

Fiche 12

Définition de prises d'eau ichtyocompatibles - Perte de charge au passage des plans de grille inclinés ou orientés et champs de vitesse à leur approche

Responsables scientifiques : Laurent David (Institut P'), Ludovic Chatellier (Institut P'), Dominique Courret (Onema), Michel Larinier (Onema)

1. Contexte général de l'action

Les prises d'eau ichtyocompatibles définies comme les plans de grilles à faible espacement libre entre barreaux, associés à un ou plusieurs exutoires, constituent un type de solution pour éviter, ou du moins fortement limiter le passage par les turbines des anguilles argentées en dévalaison. En 2008, une étude a permis d'en définir les bases de conception et de dimensionnement à partir du retour d'expérience acquis en France comme à l'étranger (Courret et Larinier, 2008). Pour arrêter les anguilles et les empêcher de passer par les turbines, il est préconisé d'adopter un espacement libre entre barreaux de l'ordre de 1.5–2.0 cm du fait de la nécessité d'installer une barrière physique, en respectant une vitesse normale au plan de grille, maximale de 50 cm/s pour ne pas induire de placage des poissons sur la grille. Pour guider les poissons vers un exutoire, il est préconisé d'implanter soit (1) un plan de grille perpendiculaire à l'écoulement, fortement incliné par rapport à l'horizontale, un ou plusieurs exutoires selon la largeur de la prise d'eau étant alors positionnés au sommet, soit (2) un plan de grille vertical, orienté par rapport à la direction de l'écoulement, l'exutoire étant alors positionné à l'extrémité aval du plan de grille. Ces critères de conception des prises d'eau ichtyocompatibles constituent des modifications importantes par rapport à la conception conventionnelle et ont des répercussions sur les pertes de charge au passage des plans de grille et sur leur entretien (dégrillage).

2. Objectifs de l'action

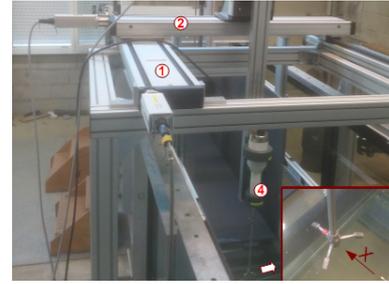
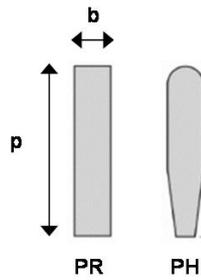
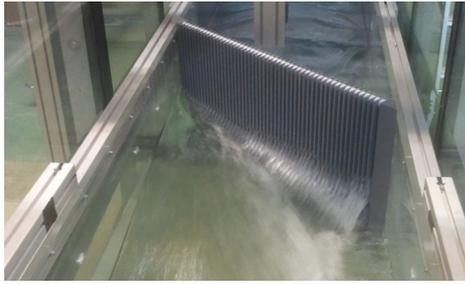
L'action avait un triple objectif :

- caractériser les pertes de charge au passage des plans de grille à faible espacement libre entre barreaux dans des configurations ichtyocompatibles afin de valider ou d'adapter les formules existantes, et à défaut d'en proposer de nouvelles,
- caractériser les vitesses d'écoulement à l'approche des plans de grille ichtyocompatibles afin de vérifier que les critères de conception préconisés se traduisent par les conditions hydrauliques recherchées pour les poissons dévalant, et le cas échéant de les affiner,
- préciser les critères de positionnement et d'alimentation en débit des exutoires dans chaque configuration.

Les deux premiers objectifs ont été atteints ; l'étude se poursuit pour le troisième.

3. Sites d'étude – Méthodologies

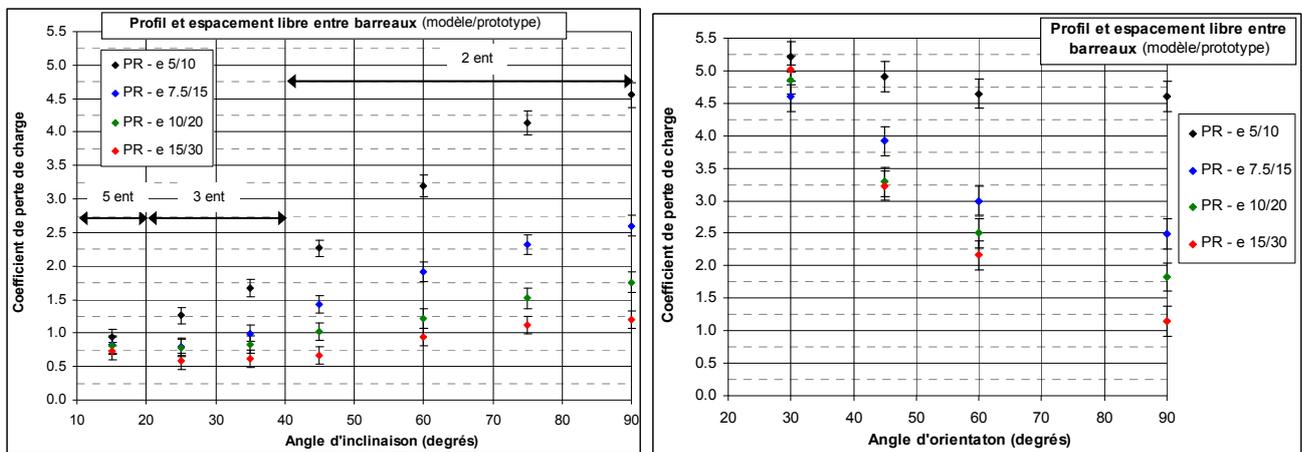
L'étude a consisté en une approche expérimentale sur modèle réduit physique, tout d'abord dans un canal tracté au sein d'un bassin, puis dans une veine hydraulique construite spécifiquement, réalisée sur les sites du SP2MI et du CEAT de l'Institut P' de Poitiers. Les plans de grille ont été reproduits à l'échelle 1/2. 88 configurations ont été testées en combinant 11 dispositions de plans de grille (4 angles d'orientation α de 90° [perpendiculaire] à 30° et 7 angles d'inclinaison β de 90° [vertical] à 15°), 4 espacements libres entre barreaux e (de 10 à 30 mm) et 2 profils de barreau (rectangulaire **PR** et hydrodynamique **PH**). L'influence du colmatage partiel du plan de grille sur les pertes de charge et les vitesses d'écoulement a également été étudiée via l'ajout de plaque perforée. Les pertes de charge ont été mesurées à partir des différences de niveau d'eau amont / aval du plan de grille. Les vitesses d'écoulement ont été caractérisées à partir de profils le long des plans de grille par sonde ADV et mesures laser.



A gauche, un plan de grille orienté à 45° vu depuis l'aval dans la veine hydraulique du CEAT. Au centre, les 2 profils de barreaux testés. A droite, la sonde ADV 3D et son système de déplacement automatisé.

Résultats

Pertes de charges



Variation du coefficient de perte de charge selon l'inclinaison (à gauche) ou l'orientation (à droite) du plan de grille et l'espacement libre entre barreaux (profil de barreau rectangulaire PR). Les flèches matérialisent les gammes de nombre d'entretoises utilisées entre les barreaux.

La formule de Meusburger (2002), qui était la plus complète jusqu'à présent, ne s'avère pas adaptée aux configurations de plans de grilles ichtyocompatibles. De nouvelles formules de perte de charge ont donc été proposées. L'obstruction globale O du plan de grille est définie comme le rapport entre la surface occupée par tous les éléments de la grille (barreaux, entretoises, support) et la surface immergée de la grille. Pour les plans de grille fortement inclinés, il a été nécessaire de dissocier d'une part l'obstruction liée aux barreaux et autres éléments verticaux O_b , rapportée à la surface immergée de la grille, et d'autre part l'obstruction effective liée aux entretoises et autres éléments transversaux O_{ent} rapportée à la section d'écoulement.

Loi de perte de charge ΔH pour les plans de grilles orientés par rapport à la direction de l'écoulement :

$$\Delta H = \frac{V^2}{2g} * \left[A * \left(\frac{O}{1-O} \right)^{1.6} * \left(1 + C * \left(\frac{90-\alpha}{90} \right)^{2.35} * \left(\frac{1-O}{O} \right)^3 \right) \right]$$

Avec V la vitesse débitante amont, A et C des coefficients fonction du profil de barreau valant respectivement 2.89 et 1.69 pour PR et 1.70 et 2.78 pour PH. Loi pour les plans de grille verticaux ($\beta = 90^\circ$) et orientés par rapport la direction de l'écoulement ($30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$), applicable sur une gamme d'obstruction O de 0.35 à 0.6, pour un rapport largeur sur profondeur du barreau b/p voisin de 0.125, pour un rapport espacement libre sur largeur du barreau e/b compris entre 1 et 3.

Loi de perte de charge ΔH pour les plans de grilles inclinés par rapport à l'horizontale :

$$\Delta H = \frac{V^2}{2g} * \left[A * \left(\frac{O_b}{1 - O_b} \right)^{1.65} * (\sin \beta)^2 + C * \left(\frac{O_{ent}}{1 - O_{ent}} \right)^{0.77} \right]$$

Avec **V** la vitesse débitante amont, **A** un coefficient fonction du profil de barreau valant 3.85 pour **PR** et 2.10 pour **PH**, **C** un coefficient fonction de la forme des entretoises et autres éléments transversaux, assimilable à un coefficient de traînée (1.79 pour des entretoises cylindriques). Loi pour les plans de grille perpendiculaires à l'écoulement ($\alpha = 90^\circ$) et inclinés par rapport à l'horizontale ($15^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$), applicable sur une gamme d'obstruction globale **O** de 0.35 à 0.6.

Dans le cas des plans de grille perpendiculaires à l'écoulement, verticaux ou inclinés, l'intérêt du profil de barreau hydrodynamique s'avère un peu plus faible qu'attendu ; ce profil permet tout de même de réduire les pertes de charge d'un facteur de l'ordre de 1.7 (au lieu de 2.34) par rapport au profil de barreau rectangulaire. Dans le cas des plans de grille orientés, l'intérêt du profil hydrodynamique s'amointrit d'autant plus que l'orientation est prononcée.

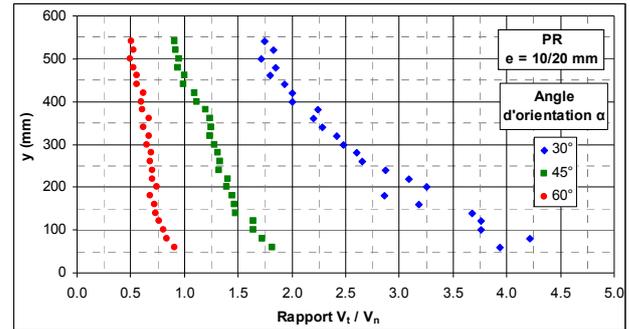
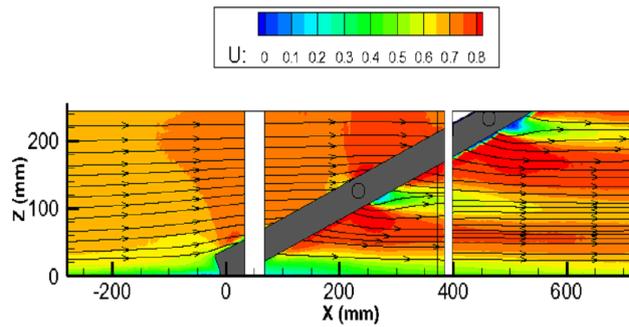
L'augmentation des pertes de charge du fait de colmatages partiels de la grille jusqu'à des taux de l'ordre de 60% a été caractérisée. En première approche, l'influence du colmatage peut être appréhendée en additionnant le taux de colmatage de la grille à son taux d'obstruction.

Plusieurs point d'études complémentaires ont été identifiés vis-à-vis de la problématique des pertes de charge et seront traités dans la poursuite de l'étude.

Champs de vitesse

Le long des plans de grille inclinés, l'accélération des vitesses vers le sommet s'avère modérée. En sommet de grille, les vitesses tangentielles atteignent notamment des valeurs environ 20% supérieures aux valeurs théoriques obtenues par projection de la vitesse d'approche ($V \cdot \cos \beta$) ; cet ordre de grandeur peut être retenu comme vitesse d'entrée des exutoires. Vis-à-vis des risques de placage des poissons sur la grille, pour ne pas engendrer de vitesse normale de plus de 0.5 m/s, les vitesses à l'approche de plans de grille inclinés à 15°, 25°, 35° et 45° ne doivent pas dépasser environ 1.25, 0.83, 0.67 et 0.56 m/s respectivement. Vis-à-vis du guidage des poissons, le critère d'inclinaison d'un angle $\beta \leq 26^\circ$, visant à obtenir une vitesse tangentielle au moins 2 fois supérieure à la vitesse normale pour inciter les poissons à venir passer en surface, est confirmé.

Le long des plans de grille orientés, l'accélération des vitesses vers l'aval est prononcée. Les vitesses normales atteignent notamment à l'extrémité aval du plan de grille des valeurs de l'ordre de 0.8-0.95***V**, 1.0-1.15***V** et 1.05-1.15***V**, pour respectivement une orientation à 30°, 45° et 60°. Vis-à-vis des risques de placage des poissons sur la grille, pour ne pas engendrer de vitesse normale de plus de 0.5 m/s, il faudrait que les vitesses d'approche ne dépassent pas environ 0.45-0.55 m/s selon l'orientation. L'acceptation de vitesses normales quelque peu supérieures sur une partie aval de la grille pourrait permettre d'adopter des vitesses d'approche **V** plus élevées. Pour la vitesse d'entrée des exutoires, on peut retenir des valeurs de l'ordre de 1.7***V**, 1.15***V** et 0.6***V** pour les orientations à 30°, 45° et 60° respectivement. Vis-à-vis du guidage des poissons, le critère d'orientation d'un angle $\alpha \leq 45^\circ$, visant à obtenir une vitesse tangentielle supérieure ou égale à la vitesse normale, est confirmé.



A gauche, cartographie PIV de la vitesse longitudinale (en m/s) autour d'une grille inclinée à 25°. A droite, évolution du rapport entre les vitesses tangentielles et normales le long de plans de grille orientés, selon l'orientation.

5. Applications à la gestion opérationnelle

Domaine d'application : Limitation des impacts des prises d'eau de centrales hydroélectriques.

Transfert technologique : Conception des prises d'eau ichtyocompatibles ; évaluation des pertes de charge dans les configurations conventionnelles et ichtyocompatibles. On dispose aujourd'hui de formules de perte de charge adaptées aux plans de grille notamment pour ceux orientés ou inclinés à faible espacement de barreaux.

Partenaires : CNR – SHEM – EDF – France-Hydroélectricité – ADEME – MJ2 – HYDREO

Pour en savoir plus : S. RAYNAL, L. CHATELLIER, L. DAVID, D. COURRET, M. LARINIER, 2011. Définition de prises d'eau ichtyocompatibles - Perte de charge au passage des plans de grille inclinés ou orientés à faibles espacements libres entre barreaux et champs de vitesse à leur approche. Rapport Institut P¹ / ONEMA - Programme R&D Anguilles/Ouvrage.

Contacts : Laurent David (laurent.david@univ-poitiers.fr), Ludovic Chatellier (ludovic.chatellier@univ-poitiers.fr), Dominique Courret (dominique.courret@imft.fr)

