

Etude pour la restauration de la continuité écologique et sédimentaire au niveau des barrages de la Grande Ventellerie (ARKEMA) à Chauny et de la papeterie d'EVERBAL à Evergnicourt – Lot 2

Rapport Lot 2 - barrage de la papeterie d'EVERBAL à Evergnicourt

Etude détaillée des solutions techniques







Juin 2013

HFG 20827H



Egis Eau Informations qualité

Informations qualité

| Titre du projet | Etude pour la restauration de la continuité écologique et sédimentaire au niveau des barrages de la Grande Ventellerie (ARKEMA) à Chauny et de la papeterie d'EVERBAL à Evergnicourt – Lot 2 |
|-------------------|--|
| Titre du document | Rapport Lot 2 - barrage de la papeterie d'EVERBAL à Evergnicourt |
| Date | Juin 2013 |
| Auteur(s) | JF. Salmin, C. Tison (Egis Eau), C. Moreno (Hydrophère) |
| N° Affaire | HFG 20827H |

Contrôle qualité

| Version | Date | Rédigé par | Visé par : |
|---------|----------|--------------|---------------------------|
| V1 | 14/06/13 | cf ci-dessus | Fabrice Peguin (Egis Eau) |
| | | | |
| | | | |

Destinataires

| Envoyé à : | | | |
|----------------|--------------------|-------------|--|
| Nom | Organisme | Envoyé le : | |
| Thierry FRAYON | Entente Oise Aisne | 19/06/2013 | |
| | | | |
| | | | |

| Copie à : | | |
|-----------|-----------|-------------|
| Nom | Organisme | Envoyé le : |
| | | |
| | | |

Table des matières

| Chap | itre 1 Ir | troduction | 7 |
|------|------------|---|-----|
| | 1.1 Cadr | e de l'étude | 7 |
| | 1.2 Object | de l'étude | 7 |
| | 1.2 Obje | . de i etude | / |
| | 1.3 La m | ission d'Egis Eau | 8 |
| | 1.4 Obje | ctifs de la phase n°2 | 9 |
| | 1.5 Prése | entation de la zone d'étude | 9 |
| Chap | itre 2 D | éfinition des solutions techniques | 11 |
| · | | x des scénarii | |
| | | ctifs d'aménagement | |
| | | | |
| | | s liés à l'ouvrage | |
| | | Effet retenue | |
| | | Effet flux solides | |
| | | Effet flux liquides | |
| | 2 4 Fsnè | ces « repère » et espèces « cible » | 14 |
| | | Les différents niveaux d'activité de nage | |
| | | Capacité de nage et endurance | |
| | | Capacité de saut | |
| | | Capacité de reptation | |
| | | Périodes de migration | |
| | | Contraintes fonctionnelles | |
| | | litions hydrologiques et hydrauliques | |
| | | Débits caractéristiques | |
| | | Débits moyens mensuels | |
| | | Débits classés | |
| | | Proposition d'une plage de débit pour le fonctionnement des ouvrages Hauteurs de chute au barrage | |
| | | | |
| | | ario A : maintien de l'ouvrage et aménagement d'un | 22 |
| | | Solution 1 : passe à bassins | |
| | 2.7 Scén | ario C-1 : dérasement de l'ouvrage | .32 |
| | | Solution 2 : dérasement du seuil | |
| | | ario C-2 : arasement de l'ouvrage | |
| | | Principe de réalisation | |
| | 282 | Modification du contexte hydraulique local | 44 |

2.8.3 Solution 3 : arasement du seuil de 2,00 m et édification d'une rampe en aval 47

| Chapitre 3 Modalités et indicateurs de suivi après aménagement58 | |
|--|----------------|
| 3.1 Généralités58 | |
| 3.2 Description du protocole de suivi583.2.1 Suivi hydromorphologique583.2.2 Suivi biologique603.2.3 Suivi physico – chimique de la qualité de l'eau60 | |
| Chapitre 4 Analyse comparative des solutions d'aménagement61 | |
| Chapitre 5 Conclusion63 | |
| Chapitre 6 ANNEXES64 | |
| 6.1 Bibliographie64 | |
| 6.2 Dimensionnement des ouvrages selon le ou les groupes d'espèces64 | |
| 6.3 Profils en long de l'Aisne au droit du seuil (amont / aval)68 | |
| 6.4 Principe de dimensionnement d'une rampe en enrochements régulièrement répartis69 | |
| Liste des figures | |
| Figure 1 : Localisation de la zone d'étude | 10 |
| Figure 2 : Passe à bassin à une fente verticale | 25 |
| Figure 3 : Passe à bassin à deux fentes verticales (guide technique passe à poisson VNF) | 26 |
| Figure 4 : Exemple de passe à canoë | 29 |
| Figures 5 et 6 : Localisation des aménagements de berge au moyen de techniques lourdes en rive gauche | 30 |
| Figure 7 : Emprise foncière en rive gauche | 31 |
| Figure 8 : Cartographie illustrant l'intensité des processus d'ajustement hydromorphologique (érosion régressive) consécutifs au dérasement du seuil. | 36 |
| Figure 9 : Impact sur les lignes d'eau du dérasement du seuil pour le module et la crue biennale | 38 |
| Figure 10 : carte de risque de retrait/gonflement des argiles (BRGM) | 40 |
| Figure 11 : Lignes d'eau pour un débit de 9 m³/s – comparaison des solutions d'arasement | 1 5 |
| Figure 12 : Lignes d'eau pour un débit de 49 m³/s (module) – comparaison des solutions d'arasement | 15 |

| Figure 13 : Lignes d'eau pour un débit de 80 m³/s (débit maximum de fonctionnement proposé) – comparaison des solutions d'arasement | 46 |
|--|----|
| Figure 14 : Lignes d'eau pour un débit de 208 m³/s (crue biennale) – comparaison des solutions d'arasement | 46 |
| Figure 15 : Schéma d'une disposition régulière des enrochements | 48 |
| Figure 16 : Exemple de passe à canoë | 51 |
| Figure 17 : Impact sur les lignes d'eau de l'arasement du seuil en étiage, pour le module et la crue biennale | 52 |
| Figures 18 et 19 : Localisation des aménagements de berge au moyen de techniques lourdes en rive gauche | 53 |
| Figure 20 : Emprise foncière en rive gauche | 54 |
| Figure 21 : Correspondance entres espacements relatifs et concentration des blocs | 69 |
| Figure 22 : Critères hydrauliques à respecter selon les groupes d'espèces pour ce type d'enrochement | 70 |
| Figure 23 : Franchissabilité des enrochements régulièrement répartis pour les différents groupes d'espèces (en gras la valeur du paramètre limitant) | 72 |
| Liste des tableaux | |
| Tableau 1 : Capacité de nage des espèces cibles | 15 |
| Tableau 2 : Endurance des principales espèces étudiées | 16 |
| Tableau 3 : Débits caractéristiques calculés à la station d'Asfeld à partir des débits à Givry et à Berry-au-Bac (en m3/s) | 19 |
| Tableau 4 : écoulements mensuels (naturels) aux stations et en amont de la zone d'étude | 20 |
| Tableau 5 : extrait des débits classés estimés à Asfeld | 21 |
| Tableau 6 : Evolution de la hauteur de chute au barrage de la Grande Ventellerie (conditions actuelles) | 22 |
| Tableau 7 : tableau d'analyse des incidences potentielles du dérasement du seuil | 34 |
| Tableau 8 : résultats des simulations pour les solutions d'arasement | 44 |

Chapitre 1 Introduction

1.1 Cadre de l'étude

L'Entente interdépartementale pour la protection contre les inondations de l'Oise, de l'Aisne, de l'Aire et de leurs affluents, dénommée Entente Oise-Aisne, a pour mission de conduire les politiques voulues et partagées par les Départements membres de cette institution. Elle contribue principalement à la lutte contre les inondations et participe également à la préservation de l'environnement naturel du bassin hydrographique.

L'article L.214-17 du code de l'environnement prévoit la révision du classement des cours d'eau pour le maintien ou le rétablissement de la continuité écologique en l'adaptant aux exigences de la directive cadre sur l'eau et des programmes de restauration des poissons grands migrateurs amphihalins. Deux listes sont constituées :

- Liste 1 (cours d'eau visés au 1° du l de l'article L. 214-17 du code de l'environnement) : cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux, sur lesquels aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique.
- Liste 2 (cours d'eau visés au 2° du l de l'article L. 214-17 du code de l'environnement) : cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux sur lesquels tout ouvrage doit être géré, entretenu et équipé dans un délai de cinq ans après la publication de la liste (18/12/12) selon les règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant pour assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs.

Les tronçons de l'Aisne étudiés ici sont classés en listes 1 et 2 depuis le 4 décembre 2012.

1.2 Objet de l'étude

L'Entente Oise-Aisne engage cette étude afin de poursuivre l'amélioration des écosystèmes aquatiques, tout en veillant à prémunir les biens et les personnes, ainsi que le patrimoine dans le respect des documents cadres réglementaires.

L'objectif de la mission consiste à restaurer la continuité écologique et sédimentaire au droit du barrage de la papeterie d'EVERBAL à Evergnicourt sur l'Aisne.

Cette étude a donc pour objet principal d'apporter, aux maîtres d'ouvrage des travaux envisagés, une solution d'aménagement efficace localement et globalement, pour répondre aux problématiques de gestion des espèces piscicoles et de transit sédimentaire tout en intégrant les incidences locales (respect des droits d'eau) et globales (notamment hydrauliques) de cet aménagement.

1.3 La mission d'Egis Eau

La mission confiée à Egis Eau est une mission d'étude et conception. Elle a pour objet :

- 1. dans un premier temps la définition et la comparaison de l'ensemble des solutions techniques permettant le rétablissement de la continuité écologique et sédimentaire sur l'Aisne au droit du barrage de la papeterie d'EVERBAL à Evergnicourt, dans la perspective de l'atteinte du « bon état écologique » de la masse d'eau considérée, défini par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) et le SDAGE du bassin Seine Normandie et suite au classement des cours d'eau au titre de l'article L.214-17 du code de l'environnement.
- 2. dans un second temps la conception, au stade avant-projet, voire au stade projet, de la solution retenue.

Au vu des éléments susmentionnés, la présente étude doit :

- établir un diagnostic <u>clair et objectif</u> de la situation actuelle comprenant :
 - une analyse du fonctionnement global de la rivière sur le tronçon de cours d'eau désigné (hydraulique, écologique, hydromorphologique, socio-économique: usages / tourisme / patrimoine...);
 - un diagnostic précis de l'ouvrage concerné (géométrie, état, impacts sur le fonctionnement du cours d'eau, etc.) ;
- apprécier les enjeux et les contraintes d'aménagement propres au site et au tronçon de l'Aisne étudié;
- confirmer la faisabilité de l'opération de rétablissement de la continuité écologique et sédimentaire et définir puis comparer l'ensemble des solutions techniques envisageables répondant à l'ensemble des problématiques posées.
- définir les détails techniques du scénario retenu.

D'un point de vue opérationnel, cette étude doit apporter des réponses quant :

- à la caractérisation des impacts de l'ouvrage sur le fonctionnement de l'Aisne ;
- aux modalités de rétablissement de la continuité écologique ;
- à la nature et l'importance des incidences (sur les plans physique, biologique et des usages) de l'effacement / arasement ou l'équipement de l'ouvrage;
- aux mesures connexes à la mise en œuvre d'une telle opération.

La mission est composée de neuf étapes réparties en une tranche ferme et une tranche conditionnelle.

Tranche ferme :

Mission 1 : coordination générale du marché,

Mission 2 : connaissance générale (visite de terrain), technique et administrative de l'ouvrage,

Mission 3 : analyse des enjeux environnementaux notamment hydromorphologiques et biologiques liés à la présence de l'ouvrage dans le cours d'eau,

Mission 4 : réalisation d'une note sur la valeur économique de l'ouvrage,

Mission 5: réalisation d'une étude détaillée des solutions techniques (1 à 2 scénarii),

Mission 6 : réalisation d'une note de synthèse et comparaison des scénarii,

Mission 7 : définition des détails techniques du scénario retenu (AVP).

Tranche conditionnelle :

Mission 8 : définition de l'étude projet et rédaction des dossiers réglementaires,

Mission 9 : définition du protocole de suivi des impacts des travaux de restauration.

1.4 Objectifs de la phase n°2

Cette seconde étape de la mission consiste en la conduite d'une étude détaillée des aménagements & ouvrages de restauration de la continuité écologique au droit de l'ouvrage.

Cette étude détaillée comprend :

- la définition des objectifs d'aménagement propres à chaque site et tronçon de cours d'eau;
- la définition des différentes solutions techniques en fonction des éléments de diagnostic;
- l'estimation du coût prévisionnel des travaux ;
- la comparaison des solutions techniques proposées, d'un point de vue technique, financier et réglementaire (élaboration de tableau d'analyse multicritère).

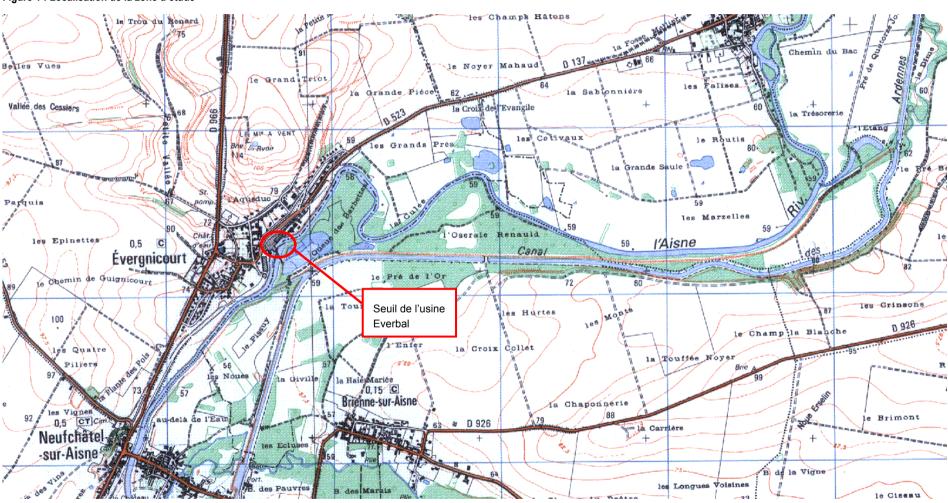
Le présent rapport a été établi sur la base :

- du diagnostic réalisé précédemment, avec notamment les données sur les espèces cibles et les résultats de l'étude hydraulique ;
- des données topographiques ;
- des échanges avec l'ONEMA et le Maître d'Ouvrage ;
- des reconnaissances de terrain effectuées.

1.5 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est représentée sur la figure suivante.

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude



Etude pour la restauration de la continuité écologique et sédimentaire au niveau des barrages de la Grande Ventellerie (ARKEMA) à Chauny et de la papeterie d'EVERBAL à Evergnicourt – Lot 2

Chapitre 2 techniques

Définition des solutions

2.1 Choix des scénarii

Les éléments de diagnostic rassemblés précédemment et la note sur la valeur économique de l'ouvrage ont permis d'identifier les enjeux associés à l'ouvrage et au tronçon de cours d'eau associé. Ces enjeux permettent d'orienter la définition des scénarii d'aménagement et de faciliter, par la suite, le choix de la solution à retenir.

Ils sont principalement de deux ordres :

- Assurer la stabilité des infrastructures situées aux abords du seuil de la papeterie;
- Maintenir les usages actuels : alimentation de la prise d'eau de secours de la papeterie.

Comme il n'existe pas à ce jour d'usages liés au niveau d'eau amont maintenu par l'ouvrage et que ce dernier est dans un état plutôt dégradé (notamment les vannes d'alimentation des anciennes turbines), il est proposé d'étudier l'arasement ou de dérasement de l'ouvrage.

Dans ces conditions, l'opération de restauration de la continuité écologique de l'Aisne au niveau du barrage de la papeterie Arkema peut être envisagée selon deux scénarii, plus ou moins ambitieux, et présentant une incidence sur les aspects hydrauliques, hydromorphologiques et géotechniques différente.

- Scénario A : « maintien de l'ouvrage et aménagement d'un dispositif de franchissement »
- Scénario C : « dérasement (C1) ou arasement de l'ouvrage (C2) »

Pour assurer le maintien des usages actuels, une attention particulière sera portée sur les risques d'instabilité qui pourraient être liés au dérasement (suppression totale) ou à l'arasement (abaissement partiel) de l'ouvrage.

2.2 Objectifs d'aménagement

Les propositions d'aménagement pour la restauration de la continuité écologique de l'Aisne, énoncées et décrites au chapitre suivant, ont été guidées par le respect des objectifs suivants :

- liés au fonctionnement hydromorphologique et hydraulique de l'hydrosystème :
 - restaurer le fonctionnement autonome de ce tronçon de rivière afin d'augmenter ses potentialités écologiques;
 - restaurer/améliorer le transit sédimentaire vers l'aval;
 - assurer la stabilité du fond du lit de l'Aisne ;

 ne pas aggraver les risques d'inondation (ne pas réduire les écoulements au droit du seuil);

liés au fonctionnement biologique de l'hydrosystème :

- restaurer la circulation des espèces piscicoles migratrices ;
- préserver les espèces végétales remarquables (frênes âgés);

liés aux usages :

- assurer la stabilité des berges pour ne pas impacter les fondations des bâtiments en rive droite ainsi que la digue des bassins de décantation en rive gauche;
- assurer une intégration paysagère optimale des futurs ouvrages.

2.3 Effets liés à l'ouvrage

Source : guide méthodologique « Arasement et dérasement de seuils - Aide à la définition de Cahier des Charges pour les études de faisabilité - Compartiments hydromorphologie et hydroécologie, Pôle hydroécologie des cours d'eau Onema - Cemagref Lyon - Février 2011 »

Les effets d'un seuil peuvent être déclinés en 3 grandes catégories (Malavoi, AREA, 2003) : effet retenue, effet point dur, effet flux.

2.3.1 Effet retenue

2.3.1.1 Modification des faciès naturels

Les seuils et barrages engendrent à leur amont un remous liquide plus ou moins long (fonction de la pente du cours d'eau et de la hauteur de l'ouvrage) à l'origine de faciès d'écoulement lentiques et profonds en lieu et place des séquences naturelles de faciès, naturellement diversifiées (radiers, plats, mouilles etc., Malavoi, 1989). Au niveau biologique, on observe généralement un remplacement des biocénoses naturelles par des biocénoses inféodées aux courants lents et aux fortes profondeurs.

2.3.1.2 Blocage des processus d'érosion latérale

La dynamique fluviale est fortement réduite par l'effet d'équilibre hydrostatique entre le cours d'eau et la nappe alluviale en crue. Les processus naturels d'érosion latérale sont beaucoup moins intenses (ce qui peut être perçu comme un avantage pour les riverains) entraînant une réduction de la recharge alluviale et une plus grande stabilité des milieux naturels fluviatiles, habituellement fréquemment renouvelés, notamment sur les cours d'eau à dynamique active.

2.3.1.3 Réchauffement de l'eau en été

Les retenues de seuils favorisent le réchauffement de l'eau en étiage et aggravent les effets de l'eutrophisation. Il n'est pas rare d'observer une augmentation de la température de l'eau de 3 à 5 degrés entre l'amont et l'aval d'une retenue de seuil en plein été. Le brassage mécanique et l'oxygène dissous diminuent. L'augmentation des profondeurs et la réduction des vitesses dans

la retenue créée par l'ouvrage se traduisent le plus souvent par une modification du peuplement autochtone : seules les espèces mieux adaptées aux températures plus élevées et au milieu lentique se maintiennent. Les peuplements piscicoles sont notamment très affectés par le changement des régimes thermique :

- les espèces rhéophiles sont fortement défavorisées,
- à l'inverse les espèces de milieux lentiques, telles que certains des Cyprinidés lénitiques, sont favorisées par un cours d'eau présentant une succession de chenaux lentiques dont les eaux lentes se réchauffent facilement.

2.3.1.4 Modification des relations nappe/rivière

Les effets de retenue se font également parfois sentir au niveau de la nappe d'accompagnement, si la retenue présente des berges et un fond perméable : le niveau de la nappe augmente et reste stable longtemps, ce qui peut favoriser la création de zones humides dans le lit majeur. Il semble cependant que pour être réellement intéressantes, ces zones humides doivent être soumises à une fluctuation saisonnière de la nappe, ce qui fut peut être le cas lorsque les seuils avaient un usage mais ne l'est plus que très rarement aujourd'hui.

2.3.2 Effet point dur

En réduisant l'intensité des processus naturels d'érosion latérale dans l'emprise de la retenue, les seuils et barrages sont un point de blocage local de la dynamique fluviale qui perturbe les processus d'équilibrage géodynamique. Ils ont surtout un effet « point dur vertical » incontestable par la stabilisation du profil en long à leur amont, ce qui peut être bénéfique sur les cours d'eau en phase de forte incision (suite à des extractions par exemple).

2.3.3 Effet flux solides

2.3.3.1 Piégeage des sédiments grossiers

La grande majorité des ouvrages transversaux, quel que soit le type de cours d'eau, bloquent une fraction importante, voire totale, de la charge alluviale grossière de fond. Cet effet de piégeage perdure en général jusqu'à ce que le seuil soit plein et devienne « transparent » au transport solide, c'est à dire que ce dernier passe intégralement par-dessus le seuil. La capacité du lit se réduit en queue de retenue, augmentant souvent la fréquence des débordements. Ces alluvions grossières vont manquer à l'aval entraînant généralement une érosion progressive et une incision du lit mineur.

Ces phénomènes sont plus marqués dans les cours d'eau à dynamique active et à forte puissance. La disparition à plus ou moins long terme du substrat alluvial en aval de l'ouvrage va pénaliser le fonctionnement écologique car il constitue un habitat privilégié pour de nombreuses espèces des biocénoses aquatique et ripariales.

2.3.3.2 Accumulation de sédiments fins

Le piégeage puis l'accumulation des sédiments fins dans les retenues de seuils se traduisent généralement par un changement radical des biocénoses aquatiques : remplacement du cortège d'espèces (invertébrés, végétaux, poissons) caractéristiques de substrats grossiers par un cortège caractéristique de substrats fins et généralement très organiques, que l'on trouve d'habitude dans les parties très aval des cours d'eau.

2.3.4 Effet flux liquides

2.3.4.1 Augmentation de la fréquence et/ou de la durée des débordements :

Dans le cas de seuils fixes ou de vannes fermées, les débordements à l'amont sont parfois plus fréquents en cas de crue, avec un rôle écrêteur qui reste néanmoins à démontrer, en particulier dans le cas d'ouvrages isolés. L'augmentation des fréquences et/ou durée d'inondation peut parfois être intéressante d'un point de vue écologique en permettant une meilleure connectivité du lit mineur avec les milieux naturels du lit majeur les annexes hydrauliques, lorsqu'elles existent. Par contre l'impact est négatif lorsque les inondations concernent des zones urbanisées.

2.3.4.2 Augmentation du temps de transfert

Ils sont augmentés quand les biefs sont fermés, ce qui est quasiment toujours le cas aujourd'hui (mais ne l'était pas à l'époque où les seuils avaient un usage économique). La cinétique d'épuration est modifiée sans que l'on sache réellement aujourd'hui si les conséquences sont positives ou négatives sur la qualité de l'eau.

2.4 Espèces « repère » et espèces « cible »

Le Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (P.D.P.G.) précise que les espèces repères sur la zone d'étude sont la truite fario et le brochet.

Notons que l'anguille est considérée comme une espèce cible.

La détermination des caractéristiques générales des ouvrages proposés va donc s'établir sur les capacités de franchissement connues de ces espèces, et notamment pour l'espèce qui a les besoins les plus contraignants.

2.4.1 Les différents niveaux d'activité de nage

L'aptitude des poissons à franchir un obstacle varie selon les espèces. Elle est en partie déterminée par leurs capacités de nage et dépend notamment de la taille des individus et de facteurs environnementaux. Les niveaux d'activité de nage classiquement distingués sont :

- <u>l'activité de croisière</u>: activité susceptible d'être maintenue pendant des heures sans engendrer de modifications physiologiques profondes. la vitesse maximale de croisière de la majorité des espèces est de l'ordre de 2 à 3 fois la longueur (L) du poisson par seconde (L/s) et de 3 à 4 fois L/s chez les salmonidés.
- <u>l'activité soutenue</u> : elle peut être maintenue pendant plusieurs minutes
- <u>l'activité de pointe</u> : exigeant un effort intense qui ne peut durer qu'un temps très limité, la vitesse de nage maximale est de l'ordre de 8 à 10 L/s.

La température influe sur la vitesse maximale de nage qui peut être réduite de moitié pour un abaissement d'une dizaine de degrés par rapport à la température optimale. En revanche, la température affecte proportionnellement moins les capacités de nage du poisson dans le domaine des vitesses de croisière et soutenues.

Tableau 1 : Capacité de nage des espèces cibles

| Espèces | Activité de croisière | Activité soutenue | Activité de pointe |
|--------------|-----------------------|-------------------|--------------------|
| Truite fario | 0.5 à 1m/s | 1 à 2 m/s | 2 à 3 m/s |
| Brochet | 0,05 à 0.25 m/s | 0.25 à 0.75 m/s | 1 à 3m/s |
| Anguille | | | |
| Civelle | 0.1 à 0.2 m/s | 0.3 à 0.5 m/s | 0.6 m/s à 0.9 m/s |
| Jaune | | - | 1.2 m/s |
| Argentée | 0.3 à 0.6 m/s | 0.7 à 1.1 m/s | - |

2.4.2 Capacité de nage et endurance

L'endurance des poissons est fortement corrélée à la taille des individus et la température de l'eau. Les valeurs présentées dans les tableaux suivants sont données à titre indicatif.

Cas de l'anguille : L'Anguille présente une nage de type ondulatoire avec des performances de nage liées à la morphologie de son corps, dont la flexibilité est importante et homogène (anguilliforme). Il existe peu de données sur les capacités de nage de l'anguille et les données existantes sont très variables. Toutefois, elles permettent de constater de plus faibles performances par rapport aux autres espèces migratrices. Pour une civelle de 7 cm, les vitesses de pointes maximales varient de 0.6 à 0.9 m/s (Mc Leave, 1979). Pour un sub-adulte de 60 cm, la vitesse maximale serait de 1,14 cm/s (Blaxster & Dickson, 1959). Ces données, produites en conditions de nage forcée en laboratoire, n'ont rien à voir avec les conditions naturelles. Les vitesses de nage des anguilles argentée estimées grâce à des émetteurs ultrasons (Tesch, 2003) atteignent 40 à 50 km/ jour en mer baltique et 25 km/jour en Méditerranée occidentale (soit des vitesses de 0.3 à 0.6 m/s en activité de croisière).

Le comportement de migration sera donc différent selon le stade de développement des individus migrants. Les petits individus auront tendance à rechercher les zones à faibles écoulements et les adultes n'hésiteront pas à emprunter les veines centrales de l'écoulement où le courant est plus important (Tesch, 2003).

Toutefois, l'ouvrage d'Evergnicourt se trouvant à plusieurs centaines de kilomètres de l'Estuaire, les anguilles jaunes auront atteint des tailles de plusieurs dizaines de centimètres.

Tableau 2 : Endurance des principales espèces étudiées

| Espèces | Endurance des poissons | |
|----------------------------|------------------------------------|--|
| Truite fario et cyprinidés | 10 m pour V = 1.2 à 1.5 m/s | |
| rhéophiles | Quelques m pour V = 2.5 m/s | |
| Brochet | 100 minutes pour V = 25 cm/s | |
| | Plusieurs minutes pour V = 45 cm/s | |
| | Quelques secondes pour V = 2 m/s | |
| Anguille | | |
| Civelle | 3 m pour V =0.3 m/s | |
| | 30 cm pour V = 0.5 m/s | |

2.4.3 Capacité de saut

Certaines espèces, en particulier les salmonidés, sont capables de franchir un obstacle en sautant, à condition que le poisson trouve au pied de l'obstacle des conditions lui permettant de prendre son appel. Ainsi, une truite fario est capable de franchir des seuils entre 20 et 50 cm (selon les conditions hydrauliques et la taille des individus).

Les cyprinidés d'eau vive (barbeau, hotu, vandoise...) sont capables de franchir de petits obstacles (<20 cm) mais leur capacité de saut est très variable d'une espèce à une autre. En revanche, les petites espèces benthiques telles que le chabot et la lamproie de planer ne sautent pas mais nagent sur le fond (Sylvain Richard, ONEMA, 2011). Le chabot progresse par bon successifs et peut franchir des seuils de 15 cm.

Il est couramment admis, dans les différentes sources bibliographiques, que le brochet ne dispose d'aucune capacité de saut. Néanmoins, des études récentes (Michaël OVIDIO et al, 2007) montrent que l'espèce est capable de franchir des obstacles avec des pentes avoisinant les 30%.

L'anguille, en revanche, ne dispose d'aucune capacité de saut et est susceptible d'être bloquée par des petits seuils qui n'arrêteront pas les autres espèces migratrices.

2.4.4 Capacité de reptation

La spécificité de l'Anguille est son aptitude à ramper le long de parois humidifiées. Les anguillettes avec leur corps allongé et leur faible poids peuvent par ailleurs grimper des murs verticaux à condition que ceux-ci ne soient pas trop lisses. La surface nécessite cependant d'être un minimum humidifiée. La capacité de reptation diminue avec la taille des individus et par conséquent la franchissabilité des ouvrages ne sera pas la même selon que ceux-ci se situent proches de l'embouchure ou non (Legault, 1988).

2.4.5 Périodes de migration

Comme il a été indiqué dans le diagnostic, les périodes de migration des espèces cibles sont les suivantes :

- <u>Truite fario</u>: les truites remontent les cours d'eau au début de l'hiver. Elles atteignent les sites de frai (zones graveleuses à courant vif) entre décembre et janvier. Les alevins éclosent au bout de 8 à 10 semaines et migrent à leur tour vers l'aval de la rivière pour coloniser les zones favorables de la rivière. Dans ces conditions, la montaison se fait entre septembre et fin janvier (5 mois) et la dévalaison entre fin février et fin mai (3 mois)
- <u>Brochet</u>: la période de reproduction débute en février-mars. Les géniteurs peuvent réaliser des migrations de plusieurs kilomètres pour atteindre les sites de frai (zones couvertes d'une végétation herbacée, récemment inondées et peu profondes). Hors période de frai, le brochet est sédentaire avec une activité essentiellement diurne.
- Anguille: montaison février à octobre, dévalaison septembre à janvier.

2.4.6 Contraintes fonctionnelles

Compte-tenu de ces éléments, on constate que la détermination des caractéristiques générales des aménagements pourra être complètement différente selon le choix de l'espèce cible.

Le brochet préfère les eaux claires à courant lent à proximité de la végétation aquatique (zones potamiques des cours d'eau, lacs, bras morts, étangs) mais il est susceptible d'occuper des milieux aquatiques très variés (espèce eurytope). Il peut coloniser les cours moyens (zone à barbeau) voire les zones à salmonidés (1ère catégorie) pour les plus gros individus.

Le brochet se reproduit sur la végétation (espèce phytophile), dans des zones de faibles profondeurs, et fraîchement inondées par les crues hivernales. Cette distinction d'habitat entre la zone de repos et la zone de frai se traduit par une migration, qui précède la ponte de quelques jours et peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres. Cette migration est notamment stimulée par les crues.

La Truite fario habite les cours d'eau oxygénés de bonne qualité, généralement avec un courant assez rapide et un substrat en majorité minéral ; elle occupe donc principalement les têtes de bassin. Elle peut cependant aussi occuper les parties plus basses de rivières.

<u>Pour la truite, il convient d'envisager les choix techniques suivants (</u>extrait Document technique d'accompagnement des classements des cours d'eau (L. 214-17 C.E.) pour le bassin Rhin-Meuse):

Montaison

L'efficacité des dispositifs de franchissement doit être optimale durant la période de migration / reproduction de l'espèce, soit une période comprise entre novembre et février. Il convient d'envisager les choix techniques suivants :

- Passes à bassins: longueur du bassin comprise entre 7 à 12 fois la largeur de l'échancrure / Profondeur mini 0,6 m / Chute de 30 cm max / Echancrure ou fente supérieure à 20 cm / Puissance dissipée inférieure à 200 W/m3.
- Rivière de contournement de type rangées périodiques : charge minimale de 20 cm sur le seuil / Chute maximale de 20 cm / Vitesse maximale de 3-4 m/s / Puissance inférieure à 300 W/m3.

Rivière de contournement à enrochements régulièrement répartis : hauteur d'eau de 0,3 à 0,7 m / Pente de 5-7 % / Débit unitaire de 0,20-0,65 m3/s/m / Vitesse maximale dans les jets de 2 m/s / Puissance inférieure à 500-600 W/m3.

En absence de tronçon court-circuité (TCC), le dispositif doit être implanté dans la zone la plus attractive, à proximité immédiate de l'usine en général. L'accès pour l'entretien doit également être pris en compte.

Dévalaison

La truite est également concernée par la dévalaison. Les truites dévalent les cours d'eau au printemps pour les géniteurs et quelques alevins, mais aussi en automne pour les juvéniles, qui évitent la concurrence des géniteurs adultes remontant sur les zones de frayères.

<u>Pour le brochet, il convient d'envisager les choix techniques suivants (</u>extrait Document technique d'accompagnement des classements des cours d'eau (L. 214-17 C.E.) pour le bassin Rhin-Meuse) :

A la montaison :

- Passe à bassins : la longueur du bassin comprise entre 7 à 12 fois la largeur de l'échancrure / Profondeur minimale de 0,6 m / Chute maximale de 20 cm / Echancrure ou fente supérieure à 20 cm / Puissance dissipée inférieure à 150 W/m3
- Rivière de contournement de type rangées périodiques : charge minimale de 20 cm sur le seuil / Chute maximale de 15 cm / Vitesse maximale de 1,1-1,5 m/s / Puissance inférieure à 150 W/m3
- Rivière de contournement à enrochements régulièrement répartis : hauteur d'eau de 0,2 à 0,8 m / Pente de 3-4 % / Débit unitaire de 0,10-0,45 m3/s/m / Vitesse maximale dans les jets de 1,5 m/s / Puissance inférieure à 200-300 W/m3

En présence de tronçon court-circuité, il convient à minima de réaliser une passe à l'usine ou au barrage. Un équipement au barrage est à privilégier lorsque le tronçon court-circuité présente une longueur importante (>1 km) avec de fortes potentialités d'habitats pour ces espèces. Cette variante peut s'accompagner d'une mise en cohérence du débit réservé avec les fonctionnalités attendues par ce tronçon court-circuité (maintien des habitats de croissance et/ou reproduction).

Dévalaison

En l'état actuel des connaissances, le guide sur les prises d'eau ichtyocompatibles considère que la dévalaison ne semble pas problématique pour ces espèces potamodromes.

La prise en compte des données bibliographiques sur le brochet permet de proposer des solutions alternatives à l'effacement de l'ouvrage.

Néanmoins, il est rappelé que le brochet porte plus d'intérêt au confort dans la passe qu'à l'attrait de la passe.

Le manque d'informations sur le suivi d'ouvrages dimensionnés pour cette espèce appelle à la prudence.

2.5 Conditions hydrologiques et hydrauliques

2.5.1 Débits caractéristiques

Il existe trois stations hydrométriques proches du secteur d'étude :

- la station de Berry-au-Bac partielle (H6321011) sur l'Aisne, située en aval du secteur d'étude, au niveau du barrage de Berry-au-Bac. Elle est associée à la station de Berry-au-Bac (rigole) (H6321014 débit dans la rigole au niveau de l'écluse). Elle draine un bassin versant de 5230 km².
- la station de Givry (H6221010) sur l'Aisne, située en amont du secteur d'étude et en amont de la confluence de l'Aisne et de la Vaux. Elle draine un bassin versant de 2940 km².
- La station d'Ecly (H6233020) sur la Vaux. Elle draine un bassin versant de 316 km². La Vaux est un affluent rive droite de l'Aisne, en aval de Givry.

Les débits caractéristiques de l'Aisne au niveau du secteur d'étude ont été calculés à partir des débits caractéristiques (débits instantanés) fournis dans la Banque Hydro aux stations de Givry et de Berry-au-Bac (utilisation de la loi de Myer pour obtenir une estimation du débit à Asfeld).

Les débits caractéristiques à Asfeld (bassin versant de 4540 km²) sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Débits caractéristiques calculés à la station d'Asfeld à partir des débits à Givry et à Berry-au-Bac (en m3/s)

| Station | Givry | Asfeld | Berry total | Berry partielle | Berry rigole |
|------------------|-------|--------|-------------|-----------------|--------------|
| surface BV (km²) | 2940 | 4540 | 5230 | 5230 | 5230 |
| QMNA5 | 3.1 | 6.8 | 8.7 | | |
| Module | 30.9 | 48.7 | 56.4 | | |
| QIX 2 | 190 | 208 | | 190 | 20 |
| QIX 5 | 230 | 278 | | 260 | 29 |
| QIX 10 | 260 | 323 | | 310 | 35 |
| QIX 50 | 320 | 427 | | 420 | 40 |

Source : Banque Hydro pour Givry et Berry-au-Bac

2.5.2 Débits moyens mensuels

Les caractéristiques de l'hydrologie au cours des périodes de migration sont données à partir des valeurs moyennes mensuelles aux stations de Berry-au-Bac et de Givry. La station de Berry-au-Bac Aisne total reprend les débits de 1967 à 1996 et celle de Givry de 1969 à 2012.

Comme précédemment, les débits à Asfeld sont estimés à partir des données des deux stations à partir de la relation entre les tailles de bassin versant (Myer).

Tableau 4 : écoulements mensuels (naturels) aux stations et en amont de la zone d'étude

| | Débit moyens mensuels (m³/s) | | |
|-----------|---|--------------------------|-----------------------|
| | Berry-au-Bac Aisne totale (1967-1996) | Débit estimé à Asfled | Givry (1969- 2012) |
| Janvier | 92.3 | 83 | 59.9 |
| Février | 102 | 91 | 65.1 |
| Mars | 90.7 | 80 | 54.2 |
| Avril | 80.9 | 68 | 40.7 |
| Mai | 55 | 45 | 23.7 |
| Juin | 38.9 | 31 | 14.8 |
| Juillet | 31.1 | 25 | 12.2 |
| Août | 22 | 17 | 7.96 |
| Septembre | 18.5 | 14 | 6.24 |
| Octobre | 29 | 24 | 13.1 |
| Novembre | 43.5 | 38 | 24.8 |
| Décembre | 75.8 | 68 | 50.1 |
| Année | 56.4 | 49 | 30.9 |

Pour mémoire :

- la montaison des truites se fait entre septembre et fin janvier (5 mois) et la dévalaison entre fin février et fin mai (3 mois)
- la période de reproduction du brochet débute en février-mars (période de frai et donc de déplacement).
- la montaison des anguilles se fait entre février et octobre et la dévalaison de septembre à janvier.

2.5.3 Débits classés

La courbe des débits classés de l'Aisne au niveau du secteur d'étude est analysée afin d'identifier le débit minimum de fonctionnement des aménagements. Ceux-ci doivent être fonctionnels 90 % du temps, au minimum 75 % du temps (demande de l'ONEMA).

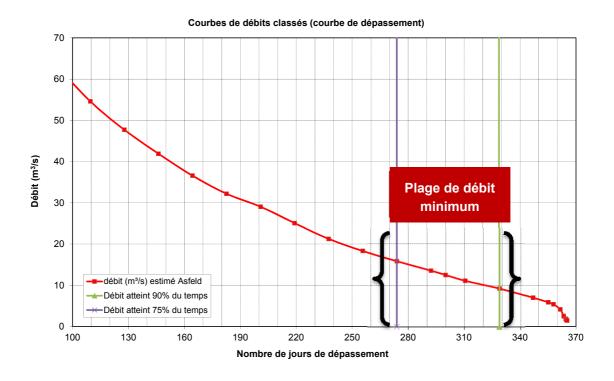
Les débits correspondants sont donnés dans le tableau ci-après.

<u>Remarque</u>: les données sur les débits à Asfeld sont issues d'une estimation entre les données de débits aux stations de Givry et de Berry-au-Bac, situées en amont et en aval de la zone d'étude.

Tableau 5 : extrait des débits classés estimés à Asfeld

| fréquence | nb jours de | débit (m³/s) |
|-------------|-------------|---------------|
| de non | dépassement | estimé Asfeld |
| dépassement | par an | |
| 0,500 | 182,6 | 32 |
| 0,450 | 200,9 | 29 |
| 0,400 | 219,2 | 25 |
| 0,350 | 237,4 | 21 |
| 0,300 | 255,7 | 18 |
| 0,250 | 273,9 | 16 |
| 0,200 | 292,2 | 14 |
| 0,179 | 300,0 | 13 |
| 0,150 | 310,5 | 11 |
| 0,100 | 328,7 | 9 |
| 0,050 | 347,0 | 7 |
| 0,027 | 355,2 | 6 |
| 0,020 | 357,9 | 5 |
| 0,010 | 361,6 | 4 |
| 0,005 | 363,4 | 3 |
| 0,002 | 364,5 | 2 |
| 0,001 | 364,9 | 2 |
| 0,000 | 365,3 | 1 |

Le débit atteint 90% du temps dans l'année est de 9 m³/s, il constitue le débit minimum de fonctionnement des ouvrages.



2.5.4 Proposition d'une plage de débit pour le fonctionnement des ouvrages

Le débit minimum de fonctionnement des ouvrages est le débit atteint 90 % du temps (9 m³/s), voire 75% du temps (16 m³/s).

Le débit maximum de fonctionnement de la passe peut être défini en fonction des périodes de migration des espèces cibles. En effet, il convient de laisser circuler les espèces pendant cette période. Le choix peut se porter sur le débit moyen mensuel « moyen » ou le débit moyen mensuel « maximum ».

Il est couramment pris comme débit maximum de fonctionnement de la passe la valeur du module (49 m³/s ici), parfois 2 x module (ici 98 m³/s), voire 3 x module pour les petits cours d'eau.

L'objectif est d'avoir le meilleur confort dans la passe, c'est-à-dire avec une puissance dissipée de 150 W/m³ maximum pour les brochets ou de 200 W/m³ maximum pour les truites. Il est alors préférable de ne pas choisir une plage de débit trop grande.

En couplant la période de migration de la truite et la période de frai du brochet, la plage de débit pour le fonctionnement des ouvrages pourrait être « 9 m³/s – 80 m³/s ».

Cette plage de débit sera précisément définie lors du dimensionnement des ouvrages en phase avant-projet.

2.5.5 Hauteurs de chute au barrage

Le tableau suivant indique la hauteur de chute au niveau du seuil de la papeterie pour les débits caractéristiques.

| Tableau 6 : Evolution de la hauteur de chute au barrage de la Grande Ventellerie (conditions actuelles) |
|---|
|---|

| Débit caractéristique | Débit (m³/s) | Cote au barrage (mNGF) | Hauteur de chute au barrage (m) |
|-----------------------|--------------|-----------------------------|------------------------------------|
| QMNA5 | 7 | Amt : 57,73 Aval : 54,48 | 3,25 |
| Module | 49 | Amt : 58,20 Aval : 55,90 | 2,25 |
| Débit d'effacement | 115 | Amt : 58,60 Aval : 57,52 | 1,09 |
| Q2 | 208 | Amt : 59,04 Aval : 58,60 | 0,41 |

Le seuil de la papeterie est fixe et les vannes de la prise d'eau ne sont plus manœuvrées et peut-être non fonctionnelles. Dans ces conditions, le plan d'eau amont n'est pas maintenu.

Rappelons que le niveau légal de la retenue est fixé à 3 cm en contre-bas d'un point situé à 5,20 m du point extrême de l'épaulement rive droite du barrage sur le couronnement aval (cote de 57.80 du NGF).

Le seuil est noyé pour un débit de 115 m³/s, soit environ 2.3 fois le module (cote de la ligne d'eau en aval supérieure à la cote minimum du seuil (57.50 m NGF)).

2.6 Scénario A : maintien de l'ouvrage et aménagement d'un dispositif de franchissement

La solution technique envisageable pour la restauration de la continuité écologique de l'Aisne au droit du seuil de la papeterie avec le maintien de l'ouvrage est la suivante : Mise en place d'une passe à bassin en rive gauche.

Les contraintes techniques nous obligent à écarter les solutions de rampe en enrochement et de passe « rustique » (passe naturelle). En effet, la rampe nécessiterait un linéaire trop important pour rattraper la hauteur de chute significative du barrage et l'emprise disponible en berge est trop faible pour la réalisation d'une passe « rustique ».

2.6.1 Solution 1 : passe à bassins

2.6.1.1 Principe de réalisation

(source Guide passes à poissons - guide VNF)

Le principe de la passe à bassins successifs est de diviser le dénivelé total du seuil en une série de chutes afin de former un « escalier hydraulique » compatible avec la capacité de nage du poisson. Les chutes sont contrôlées par des cloisons qui séparent des bassins. Ces derniers ont pour fonction de dissiper l'énergie de la chute et d'assurer une zone de repos au poisson.

Le passage de l'eau d'un bassin à l'autre peut s'effectuer soit :

- Par déversement sur toute la cloison,
- Par écoulement à travers un ou plusieurs orifices noyés,
- Par écoulement par une ou plusieurs échancrures ou fentes.

Sur certains ouvrages, plusieurs modes de communication peuvent être associés (échancrure et orifice ou déversoir et fente).

Les principaux paramètres d'une passe sont le dimensionnement des bassins et les caractéristiques géométriques des cloisons. Ce sont en effet les volumes et la forme des bassins, les altitudes et les largeurs des déversoirs, fentes, les dimensions des orifices, qui, en fonction des cotes d'eau à l'amont et à l'aval de l'ouvrage, déterminent le débit, la chute entre bassins ainsi que la configuration des écoulements dans l'ouvrage.

Le passage des poissons sera d'autant plus facile que la chute entre bassins sera faible. Toutefois, celle-ci ne peut être réduite de façon trop importante sous peine d'un trop grand nombre de bassins. Il convient donc d'adapter les chutes entre bassins aux capacités de nage ou de saut des espèces considérées. Les hauteurs de chutes entre bassins vont de 15 à 20 cm pour des ouvrages spécifiquement conçus pour les petites espèces à faibles capacités de nage à une trentaine de cm pour les salmonidés. Suivant les caractéristiques géométriques de la section de communication entre deux bassins, l'écoulement peut se faire soit

- à « jet plongeant » (fonctionnement hydraulique dénoyé)
- à « jet de surface » (fonctionnement hydraulique noyé).

Dans les ouvrages à jet plongeant, le poisson doit sauter dans la lame d'eau pour passer d'un bassin à l'autre. Ces passes sont plus particulièrement réservées aux poissons présentant de bonnes capacités de saut tels que les salmonidés. Elles sont à proscrire pour la plupart des autres espèces, en particulier l'alose. Dans les ouvrages à jet de surface, le poisson peut passer d'un bassin à l'autre en nageant dans la veine d'eau sans obligation de saut.

2.6.1.2 Emplacement proposé

Le dispositif de franchissement doit satisfaire un certain nombre de critères de base. Il doit notamment permettre le passage de tous les individus des espèces concernées, et non pas seulement les plus athlétiques ou les plus robustes. Ce dispositif doit être suffisamment attractif pour que le poisson puisse en trouver rapidement et naturellement l'entrée.

La notion d'attractivité est liée à la configuration du barrage ainsi qu'aux conditions hydrodynamiques (débits, vitesses, lignes de courant) au voisinage de son entrée.

L'entrée de la passe à poissons ne représente généralement qu'une largeur réduite comparée à celle de l'obstacle et est alimentée par un débit ne constituant qu'une faible fraction de l'écoulement total du cours d'eau. Ce débit, communément dit débit d'attrait ou courant de sortie de la passe, ne correspond ni au débit de fonctionnement de la passe (fonction des espèces et de leurs capacités à franchir l'obstacle) ni au débit réservé au milieu naturel. La définition de la valeur de débit d'attrait est liée à l'implantation de l'ouvrage.

En effet, l'ouvrage doit être implanté dans le secteur où le poisson va rechercher spontanément un passage pour franchir l'obstacle. Pour que le poisson trouve l'entrée, le courant de sortie de la passe doit être suffisamment attractif et ne doit pas être masqué par des écoulements connexes tels que les zones de recirculation, les écoulements issus des turbines ou les écoulements de surverse ou souverse des vannes du barrage.

Sur notre secteur d'étude, le choix de la rive est conditionné par les contraintes du site (bâtiment de la papeterie située en rive droite) ainsi que les conditions hydrodynamiques en aval de l'ouvrage. Une répartition irrégulière des débits est à proscrire car génératrice de zones de recirculation ou zones d'eau morte susceptibles de piéger le poisson (plat lentique en rive droite à l'aval de l'ouvrage).

Au vu de ces contraintes, la rive gauche sera privilégiée.

L'entrée de la passe (pour la montaison) pourrait être située au plus proche de l'aval du barrage, en donnant une courbure à la passe à bassins.

2.6.1.3 Détermination des caractéristiques générales de l'ouvrage

Méthode de calcul des bassins

Les dimensions du bassin sont déterminées en fonction des conditions hydrodynamiques attendues. En effet, la difficulté de passage des poissons d'un bassin à l'autre augmente avec le niveau d'agitation de l'eau dans les bassins, caractérisés par la turbulence et l'aération. L'indicateur utilisé pour quantifier ce niveau d'agitation de l'eau est la **puissance dissipée volumique**.

 $Pv = \rho g Q DH / V$

Avec Pv : Puissance dissipée volumique (watts/m³)

ρ: masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

g: accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

Q : débit dans l'ouvrage (m³/s)
DH : chute entre bassins (m)

V: volume dans le bassin (m³)

Pour les passes à salmonidés, la valeur de 200 watts/m³ constitue une limite haute tandis que pour les espèces aux capacités de nage plus réduites, **150 watts/m³ est une valeur communément retenue**. La forme des bassins est liée au mode de communication entre les bassins et au tracé général de l'ouvrage. Il convient d'éviter en effet d'une part les phénomènes de court-circuit (passage direct d'un jet d'un bassin à l'autre sans dissipation suffisante d'énergie) et, d'autre part, un jet heurtant trop violemment les parois et pouvant alors perturber le comportement du poisson.

Passe à fentes verticales

La communication entre les bassins se fait au moyen d'une ou deux fentes verticales positionnées latéralement. La disposition particulière des fentes a pour objet d'orienter les jets en diagonale vers l'intérieur des bassins.

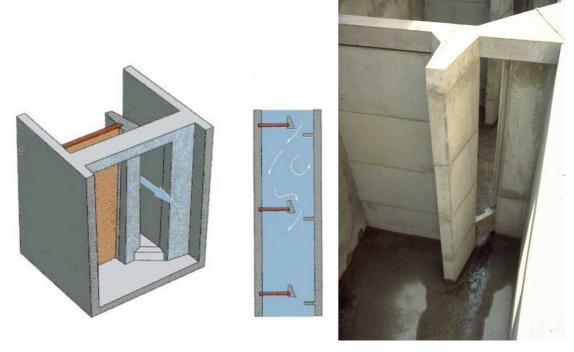


Figure 2 : Passe à bassin à une fente verticale



Figure 3 : Passe à bassin à deux fentes verticales (guide technique passe à poisson VNF)

La faible largeur des fentes et le fonctionnement fortement noyé en font un ouvrage capable de supporter des variations importantes du niveau d'eau amont, pour autant que les variations du niveau d'eau aval restent comparables.

Les conditions de vitesse et de turbulence restent alors très stables quels que soient les niveaux d'eau dans la passe. La largeur des fentes (b) est déterminée en fonction de la taille des plus gros sujets dont le passage est souhaité mais aussi de leur éventuel comportement de groupe. Cette largeur varie de 0,2 à 0,6 m.

Comme pour les passes à échancrures latérales, les dimensions des bassins sont liées à la largeur de la ou des fentes (b). Pour un ouvrage à une fente, le ratio longueur du bassin/largeur de fente (L/b) est de l'ordre de 8 à 10. Le ratio largeur du bassin/largeur de fente (B/b) est de l'ordre de 6 à 8.

Pour un ouvrage à deux fentes, la largeur des bassins devient généralement plus importante que leur longueur. La profondeur d'eau moyenne est comprise entre 1,5 et 2 m en fonctionnement nominal.

Le débit de fonctionnement de ce type d'ouvrage est généralement compris entre **0.8 et 2 m³/s** pour une hauteur de chute entre bassins se situant le plus souvent entre 0.2 à 0.3 m.

Les passes à fentes verticales sont considérées comme des ouvrages toutes espèces. Le poisson peut, en effet, franchir la passe en nageant à la profondeur choisie, permettant ainsi le passage aussi bien d'espèces pélagiques (pleines eaux) comme l'alose que d'espèces benthiques (de fond) comme la loche ou le chabot.

Ce concept présente une très bonne capacité d'insertion du fait de sa modularité.

2.6.1.4 Nature des travaux

Cette solution d'aménagement prévoit le maintien de l'ouvrage existant et la réalisation d'une passe à poissons en génie civil, contiguë à l'ouvrage côté rive gauche.

Le dispositif de franchissement doit assurer, à la fois, la montaison et la dévalaison des espèces cibles (brochet et truite).

Pour mémoire, la cote du plan d'eau amont devrait être maintenue aux environs de 57,80 mNGF (à 10 cm près) qui est le niveau légal de la retenue.

Cette solution implique donc <u>une remise en état de l'ouvrage</u> pour assurer le maintien du plan d'eau en conditions normales.

La hauteur de chute est de 3,30 m à l'étiage.

Le dispositif de franchissement proposé pourrait présenter les caractéristiques suivantes :

- Type : passe à bassins successifs en béton ;
- Implantation : en pied de la berge gauche (avec une fosse d'appel située au droit de la fosse de dissipation d'énergie existante) ;
- Débit de fonctionnement : 1 m³/s le niveau d'eau est supposé maintenu en conditions normales, dans ce cas le débit franchissant la passe sera constant sur la plage de fonctionnement ;
- Alimentation en eau de la passe : la passe est alimentée par un orifice dimensionné pour la plage de fonctionnement donnée précédemment.
- Passe à bassin à deux fentes verticales avec une largeur de fente de 30 cm.
- Nombre de bassins du dispositif: environ 16 bassins, induisant 17 chutes avec une hauteur de chute entre les bassins comprise entre 0,15 et 0,20 m.
- les caractéristiques géométriques des bassins sont les suivantes :
 - ✓ Ancrage du bassin n°1 (amont);
 - ✓ Profondeur d'eau moyenne : 1,5 à 2,0 m en fonctionnement nominal ;
 - ✓ Hauteur de chute maximale : 0,20 m;
 - ✓ Puissance dissipée dans les bassins : ≤150 (W/m³) (valeur de référence pour les espèces d'eau calme).
 - ✓ Volume d'un bassin : 14 m³
 - ✓ Longueur / largeur bassin : par exemple L = 3,45 m et B = 4 m
 - ✓ Longueur de la passe dans cet exemple 56 m.

La puissance choisie pour pré-dimensionner la passe à bassin entrainera une sélection des espèces piscicoles car une puissance trop forte garantie une attractivité pour les espèces athlétiques (migrateur, salmonidé) et une barrière pour les petits poissons. A l'inverse, une faible puissance favorisera les espèces d'eau calmes mais entraînera des risques de prédation et une absence de débit d'attrait pour les espèces compétitives.

Dans le cas présent, les valeurs préconisées sont adaptées pour l'espèce cible la plus contraignante : le brochet.

Le croquis ci-après permet de visualiser l'emplacement possible de la passe à bassins.



La construction du dispositif de franchissement devra s'accompagner des interventions complémentaires suivantes :

les travaux préparatoires:

Ils nécessiteront l'évacuation et ou le remaniement des protections de berges existantes (démontage d'une partie du rideau de palplanche, enlèvement des enrochements avec possible réutilisation) ; une dérivation temporaire des eaux pendant les travaux ; et des travaux forestiers.

Déterminer une solution viable concernant l'accès des véhicules de chantier (difficultés d'accès liées à l'emplacement des bassins de décantation de la papeterie).

Comme les travaux seront réalisés sur un site industriel, une étude de sol sera préconisée pour déterminer si les déblais peuvent être réutilisés ou s'ils devront être acheminés en site de traitement.

Avant la définition précise des travaux, un diagnostic géotechnique sera nécessaire pour déterminer si les solutions proposées n'entrainent pas de déstabilisation des ouvrages existants.

• <u>le confortement de la berge gauche dans le prolongement de l'ouvrage de franchissement:</u>

Préalablement décaissé dans le cadre des travaux de construction de la passe à poisson (réalisation d'un accès au lit mineur), ce talus riverain sera stabilisé par la mise en œuvre de techniques mixtes associant un empierrement de pied de berge et un haut de talus végétalisé (lits de plants et plançons).

Mise en place d'une passe à canoë

L'implantation d'une glissière béton sera réalisée en rive gauche, avec une entrée située en amont de la passe à bassins. Elle pourrait présenter les dimensions suivantes :

- o Glissière béton (crête du seuil : 57,20 m NGF) ;
- Pente longitudinale : en moyenne 5 à 7 % (pente plus forte en amont qu'en aval à réaliser pour le confort de la passe);
- o Longueur de la rampe (y compris ancrage dans le fond du lit) : environ 70 ml;
- o Largeur totale: 3,00 m
- o Largeur utile: 1,80 2,10 m aval;
- Profil transversal : circulaire avec un rayon de 1,0 m;
- Chute résiduelle à l'aval : 0,2 m ;

Cet ouvrage ne permet pas la circulation des espèces piscicoles.

Par contre, il participera à l'attrait de la passe à bassins puisque son débouché en aval du seuil se fera à proximité de la passe.





Figure 4 : Exemple de passe à canoë

2.6.1.5 Contraintes

Contraintes biologiques: Pour les espèces holobiotiques (en particulier les cyprinidés), il faut surtout privilégier les conditions hydrauliques les plus confortables dans la passe (vitesse, hauteur d'eau, zone de repos,...) plutôt que l'attractivité. « Il suffit le plus souvent de rétablir une communication entre les biefs amont et aval » (Larinier, 1993).

Contraintes physiques : Ce dispositif demande un entretien régulier et reste très sensible vis-àvis des embâcles nécessitant la mise en place de protections amont.

> Les berges ont fait l'objet d'important aménagement de protection en génie civil (enrochement, perré maçonné, rideau de palplanche) sur ce secteur. L'implantation de la passe entrainera un démontage de ces aménagements et une reprise des berges.







Figures 5 et 6 : Localisation des aménagements de berge au moyen de techniques lourdes en rive gauche.

<u>Contraintes d'espace et d'accès</u>: L'emprise sur la berge est limitée d'un côté par l'Aisne et de l'autre par une digue (hauteur comprise entre 1,80 m et 2,40 m). En effet, l'emprise foncière en rive gauche est occupée par les bassins de décantations de la papeterie. Une passerelle piétonne traverse l'Aisne mais pour des raisons de sécurité, n'est plus utilisée.

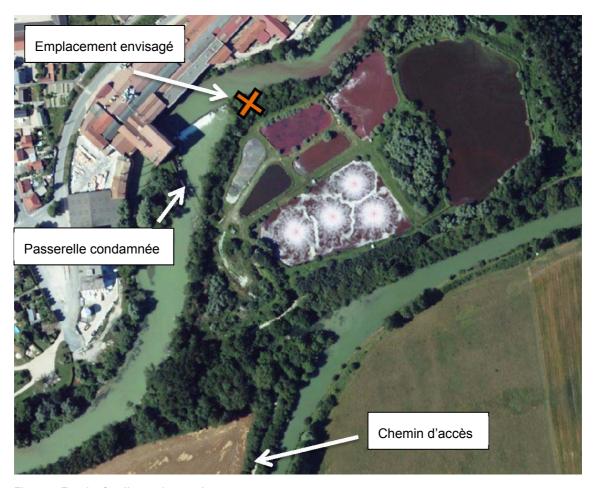


Figure 7 : Emprise foncière en rive gauche

2.6.1.6 Estimation du coût des travaux

Seuil d'Everbal - Solution PASSE A POISSON Estimation des coûts - Niveau faisabilité

| N° | Designation des ouvrages | Montant | | |
|----|---|-------------|--|--|
| | | | | |
| 1 | PRIX GENERAUX (installation/repliement de chantier, piquetage, DOE, etc.) | 45 000,00€ | | |
| | | | | |
| 2 | TRAVAUX PREPARATOIRES (travaux forestiers, démolition, etc.) | 70 000,00€ | | |
| 3 | CONFECTION D'UNE PASSE A POISSONS A 16 BASSINS SUCCESSIFS AVEC | 480 000,00€ | | |
| | CONFORTEMENT DES BERGES | | | |
| | | | | |
| 3 | CONFECTION D'UNE PASSE A CANOË KAYAK | 30 000,00€ | | |
| 4 | ALEAS 15% | 93 750,00€ | | |
| | | 00100,000 | | |
| | | | | |
| | Total H.T Seuil d'Everbal - Solution PASSE A POISSON | 718 750,00€ | | |
| | TVA 19,6 % | 140 875,00€ | | |
| | Total T.T.C Seuil d'Everbal - Solution PASSE A POISSON | 859 625,00€ | | |
| | | | | |

2.7 Scénario C-1 : dérasement de l'ouvrage

Comme indiqué précédemment, il n'existe plus à ce jour d'usages liés au niveau d'eau amont maintenu par l'ouvrage (uniquement prise d'eau de secours dont la profondeur du captage devra être définie). Il est alors proposé d'étudier le dérasement de l'ouvrage pour restaurer la continuité écologique de l'Aisne au droit du seuil de la papeterie.

La solution technique envisageable pour le dérasement de l'ouvrage est l'effacement total de l'ouvrage avec reprise des berges en amont et aval de l'ouvrage. Une restauration hydromorphologique du tronçon de cours d'eau associé est également envisageable.

2.7.1 Solution 2 : dérasement du seuil

2.7.1.1 Principe de réalisation

Le dérasement (ou effacement) d'un ouvrage consiste au démantèlement complet de l'édifice (y compris ses fondations) jusqu'à ce que ce dernier soit « transparent » vis-à-vis de la continuité écologique.

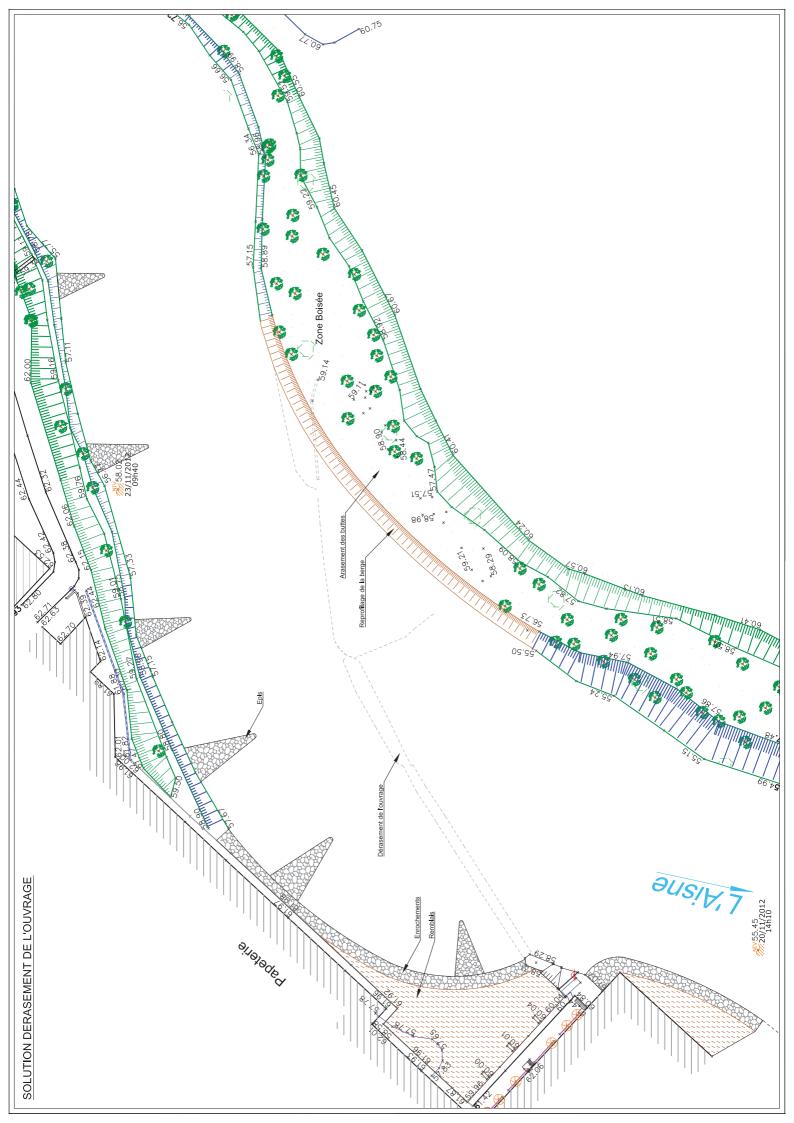
En théorie, le dérasement (effacement) d'un ouvrage, doit permettre de résorber la plupart des impacts hydromorphologiques et écologiques négatifs :

- Restauration d'un écoulement naturel,
- Restauration des milieux naturels ripariaux et de leur périodicité de rajeunissement,
- Réduction des effets de réchauffement liés à la présence de retenue,
- Réduction de l'envasement et amélioration du transit des sédiments grossiers.

2.7.1.2 Nature des travaux

Les aménagements relatifs à la solution « dérasement du seuil » comprennent :

- les travaux préparatoires : travaux forestiers ; enlèvement et évacuation de gravats présents dans le lit et en berges ; décapage des matériaux graveleux du fond du lit en aval du seuil existant ; dérivation temporaire des eaux pendant les travaux (travail par moitié de lit).
- le démontage complet et l'évacuation en un lieu de décharge approprié du seuil, y compris ses fondations et ses protections latérales (base des fondations inconnues) y compris une partie des palplanches situées en rive gauche;
- le comblement des vannes d'alimentation de l'ancienne usine hydroélectrique ;
- le remodelage du lit mineur sur un linéaire d'environ 1 kilomètre à l'amont du seuil existant :
 - redistribution (terrassement en déblai / remblai) des matériaux graveleux présents du fond du lit vif jusqu'à l'adoption d'un profil longitudinal proche de la pente d'équilibre (0.037 %);
 - o comblement de la fosse de dissipation d'énergie existante ;
- la restauration des berges au moyen de techniques issues du génie écologique, sans blocage du pied de talus par un ouvrage de protection en rive gauche
- la mise en place d'enrochements en pied de berge en rive droite ;
- la mise en place d'épis déflecteurs en blocs en rive droite de l'Aisne.



2.7.1.3 Incidences probables du dérasement

Le dérasement du seuil est susceptible d'induire une modification de la physionomie du cours d'eau et d'avoir des incidences potentielles sur les paramètres hydromorphologiques et biologiques du milieu aquatique ainsi que sur les usages riverains.

Plusieurs « types » d'incidences du dérasement de l'ouvrage ont été définis sur la base :

- du guide méthodologique « Arasement et dérasement de seuils Aide à la définition de Cahier des Charges pour les études de faisabilité - Compartiments hydromorphologie et hydroécologie, Pôle hydroécologie des cours d'eau Onema - Cemagref Lyon - Février 2011 »,
- des adaptations au contexte local (analyse spécifique des impacts potentiels au cas par cas).

L'analyse des incidences du dérasement du seuil est présentée sous la forme d'un tableau de synthèse permettant une approche qualitative (ou semi quantitative) structurée. Elle propose une double réflexion portant sur :

- <u>La qualification de l'impact potentiel</u> (faible, moyen ou fort) : nature, probabilité de survenue, intensité, extension des processus d'évolution consécutifs de l'effacement (modification de l'équilibre actuel de l'hydrosystème), etc.;
- <u>La qualification des enjeux</u> (faible, moyen ou fort) associés au tronçon de rivière concerné par la modification de l'équilibre de l'hydrosystème : enjeux susceptibles d'être affectés ou remis en cause par le processus d'évolution étudié.

Le croisement de l'évaluation des impacts et des enjeux permet d'aboutir à un bilan qualitatif (sous la forme d'une « note ») permettant de faire émerger les problématiques structurantes sur le tronçon de rivière considéré et définir les éventuelles mesures d'accompagnement nécessaires.

Le tableau d'analyse des incidences potentielles du dérasement du seuil est présenté à la page suivante :

Tableau 7 : tableau d'analyse des incidences potentielles du dérasement du seuil

Evaluation de la solution technique "dérasement du seuil d'Evergnicourt"

| Thématiques étudiées | | Evaluation des impacts et amplitude prévisible des phénomènes (note sur 3 et explication) | | Evaluation des enjeux (note sur 3 et explication) | | Evaluation des mesures d'accompagnement éventuellement nécessaires | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|--|--|-----------------|
| | | Qualification : 1= impact nul ou faible, 2= impact moyen, 3= impact fort | Explication | Qualification : 1= enjeu faible, 2= enjeu moyen, 3= enjeu fort | Explication | Bilan impacts / enjeux | Nature des mesures d'accompagnement | Impact résiduel |
| 1 | Développement d'un processus d'érosion régressive | 2 | Développement d'un processus d'érosion régressive "moyen" sur un linéaire d'environ 260 m en amont et 210 m en aval | 2 | Absence d'enjeux dans le lit du cours d'eau associés à la stabilité du fond du lit sur le tronçon concerné (pont par exemple) mais présence des bâtiments de la papeterie en berge rive droite | 4 | Mise en œuvre d'une opération de restauration hydromorphologique du lit mineur (limitation du processus d'érosion régressive) avec suivi hydromorphologique Niveau d'ambition R3 - protection des pieds de talus rive droite | |
| 2 | Développement d'érosion latérale (en amont) - déstabilisation des berges | 2 | Activation des processus d'érosion latérale dans la zone de remous (liée à l'augmentation de la pente longitudinale et à la baisse du niveau d'eau) | 3 | Présence de bâtiments, digues et confortements de berges | 6 | Intégration d'une restauration de berges au moyen de techniques de génie écologique en rive gauche et protection de berge minérale avec épis déflecteurs en rive droite - Suivi hydromorphologique du tronçon désigné | |
| 3 | Rétablissement des apports solides vers l'aval (effet de sur- alluvionnement) | 1 | Apport de matériaux vers l'aval (matériaux stockés en amont) | 1 | Résorption des dysfonctionnements en aval de l'ouvrage (faible ressenti) | 1 | 1 | |
| 4 | Abaissement de la nappe d'accompagnement | 1 | Abaissement de la nappe d'accompagnement | 1 | Pas de pompage dans la nappe d'accompagnement | 1 | 1 | |
| 5 | Modification des équilibres biologiques en amont (zone humide) | 2 | Zones humides potentiellement intéressantes (présence d'annexes hydrauliques) - Ripisylve à base d'essence forestières | 2 | Risque de disparition des frayères et d'un assèchement des milieux humides | 4 | Aménagement des annexes hydrauliques et valorisation des secteurs de fraie par la diminution des hauteurs de berges | |
| 6 | Déconnexion des formations végétales (chute d'arbres / érosion - ripisylve perchée) | 1 | Dépérissement de certains sujets en pied de berges (aufnes) et risque éventuel de formation d'embâcles (inondabilité) - Ripisylve à base d'essences forestières peu in féodé à l'eau (perché lié à l'endiguement) | 1 | Pas d'enjeux significatifs sur le tronçon étudié | 1 | Mise en œuvre de travaux de gestion de la végétation riveraine (dans le cadre d'un projet de restauration hydromorphologique) | |
| 7 | Qualité des habitats aquatiques en amont (abris, refuge pour les poissons) | 1 | Risque de disparition d'habitats (sous berges, mouille) favorables à la vie piscicole dans une proportion assez limitée (lit au gabarit surcalibre habitabilité actuelle moujbrne) - Création d'un lit vif rétréci | 2 | Enjeu lié à la reproduction des espèces cibles (brochet) - décret frayère & ZNIEFF | 2 | Mise en œuvre d'une opération de restauration hydromorphologique du lit mineur - Niveau d'ambition R3 | |
| 8 | Qualité de l'eau | 2 | Amélioration de la qualité de l'eau (suppression du "plan d'eau" en situation actuelle) - Engraissement du matelas alluvial en aval (amélioration de la capacité d'autoépuration) | 1 | Présence de rejets sur le secteur amont | 2 | Mise en œuvre d'une opération de suivi physico-chimique de la qualité de l'eau | |
| 9 | Inondabilité | 2 | Abaissement des lignes d'eau en étiage, en conditions normales et jusqu'à la crue décennale | 1 | Secteur d'étude en zone agricole (sans enjeux) - baisse de la ligne d'eau sur les quelques secteurs habités en amont hors crue | 2 | / | |
| 10 | Valeur paysagère et patrimoniale | 1 | Seuil dégradé (état médiocre) qui s'inscrit dans un environnement boisé (ouvrage peu perceptible) | 1 | Enjeu patrimonial très faible - Pas de sensibilité paysagère particulière | 1 | / | |
| 11 | Usages liés à l'eau (pêche, rejet, prise d'eau) | 2 | Incidences temporaires sur l'activité halieutique (modif. des conditions hydromorphologiques) mais positives à long termes - rétablissement d'un parcours de canoë kayak | 2 | Enjeu halieutique et touristique relativement fort | 4 | Réalisation d'une passe à canoë - Mise en œuvre d'une opération de suivi biologique | |
| 12 | Ouvrages et infrastructures (ponts, habitations riveraines) : risques de déformations géotechniques, fondations | 3 | Pas d'ouvrages et infrastructures dans le lit du cours d'eau en amont du seuil concerné - Risque de déstabilisation des infrastructures en berge en amont du seuil | 3 | Enjeux sociaux et économiques fort : entreprise en activité (rive droite) / bassins de décantation en rive gauche | 9 | Diagnostic géotechnique G5 | |

Les principales incidences du dérasement du seuil tiennent :

A la reprise du phénomène d'érosion latérale en amont, le long des berges de l'ancien plan d'eau ainsi que dans l'emprise de l'érosion régressive du remous solide

L'abaissement du plan d'eau risque de se traduire par la reprise des processus d'érosion latérale le long des berges situées dans l'emprise de l'ancienne retenue, du fait notamment de la réapparition des circulations d'eau entre la nappe et la rivière en période de crue (décharge rapide de la nappe à la décrue), mécanisme naturel qui fragilise les berges et favorise leur érosion. Cette réactivation des processus érosifs latéraux peut aussi se faire sentir sur l'ensemble de la zone d'érosion régressive dans le remous solide lié à l'ouvrage.

A un affaissement de la nappe d'accompagnement

Si le seuil joue un rôle d'augmentation du niveau de la nappe et de sa stabilité, il est très probable que son dérasement se traduise par un retour à un niveau de nappe naturel (c'est à dire plus bas). Ce retour peut être pénalisant si certains usages, comme des puits de captage par exemple, se sont greffés sur un niveau de nappe haute. Il n'existe pas de captage dans la nappe superficielle. Par contre, le niveau de la prise d'eau de secours de la papeterie devra être vérifié.

De même pour des fondations de bâtiments ou des remblais qui se sont stabilisés en tenant compte des forces exercées par la nappe, un abaissement de celles-ci peut conduire à des déstabilisations des fondations (installation possible de piézomètres et suivi)

Au développement (reprise) d'un processus d'érosion régressive en amont de l'édifice (estimé sur un linéaire d'environ 260 mètres), et en aval sur environ 210 mètres (sur la base de l'adoption d'une pente d'équilibre d'environ 0.037 %).

Cette incision du lit interviendra selon une amplitude plus ou moins marquée sur le tronçon de cours d'eau désigné. Il est possible d'appréhender cette incidence avec un découpage en sous-tronçon (cf. profil en long joint au présent rapport - annexes) :

- Sous-tronçon n°1 – 133 m:

Ce tronçon sera très probablement très peu impacté par l'opération de dérasement dans la mesure où le lit actuel est plus ou moins en équilibre avec le futur profil longitudinal de la rivière (réajustements morphologiques mineurs).

- Sous-tronçon n°2 – 65 m

Ce tronçon sera probablement concerné par une incision du lit d'environ 50 cm.

Il présente actuellement une morphologie du lit mineur très banalisée, avec un tracé rectiligne, une rive droite endiguée (levée en terre), un lit vif très peu diversifié et un faciès uniforme de type « plat lentique ».

Sous-tronçon n°3 – 63 m

Il s'agit de l'extrémité amont de l'ouvrage qui sera très fortement impactée par le dérasement, avec un enfoncement du lit prononcé. De l'amont vers l'aval, on estime une incision de 1,70 m de moyenne sur les 15,0 premiers mètres puis elle se stabilisera à 2,50 m sur 50,0 m.

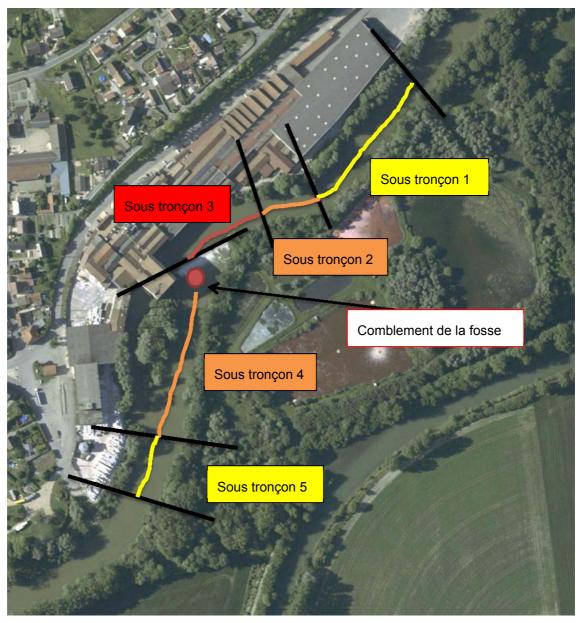


Figure 8 : Cartographie illustrant l'intensité des processus d'ajustement hydromorphologique (érosion régressive) consécutifs au dérasement du seuil.

Fosse de dissipation

Avec l'effacement de l'ouvrage, la fosse se comblera naturellement par les sédiments stockés en amont du seuil

- Sous-tronçon n°4 – 138 m

Ce tronçon devrait connaître une évolution morphologique assez sensible mais bien inférieure à celle susceptible d'intervenir sur les tronçons situés en amont. L'incision du lit prévisible serait comprise entre 30 et 70 cm

- Sous tronçon n°5 – 65 m

Ce tronçon devrait connaître une évolution morphologique identique au sous tronçon n°1 (réajustements morphologiques mineurs).

En conclusion, on retiendra que le dérasement du seuil devrait se traduire par des incidences hydromorphologiques (incision du lit) marquées sur un linéaire d'environ 470 mètres (et particulièrement prégnantes en amont de l'ouvrage).

Ce processus d'incision se manifestera sans doute par une augmentation de l'encaissement du lit mineur (d'autant plus que le lit est localement endigué), une baisse de la fréquence de débordement pour les faibles crues (accroissement de la capacité hydraulique du lit – cf. paragraphe suivant), un accroissement de l'érosion latérale et une diminution de diversité physique du lit mineur (perte de surfaces d'échange entre les habitats aquatiques et terrestres).

A la modification du contexte hydraulique local

Le dérasement du seuil se traduira, du point de vue hydraulique, par un abaissement des lignes d'eau, en étiage, en conditions normales et jusqu'à une crue décennale. Au-delà, le seuil étant complètement noyé en état actuel, son dérasement n'a pas d'incidence sur les lignes d'eau.

Par rapport à l'état actuel (avec une petite partie de l'écoulement passant par les vannes) :

- Pour la crue quinquennale, l'abaissement de la ligne d'eau est de 18 cm (en amont du seuil) puis est de 5 cm à 1 km en amont du seuil;
- Pour la crue biennale, l'abaissement de la ligne d'eau est de 25 cm (en amont du seuil) et est de 5 cm à 3 km en amont du seuil;
- Pour le module, l'abaissement maximal atteint 2,20 m en amont immédiat du seuil. Il est de 1,90 m à environ 800 m en amont de l'ouvrage et de 1 m à environ 2 km en amont du seuil.
- A l'étiage, l'abaissement maximal atteint près de 3,2 m, en amont immédiat du seuil. L'abaissement intervient sur un linéaire d'une dizaine de kilomètres. Il est de 1 mètre à 5,5 km en amont du seuil.

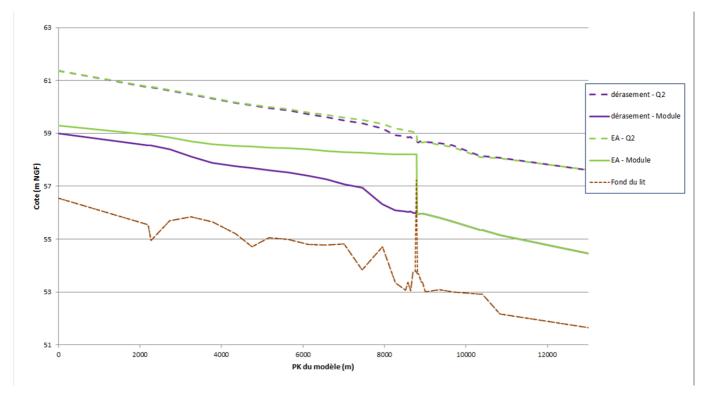


Figure 9 : Impact sur les lignes d'eau du dérasement du seuil pour le module et la crue biennale

Au final, afin de disposer de tous les éléments pour effectuer un choix éclairé vis-à-vis du dérasement de l'ouvrage, une analyse des « gains environnementaux » liés au dérasement est présentée ci-après :

| | | | Seuil de l'usine d'Everbal |
|---|-----------------------------------|--|--|
| | Gains environnementaux | Gain: 1=fort, 2=moyen, 3=faible | Intérêt du dérasement |
| 1 | Continuité piscicole (TRF,BRO) | 1 | Intérêt très fort - continuité assurée pour toutes les espèces |
| 2 | Transit sédimentaire | 2 | Intérêt moyen (déficit sédimentaire en aval du seuil) |
| 3 | Hydromorphologie amont | 1 | Intérêt fort (lit actuel banalisé) mais nécessité de conduire une opération de restauration hydromorphologique (linéaire à restaurer : 4,5 km) |
| 4 | Hydromorphologie aval | 2 | Intrêt moyen à fort (intervention passive de par la modification du profil longitudinal et l'engraissement du fond du lit) |
| | | | |
| | Conclusion | | Dérasement techniquement réalisable et "gains" environnementaux élevés si "maitrise" de la stabilité des infrastrutures |

2.7.1.4 Contraintes

Le développement du processus d'érosion régressive en amont de l'ouvrage doit porter une attention particulière notamment aux enjeux liés à l'ouvrage. L'incision du lit, le développement d'érosion latérale et l'abaissement de la nappe peuvent entrainer une déstabilisation des ouvrages existants.

Sur 650 m, la rive droite (amont du seuil) est endiguée avec la présence d'un talus en remblai qui supporte sur une bonne partie les infrastructures de l'entreprise Everbal. La berge présente une pente raide avec une faible couverture végétale, de possibles enrochements en pied de berge. Au droit du seuil, la berge disparait pour laisser place aux murs de soutènement des bâtiments. Au dire du propriétaire, il n'existe pas de plan concernant les fondations du bâti.

De plus, en rive opposée, de lourds aménagements en génie civil ont été réalisés pour l'aménagement de bassins de décantation qui récupèrent les rejets industriels de la papeterie à savoir :

- Rehaussement du terrain naturel au niveau de l'emprise des bassins avec la création d'une digue pour éviter toute submersion potentielle suite à une crue de l'Aisne;
- Enrochement des berges en amont et aval du seuil pour pallier au phénomène d'érosion latérale;
- Mise en place d'un rideau de palplanche avec couronnement béton en pied de berge (amont direct du seuil) pour diminuer les forces de traction infligées à la berge en période de crue.

Lors de la reconstruction de l'usine après-guerre (1920), le terrain a été remanié de fond en comble, seul le bâtiment des turbines est reconstruit sur les fondations de l'ancien. Il est nécessaire d'avoir des données sur les fondations.

Pour les bâtiments, les risques possibles sont :

- Risque de déformations géotechniques des bâtiments suite au processus de retrait / gonflement du sol;
- Risque de déstabilisation des fondations des bâtiments ou des remblais qui se sont stabilisés en tenant compte des forces exercées par la nappe haute liée au plan d'eau.

L'abaissement de la nappe d'accompagnement suite au dérasement de l'ouvrage peut entraîner une dessiccation du sol. Ce phénomène peut provoquer des processus de retrait / gonflement du sol sous l'assise des bâtiments, qui peuvent alors subir un certain nombre de désordres.

Pour l'évaluation de ce risque, les cartes de retrait-gonflement des argiles peuvent être consultées sur le site suivant http://www.argiles.fr.

Le secteur d'étude se situe dans une zone d'aléa faible. Le risque de désordres sous l'assise des bâtiments est faible.

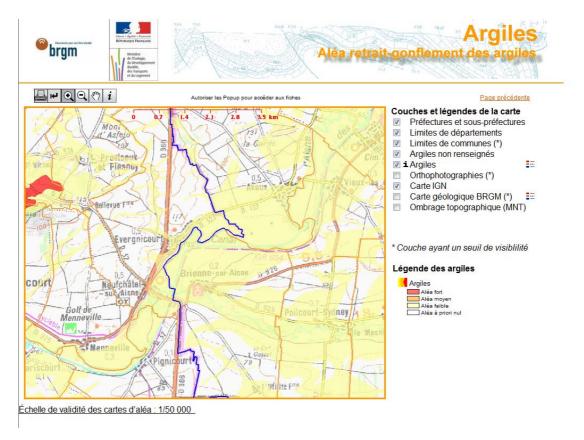


Figure 10 : carte de risque de retrait/gonflement des argiles (BRGM)

Par contre, il semble que les bâtiments aient été construits avec des fondations superficielles. Le dérasement du seuil peut alors entraîner des risques de déstabilisation des fondations suite à l'abaissement de la nappe d'accompagnement.

Compte-tenu des enjeux socio-économiques liés à la papeterie, un diagnostic géotechnique de type G5 (avec avis d'expert) est préconisé afin de savoir si la perspective de déraser l'ouvrage est envisageable.

2.7.1.5 Mesures d'accompagnement nécessaires

L'opération de dérasement du seuil devra être accompagnée des interventions suivantes :

• Restauration hydromorphologique du lit en amont du seuil de la papeterie :

Cette intervention s'inscrit dans le souci de « casser » la morphologie banalisée et encaissée du lit mineur en amont du seuil, sur un linéaire d'environ 4 500 mètres.

Cette opération aura recours à des interventions simples, volontaristes, mais « directes », c'est-à-dire favorisant notamment les travaux de terrassement et de « recalibrage » (diversification hydromorphologique). Le niveau d'ambition envisageable est le niveau R3 « restauration fonctionnelle globale », y compris de la dynamique d'érosion et du corridor fluvial (amélioration de plusieurs compartiments de l'hydrosystème - création d'un espace de mobilité ou de fonctionnalité).

<u>Ces prescriptions techniques devront tenir compte des modalités du Plan de Prévention</u> des Risques d'Inondation.

Les travaux comprendront :

- le défrichement des abords du lit colonisés essentiellement par des essences à bois dur;
- le terrassement en déblai avec évacuation des excédents de terrassements : les abords immédiats de l'Aisne seront remis en forme de manière à obtenir :
 - un lit mineur au tracé peu sinueux ;
 - un lit vif (d'étiage) au gabarit resserré ;
 - un lit moyen présentant une capacité d'évacuation comprise entre Q2 et Q5 (débit de pleins bords) ;
 - des talus riverains de pente douce et variées afin d'augmenter les surfaces de contact entre les milieux aquatiques et terrestres (création de « risbermes à fleur d'eau » / atterrissements graveleux – pente des talus comprise entre 3H/1V et 3H/2V).
 - la végétalisation des abords du lit au moyen de seuls ensemencements, plantations (en massifs disséminés) de boutures de saules et d'arbustes à racines nues d'essences indigènes adaptées.
- la mise en place d'ouvrages végétaux de diversification des écoulements ou de déflecteurs (en rive gauche) sur le tronçon rectifié de l'Aisne entre Avaux et Evergnicourt;

Reconnexion des annexes hydrauliques :

Ces aménagements permettront :

- L'amélioration des connexions latérales et le fonctionnement de milieux déconnectés;
- o Favoriser l'auto-curage des bras secondaires ;
- Diversifier les écoulements et les habitats des annexes hydrauliques : profondeur, substrat, temps de submersion ;
- Améliorer et diversifier la biocénose et les habitats du corridor fluvial : connexions des zones de frayères, augmentation des zones de refuges.

• <u>Mise en œuvre de travaux de gestion sélectifs et pondérés de la végétation ligneuse</u> (abattage / recépage à la base / élagage & étêtage des sujets ligneux) :

Ces travaux répondent à un souci de :

- o prévention contre les phénomènes de déchaussement et basculement d'arbres dans le lit de la rivière ;
- o rajeunissement et diversification des formations végétales riveraines ;
- accompagnement des aménagements végétaux prescrits dans la perspective d'une reprise optimale (tronçonnage à la base des essences arborées capables par leur ombrage de limiter, voire remettre en cause, le développement des aménagements végétaux confectionnés, etc.).

Ces travaux devront s'accompagner <u>d'une opération de gestion des embâcles présents</u> sur le tronçon concerné (évacuation des chablis & embâcles entravant le libre écoulement des eaux).

• Reprise de la berge (rive gauche) en amont et aval du seuil :

Afin de limiter l'incidence du dérasement en rive droite, il est envisagé de reprendre la berge rive gauche afin de décaler le lit vif dans l'intrados du méandre.

Les travaux comprendront :

- Démantèlement des palplanches ;
- Suppression d'une partie de la berge rive gauche, du talus situé en rive et reprofilage de la berge selon un arc continu (suppression de l'angle de la berge);
- Confortement des berges de part et d'autre de l'ancien seuil au moyen de techniques mixtes (empierrement en pied de berge, mise en place de lits de plants et plançons renforcés au moyen de boudins de treillis de géotextile biodégradable de coco (pente 3H/2V), voire en techniques purement minérales au plus proche des bassins de décantation.

Il sera peut-être nécessaire de remblayer une partie des deux bassins les plus proches de l'Aisne afin de stabiliser les berges.

Aménagement de la berge rive droite avec mise en place d'épis déflecteurs :

Afin de limiter l'incidence du dérasement en rive droite, il est envisagé de reprendre la berge rive droite avec mise en place de blocs d'enrochement le long de la berge à l'amont immédiat du seuil et mise en place d'épis déflecteurs sur une centaine de mètres en amont du seuil. Ces épis serviront notamment au recentrage des crues.

• <u>Suivi hydromorphologique, biologique, physico-chimique (pluriannuel) de l'Aisne</u> (cf. chapitre 3).

2.7.1.6 Estimation du coût des travaux

Seuil d'Everbal - Solution dérasement de l'ouvrage Estimation des coûts - Niveau faisabilité

| Designation des ouvrages | Montant |
|--|---|
| | |
| PRIX GENERAUX (installation/repliement de chantier, piquetage, DOE, etc.) | 45 000,00€ |
| TD AVAILY DDFD AD ATOIDEO (feed on the feed of the lifeton feed of the lifeton feed on | 450 000 006 |
| RAVAUX PREPARALOIRES (travaux forestiers, demoliition, evacuation etc.) | 150 000,00€ |
| TRAVAUX DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE AUX ABORDS DE L'OUVRAGE | 200 000,00€ |
| (confortement de berge, remodelage du lit, reprofilage des berges, mise en place d'épis) | |
| | |
| TRAVAUX DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DU LIT EN AMONT | 250 000,00€ |
| ET RECONNEXION D'ANNEXES HYDRAULIQUES | |
| (y compris garantie et suivi des aménagements végétaux sur 3 ans) | |
| N = 40 (-0) | |
| ALEAS 15% | 96 750,00€ |
| SUIVI MORPHOECOLOGIQUE DU TRONCON DE COURS D'EAU DESIGNE | 5 000,00€ |
| | |
| Total H.T Seuil d'Everbal - Solution dérasement de l'ouvrage | 746 750,00€ |
| TVA 19,6 % | 146 363,00€ |
| Total T.T.C Seuil d'Everbal - Solution dérasement de l'ouvrage | 893 113,00€ |
| | PRIX GENERAUX (installation/repliement de chantier, piquetage, DOE, etc.) TRAVAUX PREPARATOIRES (travaux forestiers, démollition, évacuation etc.) TRAVAUX DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE AUX ABORDS DE L'OUVRAGE (confortement de berge, remodelage du lit, reprofilage des berges, mise en place d'épis) TRAVAUX DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DU LIT EN AMONT ET RECONNEXION D'ANNEXES HYDRAULIQUES (y compris garantie et suivi des aménagements végétaux sur 3 ans) ALEAS 15% SUIVI MORPHOECOLOGIQUE DU TRONCON DE COURS D'EAU DESIGNE Total H.T Seuil d'Everbal - Solution dérasement de l'ouvrage |

2.8 Scénario C-2 : arasement de l'ouvrage

Comme indiqué précédemment, il n'existe plus à ce jour d'usages liés au niveau d'eau amont maintenu par l'ouvrage (uniquement prise d'eau de secours dont la profondeur du captage devra être définie). Il est alors proposé d'étudier l'arasement de l'ouvrage pour restaurer la continuité écologique de l'Aisne au droit du seuil de la papeterie.

La solution technique envisageable pour l'arasement du seuil de la papeterie consiste à :

- Réduire significativement la hauteur de chute de l'ouvrage existant ;
- Aménager une rampe en blocs à son aval immédiat selon une pente longitudinale adoucie afin de permettre le franchissement des espèces piscicoles cibles. Une rampe de raccordement en devers pourra être aménagée.

2.8.1 Principe de réalisation

L'arasement (effacement partiel) d'un ouvrage consiste à diminuer la hauteur de chute jusqu'à atteindre les conditions voulues vis-à-vis de la continuité écologique.

En théorie, l'arasement d'un ouvrage, doit permettre de résorber au mieux les impacts hydromorphologiques et écologiques négatifs :

- Restauration de la franchissabilité pour les espèces cibles,
- Restauration des milieux naturels ripariaux et de leur périodicité de rajeunissement,
- Réduction des effets de réchauffement liés à la présence de retenue,
- Réduction de l'envasement et amélioration du transit des alluvions grossiers.

2.8.2 Modification du contexte hydraulique local

Il a été testé plusieurs arasements de l'ouvrage (-50 cm, -150 cm et -200 cm) afin de trouver l'aménagement qui permettrait d'atteindre les meilleurs conditions vis-à-vis de la continuité écologique, ceci en fonction des contraintes du site et de la plage de débit de fonctionnement proposé (9 $m^3/s - 80 m^3/s$).

L'arasement de l'ouvrage entraine la perte du droit d'eau. Dans ces conditions, les simulations ont été faites en supprimant tout écoulement par les vannes.

Les résultats des simulations sont donnés dans le tableau ci-après et sur les graphiques suivants.

Tableau 8 : résultats des simulations pour les solutions d'arasement

| | Cote amont / aval et hauteur de chute | | | | | | | | | | | Longueur rampe | |
|------------------|---------------------------------------|------|----------------|------|------------------------|----------------|----------|-------|--------------------------|-----------------|------------------|----------------|-------|
| | Débit min 9 m³/s | | Module 49 m³/s | | Débit max 80 m³/s | | 115 m³/s | | Q2 208 m ³ /s | | Débit effacement | pour | pente |
| | cote | Δh | cote | Δh | cote | Δh | cote | Δh | cote | Δh | | 2% | 5% |
| Maintien seuil | 57,80 | 3,14 | 58,23 | 2,26 | 58,47 | 58,47 56,74 | 58,70 | 1,17 | 59,21 | 0,53 | 115 m³/s | 157 | 63 |
| (≈ 57,5 mNGF) | 54,66 | | 55,97 | 2,20 | 56,74 | | 57,53 | | 58,68 | 0,33 | | | 03 |
| Arasement 50 cm | 57,20 | 2,54 | 57,61 | 1,64 | 57,85 56,74 1,11 | 1 11 | 58,08 | 0,55 | 58,80 | 0,12 | 90 - 100 m³/s | 127 | 51 |
| (≈ 57,0 mNGF) | 54,66 | 2,34 | 55,97 | 1,04 | | 57,53 | 0,55 | 58,68 | 0,12 | 90 - 100 III /S | 127 | 31 | |
| Arasement 150 cm | 56,20 | 1,54 | 56,61 | 0,64 | 56,85 | 0,11 | 57,58 | 0,05 | 58,73 | 0,05 | 50 - 60 m³/s | 77 | 31 |
| (≈ 56,0 mNGF) | 54,66 | 1,54 | 55,97 | 0,64 | 56,74 | 66,74 | 57,53 | | 58,68 | | | | 31 |
| Arasement 200 cm | 55,70 | 1,04 | 56,11 | 0,14 | 56,78 | 0,04 | 57,56 | 0,03 | 58,72 | 0,04 | 30 - 40 m³/s | 52 | 21 |
| (≈ 55,5 mNGF) | 54,66 | | 55,97 | 0,14 | 56,74 | | 57,53 | | 58,68 | | | 52 | |

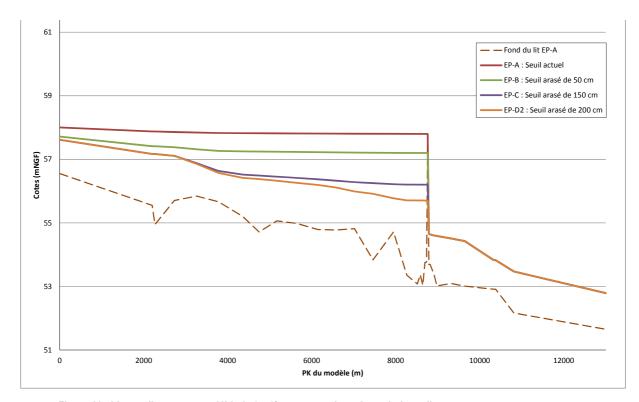


Figure 11 : Lignes d'eau pour un débit de 9 m³/s – comparaison des solutions d'arasement

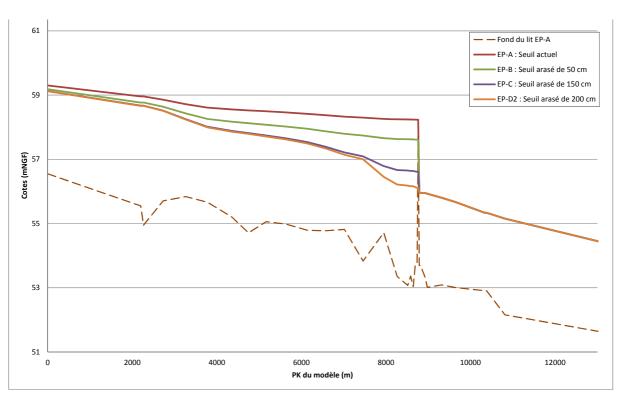


Figure 12 : Lignes d'eau pour un débit de 49 m³/s (module) – comparaison des solutions d'arasement

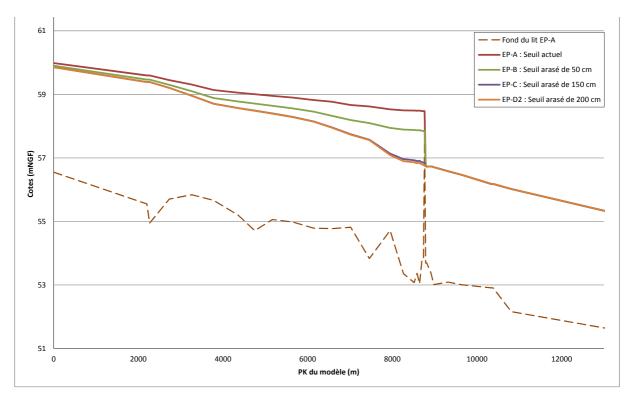


Figure 13 : Lignes d'eau pour un débit de 80 m³/s (débit maximum de fonctionnement proposé) – comparaison des solutions d'arasement

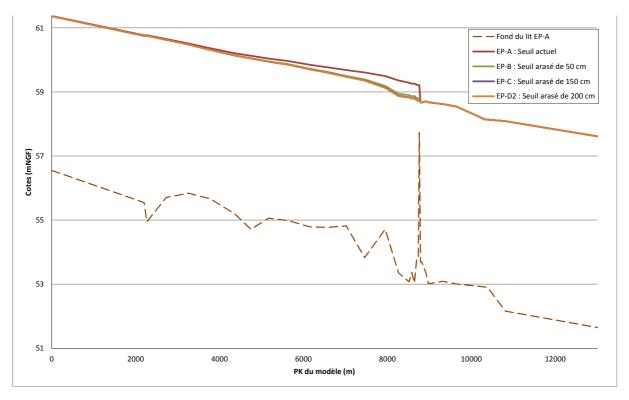


Figure 14: Lignes d'eau pour un débit de 208 m³/s (crue biennale) – comparaison des solutions d'arasement

On constate que les longueurs de rampe commencent à devenir « raisonnables » pour un arasement de 150 cm et pour une rampe de pente 5% (espèce cible truite). Par contre, la continuité écologique pour les brochets n'est pas assurée (rampe de pente 2% nécessaire).

La solution de coupler rampe et passe à bassins pour cibler les deux espèces a une faisabilité très faible car elle impliquerait des coûts élevés et il existe des contraintes d'emprise importantes.

Dans ces conditions, la solution du seuil arasé de 200 cm est la plus pertinente. En effet :

- elle permet de réduire de façon significative la hauteur du seuil actuel (d'environ 2/3);
- la hauteur de chute pour un débit de 9 m³/s est de 1 m;
- le seuil résultant est noyé pour un débit d'environ 30 à 40 m³/s (il est quasi effacé au module), ce qui assurera la circulation des espèces une bonne partie de l'année (le débit de 40 m³/s est dépassé 150 jours par an). En outre, la circulation des brochets sera assurée pendant leur période de frai ;
- la rampe à réaliser pour assurer le franchissement des truites pour des débits inférieurs au débit de transparence est d'environ 20 m, ce qui est tout à fait raisonnable.

2.8.3 Solution 3 : arasement du seuil de 2,00 m et édification d'une rampe en aval

2.8.3.1 Principe de la rampe en enrochements régulièrement répartis

Source : Guide technique conception des passes « naturelles » (Agence de l'eau Adour Garonne)

La rampe est une passe dite rustique, qui reproduit les caractéristiques des cours d'eau naturels à fortes pentes et faisant appel pour la dissipation d'énergie et la réduction des vitesses à des matériaux « naturels » (blocs en enrochements).

Dans le cas d'une rampe en enrochements régulièrement répartis, l'énergie est dissipée par des singularités constituées de blocs isolés (plus ou moins régulièrement répartis) sur un coursier rugueux (voir figure ci-après).

Le raisonnement sous-jacent à la disposition régulière des blocs est l'obtention d'un écoulement pseudo-uniforme dans tout le dispositif sans apparition de singularités hydrauliques marquées (chute locale, ressaut hydraulique trop prononcé, hauteur d'eau insuffisante) susceptibles de constituer des points de blocage à la remontée du poisson. La ligne d'eau est globalement parallèle au coursier. Chaque bloc génère un sillage qui doit pouvoir constituer une zone de repos pour le poisson.

L'existence d'une rugosité de fond importante (petits blocs) permet de diminuer les vitesses d'écoulement à proximité du fond et offre des zones de repos et des repères aux petites espèces rhéophiles, facilitant leur franchissement.

Le principe de réalisation détaillé de ces rampes est donné en annexe (aspects hydrauliques, dimensionnement piscicole).

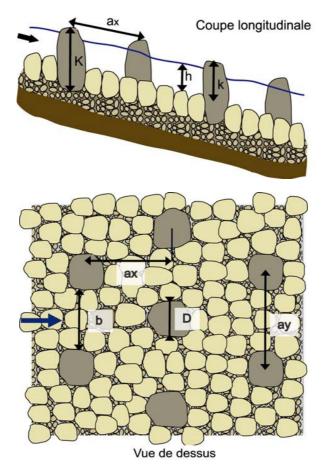


Figure 15 : Schéma d'une disposition régulière des enrochements

Les contraintes fonctionnelles pour les truites sont :

- hauteur d'eau de 0,3 à 0,7 m
- pente de 5-7 %
- débit unitaire de 0,20-0,65 m³/s/m
- vitesse maximale dans les jets de 2 m/s
- puissance inférieure à 400 W/m3.

La plage de débit de fonctionnement pourrait être de 9 m³/s – 40 m³/s (débit de transparence). Le niveau d'eau amont varierait de 55,70 mNGF à environ 56,05 mNGF (à vérifier lors du dimensionnement de l'ouvrage), ce qui serait compatible avec la plage de débit unitaire, en considérant une rampe de 8 m de large en conditions d'étiage et une rampe de raccordement en devers qui permet d'élargir la rampe pour des débits plus élevés (voir nature des travaux ciaprès).

2.8.3.2 Emplacement proposé

Le choix de la rive est conditionné par les contraintes du site ainsi que par les conditions hydrodynamiques en aval de l'ouvrage. Au vu des contraintes d'accès et de l'emprise disponible, l'aménagement proposé se situera en rive gauche.

2.8.3.3 Nature des travaux

Cette solution technique consiste à :

- réduire significativement la hauteur de chute de l'ouvrage existant : il est proposé d'abaisser la crête du seuil d'environ 2,00 m, soit à la cote altimétrique environ de 55,50 mNGF ;
- aménager une rampe en blocs en son aval immédiat selon une pente longitudinale adoucie afin de permettre le franchissement des espèces piscicole cibles. Elle possèdera un léger dévers en direction de la rive opposée pour faciliter le passage des petites espèces.

Les travaux comprennent :

les travaux préparatoires :

- travaux forestiers;
- démontage partiel du seuil existant et récupération éventuelle de blocs ;
- o enlèvement et évacuation de gravats présents dans le lit et en berges ;
- o décapage des matériaux graveleux du fond du lit en aval du seuil existant ;
- o dérivation temporaire des eaux pendant les travaux (travail par moitié de lit).
- o le comblement des vannes d'alimentation de l'ancienne usine hydroélectrique.

• <u>l'édification d'une rampe en blocs en rangées périodiques :</u>

Il est proposé d'assurer la continuité piscicole par la mise en place d'un seuil de type rampe en blocs présentant un dénivelé d'environ 1,05 m.

L'ouvrage nouvellement créé pourra présenter les caractéristiques générales suivantes :

- Seuil en blocs non liaisonnés (crête du seuil : 55,20 m NGF) ;
- o Rampe de pente longitudinale moyenne : 5,0 % ;
- o Longueur totale de la rampe (y compris ancrage dans le fond du lit) : 28,00 m;
- o Longueur utile de la rampe : 20,00 m;
- o Largeur de la rampe : 8,00 m
- Aménagement de 2 zones de repos intermédiaire (mouille) pour le poisson (longueur : env. 2,50 m);
- Aménagement d'une fosse de dissipation (« en forme de poire ») en aval immédiat du seuil;
- Nature des matériaux : blocs calcaire, de forme tétraédrique, finement appareillés (non liaisonnés) et percolés de matériaux graveleux issus du fond du lit ;
- Etanchéité de l'ouvrage : au droit de la crête du seuil puis par des remontées régulières (tous les 3 - 4 m environ) d'un géotextile synthétique non tissé.

<u>l'édification d'une rampe de raccordement</u>

Une rampe de raccordement sera confectionnée sur l'extrémité droite de l'ouvrage de franchissement pour faciliter le passage des petites espèces piscicoles et pour diminuer le débit unitaire passant sur la rampe totale pour des débits moyens (elle ne sera pas alimentée en étiage).

Elle présentera les caractéristiques techniques suivantes :

- Seuil en blocs non liaisonnés (crête du seuil environ 55,70 m NGF);
- Pente longitudinale moyenne : entre 3,0 et 5,0 %;
- Aménagement d'une fosse de dissipation (« en forme de poire ») en aval immédiat de la rampe;
- Nature des matériaux : blocs calcaire, de forme tétraédrique, finement appareillés (non liaisonnés) et percolés de matériaux graveleux issus du fond du lit ;
- Etanchéité de l'ouvrage : en crête de l'ouvrage (juxtaposée au seuil) puis par des remontées régulières (tous les 3 - 4 m environ) d'un géotextile synthétique non tissé.
- <u>le remodelage du lit mineur</u> sur un linéaire d'environ 500 m à l'amont du seuil existant :
 - redistribution (terrassement en déblai / remblai) des matériaux graveleux présents du fond du lit vif jusqu'à l'adoption d'un profil longitudinal proche de la pente d'équilibre (0.037 %);

la mise en place d'une passe à canoë

L'implantation d'une glissière béton sera réalisée le long de la rampe en enrochement en rive gauche. Elle pourrait présenter les dimensions suivantes :

- Glissière béton (crête du seuil environ 55,50 m NGF);
- Pente longitudinale : en moyenne 5 à 7 % (pente plus forte en amont qu'en aval à réaliser pour le confort de la passe);
- Longueur totale de la rampe (y compris ancrage dans le fond du lit) : 20 ml;
- Largeur totale : 3,00 m
- Largeur utile: 1,80 2,10 m aval;
- Profil transversal: circulaire avec un rayon de 1,0 m;
- o Chute résiduelle à l'aval : 0,2 m.

Cet ouvrage ne permet pas la circulation des espèces piscicoles.

Par contre, il pourrait participer à l'attrait de la rampe avec son débouché en aval à proximité de celle-ci.





Figure 16 : Exemple de passe à canoë

la stabilisation / restauration de la berge au droit et en aval immédiat de la rampe en blocs (40 m):

Au droit de la rampe en blocs confectionnée, les berges de l'Aisne seront stabilisées au moyen de **techniques mixtes** associant un empierrement de pied de berge (dans le prolongement latéral de la rampe) et un haut de talus végétalisé.

Les travaux comprendront :

- le reprofilage en déblai / remblai des talus riverains et évacuation des excédents de terrassement en un lieu de décharge approprié (pente de talus : 2H/1V à 3H/2V) ;
- o la confection d'empierrement de pied de berge, rangé et construit (extension latérale des ailettes de la rampe en blocs) ;
- la mise en place de matériaux gravelo terreux d'apport en berges ;
- la confection de lits de plants et plançons renforcés par des boudins de treillis de géotextile biodégradable de coco;
- o la couverture des talus par des treillis de géotextile biodégradable de coco ;
- l'ensemencement des surfaces travaillées et la plantation d'arbustes à racines nues.

2.8.3.4 Incidences de l'arasement

L'arasement du seuil de la papeterie se traduira par les mêmes incidences que celles identifiées précédemment pour le dérasement de l'ouvrage et dans une moindre mesure à proximité du seuil puisqu'une hauteur de chute de 1 m est maintenue au droit du seuil en étiage.

- Reprise du <u>phénomène d'érosion</u> latérale en amont, le long des berges de l'ancien plan d'eau ainsi que dans l'emprise de l'érosion régressive du remous solide ;
- Affaissement de la nappe d'accompagnement ;
- Développement (reprise) d'un **processus d'érosion régressive** en amont de l'édifice (estimé sur un linéaire d'environ 50 mètres), et en aval sur environ 30 mètres (sur la base de l'adoption d'une pente d'équilibre d'environ 0.037 %).

Modification du contexte hydraulique local

L'arasement du seuil de 200 cm se traduira, du point de vue hydraulique, par un abaissement des lignes d'eau, en étiage, en conditions normales et jusqu'à une crue décennale. Au-delà, le seuil étant complètement noyé en état actuel, son arasement n'a pas d'incidence sur les lignes d'eau.

Les lignes d'eau suivantes pour l'état actuel sont légèrement différentes des lignes d'eau précédentes car il a été fait l'hypothèse qu'il n'y avait plus d'écoulement par les vannes, ce qui a rehaussé les lignes d'eau au droit du seuil (augmentation du débit localement).

Par rapport à l'état de référence (vannes comblées) :

- Pour la crue biennale, l'abaissement de la ligne d'eau est de 45 cm (en amont du seuil) et est de 5 cm à 5 km en amont du seuil;
- Pour le module, l'abaissement maximal atteint 2,10 m en amont immédiat du seuil. Il est de 1,80 m à environ 800 m en amont de l'ouvrage et de 1 m à environ 2 km en amont du seuil;
- A l'étiage, l'abaissement maximal atteint 2,10 m, en amont immédiat du seuil.
 L'abaissement intervient sur un linéaire d'une dizaine de kilomètres. Il est de 1 mètre à 5,5 km en amont du seuil.

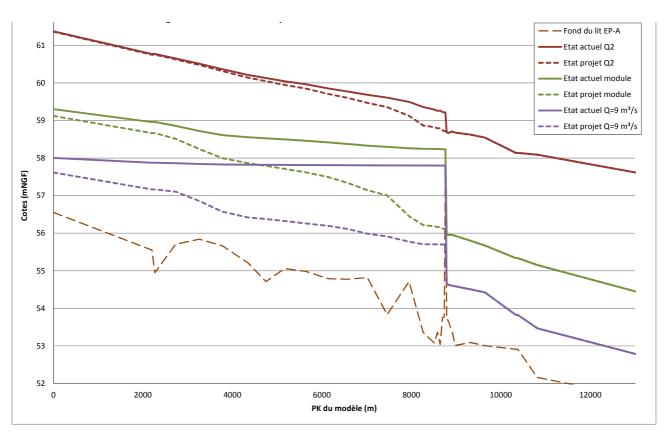


Figure 17 : Impact sur les lignes d'eau de l'arasement du seuil en étiage, pour le module et la crue biennale

2.8.3.5 Contraintes

Contraintes biologiques: Le choix de l'espèce cible dicte les critères hydrauliques à respecter. En fonction de celles-ci, les critères les plus pénalisants (hauteur minimal, vitesse maximale et la puissance dissipée maximale) doivent être pris en compte.

Contraintes physiques: Les berges ont fait l'objet d'importants aménagements de protection en génie civil (enrochement, perré maçonné, rideau de palplanche) sur ce secteur. L'implantation de la rampe entrainera un démontage de ces aménagements et une reprise des berges.







Figures 18 et 19 : Localisation des aménagements de berge au moyen de techniques lourdes en rive gauche.

Contraintes d'espace et d'accès : L'emprise sur la berge est limitée d'un côté par l'Aisne et de l'autre par une digue (hauteur comprise entre 1,80 m et 2,40 m). L'emprise foncière en rive gauche est occupée par les bassins de décantations de la papeterie. Une passerelle piétonne traverse l'Aisne mais pour des raisons de sécurité, elle n'est plus utilisée.

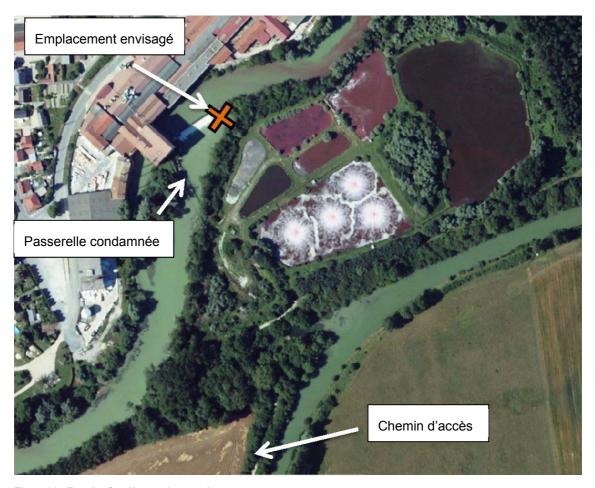


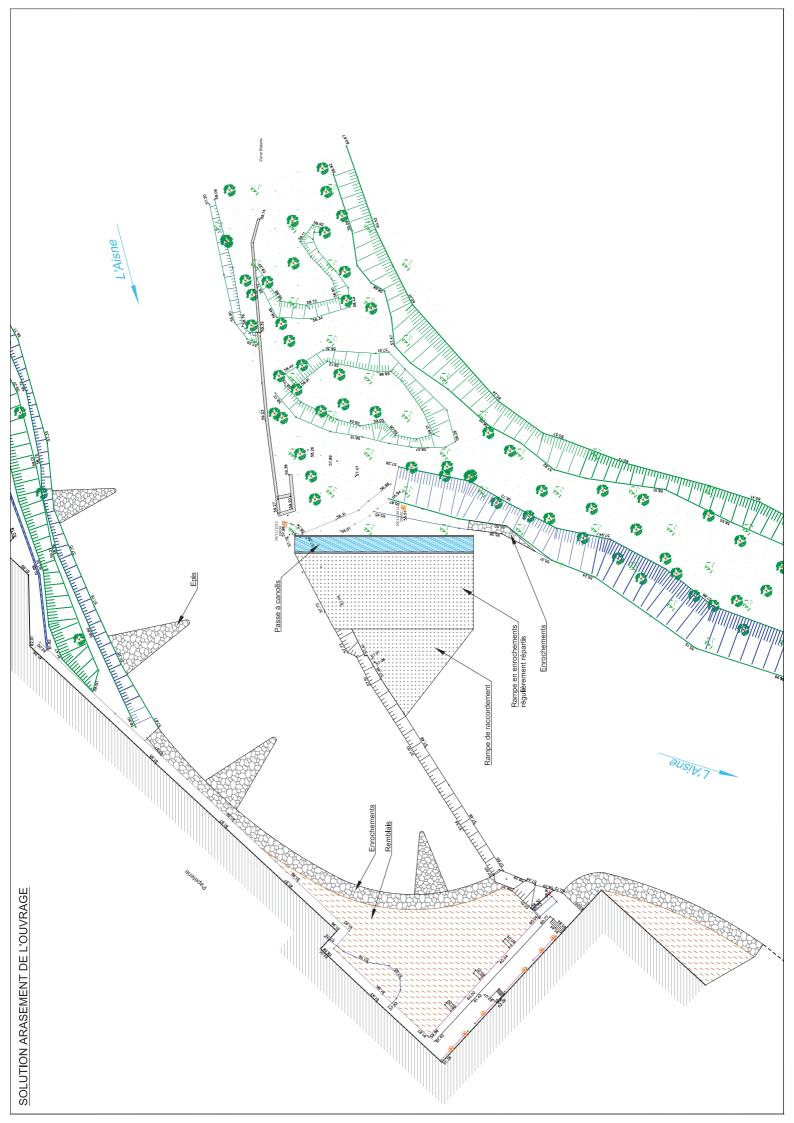
Figure 20 : Emprise foncière en rive gauche

Stabilité des infrastructures :

L'abaissement de la nappe d'accompagnement suite à l'arasement de l'ouvrage peut entraîner une dessiccation du sol. Ce phénomène peut provoquer des processus de retrait / gonflement du sol sous l'assise des bâtiments, qui peuvent alors subir un certain nombre de désordres.

Par contre, il semble que les bâtiments aient été construits avec des fondations superficielles. L'arasement du seuil peut alors entraîner des risques de déstabilisation des fondations suite à l'abaissement de la nappe d'accompagnement.

Compte-tenu des enjeux socio-économiques liés à la papeterie, un diagnostic géotechnique de type G5 (avec avis d'expert) est préconisé afin de savoir si la perspective d'araser l'ouvrage est envisageable.



2.8.3.6 Mesures d'accompagnement nécessaires

L'arasement du seuil de la papeterie se traduira par les mêmes incidences que celles identifiées précédemment pour le dérasement de l'ouvrage et dans une moindre mesure à proximité du seuil puisqu'une hauteur de chute de 1 m est maintenue au droit du seuil en étiage (incidence moindre sur une longueur d'1 km environ).

L'opération d'arasement du seuil pourrait être accompagnée des mêmes interventions que l'opération de dérasement.

• Restauration hydromorphologique du lit en amont du seuil de la papeterie :

Cette intervention s'inscrit dans le souci de « casser » la morphologie banalisée et encaissée du lit mineur en amont du seuil, <u>sur un linéaire d'environ 4 500 mètres</u>.

Cette opération aura recours à des interventions simples, volontaristes, mais « directes », c'est-à-dire favorisant notamment les travaux de terrassement et de « recalibrage » (diversification hydromorphologique). Le niveau d'ambition envisageable est le niveau R3 « restauration fonctionnelle globale », y compris de la dynamique d'érosion et du corridor fluvial (amélioration de plusieurs compartiments de l'hydrosystème - création d'un espace de mobilité ou de fonctionnalité).

Ces prescriptions techniques devront tenir compte des modalités du Plan de Prévention des Risques d'Inondation.

Les travaux comprendront :

- le défrichement des abords du lit colonisés essentiellement par des essences à bois dur;
- o le terrassement en déblai avec évacuation des excédents de terrassements : les abords immédiats de l'Aisne seront remis en forme de manière à obtenir :
 - un lit mineur au tracé peu sinueux ;
 - un lit vif (d'étiage) au gabarit resserré ;
 - un lit moyen présentant une capacité d'évacuation comprise entre Q2 et Q5 (débit de pleins bords) ;
 - des talus riverains de pente douce et variées afin d'augmenter les surfaces de contact entre les milieux aquatiques et terrestres (création de « risbermes à fleur d'eau » / atterrissements graveleux – pente des talus comprise entre 3H/1V et 3H/2V).
 - la végétalisation des abords du lit au moyen de seuls ensemencements, plantations (en massifs disséminés) de boutures de saules et d'arbustes à racines nues d'essences indigènes adaptées.
- la mise en place d'ouvrages végétaux de diversification des écoulements ou de déflecteurs (en rive gauche) sur le tronçon rectifié de l'Aisne entre Avaux et Evergnicourt;

• Reconnexion des annexes hydrauliques :

Ces aménagements permettront :

- L'amélioration des connexions latérales et le fonctionnement de milieux déconnectés;
- o Favoriser l'auto-curage des bras secondaires ;

- Diversifier les écoulements et les habitats des annexes hydrauliques : profondeur, substrat, temps de submersion ;
- Améliorer et diversifier la biocénose et les habitats du corridor fluvial : connexions des zones de frayères, augmentation des zones de refuges.
- Mise en œuvre de travaux de gestion sélectifs et pondérés de la végétation ligneuse (abattage / recépage à la base / élagage & étêtage des sujets ligneux) :

Ces travaux répondent à un souci de :

- o prévention contre les phénomènes de déchaussement et basculement d'arbres dans le lit de la rivière ;
- o rajeunissement et diversification des formations végétales riveraines ;
- accompagnement des aménagements végétaux prescrits dans la perspective d'une reprise optimale (tronçonnage à la base des essences arborées capables par leur ombrage de limiter, voire remettre en cause, le développement des aménagements végétaux confectionnés, etc.).

Ces travaux devront s'accompagner <u>d'une opération de gestion des embâcles présents</u> sur le tronçon concerné (évacuation des chablis & embâcles entravant le libre écoulement des eaux).

Aménagement de la berge rive droite avec mise en place d'épis déflecteurs :

Afin de limiter l'incidence du dérasement en rive droite, il est envisagé de reprendre la berge rive droite avec mise en place de blocs d'enrochement le long de la berge à l'amont immédiat du seuil et mise en place d'épis déflecteurs sur une centaine de mètres en amont du seuil. Ces épis serviront notamment au recentrage des crues.

• <u>Suivi hydromorphologique, biologique, physico-chimique (pluriannuel) de l'Aisne (cf. chapitre 3).</u>

2.8.3.7 Coût des travaux

Seuil d'Everbal- Solution arasement de l'ouvrage avec rampe Estimation des coûts - Niveau faisabilité

| N° | Designation des ouvrages | Montant |
|------|---|-------------|
| | | |
| 1 | PRIX GENERAUX (installation/repliement de chantier, piquetage, DOE, etc.) | 45 000,00€ |
| | | |
| 2 | TRAVAUX PREPARATOIRES (travaux forestiers, démolition, évacuation etc.) | 120 000,00€ |
| 3 | EDIFICATION D'UNE RAMPE EN ENROCHEMENT | 230 000,00€ |
| | | 230 000,00€ |
| | ET AMENAGEMENTS DE BERGES | |
| | (confortement de berge, remodelage du lit, reprofilage des berges, mise en place d'épis) | |
| 4 | CONFECTION D'UNE PASSE A CANOË KAYAK | 20 000,00€ |
| | | |
| 5 | TRAVAUX DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DU LIT EN AMONT | 220 000,00€ |
| | ET RECONNEXION D'ANNEXES HYDRAULIQUES | |
| | (y compris garantie et suivi des aménagements végétaux sur 3 ans) | |
| 6 | SUIVI MORPHOECOLOGIQUE DU TRONCON DE COURS D'EAU DESIGNE | 5 000,00€ |
| 7 | ALEAS 15% | 96 000.00€ |
| •••• | | 30 000,000 |
| | | |
| | Total H.T Seuil d'Everbal- Solution arasement de l'ouvrage avec rampe | 736 000,00€ |
| | TVA 19,6 % | 144 256,00€ |
| | Total T.T.C Seuil d'Everbal- Solution arasement de l'ouvrage avec rampe | 880 256,00€ |
| | | |

Chapitre 3 Modalités et indicateurs de suivi après aménagement

3.1 Généralités

Les cours d'eau sont des systèmes dynamiques (« élastiques ») présentant de grandes capacités de réajustement et de régénération (directement liées à la fréquence et à la puissance des crues qu'ils connaissent).

Dans le cas de l'arasement ou de dérasement de seuils (solutions 2 et 3), le tronçon de l'Aisne concerné sera inévitablement l'objet de processus d'ajustement morphodynamique et écologique qu'il conviendra d'analyser au cours du temps et dans l'espace. Il est donc indispensable de définir un protocole de suivi scientifique des travaux de restauration (sur les aspects hydromorphologiques et biologiques), par la mise en place d'indicateurs de suivi et d'évaluation des actions projetées.

En cas de maintien de l'ouvrage (solution 1), l'efficacité du dispositif de franchissement projeté devra être évaluée par la mise en place d'indicateurs de suivi et d'évaluation de la franchissabilité de l'édifice réaménagé.

La définition des indicateurs de suivi a pour intérêt :

- d'évaluer et connaître l'amélioration du fonctionnement global de la rivière (appréciation des nouvelles caractéristiques hydromorphologiques et écologiques, détermination des « bénéfices environnementaux » pour chaque composante de l'hydrosystème : transport solide, faune aquatique,...);
- de permettre d'ajuster, si nécessaire, les travaux réalisés pour améliorer le fonctionnement hydromorphologique et écologique du cours d'eau;
- de fournir des éléments techniques permettant de reproduire ailleurs ce type d'opération avec une plus grande capacité de prédiction des effets géodynamiques et écologiques. (acquisition de connaissances sur les processus hydromorphologiques et leurs liens avec les biocénoses – « retour d'expériences »).

De ce qui précède, on comprend qu'il est nécessaire de définir, quel que soit le scénario d'aménagement choisi, des indicateurs de suivi pour juger l'efficience des travaux projetés au regard des objectifs fixés par la DCE.

3.2 Description du protocole de suivi

3.2.1 Suivi hydromorphologique

Dans le cas de dérasement ou d'arasement d'ouvrages, les tronçons de l'Aisne, objets de réajustements morphologiques, feront l'objet d'un suivi hydromorphologique

Ce suivi sera réalisé sur la base des éléments techniques du protocole CarHyCE (caractérisation de l'hydromorphologie des cours d'eau) <u>qui seront adaptés au contexte</u> local de l'Aisne et à l'opération de restauration envisagée.

La Police de l'Eau demande maintenant un suivi pour toute autorisation au titre de la Loi sur l'Eau de travaux de restauration de cours d'eau.

Mis au point par les experts de l'ONEMA, des agences de l'eau, le Ministère de l'écologie, du Cemagref, du CNRS, des universités.... depuis 2009, le protocole CarHyCE permet de caractériser, de manière très précise et à l'échelle d'une « station », les caractéristiques hydromorphologiques d'un cours d'eau et de suivre l'évolution des paramètres physiques du milieu dans le cadre du programme de contrôle et de surveillance de la DCE (réseau RCS).

Le protocole de suivi hydromorphologique pourra présenter les caractéristiques suivantes :

• la durée de la période suivi :

Le suivi sera pluriannuel (durée de 6 à 9 ans) et selon un pas de temps de 3 ans : n +3, n+6, n étant l'année de l'état des lieux « avant travaux ».

En effet, le suivi débutera par une caractérisation de l'état initial hydromorphologique du cours d'eau « avant aménagement ». Un état des lieux « immédiatement après aménagement » sera dressé sur la base du dossier des ouvrages exécutés (DOE) réalisé par l'entreprise titulaire du marché de travaux (levés topographiques du lit en fin de travaux).

Une campagne pourra également être envisagée après la survenue d'une crue morphogène (crue de pleins bords par exemple).

Ce suivi hydromorphologique pourra donc comprendre la réalisation de 4 campagnes sur la totalité de la période de suivi.

l'échelle d'investigation / extension du tronçon de cours d'eau faisant l'objet du suivi :

Il est proposé de réaliser un <u>suivi hydromorphologique à une échelle dite</u> <u>« étendue »</u> et non « stationnelle » (au sens stricte du protocole CaHyCE).

Cette approche privilégie les mesures des caractéristiques hydromorphologiques sur des « sites » (micro station de faible longueur : en moyenne 6 x largeur à pleins bords) où seuls les principaux paramètres sont mesurés.

Cette échelle « élargie » permettra d'obtenir des informations sur l'évolution morphologique du lit (transport solide, exhaussement du lit, etc.), au-delà des seuls secteurs restaurés proprement dits (c'est-à-dire à l'échelle du cours aval de l'Aisne).

Deux zones de suivi pourraient être ainsi définies : la première se situe au niveau de la confluence avec la Dime (amont et aval de la confluence plus aval de la Dime) et la seconde entre le lieudit « les Marzelles » et le lieudit « l'Oseraie Renauld ».

Pour chaque zone, 3 à 4 « sites » (dont l'implantation sera choisie par le Maitre d'ouvrage et ses partenaires : l'ONEMA notamment) pourraient être choisis.

• les paramètres hydromorphologiques analysés sur chaque « site » :

Les paramètres à prendre en compte seront :

- ✓ la géométrie du lit mineur : 2 profils en travers simplifiés (largeur, profondeur à pleins bords, etc.) sur section rectiligne et radier ;
- √ la pente de la ligne d'eau ;
- √ les faciès d'écoulement ;
- ✓ la granulométrie du fond du lit (méthode Wolman).

3.2.2 Suivi biologique

Le suivi biologique pourra s'effectuer dans le cadre des investigations menées régulièrement par les gestionnaires halieutiques (ONEMA, FDAAPPMA, etc.). Il comprendra les interventions suivantes :

- les pêches électriques d'inventaire permettant de juger de l'efficacité de la reconnexion amont-aval (migration de la truite fario et du brochet);
- la recherche et le comptage des sites de frayère ;
- les mesures IBGN-DCE (protocole RCS) et indice diatomique (IBD) au sens de la norme NF T90-354 de décembre 2007.

3.2.3 Suivi physico – chimique de la qualité de l'eau

Le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau pourra s'effectuer dans le cadre du réseau de contrôle et surveillance de la DCE (RCS), notamment au droit de la station de mesures existante (située à proximité du pont de la RD1).

Ce suivi concernera les mesures des paramètres physico-chimiques généraux :

- température,
- teneur en oxygène (en lien avec la température) et sa concentration,
- minéralisation globale,
- pH,
- MES,
- Nitrates,
- Phophates,
- Phosphore total...

Chapitre 4 Analyse comparative des solutions d'aménagement

Une analyse globale (multicritère) des solutions d'aménagement développées précédemment a été conduite. Elle a été établie sur la base des critères suivants :

- Efficacité vis-à-vis de la continuité écologique ;
- Incidences sur le fonctionnement physique du cours d'eau (hydromorphologique, hydraulique);
- Incidences sur le fonctionnement biologique du cours d'eau (milieux rivulaires, habitats aquatiques, qualité de l'eau);
- Incidences sur les usages, le paysage et le patrimoine bâti (ouvrages);
- Incidences réglementaires, administratives et juridiques ;
- Délais et coût des travaux.

Pour chaque critère, un système de pondération ou notation a été établi afin d'effectuer une hiérarchisation des solutions techniques proposées : tout scénario d'aménagement se voit attribué un nombre de points.

La situation de référence (actuelle) pour chacun des paramètres constitue le niveau 0. La performance de la solution évaluée est notée sur une échelle de notation de - 2 à + 2. La lecture de cet indicateur est la suivante :

- ✓ Si on tend vers + 2, la performance sur le paramètre est améliorée ;
- ✓ Si on tend vers 2, la situation actuelle est dégradée ;
- ✓ Si la note est de zéro, le paramètre n'est pas impacté (« situation inchangée » ou incidences positives & négatives se compensant).

Le tableau d'analyse multicritère est présenté à la page suivante.

Analyse multicritère des scénarii d'aménagement du site Everbal

| | Nature de l'intervention | | Efficacité de l'aménagement vis-à-vis de la continuité écologique | | a continuité | ínuité | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|--|-----------------------------------|--|---|--|---|---|---|------------------------|--|---|--|--|--|--|---------------------|
| Solution | | Détail des travaux | | èces piscicoles ciblées F/BRO) | - T | Incidences | Incidences | Incidences sur les milieux biologiques riverains et | Incidences sur la | Incidences sur les usages liés à l'eau | Incidences sur | Travaux d'accompagnem | Coût estimé des | Délais de réalisation des | Incidences administratives | Incidences foncières | Investigations complémentaires à | Efficience (rapport |
| technique | | envisagés | Franchissabilité | Attractivité | Transit sédimentaire de la charge solide | morphodynamiques | hydrauliques | habitats aquatiques | qualité de l'eau | et riverains | | ent nécessaires | travaux H.T | travaux | et réglementaires | (emprises nécessaires) | prévoir | Evaluation finale |
| Etat initial - Référence actuelle | - | - | Ouvrage in | franchissable | Faible impact sur le transport solide | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | - | - | - |
| Solution n°1 | Maintien de l'ouvrage avec confection d'une passe à poissons en | Réalisation d'une passe à poissons à bassins successifs (16 bassins) | - | | - | - | Absence d'incidence hydraulique | Absence d'incidence | Absence d'incidence | Maintien des usages directs liés à l'eau - Contrainte d'accès lors d'intervention sur l'ouvrage | Absence d'incidence | Restauration de berges au moyen de techniques de génie écologique | 720 000 € HT - Hors coût d'exploitation et de remise en état et confortement de l'ouvrage | Durée de travaux assez limitée - Contraintes d'accès assez élevées | Ouvrage privé - Procédure d'autorisation Loi sur l'eau | Emprises foncières limitées mais peu d'espace entre les bassins et l'aisne | Etude géotechnique | Efficience moyenne |
| | génie civil | | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | , | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 |
| Solution n°2 | Dérasement du seuil | Démontage complet du seuil et récupération des blocs Remodelage du lit vif sur environ 1000 mètres Mise en place d'épis déflecteurs en rive droite Stabilisation des berges aux abords du seuil | - | - | - | Incision du lit sur environ 500 m - Risque d'un effet "canyon" (à juguler par des mesures d'accompagnement) - Restauration d'une dynamique alluviale active : érosion latérale & amélioration des apports solides vers l'aval | Abaissement des lignes d'eau en étiage, module et jusqu'à la crue quinquennale | Augmentation de l'encaissement du lit chenalisé ("gain" limité en termes de diversification des habitat) - Disparition limitée d'habitats aquatiques (lit assez banalisé) | Suppression du colmatage du lit en amont de l'ouvrage existant (linéaire limité) - Amélioration de la capacité d'autoépuration (diversification physique du lit, engraissement du matelas alluvial en aval) | Incidence sur la prise d'eau de secours de la papeterie si prise d'eau peu profonde et dans le bâtiment des vannes | | Confortement de berge en rive droite, mise en place d'épis déflecteurs Restauration hydromorphologiq ue du tronçon amont (retalutage des berges et modification du lit | 750 000 € HT - Hors coût d'exploitation (si pompage nécessaire pour assurer prise d'eau) et hors confortement des infrastructures | Durée de travaux légèrement plus longue que solution 1 (liée à la restauration hydromorphologique) - Contraintes d'accès assez élevées | Ouvrage privé mais plusieurs propriétaires riverains dans tronçon de 4500 m - Procédure d'autorisation Loi sur l'eau - DIG - DUP | Emprises foncières limitées au niveau du seuil et significatives pour la restauration hydromorphologiq ue du tronçon amont | Etude géotechnique avec avis d'expert Complément de levé topographique sur le seuil (profil amont, profil aval, coupes longitudinale et transversale) | Efficience moyenne |
| | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | -1 | -2 | vif à l'amont) | 0 | -1 | -1 | -2 | -2 | 3 |
| Solution n°3 | Arasement de l'ouvrage avec confection d'une passe naturelle "rustique" | Arasement du seuil et réalisation d'une rampe en blocs avec rampe de raccordement en devers Mise en place d'épis déflecteurs en rive droite Stabilisation des berges aux abords de l'ouvrage | - | | - | Incision du lit sur environ 200 m - Risque d'un effet "canyon" (à juguler par des mesures d'accompagnement) Amélioration des apports vers l'aval | Abaissement des lignes d'eau en étiage, module et jusqu'à la crue quinquennale | Augmentation de l'encaissement du lit chenalisé ("gain" limité en termes de diversification des habitat) - Disparition limitée d'habitats aquatiques (lit assez banalisé) | Remobilisation des sédiments en amont de l'ouvrage existant (linéaire limité) | Incidence sur la prise d'eau de secours de la papeterie si prise d'eau peu profonde et dans le bâtiment des vannes | | Confortement de berge en rive droite, mise en place d'épis déflecteurs Restauration hydromorphologiq ue du tronçon amont (retalutage des berges et | 720 000 € HT - Hors coût d'exploitation (si pompage nécessaire pour assurer prise d'eau) et hors confortement des infrastructures | Durée de travaux légèrement plus longue que solution 1 (liée à la restauration hydromorphologique) - Contraintes d'accès assez élevées | Ouvrage privé mais plusieurs propriétaires riverains dans tronçon de 4500 m - Procédure d'autorisation Loi sur l'eau - DIG - DUP | Emprises foncières limitées au niveau du seuil et significatives pour la restauration hydromorphologiq ue du tronçon amont | Etude géotechnique avec avis d'expert Complément de levé topographique sur le seuil (profil amont, profil aval, coupes longitudinale et transversale) | Efficience moyenne |
| | | abords de rouvraye | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | modification du lit vif à l'amont) | 0 | -1 | -1 | -2 | -2 | 0 |
| | Grille d'évaluat | ion : | 2 | | | l'hydrosystème / paramètre forte | | | | | | | 2 | Paramètre favorable à l'inte | | | | |
| · | | | 1 0 | | | l'hydrosystème / paramètre légèr ée (par rapport à l'état actuel) po | | | | idences nositivos ou r | négatives) | | 1 | Paramètre plutôt favorable a Paramètre neutre vis-à-vis a | | | | |
| | | | -1 | | | ee (par rapport a l'etat actuei) po l'hydrosystème / paramètre légèr | | | isidere (absence d'inc | iuciices positives ou r | icyalives) | | 0 -1 | Parametre neutre vis-a-vis a Paramètre plutôt défavorable | | • | | |
| | | | -2 | | | l'hydrosystème / paramètre dégra | | | | | | | -2 | Paramètre défavorable à l'ir | | | | |

Egis Eau Conclusion

Chapitre 5 Conclusion

Ce sont les connaissances et expériences récentes acquises dans les domaines de la gestion des milieux aquatiques et de la restauration des cours d'eau qui ont conduit à l'élaboration de cette étude détaillée des solutions techniques.

Si les consignes et propositions d'interventions qui y sont développées sont le fruit de l'expérience et de l'observation du milieu, et sont, à ce titre, tout à fait opérationnelles, elles rappellent que la restauration de la continuité écologique relève d'un exercice délicat.

Il reste que le projet de rétablissement de la continuité écologique de l'Aisne, à Evergnicourt, au droit du barrage de la papeterie Everbal, est techniquement possible.

Les incidences prévisibles de chaque solution technique proposée ont été mises en évidence dans une analyse comparative (multicritère).

Les contraintes d'aménagement et les enjeux humains propres aux sites proposés pour chaque solution ont été définis.

Deux solutions s'opposent et semblent toutes deux s'adapter au contexte : le maintien de l'ouvrage ou son dérasement.

- Pour le maintien de l'ouvrage, la remise en état voire le confortement de l'ouvrage existant sera nécessaire.
- Pour le dérasement de l'ouvrage, il est primordial d'avoir des informations complémentaires sur la constitution du sol et sur les fondations des bâtiments.

Néanmoins, le dérasement est la solution qui apportera de réels « gains environnementaux » en plus de la continuité écologique, avec les mesures d'accompagnement définies précédemment.

Dans ces conditions, compte-tenu des enjeux socio-économiques liés à la papeterie, un diagnostic géotechnique de type G5 (avec avis d'expert) est préconisé afin de savoir si la perspective de déraser l'ouvrage, qui semble être la solution la plus pertinente, est envisageable.

Chapitre 6 ANNEXES

6.1 Bibliographie

- Guide technique pour la conception des « passes naturelles » Agence de l'Eau Adour Garonne
- Guide passes à poissons outils Voies Navigable de France
- Retour d'expérience Aménagement de passes à poissons dites « naturelles » sur la Bruche, le Giessen et la Weiss – Comité de bassin Rhin-Meuse
- Document technique d'accompagnement des classements des cours d'eau (L. 214-17 C.E.) pour le bassin Rhin-Meuse
- Passes à poissons, expertise, conception des ouvrages de franchissement, M. Larinier, F.
 Travade, JP Porcher, C. Gosset
- Guide méthodologique « Arasement et dérasement de seuils Aide à la définition de Cahier des Charges pour les études de faisabilité Compartiments hydromorphologie et hydroécologie, Pôle hydroécologie des cours d'eau Onema Cemagref Lyon Février 2011 »
- La restauration des cours d'eau Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie ONEMA.

6.2 Dimensionnement des ouvrages selon le ou les groupes d'espèces

(extrait Document technique d'accompagnement des classements des cours d'eau (L. 214-17 C.E.) pour le bassin Rhin-Meuse)

Cinq groupes d'espèces sont identifiables. Les principaux critères de dimensionnement sont indiqués ci-dessous. Un site peut être concerné par plusieurs groupes d'espèces. Dans ce cas, il conviendra de prendre en compte l'intégralité des critères afin de ne pénaliser aucune espèce.

Saumon (et Truite de mer)

Montaison

Il est nécessaire d'avoir une efficacité optimale durant la période de migration de l'espèce afin d'éviter tout retard à la migration. Ceci est d'autant plus important sur la partie aval du bassin. La période retenue pour la migration est février/mi-juillet et mi-septembre/mi-décembre ce qui représente environ 265 jours par an. Il convient d'envisager les choix techniques suivants :

- Passes à bassins : la longueur minimale d'un bassin est de 2,5 mètres ou 3 fois la longueur du plus grand poisson à faire passer.
- Rivière de contournement de type rangées périodiques : charge minimale de 30 cm sur seuil / Chute maximale de 30 cm / Vitesse maximale de 6-9 m/s / Puissance inférieure à 300 W/m3.

 Rivière de contournement à enrochements régulièrement réparties : hauteur d'eau de 0,4 à 0,8 m / Pente de 5-7 % / Débit unitaire de 0,25- 0,70 m3/s/m / Vitesse maximale dans les jets de 2.1 m/s / Puissance inférieure à 500-600 W/m3.

Passes à ralentisseurs : ce dispositif sélectif des salmonidés est à réserver uniquement si les débits sont insuffisants pour les dispositifs présentés ci-dessus. Il s'agit généralement des têtes de bassin avec un enjeu salmonicole. Les ralentisseurs de fond suractifs avec le dimensionnement suivant sont les plus utilisés : hauteur des ralentisseurs 10-20 cm / Longueur de volée de 10-12 m / Tirant d'eau minimal de 15-20 cm / Pente maximale de 15-16% / Longueur de 3 m pour le bassin de repos. Une alternative est l'utilisation de ralentisseurs plans : pente maximale de 20% et largeur interne (L) comprises entre 0.80 m et 1 m.

En absence de tronçon court-circuité (TCC), le dispositif doit être implanté dans la zone la plus attractive, à proximité immédiate de l'usine en général.

En présence de TCC, plusieurs scénarii sont possibles. Pour une efficacité maximale et notamment dans la partie aval du bassin versant, il convient de privilégier l'équipement des 2 bras pour assurer des conditions de franchissement optimales. Le choix des dispositifs devra être conforme aux critères mentionnés ci-dessus. En cas de présence de plusieurs groupes d'espèces, une passe toutes espèces sera requise, le second équipement pouvant être sélectif des salmonidés.

La réalisation d'une seule passe est envisageable à condition de s'assurer d'une attractivité optimale du tronçon équipé sur toute la période de migration. Cette solution nécessite une étude hydrologique pour déterminer la répartition des débits (y compris débits unitaires) entre les 2 bras. Dans le cas d'un équipement au barrage, cette variante peut nécessiter une augmentation du débit réservé afin d'obtenir une attractivité favorable du TCC. Le dispositif devra répondre aux critères mentionnés précédemment.

Le dimensionnement d'un dispositif de franchissement pour les grands salmonidés nécessite des débits importants. Il peut donc être nécessaire d'imposer un débit supérieur au dixième du module pour assurer la libre circulation piscicole (cf. article L214-18 CE).

<u>Dévalaison</u>

Le saumon est également concerné par la dévalaison. Les jeunes saumons descendent vers la mer de mars à avril, après 1 à 3 années de vie en rivière, ils ont une taille d'une vingtaine de cm

Anguille

Montaison

La montaison doit être demandée sur l'ensemble du périmètre du PGA, car il existe des solutions techniques faciles et peu onéreuses. De plus, il s'agit d'être cohérent et de ne pas avoir à modifier une passe à poissons quelques années après sa construction, si elle n'a pas été conçue pour cette espèces mais que l'évolution du PGA nécessite de la prendre en compte.

Des passages d'anguilles sont fréquemment recensés dans les dispositifs de type passes à bassins. Compte-tenu des connaissances actuelles, une passe à bassin peut être considérée franchissable par une anguille si les critères suivants sont respectés :

- dimensionnement proche ou similaire à celui des espèces d'eau calme ;
- présence d'orifices noyés ;

vitesse maximale dans les jets ou dans les orifices de 1,5 m/s maximum ;

présence d'une rugosité de fond.

Il conviendra de privilégier des dispositifs spécifiques adaptés aux tailles des anguilles présentes sur le bassin (plus de 60 cm) et aux capacités de reptation de l'espèce. Deux équipements sont préconisés :

- brosse à anguilles avec un écartement des faisceaux de 40/50 mm afin d'assurer le passage des individus présents.
- plots en béton, adaptés pour des anguilles de plus de 50 cm

Ces 2 dispositifs doivent être associés à un pendage latéral afin d'augmenter leur plage de fonctionnement et devront prévoir un bassin tampon anti-retour dès les premiers mètres de la rampe pour empêcher les anguilles de renoncer à franchir l'obstacle. Ces passes ne nécessitent qu'une alimentation de quelques l/s.

Ces dispositifs doivent être considérés comme des compléments pour des passes plurispécifiques ou difficilement franchissables par les anguilles. En aval des bassins, l'idéal serait d'équiper les ouvrages d'une passe toutes espèces sur la berge la plus attractive pour les autres poissons et de ce type de dispositif sur l'autre berge.

Dévalaison

La dévalaison concerne les installations hydroélectriques localisées dans le périmètre de la ZAP (Zone d'Actions Prioritaires définie dans le PGA national). Toutefois la ZAP a vocation à s'étendre lors de chaque actualisation du PGA (tous les 6 ans).

Le guide des prises d'eau ichtyocompatibles impose des grilles avec un espacement inter barreaux maximum de 2 cm, inclinées ou orientées vers une goulotte de dévalaison.

Truite

Montaison

L'efficacité des dispositifs de franchissement doit être optimale durant la période de migration / reproduction de l'espèce, soit une période comprise entre novembre et février. Il convient d'envisager les choix techniques suivants :

- Passes à bassins : longueur du bassin comprise entre 7 à 12 fois la largeur de l'échancrure / Profondeur mini 0,6 m / Chute de 30 cm max / Echancrure ou fente supérieure à 20 cm / Puissance dissipée inférieure à 200 W/m3.
- Rivière de contournement de type rangées périodiques : charge minimale de 20 cm sur le seuil / Chute maximale de 20 cm / Vitesse maximale de 3-4 m/s / Puissance inférieure à 300 W/m3.
- Rivière de contournement à enrochements régulièrement répartis : hauteur d'eau de 0,3 à 0,7 m / Pente de 5-7 % / Débit unitaire de 0,20-0,65 m3/s/m / Vitesse maximale dans les jets de 2 m/s / Puissance inférieure à 500-600 W/m3.
- Passes à ralentisseurs : ce dispositif est à réserver uniquement si les débits sont insuffisants pour les dispositifs présentés ci-dessus. Il s'agit généralement des têtes de bassin avec un enjeu salmonicole. Il convient de signaler que les passes à ralentisseurs sont sélectives des espèces possédant des capacités suffisantes de nage et d'endurance, c'est-à-dire les salmonidés de grande taille (en général, plus de 30 cm). Par conséquent, la sélectivité peut s'avérer importante sur les truites de petites tailles. Les ralentisseurs de fond suractifs avec le dimensionnement suivant sont les plus

utilisés : hauteur des ralentisseurs de 8-10 cm / Longueur de volée de 6-8 m / Tirant d'eau minimal de 10 cm / Pente maximale de 15-16% / Longueur de 3 m pour le bassin de repos. Une alternative est l'utilisation de ralentisseurs plans de largeur comprise entre 0,50 m et 0,70 m et une pente maximale de 20%

En absence de TCC, le dispositif doit être implanté dans la zone la plus attractive, à proximité immédiate de l'usine en général. L'accès pour l'entretien doit également être pris en compte.

En présence de TCC, plusieurs scénarii sont possibles. Une efficacité maximale nécessiterait l'équipement des 2 bras. Cette solution est possible mais coûteuse au regard d'un enjeu uniquement porté sur la truite.

C'est pourquoi la réalisation d'une seule passe est l'option la plus souvent envisagée. Le choix de son implantation, à l'usine ou au barrage, est fonction de plusieurs critères :

- potentiel de frayères en amont de l'ouvrage ;
- longueur et potentialité de frayères dans le tronçon court-circuité ;
- débit d'équipement, hydrologie et attractivité des 2 bras.

Par conséquent un équipement au barrage est à privilégier lorsque le TCC présente une longueur importante (>1 km) avec de fortes potentialités de frayères. Cette variante peut s'accompagner d'une mise en cohérence du débit réservé avec les fonctionnalités attendues par ce TCC (circulation et reproduction).

A l'inverse, un dispositif de franchissement s'avère plus pertinent à l'usine lorsque le débit d'équipement est important, la longueur et l'intérêt écologique du TCC faibles et les potentialités de frayères à l'amont fortes. Dans ce cas, il convient de minimiser le retard à l'accès aux zones de frayères.

Dévalaison

La truite est également concernée par la dévalaison. Les truites dévalent les cours d'eau au printemps pour les géniteurs et quelques alevins, mais aussi en automne pour les juvéniles, qui évitent la concurrence des géniteurs adultes remontant sur les zones de frayères.

Cyprinidés d'eau vive

Les cyprinidés d'eau vive regroupent les espèces rhéophiles, à bonne capacité de nages et exigeantes en termes d'habitats. On peut regrouper sous cette appellation le barbeau commun, le hotu, le spirlin et la vandoise.

Montaison

Il convient d'envisager les choix techniques suivants :

- Passes à bassins : longueur du bassin comprise entre 7 à 12 fois la largeur de l'échancrure / Profondeur minimale de 0,6 m / Chute maximale de 25 cm / Echancrure ou fente supérieure à 20 cm / Puissance dissipée inférieure à 150 W/m3
- Rivière de contournement de type rangées périodiques : charge minimale de 20 cm sur le seuil / Chute maximale de 20 cm / Vitesse maximale de 1,1-1,5 m/s / Puissance inférieure à 200W/m342
- Rivière de contournement à enrochements régulièrement répartis : hauteur d'eau de 0,3 à 0,8 m / Pente de 3-4% / Débit unitaire de 0,20-0,60 m3/s/m / Vitesse maximale dans les jets de 1,5 m/s / Puissance inférieure à 300-450W/m3

En absence de TCC, le dispositif doit être implanté dans la zone la plus attractive, à proximité immédiate de l'usine en général. L'accès pour l'entretien doit également être pris en compte.

En présence de TCC, il convient à minima de réaliser une passe à l'usine ou au barrage. Un équipement au barrage est à privilégier lorsque le TCC présente une longueur importante (>1 km) avec de fortes potentialités d'habitats pour ces espèces. Cette variante peut s'accompagner d'une mise en cohérence du débit réservé avec les fonctionnalités attendues par ce TCC (maintien des habitats de croissance et/ou reproduction).

Dévalaison

En l'état actuel des connaissances, le guide sur les prises d'eau ichtyocompatibles considère que la dévalaison ne semble pas problématique pour ces espèces potamodromes.

Espèces d'eau calme

On peut regrouper sous cette appellation les petits cyprinidés (ablette, gardon, goujon, brème), les percidés (perche, sandre) et le brochet.

Montaison

Il convient d'envisager les choix techniques suivants :

- Passe à bassins : la longueur du bassin comprise entre 7 à 12 fois la largeur de l'échancrure / Profondeur minimale de 0,6 m / Chute maximale de 20 cm / Echancrure ou fente supérieure à 20 cm / Puissance dissipée inférieure à 150 W/m3
- Rivière de contournement de type rangées périodiques : charge minimale de 20 cm sur le seuil / Chute maximale de 15 cm / Vitesse maximale de 1,1-1,5 m/s / Puissance inférieure à 150 W/m3
- Rivière de contournement à enrochements régulièrement répartis : hauteur d'eau de 0,2 à 0,8 m / Pente de 3-4 % / Débit unitaire de 0,10-0,45 m3/s/m / Vitesse maximale dans les jets de 1,5 m/s / Puissance inférieure à 200-300 W/m3

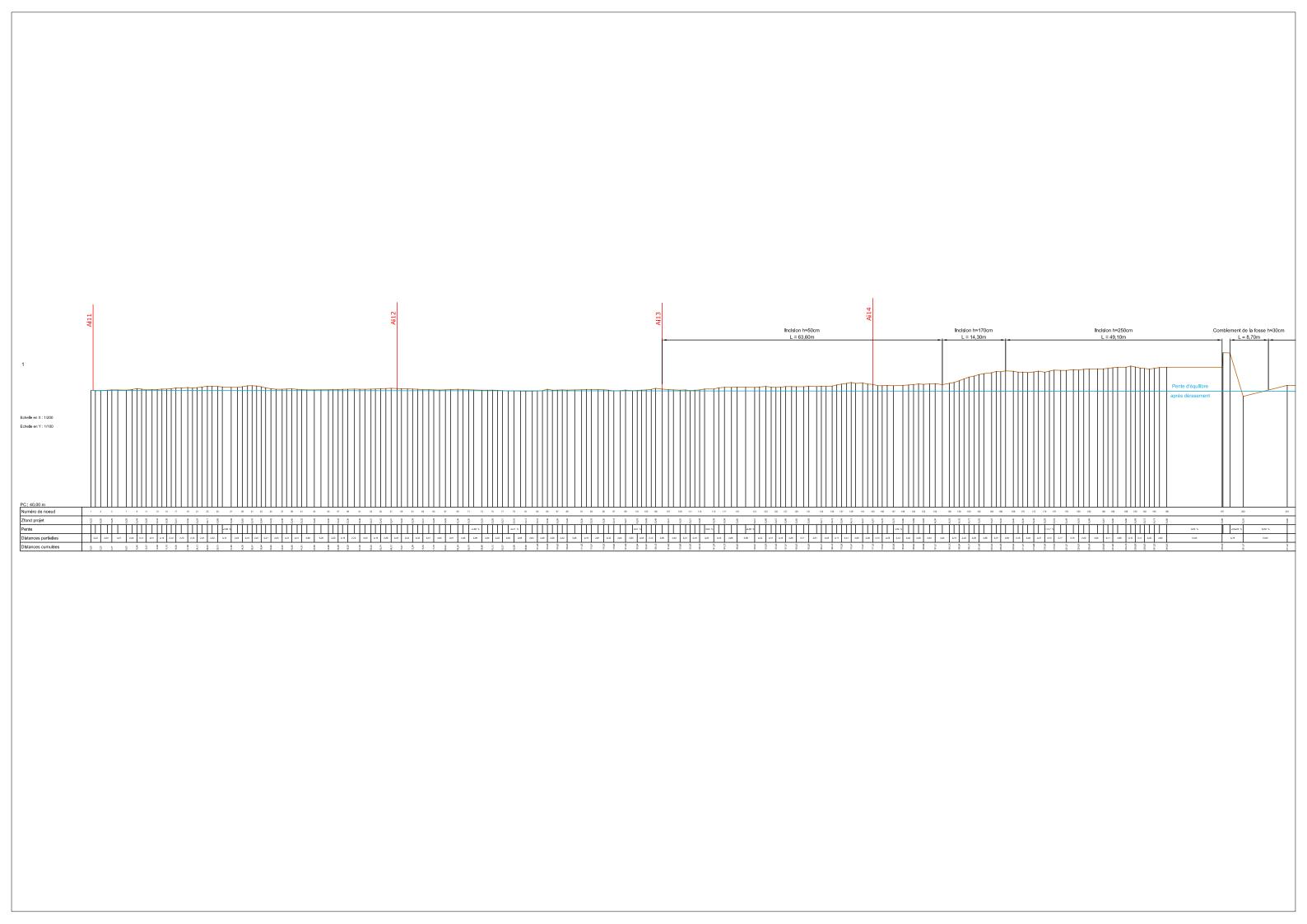
En absence de TCC, le dispositif doit être implanté dans la zone la plus attractive, à proximité immédiate de l'usine en général. L'accès pour l'entretien doit également être pris en compte.

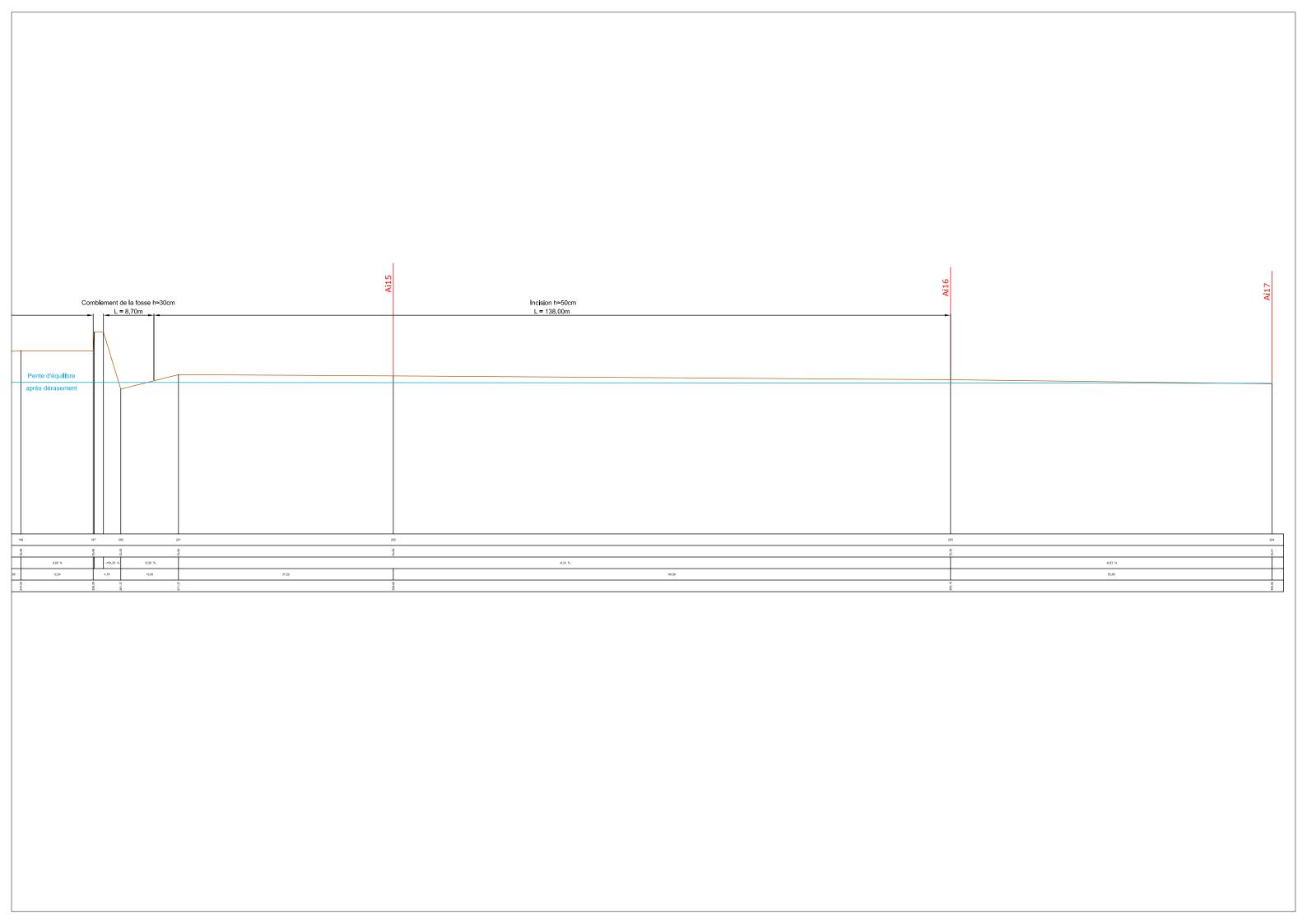
En présence de TCC, il convient à minima de réaliser une passe à l'usine ou au barrage. Un équipement au barrage est à privilégier lorsque le TCC présente une longueur importante (>1 km) avec de fortes potentialités d'habitats pour ces espèces. Cette variante peut s'accompagner d'une mise en cohérence du débit réservé avec les fonctionnalités attendues par ce TCC (maintien des habitats de croissance et/ou reproduction).

Dévalaison

En l'état actuel des connaissances, le guide sur les prises d'eau ichtyocompatibles considère que la dévalaison ne semble pas problématique pour ces espèces potamodromes.

6.3 Profils en long de l'Aisne au droit du seuil (amont / aval)





6.4 Principe de dimensionnement d'une rampe en enrochements régulièrement répartis

• Aspects hydrauliques

Les paramètres qui déterminent les caractéristiques de l'écoulement sont la pente I de la rampe, les dimensions caractéristiques des blocs : hauteur utile k (hauteur de la partie des blocs située au-dessus du fond moyen), largeur face à l'écoulement D, les espacements transversaux (d'axe à axe) ay et longitudinaux ax des blocs ainsi que la forme de la face opposée à l'écoulement (plus ou moins plane ou arrondie). On définit la concentration par C = D2/(ax . ay), la concentration maximale correspondant à des blocs jointifs étant égale à 1. Le tableau suivant donne la concentration pour différentes valeurs d'espacement relatif ax/D et ay/D.

| Espacement relatif ax/D ≈ ay/D | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Concentration C | 0.44 | 0.25 | 0.16 | 0.13 | 0.11 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |

Figure 21 : Correspondance entres espacements relatifs et concentration des blocs

Pour obtenir un écoulement suffisamment uniforme, la concentration doit être d'autant plus forte que la pente est élevée. A pente et hauteur d'eau données, le débit et les vitesses au sein de l'écoulement sont d'autant plus faibles que la concentration est forte.

On aura donc intérêt, d'un point de vue strictement piscicole, de travailler à des concentrations importantes. Par contre, pour des questions de maintenance et d'entretien, on aura intérêt à travailler au contraire à la concentration minimale demeurant compatible avec le passage du poisson.

Les concentrations les plus courantes se situent entre 0.06 (ax/D \approx ay/D \approx 4) et 0.16 (ax/D \approx ay/D \approx 2.5).

On peut distinguer trois configurations d'écoulement différentes (fluvial, en cascade, torrentiel) suivant les valeurs de la pente et la submersion relative des blocs (rapport hauteur d'eau moyenne sur hauteur utile des blocs h/k).

Dimensionnement piscicole

Dans ce type d'écoulement, les vitesses dans les jets entre les blocs augmentent avec la pente et diminuent avec la concentration mais il existe toujours dans les sillages derrière les blocs des zones à vitesses modérées voire nulles dans lesquelles le poisson est susceptible de trouver un abri. Par contre, lorsque la pente augmente, les gradients de vitesse entre ces zones à faibles vitesses et les jets deviennent de plus en plus intenses, les zones à l'abri des blocs deviennent de plus en plus agitées et ne peuvent plus constituer des zones de repos pour le poisson.

Hauteur d'eau minimale

La hauteur d'eau minimale de l'écoulement doit permettre la nage du poisson. Suivant les espèces cibles considérées, on adoptera une hauteur d'eau minimale de 0.2 m à 0.4 m. La hauteur d'eau est déterminée avant tout par le débit unitaire, la pente et les caractéristiques des blocs (concentration, forme de la section horizontale).

Vitesse ponctuelle maximale et vitesse débitante

Les champs de vitesses dans ce type d'écoulement sont très hétérogènes. On peut caractériser ces champs de vitesses par la vitesse maximale observée dans l'écoulement, et

par la vitesse débitante calculée à partir de la section totale d'écoulement ou à partir de la section minimale d'écoulement (passage libre entre les blocs), zone de passage obligée du poisson. Ces vitesses sont fonction de la pente, de la concentration et du débit unitaire. Les valeurs maximales admissibles sont fonction des capacités de nage des espèces cibles.

Puissance dissipée maximale

Les poissons, en particulier les petites espèces, doivent pouvoir s'abriter et se reposer derrière les blocs. Cela implique que le niveau de turbulence reste limité. Comme on l'a vu plus haut, la puissance dissipée volumique constitue un paramètre facilement accessible quantifiant les conditions d'agitation dans un dispositif de franchissement. Elle est proportionnelle à la pente et à la vitesse débitante. La puissance dissipée maximale admissible est fonction des espèces-cibles. Le processus de dissipation de l'énergie est plus uniformément réparti au sein d'enrochements régulièrement répartis que dans le cas des passes à bassins, le ratio entre vitesse maximale et vitesse débitante étant beaucoup plus faible (de l'ordre de 1.5 à 3 au lieu de 7 à 11). On peut admettre des puissances dissipées maximales de l'ordre de grandeur du double de ce qui est admis dans une passe à bassins successifs classique, c'est-à-dire grosso modo de 200 à 600 watts/m³ suivant les espèces.

En pratique, c'est le plus souvent la puissance dissipée maximale admissible (et non la vitesse maximale admissible) qui détermine la limite de fonctionnement des dispositifs en termes de pente et de débit.

| Groupe d'espèces | Vitesses maximales dans les jets (m/s) | Hauteur d'eau minimale (m) | Puissances dissipées maximales (W/m³) |
|----------------------------------|---|-------------------------------|--|
| Truites fario | 2.0 | 0.3 | 500-600 |
| Ombres, cyprinidés rhéophiles | 2.0 | 0.3 | 300-450 |
| Petites espèces | 1.5 | 0.2 | 200-300 |

Figure 22 : Critères hydrauliques à respecter selon les groupes d'espèces pour ce type d'enrochement

Caractéristiques géométriques des enrochements

Caractéristiques des blocs (D, k)

On adopte généralement pour les blocs des largeurs face à l'écoulement **D** compris 0.3 m et 0.6 m. Le compromis entre « l'efficacité hydraulique » et les problèmes d'entretien et de stabilité amène à adopter des hauteurs utiles **k** de 0.50 à 0.8 m, et des rapports de forme **k/D** de l'ordre de 1.0 à 2 au maximum.

Plus la hauteur des blocs est importante, plus le dispositif est hydrauliquement efficace mais plus il est sujet au colmatage et à la formation d'embâcles. Si le dispositif n'est pas protégé au niveau de sa prise d'eau, il est préférable que les blocs soient rapidement submergés lors des crues pour ne pas retenir trop fréquemment les corps flottants.

On orientera les blocs la face la plus plate et large face à l'écoulement, ceci dans le but, pour une concentration et une hauteur d'eau données, de réduire au maximum le débit transitant dans l'ouvrage, les vitesses et surtout les puissances dissipées.

Concentration des blocs

D'une manière générale, plus la pente est élevée, plus la concentration doit être élevée. Pour des questions d'entretien, on limitera cependant la concentration à des valeurs de

l'ordre de 0.16, c'est-à-dire à des espacements latéraux et longitudinaux relatifs de l'ordre de 2.5, soit des espaces libres entre blocs de 1.5 fois la largeur de ces blocs.

• Principe de dimensionnement

Le dimensionnement consiste à déterminer, pour une espèce cible, la gamme de débit acceptable pour une géométrie (concentration et dimensions des blocs) et une pente données.

Le choix de l'espèce cible dicte les critères hydrauliques à respecter. Dans le cas de plusieurs espèce-cibles, les critères les plus pénalisants, à la fois sur la hauteur minimale, la vitesse maximale et la puissance dissipée maximale, doivent être pris en compte.

Pour une pente et une géométrie données, le débit unitaire minimal est déterminé tout d'abord par la hauteur d'eau minimale à respecter. Le débit unitaire minimal peut varier de 100 - 150 l/s/m pour les petites espèces et les faibles pentes (quelques %) à plus de 300 350 l/s/m pour les grosses espèces et les fortes pentes.

Le débit unitaire maximal acceptable est ensuite déterminé soit par la vitesse maximale, soit par la puissance dissipée maximale, soit par la hauteur des blocs, elle-même limitée par des questions de stabilité et d'entretien. En effet, lorsque les blocs sont submergés, ils perdent progressivement leur efficacité hydraulique. La franchissabilité devient plus aléatoire, notamment pour les petites espèces.

La plage de débit unitaire (et de hauteur d'eau) acceptable ainsi définie a tendance à se réduire progressivement lorsque la pente augmente. La pente maximale admissible du dispositif est la pente au-delà de laquelle cette gamme devient trop restreinte, voire nulle.

Une augmentation de la concentration a pour effet de diminuer les débits unitaires minimal et maximal et surtout de diminuer la vitesse et la puissance dissipée maximales. Pour une concentration donnée, la taille des blocs n'a pas beaucoup d'influence.

• Exemple de franchissabilité par groupe d'espèces

Le tableau suivant donne suivant le groupe d'espèces considéré la gamme de débits unitaires acceptables en fonction de la pente, pour des blocs de hauteur utile k = 0.80 m, la face opposée à l'écoulement plutôt plane, de largeur D = 0.5 m et disposés avec une concentration C = 0.13.

Pour obtenir le débit unitaire, la vitesse maximale et la puissance dissipée au sein de l'écoulement en fonction de la pente et la hauteur d'eau, on adopte une concentration de 0.13, des blocs de forme plane et de largeur 0.5 m face à l'écoulement.

On remarquera que c'est avant tout la pente qui détermine la puissance dissipée : les valeurs dépassent 400 watts/m³ dès que la pente devient supérieure à 5%.

La plage de fonctionnement moyenne en terme de hauteur d'eau est de l'ordre de 40 cm, et correspond à la différence entre la profondeur minimale acceptable pour l'espèce considérée et la hauteur utile des blocs. La hauteur utile des blocs de 0.80 m est un maximum : compte tenu de la nécessité d'ancrer les blocs dans le radier d'une hauteur de l'ordre de la moitié leur hauteur totale, cette hauteur utile correspond à des blocs de hauteur totale de 1.6 m. Si on limite, pour des problèmes d'entretien, la hauteur utile des blocs à une soixantaine de cm, la plage de fonctionnement sera plus réduite, de l'ordre d'une vingtaine à une trentaine de cm.

| Groupe d'espèces | Pente | Débit unitaire minimal et maximal (m³/s/m) | Hauteur d'eau (m) | Vitesse débitante maximale (m/s) | Vitesse maximale (m/s) | Puissance dissipée (W/m³) |
|---------------------|----------|--|----------------------|---|------------------------------|------------------------------|
| Truite fario | 7% (max) | 0.25-0.60 | 0.30-0.70 | 1.30-1.40 | 1.60- 2.00 | 550- 600 |
| | 6% | 0.20-0.65 | 0.30 -0.80 | 1.20-1.30 | 1.40-1.90 | 400-500 |
| | 5% | 0.20-0.60 | 0.30- 0.80 | 1.00-1.20 | 1.30-1.70 | 300-350 |
| Ombre, | 6% (max) | 0.20-0.45 | 0.30-0.60 | 1.10-1.30 | 1.40-1.80 | 400- 450 |
| cyprinidés | 5% | 0.20-0.60 | 0.30- 0.80 | 1.00-1.20 | 1.30-1.70 | 300-350 |
| rhéophiles | 4% | 0.20-0.50 | 0.30- 0.80 | 0.90-1.00 | 1.20-1.60 | 200-250 |
| Petites | 4% (max) | 0.10-0.45 | 0.20-0.70 | 0.90-1.00 | 1.00- 1.50 | 200-250 |
| espèces | 3% | 0.10-0.45 | 0.20-0.80 | 0.80-0.90 | 0.90-1.30 | 150-150 |
| Toutes les | 4% | 0.25-0.45 | 0.40-0.70 | 0.80-1.0 | 1.30- 1.50 | 200-250 |
| espèces | 3% | 0.20-0.45 | 0.40- 0.80 | 0.80-0.90 | 1.10-1.30 | 150-150 |

Figure 23 : Franchissabilité des enrochements régulièrement répartis pour les différents groupes d'espèces (en gras la valeur du paramètre limitant)