

Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques

Cas de la faune piscicole

**Economie
Environnement
Conception**

96

La prise en compte des cours d'eau dans les projets d'infrastructures linéaires s'est longtemps limitée à l'étude des enjeux hydrauliques et à la prise en compte des risques d'inondations. De ce fait, leur franchissement et aménagement étaient réalisés de manière à assurer la pérennité des projets sans se soucier véritablement des autres enjeux associés aux milieux aquatiques, en particulier des fonctions biologiques qu'ils assurent : corridor de déplacement de la faune, zones préférentielles de reproduction, d'alimentation, d'abris ou de repos pour de nombreuses espèces animales terrestres, milieux de vie des espèces aquatiques.

La « loi pêche » de 1984 [1], la « loi sur l'eau » de 1992 [2], la « Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) » de 2000 [3] et la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 [4] ont enrichi cette approche purement hydraulique du franchissement des cours d'eau. Il importe désormais de rétablir la continuité écologique au sein de ces infrastructures, via la mise en place d'ouvrages adaptés aux enjeux environnementaux comme aux risques hydrauliques.

Sommaire

1- Introduction	2
2 - Les ouvrages hydrauliques concernés.....	3
3 - Le constat.....	3
4 - Éléments clés de la réglementation.....	6
5 - Paramètres à prendre en compte lors du franchissement d'un cours d'eau.....	6
Conclusion..	21
Glossaire.....	22
Bibliographie	23

1- Introduction

Les objectifs de la DCE de non-dégradation supplémentaire de l'état chimique et écologique des masses d'eau [3] et d'atteinte du bon état d'ici 2015 ou 2021, s'imposent désormais aux États membres de la communauté européenne. Ils ont été retranscrits en droit français par la loi de 2004 [5, 6]. Désormais, le cours d'eau doit être considéré comme le lieu de vie d'une faune ayant des exigences parfois élevées en termes de :

- qualité d'habitat : composition physico-chimique et biologique des eaux, nature et structure du substrat et des berges, diversité des faciès d'écoulements et de la ripisylve, etc. ;
- continuité longitudinale : axe amont/aval ;
- et/ou de continuité latérale : relation chenal principal/chenaux secondaires et annexes hydrauliques.

Dans ce nouveau contexte réglementaire, les concepteurs de projet doivent adapter leurs méthodes de travail. En effet, des exigences en termes de moyens et de résultats s'imposent aux maîtres d'ouvrages *via* de nombreux **arrêtés de prescriptions générales** auxquels sont désormais soumis les Installations, Ouvrages, Travaux et Activités (I.O.T.A.) en rivière.

Les infrastructures de transport font partie de ces projets susceptibles d'impacter les cours d'eau qu'ils franchissent. Parmi tous les ouvrages hydrauliques susceptibles d'être utilisés, les petits ouvrages sont à la fois les plus fréquents et les plus « impactants », car faisant l'objet d'études souvent moins élaborées que les grands ouvrages. Les solutions retenues sont généralement les plus simples et financièrement les moins coûteuses. Or, les risques d'impact, tant en phase travaux que d'exploitation, sont nombreux :

- altération de la qualité physico-chimique et biologique des eaux ;
- modification de la morphodynamique du cours d'eau et augmentation des risques d'inondation ;
- destruction d'habitats nécessaires à l'accomplissement du cycle de vie d'espèces aquatiques ou terrestres, au droit de l'ouvrage hydraulique et des dérivations, rescindements, remblais ou déblais associés ;
- et **interruption des relations entre habitats**, altérant les conditions de circulation des individus et par là même, la connectivité indispensable au maintien des populations en bon état de conservation. Ceci affecte plus particulièrement les espèces « migratrices » terrestres et aquatiques (vison d'Europe, anguille, brochet, saumon atlantique, truite fario, etc.).

Au regard d'une part, de l'évolution de la réglementation et de l'obligation de résultat imposée par celle-ci [5, 6] et d'autre part, de l'amélioration des connaissances scientifiques sur le comportement des poissons et les modalités d'équipements des ouvrages hydrauliques [15, 16, 17, 18, 19, 20], il est apparu nécessaire de préciser les prescriptions techniques à respecter pour que les nouveaux ouvrages ne constituent plus des obstacles à la libre circulation de la faune piscicole.

Cette note technique s'intéresse uniquement aux **nouveaux projets** et aborde plus particulièrement les modalités de choix, de dimensionnement, d'équipement et d'installation des petits ouvrages hydrauliques. Une attention toute particulière est portée à la **préservation de la continuité écologique au sein des ouvrages fermés** (dits « à radier » ou « avec assise dans le lit mineur »), ceci étant une obligation réglementaire pour tout I.O.T.A. modifiant le profil en long et en travers d'un cours d'eau [8]. Dans ce cadre, la note présente les grands principes à respecter *a minima* et les paramètres à prendre en compte lors de la conception et l'installation de ces ouvrages.

Nota :

- Cette note ne traite pas le cas des grands ouvrages d'art comme les ponts et viaducs, ces derniers étant abordés dans le guide technique « cours d'eau et ponts » du Sétra [9], ni celui de la restauration d'ouvrages hydrauliques existants qui fera l'objet d'un guide spécifique portant sur la « requalification environnementale » [10]. De même, elle n'aborde pas la phase travaux, qui peut se révéler dommageable pour les milieux aquatiques si des mesures de protection ne sont pas mises en œuvre. Cette phase a fait l'objet d'un guide Sétra en 2007 [11] qui doit être complété par de nouvelles publications actuellement en cours de finalisation.

- La problématique spécifique au maintien de la libre circulation des poissons doit faire partie intégrante de la problématique plus générale liée au maintien de la « continuité écologique » et concernant à la fois les **espèces aquatiques et terrestres**. En effet, les berges de cours d'eau constituent la plupart du temps, des corridors de déplacement privilégiés pour la faune terrestre. La conception des ouvrages doit donc **intégrer l'ensemble de ces enjeux et non traiter les questions de manière dissociée**. A cette fin, le concepteur se réfèrera aux guides techniques: « *Aménagements et mesures pour la petite faune* » [12] et « *Passages pour la grande faune* » [13] du Sétra. Ces derniers donnent des indications précises sur les gabarits à respecter pour les ouvrages hydrauliques afin de les rendre également franchissables par la faune terrestre.

2 - Les ouvrages hydrauliques concernés

Les petits ouvrages hydrauliques se définissent comme des ouvrages qui, de part leurs dimensions, ne constituent pas des ouvrages d'art (ponts ou viaducs). Dans le cadre d'un nouveau projet d'infrastructure de transport, il s'agira principalement **d'ouvrages présentant une ouverture inférieure à 4 m² de section** susceptibles d'avoir un impact fort sur les habitats et/ou la luminosité du cours d'eau, tels que les PIPO (*Passage Inférieur en Portique Ouvert*), les PICF (*Passage Inférieur en Cadre Fermé*), les ponts voûte, les buses-arches et les buses (Figure 1).

On les retrouve tant au droit des petites infrastructures telles que les chemins agricoles ou forestiers, les chemins vicinaux ou communaux ou les pistes cyclables, que des routes ou autoroutes à fort trafic.

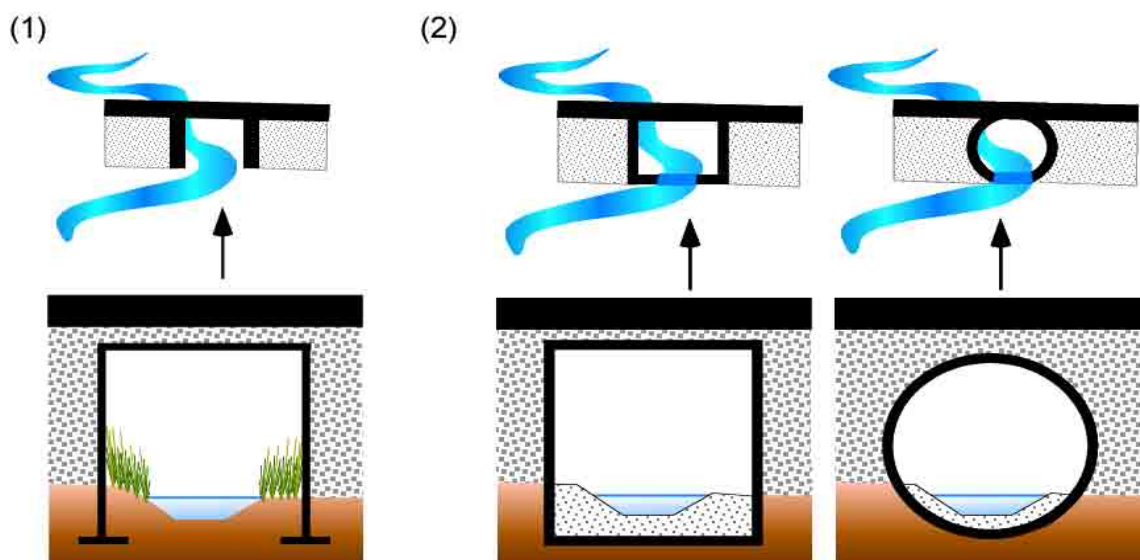


Figure 1 : Principes d'implantation des ouvrages de franchissement hydraulique ouverts et fermés : (1) ouvrage (ou portique) ouvert : pas de modification du lit mineur, fond et berges « naturels », pas de dérivation provisoire en phase travaux ; (2) ouvrages (ou cadres) fermés : modification du lit mineur, reconstitution du fond et des berges, dérivation provisoire en phase travaux.

3 - Le constat

Un inventaire de petits ouvrages hydrauliques réalisé pour le compte du Sétra dans trois départements lorrains [14], a montré que 71% à 91% des ouvrages répertoriés sur les petits cours d'eau de première catégorie (cours d'eaux salmonicoles) étaient infranchissables pour la faune piscicole (photographies 1 et 2).

Les raisons principales de ces dysfonctionnements sont liées à la présence d'**ouvrages fermés** nécessitant la réalisation de travaux dans le lit mineur du cours d'eau (figure 1.(2)) : mise en place du radier de l'ouvrage, dérivation provisoire ou définitive du cours d'eau, remblais ou déblais en lit majeur.

Mal calés ou mal dimensionnés, ils constituent alors bien souvent un obstacle à la continuité écologique :

- si le positionnement du radier est calé indépendamment de la pente naturelle du cours d'eau, l'ouvrage génère des ruptures de pente et donc des érosions régressives ou progressives qui se traduisent par la création de chutes à l'aval ou en amont de l'ouvrage, incompatibles avec les capacités de saut des poissons (figure 2 et photographies 1 et 2) ;



Photographies 1 et 2 : exemples d'ouvrages hydrauliques sous voie communale et voie forestière, incompatibles avec le principe de continuité écologique (source : CETE de l'Est).

- si la largeur de l'ouvrage est inférieure à celle du lit mineur du cours d'eau, ce dernier engendre des vitesses de courant incompatibles avec les capacités de nage des poissons (photographie 3). Ces ouvrages constituent un obstacle d'autant plus infranchissable pour les poissons que la rugosité du fond du radier est faible et que les écoulements sont homogènes, sans zones de repos pour les individus.

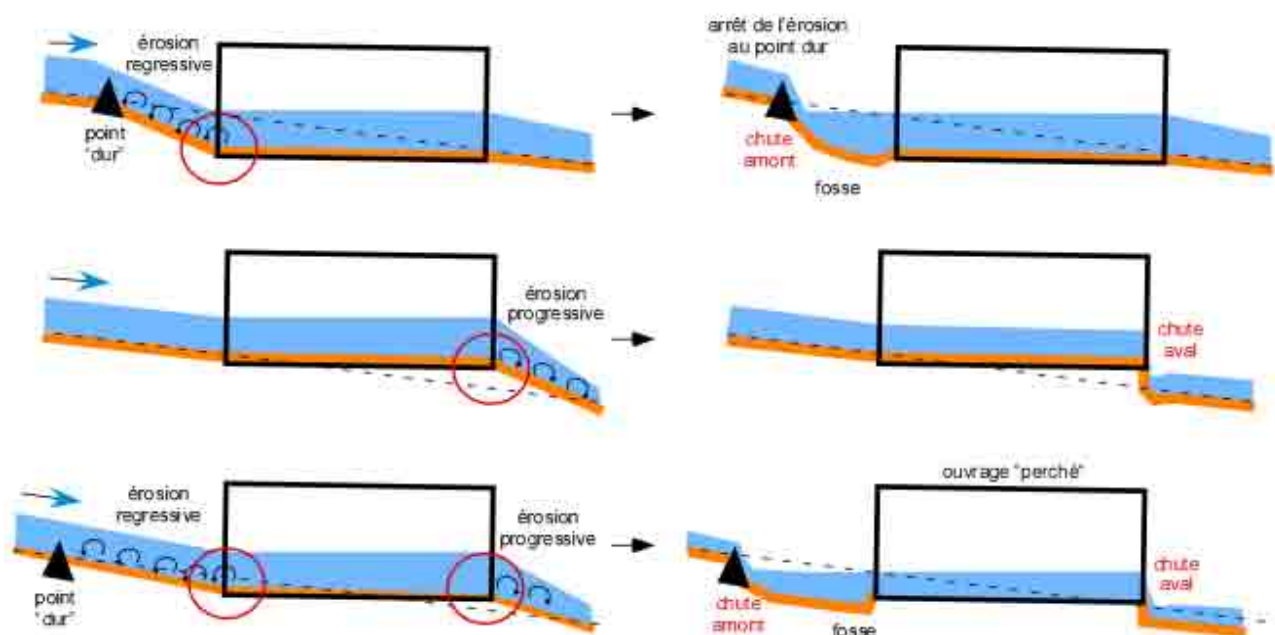
En outre, de nombreux exemples montrent qu'une sous-estimation de la mobilité et de la dynamique du cours d'eau conduit, une fois les travaux terminés (ou quelques années plus tard), à la réalisation de travaux de confortement des berges soumises à l'érosion du cours d'eau. Ces travaux d'entretien lourds et coûteux vont souvent à l'encontre des objectifs initiaux qui étaient de préserver le fonctionnement naturel du cours d'eau et la continuité écologique ;

- si la largeur de l'ouvrage est très supérieure à celle du lit mineur du cours d'eau, ce dernier engendre un étalement de la lame d'eau qui peut devenir incompatible avec les besoins en hauteur d'eau des poissons pour se déplacer (photographie 4).



Photographies 3 et 4 : exemples d'ouvrages routiers mal calés ou mal dimensionnés, engendrant une interruption de la circulation des poissons : vitesses de courant supérieures à la capacité de nage des poissons ; étalement de la lame d'eau et absence de rugosité au fond du radier (sources : Onema, Pôle écohydraulique et Service Départemental de la Gironde).

(1) exemples de phénomènes d'érosion à l'origine d'une chute infranchissable par les poissons



(2) exemple de phénomène d'érosion engendrant une altération de l'habitat pour les poissons

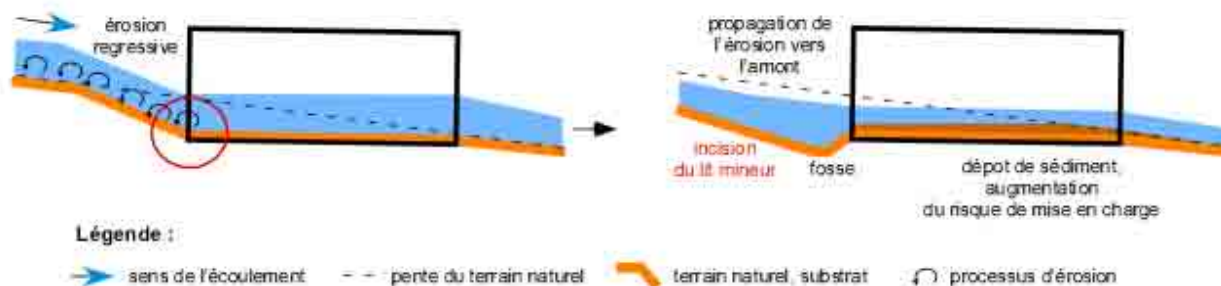


Figure 2 : profils en long de cours d'eau et ouvrages hydrauliques fermés (OH) : exemples des conséquences d'un calage « à l'horizontal » de l'ouvrage, indépendamment de la pente naturelle du cours d'eau.

Plus la pente naturelle du cours d'eau et/ou celle de l'ouvrage sont élevées ($> 0,5 \%$), plus la reconstitution du lit du cours d'eau et le maintien de la circulation des poissons au sein de l'ouvrage et des dérivations associées présentent des difficultés techniques. Celles-ci sont directement liées :

- à la conception de l'ouvrage (nature, dimensions, stabilité et fonctionnalité des équipements mis en place) ;
- au régime hydraulique et aux conditions morphologiques du cours d'eau ;
- aux capacités de nage et de saut des espèces présentes.

Les dysfonctionnements constatés sont récurrents dans les ouvrages franchissant des cours d'eau accueillant de la faune piscicole à faible capacité de nage et de saut (ex : anguille, lamproie de Planer, chabot) ou dont la pente naturelle est élevée ($\geq 3\%$).

L'effet « obstacle » des ouvrages hydrauliques peut soit engendrer une interruption totale de la libre circulation des poissons ; soit contribuer, de part leur sélectivité, à favoriser certaines espèces ou classes d'âge et limiter ainsi le nombre d'espèces et d'individus qui pourront accomplir entièrement leur cycle de vie (reproduction, alimentation, croissance).

4 - Éléments clés de la réglementation¹

La DCE a pour objectif majeur la non dégradation supplémentaire de l'état chimique et écologique des masses d'eau ou « *prévention de la détérioration de la qualité des eaux* » [3, 5, 6]. Elle donne des orientations générales parmi lesquelles le maintien ou la restauration de la continuité écologique (circulation des sédiments et de la faune aquatique) sont une des priorités. Ainsi :

- l'arrêté de prescriptions générales du 28 novembre 2007 [8] rappelle que cette obligation de maintien de la circulation de la faune s'applique à **tous les cours d'eau**. Elle précise les **moyens à mettre en oeuvre afin d'assurer la franchissabilité des ouvrages par les poissons**. A titre d'exemple : « *les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement...doivent être compatibles avec la capacité de nage des espèces présentes afin de ne pas constituer un obstacle à la continuité écologique ; le radier de l'ouvrage, s'il existe, doit être enterré de 30 cm au-dessous du lit du cours d'eau et recouvert d'un substrat de même nature que celui du cours d'eau,...* » ;
- la circulaire du 25 janvier 2010 [21] vient rappeler l'enjeu majeur que représente la franchissabilité des ouvrages hydrauliques dans la préservation de la biodiversité.

En outre, les documents de planification (SDAGE, SAGE) identifient les cours d'eau en « très bon état écologique », jouant le rôle de « réservoirs biologiques » et/ou « d'axes à migrateurs amphihalins », classés au titre de l'article L. 214-17 (1° et 2° de l'alinéa I) du Code de l'Environnement [22]. Ces cours d'eau présentent de très forts enjeux écologiques reconnus auprès des instances de bassin. Lors de leur franchissement, il convient d'être plus particulièrement attentif dans le choix et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, afin d'éviter tout impact de l'infrastructure sur leurs composantes physiques et biologiques. Sur ces cours d'eau, **la mise en place d'ouvrages sans assise dans le lit mineur et préservant les berges (PIPO, etc.) doit être généralisée sauf cas exceptionnel d'impossibilités techniques**.

Nota : Dans le cas particulier des infrastructures existantes, le maître d'ouvrage a l'obligation de restaurer la circulation des poissons au droit d'un ouvrage de franchissement hydraulique dès lors qu'il constitue un obstacle et est situé sur un cours d'eau classé à cet effet².

5 - Paramètres à prendre en compte lors du franchissement d'un cours d'eau

La capacité de franchissement d'un obstacle par les poissons est extrêmement variable d'une espèce à l'autre, voire entre individus d'une même espèce. Elle dépend à la fois :

- de paramètres abiotiques liés au milieu tels que la vitesse du courant, la hauteur d'eau, la présence d'un obstacle à franchir (chute ou radier), la qualité et la température de l'eau, l'éclairement, etc. ;
- de paramètres biologiques propres à chaque espèce (capacités de nage et de saut) et à chaque individu de la population (état physiologique, taille, âge, etc.).

Parmi ces paramètres, certains restent indépendants de l'ouvrage: une mauvaise qualité physico-chimique de l'eau, une température trop basse ou trop haute, un étiage sévère, un mauvais état physiologique des individus, etc. Bien que déterminants, il est impossible pour un maître d'ouvrage de les modifier. Aussi, nous retiendrons dans la suite de cette note, les paramètres sur lesquels il est possible d'influer directement en effectuant certains choix techniques, à savoir :

- la nature (ou type) de l'ouvrage ;
- sa géométrie et sa transparence hydraulique ;

¹ Pour une synthèse exhaustive des conditions d'application de la loi sur l'eau, se référer au Guide technique du Sétra [23] et à son addendum [24], ainsi qu'aux « lois Grenelle I et II » [25 et 26] et aux 3 guides attenants sur la « Trame verte et bleue ».

² Cf. obligations inhérentes au classement des cours d'eau au titre (1) de l'article 2 alinéa 5 de la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique ; (2) du I - 1° alinéa de l'article L. 214-17 du code de l'environnement ; ou (3) ou du I - 2° alinéa de l'article L. 214-17 du CE ou de l'article L. 432-6 du code de l'environnement.

- les vitesses d'écoulement et hauteurs d'eau à différents débits ;
- la luminosité.

Ces paramètres variant en fonction de chaque milieu traversé, il est proposé de suivre les quatre étapes suivantes afin de les définir au mieux :

- étape 1 : choix du type d'ouvrage (nature) ;
- étape 2 : dimensionnement de l'ouvrage (géométrie, transparence hydraulique) ;
- étape 3 : positionnement (ou calage altimétrique) de l'ouvrage ;
- étape 4 : équipement de l'ouvrage (vitesse du courant, hauteur d'eau, luminosité).

5.1 - Choix du type d'ouvrage (nature)

La démarche doit se conformer au respect de la séquence **éviter / réduire / compenser**. Pour les ouvrages hydrauliques présentant une ouverture supérieure à 4 m² de section, l'installation d'ouvrages ouverts (sans assise dans le lit mineur) est à prévoir sauf impossibilités techniques justifiées. Pour les petits ouvrages d'ouverture inférieure à 4 m² de section, le choix doit être effectué en fonction :

- des contraintes techniques et de fonctionnalité de l'infrastructure ;
- des composantes physiques et biologiques du cours d'eau à franchir, et notamment de ses **enjeux écologiques** ;
- des autres fonctions et usages à rétablir (zone d'expansion des crues, piétons, animaux, etc.) ;
- du coût.

Tous les ouvrages ne permettent pas de prendre en compte à la fois l'ensemble de ces contraintes et de préserver les enjeux écologiques associés à un cours d'eau et à son bassin versant. A titre indicatif, une buse, même de grand diamètre, est difficilement compatible avec le rétablissement d'un passage piétons ou de faune terrestre. En revanche, elle peut convenir pour un rétablissement hydraulique qui assurera sous certaines conditions, la libre circulation des poissons et des sédiments.



Quelques exemples illustrent la difficulté de rétablir l'ensemble des fonctionnalités dans un ouvrage inadapté (photographie 5). Il convient donc de les choisir sur la base d'un état initial complet.

Photographie 5 : Exemple d'aménagement inadapté dans un ouvrage type buse-arche : le gabarit nécessaire au rétablissement du passage pêcheur n'est « disponible » qu'au centre de l'ouvrage ce qui entraîne des problèmes hydrauliques, les fondations du passage bloquant les embâcles la section d'écoulement s'en trouve réduite (source : CETE de l'Est).

A cette fin, il importe parallèlement aux premières études techniques, d'évaluer les enjeux écologiques associés aux cours d'eau. Cela nécessite :

- d'effectuer la synthèse des classements, zonages et données disponibles sur chaque cours d'eau ;
- d'étudier leur morphodynamique et notamment leur espace de mobilité et régime hydrologique ;
- d'inventorier la flore et la faune présentes (plantes, mammifères, amphibiens, reptiles, écrevisses, poissons, insectes, mollusques, ...). Un échantillonnage du peuplement de poissons doit notamment être effectué par pêche électrique si des données récentes ne sont pas disponibles. Quel que soit le cours d'eau

considéré, le maintien de la circulation des poissons dans l'ouvrage et les dérivations associées sera obligatoire, dès lors que leur présence dans le cours d'eau est confirmée.

Lorsque le milieu présente de **très forts enjeux hydrauliques et/ou écologiques** (exemples : cours d'eau à forte capacité d'érosion et/ou dont la pente est supérieure ou égale à 3%; cours d'eau classé au titre du L. 432-6 ou du L. 214-17 du Code de l'Environnement ; cours d'eau identifié dans le SDAGE en très bon état écologique ou jouant le rôle de réservoir biologique ou d'axe migrateur ; site classé Natura 2000 ou inclus dans une ZNIEFF ; présence d'espèces ou d'habitats d'intérêt communautaire prioritaire ; etc.), **la recherche de mesures d'évitement des impacts sur le cours d'eau s'impose**. Il est alors vivement conseillé :

- de rechercher une **alternative au tracé** pré-défini ;
- à défaut, de mettre en place des **ouvrages ouverts présentant la plus grande transparence hydraulique**, ces derniers ayant le double avantage (1) de préserver le lit mineur et les berges, voire dans certains cas la ripisylve et le bassin versant associé au cours d'eau (passage à l'aide d'un viaduc ou d'un pont poutre) ; (2) d'éviter l'installation, au sein des ouvrages, de dispositifs lourds et coûteux de protection des berges, de dissipation d'énergie et de rétablissement de la circulation de la faune, ces fonctions étant naturellement maintenues.

En prenant quelques précautions d'usage lors des travaux (photographie 6), la morphologie du lit mineur ne subit aucune perturbation, ses enjeux et fonctions sont préservés et les modalités de circulation des poissons ne sont pas altérées (figure 1.(1)).

Ceci reste vrai tant que la section de l'ouvrage respecte le gabarit nécessaire à l'écoulement des crues sans mettre l'ouvrage en charge et rétablit de manière satisfaisantes les différentes fonctions que doit assurer l'ouvrage (passage petite faune, grande faune, piétons, ...).



Photographie 6 : exemple de pont provisoire mis en place en phase chantier, préservant le lit mineur et les berges du cours d'eau (source : Onema, Délégation Interrégionale Sud Ouest).

Lorsque le milieu est faiblement pentu ($< 0,5\%$) et présente peu d'enjeux hydrauliques ou écologiques, un ouvrage fermé peut être envisagé. Dans ce cas, il faut donner la préférence aux **ouvrages cadres par rapport aux buses**, en particulier si plusieurs fonctions et usages y sont associées (passages faune, piétons, chevaux, cycliste, ...).

5.2 - Dimensionnement de l'ouvrage

Une fois l'ouvrage choisi, il convient de le dimensionner en tenant compte des principes suivants :

- intégrer la dynamique et la mobilité du cours d'eau [27, 28] ;
- lui donner un gabarit assurant la « *plus grande transparence hydraulique et écologique* » [27, 29] ;
- vérifier que le gabarit de l'ouvrage respecte les caractéristiques minimales pour le rétablissement des diverses fonctions et usages qui peuvent être associés au passage hydraulique.

Ces principes de dimensionnement nécessitent d'être pris en compte le plus en amont possible de l'élaboration du projet, aux étapes des études d'environnement (avant-projet, études préalables), de l'étude d'impact, du dossier des engagements de l'État, des dossiers d'enquêtes publiques et rapports d'enquête, etc.

5.2.1 - Dynamique et mobilité du cours d'eau

Au regard de l'obligation d'éviter les impacts avant de les corriger ou compenser, il est vivement conseillé d'anticiper autant que possible les éventuels déplacements du lit mineur **lors des études antérieures au projet**, et d'adapter le dimensionnement de l'ouvrage à l'espace de mobilité du cours d'eau [27].

Lorsque des travaux de confortement des berges sont envisagés, la réglementation demande à ce que « *l'impact du projet sur l'espace de mobilité soit évalué par l'étude d'incidence en tenant compte de la connaissance de l'évolution historique du cours d'eau et de la présence des ouvrages et aménagements significatifs, à l'exception des ouvrages et aménagements à caractère provisoire, faisant obstacle à la mobilité du lit mineur. Cette évaluation est conduite sur un secteur représentatif du fonctionnement géomorphologique du cours d'eau en amont et en aval du site, sur une longueur minimale totale de 5 kilomètres » [29].*

Cette étude dite « **diachronique** » peut être réalisée par comparaison de cartes ou de photos aériennes visualisant l'évolution du cours d'eau dans le temps.

5.2.2 - Transparence hydraulique

La réglementation précise que la plus grande transparence hydraulique est recherch  e afin de ne pas engendrer de perturbation significative du régime hydraulique du cours d'eau, de ne pas réduire les capacités naturelles d'expansion des crues dans le lit majeur, de ne pas aggraver les conséquences des inondations et de ne pas constituer de danger pour la sécurité publique en cas de crue. Ainsi « *Les installations, ouvrages ou remblais doivent être conçus ou implantés de façon à réduire au maximum la perte de capacité de stockage des eaux de crue, l'augmentation du débit à l'aval de leur implantation, la surélévation de la ligne d'eau ou l'augmentation de l'emprise des zones inondables à l'amont de leur implantation. Afin qu'ils ne constituent pas de danger pour la sécurité publique, ils ne doivent en aucun cas engendrer une surélévation de la ligne d'eau en amont de leur implantation susceptible d'entraîner leur rupture. Ils ne devront ni faire office de barrage ni de digue, sauf à être conçus, entretenus et surveillés comme tels* » [27].

La circulaire n   426 du 24 juillet 2002 [29] indique qu'au droit des zones à forts enjeux (zones urbaines ou à urbaniser, zones agricoles avec bâtiments et équipements fixes, zones d'arrêtés de biotope, réserves naturelles, habitats prioritaires en site Natura 2000, etc.) la plus grande transparence hydraulique est déterminée « *en fonction de la précision relative du modèle hydraulique et en situation de crue de référence (plus hautes eaux connues) ou à défaut de crue centennale ...* ». Une tolérance un peu plus large que la précision du modèle peut être acceptée au cas par cas « *lorsque l'impact sur les hauteurs d'eau intervient en dehors de ces zones à forts enjeux ou lorsque, dans les zones à forts enjeux, le seuil de précision du modèle ne peut pas être atteint par des mesures correctrices sans porter gravement préjudice à d'autres intérêts environnementaux, ou du fait du niveau d'extrême contrainte du secteur, à condition que tous les tracés alternatifs aient été étudiés et que tout soit entrepris pour minimiser le dépassement du seuil* ».

Dans le cas particulier des ouvrages fermés et aménagés par des dispositifs de rétablissement de la circulation de la faune terrestre et aquatiques (cf.    5.4), la section hydraulique ou « section libre » de l'ouvrage nécessaire aux calculs hydrauliques et au dimensionnement de l'ouvrage, correspond à la section totale de l'ouvrage moins la surface occupée par le substrat reconstitué et les aménagements intérieurs.

5.2.3 - Autres fonctions et usages à rétablir

Dans **tous les ouvrages hydrauliques**, le rétablissement d'autres fonctions que le passage des cours d'eau et de leurs crues, nécessite de respecter des gabarits minimaux (tableau 1).

Fonctions à rétablir (en plus de l'hydraulique)	Hauteur libre minimum
Petite faune terrestre	0,70 m
Piétons, p��cheurs, bétail	2,00 m (2,50 m conseillés)
Cyclistes	2,50 m
Chevreaux, sangliers, cavaliers	3,50 m
Cerfs, daims	4,00 m
Agricole, forestier	4,60 m

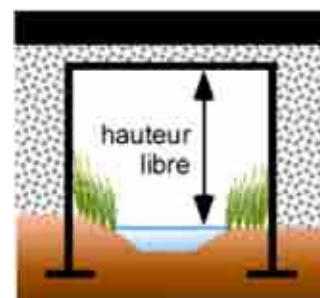


Tableau 1 : Gabarit des ouvrages pour assurer les « autres fonctions » associées : Extrait du guide Sétra [5]

Ces derniers sont rappelés dans différents guides, dont :

- le guide technique « *Cours d'eau et ponts* » [9] donne les hauteurs libres minimales à respecter afin de rétablir diverses fonctions et usages associés aux passages hydrauliques ;
- le guide « *Aménagements et mesures pour la petite faune* » [12] recommande une largeur de banquette supérieure à 0,40 m pour les petits ouvrages et jusqu'à plus de 3 m pour les plus importants ;
- le guide « *Passages pour la grande faune* » [13] recommande des largeurs de banquette de 3 à 4 mètres minimum, et jusqu'à 12 mètres pour le cerf.

Dès lors qu'un ouvrage doit assurer plusieurs fonctions, il est recommandé de retenir lors de son dimensionnement la fonction la plus exigeante en terme d'ouverture puis de s'assurer que cette dernière répond bien à l'ensemble des autres enjeux identifiés sur le milieu.

Ce dimensionnement conduit parfois à un sur-dimensionnement de la largeur du radier par rapport à la largeur du lit mineur du cours d'eau franchi. Afin d'assurer la libre circulation des poissons, il faut alors aménager le substrat mis en place de telle sorte que la largeur du lit dans l'ouvrage soit similaire à la largeur moyenne du lit mineur [8]. Dans tous les cas, il importe d'éviter :

- que la largeur du fond du radier de l'ouvrage soit inférieure à plus de 75% [18, 19, 30] de la largeur moyenne du lit mineur, car il en résulterait des vitesses d'écoulement incompatibles avec les capacités de nage des poissons ;
- que cette largeur soit très supérieure à la largeur moyenne du lit mineur [30], car l'étalement de la lame d'eau qui en résulterait serait incompatible avec les besoins en hauteur d'eau de la majorité des espèces de poissons.

5.3 - Positionnement (ou calage altimétrique) de l'ouvrage

5.3.1 - Cas des ouvrages ouverts sans radier

Les fondations de ces ouvrages doivent être posées le plus en retrait possible du lit mineur, des berges et de la ripisylve, afin de garantir la stabilité de ces milieux et de rétablir la continuité écologique. Bien dimensionnés, ces ouvrages ne devraient nécessiter l'installation d'aucun équipement complémentaire.

5.3.2 - Cas des ouvrages fermés

Ces ouvrages présentent un risque non négligeable de mauvais positionnement de leur radier et des dérivations associées par rapport au profil en long initial du cours d'eau. L'objectif est donc, en plus de reconstituer un fond naturel dans l'ouvrage, d'éviter la présence de seuil ou de chute en amont, en aval ou dans l'ouvrage. Le radier doit être positionné avec précaution afin **de ne pas créer de ruptures de pentes** qui engendreraient des phénomènes d'érosion. A cette fin :

- il convient de positionner l'ouvrage ainsi que les dérivations associées au plus près de la pente naturelle du cours d'eau (figure 3) [8]. Cela nécessite d'effectuer **préalablement** à la conception de l'ouvrage et des dérivations, un **profil en long très précis du cours d'eau (via un levé topographique)** afin de s'assurer que le positionnement altimétrique du radier et des dérivations n'engendrera pas de ruptures de pente d'une part, sur l'ensemble du linéaire recréé et d'autre part, aux points de raccordement des travaux avec le cours d'eau. Si tel n'est pas le cas, il convient de rétablir cette pente en recréant par exemple des méandres au sein des dérivations ;
- une fois la pente de l'ouvrage calée, il est nécessaire de positionner l'arase supérieure du radier au moins **30 cm sous la cote du fond naturel du cours d'eau** (et non du fil d'eau). Le fait d'enterrer le radier permet de corriger les petites erreurs de positionnement des ouvrages lors des travaux et de recréer un substrat rugueux favorable à la dissipation de l'énergie, au déplacement des poissons et à la restauration de la capacité biogène du cours d'eau [8].

Dans la majorité des cas, le simple respect de ces principes de dimensionnement et d'installation des petits ouvrages hydrauliques s'avère suffisant pour maintenir la circulation des poissons au sein de l'ouvrage.

Mais dans d'autres cas particuliers, liés aux caractéristiques physiques du cours d'eau (régime hydrologique, largeur et pente notamment), de l'ouvrage (dimensions et calage) et des espèces terrestres et aquatiques présentes sur le bassin versant, cet aménagement sera insuffisant pour garantir la continuité écologique. Il convient alors d'équiper le radier de l'ouvrage de dispositifs de dissipation d'énergie, de maintien du substrat et/ou de rehausse de la ligne d'eau.

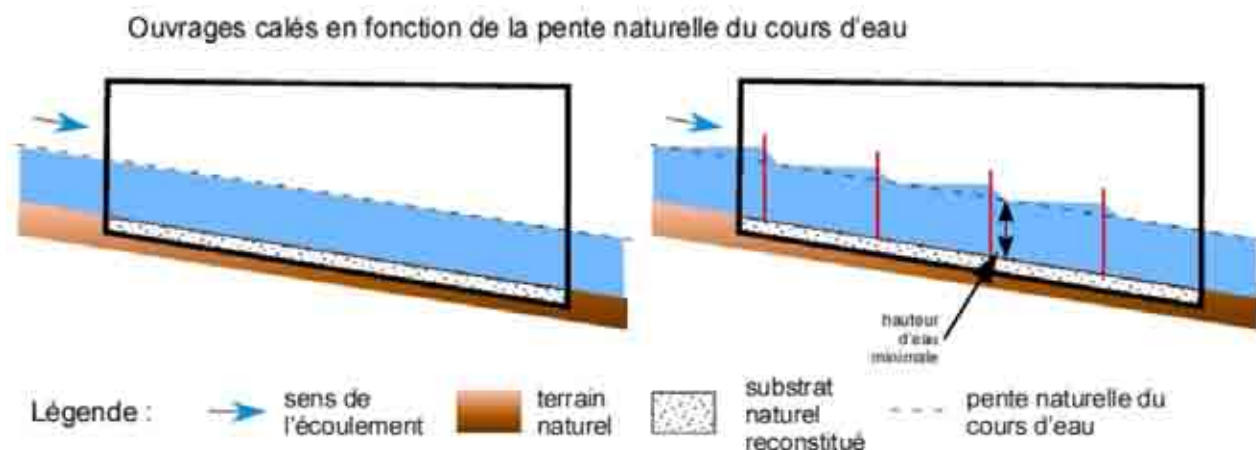


Figure 3 : profils en long de cours d'eau et ouvrages hydrauliques fermés (OH) : exemple d'ouvrages respectant la pente naturelle du cours d'eau, à équiper dès lors que les vitesses deviennent supérieures à la capacité de nage des poissons.

5.4 - Équipement des ouvrages fermés (à radier)

5.4.1 - Maintien des usages et de la circulation des espèces terrestres

Différents dispositifs, détaillés dans les guides du Sétra [12,13], peuvent être envisagés pour maintenir les usages et la circulation de la faune terrestre (banquettes, encorbellements). Leur nature et dimensions dépendent des espèces considérées.

A noter que l'aménagement de banquettes pour la faune terrestre est également l'occasion de réduire la largeur du lit mineur et de maintenir une hauteur d'eau suffisante en période d'étiage. **Il importe alors de s'assurer que l'ajout de ces dispositifs n'engendre pas un rétrécissement trop important du lit mineur et une augmentation des vitesses d'écoulement dans l'ouvrage, incompatibles avec la capacité de nage des poissons.** Dans tous les cas, il est vivement recommandé de respecter les dimensions initiales du lit mineur.

5.4.2 - Maintien du substrat

Un lit « naturel » doit être reconstitué sur le radier de l'ouvrage d'une hauteur minimale de 30 cm [8]. Afin de maintenir la circulation des poissons et la capacité biogène du cours d'eau, il convient d'être très vigilant sur la composition granulométrique du substrat utilisé. Ce dernier doit d'une part, être suffisamment **imperméable** afin d'éviter toute infiltration qui conduirait à réduire le débit voire à assécher le tronçon de cours d'eau ainsi reconstitué ; et d'autre part, présenter des caractéristiques **similaires au substrat naturel** du cours d'eau préexistant [8]. Une étude préalable de la distribution en taille des matériaux naturellement présents dans le cours d'eau au droit du franchissement doit donc être effectuée. Le substrat mis en place doit présenter une gamme de taille variée, composée à la fois de matériaux grossiers et fins complétés le cas échéant, par des argiles ou de la bentonite.

En outre, la vitesse maximale d'écoulement dans les ouvrages hydrauliques est habituellement calculée afin d'éviter toute dégradation de l'ouvrage. Cette vitesse est déterminée en fonction de la résistance des matériaux utilisés et doit généralement rester inférieure à 4 m/s au débit de référence (plus hautes eaux connues ou crue centennale). La détermination de cette valeur ne tient pas compte de la nature des matériaux du fond « à reconstituer » dans l'ouvrage. Or à cette vitesse, les particules qui mesurent moins de 10 à 15 cm de diamètre sont déplacées (cf. diagramme de Hjulström ; figure 4).

Ainsi, un équipement de l'ouvrage par des dispositifs de maintien du substrat est nécessaire si la vitesse moyenne du courant dans l'ouvrage est supérieure à la vitesse d'érosion du substrat présent dans le cours d'eau et mis en place au sein de l'ouvrage.

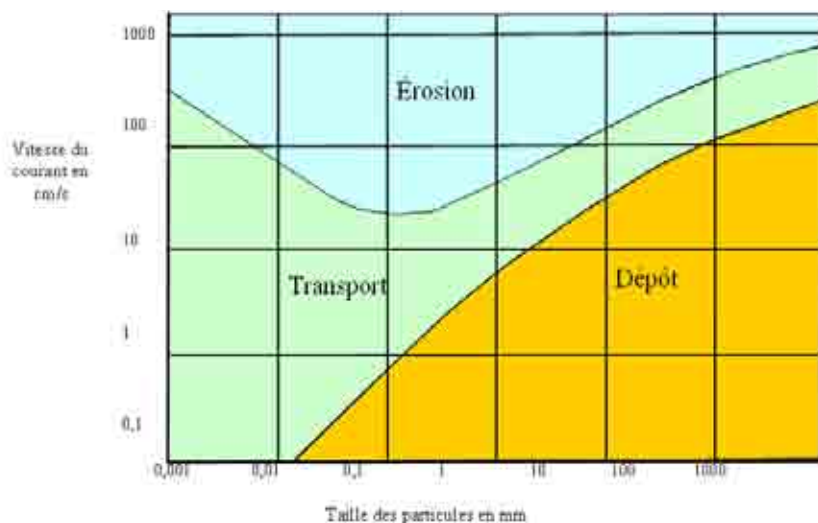


Figure 4: Diagramme de Hjulström [31]

Ces seuils (ou déflecteurs ou barrettes) de stabilisation du substrat évitent qu'il ne soit périodiquement décapé (figure 5 ; photographies 7, 8, 9 et 10). Ils présentent dans la majorité des cas, une hauteur équivalente à la hauteur du substrat (30 cm de haut minimum), mais ils peuvent également être prolongés pour créer des zones de repos pour les poissons et concentrer les faibles débits. Dans ce cas, une échancrure dont les dimensions minimales sont de 0,2 m de large et 0,1 m de hauteur, sera pratiquée dans la partie émergée des seuils.

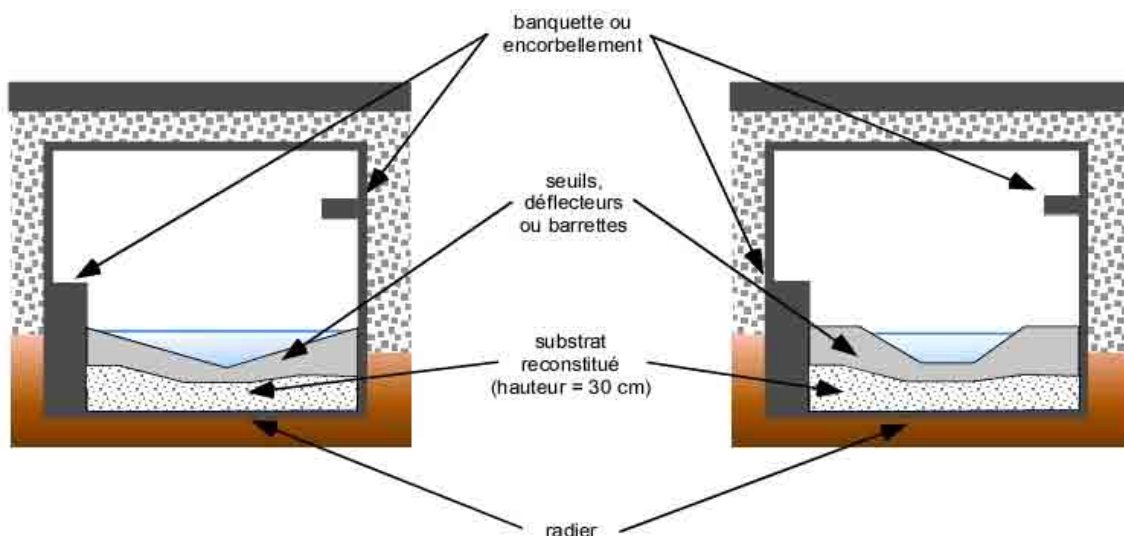


Figure 5 : Exemples d'aménagement de seuils servant à stabiliser le fond reconstitué (ou substrat) mais également à concentrer les faibles débits et offrir des zones de repos aux poissons.

5.4.3 - Maintien de la circulation des poissons

5.4.3 - Maintien de la circulation des poissons

Dans de nombreux cas, le simple respect de la largeur moyenne du lit mineur, de la pente naturelle du cours d'eau et de la composition granulométrique du substrat, lors du dimensionnement et du calage de l'ouvrage et des dérivations, suffit à maintenir la circulation des poissons.

Néanmoins, lorsque les espèces de poissons présentes dans le cours d'eau ont de faibles capacités de saut et de nage, que la pente du cours d'eau ou sa dynamique sont élevées, que l'ouvrage et les dérivations associées ont des dimensions différentes de celles du cours d'eau, il est nécessaire d'ajouter des dispositifs de **dissipation d'énergie** et/ou de **rehausse de la ligne d'eau** (photographies 11 à 14).

Il convient d'autant plus de vérifier l'opportunité d'équiper l'ouvrage (et parfois les dérivations) dès lors qu'un des critères suivant est présent :

- pente naturelle du cours d'eau supérieure à 0,5 % ;
- vitesses du courant dans l'ouvrage supérieures à la capacité de nage des poissons et/ou hauteurs d'eau insuffisantes, pour des débits compris entre le QMNA (débit moyen mensuel d'étiage) et jusqu'à 2,5 fois le module (débit moyen inter-annuel).



Photographies 7, 8, 9 et 10 : exemples de seuils (ou déflecteurs ou barrettes) mis en place au sein d'ouvrages fermés afin de dissiper l'énergie hydraulique, rehausser la ligne d'eau, concentrer les faibles débits et stabiliser le substrat en place : photographies avant et après la mise en eau de l'ouvrage (sources : DREAL Midi-Pyrénées, CETE de l'Est).

A cette fin, un protocole de description des obstacles à l'écoulement et de diagnostic des risques d'entrave à la circulation des poissons est en cours d'élaboration et sera disponible début 2014 (production d'Information sur la Continuité Écologique ou ICE) [30]. Les paramètres déterminants sont :

- la capacité de nage et de saut des espèces de poissons présentes ;
- la vitesse du courant au sein de l'ouvrage à différents débits ;
- l'épaisseur de la lame d'eau au sein de l'ouvrage à différents débits.

Ainsi, l'opportunité d'équiper un ouvrage fermé de dispositifs de dissipation d'énergie ou de rehausse de la ligne d'eau, et les modalités d'équipement de ce dernier, doivent être définies au cas par cas, ces dernières dépendant à la fois des caractéristiques hydrauliques du cours d'eau et de l'ouvrage, et des espèces de poissons présentes.

Capacité de nage des poissons

La capacité de nage de chaque espèce de poissons dépend en particulier de la taille des individus et de la température de l'eau. Elle est définie par trois types de vitesses :

- la vitesse dite « de pointe » (ou de sprint) de l'espèce. Selon la taille des individus, les vitesses maximales de nage des espèces à l'âge adulte peuvent atteindre respectivement 4,5 à 6,5 m/s pour le saumon ; 3,5 à 5 m/s pour les aloses lamproie marine et brochet ; 2,5 à 5, m/s pour la truite de rivière ; 2,5 à 4 m/s pour le barbeau fluviatile et le hotu ; 1,5 à 3 m/s pour la lamproie de planer et le chabot ; etc. [30] ;
- la vitesse « soutenue », maintenue pendant quelques minutes ;
- la vitesse de « croisière » de l'espèce. Celle-ci correspond à la vitesse que peut maintenir un individu en continu pendant plus de 3 heures. Elle correspond en moyenne au 1/3 de la vitesse de pointe³ d'une espèce [18].



Photographies 11 12, 13 et 14 : Exemples d'aménagements piscicoles dans des ouvrages hydrauliques fermés : seuils (ou déflecteurs ou barrettes) de dissipation de l'énergie hydraulique, de stabilisation du substrat, de concentration des écoulements à faibles débits, créant des conditions compatibles avec les capacités de nage et de saut des poissons (sources : Onema Délégations Interrégionales Sud-Ouest et Rhône-Alpes).

Pour le franchissement des ouvrages hydrauliques, c'est la vitesse dite de « croisière » qui doit être utilisée comme référence. En effet, même si les poissons sont capables d'adopter une vitesse de pointe importante, celle-ci ne sera effective que sur de très courtes distances.

³ $U_{cr} = 0.15 + 2.4 L$ (avec U_{cr} = vitesse de croisière de l'espèce en cm/s et L = taille moyenne des individus en cm) (13)

Vitesse du courant au sein de l'ouvrage à différents débits

La vitesse admise à l'intérieure des ouvrages hydrauliques (4 m/s) est généralement trop élevée pour assurer la franchissabilité de l'ouvrage par les poissons. Afin de vérifier la possibilité de franchissement de l'ouvrage par la faune piscicole, on s'assurera que **la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage reste inférieure ou égale à la vitesse de nage de « croisière » des espèces présentes**, pour des débits compris entre le QMNA et jusqu'à 2,5 fois le module moyen inter-annuel.

S'il s'avère impossible de réduire les vitesses de courant aux valeurs indiquées ci-dessus en modifiant les dimensions de l'ouvrage, alors ce dernier devra être équipé de dispositifs de dissipation d'énergie tels que des **seuils (ou déflecteurs ou barrettes) et/ou de la macro-rugosité (blocs liaisonnés au fond du radier)** qui augmentent la rugosité du substrat, sans pour autant créer un risque d'encombrement ou altérer fortement la transparence hydraulique d'un ouvrage. Positionnés transversalement ou en quinconce, ils permettent de diminuer la vitesse du courant, de stabiliser le substrat et/ou de rehausser la ligne d'eau, ce qui assure des conditions compatibles avec les capacités de nage et de saut des poissons (photographies 11 à 14 et figure 5).

La nature, la quantité et l'espacement de ces déflecteurs doivent être déterminés sur la base d'une étude hydraulique spécifique et en fonction des espèces de poissons présentes [18]. Le cas échéant, un équipement mixte de l'ouvrage, associant macro-rugosité et seuils peut être envisagé.

Les écoulements dans les ouvrages doivent être hétérogènes afin d'offrir des zones de repos aux poissons qui les franchissent (photographie 15). Des zones de repos doivent être aménagées de manière systématique dès que la longueur d'ouvrage atteint ou dépasse 10 m. La reconstitution d'un fond « naturel » permet de redonner une rugosité au radier. En complément, des blocs de gros diamètres, en béton ou en matériaux naturels, peuvent être positionnés régulièrement et en quinconce. Ces derniers créent un écoulement hétérogène au sein duquel les poissons peuvent trouver leur cheminement préférentiel [18].

Le diamètre des blocs à mettre en place au fond du radier et leur espacement doivent répondre à la formule suivante :

$$0,06 < D^2/(a_x \times a_y) < 0,16$$

avec D = diamètre du bloc en cm et ax et ay distances entre blocs, en cm.

Ainsi, pour des blocs de 40 cm de diamètre (en moyenne), la distance entre blocs sera comprise en 100 cm et 163 cm, suivant la capacité de nage des espèces de poissons présentes [18].

Photographie 15 : Exemple d'aménagement de macro-rugosité : enrochements fixés dans le radier (source : CETE Est).



Nota : en présence de l'anguille, la mise en place d'un substrat rugueux est recommandée « par défaut » dans tout ouvrage hydraulique, cette espèce se déplaçant par reptation.

Épaisseur de la lame d'eau

Les poissons ont une capacité de nage variable, qui ne peut s'exprimer que si l'épaisseur de la lame d'eau dans l'ouvrage et les dérivations associées leur permet de nager. Ainsi, la hauteur d'eau est également un facteur limitant la libre circulation des poissons.

- pour les petites espèces telles que les loches, vairons, chabots, goujons, etc. La hauteur d'eau minimale nécessaire à leur déplacement est faible, de l'ordre de 5 cm ;

- pour les espèces de plus grande taille, les hauteurs d'eau minimales à respecter au point le moins profond des aménagements sont pour des individus adultes, de l'ordre de 20 cm pour le saumon atlantique, les aloses et le brochet ; 15 cm pour le barbeau fluviatile et le hotu ; 10 cm pour la lamproie marine et 8 à 15 cm pour la truite de rivière (selon la taille à maturité).

En présence de seuils (ou déflecteurs ou barrettes), cette hauteur d'eau minimale doit être atteinte au point le moins profond de l'ouvrage (figure 3).

5.5 - Intensité lumineuse dans les ouvrages

Les études menées sur l'impact de la perte de luminosité au sein des ouvrages sur la circulation des poissons fournissent des résultats très variables liés aux différences de sensibilité et de mode de vie des poissons (certains étant diurnes, nocturnes, crépusculaires ou indifférents à la luminosité). Des comportements différents apparaissent aussi entre individus d'une même espèce, en fonction de leur phase de développement. Ainsi, la truite est lucifuge aux stades alevin et juvénile, diurne au stade adulte et plutôt crépusculaire au stade âgé.

Pour tous les poissons, l'impact majeur est la variation brutale de luminosité, les points les plus délicats étant localisés à la sortie des ouvrages. Pour les espèces les plus sensibles, l'obscurité complète rencontrée au centre des ouvrages peut aussi constituer un obstacle à la circulation des individus. En revanche, ceci ne semble pas affecter les espèces les moins sensibles, le passage de truites de mer ayant été constaté dans une canalisation totalement obscure de plus d'un kilomètre sur le Rhin, dans la région de Bâle [32].

L'intensité lumineuse dans les ouvrages hydrauliques fait l'objet d'un arrêté de prescriptions générales [33]. Afin d'offrir des opportunités de passage à l'ensemble des espèces, qu'elles soient lucifuges ou à phototactisme positif, cet arrêté demande d'une part, que « *Le projet assure autant que possible, par ses modalités de construction, un éclairage naturel (tirant d'air suffisant, évasement des extrémités)* » et d'autre part, que « *la transition entre la pleine lumière et l'intensité lumineuse sous l'ouvrage soit progressive* ».

5.5.1- Favoriser la présence de lumière dans l'ouvrage

Afin de favoriser la présence de lumière au sein des ouvrages, plusieurs tests ont été effectués, dont :

- l'aménagement de « puits de lumière », mais leur efficacité s'est avérée quasiment nulle. Les rares témoignages collectés montrent qu'ils représentent davantage un obstacle au déplacement de la faune piscicole qu'un avantage, les poissons ayant tendance à s'y arrêter et à ne pas franchir l'obstacle ;
- la mise en place d'un éclairage artificiel à l'aide de néons ou de lampe à lumière naturelle. Les résultats ne sont pas non plus très concluants, certaines espèces refusant de franchir l'obstacle alors que d'autres le franchissent plus rapidement.

Deux autres solutions, plus pertinentes, sont désormais recommandées :

- l'adaptation des dimensions de l'ouvrage, et notamment le **rapport section / longueur**, quelque soit son orientation. Ainsi, les gestionnaires du Massachussets utilisent :
 - Un ratio minimal de 0,25 entre la section et la longueur des ouvrages [34].
 - En présence de faune aquatique, ce ratio est porté à 0,50, voire 0,75 en présence de faune terrestre.

A titre d'exemple : pour un ouvrage de 60 m de longueur, la section minimale de l'ouvrage sera de 15 m² (3x5m par exemple) pour un ratio de 0,25, et de 30m² pour un ratio de 0,5. Ceci permet également d'assurer le franchissement des ouvrages par la faune terrestre, pour laquelle une longueur d'ouvrage de 60 à 70 m semble être une limite [13] ;

- la réduction de la longueur de couverture des ouvrages, par la construction de **murs en ailes** ou de **murs de soutènement de remblais verticaux** (photographies 16 et 17 et figure 6).

Nota : Dans le cas de construction d'infrastructures jumelées, la longueur de couverture à prendre en compte, est le cumul des couvertures des infrastructures, sur un même cours d'eau. Dès lors que ce cumul atteint ou dépasse les 60 m, il faut envisager de modifier les ouvrages de franchissements.



Photographie 16 : Murs en aile et « butons » pour réduire la longueur de couverture : diminution de longueur de couverture de 30 m (65 m au lieu des 95 m initiaux, surcoût de 6,3%).



Photographie 17 : Mur en gabions pour soutenir le remblai et réduire la longueur de couverture

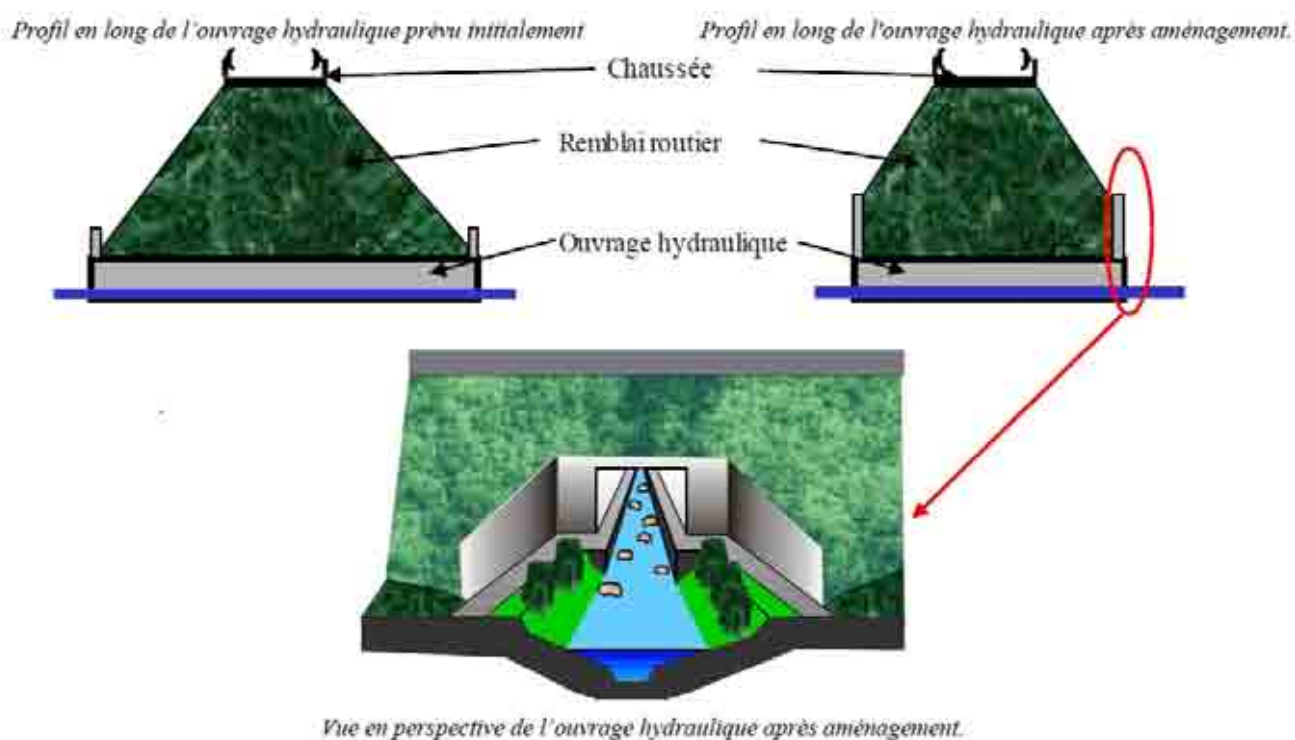


Figure 6 : Principe de réduction des longueurs d'ouvrage et d'aménagement de leurs débouchés.

Au regard des éléments bibliographiques [13, 34], la franchissabilité des ouvrages hydrauliques par la faune serait améliorée par une optimisation à la fois de la section de l'ouvrage et de la réduction de sa longueur. On peut donc proposer, de manière à tenir compte de ces deux paramètres, que le rapport section/longueur soit modulable et augmente en fonction de la longueur de couverture (tableau 2).

Longueur de couverture (unique ou cumulée)	Rapport section/longueur
$L < 30$ m	0,25
$30 \leq L \leq 60$	0,50
$L > 60$	0,75 ou recherche d'autre type d'ouvrage (viaduc, pont dalle)

Tableau 2 : modulation du rapport section/longueur en fonction de la longueur de couverture.

5.5.2 – Faire varier progressivement la luminosité

Le passage progressif de la lumière à l'obscurité et de l'obscurité à la lumière concerne principalement l'aménagement des entrées et sorties d'ouvrage. Ce cas peut également se rencontrer lorsque des ouvrages de franchissement sont positionnés en série, les uns derrière les autres, avec un faible intervalle entre eux. Dans ce cas, des plantations en berge (ripisylve) peuvent recrer un ombrage naturel du cours d'eau et atténuer les variations brutales de luminosité.

Ces plantations seront effectuées à l'aide d'espèces locales et diversifiées, adaptées au milieu. Pour cela, on réalisera un recensement des espèces déjà présentes en bordure du cours d'eau et on reconstituera la ripisylve avec ces espèces, en prenant soin d'éliminer les espèces invasives. On veillera à installer une ripisylve diversifiée de manière à éviter la transmission de maladies et la banalisation des bords de cours d'eau avec les plantations mono-spécifiques.

5.6 – Estimation des coûts associés au maintien de la circulation des poissons

5.6.1 - Cas des coûts associés au maintien de la continuité écologique

Lors de l'élaboration de nouveaux projets d'infrastructure, les coûts associés à la préservation ou au maintien de la continuité écologique dépendent à la fois de l'infrastructure crée (emprise au sol, surface, linéaire) et des types de corridors écologiques à maintenir. Compte tenu de la mutualisation des travaux liés aux contraintes géotechniques, géométriques, hydrauliques, etc., les coûts spécifiques des aménagements en faveur de l'environnement restent difficiles à chiffrer.

Dans le cas particulier de la circulation des poissons, les retours d'expériences montrent que les mesures et donc le budget alloué à cette problématique sont souvent sous-estimés en début d'instruction. Ceci peut s'avérer préjudiciable lors de l'instruction des projets, des incohérences dans certains choix techniques pouvant en effet apparaître et **engendrer alors des surcoûts** : ralentissement de l'instruction et décalage de l'échéancier, nécessité de réaliser des études hydrauliques ou environnementales complémentaires, modification de la nature, des dimensions et/ou de l'équipement de certains ouvrages hydrauliques, réévaluation des mesures compensatoires ; etc. (annexe 1). L'absence de prise en compte de cette problématique en phase d'instruction peut constituer une source de fragilité juridique des projets.

Afin d'éviter ces déconvenues, il est vivement conseillé d'intégrer cette problématique **le plus en amont possible, lors des études préalables à la budgétisation des projets**. Le maintien des corridors écologiques en général et de la circulation des poissons en particulier doit constituer un des paramètres participant au choix de la nature des ouvrages hydrauliques ainsi qu'à leur dimensionnement et équipement, au même titre que les contraintes physiques (hydrauliques, géophysiques, etc.). Par sécurité, il est recommandé de retenir lors de l'estimation financière du projet, un rétablissement des écoulements superficiels à l'aide d'ouvrages ouverts, sans travaux en lit mineur de cours d'eau.

5.6.2 - Cas des coûts spécifiques à l'équipement des ouvrages fermés

Dans les cas des ouvrages hydrauliques nouveaux, le simple respect des arrêtés de prescriptions générales devrait limiter le nombre d'ouvrages à équiper. Pour ceux qui resteraient   aménager, les coûts sont très variables, les modalités techniques de restauration de la circulation des poissons variant au cas par cas (*cf.* § 5.4.3).

En 2009, la note d'information du Setra n 88 indique des coûts moyens unitaires de l'ordre de **750 à 800 euros par seuils** (ou déflecteurs). Des coûts similaires ont été relevés sur des ouvrages équipés dern irement (annexe 2). Il arrive que ces coûts augmentent lorsque l'ouvrage doit résoudre simultanément plusieurs problématiques : de **900 à 1400 euros par mètre linéaire d'ouvrage lors d'équipements mixtes** comprenant l'ajout de macro-rugosité sur le radier béton et la reprise de chutes à l'aide d'un substrat de reptation - ou rampe EVERGREEN - (*source* : EGIS ; A63 Landes). Ces coûts s'entendent hors taxes et comprennent la fourniture et la pose des éléments préfabriqués ou réalisés à façon.

Annexe 1 : Exemple de réduction de la longueur d'un ouvrage - DIR Est-2010

Aménager un passage mixte hydraulique/petite faune sur la RN 59 (déviation de Saint-Clément/Azerailles) au droit du franchissement du ruisseau de l'Olzé

Objectifs

- lutter contre la perte de luminosité liée à un rapport section/longueur de l'ouvrage faible ;
- réduire l'effet « enfermement » pour les espèces animales qui s'y déplacent ;
- adapter la longueur de l'ouvrage pour le passage de la faune terrestre et aquatique.



Tête de l'ouvrage.

Historique

Initialement, un ouvrage hydraulique fermé est prévu pour le franchissement du cours d'eau. Mais lors de l'instruction « loi sur l'eau », la présence de la **lamproie de planaire**, espèce piscicole protégée, est révélée. Ceci nécessite d'adapter l'ouvrage afin de maintenir la circulation de cette espèce sur le cours d'eau.

Il convient de réduire les vitesses d'écoulement, concentrer les faibles débits, augmenter la luminosité à l'intérieur de l'ouvrage.



Vue à l'intérieur de l'ouvrage : fil d'eau reconstitué, banquette petite faune, luminosité préservée.

Travaux effectués

Caractéristiques de l'ouvrage initial :

- longueur = 95 m, dont un cadre de 85 m et 2 têtes d'ouvrages de 5 m chacune ;
- largeur = 3,50 m ; hauteur = 3,60 m ;
- fond enterré sous 30 cm de substrat naturel ;
- banquette petite faune.

Coût de l'ouvrage initial : 957 000 Euros HT

Caractéristiques de l'ouvrage définitif :

- longueur = 95 m, dont un cadre de 65 m et 2 têtes d'ouvrages de 15 m chacune (murs en aile avec butons) ;
- largeur et hauteur = inchangées ;
- fond inchangé ;
- barrettes transversales concentrant les faibles débits et stabilisant le substrat durant les crues.

Coût de l'ouvrage définitif : 1 017 000 Euros HT
(soit un sur-coût de 60000 euros représentant 6,3% du coût du projet)

Annexe 2 : Exemple d'équipement d'un ouvrage de franchissement hydraulique - DIR Centre-Est-2012

Aménagement d'un passage inférieur mixte sous la déviation de Villeneuve sur Allier

Objectifs

- rétablir la circulation des poissons ;
- reconstituer un fond naturel dans l'ouvrage ;
- aménager un lit « d'étiage » concentrant les faibles débits.



L'ouvrage en cours d'aménagement

Travaux effectués

Le chenal à une longueur de 38 m.

Le fond reconstitué est en matériaux sableux du site (hauteur de 0,60m).

Des enrochements ont été ajoutés pour créer un reméandrage du cours d'eau et aménager un lit mineur concentrant les faibles débits.

La mise en eau de l'ouvrage est réalisée en décembre 2012.



Vue depuis l'aval de l'ouvrage achevé et mis en service

Coût

L'ensemble coffrage, béton et ferrailage de l'ouvrage a coûté 800 euros HT / ML.

L'aménagement du lit mineur avec le fond reconstitué et les enrochements ont représenté un coût de 80 euros HT / ML, soit pour la totalité de l'ouvrage, la somme de 3040 euros HT.

Le coût de ces aménagements représente **0,4% du prix total de l'ouvrage** (820 000 € H.T.).



Vue depuis l'amont de l'ouvrage achevé et mis en service

Conclusion

La conception d'ouvrages hydrauliques franchissables par les poissons nécessite une réflexion préalable et des données complémentaires au simple dimensionnement « hydraulique » pour la crue de référence. En effet, la réglementation impose désormais d'éviter les impacts sur les milieux aquatiques avant de chercher à les corriger ou compenser. La nature de l'ouvrage et son dimensionnement doivent désormais intégrer les enjeux environnementaux au même titre que les critères techniques habituellement pris en compte (fonctionnalité du projet, topographie du bassin versant, largeur du cours d'eau, etc.).

Ainsi, dès lors qu'un cours d'eau présente de forts enjeux environnementaux (cours d'eau classé, présence d'espèces protégées, etc.), le concepteur doit rechercher en priorité, la mise en œuvre d'ouvrages ouverts sans assise dans le lit mineur. De même, le gabarit hydraulique, seul paramètre de dimensionnement fourni généralement aux concepteurs d'ouvrages, doit être complété par les gabarits à respecter pour préserver les autres fonctions et usages de l'ouvrage : couloir de déplacement de la faune, passage piétons, chemin agricole ou forestier, etc. Les conditions de réalisation des travaux et les possibilités d'atténuation de leurs impacts doivent également faire partie des éléments de choix des ouvrages.

Dans le cas particulier d'impossibilité technique qui obligerait le concepteur à prévoir le franchissement d'un cours d'eau par un ouvrage fermé (à radier), il convient impérativement d'éviter la création de ruptures de pente et l'accélération des vitesses d'écoulement dans l'ouvrage et les dérivations associées. Afin d'assurer un calage précis des ouvrages et éviter les risques de pertes hydrauliques (réduction trop importante des vitesses d'écoulement), le concepteur devra *a minima* disposer des données suivantes :

- largeur moyenne du lit mineur ;
- profil en long et pente moyenne du cours d'eau ;
- composition et structure du substrat ;
- hauteur de berge.

Il devra également disposer de données sur le régime hydrologique du cours d'eau (débits d'étiage, module et débits de crue) et sur les espèces de poissons présentes. Ces informations rassemblées, il importera de vérifier que les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement dans l'ouvrage, estimées à différents débits, seront compatibles avec les capacités de nage des poissons. Ces éléments lui permettront de déterminer la nécessité d'équiper (ou non) l'ouvrage de dispositifs de maintien du substrat, de dissipation de l'énergie et/ou de rehausse de la ligne d'eau (déflecteurs, macro-rugosité).

Les berges de cours d'eau étant généralement utilisées comme corridors de déplacement par la faune, en particulier la faune inféodée aux milieux aquatiques (cistude et vison d'Europe, loutre, castor), la conception des ouvrages devra aussi intégrer la continuité de cheminement de ces espèces.

Le nouveau cours d'eau rétabli dans l'ouvrage et les dérivations devra présenter les caractéristiques les plus proches possibles de celles qui étaient les siennes avant l'aménagement (tant en terme de pente, que de largeur du lit et de nature du substrat). L'ouvrage et les dérivations associées devront disposer d'un fond reconstitué d'une hauteur minimale de 30 cm (à prendre en compte lors de leur dimensionnement) suffisamment imperméable pour éviter toute perte hydraulique. La rugosité du fond devra être proche de celle du cours d'eau, voire augmentée par la mise en place de blocs de taille différente au fond du radier. Enfin, le concepteur devra chercher des solutions afin de réduire la longueur de couverture des cours d'eau et respecter les ratios section/longueur en fonction de la longueur de couverture afin de préserver les conditions d'éclairage naturel favorables à la circulation des espèces piscicoles.

Glossaire

Amphihalin : organisme aquatique dont une partie du cycle biologique se fait en [eau douce](#) et une autre partie en eau salée.

Continuités écologiques : éléments du maillage d'espaces ou de milieux constitutifs d'un réseau écologique. Au titre des dispositions des articles L.371-1 et suivants du Code de l'environnement, cette expression correspond à l'ensemble « réservoirs de biodiversité » et « corridors écologiques » et les cours d'eau.

Corridors écologiques : ce sont des éléments linéaires, plus ou moins étroits, reliant les zones nodales (ou taches) entre elles. Ces espaces de liaison biologique correspondent souvent aux « éléments structurants » du paysage. Ils peuvent être continus ou discontinus (réseau de mares temporaires, par exemple), permanents ou non (migration d'espèces), voire « immatériels » (axes migratoires des oiseaux, des poissons marins. Leurs caractéristiques diffèrent selon les espèces ou groupes d'espèces).

DCE : Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

Etiage : en hydrologie, il correspond statistiquement (sur plusieurs années) à la période de l'année où le débit d'un cours d'eau atteint son point le plus bas (basses eaux : abaissement normal et fréquent). Il s'agit donc d'un abaissement exceptionnel du débit d'un cours d'eau.

IOTA : Installations, Ouvrages, Travaux et Activités. (cf. Articles L.214-1 et suivants du code de l'environnement).

Lit mineur : espace d'écoulement des eaux formé d'un chenal unique ou de plusieurs bras et de bancs de sables ou galets, « recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant débordement ».

Lit majeur : espace occupé par une rivière, lors de ses crues. Se définit par la limite d'expansion de la plus grande crue connue.

Lucifuge : qui fuit la lumière.

Morphodynamique : la morphodynamique consiste à étudier les changements spatiaux d'une rivière, d'une côte. Elle intègre à la fois les problèmes de vitesse d'écoulement et de transport solide.

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

QMNA : débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A), valeur du débit mensuel d'étiage atteint par un cours d'eau sur une année donnée. Calculé pour différentes durées (2 ou 5 ans), il permet d'apprécier statistiquement le plus petit écoulement d'un cours d'eau sur une période donnée.

Radier : plate-forme maçonnée sur laquelle est édifié un ouvrage hydraulique pour lutter contre l'érosion du cours d'eau.

Réseau écologique : réseau fonctionnel des habitats et corridors qui permettent la circulation des espèces et, lorsqu'ils sont en bon état, le maintien de la biodiversité (cf. Note d'information Sétra n°95).

Ripisylve : **forêt riveraine**, **rivulaire** est l'ensemble des formations boisées, buissonnantes et herbacées présentes sur les rives d'un cours d'eau.

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, à l'échelle d'une masse d'eau (une nappe, une rivière) ou d'un sous-bassin.

Salmonicole (cours d'eau salmonicole) : cours d'eau dont la qualité permet la vie et la reproduction des salmonidés.

Salmonidés : famille de poissons qui comportent les saumons, les truites, les ombles, les ombres et les corégones.

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, à l'échelle d'un grand bassin versant (Rhin, Meuse, Rhône-Méditerranée, Adour-Garonne, Loire-bretagne, Seine-Normandie,...).

ZNIEFF : Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique (Inventaire du patrimoine naturel).

Bibliographie

- [1] Loi n°84-512 du 29 juin 1984 relative à la pêche en eau douce et à la gestion des ressources piscicoles
- [2] Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau
- [3] Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Loi n°2004-338 du 21 avril 2004 portant transposition de la Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau
- [4] Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques
- [5] Articles L. 212.1-IV(4e) et R. 212-13 du Code de l'Environnement
- [6] Loi n° 2004-338 du 21 avril 2004 portant transposition de la directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau
- [7] Article R. 214-6 du Code de l'Environnement (4e alinéa)
- [8] Arrêté du 28/11/07 fixant les prescriptions générales applicables aux installations, ouvrages, travaux ou activités soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du Code de l'Environnement et relevant de la rubrique 3.1.2.0 (2°) de la nomenclature annexée au tableau de l'article R. 214-1 du Code de l'Environnement (J.O. n°293 du 18/12/2007, NOR: DEVO0770062A
- [9] Cours d'eau et ponts. Guide technique, Sétra, juillet 2007 : 172 p.
- [10] Requalification environnementale du réseau routier national. Guide méthodologique d'accompagnement, version provisoire. Sétra/CSTR/DE.ENV, novembre 2009.
- [11] Chantiers routiers et préservation du milieu aquatique : management environnemental et solutions techniques. Guide technique, Sétra, juillet 2007, 120 p.
- [12] Aménagements et mesures pour la petite faune, guide technique, Sétra, août 2005, 264 p.
- [13] Passages pour la grande faune. Guide technique, Sétra, décembre 1993, 128 p.
- [14] Impact des passages hydrauliques sur la libre circulation du poisson. GENIN Nathalie, VINTER Myriam, CETE de l'EST, UFR Sci F.A. de Metz, 48 p + annexes, juin 1993.
- [15] Passes à poissons – expertise, conception des ouvrages de franchissement. LARINIER Michel, PORCHER Jean-Pierre, TRAVADE François, GOSSET Claude, Conseil Supérieur de la Pêche, Paris, Collection « mise au point », 336 p, 1994.
- [16] Fishways : biological basis, design criteria and monitoring. LARINIER Michel, TRAVADE François, PORCHER Jean-Pierre. Bulletin Français de la Pêche et de la Protection des milieux aquatiques, 1^{ier} trimestre 2002, n° 364 supplément, 208 p.
- [17] Etude des écoulements à fortes pentes entre et au dessus de macro-rugosités régulièrement répartis – application aux dispositifs de franchissement piscicole rustiques. Rapport du Groupe d'Hydraulique Appliquée aux Aménagements Piscicoles et à la Protection de l'Environnement (GHAAPPE), COURRET Dominique, Cemagref/CSP/IMFT, RA.04.07, 2004, 66 p.
- [18] Guide technique pour la conception des passes « naturelles. Rapport du Groupe d'Hydraulique Appliquée aux Aménagements Piscicoles et à la Protection de l'Environnement (GHAAPPE), LARINIER Michel, COURRET Dominique, GOMES Péguy, Cemagref/CSP/IMFT, RA.06.05-V1, décembre 2006, 66 p.
- [19] Fish passage and surface water diversion screening assessment and prioritization manual. Washington Department of Fish and Wildlife. Olympia, Washington. 2009.
- [20] Fish passage in the auckland region – a synthesis of current research. STEVENSON C., BAKER C. Prepared by NIWA for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Technical. Report 2009/084.

- [21] Circulaire du 25 janvier 2010 relative à la mise en œuvre par l'État et ses établissements publics d'un plan d'action pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau, MEEDDM n°2010/3 du 25 février 2010, NOR : *DEVO0930186C*. *Texte non paru au J.O.*
- [22] Article L. 214-17 du Code de l'Environnement.
- [23] Nomenclature de la loi sur l'Eau, application aux infrastructures routières. Guide technique, Sétra, juin 2004, 111 p.
- [24] Nomenclature de la loi sur l'eau. Application aux infrastructures routières. Addendum au guide. Note d'information N°85, Sétra, juin 2008, 16p.
- [25] Loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, NOR: *DEVX0811607L*.
- [26] Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, NOR: *DEVX0822225L*.
- [27] Arrêté du 13 février 2002 fixant les prescriptions générales applicables aux installations, ouvrages ou remblais soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.2.2.0 (2°) de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié.
- [28] Circulaire DE/SDGE/BPIDPF-CCG/ n° 426 du 24 juillet 2002 relative à la mise en œuvre du décret n°2002-202 du 13 février 2002 modifiant ou créant les rubriques 2.5.0, 2.5.2, 2.5.4 et 2.5.5 de la nomenclature « loi sur l'eau » et des trois arrêtés de prescriptions générales pour les opérations soumises à déclaration au titre de ces rubriques.
- [29] Arrêté du 13 février 2002 fixant les prescriptions générales applicables aux consolidations, traitements ou protections de berges soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.1.4.0 (2°) de la nomenclature annexée décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié.
- [30] Production d'Informations sur la Continuité Ecologique (ICE), protocole de description des obstacles à l'écoulement et diagnostic des risques d'entrave pour l'ichtyofaune. ONEMA, juin 2012.
- [31] <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-5.htm>. Jacques BEAUCHAMP. D.E.S.S. "QUALITE ET GESTION DE L'EAU". Juillet 2006.
- [32] Etude de l'impact des modifications des conditions d'éclairement des cours d'eau franchis par les infrastructures de transport, sur la circulation piscicole- phase 1 : bilan de l'état des connaissances. Egis Environnement-Hydrosphère. Rapport d'étude pour le Ministère de l'Environnement, janvier 2008, 44p.
- [33] Arrêté du 13 février 2002 fixant les prescriptions générales applicables aux installations, ouvrages, travaux ou activités soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du Code de l'Environnement et relevant de la rubrique 3.1.3.0 (2°) de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié (JO du 16 février 2002), modifié par arrêté du 27 juillet 2006 (JO du 25 août 2006)
- [34] River and stream continuity partnership (2006 - revised 2011). Massachusetts river and stream crossing standards. 25 p.
- [35] Éléments de coûts des mesures d'insertion environnementales – Exemples de l'Est de la France. Note d'information, Setra, janvier 2009, n°88, 24 p.



Rédacteurs :

Marc GIGLEUX : CETE de l'Est, Aménagement et Développement Durable, Direction d'études Environnement – METZ.

Véronique de BILLY : ONEMA. Département « Contrôle des usages », Direction du Contrôle des Usages et de l'Action Territoriale, Direction générale, VINCENNES.

Renseignements techniques :

Jérôme CAVAILHES : Sétra / CSEP / DENV

téléphone : 33 (0)1 60 52 30 91

mél : jérôme.cavailhes@developpement-durable.gouv.fr

Photographies : CETE de l'Est / ONEMA



Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
110, rue de Paris - SOURDUN – BP 124 – 77487 PROVINS Cedex – France
téléphone : 33 (0)1 60 52 31 31 – télécopie : 33 (0)1 60 52 31 69

Document consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- Internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- Intranet (Réseau ministère) : <http://intra.setra.j2>

Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable du Sétra devra être demandé.
Référence : 1338w– ISRN : EQ-SETRA--13-ED26--FR

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
du MEDDE

