

DISPOSITIFS D'AVALAISSON

Éléments bibliographiques

Par Pierre Paris, référent environnement



Septembre 2016

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION.....	2
2.	RAPPEL SOMMAIRE SUR LES « PRISES D’EAU ICHTYO-COMPATIBLES »	3
2.1	Principe général	3
2.2	Espacement entre barreaux.....	3
2.3	Vitesse normale.....	4
2.4	Rapport vitesse tangentielle / vitesse normale (→ angle des plans de grilles).....	4
2.5	Caractéristiques du (des) exutoire(s).....	4
3.	ETUDES DES PERTES DE CHARGES ET DES CHAMPS DE VITESSE	6
3.1	Etude 2011 – 2012.....	6
3.2	Etude 2014.....	7
4.	PLANS DE GRILLES ORIENTES A BARREAUX HORIZONTAUX	8
4.1	Référence.....	8
4.2	Principe	8
4.3	Pertes de charges et champs de vitesse	9
4.4	Retours d’expérience	10
4.4.1	Site de Hering.....	10
4.4.2	Autres sites.....	11

1. INTRODUCTION

Les critères de conception de prises d'eau devant permettre l'avalaison ont été proposés par le « Guide pour la conception de prises d'eau ichtyo-compatibles pour les petites centrales hydroélectriques » (Rapport GHAAPPE RA.07.02-V1, COURRET et LARINIER, septembre 2007).

Dans les divers pays européens, la problématique de l'avalaison a depuis lors fait l'objet de nombreuses études, puis à des réalisations pour lesquelles de retours d'expérience commencent à être disponibles.

Les deux grandes « familles » possibles quant aux modalités de mise en œuvre des plans de grille sont :

- Soit l'inclinaison des plans de grille par rapport à l'horizontale (avec exutoire(s) au sommet du plan de grille),
- Soit l'orientation des plans de grille par rapport à l'axe d'écoulement (avec exutoire à l'extrémité aval du plan de grille).

Les réalisations en France (et donc les retours d'expérience disponibles) sont essentiellement du premier type (grilles inclinées), la mise en œuvre de grilles orientées ayant été réservée (essentiellement au moins) à des cas particuliers de prises d'eau existantes (Halsou par exemple).

La présente note de travail constitue donc un porter à connaissance très sommaire traitant essentiellement des solutions basées sur les plans de grilles orientées par rapport à l'axe d'écoulement.

Il semble en effet qu'une connaissance partagée des diverses mises en œuvre possible soit indispensable pour permettre la mise en œuvre, dans chaque cas particulier, du système le plus adapté, notamment en termes de ratio efficacité (par rapport aux enjeux) / coût (investissement et exploitation).

2. RAPPEL SOMMAIRE SUR LES « PRISES D'EAU ICHTYO-COMPATIBLES »

Ce chapitre résume sommairement les préconisations du guide Courret et Larinier (2007).

2.1 Principe général

Le principe consiste en grilles fines inclinées devant assurer le blocage du poisson et son guidage vers un (ou plusieurs) exutoire(s) à partir duquel (desquels) il sera assuré le transit du poisson en sécurité jusqu'en aval de l'ouvrage.

Ce principe général (blocage – guidage – transit) est unanimement repris dans toutes les publications ou guides récemment publiés dans les divers pays européens notamment.

Les critères devant permettre le blocage et le guidage des poissons sont, dans les deux cas :

- L'espacement entre barreaux visant à interdire le franchissement de la grille physiquement (espacement < largeur du poisson) et/ou par comportement (pour les poissons présentant une réticence à s'engager dans des grilles dont l'espacement entre barreaux est légèrement supérieur à leur largeur),
- La valeur absolue de la vitesse normale qui doit rester inférieure au seuil à partir duquel peuvent être observés des phénomènes de placage des poissons sur le plan de grille.
- Le rapport vitesse tangentielle/ vitesse normale au plan de grille (fonction de l'angle du plan de grilles) vis-à-vis du guidage vers l'exutoire (ou les exutoires),
- Les caractéristiques du (des) exutoires (hydrodynamique notamment).

A ce stade de définition, les vitesses normales et tangentielles ont été approximées de manière théorique, par simple décomposition géométrique de la vitesse d'approche dans le canal (VA) :

- vitesse normale au plan de grilles, $VN = VA \times \sin(a)$,
- vitesse tangentielle au plan de grilles, $VT = VA \times \cos(a)$,

Avec a = angle du plan de grilles par rapport à l'horizontale (angle conventionnellement noté β) ou par rapport à l'axe d'écoulement (angle conventionnellement noté α).

2.2 Espacement entre barreaux

En ce qui concerne l'espacement entre barreaux vis-à-vis des les principales espèces cibles :

- pour les anguilles argentées, seul le blocage physique est efficace, des entrefers de 2 cm et 1.5 cm correspondant au blocage des individus respectivement d'au moins 60 cm et 50 cm environ (les tailles des anguilles avalantes sont essentiellement conditionnées par la situation au sein du réseau hydrographique : parties amont des bassins colonisées essentiellement par des femelles de grande taille à l'argenture, tandis que les mâles de plus petite taille se cantonnent préférentiellement dans les sections aval),
- pour les smolts de salmonidés, un entrefer de 2.5 cm peut être considéré comme constituant une barrière comportementale, tandis que le blocage physique intervient pour un entrefer de l'ordre de 1.5 cm (taille des smolts de saumon atlantique issus du milieu naturel pouvant être très variable, notamment dans le cas de deux cohortes, mais avec toujours une très grande majorité des individus compris entre 15 et 20 à 25 cm).

Ces résultats résultent de la morphologie des poissons (notamment ratio de la largeur du corps ou de la tête à la longueur) ainsi que d'une synthèse bibliographique, en particulier pour les aspects comportementaux (expérimentations citées principalement en France et en Allemagne).

Les préconisations actuelles dans les différents pays européens quant à l'espacement entre barreaux sont similaires et parfois inférieures à ces valeurs.

2.3 Vitesse normale

Afin d'éviter le phénomène de placage contre la grille, la vitesse normale ne doit pas dépasser 50 cm/s.

Cette valeur résulte d'une part de la vitesse de nage des poissons (notamment vitesse de croisière = possibilité d'un maintien durable à proximité du plan de grilles) et des observations expérimentales faites sur divers sites (sources citées : Etats-Unis et Allemagne). Elle est par ailleurs proche de la valeur préconisée sur la cote Est des Etats-Unis.

2.4 Rapport vitesse tangentielle / vitesse normale (→ angle des plans de grilles)

Pour les grilles inclinées par rapport à l'axe d'écoulement, le guidage vers l'exutoire (situé à l'extrémité aval du plan de grilles) est assuré lorsque que la vitesse tangentielle est supérieure ou égale à la vitesse normale, soit un angle théorique $\alpha \leq \arctg(VN/VT) = \arctg(1) = 45^\circ$. Ce ratio ($VN/VT \geq 1$) s'appuie sur les retours d'expérience de dispositifs similaires aux Etats-Unis.

Dans le cas de grilles inclinées par rapport à l'horizontale, les poissons ne peuvent atteindre le (les) exutoire(s) en tête du plan de grille qu'en remontant vers la surface, ce qui exige une vitesse tangentielle nettement supérieure à la vitesse normale (comportement moins « naturel » que dans le cas d'une grille inclinée par rapport à l'axe d'écoulement).

La valeur proposée est une vitesse tangentielle supérieure ou égale au double de la vitesse normale, soit un angle théorique $\beta \leq \arctg(VN/VT) = \arctg(1/2) = 26^\circ$ environ. Les retours d'expérience (Etats-Unis) relatifs à une inclinaison par rapport à l'horizontale concernent des dispositifs significativement différents (type Eicher ou MIS) des grilles proposées.

2.5 Caractéristiques du (des) exutoire(s)

Les conditions hydrauliques aux abords et à l'entrée de l'exutoire (et aux abords de l'exutoire) sont primordiales. Les principales préconisations générales peuvent être résumées comme suit :

- Vitesses au niveau de l'exutoire proches ou légèrement supérieures à la vitesse tangentielle, avec accélération modérée et absence de turbulences, ainsi que de contre-courants ou de courants ascendants pouvant masquer l'exutoire,
- Dimensions minimales de l'exutoire de 0.50 x 0.50 m (petites centrales) ou en relation (centrales plus importantes) avec le débit devant transiter par le système d'avalaison (2 à 10 % du débit maximal turbiné),
- Si nécessité de régulation, préférence à un clapet ou à un seuil en aval de l'exutoire,
- Si possible, chute de 0.50 m à 0.60 m en aval de l'exutoire (généralement clapet ou seuil de régulation) empêchant les poissons de remonter.

Ces préconisations sont basées sur divers retours d'expérience (expérimentations citées : Etats-Unis et France).

Le « techniquement réalisable » dépend toutefois fortement du type de configuration (inclinaison par rapport à l'axe d'écoulement ou par rapport à l'horizontale), des débits en jeu et des spécificités du site.

Dans le cas de grilles inclinées par rapport à l'axe d'écoulement :

- l'exutoire se trouve positionné en berge, au niveau de l'extrémité aval de la grille,
- celui-ci est contrôlé par un seuil ou un clapet qui doit être positionné légèrement en retrait par rapport à l'extrémité du plan de grille avec une « zone de transition » permettant d'assurer des conditions hydrodynamiques satisfaisantes (entonnement permettant d'éviter les phénomènes de décollement, remontée progressive du fond),
- ces conditions doivent se traduire par une accélération progressive de la vitesse tangentielle aux abords de l'exutoire, vers lequel les poissons sont guidés tout au long de la grille,
- la réalisation d'exutoire(s) intermédiaire(s) n'est donc nécessaire que dans le cas de plans de grilles très long,
- l'exutoire de surface peut éventuellement être complété par un exutoire de fond (solution testée en France pour l'anguille, mais retours d'expériences montrant que l'espèce peut passer par des exutoires de surface s'il y a blocage physique effectif).

Dans le cas de grilles inclinées par rapport à la verticale :

- l'exutoire (ou les exutoires) ne peuvent être réalisé(s) qu'en surface par ouverture(s) au sommet du plan de grilles vers une goulotte spécifique ou commune avec le système de dégrillage (dispositif de régulation reporté nettement plus en aval),
- il n'y a pas de guidage transversal vers l'exutoire (ou les exutoires), dont l'attractivité est en général légèrement renforcée par l'obturation de la partie amont du plan de grille (à l'exception des exutoires eux-mêmes),
- la réalisation de plusieurs exutoires est donc souvent nécessaire (sauf dans le cas des petites centrales avec un plan de grille de faible largeur).

3. ETUDES DES PERTES DE CHARGES ET DES CHAMPS DE VITESSE

3.1 Etude 2011 – 2012

Bien que référencée dans le cadre du programme R&D anguilles (action 11) comme un document de 2011, la version finale du rapport correspond a priori au document RAYNAL et al, 2012 : RAYNAL S. ; CHATELIER 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 pôle RA11.02.

L'étude repose sur la caractérisation expérimentale en laboratoire des pertes de charges et les champs de vitesse pour de multiples configurations (grilles inclinées ou orientées avec différents angles et différents espacements entre barreaux, dans le cas de barreaux rectangulaires et de barreaux à profil rectangulaire et hydrodynamique).

Pour les plans de grilles inclinés par rapport à l'horizontale, l'étude confirme globalement les valeurs proposées par Courret et Larinier (2007), notamment en ce qui concerne l'angle β vis-à-vis du guidage, avec toutefois une accélération de la vitesse normale dans la tranche supérieure de l'écoulement.

Vis-à-vis du placage des poissons, le respect d'une vitesse normale de 0.50 m/s au plus n'est ainsi obtenu que pour des vitesses d'approche ne dépassant pas 0.83 m/s pour une inclinaison de 25 – 26°.

Pour les grilles orientées avec des barreaux positionnés perpendiculairement au plan de grille, l'étude montre :

- des pertes de charges nettement supérieures à celles liées à des grilles inclinées,
- un phénomène marqué d'accélération progressive le long du plan de grilles des vitesses longitudinales (de l'ordre de 1.7 fois la vitesse d'approche à l'extrémité aval des plans de grille pour un angle de 45°) et des vitesses normales (de l'ordre de 1.0 à 1.15 fois la vitesse d'approche à l'extrémité aval des plans de grille pour un angle de 45°).

Vis-à-vis du placage des poissons, le respect d'une vitesse normale de 0.50 m/s au plus n'est donc obtenu que pour des vitesses d'approche ne dépassant pas 0.50 m/s environ pour une inclinaison de 45°.

Suite à cette étude, la présentation au séminaire de restitution du programme anguille (novembre 2011) a conclu que les grilles inclinées devaient être privilégiées car moins pénalisantes en termes de pertes de charge et de vitesse d'approche.

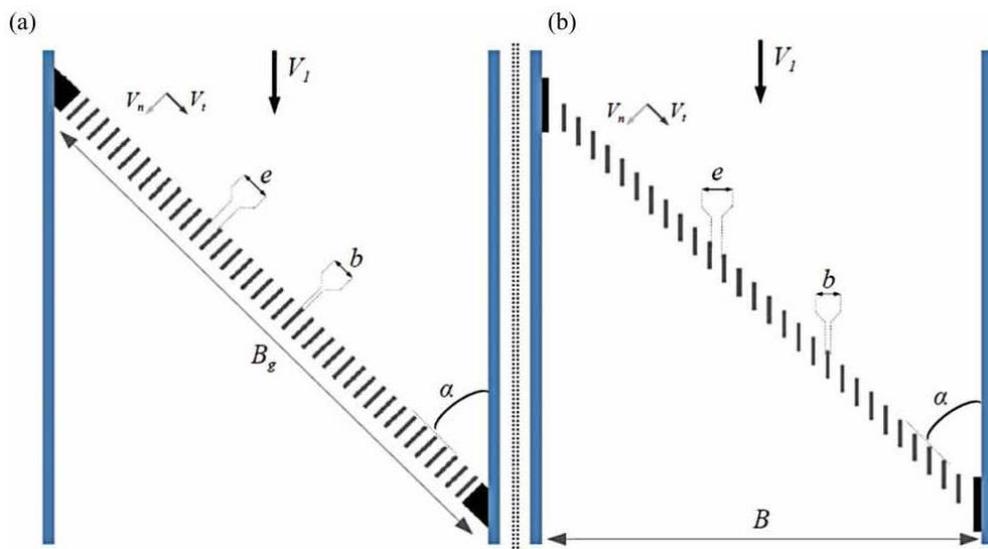
Dans les perspectives d'action, cette même présentation mentionne toutefois l'étude d'une nouvelle grille orientée avec un barreaudage dans le sens de l'écoulement visant à limiter les pertes de charges et le phénomène d'accélération des vitesses.

NB : cette étude porte exclusivement sur l'effet du plan de grille lui-même, implanté dans un canal rectiligne, sans intégrer l'effet des masques ni de l'exutoire lui-même (ou des exutoires eux-mêmes). Or, dans le cas des plans de grille inclinés avec exutoires en crête de plan de grille, la vitesse au niveau de ces exutoires ne peut être que très légèrement accélérée par des masques de surface, qui génèrent vraisemblablement des pertes de charges importantes.

3.2 Etude 2014

Cette étude correspond à la référence RAYNAL et al, 2014 : RAYNAL S. ; CHATELIER L. ; COURRET D. ; LARINIER M. ; DAVID L. ; 2014. Streamwise bars in fish-friendly angled trashracks. Journal of hydraulic research. Vol. 52 (N°3). pp. 426-431.

Pour cette étude, réalisée selon la même méthodologie que celle de 2012, la configuration étudiée consiste en un plan de grille orienté, mais avec des barreaux verticaux orientés dans le sens de l'écoulement (et non perpendiculairement à la grille).



Configurations étudiées en 2011-2012 (a) et en 2014 (b).

L'étude montre que par rapport à la configuration (a), des barreaux orientés dans le sens de l'écoulement (b) se traduisent par :

- Une très forte réduction des pertes de charges (60 % plus faibles pour un angle de 45 °),
- L'absence d'accélération significative des vitesses le long de la grille, avec des valeurs quasiment constantes entre les valeurs observées et les valeurs théoriques des ratios V_n/V_1 et V_t/V_n .

La condition $V_t/V_n \geq 1$ (guidage des poissons) est ainsi obtenue pour un angle $\alpha \leq 41^\circ$. Avec cet angle maximal de 41° , la condition $V_n \leq 0.5$ m/s (risques de placage) est obtenue pour une vitesse d'approche maximale $V_1 \leq 0.64$ m/s.

Au moins pour les vitesses d'approche assez faibles et/ou moyennant une réduction de l'angle pour les vitesses d'approche plus importantes, ce type de dispositif permet donc de respecter les critères définis par Courret et Larinier (2007).

4. PLANS DE GRILLES ORIENTES A BARREAUX HORIZONTAUX

4.1 Référence

Ce type de configuration est documenté notamment dans le livre de Guntram Ebel (2016) *Fischschutz und Fishabstieg an Wasserkraftanlagen, Handbuch Rechen- und Bypasssysteme*, publié par le Büro für Gewässerökologie und Fishereibiologie.

Ce document de 484 pages, dédié uniquement à l'avalaison au niveau des usines hydroélectriques, est disponible uniquement en version « livre » et en allemand.

Le fichier joint « Ebel_2014 » fournit quelques pages d'exemples extraites de ce livre.

Si les divers types de configuration sont abordés, les aspects techniques, notamment en termes de dimensionnement, portent sur les dispositifs avec plan de grille orienté à barreaux horizontaux.

Ce type de dispositif équipe diverses usines hydroélectriques, au moins en Allemagne (Ebel, 2016 ; Hefti, 2012) et en Suède (Heiss, 2015).

4.2 Principe

Les grilles sont verticales et orientées par rapport à l'axe d'écoulement, avec un dispositif spécifique de dégrillage qui « pousse » les dégrillats le long de la grille vers l'aval.

L'avalaison et l'évacuation des dégrillats sont assurés par un dispositif original constitué d'une vanne rotative (type « porte à un vantail ») sur toute la hauteur de la grille, habituellement en position fermée et dont l'ouverture est asservie aux cycles de dégrillage.

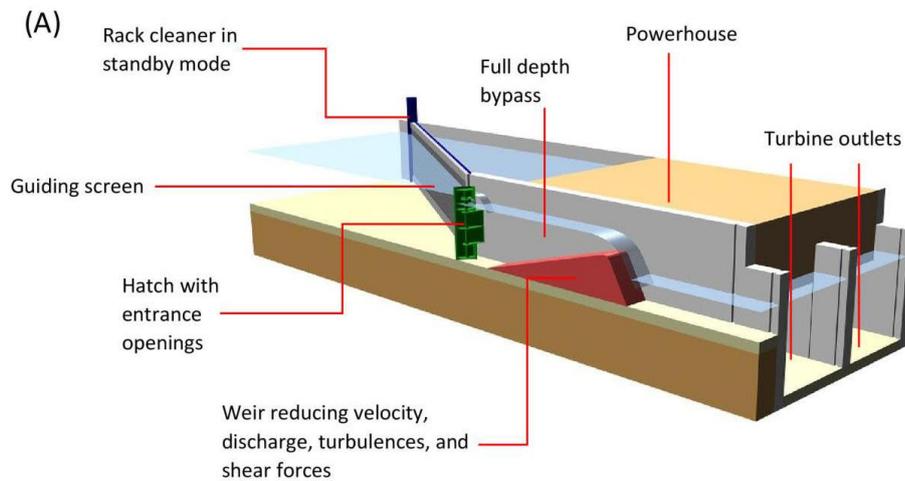
Cette vanne comporte pour l'avalaison tout à la fois :

- Une échancrure de surface profilée (mise en vitesse),
- Une échancrure de fond.

La régulation du niveau est assurée par un seuil dans le canal d'avalaison.

Sur la base des exemples fournis par Ebel, le débit dédié en permanence à l'avalaison se situe dans la fourchette basse des valeurs habituellement préconisées, voire inférieur à ces valeurs.

Le fichier joint « Planena.pdf » extrait de Hefti (2012) fournit, à titre d'exemple, des illustrations d'une configuration de ce type, en complément du schéma du principe suivant.



4.3 Pertes de charges et champs de vitesse

Une étude similaire celles réalisées par Raynal et al (2012 et 2014) a été lancée dans le cadre d'un master's thesis en Suisse (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich et Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie).

Une étude similaire doit également être réalisée Cf. fichier joint « Masterarbeit_FS_2016.pdf ».

4.4 Retours d'expérience

4.4.1 Site de Hering

Référence : HEISS M. ; 2015. Evaluation of innovative rehabilitation measures targeting downstream migrating Atlantic salmon smolt (*Salmo salar*) at a electric power plant in southern Sweden. Master's Thesis. Ludwig-Maximilians-Universität München. 47 p. + Ann.

Le suivi a consisté :

- D'une part, à analyser les déplacements de smolts équipés de tags (protocole similaire à celui utilisé sur divers sites en France),
- D'autre part, à piéger l'ensemble des poissons en sortie du chenal d'avalaison.

L'étude s'est déroulée du 15 avril au 7 mai 2014.

L'usine H1 où est implanté le dispositif d'avalaison a un débit d'équipement de 40 m³/s. Le débit turbiné durant la période de suivi a été de 20.1 m³/s en moyenne et de 40 m³/s au maximum.

Le débit dans l'exutoire d'avalaison est de 300 l/s (moins de 1 % du débit d'équipement et moins de 2 % du débit moyen turbiné pendant le suivi), sauf lors des phases d'ouverture de la vanne pour dégrillage, où il atteint temporairement 2 m³/s.

Le suivi des smolts équipés de tags conduit à une estimation d'efficacité de 85 %, voisine de celle observée lors des tests réalisés en France actuellement disponibles, mais avec un débit dédié à l'avalaison beaucoup plus faible.

Ebel (2013) indique d'ailleurs que le débit dédié au by-pass ne joue qu'un rôle mineur sur l'efficacité du dispositif si les autres facteurs essentiels sont optimisés (géométrie, hydraulique et design de l'exutoire, etc.).

Le piégeage sur environ trois semaines a en outre permis la capture :

- De 4435 smolts de saumon atlantique + 9 individus ravalants,
- De 638 smolts de truite + 25 individus ravalants,
- De quelques anguilles (suivi réalisé hors période d'avalaison),
- De multiples espèces d'eaux douces (lote, perche, brochet, truite arc-en-ciel, gardon, rotengle, grémille, brème bordelière, sandre).

4.4.2 Autres sites

Ebel (2016) mentionne des suivis par piégeage sur divers sites :

- Halle-Planena sur la Saale, suivi de 28 jours au printemps + 3 jours en automne, capture de 2072 individus appartenant à 23 espèces, longueurs comprises entre 8 et 95 cm,
- Rothenburg sur la Saale, suivi de 14 jours au printemps + 20 jours en automne, capture de 7657 individus appartenant à 29 espèces, longueurs comprises entre 5 et 130 cm,
- Raguhn sur la Mulde, suivi de 28 jours au printemps + 2 jours en automne, capture de 1176 individus appartenant à 20 espèces, longueurs comprises entre 4 et 97 cm.

Les piégeages en période automnales témoignent en outre, au moins qualitativement, d'une bonne efficacité pour les anguilles d'avalaison.



Piégeage nocturne automnal à Rothenburg.