

Etude complémentaire sur la continuité Ecologique du bassin versant de la Flume



Phase 2 : Proposition de scénarii

Cette étude est cofinancée par l'Union européenne. L'Europe s'engage en Bretagne avec le Fond européen de développement régional.



Et avec la participation financière de :



Pépinière d'entreprises

Parc Actilonne - BP 78

85 340 OLONNE/MER

Tél/Fax : 02.51.21.50.38

E-mail : contact@serama.fr

SOMMAIRE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1. Avant propos | 6 |
| 2. Les scénarii étudiés | 7 |
| 2.1. Le Moulin de la Motte..... | 7 |
| 2.1.1. Scénarii retenus..... | 7 |
| 2.1.2. Incidences du scénario sur les compartiments morphodynamiques..... | 8 |
| 2.1.2.1. Sur la continuité..... | 8 |
| 2.1.2.2. Sur la ligne d'eau | 8 |
| 2.1.2.3. Sur les autres compartiments | 8 |
| 2.1.3. Enveloppe estimative du coût des travaux | 9 |
| 2.1.4. Financements attribuables..... | 9 |
| 2.2. Le Moulin du Pont de Pacé..... | 10 |
| 2.2.1. Scénario retenu | 10 |
| 2.2.2. Nature des travaux..... | 10 |
| 2.2.2.1. Travaux prévus sur les ouvrages..... | 10 |
| 2.2.2.1.1. Le clapet du Pont de Pacé..... | 10 |
| 2.2.2.1.2. Les ouvrages de décharge du bief..... | 10 |
| 2.2.2.1.3. Le déversoir béton présent sur la mare en aval du clapet de décharge | 10 |
| 2.2.2.2. Travaux prévus sur les berges et la ripisylve..... | 10 |
| 2.2.2.2.1. Travaux de retalutage | 10 |
| 2.2.2.2.2. Travaux de végétalisation..... | 11 |
| 2.2.2.3. Travaux prévus sur le lit mineur | 12 |
| 2.2.2.3.1. Réalisation de radiers par recharge granulométrique | 12 |
| 2.2.2.3.1. Réalisation de banquettes latérales..... | 14 |
| 2.2.2.3.2. Diversification des faciès d'écoulement par mise en place de blocs | 17 |
| 2.2.2.4. Travaux prévus sur l'ancien bief du moulin du Pont de Pacé..... | 18 |
| 2.2.2.5. Travaux prévus sur la mare située en aval du clapet de décharge..... | 19 |
| 2.2.3. Evolution paysagère du site : réalisation de photos-montages | 20 |
| 2.2.4. Incidences du scénario sur les compartiments morphodynamiques..... | 22 |
| 2.2.4.1. Sur la continuité..... | 22 |
| 2.2.4.2. Sur la ligne d'eau | 22 |

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.4.3. | Sur le lit mineur | 22 |
| 2.2.4.3.1. | Impacts hydrauliques | 22 |
| 2.2.4.3.2. | Impacts écologiques..... | 23 |
| 2.2.4.3.3. | Impacts sur les usages..... | 24 |
| 2.2.4.4. | Sur les berges et la ripisylve | 24 |
| 2.2.4.4.1. | Les fonctionnalités de la ripisylve | 24 |
| 2.2.4.4.2. | Incidences des interventions | 25 |
| 2.2.5. | Indicateurs de suivi..... | 26 |
| 2.2.5.1. | L'indice poissons Rivière | 26 |
| 2.2.5.2. | L'indice Biologique Global Normalisé..... | 26 |
| 2.2.5.3. | L'indice Biologique Macrophytique en Rivière..... | 27 |
| 2.2.5.4. | Suivi cartographique des habitats aquatiques..... | 27 |
| 2.2.6. | Enveloppe estimative du coût des travaux | 29 |
| 2.2.7. | Financements attribuables..... | 30 |
| 2.3. | Le Moulin de Champagne..... | 31 |
| 2.3.1. | Nature des travaux..... | 31 |
| 2.3.1.1. | Scénario 1 : Dérasement de l'ouvrage avec le maintien du tracé actuel..... | 31 |
| 2.3.1.1.1. | Travaux prévus sur les ouvrages | 31 |
| 2.3.1.1.2. | Travaux prévus sur le lit mineur..... | 31 |
| 2.3.1.2. | Scénario 2 : Restauration du cours naturel de la Flume..... | 32 |
| 2.3.1.2.1. | Travaux prévus sur le lit mineur..... | 33 |
| 2.3.1.2.2. | Travaux prévus sur les berges et la ripisylve | 34 |
| 2.3.1.2.3. | Travaux prévus sur le lit majeur..... | 34 |
| 2.3.1.2.1. | Travaux complémentaires sur le bief et les cheminements..... | 34 |
| 2.3.2. | Incidences du scénario sur les compartiments morphodynamiques..... | 35 |
| 2.3.2.1. | Sur la continuité..... | 35 |
| 2.3.2.2. | Sur la ligne d'eau | 35 |
| 2.3.2.2.1. | Scénario 1 | 35 |
| 2.3.2.2.1. | Scénario 2 | 35 |
| 2.3.2.3. | Sur les autres composantes morphodynamiques..... | 35 |
| 2.3.2.3.1. | Impacts hydrauliques | 35 |
| 2.3.2.3.2. | Impacts écologiques..... | 36 |
| 2.3.2.3.3. | Impacts sur les usages..... | 37 |

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.3. | Enveloppe estimative du coût des travaux | 38 |
| 2.3.4. | Financements attribuables | 39 |
| 2.4. | Le Moulin de Saut Bois..... | 40 |
| 2.4.1. | Nature des travaux..... | 40 |
| 2.4.1.1. | Scénario 1 : Abandon du plan d'eau..... | 40 |
| 2.4.1.2. | Scénario 2 : Equipement de l'ouvrage..... | 41 |
| 2.4.2. | Incidences du scénario sur les compartiments morphodynamiques..... | 42 |
| 2.4.2.1. | Impacts du plan d'eau et évolution du site..... | 42 |
| 2.4.2.1.1. | Impacts des plans d'eau | 42 |
| 2.4.2.1.2. | Les problématiques existantes ou à venir | 44 |
| 2.4.2.1.3. | Causes du problème..... | 45 |
| 2.4.2.1.4. | Les risques d'une non-intervention | 46 |
| 2.4.2.2. | Incidences du Scénario 1..... | 47 |
| 2.4.2.3. | Incidences du Scénario 2..... | 47 |
| 2.4.3. | Enveloppe estimative du coût des travaux | 48 |
| 2.4.4. | Financements attribuables | 49 |
| 2.4.5. | Bilan comparatif des scénarii | 50 |

1. AVANT PROPOS

La réunion de présentation du diagnostic du 31 mars 2011 a permis de dresser l'état des lieux des quatre sites étudiés et de proposer au comité de pilotage des pistes de scénarios.

Ces pistes de scénario font l'objet d'une étude plus approfondie dans le cadre de cette phase avec une analyse :

- Des aspects techniques et économiques,
- Des aspects écologiques,
- Des aspects sociaux (usages) et fonciers.

Le descriptif des scénarii présenté ci-dessous constitue un outil d'aide à la décision pour le maître d'ouvrage et les membres du comité de pilotage.

Il doit leur permettre de se positionner sur un scénario par l'analyse des aspects techniques et financiers.

Le scénario retenu fera alors, dans la phase suivante, l'objet d'un avant-projet, avec le détail technique de la réalisation et du coût des travaux.

2. LES SCENARII ETUDIES

2.1. LE MOULIN DE LA MOTTE

2.1.1. SCENARII RETENUS

Deux scénarii ont été retenus en comité de pilotage :

- Le démantèlement de l'ouvrage avec le maintien du tracé actuel,
- La restauration du cours naturel de la Flume en restaurant les écoulements au niveau du point bas de la vallée.

Dans le cadre des contacts avec le propriétaire et l'exploitant des parcelles concernées par l'ouvrage, la solution de conserver le tracé actuel a été retenue.

Ce scénario présente plusieurs avantages :

- Il ne présente pas de nouvelles contraintes pour des personnes non concernées actuellement par le tracé de la Flume,
- Les coûts et l'ampleur des travaux sont nettement moins volumineux en conservant le tracé actuel,
- L'intervention sur l'ouvrage avec la conservation du tracé actuel rentre dans le cadre de la Déclaration d'Intérêt Général réalisé par le syndicat et une simple déclaration simplifiée permettrait d'engager des travaux très rapidement.

L'exploitant des parcelles concernées par l'ouvrage a émis le souhait :

- de conserver un passage piéton pour le passage notamment des pêcheurs : la culée rive droite du déversoir sera conservée pour permettre la pose de la passerelle,
- d'étudier la possibilité de déplacer le passage à gué accédant à la parcelle située en rive droite du bief sur un secteur moins profond : un radier est présent en aval de son passage à gué et permet de remplir les conditions pour le passage des engins. Ce passage nécessite l'abattage de trois arbres dont un peuplier.
- de récupérer les pierres de la culée détruite et du déversoir, évitant ainsi une évacuation des matériaux.

Ces points sont intégrés au chiffrage des travaux prévus sur le site.

Une discussion a été engagée avec le propriétaire pour l'abattage des peupliers matures présents sur ses parcelles. Une opération groupée avec d'autres propriétaires pourrait être montée par le syndicat.

2.1.2. INCIDENCES DU SCENARIO SUR LES COMPARTIMENTS MORPHODYNAMIQUES

2.1.2.1. SUR LA CONTINUITE

La réalisation de ce scénario se traduira par une restauration complète de la continuité écologique sur le site avec une libre circulation des espèces et des sédiments.

2.1.2.2. SUR LA LIGNE D'EAU

La mise en place de ce scénario aura une incidence sur la ligne d'eau mais qui restera limitée du fait de la faible hauteur de chute de l'ouvrage. L'ouvrage présente une influence sur 300 m.

La plus forte incidence se fera sentir immédiatement en amont de l'ouvrage avec une diminution de la ligne d'eau de l'ordre de 0.70 m en période d'étiage sur 20 m en amont du déversoir. En amont, un haut-fond va bloquer temporairement l'abaissement de la ligne d'eau à 20 cm. Ce haut-fond va très certainement évoluer vers un radier avec un départ de matériaux et le risque de présenter un écoulement directement sur l'argile.

2.1.2.3. SUR LES AUTRES COMPARTIMENTS

Les travaux d'aménagement vont permettre de restaurer une meilleure diversité des écoulements avec une proportion d'écoulements lotiques plus importantes.

L'impact sur les berges et la ripisylve sera négligeable du fait de la faible ampleur d'abaissement de la ligne d'eau.

2.1.3. ENVELOPPE ESTIMATIVE DU COUT DES TRAVAUX

Le coût estimatif des travaux est présenté ci-dessous.

| N° | Intitulé du poste | Unité | Quantité | Prix unitaire € HT | Montant € HT |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|--------------------|-----------------|
| 1 | TRAVAUX PRELIMINAIRES | | | | |
| 1.1 | Installation, isolement, repli de chantier | forfait | 1 | 500 | 500,0 |
| 1.2 | Implantation des aménagements et piquetage | forfait | 1 | 200 | 200,0 |
| | Total 1 : Travaux préliminaires | | | | 700,0 |
| 2 | DERASEMENT DU DEVERSOIR PRINCIPAL | | | | |
| 2.1 | Démolition, terrassement, renforcement de la culée restante, protection de la berge par enrochements et évacuation des matériaux béton | forfait | 1 | 3000 | 3000,0 |
| | Total 2 : | | | | 3000,0 |
| 3 | TRAVAUX COMPLEMENTAIRES | | | | |
| 3.1 | Création d'un passage à gué | forfait | 1 | 600 | 600,0 |
| 3.2 | Fourniture et pose d'une passerelle galva (portée de 8 m) | forfait | 1 | 7000 | 7000,0 |
| | Total 3 : | | | | 7600,0 |
| | SOUS-TOTAL | | | | 11300,0 |
| 4 | DIVERS ET IMPREVUS 10 % | | | | 1130,0 |
| | Total 4 : | | | | 12430,0 |
| | TOTAL GENERAL € HT | | | | 12430,00 |
| | TOTAL GENERAL € TTC (TVA 19,6 %) | | | | 14866,28 |

2.1.4. FINANCEMENTS ATTRIBUABLES

La possibilité de subventions attribuables pour ces travaux par les financeurs peut atteindre 80 % du montant des travaux.

2.2. LE MOULIN DU PONT DE PACE

2.2.1. SCENARIO RETENU

Un seul scénario a été retenu dans le cadre de la présentation au comité de pilotage :

- Le dérasement de l'ouvrage avec la restauration morphodynamique de la Flume.

2.2.2. NATURE DES TRAVAUX

2.2.2.1. TRAVAUX PREVUS SUR LES OUVRAGES

2.2.2.1.1. LE CLAPET DU PONT DE PACE

Le scénario prévoit le retrait du tablier du clapet mais également le retrait de la butée en béton présente sur le radier de l'ouvrage de manière à éviter un effet « marche ». Les culées et le reste du radier du clapet seront maintenus en place de manière à conserver la passerelle et donc le cheminement piéton tel qu'il est aujourd'hui.

Le glacis béton présent en aval de l'ouvrage sera conservé.

2.2.2.1.2. LES OUVRAGES DE DECHARGE DU BIEF

Les ouvrages de décharge de l'ancien bief du moulin n'auront plus d'utilité dans la nouvelle configuration du site.

Il est donc intégré au projet, le démantèlement du clapet de décharge et le retrait de la vanne de décharge et des murs associés en bout de bief.

2.2.2.1.3. LE DEVERSOIR BETON PRESENT SUR LA MARE EN AVAL DU CLAPET DE DECHARGE

Ce déversoir en béton présente des écoulements sous les fondations et ne permet donc plus de gérer les niveaux d'eau. Dans le cadre du projet, il est proposé de démanteler cet ouvrage de manière à restaurer une connexion libre entre la mare et la Flume en période hydraulique soutenue.

Cette mare est plus profonde que le lit de la Flume et sera toujours alimentée par la nappe d'accompagnement.

2.2.2.2. TRAVAUX PREVUS SUR LES BERGES ET LA RIPISYLVE

2.2.2.2.1. TRAVAUX DE RETALUTAGE

Les travaux hydrauliques réalisés sur le bassin versant couplés à une forte urbanisation sont à l'origine d'importants phénomènes d'incision. L'énergie accumulée dans le lit mineur en période de crue se dissipe moins vite par débordement, ce qui accentue les phénomènes d'érosion sur les parties friables des berges et les fragilise.

L'érosion latérale est active sur les secteurs de sinuosités conservées qui ne bénéficient pas de protection naturelle importante.



Banquette d'argile traduisant l'élargissement de la Flume et le déficit de matériaux mobilisables en berge

L'analyse de la structure des berges montre l'absence de matériaux grossiers. Les berges sont uniquement argilo-limoneuse sans pouvoir de recharge en matériaux alluvionnaires de type pierres, galets, graviers.

Ce constat lié à l'impact des travaux hydrauliques qui ont conduit au retrait d'une partie des matériaux présents dans le lit montre un état dégradé des berges et peu propice à l'implantation de la ripisylve.

Pour permettre de mieux dissiper l'énergie de la Flume, le retalutage des berges répond à deux objectifs :

- les débordements au sein du lit mineur doivent être plus précoces de manière à limiter l'énergie érosive du cours d'eau. Un retalutage permet de favoriser plus rapidement les débordements et donc de diminuer les vitesses de pointe,
- la pente plus douce des berges suite au retalutage est plus favorable à l'implantation et au développement de la végétation rivulaire.

Le principe d'action permet de récupérer en partie les produits issus du retalutage de la berge pour favoriser le remodelage du lit mineur. L'objectif est en effet de travailler également sur la morphologie du lit mineur pour diversifier les habitats aquatiques et restaurer l'équilibre morphodynamique du cours d'eau.

2.2.2.2. TRAVAUX DE VEGETALISATION

Dans le cadre du projet, la végétalisation des berges va permettre de stabiliser les berges et de

reconstituer des habitats rivulaires intéressants d'un point de vue biologique. La végétation va également permettre une intégration paysagère rapide des différents aménagements. Il est donc prévu dans le cadre des travaux :

- Des plantations de ripisylve en compléments sur des portions où elle est fragmentée,
- Des semis d'hélophytes au niveau des banquettes et des zones retalutées,
- La réalisation d'un boisement épais en amont du Pont Hamelin le long de plantations réalisées par la commune de manière à reconstituer une ripisylve épaisse tout en limitant l'entretien à moyen terme sur cette zone.

La plantation de la ripisylve se fera par plants. Pour 100 Ml plantés, les essences doivent être réparties entre

- 24 grands plants forestiers (hauteur :0.70 m), tous les 5 m environ :
 - 8 aulnes glutineux,
 - 8 frênes communs,
 - 8 chênes pédonculés,
- 40 plants intercalaires :
 - 20 cornouillers,
 - 20 noisetiers.

Il est conseillé d'alterner les essences de manière irrégulière, pour obtenir à long terme une ripisylve hétérogène proche d'un milieu naturel classique

Pour protéger les plantations, l'entreprise devra poser une gaine de protection contre le gibier (petit maillage, 120 cm, grammage 100-120 gr /ml) et des tuteurs en châtaigner agrafés à cette gaine pour les chênes, frênes et les aulnes.

Pour la préparation du sol, les travaux sont payés au Ml de berges. Pour la fourniture des plants, les plantations et la mise en place de gaine avec tuteurs, les travaux sont payés à l'unité.

Pour les plantations en épaisseur, une attention particulière devra être apportée à l'alternance des essences.

2.2.2.3. TRAVAUX PREVUS SUR LE LIT MINEUR

2.2.2.3.1. REALISATION DE RADIERS PAR RECHARGE GRANULOMETRIQUE

Par rapport à la nature des matériaux en place (substrats décapés avec écoulements sur l'argile), il apparaît souhaitable de prévoir la mise en place de matériaux (épaisseur d'environ 20 cm en moyenne) au fond du lit sur certaines portions préalablement sélectionnées.

Plusieurs radiers sont donc proposés sur le secteur d'étude. Ces radiers vont permettre de créer des habitats lotiques sur une granulométrie qui a disparu ou qui ne tiendra pas avec la violence des crues.

| Classe granulométrique | Classe de taille en mm |
|------------------------|------------------------|
| Rochers | >1024 |
| Blocs | 256 - 1024 |
| Pierres | 64 - 256 |
| Cailloux | 16 - 64 |
| Graviers | 2 - 16 |
| Sables | 0.0625 - 2 |
| Limons | 0.0039 - 0.0625 |
| Argiles | <0.0039 |

Tableau 1 : Classes granulométriques des substrats des cours d'eau selon Malavoi

Les zones de recharge granulométrique visant à reconstituer des radiers seront couplées à des aménagements visant à réduire la largeur du lit mineur en étiage par création de banquettes. Des exemples de réalisation sont présentés ci-dessous.



Exemple d'un radier en cours de constitution avec banquettes latérales sur l'Oeuf - Photo : Fédération de pêche 45



Exemple d'un radier en cours de constitution avec banquettes latérales sur le Langonnet (56) - Photo : Fédération de pêche 56

La recharge granulométrique va permettre de reconstituer une couche d'armure sur le fond de la Flume.

Cette couche d'armure constituée d'un mélange de Blocs/Pierres/Cailloux/Graviers sera mise en place de manière à augmenter la sinuosité du cours d'eau selon le principe du schéma ci-dessous.

Un chenal d'étiage (moins rechargé) sera conservé et les bordures feront l'objet d'une recharge plus importante constituant ainsi des banquettes granulométriques remobilisables.

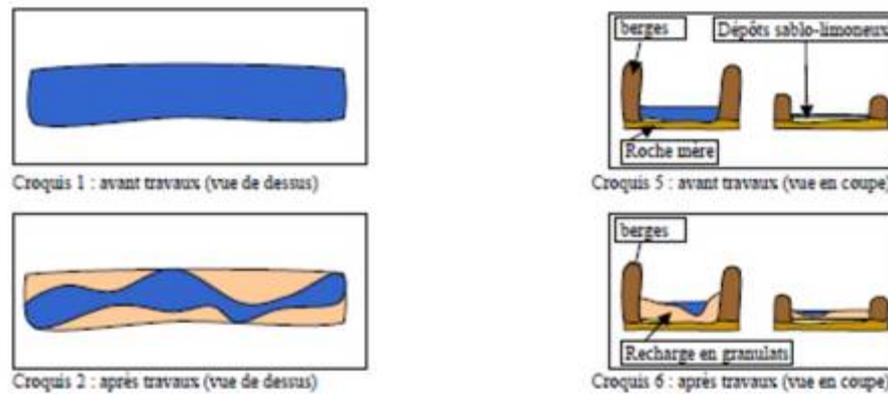


Figure 1 : Principe de réalisation de la recharge en granulats (source : La recharge en granulats, premiers retours d'expérience sur les travaux menés dans le Centre-Ouest de la France sur des petits cours d'eau, Bramard et al, 2010)

Pour assurer la stabilité d'une partie des matériaux, des tranchées d'ancrage seront réalisées dans le fond de la Flume en amont et en aval de plusieurs secteurs de recharge granulométrique. Des blocs seront disposés pour assurer une base solide (photo 73) et ancrés dans le fond argileux par la création d'une tranchée. Un profil en V dirigé vers l'amont permettra d'augmenter la longueur en crête et ainsi diminuer la charge sur l'ouvrage en crue, et afin de conserver un écoulement central. Les blocs seront ensuite recouverts du même mélange Gravier/Cailloux/Pierres/Blocs utilisé pour la couche d'armure.

Les différences de niveaux (entre l'amont et l'aval de l'aménagement) seront inférieures à 20 cm.



Photo 73 : Clouure base du second micro-seuil



Photo 74 : Clouure finition du second macro-seuil

Figure 2 : Principe de réalisation des radiers par recharge granulométrique (source : La recharge en granulats, premiers retours d'expérience sur les travaux menés dans le Centre-Ouest de la France sur des petits cours d'eau, Bramard et al, 2010)

2.2.2.3.1. REALISATION DE BANQUETTES LATÉRALES

Pour augmenter la diversification des vitesses d'écoulement et des profondeurs, il est prévu dans le cadre du projet de réaliser des banquettes latérales permettant de resserrer la largeur d'écoulements.

L'objectif est de faire adopter au cours d'eau un lit d'étiage sinueux au sein d'un lit mineur surélargi. Il s'agit de rétablir une diversification de faciès d'écoulement (succession mouille - plat - radier), diversifier les hauteurs d'eau, redynamiser et recentrer les écoulements en établissant une certaine sinuosité par des aménagements placés alternativement en rive droite/rive gauche. Un chenal d'écoulement préférentiel est créé ainsi que des plages de débordement au sein du lit mineur. Ces

plages de débordements sont le support d'habitats rivulaires dynamiques.

Ces banquettes latérales visent donc à répondre également à un objectif d'augmentation du linéaire de la Flume pour permettre de retrouver une pente d'équilibre plus proche de l'état naturel.

Ces banquettes peuvent être réalisées avec différentes techniques : génie végétal, génie minéral ou couplage des deux techniques. Des exemples sont présentés ci-dessous.



Exemple de réalisation de banquettes permettant de dynamiser le lit du cours d'eau (La Cisse) (Photo : Ludovic Cognard, Pays Beauce-Val de Loire).

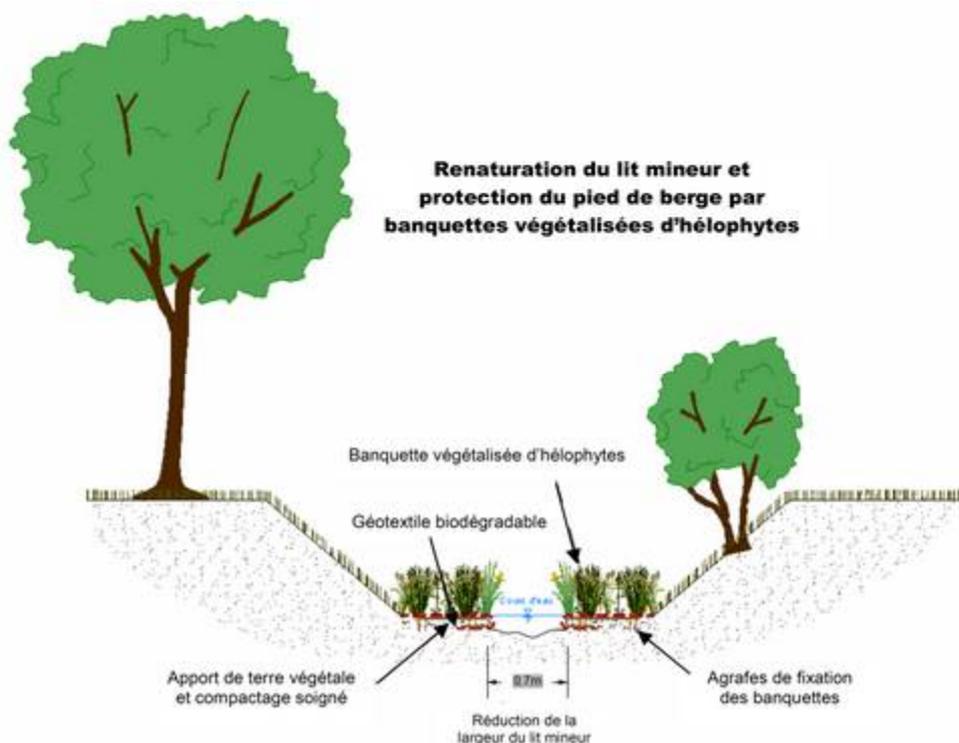


Figure 3 : Principe de réalisation de banquettes latérales végétalisées par des hélophytes (source : guide de gestion des travaux de renaturation des émissaires agricoles de plaine sur le bassin Rhin-Meuse - Fiches technique, Agence de l'Eau Rhin-Meuse)



Vue de boudins et de banquettes d'hélophytes permettant de stabiliser les berges et de créer des habitats



Exemple de création de banquette minérale sur la Remberge (Photos : Fabien LANGUILLE) : avant et pendant les travaux

La réalisation d'un lit mineur par création de banquettes en génie végétal consiste à implanter des boudins de géotextile remplis de terre et végétalisés par des hélophytes. La végétation va ensuite reprendre pour constituer une plage d'hélophytes qui va maintenir la banquette et améliorer la qualité écologique et paysagère du cours d'eau. La réalisation de ce type d'aménagement comprend :

- la mise en œuvre d'un boudin de terre végétale protégé par un géotextile biodégradable, de 15 à 30 cm de hauteur,
- la végétalisation par plantations ou ensemencement d'hélophytes sur les banquettes.

Les banquettes doivent être parfaitement calées en altimétrie. En effet, dans le cas où l'aménagement est trop élevé ou trop bas par rapport à la ligne d'eau, la reprise des hélophytes est compromise. Le calage dépend du régime hydrologique. De façon générale, la banquette est calée au maximum à 15 cm au-dessus de la ligne d'eau d'étiage.

Pour les banquettes par technique mixte, les boudins d'hélophytes sont remplacés par une rangée de blocs en pied de banquette. Les matériaux issus du retalutage des berges sont ensuite implantés derrière ces blocs. La végétation présente sur les berges talutées sera récupérée pour être disposée sur les banquettes, notamment au plus proche des blocs. Cette technique permet de végétaliser rapidement les banquettes en assurant une cohésion rapide des matériaux. Un semis d'hélophytes est

réalisé ensuite pour amorcer plus rapidement l'implantation des hélophytes.



*Exemple de création de banquette mixte (enrochements en pied et retalutage de la berge sur la Cisse (41)
(Photos : Ludovic COGNARD, Pays Beauce Val de Loire)*

2.2.2.3.2. DIVERSIFICATION DES FACIÈS D'ÉCOULEMENT PAR MISE EN PLACE DE BLOCS

Certaines interventions ponctuelles peuvent s'avérer nécessaire pour diversifier les écoulements et retrouver une valeur écologique et un fonctionnement global plus satisfaisants. L'historique du site avec les travaux hydrauliques réalisés caractérise une déstructuration complète du lit mineur : absence d'une armure caractérisant le fond dur du lit mineur.

Ainsi, des interventions douces et appropriées sur le lit des cours d'eau, en agissant directement sur les causes du dysfonctionnement (morphologie du lit, types de substrats présents), peuvent permettre de favoriser la qualité de l'hydrosystème (diversification des faciès d'écoulement, amélioration de l'auto-épuration et de la qualité physique des habitats).

Ces interventions permettent de retrouver une diversification de l'écoulement satisfaisante (alternance de faciès lenticues et de faciès lotiques).

La diversification des faciès d'écoulement au sein du lit d'étiage peut être obtenue grâce à la mise en place de blocs judicieusement placés sur le fond du lit, de déflecteurs ou de mini seuils rustiques en blocs.

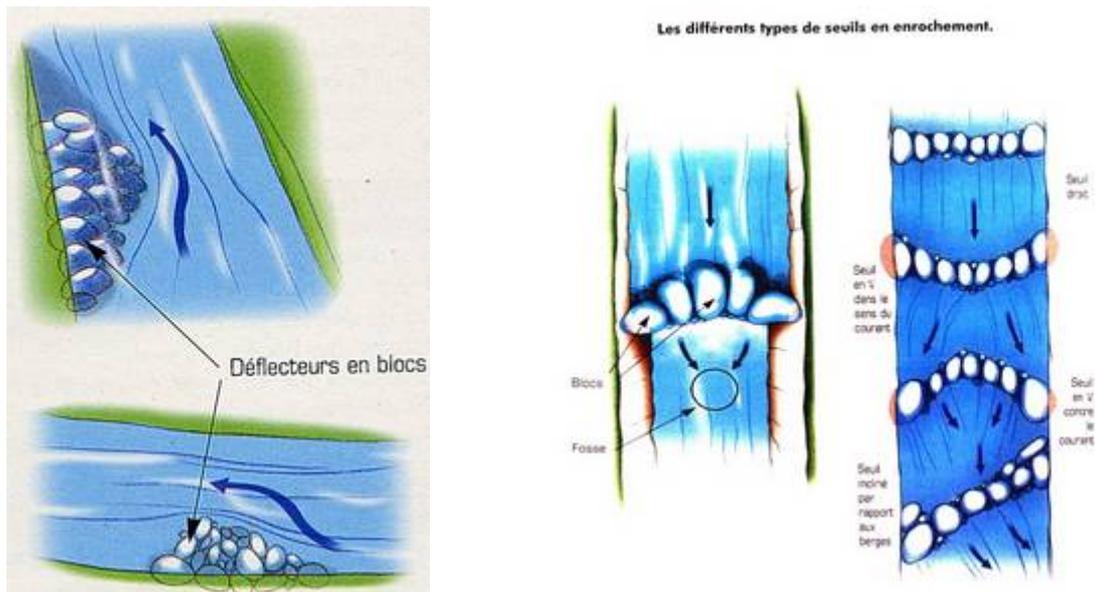


Figure 4 : Exemple de déflecteurs et de mini-seuils (source : Guide technique : Les petits aménagements piscicoles, Conseil Supérieur de la Pêche, 1999)

Les déflecteurs alternés permettent de créer une sinuosité, et de favoriser la diversification des faciès d'écoulement.

Les seuils de diversification visent à imiter les structures naturelles de rapides des petits cours d'eau. Ils permettent de diversifier les écoulements et les substrats de lit, en créant des zones d'accélération des courants qui convergent vers le milieu du lit et créent une fosse en aval de l'aménagement.

L'utilisation de blocs d'origine locale permet une bonne intégration paysagère des aménagements ; les ouvrages ainsi créés présentent une structure « souple » qui permet un ajustement, si besoin, par remaniement léger des blocs.

2.2.2.4. TRAVAUX PREVUS SUR L'ANCIEN BIEF DU MOULIN DU PONT DE PACE

L'ancien bief va se retrouver sans eau du fait du retrait du clapet du Pont de Pacé. Les travaux de curage du bief ont conduit à un abaissement de la cote du fond très prononcé sur la moitié amont du bief.

Le fond de bief se retrouve donc aujourd'hui en dessous de la cote d'évacuation du radier de la vanne située en bout de bief.

Dans le cadre du projet, le bief deviendra une annexe hydraulique sur laquelle il est prévu :

- La mise en place de matériaux terreux sur le fond du bief à la cote de l'ouvrage de décharge en aval du deuxième rejet pluvial busé,

- La création d'une noue végétalisée par des hélophytes au niveau des rejets pluviaux présents sur la partie amont du bief avec un rejet au niveau de la connexion amont du bief. Des paliers en enrochements pourront être créés avec différents types de végétation.

Les fonctions de cette annexe hydraulique seront donc multiples :

- Fonction hydraulique par l'expansion des crues et la conservation de la capacité d'évacuation des crues,
- Fonction qualité par le rôle épurateur des rejets pluviaux présents le long du bief,
- Fonction biologique par le développement des hélophytes et la possibilité d'habitats terrestres et aquatiques que cette zone représente. En fonction des conditions hydrauliques, cette zone peut être exploitée comme une frayère par certaines espèces.

2.2.2.5. TRAVAUX PREVUS SUR LA MARE SITUEE EN AVAL DU CLAPET DE DECHARGE

Cette mare a fait l'objet d'un curage qui a conduit à des berges très pentues présentant un risque pour les usagers des espaces verts.

Dans le cadre du projet, un adoucissement de la pente des berges est proposé par la mise en place de matériaux issus du retalutage des berges de la Flume. Cet adoucissement se traduira par la création de banquettes en pente douce végétalisées par des hélophytes.

2.2.3. ÉVOLUTION PAYSAGÈRE DU SITE : RÉALISATION DE PHOTOS-MONTAGES

Par le biais de photos montages, l'évolution paysagère du site a été simulée par la SARL Laurent Couasnon. Deux photos-montage ont été réalisés au niveau des profils en travers T4 et T7, puis un autre au niveau du départ du bief de l'ancien moulin du Pont de Pacé.



Figure 5 : Vue par photo montage de l'aménagement projeté au niveau du profil T4 en amont du Pont de Pacé (réalisation : SARL Laurent Couasnon) : vue lors de l'abaissement du niveau d'eau en février 2011 (photo de gauche) et vue après aménagement (photo de droite).



Figure 6 : Vue par photo montage de l'aménagement projeté au niveau du profil T7 en amont du Pont de Pacé (réalisation : SARL Laurent Couasnon) : vue lors de l'abaissement du niveau d'eau en février 2011 (photo de gauche) et vue après aménagement (photo de droite).



Figure 7 : Vue par photo montage de l'aménagement projeté sur la partie amont du bief de l'ancien moulin du pont de Pacé (réalisation : SARL Laurent Couasnon)

2.2.4. INCIDENCES DU SCENARIO SUR LES COMPARTIMENTS MORPHODYNAMIQUES

2.2.4.1. SUR LA CONTINUITÉ

La réalisation de ce scénario se traduira par une restauration complète de la continuité écologique sur le site avec une libre circulation des espèces et des sédiments.

2.2.4.2. SUR LA LIGNE D'EAU

La mise en place de ce scénario aura une incidence sur la ligne d'eau sur l'ensemble de la zone d'influence (970 ml).

La plus forte incidence se fera sentir immédiatement en amont de l'ouvrage avec une diminution de la ligne d'eau de l'ordre de 1.30 m en période d'étiage.

2.2.4.3. SUR LE LIT MINEUR

2.2.4.3.1. IMPACTS HYDRAULIQUES

Les travaux proposés dans le cadre du programme ont un impact limité sur les conditions de fonctionnement hydraulique.

Les aménagements proposés ont un impact très limité en terme de hauteur puisqu'ils n'excèdent pas 20 à 30 cm de dénivelé par rapport à l'état actuel. Le risque d'augmentation des inondations est donc très limité et très ponctuel d'autant que ces travaux sont proposés sur des secteurs où les travaux hydrauliques ont conduit à un surélargissement ou un surapprofondissement du lit des cours d'eau.

L'impact hydraulique de ces aménagements est limité en période de crue puisque les plus fortes vitesses se concentrent sur la partie centrale du chenal d'écoulement et non sur le fond ou en berge où les frottements sont plus importants.

Pour minimiser l'élévation de la ligne d'eau en période de crue, l'aménagement dans le lit de la Flume sera compensé par un écrêtage de la berge, de manière à conserver la section d'écoulement d'origine.

Le tableau ci-dessous présente la débitance du lit mineur à plein-bord avant et après travaux au niveau des différents transects réalisés.

La formule utilisée pour les calculs est celle de Manning-Strickler :

$$Q = S * V = S * (Rh^{2/3} * i^{1/2} * K)$$

Avec :

S = Surface mouillée

Rh = Rayon hydraulique

i = Pente hydraulique

K = Coefficient de Strickler (le coefficient de 40 a été choisi par rapport aux caractéristiques du lit mineur de la Flume)

Le facteur limitant les écoulements en période de crue est le pont de Pacé avec un débit capable d'environ 14 m³/s (étude hydraulique-inondations du bassin de la Flume, BCEOM 2001). Pour information, le débit de pointe de la Flume lors de la crue de mars 2001 était de 22.7 m³/s.

Les calculs de débitance au niveau des différents transects montrent que le lit mineur de la Flume n'accepte pas le débit capable du pont de Pacé de 13 m³/s.

Les aménagements projetés induisent une augmentation de la capacité d'écoulement du lit mineur de la Flume immédiatement en amont du Pont de Pacé. Au droit du clapet, la capacité d'évacuation du lit mineur augmente de 16.3 % en passant de 5.14 m³/s à 5.98 m³/s après travaux.

Une diminution de la capacité d'écoulement est constatée au niveau des profils T3, T5 et T7.

| | | Hauteur (m) | Largeur (m) | Surface mouillée(m ²) | Périmètre mouillé (m) | Vitesse (m/s) | Q (m ³ /s) | Différence |
|--------|-------|-------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|------------|
| T1 | Avant | 1,79 | 9,95 | 13,36 | 21,79 | 0,87 | 11,57 | |
| T1 | Après | 1,79 | 9,95 | 13,36 | 21,79 | 0,87 | 11,57 | 0,000 |
| T2 | Avant | 2,15 | 10,4 | 11,99 | 24,26 | 0,75 | 8,99 | |
| T2 | Après | 2,15 | 10,4 | 11,99 | 24,26 | 0,75 | 8,99 | 0,000 |
| T3 | Avant | 1,4 | 8,83 | 7,88 | 18,9 | 0,67 | 5,28 | |
| T3 | Après | 1,22 | 9,85 | 7,61 | 20,2 | 0,63 | 4,76 | -0,514 |
| T4 | Avant | 1,81 | 11,5 | 13,33 | 25,22 | 0,78 | 10,46 | |
| T4 | Après | 1,81 | 11,5 | 13,23 | 24,28 | 0,80 | 10,59 | 0,134 |
| T5 | Avant | 1,74 | 9,12 | 11,47 | 20,59 | 0,81 | 9,32 | |
| T5 | Après | 1,58 | 10,26 | 10,7 | 21,34 | 0,76 | 8,10 | -1,215 |
| T6 | Avant | 2,57 | 11,5 | 18,26 | 24,99 | 0,97 | 17,78 | |
| T6 | Après | 2,57 | 11,5 | 18,26 | 24,99 | 0,97 | 17,78 | 0,000 |
| T7 | Avant | 2,06 | 10,1 | 15,46 | 21,78 | 0,95 | 14,76 | |
| T7 | Après | 2,01 | 12,64 | 16,29 | 26,33 | 0,76 | 12,42 | -2,343 |
| Clapet | Avant | 1,71 | 3,6 | 6,16 | 10,62 | 0,83 | 5,14 | |
| Clapet | Après | 1,9 | 3,6 | 6,84 | 11 | 0,87 | 5,98 | 0,838 |

Tableau 2 : Comparaison de la capacité d'écoulement du lit mineur de la Flume avant débordements au niveau des différents transects avant et après aménagements

En période d'étiage, les aménagements réalisés dans le lit mineur des cours d'eau vont permettre de recentrer les écoulements suite à la diminution ponctuelle de la largeur d'écoulement.

2.2.4.3.2. IMPACTS ECOLOGIQUES

Les travaux de restauration morphologique du lit des cours d'eau permettent une amélioration considérable de la qualité physique des cours d'eau et donc de la qualité biologique.

Seule la période de réalisation des travaux peut conduire à un léger risque de colmatage des

substrats. Ce colmatage ne sera que ponctuel puisque le cours d'eau retrouvera suite aux travaux des caractéristiques physiques et dynamiques lui permettant de décolmater les substrats.

La restauration morphologique va donc permettre :

- La réapparition ou la dynamisation de certaines espèces animales ou végétales disparues suite à la banalisation d'un habitat originellement hétérogène et diversifié (modification du substrat, disparition des séquences mouilles/radiers, des zones de refuge et des frayères, etc.),
- L'augmentation des habitats aquatiques due à l'augmentation de la longueur développée du cours d'eau,
- L'amélioration du réseau trophique des cours d'eau par :
 - o La réapparition ou l'augmentation de la végétation aquatique et de la ripisylve permettant d'augmenter les apports exogènes (feuilles, débris végétaux, etc.) qui représentent une source essentielle de nourriture pour les organismes aquatiques,
 - o L'augmentation de la rugosité du lit favorise la rétention et l'accumulation de débris végétaux : pierres et blocs, branchages, zones mortes, etc., constituent des structures de piégeage des débris à la base du réseau trophique.
- De contribuer à l'amélioration de la qualité physico-chimique des eaux en augmentant les teneurs en oxygène dissous par :
 - o augmentation de la surface de contact entre l'eau et l'air suite aux interventions de chenalisation,
 - o la diversification de la pente du cours d'eau,
 - o la diversification de la vitesse d'écoulement et l'augmentation des turbulences hydrauliques qui favorisent l'oxygénation de l'eau,
 - o la diminution du réchauffement de l'eau, facteur réduisant la quantité d'oxygène dissous disponible.

2.2.4.3.3. IMPACTS SUR LES USAGES

L'amélioration des composantes physiques et dynamiques des cours d'eau permet de retrouver des cours d'eau avec une structure physique permettant le développement d'une biocénose plus riche et plus diversifiée.

Ces travaux présentent donc un impact positif pour les riverains et les pêcheurs.

2.2.4.4. SUR LES BERGES ET LA RIPISYLVE

2.2.4.4.1. LES FONCTIONNALITES DE LA RIPISYLVE

La ripisylve est une composante essentielle du fonctionnement des cours d'eau et présente plusieurs fonctionnalités :

- Régulation des écoulements fluviaux

La végétation riveraine a le pouvoir de ralentir les déplacements de l'onde de crues et écrête ainsi

son maximum. En sens inverse, elle peut servir de réservoir temporaire, capable de stocker les surplus d'eau que la rivière ne peut évacuer dans l'instant, cette eau sera relâchée lentement au fur et à mesure de la décrue. La régulation touche aussi les matériaux solides : matières en suspension, sables...

- Protection de berges

La végétation naturelle d'une ripisylve composée d'espèces végétales diversifiées et au système racinaire développé favorise l'ancrage, donc limite l'érosion des berges

- Qualité des eaux

La végétation riveraine agit comme un filtre épurateur :

- . en favorisant l'infiltration au dépend du ruissellement,
- . en éliminant les nitrates,
- . en fixant les phosphates.
- . en retenant les particules solides,
- . en évitant par son ombrage le réchauffement des eaux...

- Richesse biologique et refuge pour la faune

La ripisylve offre à la faune, caches et abris (arbres creux, sous-caves, embâcles, etc.), nourriture (baies, débris végétaux, insectes tombant des arbres, etc.) et sites favorables à la reproduction (herbiers, racines etc.). De plus, ces longs corridors sont un facteur structurant, reliant les massifs forestiers, et servant de refuge à la faune sauvage (notion de trame verte reprise par le Grenelle de l'Environnement : maillage écologique, local ou régional, dont la conception et le suivi s'appuient sur une approche scientifique et généralement accompagnée d'une cartographie ainsi que d'indicateurs de résultats.)

Sans oublier bien sûr le rôle de structuration et de diversification paysagère que joue une ripisylve diversifiée, d'ombrage pour les randonneurs en quête de fraîcheur

2.2.4.4.2. INCIDENCES DES INTERVENTIONS

Le retalutage de la berge va permettre de créer des conditions plus favorables pour l'implantation et le développement de la ripisylve et donc à terme :

- De reconstituer une ripisylve équilibrée et diversifiée (âge, essences),
- De maintenir et de restaurer des habitats aquatiques en berge (sous-berges, souches, branches basses),
- De limiter les risques d'érosion de berge,
- De maintenir une alternance de zones ombragées et éclairées permettant d'apporter une diversité d'habitats.

Les plantations prévues vont permettre de reconstituer plus rapidement un cordon ligneux le long de la Flume.

2.2.5. INDICATEURS DE SUIVI

2.2.5.1. L'INDICE POISSONS RIVIERE

Le principe général de l'IPR est basé sur la comparaison du peuplement échantillonné à un peuplement de référence. Ce peuplement correspond au peuplement théoriquement en place dans la station étudiée si celle-ci était dépourvue de toutes perturbations humaines. Il est estimé à partir de modèles statistiques qui prennent en compte des paramètres responsables des variations spatiales des peuplements de poissons dans les milieux naturels.

L'IPR est un outil qui calcule l'écart entre le peuplement échantillonné et le peuplement de référence en comparant les valeurs théoriques et observées obtenues.

Cet indicateur réalisé avant et après travaux va permettre de suivre les réactions du peuplement de poissons de la Flume face aux aménagements réalisés sur le site.

Une première pêche électrique devra être réalisée avant travaux (2011 ou printemps 2012) et une deuxième après travaux en fin de programme du Contrat Territorial du bassin versant de la Flume en 2014.

Le montant budgétisé pour cet indicateur de suivi est de 3 000 € HT (1 500 € HT la pêche électrique).

2.2.5.2. L'INDICE BIOLOGIQUE GLOBAL NORMALISE

L'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) est un indice basé sur l'étude des invertébrés benthiques (invertébrés colonisant la surface et les premiers centimètres des sédiments immergés de la rivière (benthos) et dont la taille est supérieure ou égale à 500 μm (macro-invertébrés)).

Le peuplement benthique, particulièrement sensible, intègre dans sa structure toute modification, même temporaire, de son environnement (perturbation physico-chimique ou biologique d'origine naturelle ou anthropique). L'analyse de cette « mémoire vivante » (nature et abondance des différentes unités taxonomiques présentes) fournit des indications précises permettant d'évaluer la capacité d'accueil réelle du milieu (aptitude biogène).

Ces invertébrés constituent également un maillon essentiel de la chaîne trophique de l'écosystème aquatique (consommateurs primaires ou secondaires) et interviennent dans le régime alimentaire de la plupart des espèces de poissons. Une variation importante de leurs effectifs aura donc inévitablement des répercussions sur la faune piscicole.

L'étude des peuplements benthiques est réalisée à l'aide de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) qui traduit surtout la pollution organique et l'altération des habitats physiques. Cette méthode peut être appliquée sur tous les types de cours d'eau dans la mesure où l'échantillonnage peut être pratiqué selon la technique proposée par la norme NFT 90-350. Les IBGN apportent deux niveaux d'informations intéressants :

- La sensibilité de certains taxons (correspondant au groupe indicateur GI) vis-à-vis de la pollution est représentative de la qualité de l'eau au cours,
- Le nombre de taxons présents renseigne sur la diversité et la qualité des habitats aquatiques.

Au type de peuplement présent, une note est appliquée correspondant à des classes de qualité dépendantes des hydroécotones.

Cet indicateur réalisé avant et après travaux va permettre de suivre les réactions des macroinvertébrés benthiques suite au démantèlement de l'ouvrage et aux aménagements réalisés sur le site.

Un premier prélèvement devra être réalisé avant travaux (2011 ou printemps 2012) et une deuxième après travaux en fin de programme du Contrat Territorial du bassin versant de la Flume en 2014.

Le montant budgétisé pour cet indicateur de suivi est de 1 800 € HT (900 € HT par prélèvement).

2.2.5.3. L'INDICE BIOLOGIQUE MACROPHYTIQUE EN RIVIERE

L'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR) est fondé sur l'examen des macrophytes pour déterminer le statut trophique des rivières selon une norme AFNOR.

L'IBMR traduit essentiellement le degré de trophie lié à des teneurs en ammonium et orthophosphates, ainsi qu'aux pollutions organiques les plus flagrantes.

Indépendamment du degré trophique que présente le cours d'eau, la note obtenue par le calcul de l'IBMR peut varier également selon certaines caractéristiques physiques du milieu comme l'intensité de l'éclairement et des écoulements

Le calcul de l'IBMR est réalisé à partir de la liste floristique qui comprend 208 taxons (algues, bryophytes, plantes vasculaires) et donne une valeur de 0 à 20.

Cet indicateur réalisé avant et après travaux va permettre de suivre les réactions des macrophytes suite au démantèlement de l'ouvrage et aux aménagements réalisés sur le site.

Un premier prélèvement devra être réalisé avant travaux (2011 ou printemps 2012) et une deuxième après travaux en fin de programme du Contrat Territorial du bassin versant de la Flume en 2014.

Le montant budgétisé pour cet indicateur de suivi est de 1 600 € HT (800 € HT par prélèvement).

2.2.5.4. SUIVI CARTOGRAPHIQUE DES HABITATS AQUATIQUES

Dans le cadre du suivi des travaux, une cartographie des habitats aquatiques sera réalisée avant et après travaux. Cette cartographie permettra de suivre dans le temps l'évolution des habitats aquatiques sur le site du Pont de Pacé.

Plusieurs éléments seront cartographiés :

- Faciès d'écoulement,
- Profondeurs,
- Vitesses d'écoulements,
- Granulométrie,
- Habitats en berge : souches, systèmes racinaires, sous-berges,
- Végétation aquatique : espèces, recouvrement,
- Végétation rivulaire : densité de la ripisylve, développement des héliophytes...
- ...

Une première cartographie devra être réalisée avant travaux (2011 ou printemps 2012) et une deuxième après travaux en fin de programme du Contrat Territorial du bassin versant de la Flume en 2014.

Cet indicateur sera réalisé en interne par l'intermédiaire d'un stagiaire.

2.2.6. ENVELOPPE ESTIMATIVE DU COUT DES TRAVAUX

Le coût estimatif des travaux est présenté ci-dessous.

| N° | Intitulé du poste | Unité | Quantité | Prix unitaire € HT | Montant € HT |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------|--------------------|-----------------|
| 1 | TRAVAUX PRELIMINAIRES | | | | |
| 1.1 | Installation, isolement, repli de chantier, accès | forfait | 1 | 800 | 800,0 |
| 1.2 | Implantation des aménagements et piquetage | forfait | 1 | 200 | 200,0 |
| | Total 1 : Travaux préliminaires | | | | 1000,0 |
| 2 | INTERVENTION SUR LES OUVRAGES | | | | |
| 2.1 | Retrait du tablier et intervention sur le radier du clapet | forfait | 1 | 2200 | 2200,0 |
| 2.2 | Retrait du tablier du clapet de décharge | forfait | 1 | 1500 | 1500,0 |
| 2.3 | Retrait de la vanne de décharge et des murs béton | forfait | 1 | 600 | 600,0 |
| 2.4 | Retrait du déversoir béton en aval du clapet de décharge | forfait | 1 | 1000 | 1000,0 |
| | Total 2 : | | | | 5300,0 |
| 3 | DIVERSIFICATION DES ECOULEMENTS EN AMONT DU PONT HAMELIN | | | | |
| 3.1 | Talutage de la berge avec exportation | m ³ | 53 | 13 | 689,0 |
| 3.2 | Recharge minérale par banquettes | m ³ | 53 | 55 | 2915,0 |
| | Total 3 : | | | | 3604,0 |
| 4 | DIVERSIFICATION DES ECOULEMENTS EN AVAL DU PONT HAMELIN | | | | |
| 4.1 | Pose et mise en place des boudins d'hélophytes prévégétalisés | ml | 68 | 50 | 3400,0 |
| 4.2 | Fourniture et pose pieux acacia ou châtaignier pour banquettes en génie végétal | u | 115 | 11 | 1265,0 |
| 4.3 | Talutage de la berge et mise en place des matériaux pour créer une banquette | m ³ | 268 | 13 | 3484,0 |
| 4.4 | Fourniture et pose natte coco biodégradable pour banquettes en génie végétal | m ² | 150 | 3 | 450,0 |
| 4.5 | Fourniture et réalisation d'un semis d'hélophytes sur banquettes créées | m ² | 555 | 6 | 3330,0 |
| 4.6 | Recharge granulométrique | m ³ | 70 | 55 | 3850,0 |
| 4.7 | Mise en place de blocs | m ³ | 8 | 50 | 400,0 |
| 4.8 | Talutage de la berge avec exportation | m ³ | 388 | 15 | 5820,0 |
| 4.9 | Fourniture et pose de blocs pour réalisation des banquettes mixtes (300 ml) | m ³ | 90 | 50 | 4500,0 |
| | Total 4 : | | | | 26499,0 |
| 5 | REAMENAGEMENT PAYSAGER DE L'ANCIEN BIEF ET DE LA MARE | | | | |
| 5.1 | Aménagements paysagers | forfait | 1 | 5000 | 5000,0 |
| | Total 5 : | | | | 5000,0 |
| 6 | VEGETALISATION DES BERGES | | | | |
| 6.1 | Plantations linéaires | ml | 383 | 10 | 3830,0 |
| 6.2 | Plantations en épaisseur | m ² | 1200 | 5 | 6000,0 |
| | Total 6 : | | | | 9830,0 |
| SOUS-TOTAL | | | | | 51233,0 |
| 7 | DIVERS ET IMPREVUS 10 % | | | | 5123,3 |
| | Sous-total 7 : | | | | 56356,3 |
| TOTAL GENERAL € HT | | | | | 56356,30 |
| TOTAL GENERAL € TTC (TVA 19,6 %) | | | | | 67402,13 |

Le coût des indicateurs de suivi est indiqué dans le tableau ci-dessous.

| N° | Intitulé du poste | Unité | Quantité | Prix unitaire € HT | Montant € HT |
|-----|------------------------------------------------|-------|----------|--------------------|--------------|
| 1 | INDICATEURS DE SUIVI AVANT TRAVAUX (2011-2012) | | | | |
| 1.1 | Indice Poisson Rivière | u | 1 | 1500 | 1500,0 |
| 1.2 | Indice Biologique Globale Normalisé | u | 1 | 900 | 900,0 |
| 1.3 | Indice Biologique Macrophytique en Rivière | u | 1 | 800 | 800,0 |
| 1.4 | Cartographie des habitats | u | 1 | Stagiaire | |
| | Total 1 : | | | | 3200,0 |

| | | | | | |
|-----|--------------------------------------------|---|---|-----------|--------|
| 2 | INDICATEURS DE SUIVI APRES TRAVAUX (2014) | | | | |
| 2.1 | Indice Poisson Rivière | u | 1 | 1500 | 1500,0 |
| 2.2 | Indice Biologique Globale Normalisé | u | 1 | 900 | 900,0 |
| 2.3 | Indice Biologique Macrophytique en Rivière | u | 1 | 800 | 800,0 |
| 2.4 | Cartographie des habitats | u | 1 | Stagiaire | |
| | Total 2 : | | | | 3200,0 |

| | | | | | |
|-----------------------------------------|--|--|--|--|----------------|
| TOTAL GENERAL € HT | | | | | 6400,00 |
| TOTAL GENERAL € TTC (TVA 19,6 %) | | | | | 7654,40 |

2.2.7. FINANCEMENTS ATTRIBUABLES

La possibilité de subventions attribuables pour ces travaux par les financeurs peut atteindre 80 % du montant des travaux.

2.3. LE MOULIN DE CHAMPAGNE

Deux scénarii ont été retenus en comité de pilotage :

- Scénario 1 : Le dérasement de l'ouvrage avec le maintien du tracé actuel,
- Scénario 2 : La restauration du cours naturel de la Flume en restaurant les écoulements au niveau du point bas de la vallée (au niveau du fossé de drainage actuel).

2.3.1. NATURE DES TRAVAUX

2.3.1.1. SCENARIO 1 : DERASEMENT DE L'OUVRAGE AVEC LE MAINTIEN DU TRACE ACTUEL

2.3.1.1.1. TRAVAUX PREVUS SUR LES OUVRAGES

Les travaux proposés dans le cadre de ce scénario s'attache à conserver l'aspect historique et patrimonial des ouvrages de décharge tout en répondant aux objectifs de restauration de la continuité écologique.

Il est donc proposé d'intervenir sur les deux ouvrages de décharge :

- Les anciennes vannes : le système est complètement démonté, y compris les potences métalliques. Les écoulements en période de débit soutenu pourront donc transiter par le pertuis libre.
- Le déversoir de décharge est dérasé pour permettre l'effacement de l'ouvrage. Pour éviter une érosion régressive trop importante dans le bief, un ouvrage rustique réalisé à l'aide de blocs libres est réalisé à l'emplacement de cet ouvrage. L'entrée de l'ouvrage est évasée de manière à faciliter le transit. Une recharge granulométrique en aval de la fosse de dissipation de l'ouvrage permettra de maintenir la fosse et de compenser une partie du dénivelé résiduel. Les 20 cm de chute restant seront répartis en deux chutes de 10 cm accompagnées d'une petite fosse de dissipation.

2.3.1.1.2. TRAVAUX PREVUS SUR LE LIT MINEUR

Il est proposé de réaliser sur certains secteurs, une recharge granulométrique permettant de reconstituer une couche d'armure sur le fond de la Flume.

Cette couche d'armure constituée d'un mélange de Blocs/Pierres/Cailloux/Graviers sera mise en place de manière à augmenter la sinuosité du cours d'eau selon le principe du schéma ci-dessous.

Un chenal d'étiage (moins rechargé) sera conservé et les bordures feront l'objet d'une recharge plus importante constituant ainsi des banquettes granulométriques remobilisables.

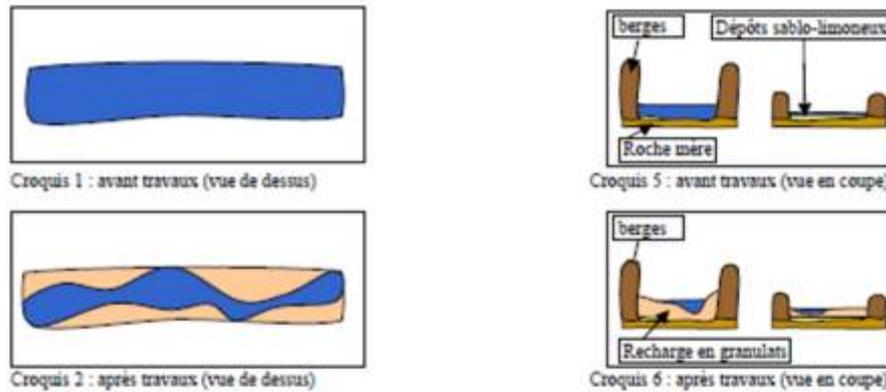


Figure 8 : Principe de réalisation de la recharge en granulats (source : La recharge en granulats, premiers retours d'expérience sur les travaux menés dans le Centre-Ouest de la France sur des petits cours d'eau, Bramard et al, 2010)

Les hauts-fonds existants seront rechargés sans ancrage en berge ou au fond en utilisant. Des blocs seront disposés pour assurer une base solide (photo 73). Un profil en V dirigé vers l'amont permettra d'augmenter la longueur en crête et ainsi diminuer la charge sur l'ouvrage en crue, et afin de conserver un écoulement central. Les blocs seront ensuite recouverts du même mélange Graviers/Cailloux/Pierres/Blocs utilisé pour la couche d'armure.



Photo 73 : Clouure base du second micro-seuil



Photo 74 : Clouure finition du second macro-seuil

Figure 9 : Principe de réalisation des radiers par recharge granulométrique (source : La recharge en granulats, premiers retours d'expérience sur les travaux menés dans le Centre-Ouest de la France sur des petits cours d'eau, Bramard et al, 2010)

Les différences de niveaux (entre l'amont et l'aval de l'aménagement) seront inférieures à 20 cm.

2.3.1.2. SCENARIO 2 : RESTAURATION DU COURS NATUREL DE LA FLUME

Ce scénario, plus ambitieux, vise à restaurer toutes les composantes hydromorphologiques de la Flume mais également de son affluent (ruisseau provenant de la Rossignolière) présent au niveau du système hydraulique du moulin de Champagne.

Le bief est abandonné au profit d'un nouveau tracé calé sur le tracé historique de la Flume approché selon les cartes d'état major du secteur.

Le tracé est méandrique permettant de mimer l'état du site avant l'implantation du moulin du Champagne.

2.3.1.2.1. TRAVAUX PREVUS SUR LE LIT MINEUR

Terrassement des nouveaux lits mineurs

Le lit mineur de la Flume est terrassé dans les parcelles concernées avec un gabarit de 5 m en fond. Le terrassement n'est pas réalisé de manière uniforme mais reproduit les alternances naturelles de radiers, plats et profonds (fosse).

L'affluent provenant de la Rossignolière est reconnecté avec le nouveau lit de la Flume dès la partie amont des parcelles concernées.

L'ancien lit longeant les parcelles en cultures sera comblé par les matériaux issus du terrassement des lits mineurs.

Reconstitution d'une couche d'armure

Il est proposé de réaliser une recharge granulométrique permettant de reconstituer une couche d'armure sur le fond de la Flume et de son affluent.

Cette couche d'armure constituée d'un mélange de Blocs/Pierres/Cailloux/Graviers sera mise en place de manière à augmenter la sinuosité du cours d'eau selon le principe du schéma ci-dessous.

Un chenal d'étiage (moins rechargé) sera conservé et les bordures feront l'objet d'une recharge plus importante constituant ainsi des banquettes granulométriques remobilisables.

Des radiers seront construits avec ancrage au fond en utilisant les hauts-fonds existants. Des blocs seront disposés pour assurer une base solide. Un profil en V dirigé vers l'amont permettra d'augmenter la longueur en crête et ainsi diminuer la charge sur l'ouvrage en crue, et afin de conserver un écoulement central. Les blocs seront ensuite recouverts du même mélange Graviers/Cailloux/Pierres/Blocs utilisé pour la couche d'armure.



Figure 10 : Principe de la recharge en granulats (source : Etat d'avancement des travaux de protection des populations d'écrevisses à pattes blanches et des frayères à truite fario, Jérôme Jamet (FDAAPPMA 61), 2010)

2.3.1.2.2. TRAVAUX PREVUS SUR LES BERGES ET LA RIPISYLVE

Dans le cadre du projet, la reconstitution de la ripisylve sera réalisée par plantations en berge d'espèces adaptées.

Les berges talutées en pente douce en intérieur de méandre lors des travaux de terrassement permettront l'implantation et le développement des héliophytes.

2.3.1.2.3. TRAVAUX PREVUS SUR LE LIT MAJEUR

Les parcelles concernées par le projet sont cultivées et drainées. Dans le cadre du projet, il est proposé de restaurer le caractère hydromorphe des parcelles riveraines en condamnant les drains implantés sur les parcelles.

La condamnation du tracé de l'affluent en limite de parcelle va permettre d'augmenter l'hydromorphie du fond de vallée en diminuant l'effet drainant de ce tracé.

Le cahier des charges de l'exploitation des parcelles (propriété de la commune de Pacé) devra être revu de manière à favoriser le pâturage extensif des parcelles en remplacement des cultures en place aujourd'hui.

2.3.1.2.1. TRAVAUX COMPLEMENTAIRES SUR LE BIEF ET LES CHEMINEMENTS

Devenir du bief

Le bief ne sera plus en eau dans le cadre de ce projet. Sa destination peut être multiple :

- Conservation d'un chemin creux,
- Comblement partiel avec les produits issus du terrassement du nouveau tracé de la Flume,
-

Conservation des cheminements et accès aux parcelles

Pour la conservation des cheminements sur le site, l'implantation ou le remplacement d'ouvrages de franchissement est nécessaire :

- Au niveau de la partie amont du nouveau tracé pour conserver le cheminement le long du bief sur sa partie Nord : une passerelle devra être implantée,
- Au niveau de la confluence entre l'affluent et la Flume, la conservation des cheminements nécessite la mise en place d'un ouvrage (passerelle, passage busé ou pont cadre),
- Au niveau de la confluence du nouveau tracé avec le tracé actuel en limite Sud du projet : l'ouvrage en place est sous-dimensionné. Son remplacement est nécessaire dans le cadre du projet pour la conservation des cheminements,
- La mise en pâturage des parcelles nécessite un accès pour les animaux voir les engins. Il est

proposé de réaliser un passage à gué pouvant être fermé par des glissières en bois.

2.3.2. INCIDENCES DU SCENARIO SUR LES COMPARTIMENTS MORPHODYNAMIQUES

2.3.2.1. SUR LA CONTINUITÉ

Les deux scénarii se traduisent par une restauration complète de la continuité écologique sur le site avec une libre circulation des espèces et des sédiments.

2.3.2.2. SUR LA LIGNE D'EAU

2.3.2.2.1. SCENARIO 1

La mise en place de ce scénario aura une incidence sur la ligne d'eau sur l'ensemble de la zone d'influence (300 m environ).

La plus forte incidence se fera sentir immédiatement en amont de l'ouvrage avec une diminution de la ligne d'eau de l'ordre de 0.65 m en période d'étiage.

Le bief présente la particularité de présenter une faible profondeur. L'impact sur les hauteurs sera donc limité et les aménagements prévus sur le lit mineur (recharge granulométrique des hauts fonds) vont permettre de limiter la diminution de la hauteur d'eau.

2.3.2.2.1. SCENARIO 2

Les aménagements de restauration du cours naturel change complètement le tracé de la Flume.

2.3.2.3. SUR LES AUTRES COMPOSANTES MORPHODYNAMIQUES

2.3.2.3.1. IMPACTS HYDRAULIQUES

Scénario 1

Les travaux proposés dans le cadre du projet ont un impact limité sur les conditions de fonctionnement hydraulique.

Les aménagements proposés ont un impact très limité en terme de hauteur puisqu'ils n'excèdent pas 20 à 30 cm de dénivelé par rapport à l'état actuel. Le risque d'augmentation des inondations est donc très limité et très ponctuel d'autant que ces travaux sont proposés sur des secteurs où les travaux de mise en bief ont conduit à un surélargissement ou un surapprofondissement du lit des cours d'eau.

L'impact hydraulique de ces aménagements est limité en période de crue puisque les plus fortes vitesses se concentrent sur la partie centrale du chenal d'écoulement et non sur le fond ou en berge

où les frottements sont plus importants. Cependant, la nature perchée du bief par rapport au fond de vallée va conduire à des débordements plus fréquents en période de crue vers le fond de vallée. Ces débordements n'engendrent pas de risques vis-à-vis des biens et des personnes sur ce site.

Les aménagements réalisés dans le lit mineur des cours d'eau vont permettre en période d'étiage de recentrer les écoulements suite à la diminution ponctuelle de la section d'écoulement.

Scénario 2

Le projet vise à restaurer les conditions de fonctionnement du site avant l'implantation du moulin. Le bief ne sera plus alimenté qu'en période de crue (s'il n'est pas comblé).

2.3.2.3.2. IMPACTS ECOLOGIQUES

Scénario 1

Les travaux de restauration morphologique du lit des cours d'eau permettent une amélioration considérable de la qualité physique des cours d'eau et donc de la qualité biologique.

Seule la période de réalisation des travaux peut conduire à un léger risque de colmatage des substrats. Ce colmatage ne sera que ponctuel puisque le cours d'eau retrouvera suite aux travaux des caractéristiques physiques et dynamiques lui permettant de décolmater les substrats.

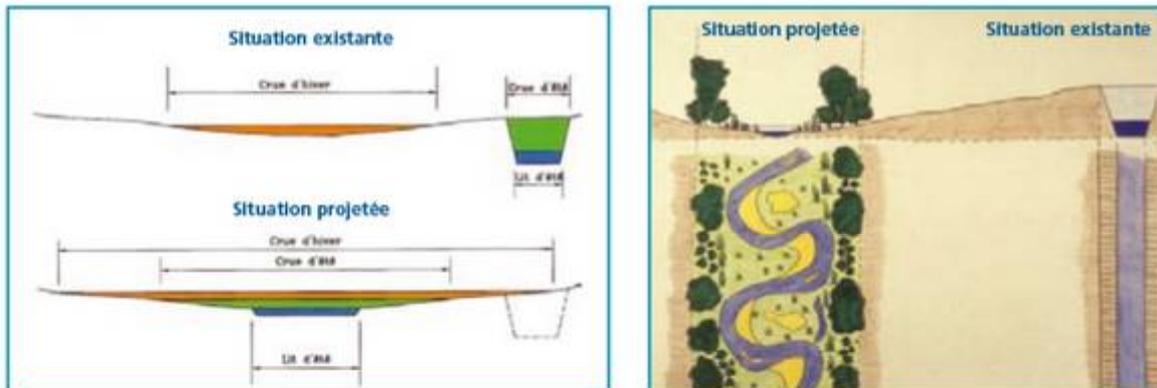
La restauration morphologique va donc permettre :

- La réapparition ou la dynamisation de certaines espèces animales ou végétales disparues suite à la banalisation d'un habitat originellement hétérogène et diversifié (modification du substrat, disparition des séquences mouilles/radiers, des zones de refuge et des frayères, etc.),
- L'augmentation des habitats aquatiques due à l'augmentation de la longueur développée du cours d'eau,
- L'amélioration du réseau trophique des cours d'eau par :
 - o La réapparition ou l'augmentation de la végétation aquatique permettant d'augmenter les apports de nourriture pour les organismes aquatiques,
 - o L'augmentation de la rugosité du lit favorise la rétention et l'accumulation de débris végétaux : pierres et blocs, branchages, zones mortes, etc., constituent des structures de piégeage des débris à la base du réseau trophique.
- De contribuer à l'amélioration de la qualité physico-chimique des eaux en augmentant les teneurs en oxygène dissous par :
 - o augmentation de la surface de contact entre l'eau et l'air suite aux interventions de chenalisation,
 - o la diversification de la pente du cours d'eau,
 - o la diversification de la vitesse d'écoulement et l'augmentation des turbulences

- hydrauliques qui favorisent l'oxygénation de l'eau,
- o la diminution du réchauffement de l'eau, facteur réduisant la quantité d'oxygène dissous disponible.

Scénario 2

Le projet vise à restaurer les conditions de fonctionnement du site avant l'implantation du moulin. Le bief ne sera plus alimenté qu'en période de crue ou plus alimenté s'il est comblé.



Le déplacement du cours d'eau dans son thalweg et le comblement de l'ancien lit augmentent la largeur de l'écoulement et en réduisent la profondeur.

Figure 11 : Schéma de principe du déplacement du cours d'eau dans son thalweg (source : Renaturation des cours d'eau, restauration des habitats humides, gouvernement du Grand Duché du Luxembourg)

Les buts du déplacement du lit dans le thalweg sont :

- l'augmentation de la longueur du lit,
- la réduction de la vitesse d'écoulement,
- la restauration des biotopes aquatiques,
- l'intégration du cours d'eau dans son milieu naturel.

Le déplacement du lit vise également à permettre l'expansion des crues vers des zones qui étaient plus fréquemment inondées. Elle améliore également la faculté d'autoépuration du cours d'eau et du fond de vallée (avec l'abandon des drains enterrés et la restauration d'une zone humide de fond de vallée).

2.3.2.3.3. IMPACTS SUR LES USAGES

Scénario 1

L'amélioration des composantes physiques et dynamiques des cours d'eau permet de retrouver des cours d'eau avec une structure physique permettant le développement d'une biocénose plus riche et plus diversifiée.

Ces travaux présentent donc un impact positif pour les riverains et les pêcheurs.

La diminution de la hauteur de chute de l'ouvrage va conduire à un comblement partiel de la fosse de dissipation au pied des ouvrages de décharge, endroit très fréquenté par les pêcheurs.

Scénario 2

Le projet présente un niveau d'ambition plus élevé avec une restauration plus complète des composantes morphodynamiques de la Flume.

Ce projet va dissocier les cheminements piétons de la bordure du cours d'eau.

Le projet va présenter un impact sur l'exploitation agricole des parcelles concernées avec un retour à du pâturage et une hydromorphie du sol plus marquée.

2.3.3. ENVELOPPE ESTIMATIVE DU COUT DES TRAVAUX

Le coût estimatif des travaux est présenté ci-dessous.

Scénario 1 : conservation du tracé actuel

| N° | Intitulé du poste | Unité | Quantité | Prix unitaire € HT | Montant € HT |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|----------|--------------------|-----------------|
| 1 | TRAVAUX PRELIMINAIRES | | | | |
| 1.1 | Installation, isolement, repli de chantier, accès | forfait | 1 | 800 | 800,0 |
| 1.2 | Implantation des aménagements et piquetage | forfait | 1 | 200 | 200,0 |
| | Total 1 : Travaux préliminaires | | | | 1000,0 |
| 2 | INTERVENTION SUR LES OUVRAGES | | | | |
| 2.1 | Dérasement du déversoir | forfait | 1 | 700 | 700,0 |
| 2.2 | Retrait des vannes de décharge et des potences | forfait | 1 | 500 | 500,0 |
| 2.3 | Aménagement en enrochement du nouveau passage d'eau | forfait | 1 | 4000 | 4000,0 |
| | Total 2 : | | | | 5200,0 |
| 3 | DIVERSIFICATION DES ECOULEMENTS EN AVAL DU MOULIN DE CHAMPAGNE | | | | |
| 3.1 | Recharge minérale par réhaussement du fond | m ³ | 20 | 55 | 1100,0 |
| | Total 3 : | | | | 1100,0 |
| 4 | DIVERSIFICATION DES ECOULEMENTS EN AMONT DU MOULIN DE CHAMPAGNE | | | | |
| 4.1 | Recharge granulométrique | m ³ | 210 | 55 | 11550,0 |
| 4.2 | Mise en place de blocs | m ³ | 60 | 50 | 3000,0 |
| | Total 4 : | | | | 14550,0 |
| SOUS-TOTAL | | | | | 21850,0 |
| 5 | DIVERS ET IMPREVUS 10 % | | | | 2185,0 |
| | Sous-total 5 : | | | | 24035,0 |
| TOTAL GENERAL € HT | | | | | 24035,00 |
| TOTAL GENERAL € TTC (TVA 19,6 %) | | | | | 28745,86 |

Scénario 2 : restauration du cours naturel de la Flume

| N° | Intitulé du poste | Unité | Quantité | Prix unitaire € HT | Montant € HT |
|-----|----------------------------------------------------------------|----------------|----------|--------------------|------------------|
| 1 | TRAVAUX PRELIMINAIRES | | | | |
| 1.1 | Installation, isolement, repli de chantier, accès | forfait | 1 | 800 | 800,0 |
| 1.2 | Implantation des aménagements et piquetage | forfait | 1 | 200 | 200,0 |
| | Total 1 : Travaux préliminaires | | | | 1000,0 |
| 2 | TERRASSEMENT DU COURS NATUREL DE LA FLUME ET DE SON AFFLUENT | | | | |
| 2.1 | Terrassement du cours naturel de la Flume et de l'affluent | m ³ | 3500 | 11 | 38500,0 |
| | Total 2 : | | | | 38500,0 |
| 3 | DIVERSIFICATION DES ECOULEMENTS EN AVAL DU MOULIN DE CHAMPAGNE | | | | |
| 3.1 | Recharge granulométrique | m ³ | 713 | 55 | 39215,0 |
| | Total 3 : | | | | 39215,0 |
| 4 | RECONSTITUTION D'UNE RIPISYLVE | | | | |
| 4.1 | Plantations | ml | 740 | 10 | 7400,0 |
| | Total 4 : | | | | 7400,0 |
| 5 | MISE EN PLACE D'OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT | | | | |
| 5.1 | Mise en place d'une passerelle sur la Flume | forfait | 1 | 8000 | 8000,0 |
| 5.2 | Mise en place d'une passerelle sur l'affluent | forfait | 1 | 5000 | 5000,0 |
| 5.3 | Mise en place d'une passerelle sur la Flume (aval) | forfait | 1 | 8000 | 8000,0 |
| 5.4 | Création d'un passage à gué | forfait | 1 | 600 | 600,0 |
| | Total 5 : | | | | 21600,0 |
| | SOUS-TOTAL | | | | 107715,0 |
| 6 | DIVERS ET IMPREVUS 10 % | | | | 10771,5 |
| | Sous-total 6 : | | | | 118486,5 |
| | MAITRISE D'ŒUVRE | | | | 118486,5 |
| 7 | 10% du montant des travaux | | | | 11848,7 |
| | Sous-total 7 : | | | | 130335,2 |
| | TOTAL GENERAL € HT | | | | 130335,15 |
| | TOTAL GENERAL € TTC (TVA 19,6 %) | | | | 155880,84 |

2.3.4. FINANCEMENTS ATTRIBUABLES

La possibilité de subventions attribuables pour ces travaux par les financeurs peut atteindre 80 % du montant des travaux.

2.4. LE MOULIN DE SAUT BOIS

Deux scénarii ont été retenus en comité de pilotage :

- L'abandon du plan d'eau devra être étudié même si le caractère fondé en titre de l'ouvrage permet au propriétaire de conserver la jouissance de son droit d'eau,
- L'équipement de l'ouvrage avec plusieurs points à aborder :
 - o Un bras d'attrait devra être favorisé pour permettre de limiter les aménagements. Les espèces à prendre en compte conditionnent l'aménagement à proposer : le franchissement de l'anguille ne présente pas les mêmes contraintes qu'un aménagement permettant de faire circuler l'ensemble des espèces.
 - o L'aménagement devra être préférentiellement sur le bras de décharge situé en rive droite dont le gabarit et l'ouvrage routier aval présentent un dimensionnement mieux adapté,
 - o Une modification ou la création d'un nouvel ouvrage de décharge semble inévitable du fait de la présence des vannes de décharge engendrant des problématiques de calage de l'aménagement et de gestion ultérieure.
 - o Une réflexion doit être menée avec le propriétaire sur le calage de la ligne d'eau amont, toute réduction de cette ligne d'eau engendrerait bien sûr une réduction du dénivelé total et des coûts d'aménagement réduits.

2.4.1. NATURE DES TRAVAUX

2.4.1.1. SCENARIO 1 : ABANDON DU PLAN D'EAU

Ce projet vise à abandonner le plan d'eau et à restaurer complètement la continuité écologique par l'ouvrage de vidange du plan d'eau. Ce scénario est le seul qui puisse restaurer à la fois les composantes hydromorphodynamiques du ruisseau et la continuité écologique dans son intégralité (circulation des êtres aquatiques et circulation des sédiments).

L'ouverture de la vanne de fond permet de vider complètement le plan d'eau. Cette ouverture ne permet cependant pas de restaurer la continuité écologique pour plusieurs raisons :

- Le dimensionnement de l'ouvrage sous la digue : l'ouvrage est un passage busé de diamètre 400 mm présentant une longueur d'environ 12 m. La taille et la longueur de cet ouvrage ne permet de restaurer la continuité écologique de manière permanente et pour toutes les espèces,
- La partie située en aval de l'ouvrage est équipée d'une pêcherie en bois et présente un dénivelé par rapport au fond du lit. Cette chute sans fosse d'appel est complètement rédhibitoire pour la plupart des espèces ciblées.

Il est donc nécessaire dans le cadre de ce scénario de changer le passage busé présent sous la digue avec deux possibilités :

- L'ouverture de la digue avec des engins pour aller remplacer l'ouvrage. Cette possibilité

présente l'inconvénient de fragiliser la digue en détruisant le parement en pierre situé côté plan d'eau et en fragilisant la structure de l'ouvrage.

- La réalisation d'un fonçage horizontal depuis l'aval de la digue : cette technique permet de remplacer l'ouvrage sans ouvrir complètement la digue. Pouvant aller jusqu'à 60 m de longueur et des diamètres d'ouvrage de 1400 mm, cette technique est possible sur le site.

L'abandon du plan d'eau et le gabarit de l'ouvrage à mettre en place doit prendre en compte également l'ouvrage situé en aval sur la voie communale (passage busé de diamètre 1000 mm). Il ne s'agit pas en effet d'aggraver les problématiques d'inondations sur cette voie avec les débits du ruisseau qui transiterait uniquement par le cours naturel de la rivière (le bras de décharge ne serait plus alimenter et ne pourrait plus déléster une partie du débit).

Dans le cadre de ce scénario, plusieurs pistes peuvent être étudiées :

- Le remplacement du passage busé de la voie communale par un ouvrage de section plus importante,
- Le dimensionnement de l'ouvrage à positionner au niveau de la digue du plan d'eau d'un gabarit équivalent au passage busé sous la voie communale. La digue du plan d'eau permettrait ainsi d'écrêter les crues du ruisseau, empêchant ainsi l'inondation de la voie communale en aval.

Une attention particulière devra être menée sur la protection du bâtiment face aux risques d'inondations en replaçant le ruisseau dans son fond de vallée. Un volet hydraulique complémentaire est à intégrer à la maîtrise d'œuvre des travaux.

Ce scénario est complètement refusé par le propriétaire qui souhaite conserver son plan d'eau.

2.4.1.2. SCENARIO 2 : EQUIPEMENT DE L'OUVRAGE

Ce scénario, moins ambitieux, vise à restaurer uniquement la continuité piscicole et ne permet pas de restaurer la continuité sédimentaire.

Ce scénario s'inscrit donc dans un compromis entre les exigences de la Directive Cadre sur l'Eau et les exigences du propriétaire avec un abaissement de la ligne d'eau du plan d'eau.

Ce scénario cible l'ouvrage présentant le plus faible dénivelé : les vannes de décharge alimentant le bras de décharge situé en rive droite en aval du plan d'eau.

La gestion hydraulique du site doit donc favoriser le bras ciblé, la confluence entre les deux bras se situant en effet 550 m en aval de la digue du plan d'eau. Les poissons doivent donc se présenter sur le bon bras pour espérer franchir la digue du plan d'eau.

La zone d'aménagement possible actuellement se situe entre la digue du plan d'eau et la route départementale 28 soit environ 40 m. Pour rattraper le dénivelé de 2.5 m sur cette distance, la pente de l'aménagement devra être de 6.25 %.

Pour permettre l'équipement, l'abaissement de la ligne d'eau du plan d'eau est proposé avec un retrait des vannes de décharge.

Pour permettre la continuité écologique en période de crue, un nouvel ouvrage devra être créé en aval des vannes de décharge actuelle. Un ouvrage de franchissement de type pont cadre préfabriqué devra être implanté sous la voirie d'accès au moulin.

L'abaissement de la ligne d'eau du plan correspond à environ 80 cm par rapport à la ligne d'eau observée le 22/02/11 lors des relevés topographiques.

La pente de l'aménagement ciblé est supérieure 3 % dans le bras de décharge pour éviter une surélévation trop importante du lit mineur qui fragiliserait un peu plus le talus situé en rive gauche.

Une attention particulière devra être apportée au dimensionnement du pont cadre. En effet, en favorisant l'abaissement de la ligne d'eau du plan d'eau, les crues transiteront préférentiellement par le bras de décharge en rive droite. Un réel risque de fragilisation du talus de rive gauche du bras est à envisager.

Le dimensionnement du pont cadre devra être étudié de manière à favoriser la mise en charge du plan d'eau pour tamponner les débits.

2.4.2. INCIDENCES DU SCENARIO SUR LES COMPARTIMENTS MORPHODYNAMIQUES

2.4.2.1. IMPACTS DU PLAN D'EAU ET EVOLUTION DU SITE

2.4.2.1.1. IMPACTS DES PLANS D'EAU

Les plans d'eau ont un impact fort sur le fonctionnement des cours d'eau :

⇒ ASPECT HYDROLOGIQUE

En général, les pertes par évaporation sont plus importantes pour un plan d'eau que pour un cours d'eau. Ainsi, le débit restitué est le plus souvent inférieur au débit du cours d'eau en amont. Les conséquences en sont les suivantes :

- ✓ Diminution de la surface mouillée à l'aval et donc perte de productivité piscicole du cours d'eau,
- ✓ Sensibilité accrue aux variations thermiques et aux pollutions,
- ✓ Réduction de la capacité d'autoépuration.

⇒ QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE

À TEMPERATURE

Un plan d'eau engendre un réchauffement estival dont les conséquences sont les suivantes :

- o Diminution de la teneur en oxygène dissous, au détriment des salmonidés et des invertébrés qui dérivent vers l'aval,
- o Remplacement d'une population salmonicole par une population cyprinicole,
- o Remplacement des invertébrés benthiques sténothermes par d'autres organismes moins intéressants,
- o Modification des fonctions vitales des organismes aquatiques, notamment respiratoires (diminution de l'aptitude au sang de s'oxygéner), possibilités de nage,...
- o Développement des végétaux aquatiques,
- o Augmentation de la densité phytoplanctonique au détriment d'autres végétaux tels les macrophytes immergés et des espèces piscicoles par l'élaboration de substances toxiques,
- o Pollution des eaux, notamment par augmentation de la concentration en ammoniac toxique pour la faune aquatique,
- o Augmentation des maladies et parasites.

À OXYGÈNE DISSOUS

Un plan d'eau a pour conséquence une diminution de la teneur en oxygène dissous. L'importance de la végétation aquatique entraîne de fortes variations journalières de cette teneur ce qui peut provoquer des mortalités piscicoles.

À DEMANDE EN OXYGÈNE

Un plan d'eau entraîne une augmentation de la Demande Biologique en Oxygène (DBO5) et donc une dégradation du milieu.

À SUBSTANCES NUTRITIVES : AZOTE ET PHOSPHORE

Un plan d'eau fixe les substances eutrophisantes si la végétation est périodiquement faucardée.

À MATIÈRES EN SUSPENSION

Un plan d'eau est un piège à sédiments. Cependant, lors des périodes de vidange, il y a un risque de relargage de ces matières.

⇒ HYDROBIOLOGIE

Un plan d'eau en barrage contribue généralement à modifier l'écoulement et la qualité physico-chimique du cours d'eau, ce qui entraîne des effets directs ou indirects sur l'édifice biologique en interdépendance, dont les salmonidés sont un cas particulier. Ces effets sont les suivants :

- o Remplacement de la biocénose initiale, souvent sensible à l'altération des eaux, par une nouvelle biocénose adaptée aux nouvelles conditions et donc beaucoup moins sensible. Ceci

concerne la flore, les invertébrés et la faune piscicole. Les causes en sont l'accumulation de charges de pollution, le ralentissement des eaux favorisant la sédimentation des vases et la banalisation du milieu et la fuite d'espèces, notamment des alevins, au travers des grilles des plans d'eau, espèces pouvant être indésirables, nuisibles, interdites ou allochtones.

- o Réduction de la diversité faunistique inhérente à la banalisation de l'habitat, au surcroît de charge de pollution et aux nouvelles conditions thermiques.
- o Diminution des biomasses invertébrée et piscicole.
- o Entrave à la reproduction des poissons par colmatage des frayères et par décalage des périodes dû aux nouvelles conditions thermiques, ce qui expose les alevins à des handicaps.
- o Limitation du développement du poisson, qui doit se contenter de la nourriture disponible.
- o Accroissement de la vulnérabilité des espèces aux maladies, parasites, phénomènes de pollution...
- o En cas de plan d'eau en barrage, entrave à la circulation des poissons, qui ne peuvent plus rejoindre les frayères.

⇒ OPERATIONS DE VIDANGE

Les opérations de vidange ont pour conséquences :

- o une dégradation de la qualité physico-chimique du cours d'eau, notamment une augmentation de la température et des concentrations en matières en suspension et en ammonium, mais également une diminution de la teneur en oxygène dissous. Les fortes concentrations en matières en suspension ont pour conséquence le colmatage des frayères,
- o un risque d'introduction dans le cours d'eau d'espèces piscicoles indésirables. Tous les poissons doivent donc être récupérés et ceux appartenant aux espèces dont l'introduction est interdite doivent être éliminés. Ensuite, la remise en eau ne doit pas aggraver la période d'étiage. Elle doit se produire de manière à toujours maintenir un débit minimal permettant la vie, la circulation et la reproduction des poissons

2.4.2.1.2. LES PROBLEMATIQUES EXISTANTES OU A VENIR

Le plan d'eau de l'Etang de Saut Bois présente dans sa configuration plusieurs problématiques majeures :

- Une problématique d'envasement va naître à terme sur ce site. La dernière vidange a été réalisée en 1999. Des questions financières, techniques et réglementaires se poseront donc à terme par rapport au coût du curage et à la destination des sédiments extraits,
- Une problématique de qualité avec une eutrophisation du plan d'eau se traduisant par des blooms algaux.

Les apports sédimentaires issus du bassin versant (principalement des limons) provoquent un comblement progressif de la retenue, qui, à terme, réduira les usages du plan d'eau et la qualité

paysagère du site.

Le comblement progressif du plan d'eau peut s'accompagner d'une diminution de la transparence des eaux (liée à la remise en suspension des matières déposées), trouble qui nuit à l'esthétique du plan d'eau mais également à la survie des espèces de poisson les plus sensibles.

Le deuxième type de problème posé par les sédiments est lié aux phénomènes de relargage, en condition d'anoxie, de différents composés normalement piégés (quand ils sont sous la forme oxydée) dans le sédiment. Ces composés peuvent être des substances fertilisantes (phosphore, azote), et elles stimulent alors la production végétale en poursuivant le processus d'eutrophisation du plan d'eau ou ils peuvent être des composés toxiques ou gênants vis à vis de la flore ou de la faune aquatique (relargage de manganèse, de fer, d'hydrogène sulfuré, de métaux,...).

2.4.2.1.3. CAUSES DU PROBLEME

La création d'un ouvrage sur un cours d'eau engendre une modification des équilibres morphodynamiques provoquant des processus de rééquilibrage.

La création du moulin et de sa réserve d'eau associée (plan d'eau), a modifié les caractéristiques naturelles du ruisseau et conduit aujourd'hui à un envasement chronique du plan d'eau pour les raisons expliquées ci-dessous.

Evolution naturelle d'une surface en eau

Les plans d'eau sont condamnés à disparaître que ce soit pour des raisons tectoniques (éboulement, faille) ou climatique (évaporation), ou tout simplement par comblement. Cette lente disparition s'accompagne d'une évolution morphologique qui entraîne également des modifications de structure et de fonctionnement de l'écosystème.

Ainsi, les apports du bassin versant entraînent progressivement l'envasement des zones littorales, qui devenues peu profondes sont colonisées par les macrophytes. D'autre part, l'accroissement de la production végétale entraîne la diminution de l'oxygène dissous. Il en résulte une réduction des capacités de décomposition de la matière organique par les microorganismes ; une fraction sans cesse croissante de la matière produite n'est plus digérée par le plan d'eau qui se comble progressivement. Ce phénomène de comblement naturel et de diminution de la surface du plan d'eau est un atterrissement.

En l'absence de perturbation climatique ou humaine, le plan d'eau évoluera naturellement vers l'état de marais, puis de prairies et enfin, vers la forêt. Ce processus se déroule naturellement à l'échelle des temps géologiques pour les plus grandes superficies en eau.

Accélération des processus de comblement

Les activités humaines sur les bassins versants entraînent généralement une augmentation de l'érosion des sols. Les matériaux solides peuvent alors être transportés par les cours d'eau (transport en suspension ou par charriage sur le fond).

La conséquence en est une augmentation des apports en particules minérales et organiques qui vont sédimenter dès que les conditions de courant le permettent, et notamment dans les plans d'eau. Les pollutions nutritionnelles en stimulant la prolifération végétale entraînent une augmentation de la biomasse vivante dans les plans d'eau et donc de la quantité de "déchets" internes produits. Toute cette matière va être partiellement reminéralisée par l'activité bactérienne au sein de la masse d'eau, mais va également pour partie sédimenter, participant ainsi à l'accroissement du volume de sédiment. Ces deux modes de comblement (apports internes et apports externes) sont proportionnellement plus ou moins importants selon le volume du plan d'eau par rapport à la superficie du bassin versant, selon sa profondeur et sa superficie.

2.4.2.1.4. LES RISQUES D'UNE NON-INTERVENTION

Evolution de l'envasement

A terme, la retenue est condamnée à se combler partiellement. Le comblement de la retenue ne sera jamais définitif car le débit du cours d'eau en crue permet une remobilisation des sédiments fins accumulés dans l'ancien lit de la rivière et une évacuation naturelle en aval.

Un nouveau profil d'équilibre devrait se créer. Le ralentissement des écoulements sous l'influence des ouvrages favorisera l'engraissement des atterrissements de sable sur la partie concave des méandres, et au pied de la digue.

Evolution de la qualité de l'eau

L'augmentation de la masse sédimentaire aura des impacts sur la qualité de l'eau, variables en fonction des paramètres étudiés :

- **Matières organiques** : la qualité en matière organique et oxydable risque de se dégrader au fil du temps, avec des variations en fonction des saisons. La saison estivale est la plus problématique car l'activité biologique augmente avec la température de l'eau. Il en résulte des dégagements gazeux qui font remonter « par plaque » la matière organique en surface. La mise en suspension de cette matière organique dégrade la qualité de l'eau. L'oxydation de la matière organique au niveau des sédiments provoque un abaissement de la concentration en oxygène dissous, et l'augmentation de la concentration en ammonium (NH₄⁺).
- **Matières azotées** : le manque d'oxygène au niveau des sédiments favorisera les formes réduites de l'azote et notamment l'ammonium et les nitrites.
- **Les nitrates** : les variations observées de la concentration en nitrate au cours de l'année (pics à l'automne et en hiver) dépendent principalement des apports issus du bassin versant, et non du fonctionnement du plan d'eau. La situation devrait rester stable pour ce paramètre.
- **Matières phosphorées** : il existe un risque de dégradation de la qualité de l'eau en matières phosphorées, lié au phénomène de relargage au niveau des sédiments en condition d'anoxie. L'intensité du phénomène dépend de la quantité de matières organiques piégées et de l'oxygénation des sédiments.

- **Particules en suspension** : la situation devrait rester stable pour cette classe de paramètre : les MES proviennent essentiellement de l'érosion des sols sur le bassin versant.
- **Température** : la diminution de la hauteur d'eau favorise un réchauffement plus rapide de la lame d'eau dans les conditions d'ensoleillement et de vitesses d'écoulement actuelles.
- **Eutrophisation** : l'amplification du phénomène d'eutrophisation dépend du risque de relargage du phosphore au niveau des sédiments. Si la quantité de matière organique augmente, le risque de relargage de phosphore augmente et le phénomène d'eutrophisation s'amplifie.

2.4.2.2. INCIDENCES DU SCENARIO 1

Les deux scénarii se traduisent par une restauration complète de la continuité écologique sur le site avec une libre circulation des espèces et des sédiments. Le scénario 1 permet de lever l'ensemble des problématiques inhérentes à un plan d'eau présent sur le réseau hydrographique et dépasse le volet de restauration de la continuité écologique.

2.4.2.3. INCIDENCES DU SCENARIO 2

Le scénario 2 est un compromis avec la conservation du plan d'eau. Ce scénario ne lève donc pas toutes les problématiques liées à la présence d'un plan d'eau sur le réseau hydrographique.

Ce scénario ne permet que partiellement la restauration de la continuité écologique puisque seule la circulation d'une ou plusieurs espèces peut être assurée. La circulation de l'ensemble du transit sédimentaire du ruisseau est impossible avec la présence du plan d'eau.

2.4.3. ENVELOPPE ESTIMATIVE DU COUT DES TRAVAUX*Scénario 1 : abandon du plan d'eau*

| N° | Intitulé du poste | Unité | Quantité | Prix unitaire € HT | Montant € HT |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------|----------|--------------------|-----------------|
| 1 | TRAVAUX PRELIMINAIRES | | | | |
| 1.1 | Installation, isolement, repli de chantier, accès | forfait | 1 | 2000 | 2000,0 |
| 1.2 | Implantation des aménagements et piquetage | forfait | 1 | 1000 | 1000,0 |
| | Total 1 : Travaux préliminaires | | | | 3000,0 |
| 2 | DEMANTELEMENT DE LA PECHERIE ET DE LA VANNE DE VIDANGE | | | | |
| 2.1 | Démantèlement de la pêcherie et de la vanne de vidange | forfait | 1 | 1000 | 1000,0 |
| 2.2 | Préparation des accès pour le fonçage | forfait | 1 | 500 | 500,0 |
| | Total 2 : | | | | 1500,0 |
| 3 | REALISATION DU FONCAGE ET REMPLACEMENT DE L'OUVRAGE | | | | |
| 3.1 | Réalisation du fonçage et retrait du passage busé existant | forfait | 1 | 30000 | 30000,0 |
| 3.2 | Mise en place d'un passage busé de diamètre à définir | forfait | 1 | 4000 | 4000,0 |
| 3.3 | Reprise des maçonneries du parement amont de la digue | forfait | 1 | 1000 | 1000,0 |
| | Total 3 : | | | | 35000,0 |
| 4 | RECONSTITUTION DU TALUS EN AVAL DE LA DIGUE | | | | |
| 4.1 | Reconstitution du talus en aval de la digue côté moulin | forfait | 1 | 4000 | 4000,0 |
| | Total 4 : | | | | 4000,0 |
| 5 | REPLACEMENT DU PASSAGE BUSE DE LA VOIE COMMUNALE PAR UN PONT CADRE | | | | |
| 5.1 | Remplacement du passage busé par un pont cadre (dimensions à définir) | forfait | 1 | 13000 | 13000,0 |
| | Total 5 : | | | | 13000,0 |
| SOUS-TOTAL | | | | | 56500,0 |
| 6 | DIVERS ET IMPREVUS 10 % | | | | 5650,0 |
| | Sous-total 5 : | | | | 62150,0 |
| MAITRISE D'ŒUVRE | | | | | 62150,0 |
| 7 | 10% du montant des travaux | | | | 6215,0 |
| | Sous-total 7 : | | | | 68365,0 |
| TOTAL GENERAL € HT | | | | | 68365,00 |
| TOTAL GENERAL € TTC (TVA 19,6 %) | | | | | 81764,54 |

Scénario 2 : réalisation d'un aménagement multi-espèces au niveau du bras de décharge rive droite

| N° | Intitulé du poste | Unité | Quantité | Prix unitaire € HT | Montant € HT |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------|----------|--------------------|-----------------|
| 1 | TRAVAUX PRELIMINAIRES | | | | |
| 1.1 | Installation, isolement, repli de chantier, accès | forfait | 1 | 2000 | 2000,0 |
| 1.2 | Implantation des aménagements et piquetage | forfait | 1 | 200 | 200,0 |
| | Total 1 : Travaux préliminaires | | | | 2200,0 |
| 2 | MISE EN PLACE D'UN PONT CADRE | | | | |
| 2.1 | Mise en place d'un pont cadre (fourniture et pose) | forfait | 1 | 10000 | 10000,0 |
| 2.1 | Reprise des maçonneries de la digue | forfait | 1 | 4000 | 4000,0 |
| | Total 2 : | | | | 14000,0 |
| 3 | RECONSTITUTION DU TALUS EN AVAL DE LA DIGUE | | | | |
| 3.1 | Reconstitution du talus en aval de la digue | m ³ | 76 | 12 | 912,0 |
| 3.2 | Protection de berge en génie végétal | ml | 25 | 100 | 2500,0 |
| | Total 3 : | | | | 3412,0 |
| 4 | RECHARGE GRANULOMETRIQUE | | | | |
| 4.1 | Réalisation de la passe multi-espèces | forfait | 1 | 30000 | 30000,0 |
| | Total 4 : | | | | 30000,0 |
| 5 | VEGETALISATION DES BERGES | | | | |
| 5.1 | Plantations sur le talus reconstitué | ml | 22 | 10 | 220,0 |
| | Total 5 : | | | | 220,0 |
| SOUS-TOTAL | | | | | 49832,0 |
| 6 | DIVERS ET IMPREVUS 10 % | | | | 4983,2 |
| | Sous-total 6 : | | | | 54815,2 |
| MAITRISE D'ŒUVRE | | | | | 54815,2 |
| 7 | 10% du montant des travaux | | | | 5481,5 |
| | Sous-total 7 : | | | | 60296,7 |
| TOTAL GENERAL € HT | | | | | 60296,72 |
| TOTAL GENERAL € TTC (TVA 19,6 %) | | | | | 72114,88 |

2.4.4. FINANCEMENTS ATTRIBUABLES

Les financeurs ne participeront pas à l'équipement du plan d'eau.

L'abandon du plan d'eau avec la restauration de la continuité écologique est financé à hauteur de 80 %.

2.4.5. BILAN COMPARATIF DES SCENARII

Le tableau ci-dessous fait un état comparatif des différents paramètres définissant chaque scénario. Il constitue un outil d'aide à la décision pour le maître d'ouvrage et le comité de pilotage dans le choix du scénario à retenir pour la phase projet.

Les taux de subvention affichés dans les chapitres précédents sont présentés à titre informatif et sont susceptibles d'évoluer au niveau de la phase projet.

Plus le nombre de **+** est important, plus l'aménagement est intéressant. La dernière colonne positionne le scénario vis-à-vis de l'analyse multi critères.

| | Satisfaction continuité | Gains écologiques /objectifs DCE | Coût des travaux | Financement | Bilan / position | | | |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------|-------------|------------------|-----|-------|----------|
| Scénario 1 : abondon du plan d'eau | + + + + | + + + + | + + | 68 400 € HT | + + + | 80% | +++++ | 1 |
| | | | | | | | +++++ | |
| Scénario 3 : aménagement multi-espèces sur le bras de décharge rive droite | + + | + + | + | 60 300 € | + | 0% | +++++ | 2 |

Tableau 3 : comparaison des différents scénarii pour l'aménagement du site du Moulin de Saut Bois

Il apparaît à la lecture de ce tableau que le scénario 1 présente le plus d'intérêt vis-à-vis de la relation gain écologique/coût.

Ce scénario n'est cependant pas accepté par le propriétaire.

La question de l'intérêt de faire transiter l'ensemble des espèces par un plan d'eau doit être posée pour déterminer la stratégie d'intervention sur ce site.