation refermant progressivement le lit. Cette solution n'a de ce fait pas été retenue.

La possibilité de dévier le Rudivet dans le chenal en fond de vallée a aussi été évoquée. Ce tracé n'est pas souhaité par les agriculteurs car il coupe leurs parcelles.

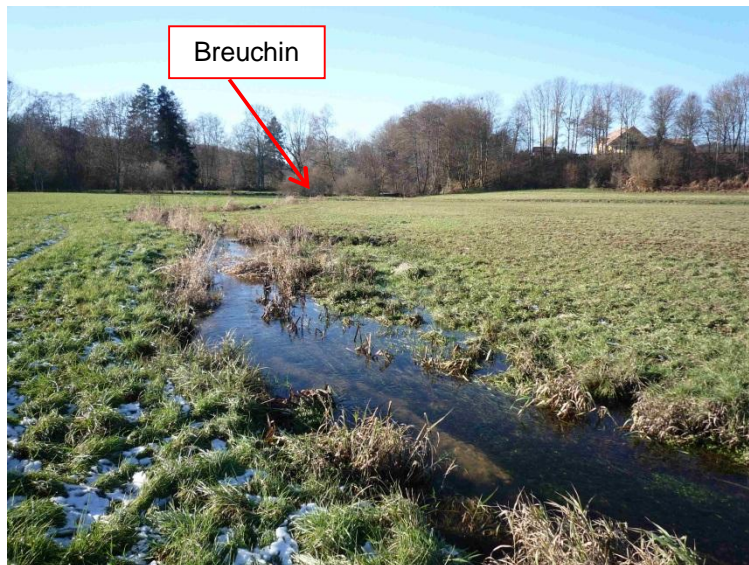
La partie aval du canal d'irrigation continuera d'être alimentée par la source située à flanc de la colline.



Canal d'irrigation dans le secteur de faible pente.



Confluence du canal d'irrigation avec le bras alimentée par la source



Canal d'irrigation en aval de l'apport de la source.

2.2 Scénario n°2

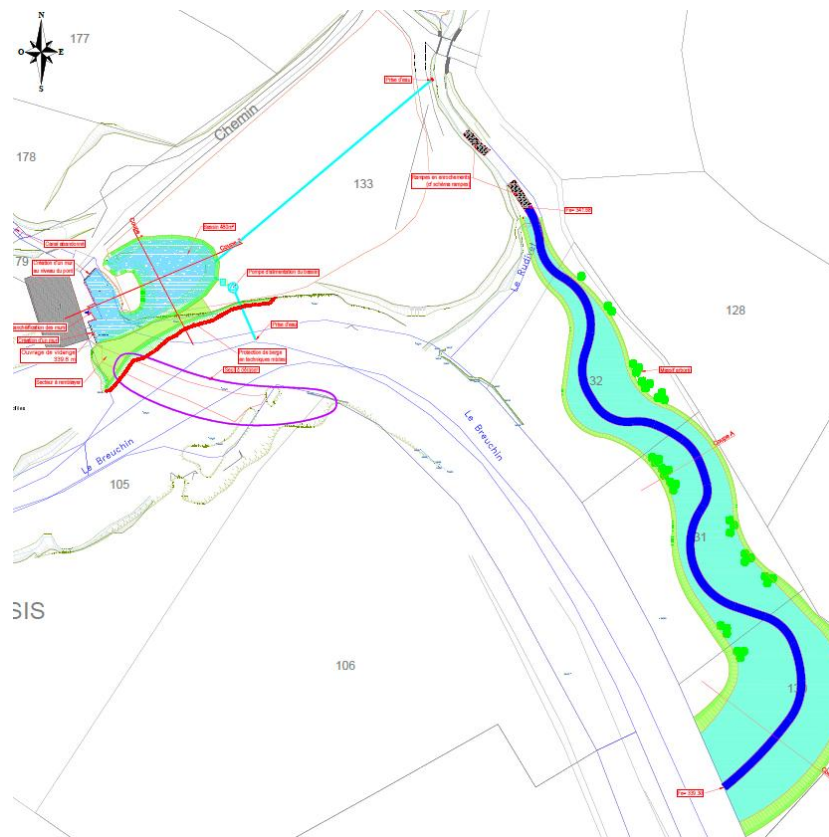
Dans ce scénario, le bassin, mesure d'accompagnement du projet, est construit dans le lit majeur devant le moulin. Il n'est donc plus nécessaire de restaurer une partie du seuil, et de créer un mur dans le lit mineur. L'entrée du canal d'irrigation, devant l'ancien moulin, est conservé à titre patrimonial et relié au bassin. Les murs devront être étanchés.

Le Rudivet est reconnecté au Breuchin en amont du seuil à une cote altimétrique tenant compte de la modification attendue du profil en long du Breuchin.

L'augmentation du linéaire du ruisseau permet d'éviter le développement d'érosion régressive.

Des rampes en enrochements sont disposés en amont du futur tracé avec pour objectif de rehausser la ligne d'eau, et rendre le radier sous le pont situé en amont franchissable pour les poissons.

Compte-tenu du tracé retenu, il n'est plus nécessaire de construire des ouvrages de franchissement sur le Rudivet.



3 DERASEMENT DU SEUIL

Dans les deux scénarios présentés, le seuil est dérasé, rétablissant complètement la continuité écologique. Dans le scénario n°1, une partie du seuil est conservé et restauré. Le bassin, mesure d'accompagnement du projet, vient s'appuyer sur ce seuil.

3.1 Rappel des incidences

Les incidences du dérasement du seuil ont été étudiées dans les phases précédentes. Une modélisation hydraulique a été réalisée en phase 1 pour connaître le fonctionnement du seuil, et calculer les incidences sur les crues en cas de suppression du seuil.

On rappelle ci-dessous les principales caractéristiques du Breuchin dans la zone d'étude .

- le transport solide est existant,
- le lit du Breuchin est en équilibre dynamique dans ce secteur,
- les matériaux franchissent le seuil en crue.

Incidences sur la dynamique alluviale.

En cas de dérasement du seuil, une érosion régressive des matériaux dans la retenue va se produire. Cette érosion s'arrêtera en aval du moulin rouge situé 860 m en amont du seuil d'Amage.

Les matériaux vont migrer vers l'aval au gré des crues. On précise qu'il n'y a pratiquement pas de fosse d'affouillement en aval du seuil à remplir. Le lit mineur étant très élargi en aval du seuil, le dépôt va se faire dans un premier temps dans ce tronçon. Un exhaussement progressif du lit va se réaliser d'amont vers l'aval jusqu'à un nouvel équilibre (en théorie, jusqu'à retrouver la pente avant l'édification du seuil). Ces dépôts pourront localement engendrer des érosions latérales et des débordements. Toutefois, le seuil se situe très en amont des zones habitées (1,8 km en amont du pont de la RD 18 à Breuchotte). Le hameau de la Bouloye est situé 1 km en aval. Cependant, le hameau est situé en dehors de la zone inondable. Les habitations ne sont pas concernées par les modifications qui pourraient être générées par l'aménagement.

Les principales modifications concerneront l'évolution du profil en long. Le dérasement du seuil peut aussi provoquer une reprise des érosions de berge situées dans la retenue. En effet, un seuil stabilise en plan une rivière. Aucune forte évolution du tracé en plan n'est cependant attendue.

Incidences sur les crues.

La suppression du seuil du moulin d'Amage modifie localement les conditions hydrauliques en crue, mais globalement, **ne modifie pas la propagation des hydrogrammes de crue**. Les débits en aval du seuil ne seront pas augmentés par rapport à la situation actuelle. Le seuil n'écrête pas les débits de crue. Le rehaussement de la ligne d'eau que le seuil provoque en crue correspond à un faible pourcentage du volume de crue. En outre, le seuil est contourné en crue par la rive gauche ce qui limite fortement aussi son rôle. Ce résultat est valable dès la crue de période de retour 2 ans, et reste vrai pour l'ensemble des crues.

3.2 Mode opératoire

Dans le scénario n°1, il est prévu de déraser le seuil sur une trentaine de mètres en partant de la berge rive gauche. Le mur béton qui prolonge le seuil le long de la berge rive gauche sera aussi démoli. Dans le scénario n°2, le seuil en entier est dérasé.

On commencera la démolition du seuil depuis la la berge rive gauche, et on progressera vers le centre de la rivière. La démolition de la première section située au droit de la brèche permettra de baisser le plan d'eau en amont. L'écoulement de l'eau se fera dans le bras qui s'est créé sous la brèche du seuil.

Les matériaux du seuil seront évacués vers la berge rive droite pour être réutilisés. Il est prévu qu'une partie des matériaux soit évacués.

Les travaux seront réalisés en basses eaux, ce qui permettra de circuler en aval du seuil.

La suppression du seuil va engendrer une baisse du fond du lit en amont par érosion régressive des matériaux déposés dans la retenue.



La berge rive gauche sera concernée par des érosions car la berge rive droite va être protégée.

La suppression du seuil peut être réalisée sur 2 années, pour permettre une reprise des sédiments de la retenue échelonnée dans le temps.

Ce mode opératoire engendre un surcout.

4 RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DU RUDIVET

4.1 Hydrologie du ruidivet

4.1.1 Présentation du bassin versant

Le tableau ci-après présente ses principales caractéristiques.

RUDIVET	
Surface (km ²)	5,4
Altitude minimum (m NGF)	341
Altitude maximum (m NGF)	568
Longueur du plus long écoulement (m)	4 325
Pente moyenne du cours d'eau (m/m)	0,052
Compacité	1,42
Longueur du rectangle équivalent (m)	4 740

Caractéristiques du bassin versant.

Le bassin versant du Rudivet possède une forme allongée. Il est essentiellement forestier, avec quelques prairies. On notera la présence de trois étangs sur la partie haute du bassin versant.

4.1.2 Estimation du module

4.1.2.1 A PARTIR DU BREUCHIN

Les débits moyens sont estimés à partir des débits spécifiques du Breuchin à la station de la Proiselière (Surface de bassin versant de 123 km²) proportionnellement à la surface calculée pour le bassin versant du Rudivet.

Les tableaux ci-après présentent les différents débits.

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Débits Breuchin (m3/s)	7.08	7.13	6.12	4.48	3.43	2.4	1.81	1.42	1.88	3.79	5.72	7.14	4.35
Qsp (l/s/km ²)	57.6	58	49.7	36.4	27.9	19.5	14.7	11.6	15.3	30.8	46.5	58	35.4
Lame d'eau (mm)	154	145	133	94	74	50	39	31	39	82	120	155	1121
Débits Rudivet (m3/s)	0.311	0.313	0.268	0.197	0.151	0.105	0.079	0.063	0.083	0.166	0.251	0.313	0.191

Débits et débits spécifiques moyens mensuels.

Le module du Rudivet est ainsi estimé à **0,191 m³/s.**

4.1.2.2 A PARTIR DE FORMULES EMPIRIQUES

Différentes formules ont été utilisées pour déterminer le module (appelé QA) du Rudivet au droit du projet. Les formules n° 2 et 3 sont citées dans l'annexe n°3 de la Circulaire du 5 juillet 2011 (« Guide méthodologique en vue de l'estimation du module d'un cours d'eau »). La formule n° 1 est celle citée par le CEMAGREFF en 1987. La formule n° 4 est la formule de Turc.

- (1) : $QA=0,75 PA+0.40 ZMOY-450$ formulation réputée valide si le résultat est supérieur à 300 mm ;
 $QA=(PA/34)^{5/3}(ZMOY/100)^{1/3}$ sinon ;
- (2) : $QA=1,07 PA-610,68 ;(QA.PA)$;
- (3) : $QA=0,11 ZMOY+0,95 PA-545,90 ;(QA.PA.ZMOY)$;
- (4) : $QA=PA-D ; D = \frac{PA}{\sqrt{0,9 + \frac{PA^2}{L^2}}}$; $L=300+25T+0,05T^3$;

Avec PA : pluviométrie annuelle (1500 mm-Isoyète moyenne sur le bassin versant) ;

T : température moyenne annuelle (10,4°C à Luxeuil).

Le tableau suivant présente les résultats.

n° formules	module (m ³ /s)	module spécifique (l/s/km ²)
1	0.146	27.1
2	0.170	31.5
3	0.159	29.4
4	0.158	29.3
<i>moyenne</i>	0.158	29.4

On retiendra pour le module du Rudivet l'encadrement suivant :

Module (m³/s) : [0.158; 0.191].

4.1.3 Estimation des débits d'étiage

Le tableau ci-dessous présente les débits d'étiage du Breuchin à la station de la Proiselière.

	VCN3 (m ³ /s)			VCN10 (m ³ /s)			QMNA (m ³ /s)		
	moy.	min	max	moy.	min	max	moy.	min	max
Biennale	0.53	0.47	0.6	0.59	0.52	0.67	0.84	0.74	0.96
Quinquennale sèche	0.36	0.31	0.41	0.4	0.34	0.45	0.56	0.48	0.64
Moyenne	0.59			0.66			0.95		
Ecart Type	0.27			0.31			0.45		

Débits et débits spécifiques moyens et d'étiage du Breuchin à la Proiselière.

Le QMNA5 (0.56 m³/s) représente 12,9% du module. Le VCN10 2 ans (0.59 m³/s) représente 13,6% du module.

En appliquant ces ratios au Rudivet, on obtient les débits d'étiage suivants :

QMNA5 (m³/s): [0.020 ; 0.025]

VCN10 2 ans(m³/s) :[0.021 ;0.026]

NB : On obtient les bornes supérieures et inférieures de notre encadrement à partir de nos deux estimations du module.

4.1.4 Estimation de la courbe des débits classés du Rudivet

La courbe des débits classés du Rudivet est reconstituée à partir de celle du Breuchin, proportionnellement à la taille du bassin versant.

Fréquences non dépassement	0.99	0.98	0.95	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
Fréquence de dépassement	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Débit du Breuchin (m³/s)	23.9	18.8	13.1	9.6	6.48	4.8	3.6	2.81
Débit du Rudivet (m³/s)	<i>1.049</i>	<i>0.825</i>	<i>0.575</i>	<i>0.421</i>	<i>0.284</i>	<i>0.211</i>	<i>0.158</i>	<i>0.123</i>

Fréquences non dépassement	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Fréquence de dépassement	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
Débit du Breuchin (m³/s)	2.18	1.63	1.16	0.77	0.57	0.4	0.33
Débit du Rudivet (m³/s)	<i>0.096</i>	<i>0.072</i>	<i>0.051</i>	<i>0.034</i>	<i>0.025</i>	<i>0.018</i>	<i>0.014</i>

Le module du Rudivet a été estimé entre 0,158 et 0,191 m³/s. Ce débit est donc dépassé environ **35%** du temps.

4.1.5 Estimation des débits de crue

Nous avons estimé pour les occurrences de crues décennale et centennale, le débit de pointe du Rudivet au droit de la confluence avec le Breuchin.

Trois méthodes ont été utilisées pour réaliser cette estimation :

- estimation directe par une méthode globale (méthode rationnelle),
- modélisation pluie-débit à partir de la méthode SCS,
- extrapolation à partir des résultats des suivis hydrométriques de rivières voisines.

4.1.5.1 METHODE RATIONNELLE

La méthode rationnelle se formule de la façon suivante :

$$QT = \frac{CIS}{3,6} \text{ où :}$$

où :

- *QT* est le débit de pointe de période de retour *T* du bassin versant (en m³/s),
- *C* est le coefficient de ruissellement du bassin versant,
- *I* est l'intensité de la pluie de période de retour *T* et de durée égale au temps de concentration du bassin versant (*i* en mm/h),
- *S* est la surface du bassin versant (en km²).

Le coefficient de ruissellement utilisé dans la méthode rationnelle a été estimé selon les valeurs guide de la Recommandation de l'assainissement routier (R.A.R. - SETRA, 1982), d'après la couverture végétale du bassin versant, sa pente et la nature des terrains. La valeur retenue dans les calculs est *C* = 0,25 en crue décennale.

Le temps de concentration a été calculé par différentes formules (RICHARDS, PASSINI, VENTURA, méthode de la RAR), faisant intervenir les caractéristiques du bassin versant : surface, longueur, pente, dénivelée, coefficient de ruissellement. Le temps de concentration est estimé à 1,6h.

La pluviométrie est celle fournie par le poste de LUXEUIL, poste pluviographique (c'est-à-dire enregistrant la pluviométrie en continu, ce qui est la condition pour définir des lois d'ajustement statistiques) le plus proche de la zone d'étude.

L'intensité d'une pluie de période de retour T peut être approchée par un ajustement statistique dit de MONTANA, qui s'écrit de la façon suivante : $I = at^{-b}$

avec : t en mn (durée de la pluie) et I en mm/mn (intensité de la pluie) ; a et b sont des coefficients (coefficient de Montana) qui dépendent de la période de retour considérée.

Le tableau ci-après présente les coefficients de Montana calculés à la station de Luxeuil.

Période de retour	0 <=t<= 0,25 h		0,25 h <=t<= 4 h		4 h <=t<= 24 h	
	a	b	a	b	a	b
T = 5 ans	4.17	0.518	9.32	0.784	4.89	0.664
T = 10 ans	5.24	0.557	10.49	0.772	5.85	0.671

Période de retour	0 <=t<= 0,75 h		0,75 h <=t< 12 h		12 h <=t<= 24 h	
	a	b	a	b	a	b
T = 100 ans	7.01	0.557	26.23	0.853	2.45	0.500

4.1.5.2 METHODE SCS

Le modèle hydrologique se compose de deux fonctions :

- une fonction de production permettant de transformer la pluie brute en pluie nette, transformation représentant l'interaction pluie - surface. En effet, une partie de la pluie va être retenue par le terrain, le reste constituant le ruissellement. L'appréciation de la fonction de production se ramène donc à l'évaluation d'un paramètre, appelé index de ruissellement, que l'on applique au bassin versant découpé en zones homogènes du point de vue du type de sol, et du couvert végétal ;
- une fonction de transfert permettant de générer l'hydrogramme observé à l'exutoire à partir de la pluie nette. La fonction de transfert est l'hydrogramme unitaire (type SCS), qui est défini à partir des paramètres physiques saisis sur le bassin versant (temps de concentration, surface).

Cette modélisation permet de reconstituer le déroulement des crues en tenant compte de la variation du coefficient de ruissellement au cours de l'épisode pluvieux. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel XP SWMM.

L'application du modèle nécessite la connaissance de la superficie du bassin versant, l'index de ruissellement et le temps de concentration. L'index de ruissellement a été estimé à partir d'une table, proposant, en fonction de la perméabilité du sol et du type d'occupation, des valeurs-guides (valeur choisie : 75). Le temps de concentration a été estimé dans le cadre de l'application de la méthode rationnelle (Cf. § précédent).

4.1.5.3 COMPARAISON AVEC D'AUTRES BASSINS VERSANTS

Le tableau ci-après présente les débits décennaux de pointe calculés statistiquement au droit de stations hydrométriques mises en place sur des cours d'eau de Haute Saône voisins de la zone d'étude.

A partir de ces données, il a été estimé le débit de pointe décennal du Ruvivet au droit du projet à l'aide de la formule de Myers (appelée aussi méthode des transferts).

Cette formule postule qu'il peut exister entre deux points 1 et 2 d'un cours d'eau une relation de corrélation de la forme suivante :

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

avec α un coefficient à déterminer, Q1 et Q2 les débits respectifs d'une crue d'un cours d'eau suivi hydrométriquement et d'une crue du Rudivet d'occurrence identique, respectivement aux points 1 (site de la station hydrométrique sur le cours d'eau suivi) et 2 (le Rudivet), S1 et S2 étant les superficies respectives des bassins versants au droit de ces points.

Si l'on adopte une valeur de α égale à 0,8 (valeur moyenne), les débits du Rudivet peuvent être estimés aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après.

rivière	Localisation de la station	Surface du bassin versant (km ²)	QIX10 (m ³ /s)	QIX10 (m ³ /s) du Rudivet $\alpha = 0,8$
Ognon	Servance	73,5	82	10,2
Rahin	Plancher-Bas	33	42	9,9
Breuchin	Proselière	123	93	7,6
Semouse	Saint-Loup	222	93	4,8
Combeauté	Val d'Ajol	63	65	9,1
			moyenne	8,3

Estimation du débit décennal du Rudivet à partir de bassins versants suivis

4.1.5.4 DEBITS RETENUS

Le tableau ci-dessous présente les débits décennaux calculés par les différentes méthodes.

Méthode rationnelle	Méthode SCS	Extrapolation à partir d'autres bassins versants
Débit de pointe décennal-QIX10 (m³/s)		
7,1	6,9	7,6 (extrapolation à partir du Breuchin)

Les méthodes donnent des résultats relativement proches.

On retient finalement le débit décennal calculé à partir de la méthode rationnelle car compte tenu de la surface de bassin versant, cette méthode est bien adaptée.

Le débit de période de retour 100 ans a été calculé en considérant que celui-ci est égal au double du débit décennal.

Les débits instantanés maximaux retenus sont :

- **Q10 = 7,1 m³/s,**
- **Q100 = 14,2 m³/s.**

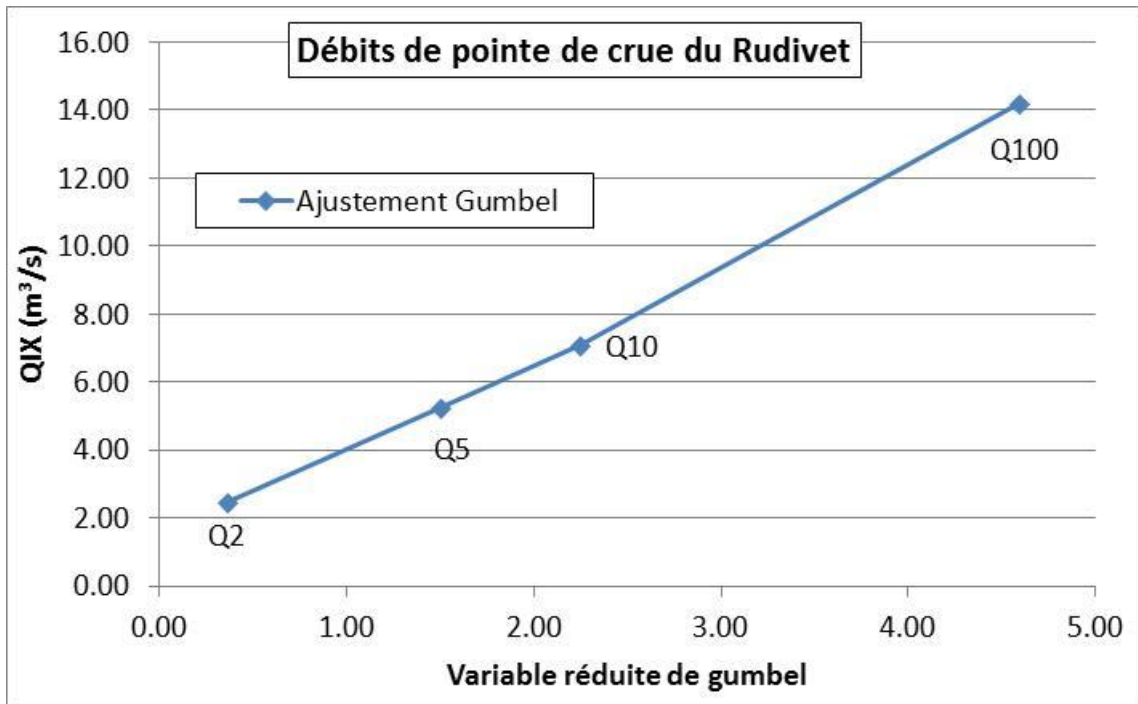
Le débit quinquenal a été déterminé par la méthode rationnelle en retenant un coefficient de ruissellement de 0,22. Celui est estimé à 5,3 m³/s. Le débit biennal a été défini en faisant l'hypothèse que les débits quinquenal et décennal sont alignés sur une droite de Gumbel.

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des débits de pointe de crue du Rudivet.

Période de retour (ans)	QIX (m ³ /s)
2	2,5
5	5,3
10	7,1
100	14,2

Débits de pointe de crue du Rudivet.

Le graphique ci-dessous présente les débits de pointe sur un graphique de Gumbel.

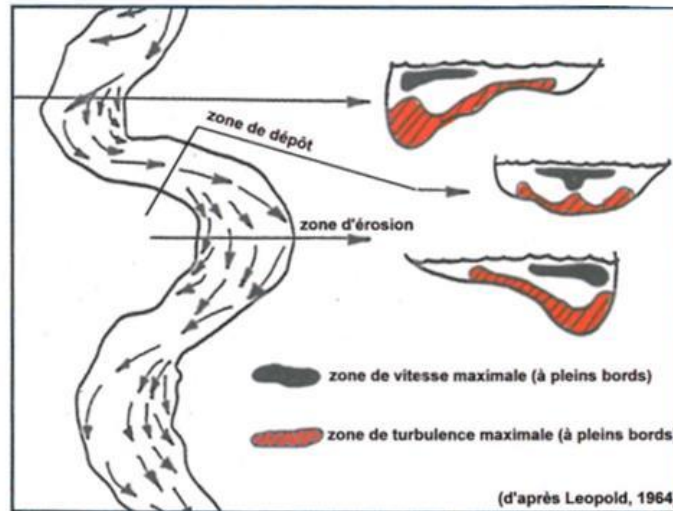


4.2 Principe de restauration morphologique

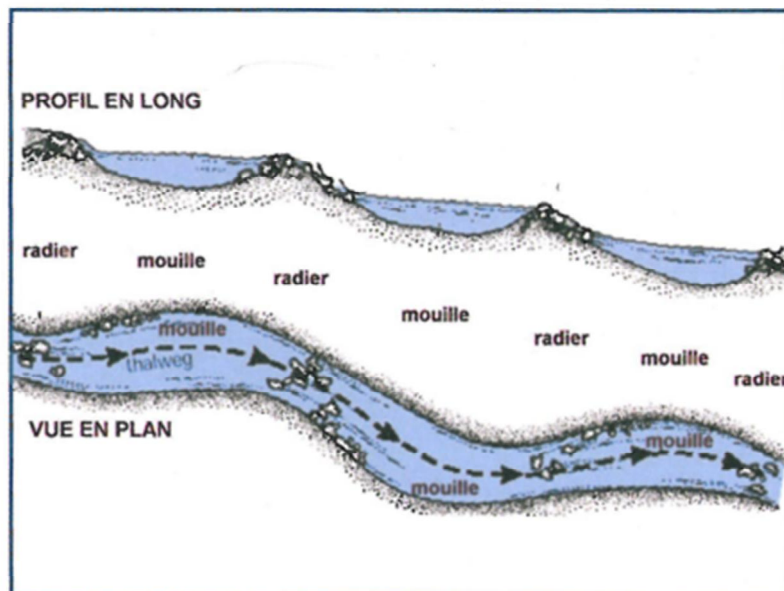
4.2.1 Style morphologique

L'observation du Rudivet en secteur naturel en amont d'Amage montre que celui-ci est légèrement sinueux. Le tracé du projet reprend ce style morphologique en l'adaptant aux pentes de la vallée sur la partie aval. L'amplitude des méandres augmente dans la plaine du Breuchin en raison d'une pente plus faible.

Les graphiques ci-dessous rappellent la forme des lits observés dans les cours d'eau sinueux (profils symétriques, et dissymétriques), ainsi que la forme des profils en longs.



↑ **Figure 91** : Profils en travers « classiques » sur un cours d'eau sinueux (d'après Léopold, 1964). ≡



↑ **Figure 92** : Forme typique du profil en long d'un cours d'eau sinueux. ≡

Source : *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau (Eau Seine Normandie-2007)*.

4.2.2 Règles de dimensionnement

Le lit créé suit la règle du lit « emboîté » : le lit mineur est « emboîté » dans un lit majeur. La largeur du lit majeur doit être au moins égale à 4 fois la largeur du lit mineur.

Le graphique ci-dessous illustre l'aménagement recherché.

Recréation d'un nouveau lit : le lit « emboîté »

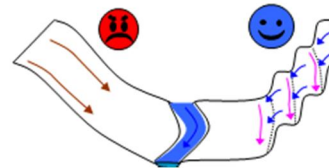
- **Si impossibilité de reconstituer un lit naturel** (ex : enjeux urbains) : il faut **absolument** reconstituer un lit majeur ! Suivre le principe du lit emboîté...



- **Dimensionnement du lit majeur :**

- ✓ Optimum : **6 fois Lpb** (En dessous, on augmente sévèrement les contraintes latérales : des études hydrauliques s'avèrent nécessaires)
- ✓ Minimum : **4 fois Lpb**

Pour des talus élevés, un fractionnement de la pente peut être réalisé afin d'éviter les mises en vitesse et l'érosion.



La photographie ci-dessous montre un exemple de lit emboîté reconstruit.



Exemple de recréation d'un lit mineur adapté ($< Q_2$) dans un lit majeur suffisamment grand (espace de mobilité / de fonctionnalité)

4.3 Aménagement du Rudivet dans le scénario n°1 (scénario non retenu)

4.3.1 Contraintes d'aménagement

Le cours d'eau créé ne devra pas déborder. En effet, en cas de débordement de ce tronçon, compte-tenu de la topographie des lieux, les débordements risqueraient d'inonder l'ancien moulin. Le bras actuel sera ainsi conservé comme déversoir de crue.

Pour des raisons d'emprises au sol et d'érosion (le futur lit doit être stable compte tenu des enjeux humains à proximité), il était difficilement envisageable de dimensionner un lit pouvant accepter des débits de crue, même un débit de crue annuelle.

Ainsi, un débit « projet » a été défini pour dimensionner le futur lit. Au-delà de ce débit, le surplus s'écoulera dans le bras de décharge.

Sur la partie aval, le projet doit s'inscrire entre le fossé et le canal de fuite car ces parcelles appartiennent à la commune. L'espace de mobilité du lit est donc contraint.

4.3.2 Le dimensionnement

4.3.2.1 DEBIT PROJET

D'après la courbe des débits classés, on obtient les informations suivantes :

	Débit (m ³ /s)	Fréquence de dépassement
Module	0.191	35%
Double du module	0.382	13%
Triple du module	0.573	5%

On propose de retenir comme débit projet, le triple du module, soit 0,57 m³/s ; ce débit est dépassé 5% du temps (soit environ 18 jours dans l'année). Le bras de décharge sera en moyenne utilisé 18 jours dans l'année.

4.3.2.2 PROFIL EN LONG

4.3.2.2.1 Contraintes

Le fil d'eau du Rudivet au droit de la diffluence à créer, en aval du pont, est d'environ 342.10 m NGF.

La cote de la route au droit du futur pont est d'environ 341.20 m NGF. La route sera légèrement rehaussée pour avoir une cote de 341.38 m NGF afin de ne pas enfoncer le fil d'eau du lit. En retenant une hauteur de lit de 1 m, et une épaisseur de tablier de 25 cm ; la cote du fond du lit sous le pont sera ainsi de 340.13 m NGF. Avec une telle cote, la pente du tronçon amont du Rudivet sera de 0,023 m/m ; cette pente correspond à la pente moyenne du Rudivet dans la traversée d'Amage jusqu'au Breuchin.

La cote du terrain naturel au droit du passage à gué est de 340.67 m NGF. Afin d'avoir une hauteur de berge de 1 m, la cote de fond du lit est fixée à 339.67 m NGF.

Le fil d'eau du Breuchin au droit de la confluence projetée est à la cote de 338.88 m NGF.

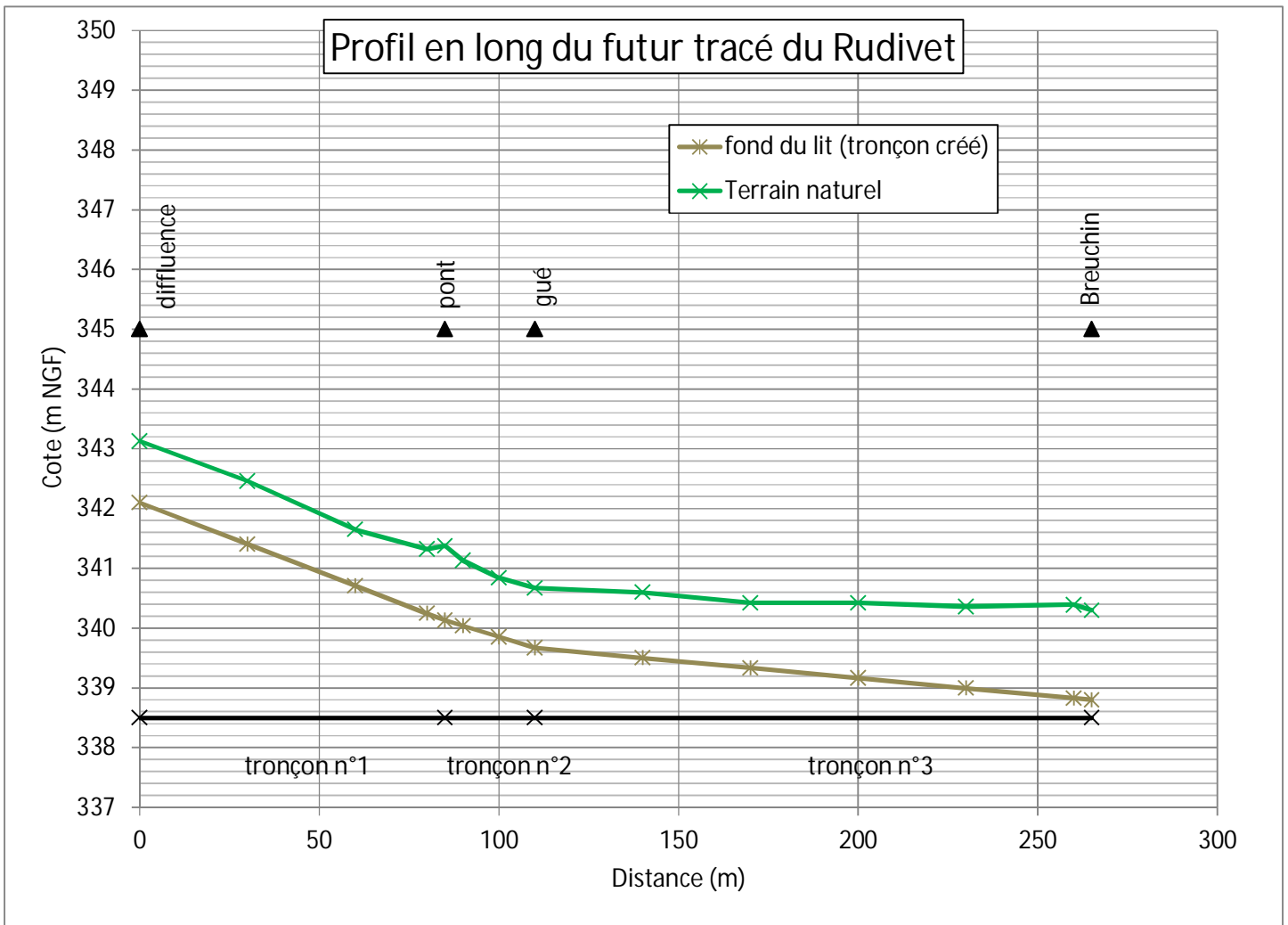
4.3.2.2.2 Construction du profil en long

A partir des contraintes topographiques décrites ci-dessus, des contraintes d'emprises, un profil en long est construit.

Il est constitué de 3 tronçons décrits dans le tableau ci-dessous.

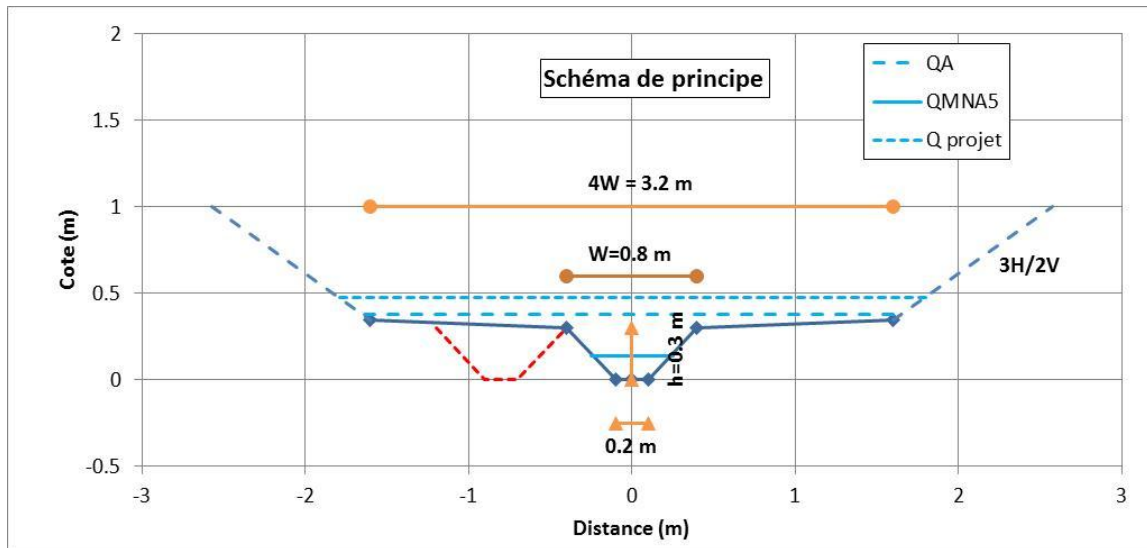
N° tronçon	Linéaire (m)	Pente (m/m)	Hauteur des lits (m)
1	85	0.023	$0.95 < h < 1.10$
2	25	0.018	$1 < h < 1.10$
3	155	0.006	$1.10 < h < 1.4$

Le profil en long est présenté sur le graphique ci-après.



4.3.2.3 GABARITS

Le schéma ci-dessous explique la construction des profils.



Les tableaux et graphiques ci-après présentent les profils obtenus avec la règle de dimensionnement indiquée ci-dessus.

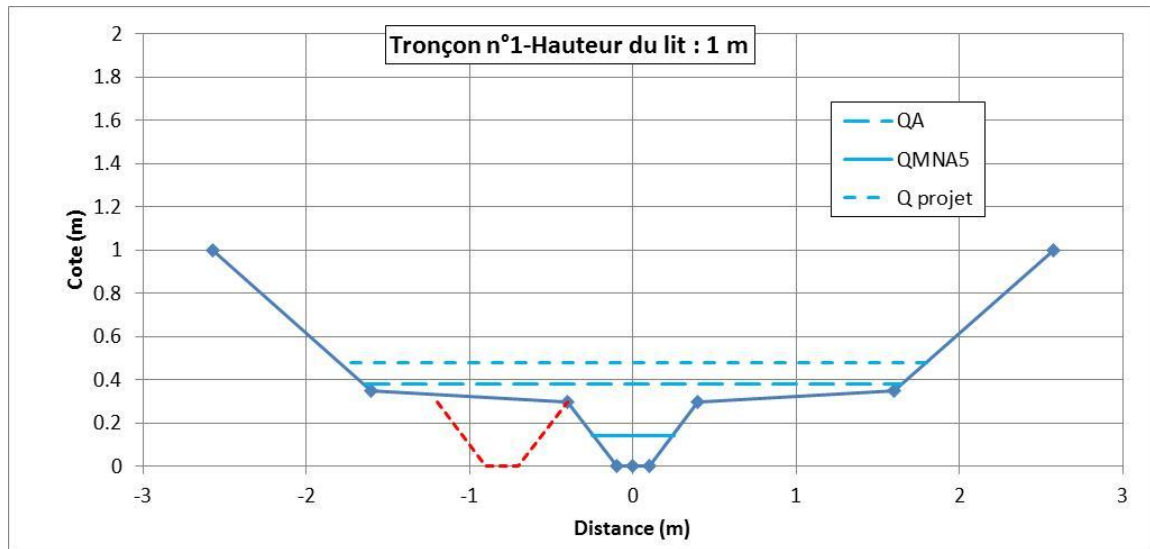
4.3.2.3.1 Tronçon n°1

Pour le tronçon n°1, la hauteur totale du lit est comprise entre 1 et 1.1 m, à l'exception du passage sous le pont où la hauteur du lit atteint 1.25 m. La largeur totale du lit est au plus de 5.45 m.

Pour le débit projet, la hauteur d'eau est de 48 cm. La risberme est inondée entre 13 et 18 cm pour ce débit. Pour le module, la risberme est aussi inondée. Pour le QMNA5, la hauteur d'eau dans le lit est de 14 cm.

tronçon n°1

penne (m/m)	0.023	
Rugosité ($m^{1/3}/s$)	18	
$W=L$ PB (m)	0.8	
$4W$ (m)	3.2	
Hauteur totale du lit (m)	1	1.1
Largeur totale du lit (m)	5.15	5.45
Débit capable (m^3/s)	5.18	2.92
Hauteur d'eau pour le débit projet ($=0.573 m^3/s$)	0.48	0.48
Hauteur d'eau pour le module ($=0.19 m^3/s$)	0.38	0.38
Hauteur d'eau pour le QMNA5 ($=0.025 m^3/s$)	0.14	0.14



4.3.2.3.2 Tronçon n°2

Pour le tronçon n°2, la hauteur totale du lit est comprise entre 1 et 1.1 m. La largeur totale du lit est au plus de 5.45 m.

Pour le débit projet, la hauteur d'eau est de 48 cm. La risberme est inondée entre 13 et 18 cm pour ce débit. Pour le module, la risberme est aussi inondée. Pour le QMNA5, la hauteur d'eau dans le lit est de 14 cm.

tronçon n°2

penne (m/m)	0.018	
Rugosité (m ^{1/3} /s)	18	
W=L PB (m)	0.8	
4W (m)	3.2	
Hauteur totale du lit (m)	1	1.1
Largeur totale du lit (m)	5.15	5.45
Débit capable (m ³ /s)	5.18	2.92
Hauteur d'eau pour le débit projet (=0.573 m ³ /s)	0.48	0.48
Hauteur d'eau pour le module (=0.19 m ³ /s)	0.38	0.38
Hauteur d'eau pour le QMNA5 (=0.025 m ³ /s)	0.14	0.14

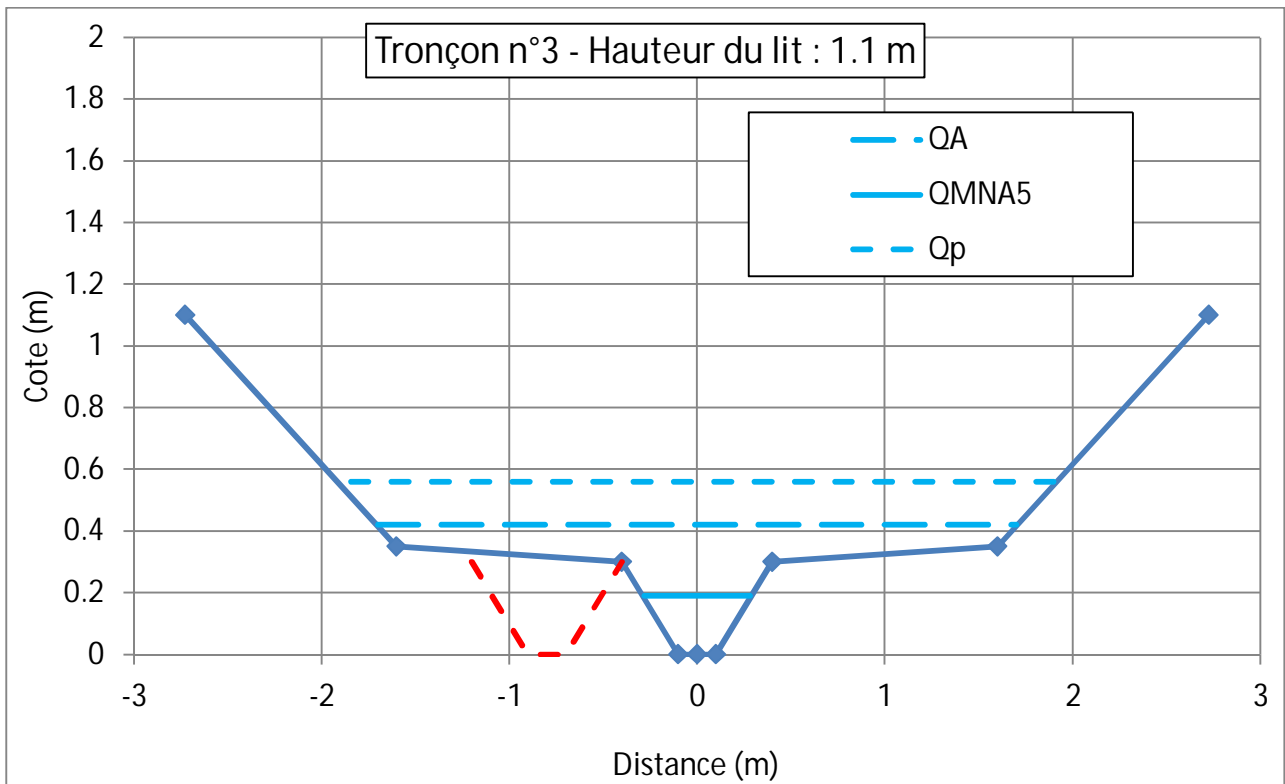
4.3.2.3.3 Tronçon n°3.

Pour le tronçon n°3, la hauteur totale du lit est comprise entre 1.1 et 1.4 m, à l'exception des derniers mètres en aval où la hauteur atteint 1.55 m. La largeur totale du lit est au plus de 6.35 m (et 6.6 m sur les derniers mètres en aval).

Pour le débit projet, la hauteur d'eau est de 56 cm. La risberme est inondée entre 21 et 26 cm pour ce débit. Pour le module, la risberme est aussi inondée. Pour le QMNA5, la hauteur d'eau dans le lit est de 19 cm.

tronçon n°3

pente (m/m)	0.006	
Rugosité ($m^{1/3}/s$)	18	
$W=L$ PB (m)	0.8	
$4W$ (m)	3.2	
Hauteur totale du lit (m)	1.1	1.4
Largeur totale du lit (m)	5.45	6.35
Débit capable (m^3/s)	1.61	3.6
Hauteur d'eau pour le débit projet ($=0.573 m^3/s$)	0.56	0.56
Hauteur d'eau pour le module ($=0.19 m^3/s$)	0.42	0.42
Hauteur d'eau pour le QMNA5 ($=0.025 m^3/s$)	0.19	0.19



4.3.3 Constitution du lit

4.3.3.1 SUBSTRAT DU FOND DU LIT

On préconise la réalisation de sondages géotechniques préalablement aux travaux pour savoir si le substrat sous-jacent à l'emprise du projet est constitué d'alluvions de même type que le cours d'eau naturel.

Si c'est le cas, on n'apportera pas d'alluvions. A l'inverse, compte-tenu du peu d'apports solides naturels, il sera apporté sur place des matériaux d'une granulométrie adaptée afin d'obtenir rapidement un fond attractif pour la faune. Des gros plus gros seront aussi mis en place pour stabiliser les matériaux.

4.3.3.2 VEGETALISATION DU LIT

Les surfaces remaniées seront dûment ensemencées au moyen d'un mélange grainier adapté afin de concurrencer au maximum la colonisation par des espèces végétales néophytes à tendance invasive.

En l'absence d'enjeu, il est proposé une simple végétalisation sans protection des surfaces exondées.

Des bosquets d'essences indigènes adaptées plantés sous la forme de jeunes plants, arbustes et de quelques massifs de boutures et pieux de saules vivants viendront non seulement constituer un corridor biologique boisé sur le linéaire reméandré sur une bande élargie, mais également permettre un ombrage efficace, limitant ainsi le réchauffement des eaux préjudiciables à leur qualité.

4.3.4 Création d'ouvrages hydrauliques

4.3.4.1 LIMITEUR DE DEBIT ET DEVERSOIR

Le projet prévoit de dévier le Rudivet une dizaine de mètres en aval du pont. Au-delà du débit projet (0,573 m³/s), le débit supplémentaire sera déversé dans le lit actuel du Rudivet qui jouera un rôle de délestage de crue.

Afin de réguler plus précisément le débit, un limiteur de débit sera mis en place en tête du futur tracé du Rudivet afin de ne laisser s'écouler que le débit projet, et provoquer le déversement pour le surplus de débit. Cet ouvrage est conçu pour ne pas nécessiter de régulation. Ce sera un batardeau dont la section d'ouverture a été calée pour laisser s'écouler dans le Rudivet que le débit projet en situation de crue.

L'intrados du batardeau sera situé 30 cm au dessus du fond du lit. Le dimensionnement est réalisé pour le gabarit type utilisé pour le lit du Rudivet.

L'ouverture proposée délivrera le débit projet sous une charge de 1 m d'eau. Cette charge correspond pratiquement à la hauteur du lit.

Pour le dimensionnement, on a utilisé la formule pour les ouvrages en charge.

$$Q = m \times S \times (2 \times 9.81 \times h)^{0.5}$$

avec m : coefficient de débit, pris égal à 0.9

S (m²) : section d'ouverture

h (m) : charge.

La cote du déversoir est calée à la cote de l'intrados du batardeau précédent. Il sera positionné en biais, et possédera une longueur de 5 m.

Les conceptions du batardeau et du seuil seront rustiques. Leur conception devra permettre des ajustements si l'expérience montre qu'il faut ajuster le calage, mais interdire toute modification par des personnes non autorisées.

4.3.4.2 OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

Le projet comprend la mise en place de deux ouvrages de franchissement du futur tracé du Rudivet :

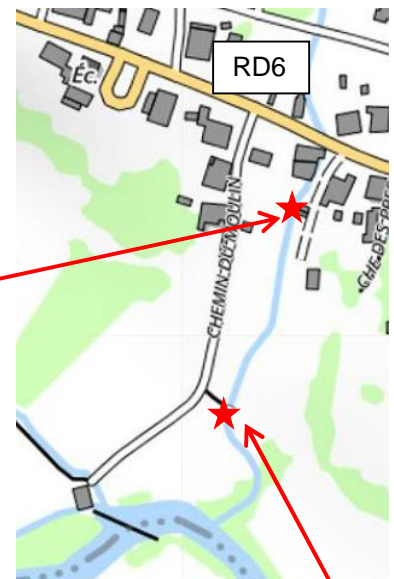
- une passerelle dans la prairie à chevaux en amont du moulin pour l'accès aux terres côté du Breuchin ;
- un pont pour accéder au moulin depuis le chemin d'accès ; le parking sera situé côté village, les visiteurs franchiront le pont à pied ;

Le dimensionnement de ces ouvrages est réalisé pour le débit projet, soit $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$ (pas d'écoulement de crue). Il est prévu de mettre en place des ouvrages avec appuis en berge. Le fond du lit ne sera pas modifié. Le premier ouvrage pourra être en bois. Le second ouvrage sera en béton.

4.3.5 Restauration de la continuité biologique au droit du pont sur le Rudivet

Des obstacles à la continuité biologique existent sur le Rudivet. Sur le tronçon allant de la RD6 à la confluence avec le Breuchin, on note la présence des ouvrages suivant :

- un seuil de hauteur de chute 1.05 m ;
- le radier du pont situé en amont de l'ancien moulin.



Comme le pont sur le Rudivet est situé à proximité des travaux, il est proposé une solution pour restaurer la continuité au droit de ce pont.

Ce pont est conçu avec un radier qui a été positionné au-dessus du fond du lit, ce qui occasionne une chute en aval.

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques du pont.

Fil d'eau radier amont (m NGF)	342.64
Fil d'eau radier aval (m NGF)	342.56
Largeur du pont (m)	2.3
Longueur (m)	5
Pente du radier (%)	1.6

Nous avons réalisé des mesures de hauteurs d'eau en période de migration (15/04/2016). Le tableau ci-après présente les mesures.

Critères	aval	milieu	amont
hauteur d'eau dans l'ouvrage (m)	0.11	0.15	0.17
Chute en aval (m)	0.3		
Fosse d'appel (m)	0		

Caractéristiques hydrauliques au droit du pont par rapport à la continuité biologique.

La continuité biologique a été regardée pour la truite [15 ; 30]. L'absence de fosse d'appel rend l'ouvrage infranchissable (ICE=0). Comme la chute est de 30 cm, il faut pour cette espèce une fosse d'appel de 45 cm.

Le tirant d'eau sous l'ouvrage est suffisant pour une partie de la gamme de débit de la période de migration, mais est insuffisant pour les débits du bas de la gamme. Un tirant d'eau de 5 cm est nécessaire pour la nage de la truite [15 ; 30].

Les vitesses sont fortes. Toutefois, comme l'obstacle possède une longueur réduite (5 m), ce paramètre, bien que limitant, n'est pas le plus défavorable.

Solution proposée.

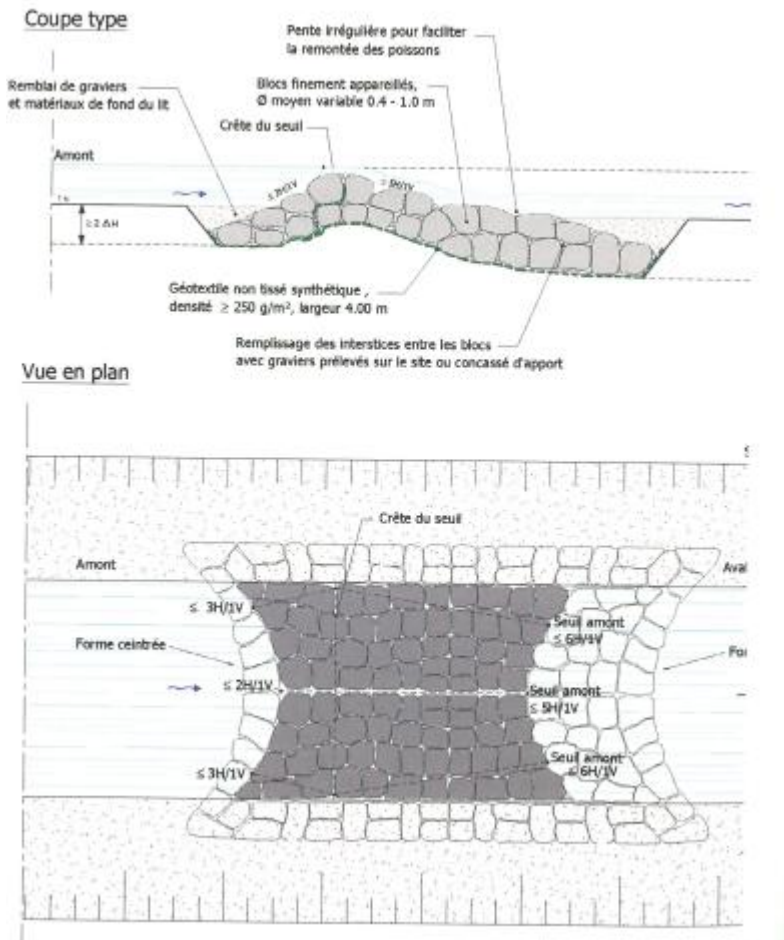
Pour restaurer la continuité biologique, on propose de mettre en place un seuil en enrochements en aval du pont. Ce seuil sera franchissable par conception. Il permettra également d'augmenter la hauteur d'eau dans l'ouvrage pour les plus faibles débits.

Le seuil sera aménagé avec un dévers latéral pour concentrer les débits. La cote de la crête du seuil est fixée à 342,60 m NGF (point bas de la crête), soit 4 cm au-dessus de la cote aval du radier du pont.

Pour les débits plus forts, les poissons pourront utiliser les conditions hydrauliques sur les côtés du seuil.

La pente du parement aval sera faible (d'environ 0,08 m/m).

Les schémas ci-dessous illustrent le principe de la conception du seuil.



Source : *Le génie végétal, La documentation française (2008).*



Source : *Passes à poissons, expertise, conception des ouvrages de franchissement.*

4.4 Aménagement du Rudivet dans le scénario n°2 (scénario retenu)

Ce scénario sera développé au niveau PRO dans la mission de maîtrise d'œuvre.

4.4.1 Contraintes d'aménagement

Le tracé proposé est situé dans des propriétés privées.

Nous ne disposons pas de la topographie du site. Lors des visites de terrain, il a été constaté visuellement que la topographie permettait d'étudier cette solution. Si cette solution était retenue, il est convenu qu'un complément topographique serait réalisé dans la mission de maîtrise d'œuvre, ainsi qu'un AVP.

Cette solution est développée ci-après au niveau faisabilité.

4.4.2 Dimensionnement

4.4.2.1 REGLES DE DIMENSIONNEMENT

L'objectif du dimensionnement est de :

- définir le profil en long du Breuchin après l'érosion régressive des matériaux de la retenue afin de définir le fil d'eau du futur Rudivet à la confluence,
- profil en long du futur Rudivet:
 - définir un tracé et une pente permettant un équilibre morphologique du Rudivet,
 - rehausser le fond du lit actuel en amont de la diffluence en vue de diminuer la pente du cours d'eau, et noyer la chute sous le pont en amont.
- définir un gabarit du Rudivet suivant le principe du lit emboîté ; en créant un large lit majeur à une cote plus basse, cela permettra d'éviter le drainage des zones humides.

4.4.2.2 DIMENSIONNEMENT

4.4.2.2.1 Profil en long

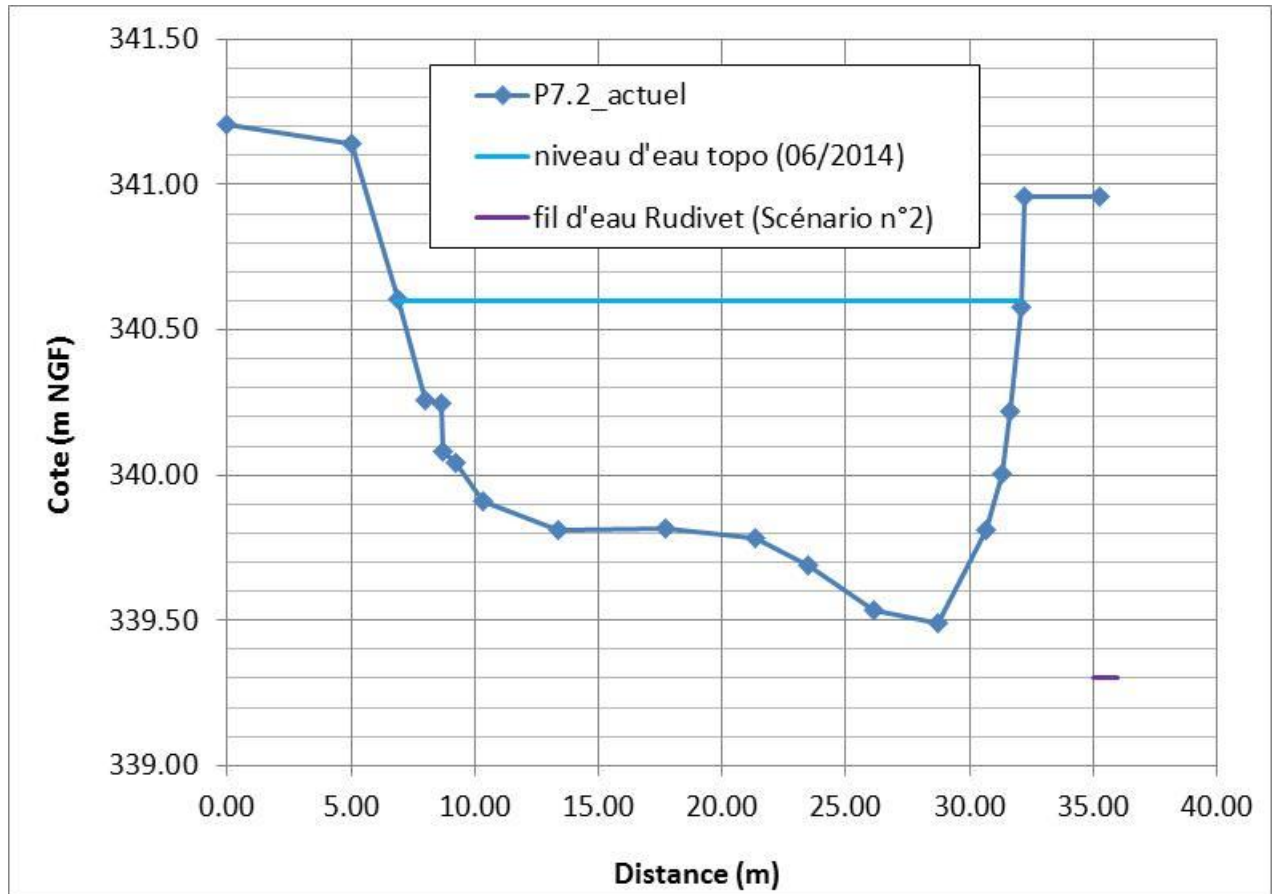
Fil d'eau aval.

Le seuil bloque partiellement des matériaux solides en amont du seuil (remous solide). Son incidence sur le fond du lit est au plus de 0,7 -0,8 m (Cf. rapport de phases 2-3, § 4.5.1, et profil en long ci-après).

L'utilisation d'un modèle hydraulique a permis de tester les incidences de la suppression du seuil sur les lignes d'eau pour les débits d'étiage, moyen, et de crues. Les lignes d'eau vont baisser respectivement de l'ordre de 0,9 m et 1m pour le module et le QMNA5. Le modèle hydraulique ne rend pas compte des évolutions morphologiques du lit avec la remobilisation des matériaux, et la reprise de la dynamique alluviale.

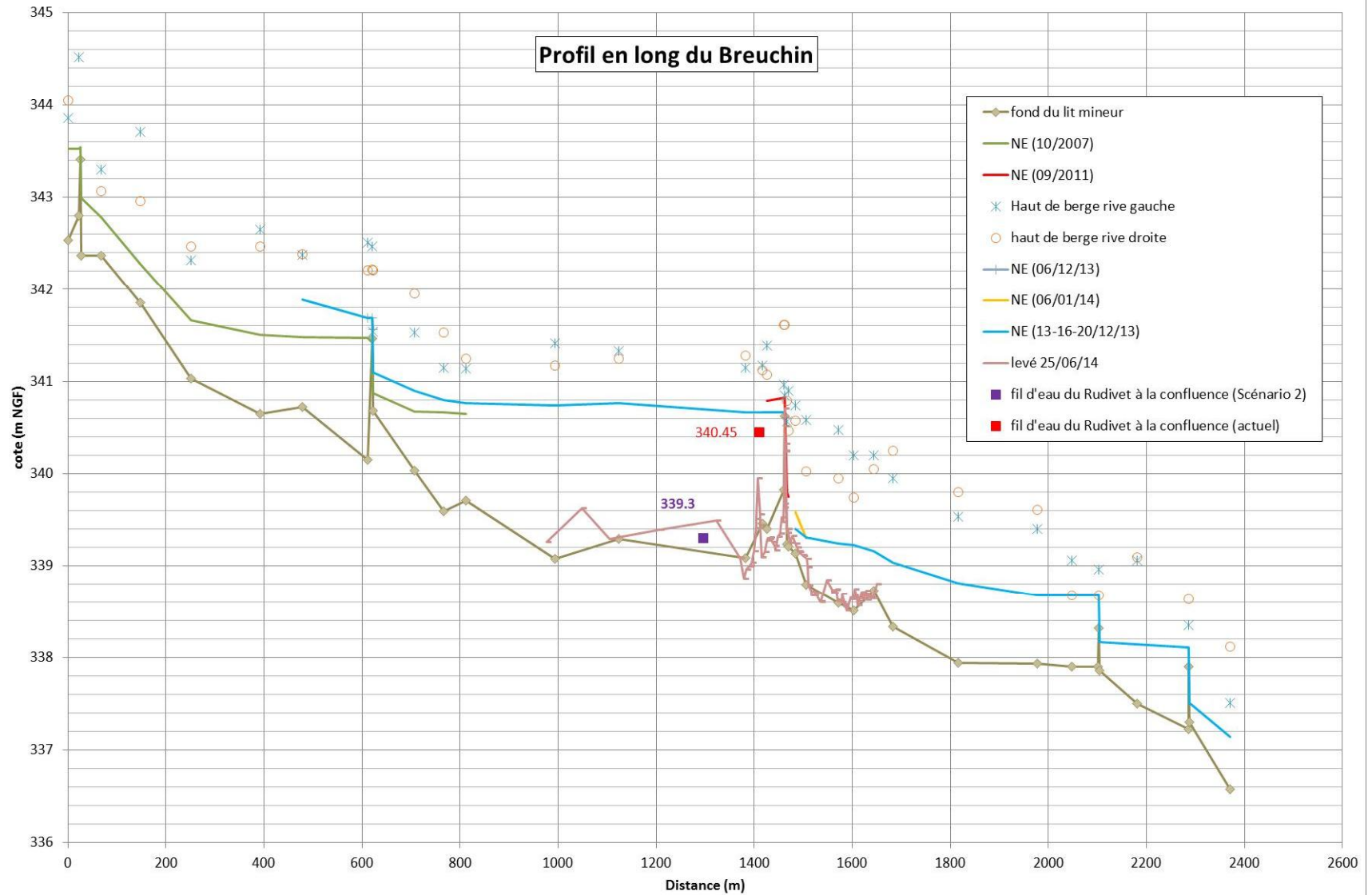
On présente ci-dessous le profil en travers du Breuchin situé 140 m en amont du seuil (profil n°7.2), à proximité du site envisagé pour la nouvelle confluence du Rudivet (Scénario n°2). Le profil est dissymétrique, il subit déjà l'influence du méandre au droit du seuil : creusement de la rive concave, et dépôt en rive convexe.

On a fait figurer le fil d'eau envisagé pour le Rudivet au droit de sa confluence avec le Breuchin dans le scénario n°2. Ce fil d'eau tient compte de la baisse de ligne d'eau attendue (environ 1 m en étiage, et d'une faible baisse du fond du lit du Breuchin. Le fil d'eau proposé (339,30 m NGF) est situé 1,15 m sous le fil d'eau actuel au droit de la confluence avec le Breuchin (340.45 m NGF). Avec ce fil d'eau, le Rudivet sera immergé sur environ trente cm à sa confluence.



Ce fil d'eau a été positionné sur le profil en long du Breuchin (Cf. graphique à la page ci-après).

Profil en long du Breuchin



Fil d'eau amont.

Le tracé du Rudivet est présenté sur l'extrait de plan ci-dessous. La topographie disponible est également présentée.

La difflueuse est positionnée en amont immédiat du petit seuil sur le Rudivet (nommée « s6 »). Le fil d'eau amont du futur tracé du Rudivet sera de 341.68 m NGF (soit 30 cm au-dessus du fond actuel).

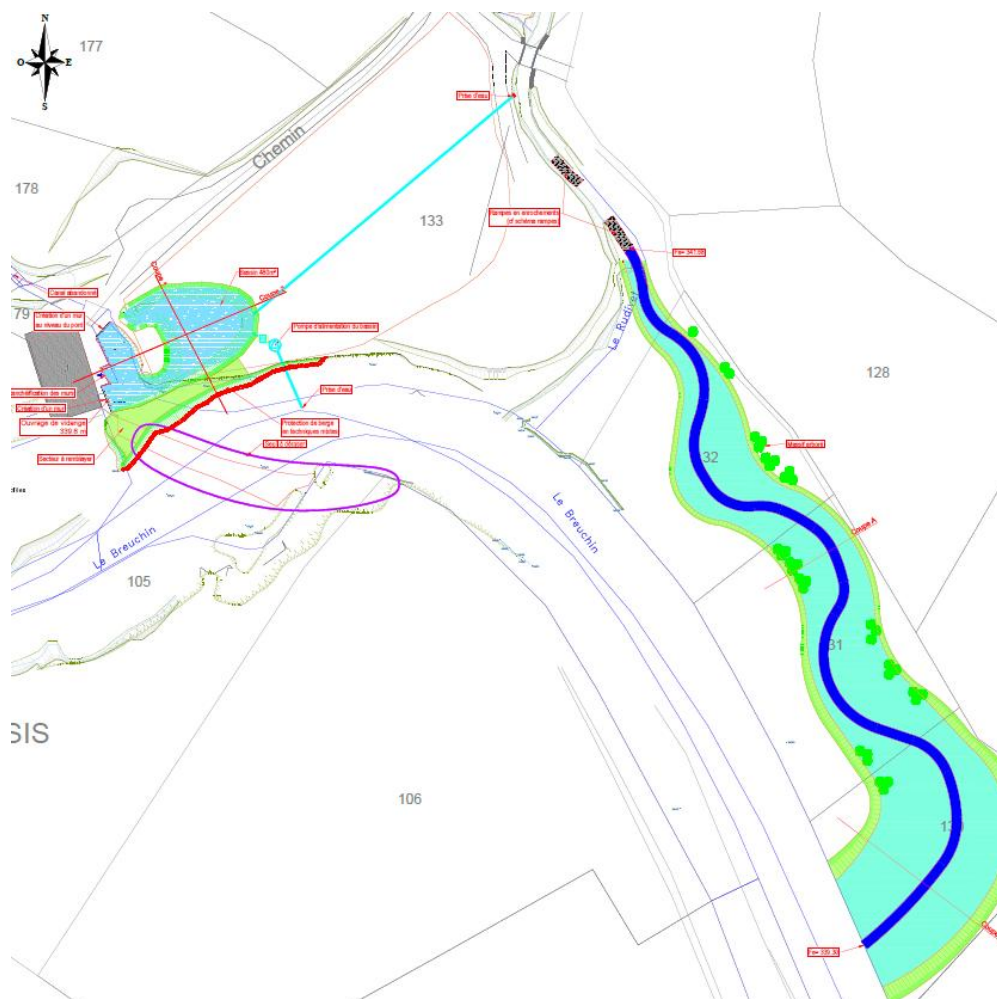
Deux rampes en enrochements seront également créées :

- une en amont immédiat de la difflueuse,
- une encore plus en amont, pour rehausser le lit actuel du Rudivet et baisser la chute d'eau sous le pont ;

Ces rampes créeront un dénivelé de 30 cm sur la ligne d'eau aménagée en pente douce. Ces rampes seront conçues pour être franchissables par les poissons (Cf. § 4.3.5).

Pente moyenne.

Avec le fil d'eau retenu pour la confluence (339.30 m NGF), la pente moyenne du ruisseau sera d'environ 0,014 à 0,015 m/m pour un tracé d'environ 170 m. On rappelle que la pente actuelle du Rudivet est de 0,023 m/m du pont de la RD6 à la confluence avec le Breuchin. La pente proposée, ainsi qu'un gabarit dimensionné pour déborder dès les petites crues, éviteront le développement d'érosion régressive sur le bras que l'on crée.



4.4.2.2 Gabarit

Les gabarits proposés suivent la règle du lit emboîté : un lit mineur, et un lit majeur (Cf. § 4.2.2).

Le terrain naturel de chaque côté du lit mineur est décaissé pour créer un lit majeur bien connecté au futur lit. Le tracé se situe en zones humides. Celles-ci ne sont pas détruites, mais recrées « à un étage en dessous ».

La largeur entre berge des lits mineurs est de 2 m. La largeur des lits majeurs augmentent d'aval en amont de 8 à 30 m.

La hauteur des lits mineurs sera d'environ 40 à 60 cm.

Deux coupes en travers (coupes A et B) sont proposées sur le plan des aménagements.

Le tableau ci-dessous présente pour ces coupes :

- les hauteurs d'eau pour les débits suivants : QMNA5, module, 3 fois le module, la crue biannuelle,
- le débit capable du lit mineur.

	Coupe A	Coupe B
Débit capable (m³/s)	0.44	0.95
Hauteur d'eau pour Q2 (=2.5 m³/s) (m)	0.63	0.76
Hauteur d'eau pour 3×module (m)	0.44	0.46
Hauteur d'eau pour le module (m)	0.28	0.25
Hauteur d'eau pour le QMNA5 (m)	0.13	0.13

Ces valeurs sont bien sûr indicatives. Les écoulements vont travailler la forme du lit mineur, créé des chenaux d'étiage.

4.4.3 Constitution du lit

4.4.3.1 SUBSTRAT DU FOND DU LIT

On préconise la réalisation de sondages géotechniques préalablement aux travaux pour savoir si le substrat sous-jacent à l'emprise du projet est constitué d'alluvions de même type que le cours d'eau naturel.

Si c'est le cas, on n'apportera pas d'alluvions. A l'inverse, compte-tenu du peu d'apports solides naturels, il sera apporté sur place des matériaux d'une granulométrie adaptée afin d'obtenir rapidement un fond attractif pour la faune. Des gros plus gros seront aussi mis en place pour stabiliser les matériaux.

4.4.3.2 VEGETALISATION DU LIT

Les surfaces remaniées seront dûmentensemencées au moyen d'un mélange grainier adapté afin de concurrencer au maximum la colonisation par des espèces végétales néophytes à tendance invasive.

En l'absence d'enjeu, il est proposé une simple végétalisation sans protection des surfaces exondées.

Des bosquets d'essences indigènes adaptées plantés sous la forme de jeunes plants, arbustes et de quelques massifs de boutures et pieux de saules vivants viendront non seulement constituer un corridor biologique boisé sur le linéaire reméandré sur une bande élargie, mais également permettre un ombrage efficace, limitant ainsi le réchauffement des eaux préjudiciables à leur qualité

5 BASSIN PAYSAGER

Le bassin paysager est une mesure d'accompagnement du projet, comme la restauration des murs de l'entrée du canal d'irrigation.

5.1 Scénario n°1 (non retenu)

5.1.1 Dimensionnement

Le bassin paysager est mis en place en partie dans le lit mineur actuel du Breuchin et en partie sur la berge. Le côté Sud du bassin s'appuiera sur la partie du seuil laissée en place. Compte-tenu de l'état du seuil, celui-ci sera restauré. Le côté Est du bassin est constitué d'un mur béton protégé du côté de la rivière par une technique minérale compte-tenu des contraintes fortes d'érosion. On rappelle en effet que cette partie du bassin est située en rive concave du Breuchin, là où se situent des forces érosives importantes en crue. On propose de mettre en place des gabions végétalisés. L'ancrage du mur et de sa protection sera réalisée 1.8 m sous le fond actuel du lit (soit une cote d'ancrage de 337.5 m NGF). Cette cote tient compte de la baisse du fond du lit par érosion régressive, et de la profondeur d'affouillement des fonds lors des crues.

Pour une bonne stabilité de la protection du mur, celle-ci sera posée avec une pente de 2H/1V.

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques du bassin.

Caractéristiques du bassin	
surface en eau (m ²)	400
surface du fond (m ²)	300
hauteur d'eau (m)	1.2
Volume d'eau (m ³)	430
cote du fond (m NGF)	339,6
cote de l'eau (m NGF)	340,8

5.1.2 Alimentation

5.1.2.1 LES BESOINS

Le volume d'eau prélevé sera supérieur au volume rejeté (trop plein, débit de fuite), car il doit compenser les pertes liées à l'évaporation, aux infiltrations et aux fuites.

D'après BRETON et al., 2001, le fonctionnement normal d'un étang demande un apport minime d'eau pour maintenir le niveau d'eau estimé entre 0,5 et 3 l/s/ha (somme des eaux de pluie, de ruissellement et prélevées dans une rivière).

En appliquant cette règle, le débit prélevé pour assurer le renouvellement de l'eau est compris au maximum entre 0,02 l/s et 0,12 l/s. En période pluvieuse, l'alimentation par le cours d'eau (Rudivet ou Breuchin) ne sera pas nécessaire.

Le QMNA5 du Rudivet a été estimé entre 20 et 25 l/s. Le prélèvement maximum (0,12 l/s) correspond respectivement à 0,5 et 0,6 % du QMNA5.

5.1.2.2 SYSTEME D'ALIMENTATION ET DE VIDANGE

Il est prévu deux systèmes d'alimentation du bassin :

- depuis le Rudivet, par une conduite muni d'un régulateur de débit en amont,
- depuis le Breuchin, par pompage.

5.1.2.2.1 Depuis le Rudivet

Le prélèvement sur le Rudivet ne sera possible que lorsque le débit du Rudivet sera supérieur au débit biologique minimum défini. Ce débit est pris égal à 20% du module, soit 38 l/s.

L'alimentation du bassin depuis cette prise d'eau se fera de manière gravitaire, et ne nécessitera donc aucune énergie.

L'ouvrage de prise d'eau sera un ouvrage en béton. Il sera calé au niveau du radier du ruisseau. Un batardeau de 18 cm de haut sera mis en tête de l'ouvrage afin de ne permettre les déversements qu'au-delà de 38 l/s. Il est préconisé de mettre au départ un batardeau amovible afin de pouvoir caler précisément l'ouvrage avec des mesures. Lorsque le calage sera définitif, le batardeau sera fixé. L'ouvrage disposera également d'une vanne permettant d'obturer la prise d'eau, et de ne délivrer que le débit souhaité. La conduite sera un collecteur PVC de diamètre intérieur 110 mm. L'ouvrage de prise d'eau disposera d'une grille en tête afin d'arrêter les matériaux solides.

En basses eaux, les capacités du Rudivet ne permettront pas d'alimenter le bassin. C'est pourquoi une autre solution est étudiée.

5.1.2.2.2 Depuis le Breuchin

Pour le pompage dans le Breuchin, une pompe sera installée sur la berge. Une conduite sera mise en place entre le Breuchin et la pompe, avec une crépine côté rivière, qui alimentera le pompage avec le niveau d'eau du Breuchin. Un regard, en liaison avec la retenue d'eau, donnera le niveau d'eau du bassin avec des sondes de régulation pour déclencher la pompe.

La pompe sera déclenchée lorsque le niveau d'eau du bassin aura baissée.

Afin d'assurer un renouvellement de l'eau, une conduite munie d'une vanne de régulation, sera mise en place en fond du bassin, avec un débouché dans le Breuchin. Cet ouvrage sera dimensionné pour permettre une fuite d'eau afin de renouveler l'eau du bassin, et pour vider le bassin si besoin.

5.2 Scénario n°2 (scénario retenu)

5.2.1 Dimensionnement

Le bassin paysage, mesure d'accompagnement du projet, est mis en place en berge devant le moulin en décaissant le terrain naturel. Le canal devant le moulin et le vannage sont conservés et intégrés au bassin. Les murs seront étanchés est mis en valeur.

Le lit mineur a été agrandi pour faire fonctionner le moulin. Ainsi, une partie de ce lit situé le long de la berge rive droite est remblayé.

La berge rive droite sera protégée en techniques mixtes (pied de berge en enrochements, et technique en génie végétal en haut de berge). La cote d'ancrage des enrochements tiendra compte de la baisse du fond du lit par érosion régressive suite au dérasement du seuil, ainsi que de la profondeur d'affouillement en crue (cote d'ancrage de 337,5 m).

Pour une bonne stabilité de la protection de berge, celle-ci sera posée avec une pente de 2H/1V pour la partie minérale, et 3H/2V pour la partie végétale.

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques du bassin.

Caractéristiques du bassin	
surface en eau (m ²)	480
surface du fond (m ²)	280
hauteur d'eau (m)	1.2
Volume d'eau (m ³)	550
cote du fond (m NGF)	339,6
cote de l'eau (m NGF)	340,8

5.2.1 Alimentation

Le système d'alimentation est le même que dans le scénario n°1.

5.2.1.1 LES BESOINS

Le volume d'eau prélevé sera supérieur au volume rejeté (trop plein, débit de fuite), car il doit compenser les pertes liées à l'évaporation, aux infiltrations et aux fuites.

D'après BRETON et al., 2001, le fonctionnement normal d'un étang demande un apport minime d'eau pour maintenir le niveau d'eau estimé entre 0,5 et 3 l/s/ha (somme des eaux de pluie, de ruissellement et prélevées dans une rivière).

En appliquant cette règle, le débit prélevé pour assurer le renouvellement de l'eau est compris au maximum entre **0,02 l/s et 0,15 l/s**. En période pluvieuse, l'alimentation par le cours d'eau (Rudivet ou Breuchin) ne sera pas nécessaire.

Le QMNA5 du Rudivet a été estimé entre 20 et 25 l/s. Le prélèvement maximum (0,12 l/s) correspond respectivement à 0,5 et 0,6 % du QMNA5.

5.2.1.2 SYSTEME D'ALIMENTATION ET DE VIDANGE

Il est prévu deux systèmes d'alimentation du bassin :

- depuis le Rudivet, par une conduite muni d'un régulateur de débit en amont,
- depuis le Breuchin, par pompage.

5.2.1.2.1 Depuis le Rudivet

Le prélèvement sur le Rudivet ne sera possible que lorsque le débit du Rudivet sera supérieur au débit biologique minimum défini. Ce débit est pris égal à 20% du module, soit 38 l/s.

L'alimentation du bassin depuis cette prise d'eau se fera de manière gravitaire, et ne nécessitera donc aucune énergie.

L'ouvrage de prise d'eau sera un ouvrage en béton. Il sera calé au niveau du radier du ruisseau. Un batardeau de 18 cm de haut sera mis en tête de l'ouvrage afin de ne permettre les déversements qu'au-delà de 38 l/s. Il est préconisé de mettre au départ un batardeau amovible afin de pouvoir caler précisément l'ouvrage avec des mesures. Lorsque le calage sera définitif, le batardeau sera fixé. L'ouvrage disposera également d'une vanne permettant d'obturer la prise d'eau, et de ne délivrer que le débit souhaité. La conduite sera un collecteur PVC de diamètre intérieur 110 mm. L'ouvrage de prise d'eau disposera d'une grille en tête afin d'arrêter les matériaux solides.

En basses eaux, les capacités du Rudivet ne permettront pas d'alimenter le bassin. C'est pourquoi une autre solution est étudiée.

5.2.1.2.2 Depuis le Breuchin

Pour le pompage dans le Breuchin, une pompe sera installée sur la berge. Une conduite sera mise en place entre le Breuchin et la pompe, avec une crépine côté rivière, qui alimentera le pompage avec le niveau d'eau du Breuchin. Un regard, en liaison avec la retenue d'eau, donnera le niveau d'eau du bassin avec des sondes de régulation pour déclencher la pompe.

La pompe sera déclenchée lorsque le niveau d'eau du bassin aura baissée.

Afin d'assurer un renouvellement de l'eau, une conduite munie d'une vanne de régulation, sera mise en place en fond du bassin, avec un débouché dans le Breuchin. Cet ouvrage sera dimensionné pour permettre une fuite d'eau afin de renouveler l'eau du bassin, et pour vider le bassin si besoin.

6 ABREUVEMENT DU BETAIL

La solution est identique dans les deux scénarios.

6.1 Solution retenue

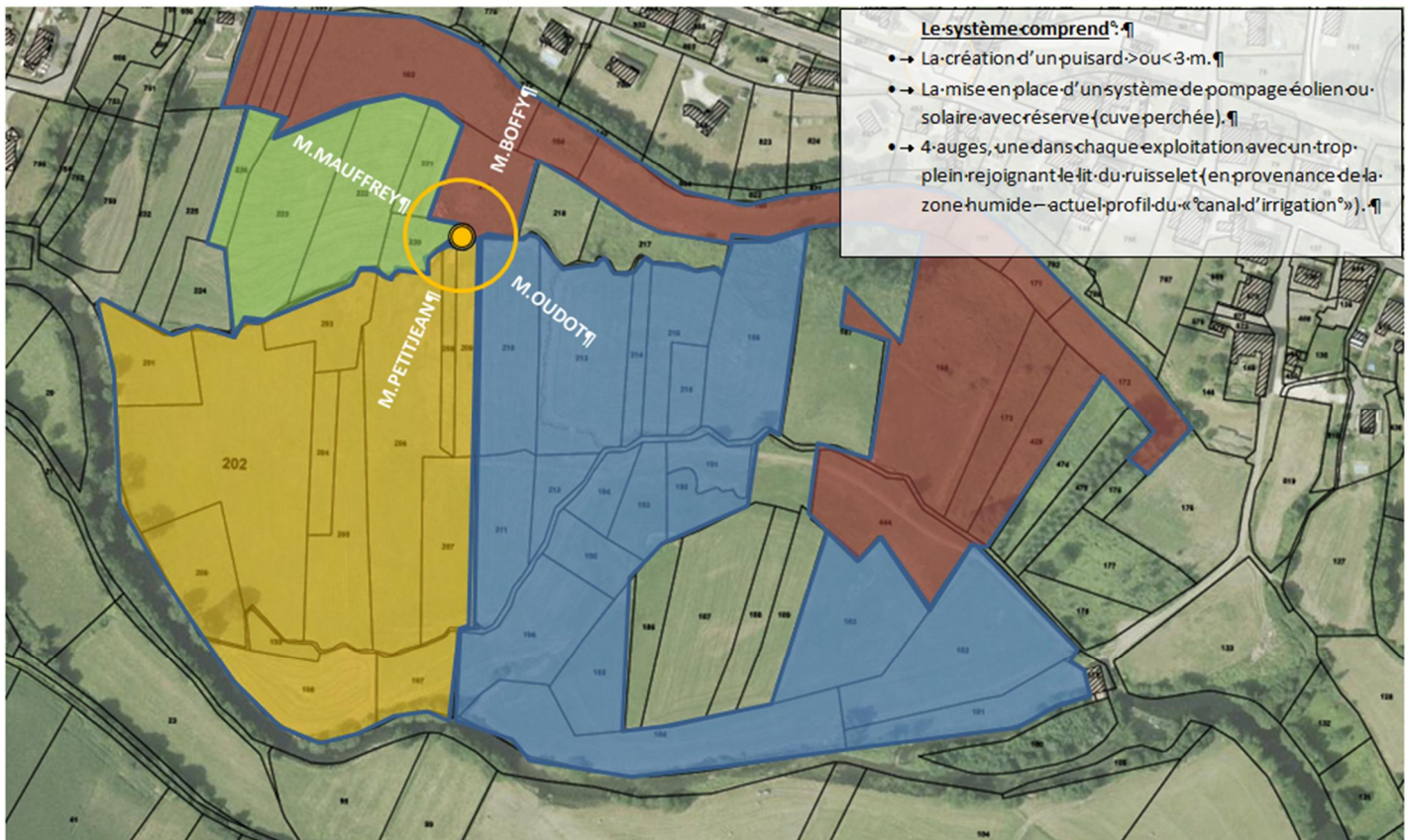
Les exploitants agricoles ont été rencontrés pour discuter des solutions d'abreuvement du bétail à mettre en place en remplacement du canal d'irrigation.

Le nombre de tête a été estimé à 60. La quantité d'eau nécessaire est fixée à 55 l/j/tête de bétail, soit un volume d'eau nécessaire de 3,3 m³/j.

La mise en place d'un **système de pompage dans la nappe**, contigu aux parcelles des quatre exploitants (M Oudot, M Mauffrey, M Petitjean, M Boffy), a été retenu en accord avec les exploitants. La localisation de ce point est présenté sur la carte ci-dessous.

Quatre conduites distibueront ensuite l'eau dans quatre abreuvoirs placés sur la parcelle de chacun des exploitants.

PROJET-AMAGE--Emplacement d'un système de pompage (éolien/solaire à définir selon coût et efficacité) pour l'alimentation des 4 îlots d'exploitation dans la plaine d'Amage---Validé par les 4 exploitants agricoles le 27-10-2015 (M.-OUDOT-M.-MAUFFREY-M.-PETITJEAN-M.-BOFFY). ¶



Fédération de Haute-Saône pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique --- Commune d'AMAGE --- ¶

6.2 Source d'énergie

On présente ci-dessous les deux modes d'énergie possible pour le fonctionnement du pompage.

6.2.1 *Pompage éolien*

Les systèmes de pompage éolien sont reconnus pour leur fiabilité (durée de vie >40ans) et leur grande capacité de pompage. L'éolien est adapté pour les troupeaux de taille **supérieur à 40 bovins**.

Cependant, ce procédé se trouve limité lors de longue périodes non ventées et doit être équipé d'une citerne placée en hauteur pour la distribution des points d'eau. L'équipement installé ne pourra pas être déplacé du fait de sa taille imposante et des travaux de fondations nécessaire à sa mise en place.

La création d'un puisard ou d'un forage pour pomper l'eau de nappe est indispensable.

6.2.2 *Pompage solaire*

Les systèmes de pompage solaires sont de plus en plus utilisés du fait de leur souplesse de fonctionnement et leur transportabilité. Ce système est en général utilisé pour un troupeau de l'ordre de **10 à 40 bovins**.

Le kit de pompage est équipé d'une citerne tampon et d'un groupe de batterie d'une autonomie de 8 jours en cas de faible ensoleillement (le groupe de batterie se rechargeant en 1 journée d'ensoleillement). L'ensemble peut être installé sur une remorque permettant de le déplacer aisément.

La création d'un puisard ou d'un forage pour pomper l'eau de nappe est indispensable.

6.2.3 *Comparaison*

La solution de pompage par énergie solaire est adaptée au bétail en présence (estimation de 50 vaches). Elle possède une autonomie de 8 jours en cas de faible ensoleillement.

La solution de pompage par éolienne est limitée lors des périodes non ventées.

7 CHIFFRAGE DES AMENAGEMENTS

7.1 Scénario n°1

Ce scénario n'a pas été retenu.

7.1.1 Cout des travaux

Les tableaux ci-dessous récapitulent le cout des travaux par type d'ouvrage. Les couts sont aussi décomposés par éléments de mission propre à chaque ouvrage.

missions	Dérasement du seuil	Reprise confluence Ruidivet	Restauration du seuil conservé (*)	Création de la digue en gabions (*)
travaux préliminaires	875.00	4 375.00	2 625.00	5 250.00
terrassements	6 500.00	36 520.00	7 900.00	27 830.00
équipements	0.00	5 600.00	0.00	0.00
génie civil et maçonnerie	0.00	4 065.00	15 479.00	26 670.00
réception-divers et imprévus	1 051.05	5 255.25	3 153.15	6 306.30
total (€HT)	8 426.05	55 815.25	29 157.15	66 056.30

missions	Restauration des murs de l'ancien moulin/canal d'irrigation (*)	Création du bassin (*)	seuil pour continuité biologique (OH3)	Prises d'eau d'alimentation du bassin (*)	système de pompage (éolien)
travaux préliminaires	875.00	1 750.00	0.00	1 750.00	
terrassements	0.00	5 060.00	988.00	2 268.00	8 986.00
équipements	0.00	16 000.00	0.00	12 680.00	9 009.00
génie civil et maçonnerie	8 650.00	0.00	0.00	0.00	
réception-divers et imprévus	1 051.05	2 027.10	75.00	2 102.10	
total (€HT)	10 576.05	24 837.10	1 063.00	18 800.10	17 995.00

(*) : mesures d'accompagnement.

missions	total
travaux préliminaires	17 500.00
terrassements	96 052.00
équipements	43 289.00
génie civil et maçonnerie	54 864.00
réception-divers et imprévus	21 021.00
total (€HT)	232 726.00
TVA (20%)	46 545.20
Total (€TTC)	279 271.20

Les chiffrages sont réalisés sans les résultats des études de sol qui n'ont pas encore été réalisées.

7.1.2 *Cout de la maitrise d'œuvre et des missions complémentaires*

Missions	Cout
Maitrise d'œuvre Tranche Ferme (jusqu'à l'ACT)	4 469.85
Maitrise d'œuvre Tranche Conditionnelle (suivi des travaux)	16 320.15
Etude de sol (mission complémentaire 1)	2 480
Coordination sécurité (mission complémentaire 2)	2 400
Structure et génie civil	2 100
Total (€HT)	27 770
TVA (20%°)	5 554
Total (€TTC)	33 324

7.1.3 *Cout de l'opération*

Le tableau suivant fournit le montant des travaux, de la maitrise d'œuvre, et des missions complémentaires.

Total (€HT)	260 496.00
TVA (20%)	52099.2
Total (€TTC)	312 595.20

7.2 Scénario n°2

Ce scénario est celui retenu.

7.2.1 Cout des travaux

Les tableaux ci-dessous récapitulent le cout des travaux par type d'ouvrage. Les couts sont aussi décomposés par éléments de mission propre à chaque ouvrage.

missions	Dérasement du seuil	Reprise du Rudivet et rampes en enrochements	Protection de berges du méandre en techniques mixtes (*)	Restauration des murs de l'ancien moulin/canal d'irrigation (*)
travaux préliminaires	4 350.00	2 675.00	4 575.00	3 475.00
terrassements	11 500.00	49 630.00	14 699.00	0.00
équipements	0.00	0.00	0.00	0.00
génie civil et maçonnerie	0.00	0.00	0.00	8 650.00
travaux divers	0.00	12 442.50	3 480.00	0.00
réception-divers et imprévus	1 320.00	1 845.00	1 320.00	1 710.00
total (€HT)	17 170.00	66 592.50	24 074.00	13 835.00

missions	Création du bassin (*)	Prises d'eau d'alimentation du bassin en canalisation et pompage (*)	système de pompage (éolien)
travaux préliminaires	1 325.00	1 100.00	
terrassements	6 244.00	2 268.00	8 986.00
équipements	19 800.00	12 680.00	9 009.00
génie civil et maçonnerie	0.00	0.00	
travaux divers	0.00	0.00	
réception-divers et imprévus	1 785.00	930.00	
total (€HT)	29 154.00	16 978.00	17 995.00

(*) : mesures d'accompagnement.

missions	total
travaux préliminaires	17 500.00
terrassements	93 327.00
équipements	41 489.00
génie civil et maçonnerie	8 650.00
travaux divers	15 922.50
réception-divers et imprévus	8 910.00
total (€HT)	185 798.50
TVA (20%)	37 159.7
Total (€TTC)	222 958.20

Dans la création du bassin, on a compté la mise en place d'une bâche étanche. L'étude de sol permettra d'indiquer si la bâche est nécessaire ou non.

7.2.2 *Cout de la maitrise d'œuvre et des missions complémentaires*

Missions	cout
Maitrise d'œuvre Tranche Ferme (jusqu'à l'ACT) et PRO du Rudivet (dont topographie)	8 510.00
Maitrise d'œuvre Tranche Conditionnelle (suivi des travaux)	12 600.00
Etude de sol (mission complémentaire 1)	2500
Coordination sécurité (mission complémentaire 2)	2400
Structure et génie civil	0
Total (€HT)	26 010.00
TVA (20%)°	5 202.00
Total (€TTC)	31 212.00

7.2.3 *Cout de l'opération*

Le tableau suivant fournit le montant des travaux, de la maitrise d'œuvre, et des missions complémentaires.

Total (€HT)	211 808.50
TVA (20%)	42 361.70
Total (€TTC)	254 170.20