



Recommandations pour la protection et la dévalaison des poissons au droit d'usines hydroélectriques dans le bassin du Rhin

Commission Internationale pour la Protection du Rhin

Rapport n° 303

Clause de non-responsabilité sur l'accessibilité aux documents

La CIPR s'efforce de faciliter l'accès à ses documents dans la plus grande mesure possible. Par souci d'efficacité, il n'est pas toujours possible de rendre tous les documents totalement accessibles dans les différentes langues (par ex. avec des passages explicatifs pour tous les graphiques ou dans un langage aisément compréhensible). Le présent rapport contient éventuellement des figures et des tableaux. Pour plus d'explications, veuillez contacter le secrétariat de la CIPR au 0049261-94252-0 ou à l'adresse courriel sekretariat@iksr.de.

Mentions légales

Editeur :

Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Coblenz
Postfach : 20 02 53, D 56002 Coblenz
Téléphone : +49-(0)261-94252-0
Téléfax : +49-(0)261-94252-52
Courrier électronique : sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

Recommandations pour la protection et la dévalaison des poissons au droit d'usines hydroélectriques dans le bassin du Rhin

Sommaire

1. Introduction	4
1.1 Données du problème	4
1.2 Mandat	4
2. Objectifs	6
3. Recommandations	6
3.1 Recommandations générales	6
3.2 Mesures envisageables	7
3.3 Mesures en relation avec la taille de l'usine hydroélectrique.....	13
4. Exemples pratiques dans les États	15
4.1 Suisse	15
4.2 Allemagne	17
4.3 France	20
4.4 Pays-Bas	22
Références	25
Annexe	28

1. Introduction

1.1 Données du problème

Les obstacles à la migration tels que les seuils ou les barrages ont de multiples impacts négatifs sur le fonctionnement écologique et la continuité des cours d'eau (cf. Vriese 2017). Les ouvrages transversaux, en particulier ceux équipés d'usines hydroélectriques, peuvent blesser les poissons à la dévalaison (cf. [rapport CIPR n° 140](#)) :

- au passage dans les turbines :
 - a. blessure directe causée par la turbine (contact avec des éléments fixes ou mobiles, coupures dues aux courants élevés) ;
 - b. lésions infligées par les forces de cisaillement (et pouvant aller de pertes d'écaillés jusqu'au déchiquetage des poissons) et par les différences de pression (barotraumatismes de type endommagement de la vessie natatoire et du système vasculaire en raison de décompressions brutales). Quand les chutes de pression sont très importantes, des dommages particulièrement sévères peuvent se produire par effet de cavitation (lésions d'organes par implosion de bulles de gaz) ;
- au niveau des ouvrages de prise d'eau par pression contre des dispositifs fixes (grilles ou impact des machines de nettoyage) ;
- au passage par les déversoirs (notamment quand les poissons heurtent la surface de l'eau ou des éléments perturbateurs à la dévalaison par les barrages) ;
- par des effets secondaires (mortalité indirecte liée à la désorientation, risque accru de prédation dans le bief aval des turbines, de même que dans le bief amont quand la migration vers l'aval est ralentie).

De plus, les usines hydroélectriques installées en série ont des effets cumulatifs notables (mortalité directe et indirecte/blessures, retards des déplacements migratoires) sur les peuplements de poissons migrateurs. Ces effets sont pénalisants pour toutes les espèces de poissons migrateurs, et tout particulièrement pour les grands migrateurs amphihalins comme le saumon (anadrome) et l'anguille (catadrome). Ce cumul peut être rédhibitoire pour une espèce comme le saumon lorsque tous les saumoneaux d'un sous-bassin doivent franchir plusieurs sites hydroélectriques à la dévalaison. En raison de leur taille allongée, les anguilles dévalantes sont particulièrement exposées à de graves lésions, et la mortalité cumulative peut être très élevée dès lors que plusieurs obstacles transversaux successifs, notamment ceux équipés d'usines hydroélectriques, interrompent leur axe migratoire.

1.2 Mandat

Au cours de la 16^e Conférence ministérielle sur le Rhin, la CIPR a été chargée d'élaborer d'ici 2024 des recommandations sur la protection et l'aide à la dévalaison des poissons au droit des usines hydroélectriques. Conformément au programme [Rhin 2040](#) de la CIPR, les recommandations doivent servir de fondement pour pouvoir définir en commun, en fonction des évolutions techniques dans ce domaine, des objectifs garantissant une protection des poissons suffisante pour le maintien des peuplements.

Depuis 2014 déjà, la CIPR discute de techniques innovantes d'aide à la dévalaison sur les ouvrages transversaux pour abaisser les pertes et les blessures de poissons (par exemple de saumons et d'anguilles), entre autres au passage dans les turbines. Dans le cadre de ces activités, un atelier international sur la dévalaison a notamment eu lieu à Roermond (NL) en 2016 et un webinaire intitulé « Protection et dévalaison des poissons sur les grandes usines hydroélectriques : partage d'expériences et de connaissances » a également été organisé.

Parallèlement, les travaux dans les États du bassin du Rhin ont progressé sur les sujets suivants :

- mettre en pratique les techniques de protection des poissons et d'aide à la dévalaison pour abaisser la mortalité des poissons sur les usines hydroélectriques de petite et de moyenne taille (débit d'équipement < 150 m³/s) ;
- Améliorer, en vue du développement de solutions techniques judicieuses, le niveau de recherche et de connaissance sur les usines hydroélectriques de grande taille (débit d'équipement > 150 m³/s) au travers de projets pilotes réalisés dans le cadre de travaux de recherche et de développement ; examiner l'opportunité d'une gestion adaptée des turbines, par exemple pendant la période de transition.

Certains États du bassin du Rhin disposent déjà d'un savoir technique avancé sur la protection des poissons et leur dévalaison au droit des usines hydroélectriques de certaines tailles. Des mesures transitoires sont mises en œuvre à de nombreux endroits sur les grandes usines. Certains États ont déjà publié leurs recommandations ou des textes réglementaires.

Dans le forum sur la protection des poissons et la dévalaison (<http://forumfischschutz.de>) de l'Office fédéral allemand de l'environnement, il a été établi une compréhension commune et uniforme à l'échelle fédérale des exigences et solutions qui, dans l'état actuel des connaissances et de la technique, sont à respecter pour les mesures correspondantes d'aide à la dévalaison. Les résultats ont été publiés dans différentes fiches techniques (<https://forum-fischschutz.de/factsheets>)

De plus, certains Länder fédéraux ont défini les exigences ichtyobiologiques pour les dispositifs de protection et d'aide à la dévalaison au droit des usines hydroélectriques dans des guides techniques spéciaux, p. ex « Handreichung Fischschutz und Fischabstieg » au Bade-Wurtemberg (<https://www.flussgebiete.nrw.de/bauwerke-und-durchgaengigkeit-7387>) et „Handbuch Querbauwerke“ in Nordrhein-Westfalen (<https://www.flussgebiete.nrw.de/bauwerke-und-durchgaengigkeit-7387>).

La France a également des guides de dimensionnement nationaux issus de retour d'expériences :

- **Un guide de dimensionnement des prises d'eau ichtyocompatibles, orientées et inclinées** (Courret D., Larinier M., 2008)
- **Un guide sur le dimensionnement des exutoires de dévalaison** (Raynal et al. 2013)
- **Un guide sur les pertes de charge** (Raynal et al. 2012)

Des avancées majeures via la mise en application du règlement anguille et notamment le programme R&D « anguille ouvrages » dont la restitution a eu lieu en 2011 (<https://www.trameverteetbleue.fr/programme-recherche-anguilles-ouvrages>). Un nouveau guide est en cours de rédaction.

Sur la base des connaissances et des recommandations nationales déjà disponibles, des recommandations communes pour la protection des poissons et leur dévalaison au droit des usines hydroélectriques ont été formulées au sein de la CIPR pour les États du bassin du Rhin.

2. Objectifs

En général, la protection des peuplements de toutes les espèces de poissons migrateurs dans l'hydrosystème du Rhin est visée pour l'atteinte de l'objectif faitier : une biocénose la plus naturelle possible. Cet objectif porte à la fois sur les espèces amphihalines et sur les espèces potamodromes. Il est toutefois nécessaire de prioriser certaines espèces en fonction de leur vulnérabilité et de leur mode de vie en relation avec la dévalaison. Il en découle que la protection des poissons grands migrateurs à la dévalaison, pour lesquels la continuité est essentielle en raison de leur cycle de reproduction et qui sont les plus touchés par les effets cumulatifs, est particulièrement urgente. Pour les espèces amphihalines comme le saumon, la truite de mer, l'anguille, la grande alose, le houting, la lamproie marine et la lamproie fluviatile, la protection des stades migrateurs est une priorité majeure (anguilles argentées et saumoneaux entre autres). Les espèces indicatives que sont le saumon et l'anguille, représentatives d'autres espèces de poissons, sont aussi celles sur lesquelles on a le plus de connaissances en matière de faisabilité technique des mesures de protection des poissons et d'aide à la dévalaison. En vue de reconstituer les stocks d'anguilles, le règlement européen sur l'anguille prescrit comme ordre de grandeur concret un taux d'échappement d'au moins 40 % (par rapport à la période de référence) de la biomasse d'anguilles argentées à partir du bassin colonisé par l'anguille. Cette disposition est celle sur laquelle doivent s'orienter les efforts de protection des poissons dans les cours d'eau anguillicoles.

3. Recommandations

3.1 Recommandations générales

En raison de leurs multiples impacts négatifs sur le fonctionnement écologique, sur la continuité des cours d'eau et sur l'accès aux habitats de frai et de juvéniles encore disponibles, on visera, partout où il est possible de le faire en regard des impacts et des usages existants, à déraser les seuils et barrages dans les affluents et les eaux latérales du Rhin, conformément aux objectifs de la directive cadre 'Eau', pour restaurer des habitats fonctionnels et réduire la mortalité des poissons à la dévalaison (cf. programme [Rhin 2040](#) de la CIPR). La restauration de tronçons à écoulement libre est également un objectif majeur du règlement de l'UE sur la restauration de la nature entré en vigueur en 2024, de la stratégie de l'UE sur la biodiversité adoptée en 2020 et du règlement communautaire sur l'anguille visant la réduction de la mortalité des anguilles dans les usines hydroélectriques.

Quand un dérasement est impossible, les obstacles à la migration doivent être équipés de dispositifs efficaces d'aide à la montaison et à la dévalaison.

La construction de nouveaux obstacles à la migration, notamment dans les rivières prioritaires du plan directeur 'Poissons migrateurs' (cf. [rapport CIPR n° 247](#)), ne doit pas être autorisée (cf. programme [Rhin 2040](#) de la CIPR).

Les recommandations suivantes s'appliquent indépendamment du débit d'équipement du site pour la protection des poissons et la dévalaison au droit des usines hydroélectriques déjà existantes.

- 1) Pour fixer la mesure ou la combinaison de mesures la plus appropriée pour un site spécifique, il convient de prendre en compte
 - l'emplacement géographique de l'usine (p. ex. sa localisation dans le bassin et les caractéristiques du fleuve) ;
 - la fonction et le mode d'exploitation de l'usine ;
 - la conception et la position des éventuels corridors de dévalaison ;
 - les conditions hydrauliques (p. ex. les profils et vitesses d'écoulement dans le périmètre du flux entrant du fleuve et à proximité de l'usine) ;

- les dispositions juridiques en vigueur ;
- et de définir des espèces cibles à protéger, conformément à une ichtyofaune potentiellement naturelle prise comme référence compte tenu de critères biologiques (p. ex. présence saisonnière et/ou périodes de dévalaison, comportement, performances, âge, taille).

Ces facteurs, une fois évalués, permettent de fixer les exigences et les critères que les mesures doivent au minimum respecter. Avec ces critères, il est alors possible d'évaluer et de sélectionner les mesures disponibles en fonction de leur adéquation/applicabilité au site concerné.

- 2) Les mesures constructives sont à concevoir dans l'idéal de telle sorte qu'elles puissent être optimisées par la suite sans que les coûts soient disproportionnés. Par ailleurs, elles doivent être suffisamment robustes pour résister à la fois aux événements extrêmes et à l'usure potentielle en fonctionnement continu. Les mesures constructives doivent apporter durablement le même niveau de protection défini.
- 3) La mise en œuvre de mesures innovantes doit être accompagnée de monitorings biologiques.
- 4) Les échanges sur la recherche, le monitoring et l'évaluation des mesures dans le cadre de la CIPR doivent être poursuivis.
- 5) Pour préserver les populations de poissons, des objectifs devraient être fixés pour chaque bras ou tronçon fluvial, ces objectifs devant indiquer l'efficacité que les mesures proposées doivent atteindre là où sont localisés les différents points noirs, de manière similaire aux dispositions exprimées dans plusieurs directives (règlement européen sur l'anguille et directive cadre Eau).

Des objectifs clairs sont à définir pour des sites et des espèces de poissons spécifiques, compte tenu de la situation générale dans le fleuve (voir chapitre 4.4). Il convient toujours en parallèle d'envisager également des combinaisons de mesures visant à minimiser la mortalité cumulative (voir au chapitre 4.2 le projet « HDX-Wupper ») et de les évaluer par monitoring si nécessaire.

S'il est impossible de fixer des objectifs pour des sites spécifiques, on cherchera à appliquer en règle fondamentale la meilleure solution technique pour chaque site en appliquant les règles de l'art actuellement connues.

3.2 Mesures envisageables

Sous l'angle ichtyobiologique, on favorisera le dérasement d'usines hydroélectriques. Il convient de déterminer dans quelle mesure les bénéfices apportés par une usine hydroélectrique en termes de production d'énergie renouvelable compensent les « coûts écologiques » de perte d'habitats et de fragmentation d'hydrosystèmes. En effet, le plus grand gain écologique est celui obtenu par le démantèlement d'une usine hydroélectrique existante ou par l'abandon de projets de construction de nouvelles usines.

Il convient de préserver fondamentalement les rivières prioritaires du Plan directeur 'Poissons migrateurs' de tout nouvel obstacle à la migration (cf. [programme CIPR Rhin 2040](#)).

Si de nouvelles usines sont construites hors de ce cadre prioritaire, des objectifs plus stricts que ceux s'appliquant aux usines existantes peuvent être fixés (voir chapitre 4.4).

Comme décrit dans le chapitre 3.1, il existe rarement des solutions standards pour la protection des poissons et la dévalaison au droit d'usines hydroélectriques. La faisabilité des mesures exposées doit donc être vérifiée en fonction du site.

On retient en règle générale que les États du bassin du Rhin ont des approches différentes vis-à-vis des mesures disponibles (voir également chapitre 4) et des recommandations relatives à des mesures spécifiques.

Il y a cependant consensus sur le fait de recommander la mise en place de grilles fines horizontales ou verticales reliées à un exutoire de dévalaison (voir aussi chapitre 3.3).

3.2.1 Mesures testées avec succès : grilles fines horizontales ou verticales avec exutoire

Les mesures physiques, notamment celles sous forme de barrières (grilles) mécaniques, ont pour but d'empêcher le passage des poissons dans les turbines (effet de protection). Pour permettre la dévalaison, il est essentiel par ailleurs de disposer d'une voie de migration alternative de type exutoire de dévalaison (voir Wagner 2020). Une mesure efficace pour empêcher le passage des poissons dans les turbines est celle consistant à mettre en place des grilles fines. Ce type de mesure est déjà installé sur de nombreux sites. Des expériences sur la construction et l'exploitation de tels systèmes sont consignées (par ex. Cuchet et al. 2018, Ebel 2016, Ebel et al. 2018, Frey et al. 2020, Ingendahl et al. 2024, Tomanova et al. 2018a, Tomanova et al. 2018b, Tomanova et al. 2021). L'efficacité de la mesure dépend de l'espace libre inter-barreaux par rapport à la taille minimale de protection du poisson (déterminante tant en hauteur qu'en largeur, voir Meister et al. 2022, Knott et al. 2023). Il existe différents types de grilles fines : verticales ou horizontales et orientées de diverses manières par rapport au canal d'amenée. À l'opposé de grilles verticales, les poissons n'ont pas à quitter leur niveau de profondeur migratoire pour atteindre l'exutoire quand les grilles sont positionnées horizontalement et de biais par rapport à l'écoulement.

Dans le cas de grilles fines, la vitesse du courant d'approche au niveau de la grille joue un rôle important. Si le courant est trop élevé (p. ex. 0,5 m/s)¹, les poissons risquent d'être plaqués contre les grilles. En outre, l'angle et l'inclinaison de la grille sont déterminants. L'angle d'attaque du courant doit être au moins $< 45^\circ$, afin d'empêcher le poisson d'aller vers les turbines et d'assurer son guidage vers l'exutoire et hors de la zone de danger. Pour les grilles verticales, l'efficacité d'un angle d'attaque inférieur à 26° a été démontrée de manière explicite.

Indépendamment du positionnement d'une grille (qu'elle soit verticale ou horizontale), il est important que l'exutoire soit judicieusement placé si possible en sortie directe de la grille pour assurer une bonne réparabilité (effet de guidage) et pour minimiser les déplacements de recherche susceptibles de retarder le poisson. À cette fin, les dimensions de l'exutoire (taille et par conséquent débit de transit et accélération du courant), son emplacement (si possible à proximité immédiate de l'extrémité aval de la grille de protection) et son positionnement (sur toute la colonne d'eau ou à plusieurs entrées ponctuelles) doivent être adaptés à l'ichtyocénose en présence (voir Ebel 2016).

Ebel (2016) recommande d'adapter les dimensions de l'exutoire au débit d'équipement de l'usine hydroélectrique pour améliorer la réparabilité en cas de déficits sur le site (2-5 % de ce débit avec et 5-10 % de ce débit sans attaque horizontale du courant). Il convient de tenir compte de cet aspect, en particulier pour les installations existantes où la barrière physique peut être traversée par des espèces cibles définies, où le courant d'attaque a une vitesse inappropriée, ou encore où la relation entre la position de l'exutoire et celle de la barrière est défavorable (l'exutoire devant être placé le plus près possible de la barrière).

¹ voir p. ex. les instructions en DE-NRW tirées du guide sur les ouvrages transversaux (Handbuch Querbauwerke)

3.2.2 Autres mesures

À côté des grilles fines « classiques » avec exutoire, d'autres mesures sont appliquées à titre transitoire ou sont à l'essai ; elles gagneront peut-être en importance à l'avenir, éventuellement sur certains sites particuliers. Entrent ici en ligne de compte, à côté d'autres mesures physiques, les turbines moins dommageables pour les poissons, les mesures d'exploitation et les mesures comportementales. Ces mesures sont décrites dans les paragraphes suivants.

Mesures physiques

Barres verticales de guidage de type Curved Bar-Rack² (CBR) : ce type de structure de guidage (curved bar rack, vertical bar rack, louvers) a des espacements de barres permettant en grande partie le passage des poissons, mais il génère des turbulences qui ont un effet répulsif et orientent les poissons vers l'exutoire. L'avantage de ces structures est qu'elles évitent les pertes de charge occasionnées par les grilles fines susmentionnées, exigent moins d'entretien et permettent de guider et de protéger un large éventail d'espèces de poissons de toutes tailles. Les résultats en laboratoire disponibles sont très prometteurs mais les expériences de terrain sont encore rares et les coûts de mise en place sur les usines hydroélectriques existantes semblent très élevés. Sur les nouvelles usines, les coûts sont très probablement moins élevés.² L'efficacité potentielle de ces technologies pour empêcher les poissons de se blesser reste encore incertaine.

Grilles Coanda : ce type de grille est vu comme une alternative ichtyocompatible de remplacement de grilles devant une prise d'eau classique dite « tyrolienne ». L'eau s'écoule par-dessus le seuil du barrage sur une grille placée directement en aval caractérisée par un faible espace inter-barreaux et une surface lisse formée de barres triangulaires. Les poissons et les matières solides peuvent glisser sur un film d'eau par-dessus la grille submergée jusqu'au bief aval (cf. OFEV 2022).

Grilles à câbles : les grilles susmentionnées sont des grilles fixes. Au lieu de ces grilles, on peut aussi mettre en place des grilles dites « à câbles » : Il s'agit ici de câbles tendus entre deux points d'ancrage au-dessus du canal d'amenée vers l'usine hydroélectrique. Les coûts d'une telle construction restent raisonnables. Pour l'exploitation de l'usine, l'avantage est que cette grille peut être rabaisée en phase de crue pour laisser libre passage aux débris flottants. Cependant, cette manœuvre est déconseillée si l'on entend retenir les poissons migrateurs ou les guider. En effet, il est important que l'espace entre les câbles soit maintenu durablement le plus étroit possible. Les potentialités d'une utilisation étendue de ces grilles à l'avenir sont incertaines.

Grilles de guidage Partial Depth : leur principe est similaire à celui des structures de guidage de type CBR, mais uniquement dans la partie supérieure de la colonne d'eau. Elles sont absentes dans la partie inférieure de la colonne d'eau. Dans cette partie, les poissons ne sont ni retenus ni guidés. Dans l'état actuel des connaissances, quelques espèces de poissons migrent principalement dans les couches d'eau supérieures, p. ex. les salmonidés. Pour ces espèces, une grille de ce type peut être efficace à condition que les poissons migrateurs soient directement guidés vers l'exutoire de dévalaison et n'aient pas à rechercher d'autres voies de migration. Certaines espèces (comme le barbeau) semblent migrer principalement au fond du fleuve. Ce type de grille n'est alors pas efficace pour ces espèces. On limiterait sensiblement les coûts si l'installation des structures se limitait aux premiers mètres en dessous de la ligne d'eau, mais on ne sait

² M. Huber-Gysi, communication orale

pas encore si l'effet de telles structures est satisfaisant. Des études détaillées à ce sujet font encore défaut.

Structures de guidages proches des berges, de type grilles de guidage et défecteurs de courant (cf. projet FishPath (VAW)) : ce type de mesures vise à limiter les structures de guidage aux endroits où les poissons se regroupent naturellement à proximité du barrage. Des structures de guidage peuvent alors être installées aux endroits particuliers identifiés, ce qui aurait pour effet d'abaisser fortement l'étendue des travaux constructifs et donc les coûts. Pour concrétiser de telles solutions, il faudrait d'abord réaliser des études comportementales permettant d'identifier les emplacements vers lesquels les poissons s'orientent naturellement. Des analyses télémétriques p. ex. peuvent aider à identifier les modes de recherche et principaux sites où sont localisés les poissons. On ne sait pas encore aujourd'hui si toutes les espèces ont un comportement similaire à proximité d'un barrage et si ce type de solutions peut être efficacement appliqué à un large éventail d'espèces et de tailles de poissons. En outre, le comportement des poissons peut varier d'une année sur l'autre en fonction de facteurs abiotiques tels que le régime hydrologique ou la température. Des observations sont donc nécessaires sur plusieurs années pour s'assurer que le comportement des poissons est stable au fil du temps.

Parois plongeantes mobiles : ce type de mesures consiste à installer une structure flottante avec une paroi plongeante qui couvre les premiers mètres au-dessous de la surface. Cette structure est fixée par câbles à la berge et/ou à la digue et peut donc être facilement déplacée (p. ex. en situation de crue ou si le positionnement doit être optimisé après l'installation). L'efficacité de ce type de mesures est incertaine, car sa fonctionnalité se limite aux premiers mètres sous la surface.

Turbines moins dommageables pour les poissons

Le type de turbines et son mode de fonctionnement ont un impact prononcé sur la mortalité des poissons. Les adaptations de turbines ou de leur mode de fonctionnement (voir point 3 suivant) peuvent abaisser le risque de blessures et de mortalité.

On retient pour les usines hydroélectriques à faible hauteur de chute que la mortalité des poissons est principalement due aux collisions avec les pales des turbines. Entrent ici en ligne de compte comme caractéristiques critiques de mortalité l'épaisseur de la pale (avec laquelle le poisson entre en contact), l'angle et l'orientation des pales lors de l'impact, la vitesse de rotation et le nombre de pales (Berkel *et al.*, 2016). Des turbines mettant en avant le critère important de la sécurité du poisson ont été développées au fil du temps et permettent de limiter la mortalité à quelques pourcents tout au plus, p. ex. les turbines RHT de Natel Energy (taux de survie de 98 à 100 % selon le fabricant, voir Amral *et al.* 2020, Watson *et al.* 2022 und Watson *et al.* 2023). Des essais sur le terrain ont eu lieu par ex. avec des vis hydrodynamiques (Kibel P., 2007 ; Kibel P., 2008), des turbines VLH (Very low head) (Courret & Larinier, 2008 ; Lagarrigue T., 2013), de même qu'avec un modèle de centrale mobile (« das Bewegliche Kraftwerk »). On analyse actuellement la faisabilité et les coûts de mise en place de turbines de type RHT sur une usine en Suisse (en discussion pour l'usine d'Eglisau). D'autres études ont porté sur des turbines de type Fairbanks Nijhuis (Winter *et al.*, 2012; Bruijs & Vriese, 2013 ; Vriese, 2015) et de type Voith Minimum Gap Runner (Robb, 2011).

Mesures d'exploitation

Les adaptations de gestion d'une usine hydroélectrique peuvent avoir un effet sur la mortalité des poissons. On peut penser ici p. ex. aux modes de répartition de l'eau entre l'usine et le barrage ainsi qu'à l'exploitation de l'eau, mais également aux réglages des turbines, voire même à leur arrêt aux dates de pics de migration des poissons (voir exemples au chapitre 4).

Mise à l'arrêt des turbines : s'il n'est pas possible dans la pratique de protéger les poissons à la dévalaison dans une marge suffisante à l'aide d'autres mesures (physiques, comportementales ou avec des turbines ichtyocompatibles), la mise à l'arrêt des turbines peut être une mesure efficace. Les turbines doivent être arrêtés aux dates où ont lieu les dévalaisons/migrations des espèces cibles. On peut utiliser des systèmes dits « d'avertissement précoce » ou des modèles prévisionnels pour anticiper les périodes de migration. La précision de ces outils peut varier de site à site et se répercuter en conséquence sur la gestion de l'exploitation (périodes plus ou moins longues de mises à l'arrêt). Pendant la phase de mise à l'arrêt, les poissons peuvent dévaler par des voies alternatives.

Gestion adaptée des turbines : La mortalité des poissons au droit d'usines hydroélectriques peut dépendre de la quantité d'eau qui transite par la turbine. Pour les turbines dont le flux sortant est régulé par l'orientation des pales, l'espace entre les pales augmente lorsque le débit est élevé, ce qui abaisse la mortalité des poissons. Si plusieurs turbines sont installées, une gestion adaptée (visant à maximaliser le débit par turbine) permet de réduire le taux de mortalité. Le degré de réduction dépend de différents facteurs. Des exemples montrent qu'une gestion adaptée des turbines pouvait déboucher sur une baisse de mortalité de 25 % des anguilles argentées (Bakker 2016).

Capture et transport : à titre complémentaire, on peut éviter la mortalité des poissons à la dévalaison en les capturant dans le bief amont de l'usine hydroélectrique et en les relâchant dans le bief aval. L'anguille argentée se laisse capturer à la nasse p. ex. Cette mesure exige cependant des efforts importants en termes de temps de travail. La contribution de cette mesure au pourcentage de survie des poissons dépend de l'étendue des efforts de capture et de l'efficacité des engins de pêche utilisés (selon les sites). On peut retenir globalement que l'efficacité reste limitée. En outre, la fréquence de levée des engins de capture fait que cette mesure entraîne un ralentissement de la migration des poissons.

Gestion optimisée des barrages et des turbines : le principe est ici d'abaisser les coûts de perte de charge par une exploitation optimisée de l'eau pour la dévalaison. Ceci peut passer par des ouvertures ciblées des corridors de dévalaison sécurisés (exutoire, vanne ou autre). Ces ouvertures sont prédéfinies soit sur la base des connaissances sur les périodes de dévalaison des espèces concernées, soit sur celles, plus flexibles, d'observations en temps réel (p. ex. vidéo ou sonar) des poissons. Cette deuxième méthode permet de n'alimenter en eau les corridors de dévalaison qu'à l'arrivée des poissons. (De telles approches de solutions sont actuellement examinées dans le cadre d'une étude pilote sur l'usine de Stroppel).

Mesures comportementales

Alors que les mesures physiques empêchent les poissons d'une taille minimale donnée de s'engouffrer dans les turbines, les mesures comportementales ont pour but de guider le poisson vers des voies de passage alternatives en produisant des stimulations agissant sur son comportement. Dans la pratique, les mesures comportementales doivent être combinées à des voies de passage alternatives.

Plusieurs études ont montré l'inefficacité ou l'efficacité limitée des nombreuses barrières sensorielles étudiées : exemple sur les infrasons : Bau et al. 2011).

Structures de guidage par turbulences (cf. projet de recherche FishPath) : le groupe de recherches VAW (office de recherche de l'hydraulique, de l'hydrologie et de la glaciologie) de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich est associée au projet FishPath dont le but est de développer des méthodes fondées sur la réaction des poissons aux turbulences afin de les guider. Le projet doit permettre d'identifier les types de turbulences ayant le meilleur effet et les structures (p. ex. cylindres, hydrofoils) les mieux adaptées pour générer le mode de turbulences souhaité. Ce projet est au stade de recherche et devrait être achevé d'ici 2026 (voir <https://www.nina.no/fishpath>).

Rideaux de bulles et « BioAcoustic Fish Fence » (BAFF) : le principe de fonctionnement de ce type de barrière consiste à produire des stimulations sensorielles (p. ex. lumineuses, acoustiques ou par bulles), qui incitent le poisson à éviter certaines zones et à emprunter les corridors sécurisés de migration (exutoires). Jusqu'à présent, l'efficacité biologique de ce type de dispositif était généralement insuffisante et les mesures correspondantes n'étaient appliquées qu'en combinaison avec les barrières mécaniques en place. Le système BAFF relativement récent combine les stimulations acoustiques et un rideau de bulles et semble prometteur ; les premières expériences sont positives. Le grand avantage de ce type de systèmes est qu'il n'exige pas de barrières physiques dans la colonne d'eau. Ces systèmes sont donc relativement bon marché et n'entraînent pas de perte de charge, car ils n'entravent pas le flux entrant dans les turbines.

Dispositifs électriques de guidage et de répulsion : il existe des systèmes de guidage qui tirent parti de l'effet répulsif d'un champ électrique sur les poissons. Avec un espacement beaucoup plus large, les grilles de câbles électrifiées peuvent p. ex. guider les poissons vers un exutoire et minimiser ainsi les pertes de charge. De plus, les câbles peuvent être abaissés en cas de crue pour laisser passer les débris flottants. Une telle manœuvre n'est toutefois pas souhaitable sous l'angle de la protection des poissons, car les pics de migration ont généralement lieu en phase de crue. Ce type de solution n'a pas encore été testé sur de grosses usines et son efficacité reste à évaluer. Une autre solution consiste à électrifier la grille de protection des turbines ou la grille antidébris (placée devant la prise d'eau). On peut ainsi abaisser les coûts, car utiliser les grilles en place épargne des travaux de grande ampleur sur l'ouvrage de retenue. Cependant, l'orientation et le positionnement des grilles en place vis-à-vis de l'écoulement est rarement idéal au regard de la nécessité de guider le poisson vers la sortie ou l'exutoire. Il n'est toutefois pas prouvé que de tels systèmes de grilles aient un effet protecteur suffisant ; ceci est particulièrement incertain en cas de vitesse élevée de débit entrant. En outre, ces dispositifs électriques de guidage et/ou répulsifs sont préoccupants eu égard à la sécurité des personnes (sept. 2022 : accident avec deux morts dans l'Arve près de Genève éventuellement en relation avec l'utilisation d'un système électrique de refoulement des poissons).

« Induced drift application » (IDA) : le développement récent de la technologie IDA est également prometteur pour minimiser les dommages subis par les poissons au passage par les turbines. Cette approche consiste à installer directement sur la turbine un système électrique qui étourdit les poissons juste avant leur passage par les turbines. Comme un poisson inhibé ne lutte pas contre le courant, la probabilité qu'il se blesse au passage par les turbines est beaucoup plus faible. Les poissons passent plus rapidement par les turbines, ce qui abaisse la probabilité d'une collision (létale). Les premiers résultats montrent une réduction du taux de mortalité et de lésions de 50 %. Cette méthode est très récente et le retour d'expérience manque encore. Il est important de rappeler que le passage par des turbines non classées comme ichtyocompatibles est tout autre qu'idéal et qu'un risque de blessure ou de mort reste présent même s'il peut être faible pour certaines espèces et/ou classes d'âge. De plus, il est probable que les poissons soient encore étourdis et/ou désorientés et, de ce fait, plus exposés à la prédation en sortie des turbines. Il est donc impératif de prendre en considération les impacts de la prédation dans l'application de l'approche IDA.

3.3 Mesures en relation avec la taille de l'usine hydroélectrique

L'effet et l'applicabilité de ces mesures dépend au cas par cas de la taille et du type de construction de l'usine considérée. Au regard du rendement énergétique et de l'impact perturbateur des usines dans le milieu aquatique, l'option d'un « dérasement » devrait être examinée en premier lieu. Si un dérasement n'est pas applicable, les mesures mentionnées ci-après peuvent, en fonction du débit d'équipement de l'usine considérée, limiter les dommages occasionnés aux poissons.

3.3.1 Petites centrales hydroélectriques (débit d'équipement de l'installation allant jusqu'à 50 m³/s)

On dispose déjà d'un savoir technique avancé³ et d'expériences sur des dispositifs d'aide à la dévalaison fonctionnant de manière satisfaisante pour les petites usines hydroélectriques en place ayant un débit d'équipement de 50 m³/s maximum.

Dans le cas des petites centrales hydroélectriques, la priorité est à donner aux mesures constructives/physiques éprouvées sous l'angle technique et répondant à l'état de la recherche⁴ plutôt qu'aux mesures d'exploitation. Entrent ici en ligne de compte :

- les grilles fines horizontales ou verticales avec exutoire
- les grilles Coanda
- les turbines moins dommageables pour les poissons (différentes conceptions : vis, VLH, ...)

En règle générale, l'installation de grilles fines (espacement de 10-15 mm) qui ont un haut effet de protection physique garanti à partir d'une certaine taille de poisson, est relativement facile.

Si des mesures physiques ne sont pas applicables, des mesures d'exploitation, comme celle de la mise à l'arrêt temporaire de l'usine pendant les phases de migration des poissons, peuvent être envisagées à titre alternatif.

³ en DE : résultats du « Forum Fischschutz » (voir Umweltbundesamt 2003)

⁴ en DE : résultats du « Forum Fischschutz » (voir Umweltbundesamt 2003)

3.3.2 Centrales hydroélectriques de moyenne taille (débit d'équipement de l'installation compris entre 50 et 100 m³/s, peut aller jusqu'à 150 m³/s en fonction des définitions régionales)

Dans le cas d'usines hydroélectriques de taille moyenne, de nombreuses études et aménagements ont été réalisés au cours des dernières années (voir exemples au chapitre 4). Plusieurs usines correspondant à cette catégorie ont ainsi été équipées de systèmes efficaces de dévalaison.

Pour les usines de cet ordre de grandeur, les mesures physiques sont à prioriser (cf. chapitre 3.2). Les conditions hydrauliques en place font que les grilles fines avec faible espacement et haut effet protecteur ne sont plus applicables, ou ne le sont qu'à grand renfort de moyens, et qu'il est alors nécessaire de travailler avec des espacements plus larges et des grilles obliques de guidage. Des solutions avec grilles fines sont en cours de planification sur différents sites.

Il convient de vérifier de plus près l'efficacité et l'applicabilité de mesures d'exploitation et de mesures comportementales (cf. chapitre 3.2). Fondamentalement, toutes les mesures entrent en ligne de compte en relation avec l'objectif visé (p. ex. l'espèce cible).

3.3.3 Grandes centrales hydroélectriques (débit d'équipement de l'installation de plus de 100 m³/s)⁵

Les besoins de recherche et de développement restent importants, surtout pour les grandes usines hydroélectriques, et en particulier pour les grandes usines installées sur le Rhin. Pour cette raison, dans le cadre du [webinaire](#) « Protection et dévalaison des poissons sur les grandes usines hydroélectriques : partage d'expériences et de connaissances » organisé par la CIPR les 15 et 16 septembre 2021, des mesures de bonnes pratiques et les récents résultats de projets de recherche sur la protection et la dévalaison des poissons à hauteur de grandes usines hydroélectriques ont été présentés.

Le webinaire a montré qu'il existe une large palette de mesures envisageables pour faciliter la dévalaison des poissons au niveau des usines hydroélectriques. Ces mesures englobent :

- les systèmes de guidage (dispositifs physiques ou comportementaux) ;
- la gestion adaptée des turbines (gestion d'exploitation couplée à un système d'avertissement précoce) ;
- l'utilisation de turbines moins dommageables pour les poissons ;
- l'adaptation constructive du positionnement et du design de la prise d'eau ;
- la présence d'une voie alternative de passage aisément repérable et franchissable (p. ex. déversoir de barrage, bypass, passe à poissons etc.).

Les mesures proposées ici ont été vérifiées pour des systèmes allant jusqu'à 450 m³/s. Pour les usines de cette taille, les mesures évoquées plus haut sont recommandables, et il convient de vérifier si l'application de certaines de celles décrites au chapitre 3.2 peut également l'être. L'utilisation de systèmes de grilles est toutefois beaucoup plus complexe que sur les usines de plus petite taille et souvent impossible en l'état actuel des expériences et du stade de développement.

Il convient en outre de faire la distinction entre approches à long terme et approches à court terme. Les mesures d'exploitation comme celles de gestion optimisée du barrage et des turbines sont réversibles et applicables à court terme, à l'opposé des mesures constructives. En règle fondamentale, et en fonction de la disponibilité de méthodes pour vérifier l'atteinte des taux de survie, des taux de survie devraient être fixés par espèce à l'échelle de bassins versants et se fonder sur la biologie des peuplements et sur la mortalité cumulée des chaînes de centrales électriques dans le tronçon fluvial considéré.

⁵ chapitre 3.3.2

Pour atteindre cet objectif, la mise en œuvre des mesures peut se faire par étapes avec la réalisation prioritaire des mesures présentant le meilleur rapport coûts-bénéfices sous l'angle ichtyobiologique (il s'agit souvent de celles prises dans le bief aval).

4. Exemples pratiques dans les États

Les États dans le bassin du Rhin ont acquis beaucoup d'expérience en matière de mise en œuvre des techniques de protection des poissons et d'aide à la dévalaison pour abaisser la mortalité des poissons sur les usines hydroélectriques. De plus, le niveau de la recherche et des connaissances, en particulier sur les grandes usines hydroélectriques (débit d'équipement > 150 m³/s), a été amélioré par des projets pilotes et des mesures de transition efficaces ont été mises en pratique. L'annexe 1 comprend un aperçu synoptique des études menées dans les États du bassin du Rhin et de la Meuse sur la protection des poissons et la dévalaison.

Des exemples pratiques de mesures et de règles appliquées dans les États sont présentés ci-dessous.

4.1 Suisse

Usine de Dietikon

Dans l'usine de Dietikon (débit d'équipement de 95 m³/s), la plus grande grille fine horizontale de tout l'espace germanophone est entrée en service. L'espacement inter-barreaux est de 20 mm. La grille est en place depuis 2019 et, selon la société exploitante, elle n'a présenté aucun problème de fonctionnement ni d'entretien. Le contrôle d'efficacité biologique ne démarrera qu'en 2023 et on ne peut donc encore rien dire de concret sur son efficacité.

Usines de Stroppel et centrale de Rüchlig

Le débit d'équipement s'élève à 40 m³/s pour la centrale de débit d'attrait de Rüchlig et à 33 m³/s pour l'usine de Stroppel. Elles ont été toutes deux équipées d'une grille de guidage horizontale avec bypass, avec un espace inter-barreaux de 20 mm, et d'un exutoire de fond. L'angle d'attaque du courant à la centrale de Rüchlig est presque inexistant (parallèle au débit) et celui de l'usine de Stroppel est de 38 °. Des contrôles d'efficacité avec des rapports très complets sont disponibles pour l'usine de Stroppel sur la Limmat et pour la centrale de débit d'attrait de l'usine de Rüchlig sur l'Aar. Le nombre relatif de poissons dévalants n'a pas été recensé sur ces deux installations (dévalaison à la fois par les turbines et par les différents corridors alternatifs de dévalaison tels que les exutoires, dispositifs de montaison, surverse des barrages etc.), pour lesquels on ne dispose pas de chiffres de dévalaison). Ceci signifie que les contrôles d'efficacité biologique ne peuvent pas offrir des informations quantitatives globales sur l'effet de guidage et de protection des poissons. Dans les deux cas, les échantillons instantanés dans les nasses à armatures en aval du bypass étaient constitués à plus de 95 % de poissons < 10 cm, qui auraient en théorie pu passer par les grilles. Selon les rapports établis pour les deux usines, on peut donc supposer que seuls très peu de poissons dévalent par les grilles sur les turbines. Il s'agit d'hypothèses fondées, mais qui ne peuvent cependant pas être quantitativement prouvées de manière incontestable (des pêches dans le bief amont peuvent aider à tirer une comparaison avec les espèces de poissons ayant dévalé et la répartition de leurs tailles. Cette comparaison laisse supposer pour l'usine de Stroppel qu'il n'y a pas de sélectivité en fonction des espèces de poissons et de leur taille. De plus, le nombre important de poissons dévalants semble indiquer que la grille a une bonne fonction de guidage et que le ou les exutoires ont été trouvés dans

les deux usines. Pour l'usine de Stroppele, des enregistrements vidéo ont montré que les poissons ont bien trouvé les deux entrées de l'exutoire).⁶



Figure 1 : Vue d'ensemble des installations de la centrale de Rüchling (ArcGIS, consulté le 18.09.2018).

18.09.2018).

Légende : Hochwasserentlastung: évacuateur de crue ; Hauptkraftwerk: usine principale ; Fischaufstiegshilfen: dispositifs d'aide à la montaison ; Fischabstiegshilfe: dispositif d'aide à la dévalaison ; Frey-Kanal: canal de Frey ; Stauwehr: barrage ; Dotierkraftwerk : centrale de courant d'attrait

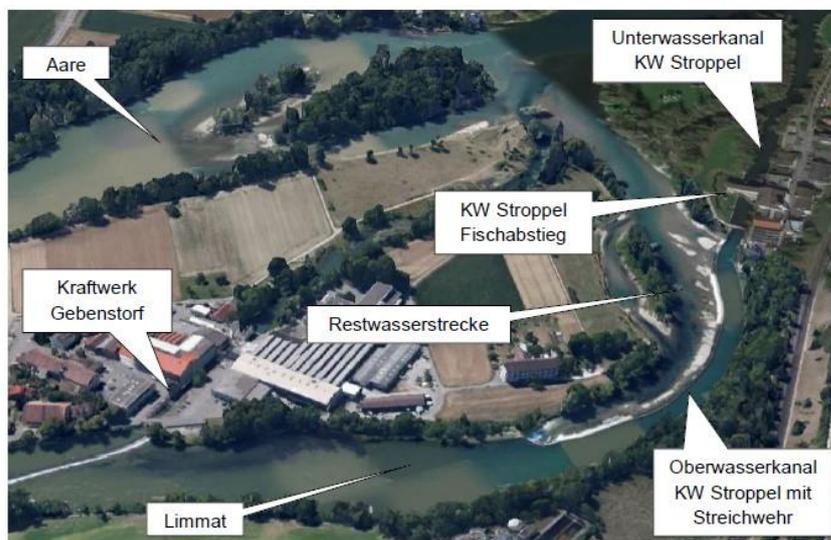


Figure 2 : Vue d'ensemble de la microcentrale hydroélectrique de Stroppele et de l'usine en amont de Gebenstorf sur la Limmat et l'Aar (écoulement de gauche à droite, source Google-Earth).

Légende : Aare: Aar; Kraftwerk Gebenstorf: usine de Gebenstorf ; Limmat: Limmat; Oberwasserkanal KW Stroppele mit Streichwehr: canal d'amenée de l'usine de Stroppele avec seuil à déversoir latéral

⁶ <https://plattform-renaturierung.ch/massnahmen-renaturierung/>

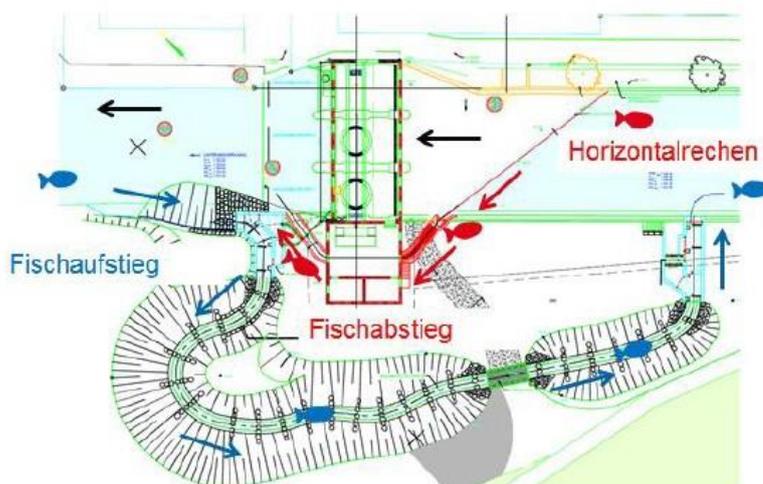


Figure 3 : Vue d'ensemble de la dévalaison dans la microcentrale hydroélectrique de Stroppele. La Limmat coule de droite à gauche.

Légende : Fischaufstieg: dispositif d'aide à la montaison; Fischabstieg: dispositif d'aide à la dévalaison ; Horizontalrechen: grille horizontale

4.2 Allemagne

Mesures provisoires temporaires de protection des poissons et d'aide à la dévalaison sur les grandes usines du Main, à l'exemple des sites d'Offenbach et de Kesselstadt (Mühlheim)

Il existe 34 barrages le long du Main. Les six barrages du Main inférieur en amont du débouché dans le Rhin se situent en Hesse, des usines hydroélectriques étant exploitées sur cinq de ces barrages. Elles ont une puissance de 4 à 5 MW avec des débits d'équipement de 160 à 210 m³/s. Généralement, sur les grandes usines comme c'est le cas sur le Main, seules des grilles de protection avec un large espace inter-barreaux sont installées afin d'empêcher les débris de grande taille d'entrer dans les turbines. La majorité des poissons en revanche peuvent franchir ces grilles et se retrouvent donc dans les turbines. En fonction de leur taille et de leur forme, un grand nombre de ces poissons (jusqu'à plus de 50 %) sont blessés voire même tués par les pales de ces turbines. De plus, des lésions (p. ex. affectant la vessie natatoire) peuvent être causées par le changement de pression lors du passage par le canal de la turbine. Il faut savoir ici que les installations sur le Main sont conçues pour turbiner env. 240 jours par an toute l'eau du fleuve (mis à part le contenu des écluses). Il n'y a généralement pas d'autres corridors de dévalaison sur place.

Le barrage de Kostheim y fait exception. Dès la mise en service de ce barrage en 2008, il a été équipé d'une grille fine avec un espace inter-barreaux de 20 mm ainsi que d'un dispositif d'aide à la montaison et à la dévalaison. Les deux voies de passage sont actuellement optimisées dans le cadre d'un projet pilote.

Les usines aux barrages d'Offenbach et de Mühlheim ont été construites dès le milieu/la fin des années 1980. Chaque ouvrage dispose de deux turbines (de 90 m³/s chacune). Jusqu'à l'automne 2018, aucun ouvrage n'a été modifié. Ainsi, seule une grille grossière avec un espace inter-barreaux de 100 mm était montée devant chaque turbine. À la suite d'une autorisation de poursuite de l'exploitation des deux sites délivrée aux termes du droit de l'eau, les autorités et la société gestionnaire ont cherché une solution intermédiaire qui tienne compte à la fois de la poursuite de l'exploitation des sites et de la protection des poissons pendant une période de transition.

Suite à la demande du gestionnaire, les réponses officielles envoyées en 2018 et 2019 ont autorisées la poursuite de l'exploitation des deux usines pour une durée limitée de cinq ans jusqu'à fin 2024. Les principales règles d'exploitation suivantes s'appliquent :

- Seules des turbines disposant de grilles de 15 mm en amont peuvent être mises en service.
- La vitesse de débit entrant devant la grille doit s'élever à max. 0,5 m/s.
- Seule la moitié du débit du Main peut être utilisée pour produire de l'hydroélectricité. Il en résulte une surverse permanente qui est un corridor de dévalaison potentiel pour les poissons.
- En cas de travaux de maintenance, de contrôle, de réparation ou d'autres travaux sur ou aux alentours des clapets de barrage effectués par l'administration fédérale des voies navigables et de la navigation (WSV), une plus grande quantité d'eau du Main peut aussi passer temporairement par les usines.
- Cette alimentation supplémentaire de courte durée est liée à un monitoring renforcé de l'afflux de débris flottants puisque le débit turbiné plus important augmente la vitesse sur les grilles ($> 0,5$ m/s) et peut engendrer des dommages plus importants pour les poissons.

L'exploitation encore en vigueur aujourd'hui s'est révélée favorable à la protection des poissons en tenant compte d'un dispositif d'aide à la dévalaison existant mais non optimal et de la restriction de la capacité des usines. Toutefois, elle ne représente qu'un compromis temporaire jusqu'à ce qu'une solution définitive qui permette de garantir sur le long terme une protection optimale des poissons combinée à l'exploitation optimale des usines soit développée et appliquée.



Figure 4 : Barrage de Mühlheim/Main (photo : Regierungspräsidium Darmstadt)

Projet « Protection et dévalaison des poissons sur l'installation pilote d'Unkelmühle » sur la Sieg

La Sieg est une rivière prioritaire pour le saumon (*Salmo salar*) et l'anguille (*Anguilla anguilla*) et également une rivière prioritaire de réimplantation du saumon en Rhénanie du Nord-Westphalie. Dans le cadre d'un projet-pilote (2011), une grille verticale de

10 mm inclinée à 27°, plusieurs exutoires (six proches de la surface, un exutoire de fond, trois tubes à anguilles installés à différentes profondeurs d'eau) et un dispositif d'aide à la montaison (nouvelle passe à fentes verticales) ont été construits pour améliorer la continuité et la protection des poissons sur le site de l'usine d'Unkelmühle (débit d'équipement : 27m³/s). Lors des travaux d'aménagement, le compromis le plus équitable possible doit être trouvé entre la meilleure protection des poissons et le moins de pertes d'énergie possible. De plus, outre un monitoring biologique (monitoring par capture de poissons sans émetteurs et suivi télémétrique de poissons dotés d'émetteurs), un monitoring sur l'exploitation a également été effectué. Ce dernier a montré qu'une grille avec profil goutte d'eau cause une moindre perte d'énergie qu'une grille avec profil en Y. Le monitoring biologique a présenté des pertes nettement supérieures pour les saumoneaux dévalants dans les zones de retenue peu naturelles et profondes par rapport au tronçon de référence à écoulement libre plus en amont (écoulement libre : 0,5 % - 1,6 %; retenue : 4,4 % - 17,1 %). La grille fine (10 mm) s'est révélée une protection totale contre un passage dans les turbines pour les poissons testés (à partir d'env. 13 cm de longueur totale pour les saumoneaux et de 60 cm pour les anguilles). Les anguilles argentées dévalantes et les saumoneaux empruntent les exutoires de surface et les clapets du barrage, s'ils sont ouverts, comme principaux corridors de dévalaison. Comparé à un barrage plus en aval sans usine hydroélectrique (barrage de Buisdorf), la vitesse de migration directement sur l'ouvrage a été réduite d'un facteur 10 (médiane : 0,4 km/h par rapport à 5,6 km/h). Les structures techniques, le système d'exutoire, la répartition du débit dans les différents corridors de migration et/ou les bruits produits et/ou les ondes de pression font peut-être hésiter les saumons (Ingendahl et al 2019).

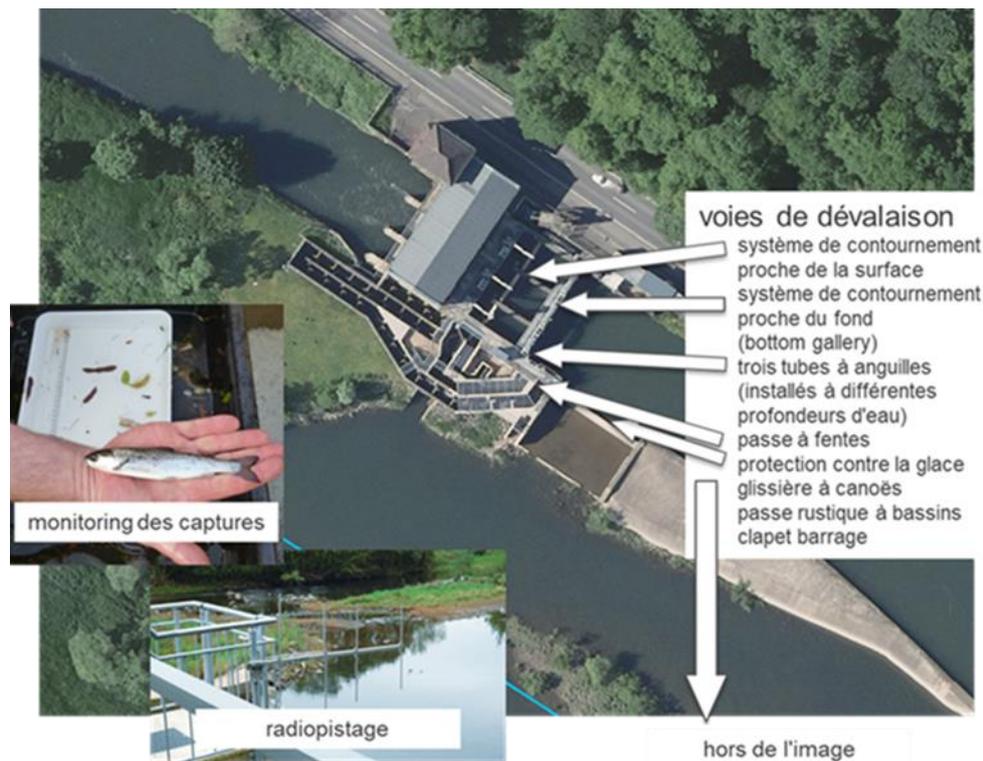


Figure 5 : Usine hydroélectrique d'Unkelmühle sur la Sieg (affluent du Rhin inférieur).

Projet « HDX-Wupper »

La Wupper est une rivière prioritaire pour le saumon (*Salmo salar*) et l'anguille (*Anguilla anguilla*) et également une rivière prioritaire de réimplantation du saumon en Rhénanie du Nord-Westphalie. Pour ces raisons, la restauration de la continuité vers l'amont et vers l'aval a un intérêt particulier. Pour rétablir la continuité, trois exutoires (de fond,

bypass smolts proche surface et vanne de purge) et deux nouveaux dispositifs d'aide à la montaison (sur l'usine et sur le barrage de dérivation) ont été construits sur l'usine d'Auer Kotten dans un tronçon court-circuité (débit d'équipement de 14 m³/s) dans le cadre de travaux d'aménagement (2009). De plus, une grille horizontale de 12 mm a été installée comme mesure de protection pour la dévalaison. L'analyse de l'efficacité de ces mesures a fait partie d'un projet « HDX-Wupper » (2013-2018) dans lequel la continuité de la Wupper a été évaluée sur une longueur de 65 km comprenant six usines hydroélectriques au moyen de poissons équipés de transpondeurs HDX (564 anguilles argentées, 1 500 saumoneaux, 3 088 « poissons sauvages »). Les résultats de l'étude ont montré que la grille horizontale de 12 mm d'Auer Kotten assure la protection des anguilles dévalantes et les saumoneaux. 80 % des poissons dévalants ont suivi le courant principal vers l'usine, où le meilleur corridor de dévalaison était le passage par la vanne de décharge temporairement ouverte. La passe à fentes verticales et l'exutoire proche de la surface ont également été des corridors de dévalaison tout aussi fréquentés. Une ouverture régulière de la vanne de décharge (au moins toutes les 30 min entre 19h et 6h) pendant la période de dévalaison des saumons et des anguilles (du 01.09 au 31.05) permet d'accroître le nombre de poissons dévalants (Wölleke et al. 2020).

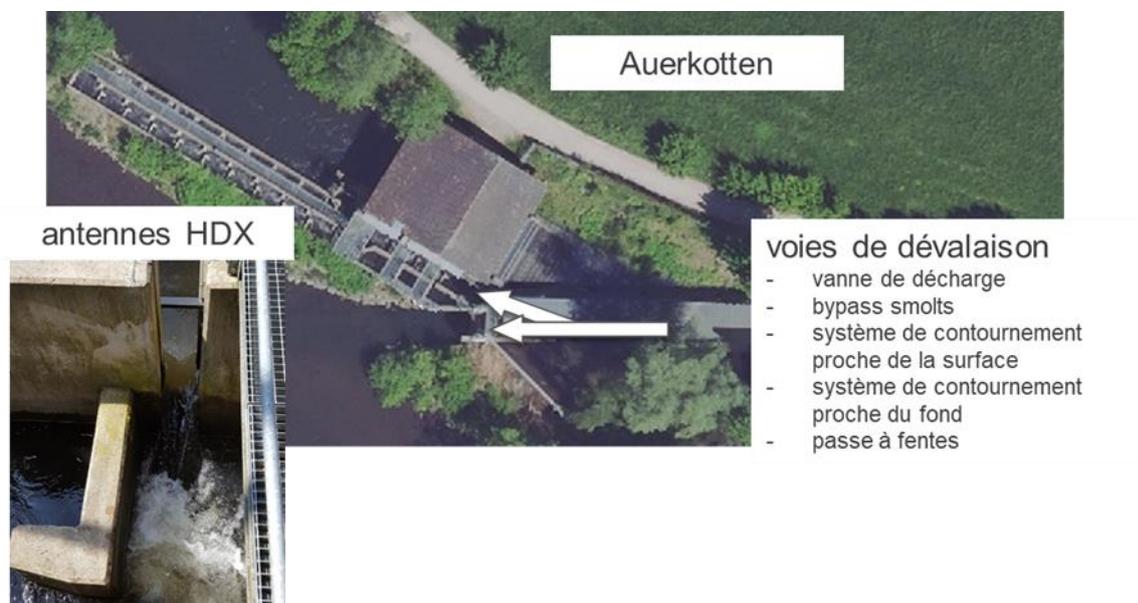


Figure 6 : Usine d'Auer Kotten dans le canal de dérivation sur la Wupper (affluent du Rhin inférieur).

4.3 France

Sur la Meuse :

La centrale de Revin (60 m³/s turbiné) est équipée d'une prise d'eau ichtyocompatible. Il s'agit d'une grille fine avec 20 mm d'espace inter barreaux, inclinée à 45°. L'objectif de cette installation est d'empêcher les poissons de passer dans les turbines et de les conduire vers l'aval de la centrale sans dommage.



Crédit photo : Office Français de la Biodiversité

Les barrages de Givet, Ham-sur-Meuse et Saint Joseph (50 m³/s turbiné) ont été reconstruits dans le cadre du Partenariat Public Privé (PPP) et équipés de turbines ichtyocompatibles, conçues de manière à permettre le passage du poisson sans dommages. Il s'agit de turbines « Very Low Head » (VLH) qui sont totalement immergées, quasiment silencieuses et ont une rotation lente. Ce partenariat permet d'équiper une vingtaine d'ouvrages sur la Meuse, à la montaison et/ou à la dévalaison.

Pour plus d'informations sur les turbines :

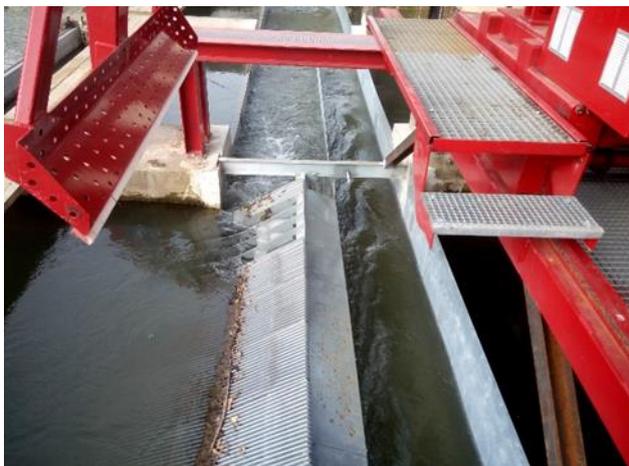
<https://www.vlh-turbine.com/fr/products/vlh-turbine/>

Sur l'Ill :

À Illkirch-Graffenstaden, la centrale hydroélectrique de Niederbourg (débit maximum turbinable : 45 m³/s) a été équipée d'un dispositif de dévalaison.

L'amont de la centrale est équipé de cinq grilles d'espacement 20 mm inclinées de 33° par rapport à l'horizontale. Au sommet de chaque grille est situé un exutoire.

L'inclinaison des grilles et la vitesse du courant à l'approche des exutoires permettent aux poissons de trouver ceux-ci et de rejoindre un canal de collecte situé derrière les grilles. Les poissons sont alors transférés vers l'aval de l'ouvrage via ce canal.



Crédit photo : Association Saumon Rhin

4.4 Pays-Bas

Il est fait la distinction aux Pays-Bas entre cours d'eau nationaux et cours d'eau régionaux. Les cours d'eau nationaux, dont font partie les grands fleuves, sont administrés par le Rijkswaterstaat. Ils sont sous le régime national s'appliquant à l'exploitation hydroélectrique. Les cours d'eau régionaux, p. ex. les affluents des grands fleuves, sont fréquemment administrés par des organes régionaux de gestion des eaux (les syndicats néerlandais des eaux). Des directives régionales s'appliquent à ces cours d'eau.

Législation

La « directive politique sur l'octroi de concessions aux usines hydroélectriques dans les cours d'eau nationaux de 2021 » (Journal Officiel néerlandais de 2021) s'applique aux autorisations délivrées aux usines hydroélectriques exploitant les eaux de surface gérées par l'État. Aux termes de cette directive, une concession ne peut être octroyée que si l'usine dispose des meilleures techniques disponibles pour protéger les poissons à la dévalaison et que si sont compensés les éventuels impacts négatifs sur la migration des poissons à la dévalaison.

Pour la Meuse (tronçon compris entre Eijsden et Lith) et pour le Nederrijn et le Lek, une concession ne peut être octroyée à une usine hydroélectrique que si l'exploitation de cette usine n'aboutit pas à un taux de mortalité cumulative de 10 % pour les saumons (smolts) et les anguilles argentées. Dans les tronçons susmentionnés, un taux de mortalité supérieur à 10 % n'est accepté que si la mortalité des saumons (smolts) et des anguilles argentées due à de nouvelles usines hydroélectriques ne dépasse pas 0,1 %. Parallèlement, cette règle d'octroi de concession d'exploitation hydroélectrique ne peut être appliquée que cinq fois tout au plus dans les parties de bassin concernées.

Pour les cours d'eau nationaux en dehors des parties de bassin de la Meuse, du Nederrijn et du Lek concernées, une concession ne peut être octroyée à une usine hydroélectrique que si celle-ci provoque tout au plus un taux de mortalité de 0,1 % pour les saumons (smolts) et les anguilles argentées dans la masse d'eau où elle est installée, et si une concession n'est pas déjà octroyée à une autre usine. Des dérogations s'appliquent à plusieurs cours d'eau mentionnés dans la directive politique sur l'octroi de concessions aux usines hydroélectriques dans les cours d'eau nationaux de 2021 (article 5, paragraphe 4).

Pour les cours d'eau régionaux, les différents gestionnaires ont leur politique propre. Celle-ci part souvent du principe que la production hydraulique ne doit pas perturber la migration des poissons, ni à la montaison, ni à la dévalaison. Par ailleurs, l'exigence à respecter est souvent de ne pas ou pratiquement pas blesser le poisson. On trouve dans les cours d'eau régionaux un nombre limité de petites usines hydroélectriques et d'anciens moulins à eau. L'usine la plus connue est probablement celle d'ECI sur la Rur (affluent de la Meuse).

Cours d'eau nationaux

On trouve aux Pays-Bas trois grandes usines hydroélectriques installées sur des cours d'eau nationaux (10-14 MW, $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$). Ces usines sont implantées sur la Meuse (Linne et Lith) ainsi que sur le Nederrijn (Maurik). À ces usines s'applique la « directive politique sur l'octroi de concessions aux usines hydroélectriques dans les cours d'eau nationaux ». La mortalité cumulative due aux usines hydroélectriques ne doit donc pas dépasser 10 % dans ces fleuves. Les deux usines installées sur la Meuse ne doivent chacune pas dépasser un taux de mortalité de 5 % (smolts et anguilles argentées) et il est attribuée à celle située sur le Nederrijn un taux de mortalité maximal de 10 %. Ces dernières années, une étude a tenté de déterminer si un taux de mortalité maximal de 5 % ou de 10 % était réalisable pour les smolts et les anguilles argentées. Le système Migromat® et d'autres systèmes d'avertissement précoce ont été appliqués dans ce cadre.

Bien que les mesures aient été efficaces jusqu'à un certain niveau, elles sont restées insuffisantes dans la Meuse pour ne pas dépasser un taux de mortalité maximal de 5 % par usine. L'étude est encore en cours pour l'usine installée sur le Nederrijn.

Mesures complémentaires

Pour ne pas dépasser un taux de mortalité de 5 % (Meuse) ou de 10 % (Nederrijn), des mesures complémentaires sont nécessaires (meilleur état de la technique). Il s'agit souvent d'une combinaison de mesures sous forme de mises à l'arrêt (temporaire) de turbines, de gestion adaptée des turbines et/ou de capture et transport d'anguilles argentées.

- *Mise à l'arrêt d'usines hydroélectriques*

Les usines hydroélectriques installées sur la Meuse à Linne et à Lith sont temporairement arrêtées pour faciliter la dévalaison des anguilles argentées et des smolts, ceci pour assurer un taux de mortalité ne dépassant pas 5 %. Cette mise à l'arrêt a lieu la nuit pendant les phases de migration des anguilles argentées et des smolts. Il y a de petites différences dans la durée d'interruption entre ces deux usines hydroélectriques. Ceci vient du fait que l'une des deux doit fournir plus d'efforts pour abaisser suffisamment le taux de mortalité des poissons. Pour fixer la mise à l'arrêt de l'usine de Linne au printemps, on utilise un modèle de Teichert adapté à la Linne pour prévoir la phase de migration des smolts (Teichert 2020). Pour l'usine de Maurik, la mise à l'arrêt des turbines dépend de l'évolution du débit. Quand le débit dépasse une certaine limite, les turbines sont arrêtées pendant une période de 48 heures. Du 1^{er} août au 30 novembre, une mise à l'arrêt n'est possible au maximum qu'une fois toutes les trois semaines. Du 1^{er} décembre au 31 janvier, les turbines ne sont arrêtées que pendant le premier dépassement de débit constaté sur cette période.

- *Gestion adaptée des turbines*

Les turbines installées sur la Meuse et le Nederrijn sont des turbines Kaplan à axe horizontal. Le débit turbiné peut être adapté par réglage de l'orientation des pales. Quand les débits sont faibles, l'espace entre les pales est plus étroit, ce qui génère une mortalité des poissons plus importante. En adaptant la gestion des turbines, on vise à réduire dans la plus grande mesure possible cette mortalité. En pratique, ceci signifie de faire tourner moins de turbines avec un débit entrant plus élevé. On a calculé par le passé que la mortalité des anguilles argentées pouvait ainsi baisser d'environ 25 % (Bakker 2016).

- *Capture et transport d'anguilles argentées*

Pendant la période comprise entre le 1^{er} septembre et le 1^{er} décembre, des pêches sont réalisées au droit de l'usine de Maurik pour capturer le plus grand nombre possible d'anguilles argentées et les transporter dans le bief aval. On évite ainsi que ces anguilles argentées migrent par les turbines. On peut dire globalement que l'efficacité de cette mesure est relativement faible. À titre d'illustration : on a calculé pour la Meuse qu'on interceptait par le passé de cette manière environ 1/30^e des anguilles argentées et 1/6^e de celles transitant par le Nederrijn (Bakker 2016). La faisabilité de la mesure dépend des conditions locales, du mode d'application des engins de pêche (nasses) et de leur nombre. En outre, cette méthode a l'inconvénient de ralentir la migration des anguilles argentées.



Figure 7 : Retenue de Lith (Meuse). À gauche l'usine hydroélectrique et la passe à poissons, à droite l'écluse de navigation (photo : Rijkswaterstaat).

Références

- Amaral, S. V.; Watson, S. M.; Schneider, A. D.; Rackovan, J. & Baumgartner, A. (2020). Improving survival: injury and mortality of fish struck by blades with slanted, blunt leading edges, *Journal of Ecohydraulics*, 5:2, 175-183, DOI: 10.1080/24705357.2020.1768166
- Bakker, H. (2016). Lowering fish mortality at hydropower stations in Dutch rivers. Dead ends and new chances. Rijkswaterstaat. Presentation Fish market 2016, Roermond.
- Bau et al. (2011). Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le Gave de Pau. 92 pages. <https://hal.inrae.fr/hal-02596839/document>
- Berkel, J. van; Esch, B. van & Vriese, T. (2016). Fish safety of large, low-head turbines. HZ University of applied sciences, Eindhoven University of Technology & ATKB. Presentation Fish market 2016, Roermond.
- Cuchet, M., Geiger, F. & P. Rutschmann (2018): Zum Fischschutz und Fischabstieg an geneigten und horizontalen Rechen. *WasserWirtschaft* 9/2018, 36-40
- Bruijs & Vriese: Workshop Fish Protection at Hydropower Stations in the River Meuse, the Netherlands, 2013
- CIPR. Rapport n° 140 : Impacts des usines hydroélectriques des affluents du Rhin sur la dévalaison des poissons, CIPR, 2004, www.iksr.org/fr
- CIPR. Rapport n° 247 : Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin 2018, CIPR 2018. www.iksr.org/fr
- CIPR. Rhin 2040. Le Rhin et son bassin : un milieu géré durablement et résilient aux impacts du changement climatique, CIPR, 2020, www.iksr.org/fr
- Courret & Larinier: Guide pour la conception de prises d'eau « ichtyocompatibles » pour les petites centrales hydroélectriques. RAPPORT GHAAPPERA.08.04 : http://www.onema.fr/IMG/pdf/2008_027.pdf, 2008
- Cuchet, M; Geiger, F. & Rutschmann, P. (2018). Zum Fischschutz und Fischabstieg an geneigten und horizontalen Rechen. *WasserWirtschaft* 9/2018, 36-40
- Ebel, G. (2016). Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen - Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. In: Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie. 2. A. Band 4, Halle/Saale: Eigenverlag
- Ebel, G.; Kehl, M. & Gluch, A. (2018). Fortschritte beim Fischschutz und Fischabstieg: Inbetriebnahme der Pilot-Wasserkraftanlagen Freyburg und Öblitz. *WasserWirtschaft* 9/2018, 54-62
- Frey A. ; Tomanova S. ; Mercier O. ; Richard S. ; Courret D. ; Tetard S. ; Tissot L. ; Mataix V. ; Lagarrigue T. (2020). Étude d'efficacité de prises d'eau ichtyocompatibles pour les smolts de saumon atlantique – Projet EFFIGRI. Synthèse des résultats 2017-2018. Rapport OFB-Pôle Écohydraulique, EDF R&D, ECOGEA.
- Handbuch Querbauwerke (2005). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. ISBN 3-9810063-2-1
- Ingendahl, D.; Weimer, P.; Wilke, T. et al. (2019). Abschlussbericht zum Projekt Fischschutz und Fischabstieg an der Pilotanlage Unkelmühle, (www.flussgebiete.nrw.de/abschlussbericht-zum-projekt-fischschutz-undfischabstieg-der-pilotanlage-unkelmuehle-8039, (2019); consulté le 14.06.2023)
- Ingendahl, D.; Burghardt, G.; Geist, S. J. (2024). Fischschutz an Wasserkraftanlagen durch Vertikal- oder Horizontalrechen, *Wasser und Abfall*, Ausgabe 9/2024

Kibel P. (2007). Fish Monitoring and Live Fish Trials. Archimedes Screw Turbine, River Dart. Phase 1 Report: Live fish trials, smolts, leading edge assessment, disorientation study, outflow monitoring. FISHTEK consulting, 38 p. + annexes.

Kibel P. (2008). Archimedes Screw Turbine Fisheries Assessment. Phase II: Eels and Kelts. FISHTEK consulting, 18 p. + annexes

Knott J, Mueller M, Pander J, Geist J (2023). Bigger than expected: Species- and size-specific passage of fish through hydropower screens. Ecological Engineering. 188:106883. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2022.106883

Lagarrigue T. (2013). Tests d'évaluation des dommages subis par les espèces piscicoles en dévalaison lors de leur transit à travers le groupe turbogénérateur VLH installé sur le Tarn à La Glacière (Millau). Principaux résultats des tests effectués en mai-juin 2013. https://www.vlh-turbine.com/wp-content/uploads/2019/01/vlh_fish_test_fr.pdf

Meister J., Selz O.M., Beck C., Peter A., Albayrak I., Boes R.M. (2022). Protection and guidance of downstream moving fish with horizontal bar rack bypass systems. Ecological Engineering 178 (2022) 106584.

OFEV (2022) : Rétablissement de la migration du poisson. Exemples de bonnes pratiques pour les centrales hydroélectriques en Suisse), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications.html>

Raynal S., Chatellier L., David L., Courret D., Larinier M. (2012). Définition de prises d'eau ichtyocompatibles - pertes de charge au passage des plans de grille inclinés ou orientés dans des configurations ichtyocompatibles et champs de vitesse à leur approche. RAPPORT POLE RA11.02. 114 pages.

Raynal S., Chatellier L., David L., Courret D., Larinier M. (2013). Définition de prises d'eau ichtyocompatibles – Etude de l'alimentation en débit et du positionnement des exutoires de dévalaison au niveau des plans de grille inclinés ou orientés dans les configurations ichtyocompatibles. Rapport Pôle RA.12.02. 112 pages.

Staatscourant 2021. Beleidsregel watervergunningverlening waterkrachtcentrales in rijkswateren Nr. 35745, 20 juli 2021

Teichert, N.; Benitez, J.P ; Dierckx, A.; Tétard, S.; Oliveira, E. de; Trancart, T.; Feunteun, E. & Ovidio, M. (2020). Development of an accurate model to predict the phenology of Atlantic salmon smolt spring migration. Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems. Volume 30, Issue 8. August 2020. Pages 1552-1565.

Tomanova S. ; Courret D. ; Alric A. ; De Oliveira E. ; Lagarrigue T. ; Tetard S. (2018a). Etude d'efficacité des exutoires associés à des grilles inclinées ou orientées pour la dévalaison des smolts de saumon atlantique. Etude 2016 et synthèse des résultats 2015-2016. Rapport AFB-Pôle Ecohydraulique, EDF R&D, ECOGEA.

Tomanova S. ; Courret D. ; Alric A. ; De Oliveira E. ; Lagarrigue T. ; Tetard S. (2018b). Protecting efficiently sea-migrating salmon smolts from entering hydropower plant turbines with inclined or oriented low bar spacing racks. Ecological Engineering. Volume 122: 143-152.

Tomanova S.; Courret D.; Richard S.; Tedesco PA.; Mataix V.; Frey A.; Lagarrigue T.; Chatellier L.; Tetard S. (2021). Protecting the downstream migration of salmon smolts from hydroelectric power plants with inclined racks and optimized bypass water discharge. Journal of Environmental Management 284 (2021) 112012.

Umweltbundesamt (2023). Abschlussbericht. Forum Fischschutz und Fischabstieg: Ergebnisse und Ausblick, <https://forum-fischschutz.de/forum-dokumente.html>

Vriese F. T.: Evaluation of Fish Injury and Mortality Associated with scale models of the Pentair Fairbanks Nijhuis Modified Bulb turbine and the Water2Energy Cross Flow turbine. Rapport Pro-Tide, 2015

Vriese, F. T., (2017). Vissterfte bij passage van stuwen. Rapport 20170587/01. ATKB, Waardenburg.

Wagner, S. (2020). „Wann ist ein Rechen ein Fischschutzrechen“, <https://forum-fischschutz.de/factsheets>, Fact Sheet 05

Watson, S.; Schneider, A.; Santen, L.; Deters, K. A.; Mueller, R.; Pflugrath, B.; Stephenson, J.; Deng, Z. D. (2022). Safe passage of American Eels through a novel hydropower turbine, Transactions of the American Fisheries Society. 2022;151:711–724, DOI: 10.1002/tafs.10385

Watson, S. M.; Schneider, A. D.; Gardner, L. C.; Apell, B. R.; Thompson, P. C.; Cadman, G. B.; Gagnon, I. F.; Frese, C. R.; Wechsler, J. F. (2023). Juvenile Alewife Passage through a Compact Hydropower Turbine Designed for Fish Safety, North American Journal of Fisheries Management. <https://doi.org/10.1002/nafm.10866>

Winter, Bierman & Griffioen: Field test for mortality of eel after passage through the newly developed turbine of Pentair Fairbanks Nijhuis and FishFlow Innovations, 2012. <http://www.fairbanksnijhuis.com/resources/images/3381.pdf>

Wöllecke, B.; Adam, B. & Scheifhacken, N. (2020). Blankaale und Lachssmolts – Abwanderung aus der Wupper. Erkenntnisse aus der Freilanduntersuchung zur Abwanderung der Fischarten über mehrere Kraftwerksstandorte. Natur in NRW 4/2020, 34-38

Annexe

Synopsis des études sur la protection et la dévalaison des poissons au droit d'usines hydroélectriques (mise à jour : novembre 2024)

	Étude	Débit d'équipement	Type d'étude	Caractéristiques hydrauliques du dispositif de protection des poissons	Espèces piscicoles analysées	Résultats de l'étude	Évaluation du succès/ des potentialités de la mesure (+) positif (-) négatif (o) aucune tendance nette	Recherches à approfondir	Institutions impliquées / contact	Lien	Statut (étude en cours ou achevée)	Publiée (oui/non)	Pays
1	Dispositif de guidage avec barreaux verticaux type « barrière comportementale » Curved-Bar Rack-Bypass System (f-CBR-BS)	Uniquement essais en laboratoire jusqu'à présent, mais potentialités pour les grandes usines hydroélectriques	Étude éthydraulique en laboratoire	Espacement inter-barreaux : 50 mm Inclinaison de la grille $\geq 30^\circ$ Vitesse d'approche entre 0,5 et 0,7 m/s	Spiralin, barbeau, hotu, truite fario, tacon de saumon atlantique, anguille européenne	FGE > 85 % spiralin, barbeau, hotu et tacon de saumon FGE < 60% truite fario FGE < 40 % anguille FPE > 90 % spiralin, barbeau, hotu et tacon de saumon FPE < 40 % anguille FPE < 60 % truite fario Faible perte de charge du fait de conditions hydrauliques optimisées	(+)	- Projet pilote Mise en œuvre d'un f-CBR-BS sur l'usine d'Herrentöbeli (< 50 m ³ /s) dans la Thur (CH), mis en œuvre : 2023. Espacement inter-barreau : 25 mm - L'électrification du f-CBR dans le projet consécutif a pu relever la FPE et la FGE pour certaines espèces (jusqu'à 100 % de la FPE und >60 % de la FGE pour les anguilles, >70 % de la FPE pour les truites et >50 % de la FGE pour les truites). Les données ne sont pas encore publiées	VAW ; Ismail Albayrak	Publication sur le comportement des poissons Publication sur les composantes hydrauliques : head loss Publication sur les composantes hydrauliques : flow field	achevé	oui	CH
2	Dispositif électrifié de protection à la dévalaison	Uniquement essais en laboratoire jusqu'à présent, mais potentialités pour les grandes usines hydroélectriques et pour le rétrofit d'installations existantes	Étude éthydraulique en laboratoire	Grille avec espacement inter-barreaux de 90 mm, f-CBR-BS et HBR-BS avec espacement inter-barreaux de 50 mm avec électrification	Chevesne, truite fario, anguille	Résultats publiés en partie Finalisation prévue à l'été 2025	(+)	- Voir projet pilote d'Herrentöbeli (étude ci-dessus) : L'éventualité d'une électrification a été prévue dans la construction de l'installation - Problématique des blessures dues au courant électrique Étude de la VAW prévue pour l'hiver	VAW ; Anita Moldenhauer, Ismail Albayrak	doi:/10.3850/IAHR-39WC2521716X202292 https://www.vaw.ch	en cours	en partie	CH
3	FishPath : Tourbillons de turbulence pour créer des corridors de passage des saumons et anguilles dévalant au droit des usines hydroélectriques	Uniquement essais en laboratoire jusqu'à présent, mais potentialités pour les grandes usines hydroélectriques	Étude éthydraulique en laboratoire	Courant turbulent généré par des obstacles placés devant l'usine Vortex Generator, espacement : 14,5 cm, angle : 30 °, vitesse d'écoulement : 0,3,0,6 & 0,8 m/s	Truite fario, saumon, anguille	Projet en cours, finalisation prévue en 2026 Les résultats provisoires des tests avec des poissons vivants (smolts de saumon atlantique) montrent près de 97 % de FGE	(+)	- Tests à grande échelle dans le laboratoire Vatenfall en 2025, tests dans l'échelle de prototypes en 2026 dans la rivière Mandal en Norvège	VAW ; Ismail Albayrak	https://www.nina.no/fishpath	en cours	non	CH
4	Étude de faisabilité VBR plus sur l'usine hydroélectrique de Bannwill (Aar)	450 m ³ /s (centrale de cogénération)	Étude de faisabilité						OFEV ; Martin Huber Gysi	https://www.swv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/WKW_BAN_Technisches_Vorprojekt_final_240320.pdf	achevé	oui	CH
			Analyses numériques			Prolongement des piliers de séparation indispensables dans le bief amont			VAW, ETZ Zurich	https://www.swv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/WKW_BAN_Radiotelemetrische_Untersuchungen_Final_230330.pdf	achevé	oui	CH
			Analyses ichtyobiologiques avec radiotélémétrie			108 poissons (37 %) ont dévalé. Sur un total de 292 poissons marqués, 257 (88 %) ont été retrouvés par Manual Tracking			FishConsulting	https://www.swv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/WKW_BAN_Radiotelemetrische_Untersuchungen_Final_230330.pdf	achevé	oui	CH
			Sondes sensorielles							TU Tallinn	https://www.swv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/WKW_BAN_Sensorforschungsuntersuchungen_vs_d_230520.pdf	achevé	oui

	Étude	Débit d'équipement	Type d'étude	Caractéristiques hydrauliques du dispositif de protection des poissons	Espèces piscicoles analysées	Résultats de l'étude	Évaluation du succès/ des potentialités de la mesure (+) positif (-) négatif (o) aucune tendance nette	Recherches à approfondir	Institutions impliquées / contact	Lien	Statut (étude en cours ou achevée)	Publiée (oui/non)	Pays
5	Étude de faisabilité VBR plus sur l'usine hydroélectrique de Wildegg-Brugg (Aar)	420 m³/s (usine sur canal de dérivation)	Étude de faisabilité (analyses numériques)	Configuration prévue : grille inclinée à 31° par rapport à l'axe du canal Espacement libre inter-barreaux : 50 mm					OFEV ; Martin Huber Gysi Axpo Power AG ; Ricardo Mendez	https://www.svw.ch/fileadmin/user_upload/site/7/98/KWWB_2024.03.27_H-17748_Technisches_Vorgehojekt.pdf	achevé		CH
			Étude ichtyobiologique avec télémétrie acoustique		Barbeau et autres espèces						https://www.svw.ch/fileadmin/user_upload/site/7/98/	non	
6	Projet-pilote sur l'usine hydroélectriques de Herrentöbeli (Thur)	11 m³/s	Construction et contrôle d'efficacité d'une Curved Bar Rack	f-CBR-BS, angle d'attaque du courant 37°, espace inter-barreaux 25 mm	truite & ombre	Construction en 2022 suivie d'un contrôle d'efficacité	en cours de réalisation	Électrification potentielle de la grille de guidage possible. (Pas prévue actuellement, car avec un espacement inter-barreaux restreint, le champ électrique est défavorable, avec des électrodes à l'aval et des électrodes sur l'avant des barreaux dont l'aménagement est coûteux)	SAK, OFEV ; Martin Huber Gysi		en cours	non	CH
7	Usine hydroélectrique de Dietikon (Limmat)	95 m³/s	Construction et contrôle d'efficacité de grilles fines horizontales	Grille de guidage horizontale, 45°, espacement inter-barreaux : 20 mm	Divers	En service depuis plus d'un an sans problème de fonctionnement ni d'entretien. Le contrôle d'efficacité biologique commence en 2033	(+) fonctionnement mesures hydrauliques actuelles par VAW		EKZ, OFEV ; Martin Huber Gysi VAW, ETZ Zurich		en cours	non	CH
8	Centrale de débit d'attrait de l'usine de Rüchlig (Aar)	40 m³/s	Construction et contrôle d'efficacité de grilles fines horizontales	Grille de guidage horizontale, pratiquement parallèle au sens du courant, exutoire de fond (50 cm de hauteur), espace inter-barreaux : 20 mm	Divers, 22 espèces, pourcentage élevé de cyprinidés et de percidés dans les contrôles de dévalaison	En service depuis 2015, contrôle d'efficacité biologique en 2017 avec nasse à armatures sur l'exutoire et Aris Sonar. Hélas sans recensement de comparaison entre dévalaison des poissons par les turbines et par d'autres corridors de dévalaison. - pas de risque de lésion à la dévalaison par l'exutoire - bon effet de guidage de la grille vers l'exutoire - la plupart (> 95 %) des poissons dévalants sont < 10 cm	(+) fonctionnement (0) contrôle d'efficacité biologique		Axpo Power AG ; Ricardo Mendez, WFN (Wasser, Fisch, Natur AG), Ökobüro ; Martina Breitenstein	https://plattform-renaturierung.ch/wp-content/uploads/2019/01/20200714-Ru%CC%88chlig-Wiko-Fischabstieg.pdf			CH

	Étude	Débit d'équipement	Type d'étude	Caractéristiques hydrauliques du dispositif de protection des poissons	Espèces piscicoles analysées	Résultats de l'étude	Évaluation du succès/ des potentialités de la mesure (+) positif (-) négatif (o) aucune tendance nette	Recherches à approfondir	Institutions impliquées / contact	Lien	Statut (étude en cours ou achevée)	Publiée (oui/non)	Pays
9	Usine hydroélectrique de Stroppel (Limmat)	33 m ³ /s	Construction et contrôle d'efficacité de grilles fines horizontales	Grille de guidage horizontale, angle d'attaque du courant 38°, exutoire de fond, espace inter-barreaux : 20 mm	Divers, 28 espèces, pourcentage élevé de cyprinidés et de percidés dans les contrôles de dévalaison	En service depuis 2013/2014, contrôle d'efficacité biologique 2015-2017 avec nasse à armatures sur l'exutoire et enregistrement vidéo devant la grille et avec Aris Sonar devant et derrière la grille. Hélas sans recensement de comparaison entre dévalaison des poissons par les turbines et par d'autres corridors de dévalaison : - la plupart (> 95 % des poissons dévalants < 10 cm - bon effet de guidage de la grille - pas de sélectivité d'espèce ou de taille du corridor de dévalaison	(+) fonctionnement, mais adaptation de la sortie de l'exutoire (pour atténuer la courbure) (+) contrôle d'efficacité biologique	https://www.mdpi.com/2073-4441/14/5/776/pdf?version=1646128343	Axpo Power AG ; Ricardo Mendez,	https://plattform-renaturierung.ch/wp-content/uploads/2019/04/KWKSt-2018_09_04-Bericht-Erfolgskontrolle-Fischabstieg_inkl.-Anhang_final.pdf			CH
10	Système d'exutoire moderne pour la dévalaison d'espèces européennes emblématiques (Advanced Bypass System for Downstream Migration of European Key Umbrella Fish Species (ABSYS))	Uniquement essais en laboratoire jusqu'à présent, mais potentialités pour les grandes usines hydroélectriques et pour le rétrofit d'installations existantes	Étude éthydraulique en laboratoire	Grille avec espacement inter-barreaux de 90 mm, f-CBR-BS et HBR-BS avec espacement inter-barreaux de 50 mm	Spirilin, barbeau, truite fario, anguille, saumon	Finalisation prévue d'ici l'automne 2027		Voir projet pilote d'Herrentöbeli (étude ci-dessus) : L'éventualité d'une électrification a été prévue dans la construction de l'installation	VAW; Ismail Albayrak, Yuhao Yan	https://vaw.ethz.ch/en/research/hydrolic-engineering/research-projects.html#absys	en cours	non	CH
11	Dévalaison d'anguilles argentées venant de la Rur au droit de l'usine hydroélectrique de Lith	± 400 m ³ /s	Étude ichtyobiologique avec transpondeurs NEDAP	-	Anguille argentée	2018-2019 : 91 % des anguilles dévalent au droit de l'usine de Lith après alerte Migromat 2019-2020 : 56 % des anguilles dévalent après alerte Migromat à Migromat ne fournit pas des prévisions de dévalaison des anguilles avec la même fiabilité chaque année Sur 24 anguilles dévalantes au total, seules 8 ont survécu au passage de l'usine/du barrage de Lith	(+) (-)		Rijkswaterstaat ; André Breukelaar ATKB (Tim Vriese)		achevé		NL
						Au niveau de l'usine de Lith, on estime pour les deux années d'analyse que respectivement 60 % et 32 % des anguilles ont été déviées (baisse de mortalité) par le barrage lorsque l'usine a été mise à l'arrêt pendant deux nuits après une alerte Migromat. Cependant, au moins 85 % des anguilles devraient être déviées pour que l'on puisse respecter la norme de 5 % max. de mortalité. Cette expérience peut donc être considérée comme un échec et le système Migromat ne sera plus utilisé à l'avenir. Le projet 'Paling over de Dijk' (anguille par-dessus la digue) est aussi trop peu efficace et fiable dans la Meuse à hauteur de Lith.							

	Étude	Débit d'équipement	Type d'étude	Caractéristiques hydrauliques du dispositif de protection des poissons	Espèces piscicoles analysées	Résultats de l'étude	Évaluation du succès/ des potentialités de la mesure (+) positif (-) négatif (o) aucune tendance nette	Recherches à approfondir	Institutions impliquées / contact	Lien	Statut (étude en cours ou achevée)	Publiée (oui/non)	Pays
12	Système d'alerte précoce (Migromat) ; dévalaison des anguilles argentées à Lith et à Linne (Meuse) ainsi qu'à Maurik (Rhin)	± 400 m ³ /s	Monitoring, radiopistage (transpondeurs NEDAP)		Anguille argentée	<p>Sur la base des connaissances récentes, on peut conclure que le système Migromat® ne remplit pas les conditions requises pour respecter chaque année la norme de mortalité dans la Meuse.</p> <p>Le système Migromat s'avère non fiable pour prévoir la migration des anguilles argentées à Maurik, Lith et Linne. C'est ce qui ressort du monitoring en continu des anguilles argentées ayant migré au niveau des deux usines hydroélectriques pendant la période comprise entre le 1^{er} août et le 31 janvier au cours des deux années d'analyse.</p>			Résumé dans : Microsoft Word - 20200920_rap01_definitief_29_9_2021.docx (waterecologie.nl)	Publié	oui	NL	
13	Système d'alerte précoce pour la dévalaison des saumoneaux à Lith (Meuse)	± 400 m ³ /s	Développement du modèle sur la base des données de monitoring 2018/2019 à Lith. Système d'alerte précoce		Saumoneaux	<p>Modèle simple partant de trois éléments : la température de l'eau de la Meuse, la durée moyenne de migration des saumoneaux dans la Meuse et le fait que les saumoneaux passent par l'usine de Lith principalement de nuit.</p> <p>On peut dire à titre de conclusion prudente que l'EWS pour les saumoneaux peut suffire dans la situation actuelle, mais qu'il ne représente pas une solution pérenne (uniquement efficace en l'état pour les saumoneaux déversés dans la Meuse frontalière et non pas pour les saumoneaux provenant des rivières Ourthe, Berwinne, Geule et Rour).</p> <p>À plus long terme, le modèle de Teichert et al. (2020a) Life4Fish semble mieux adapté.</p>		Rijkswaterstaat ; Marjoke Muller/Harriet Bakker ATKB ; Tim Vriese	Résumé dans : Microsoft Word - 20200920_rap01_definitief_29_9_2021.docx (waterecologie.nl)	achevé	oui	NL	
14	Système d'alerte précoce pour la dévalaison des anguilles argentées à Linne (Meuse)	± 400 m ³ /s	Application d'un modèle		Anguille argentée	À l'usine hydroélectrique de Linne, on a examiné si un modèle alternatif de prévision de la migration des anguilles argentées, à savoir celui de van Teichert et al., 2020 (projet Life4Fish) donnait de meilleurs résultats que le système Migromat. Ce modèle repose sur l'augmentation du débit fluvial. Cette hypothèse semble confirmée. Il ressort des calculs effectués sur les deux années d'analyse que				?	?	?	

	Étude	Débit d'équipement	Type d'étude	Caractéristiques hydrauliques du dispositif de protection des poissons	Espèces piscicoles analysées	Résultats de l'étude	Évaluation du succès/ des potentialités de la mesure (+) positif (-) négatif (o) aucune tendance nette	Recherches à approfondir	Institutions impliquées / contact	Lien	Statut (étude en cours ou achevée)	Publiée (oui/non)	Pays
19	Test d'évaluation des dommages subis par les juvéniles de salmonidés et les anguilles argentées en dévalaison lors de leur transit à travers le groupe VLH sur le Tarn à Millau (2008)	20 m³/s	Étude de l'impact d'une VLH	Turbines VLH ichtyocompatibles	Saumon	Taux de mortalité différée négligeable Mortalité pour les smolts évalué à 3.1 %			ECOGEA				FR
20	La dévalaison des migrateurs amphihalins au niveau des petites centrales hydroélectriques	< 100 m³/s	Note sur les solutions à mettre en place pour la dévalaison : basée sur les connaissances techniques et biologiques actuelles (2012) + retour d'expérience						ONEMA DIR Sud-Ouest & ONEMA Pôle Eco-hydraulique				FR
21	Monitoring HDX Wupper	14 m³/s (Auerkotten)	Analyses ichtyobiologiques avec radiotélémétrie	Auerkotten : Espace libre de la grille horizontale : 12 mm ; longueur de la grille oblique 26,25 m ; angle d'attaque du courant de 30° ; 3 exutoires : fond, proche surface, bypass smolts	anguilles argentées, saumoneau, « poisson sauvage » (poisson sauvage = truite fario, ombre commun, hotu, barbeau, chevesne, vandoise, perche, truite de mer, lamproie fluviatile, brochet, saumon de fontaine, truite arc-en-ciel, gardon)	<ul style="list-style-type: none"> 80 % des poissons dévalant ont suivi le courant principal vers l'usine, le corridor de migration via barrage de dérivation n'a joué qu'un rôle secondaire. la grille horizontale (espacement libre : 12 mm) assure une fonction protectrice pour les anguilles et saumoneaux dévalants. le corridor de dévalaison le plus efficace est celui via la vanne de purge ouverte. on note que la passe à fentes verticales et l'exutoire proche de la surface sont des corridors de dévalaison tout aussi fréquentés. l'exutoire de fond et l'exutoire de dérivation des smolts sont moins empruntés. 	(+)		https://www.brd.nrw.de/themen/umwelt-natur/wasserwirtschaft/oberflaechengewaesser-wasserbuch-und-wasserrahmenrichtlinie/durchgaengigkeit-fischschutz/fischmonitoring	achevé	oui	D	
22	Protection des poissons et dévalaison dans l'installation pilote d'Unkeilmühle sur la Sieg	27 m³/s	Monitoring des captures, études télémétriques	Grille verticale inclinée à 27°, 3 plans de grilles, espacement libre inter-barreaux : 10 mm ; 3 exutoires : proche surface, 3 tubes à anguilles et exutoire de fond (tube et exutoire de fond débouchent dans des bassins de suivi)	saumoneau, anguille, « poisson sauvage » (poisson sauvage = truite fario, barbeau, vairon, chevesne, hotu, ablette, épinoche, spirin, gardon, goujon, vandoise, ombre commun, perche fluviatile, truite arc-en-ciel, tanche, loche franche, carpe, bouvière, brème, grémille, lamproie, omble, silure, vimbe)	<ul style="list-style-type: none"> une grille avec profil goutte d'eau cause une moindre perte d'énergie qu'une grille avec profil en Y. la grille avec (ou sans) offre une protection totale contre un passage dans les turbines pour les poissons testés (à partir d'env. 13 cm de longueur totale* pour les saumoneaux et de 50 cm pour les truites). par rapport au tronçon de référence à écoulement libre plus en amont, on a pu constater dans les zones de remous peu naturelles et profondes des pertes nettement supérieures pour les saumoneaux dévalants (écoulement libre : 0,5 % - 1,6 % ; retenue : 4,4 % - 17,1 %). le principal corridor de migration des anguilles argentées est le clapet barrage et celui des saumoneaux les exutoires proches de la surface. 		Recherches supplémentaires à réaliser sur les effets dans les retenues (prédation, désorientation, perte de temps à la dévalaison)	Bezirksregierung Cologne (NRW) : Thomas Wilke	achevé		D	
23	Swimway Vechte		Études ichtyobiologiques avec radiotélémétrie dans le but d'améliorer la migration des poissons de la source à la mer		truite de mer, Ide mélanote, lotte de rivière, houting, lamproie fluviatile, anguille argentée	projet en cours (jusqu'en 2023)			Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz : Karin Camara		en cours		D
24	Classification de la continuité migratoire des cours d'eau de NRW	-	Développement d'une classification de la continuité migratoire des cours d'eau de NRW (avec étude bibliographique)			Projet en cours ; fin prévue vers la mi-2024			Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz : Karin Camara, Sebastian Emde, Beate Bierschnek		en cours		D
25	Projet du LAWA : développement et test de critères d'évaluation de la continuité aux emplacements d'ouvrages (LFP O 3.19 ; sur mandat du cercle d'experts « Hydromorphologie » du « Comité Eaux de surface et eaux côtières » du groupe de travail « Eaux » de la Fédération et des Länder allemands »)	-	Mise au point d'une recommandation d'action pour classifier la continuité des poissons dans les cours d'eau			Projet en cours ; fin prévue vers fin 2022			Office fédéral allemand de l'environnement Stephan Naumann		en cours		D

FGE = Fish guidance efficiency = N_{bypass} / N_{total} FPE = Fish protection efficiency = $(N_{bypass} + N_{refusa}) / N_{total}$