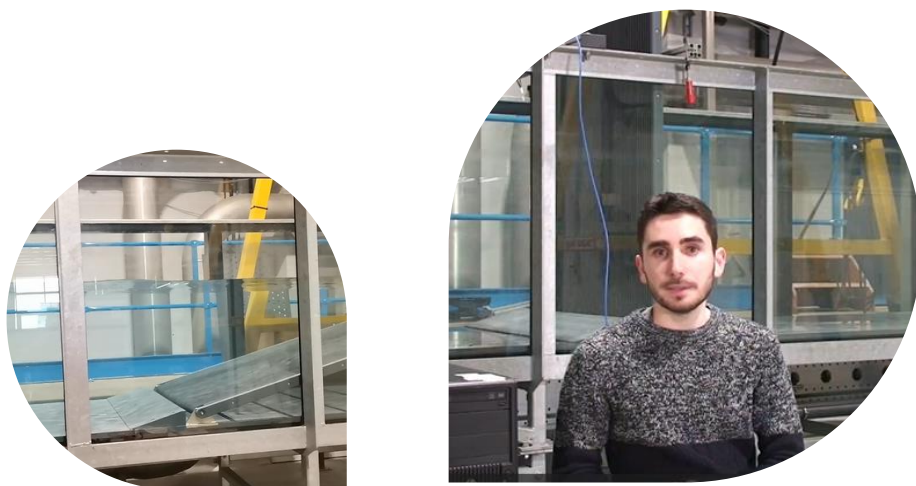




Etude du colmatage de prises d'eau ichtyocompatibles de centrales hydroélectriques : influence des conditions d'écoulement

*Synthèse de la première année de travaux
(Février 2022 à Février 2023)*



Thèse réalisée par Guillaume BON

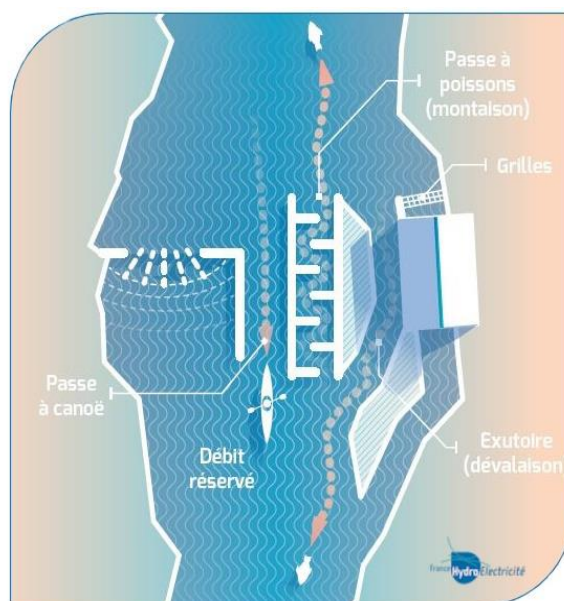
*Encadrants : Laurent David, Ludovic Chatellier,
Yves Le Guer, Xavier Casiot et Cécile Bellot*

I. Présentation de la thèse

Cadrage du projet

L'un des aménagements environnementaux les plus répandus sur les centrales hydroélectriques pour permettre la dévalaison piscicole est l'installation de grilles fines ichtyocompatibles positionnées dans le canal d'amenée. L'espacement des barreaux de ces grilles est suffisamment étroit pour dissuader le poisson de passer par la turbine, cependant il présente un risque d'obstruction des grilles susceptible de générer des contraintes pour l'exploitation de la centrale et de diminuer la production d'hydroélectricité.

L'enquête menée par France Hydro Electricité¹ auprès de ses adhérents ayant installé des plans de grille sur leurs centrales a révélé un besoin de connaissances complémentaires pour mieux comprendre et exploiter ces aménagements. France Hydro Electricité a donc initié une étude pour définir précisément les contraintes d'exploitation liées aux grilles fines ichtyocompatibles et pouvoir ainsi mieux les intégrer sur les sites à l'avenir.



Le syndicat s'est tourné vers **l'Institut Pprime de l'Université de Poitiers**, qui a déjà réalisé de nombreux travaux sur les grilles fines (dont 2 thèses), et vers le **laboratoire SIAME de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour**, qui a mené de nombreux travaux avec les hydroélectriciens. Un doctorant, Guillaume BON, a été recruté pour mener ces travaux qui se dérouleront sur 3 ans (de février 2022 à février 2025).

Pour réaliser cette étude, le syndicat bénéficie du **soutien de l'ANRT (Agence Nationale de la Recherche et de la Technologie)** qui finance une partie du salaire de Guillaume BON via une convention Cifre, ainsi que du **soutien de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)** sur les expérimentations de terrain et la communication autour de ces travaux.

Cette synthèse présente l'avancement des travaux à l'issue de la première année de thèse. Un rapport plus complet est mis à disposition sur le site de France Hydro Electricité ([télécharger ici](#)).



Sujet de la thèse

L'objectif général de la thèse est d'étudier le colmatage sur les prises d'eau ichtyocompatibles de centrales hydroélectriques (par feuilles, branchages et cailloux) afin de mieux pouvoir les gérer. Les travaux se focalisent sur les grilles fines inclinées, qui sont actuellement les plus installées en France¹.

Outre l'approche expérimentale par modélisation physique réalisée au laboratoire, et l'étude numérique d'optimisation du design de différentes parties des prises d'eau, l'originalité de cette thèse est de réaliser une étude sur des centrales hydroélectriques existantes pour faire le lien entre les résultats expérimentaux et les mesures sur le terrain.

¹ Clément Caplier et Cécile Bellot, « Enquête sur les prises d'eau ichtyocompatibles des centrales hydroélectriques », Institut Pprime et France Hydro Electricité, juin 2020.

II. Les travaux réalisés lors de la première année de thèse

Etat de l'art

Un état de l'art des études scientifiques déjà réalisées sur le colmatage des prises d'eau a permis de positionner les apports de cette thèse par rapport aux connaissances existantes. Ce travail a permis de déterminer que si les études sur le sujet des prises d'eau ichtyocompatibles sont nombreuses, elles concernent particulièrement les grilles inclinées et abordent peu la problématique du colmatage. On trouve dans cette bibliographie des recommandations générales de conception de ces grilles inclinées mais très peu d'études sur l'impact réel de ces systèmes sur des centrales hydroélectriques en fonctionnement.

Les pertes de charge (notées ΔH) sont les dissipations de l'énergie mécanique d'un fluide par frottement. Elles se manifestent sur les centrales par une perte de hauteur d'eau entre l'amont et l'aval de la grille. Une perte de charge élevée implique une baisse de la production de la centrale, en particulier pour les centrales de basse chute (situées en plaine).

Il est possible de calculer les pertes de charge en fonction d'un coefficient de perte de charge (noté ξ) : $\Delta H = \xi \frac{v^2}{\rho g}$. Les pertes de charge au niveau des grilles inclinées ont fait l'objet de plusieurs thèses au laboratoire Pprime qui ont conduit à réviser progressivement les formules de calcul des pertes de charge, comme décrit dans la thèse de Lemkecher F² en 2020. Cependant ces formules ne tiennent pas compte du potentiel colmatage de la grille, ou ne sont pas assez abouties (thèse de Raynal³).

Cet état de l'art s'est également intéressé au dimensionnement des exutoires, au comportement des poissons et aux différents types de colmatage de prise d'eau (non détaillés ici).

Etude expérimentale au laboratoire

Une étude expérimentale permet d'acquérir des résultats précis, dans des conditions maîtrisées. Ainsi, cette partie expérimentale doit permettre de mieux comprendre le phénomène de colmatage, son impact sur les écoulements et de définir des lois de pertes de charge prenant en compte différents paramètres de colmatage de la grille. Ces résultats pourront ensuite être comparés avec les mesures de terrain.

➤ Mesure de perte de charge

C'est le canal hydrodynamique à surface libre de l'institut Pprime qui est utilisé pour cette partie expérimentale de la thèse. La Figure 1 ci-dessous montre le positionnement des différents capteurs présents sur ce banc expérimental pour mesurer les pertes de charge liées à la grille, ainsi que les forces exercées sur la grille par les écoulements, notamment en présence de colmatage. Une attention particulière a été portée au choix du capteur de force car ce dernier doit être capable de résister à l'effort maximal, mais aussi être assez sensible pour mesurer une faible variation d'effort.

² Fatma Lemkecher. "Étude des grilles de prises d'eau ichtyocompatibles". Thèse de doctorat, Université de Poitiers, décembre 2020. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03255290>.

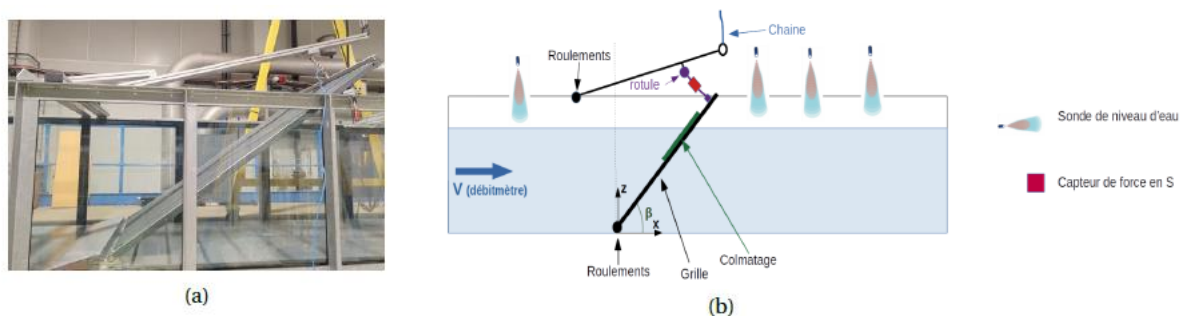


Figure 1 : (a) photo et (b) schéma du banc expérimental où une grille fine est installée (institut Pprime)

Pour mesurer les pertes de charge au niveau d'une grille fine, différentes configurations sont testées en prenant en compte les éléments suivants :

- Type de barreaux : rectangulaires ou hydrodynamiques.
- Angle d'inclinaison de la grille : 20° , 25° , 30° , 35° , 45° , 90° .
- Espacement (noté e) des barreaux : 10 mm, 15 mm (les barreaux sont à l'échelle 1/2, cela donne donc des espacements réels de 20 et 30 mm à l'échelle 1).
- Taux de colmatage : partiel ou total, pour un certain pourcentage de la surface de la grille (en utilisant des plaques pleines ou perforées de porosité connue ou des surfaces poreuses type mousse Spontex*). *Il a été nécessaire d'effectuer un travail préalable permettant de caractériser la porosité des mousses utilisées.

Ainsi, pour une grille (un espacement et un profil de barreaux), ce sont 150 configurations qui seront testées.

➤ Premiers résultats

Des premiers essais ont été menés avec une grille propre. Ils ont permis de comparer les résultats obtenus expérimentalement avec différentes lois de pertes de charge définies dans l'état de l'art (cf. Figure 2). Ils montrent que les données expérimentales sont en adéquation avec la formule de Raynal³.

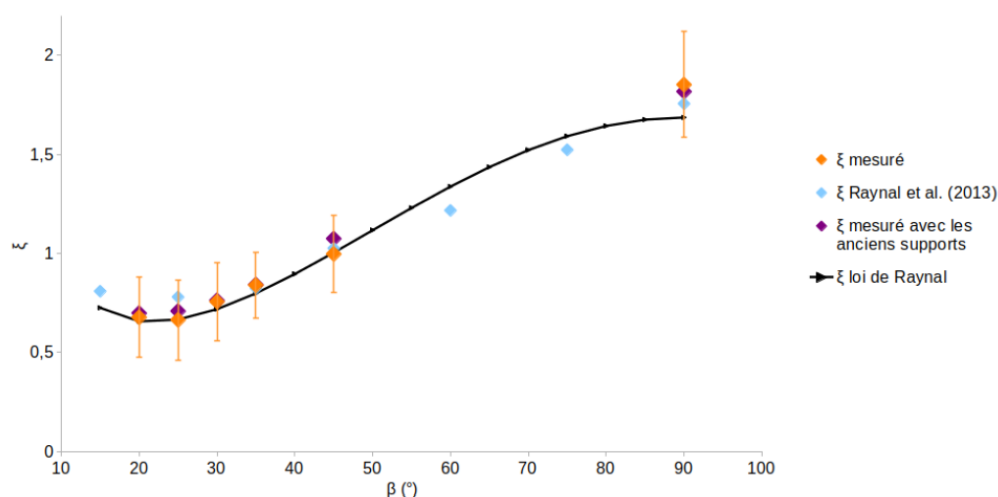


Figure 2 : graphique de la valeur du coefficient de perte de charge ξ en fonction de l'angle d'inclinaison de la grille fine, comparaison des valeurs mesurées aux valeurs calculées par différentes formules

Des essais avec différents types de colmatage positionnés sur la grille ont été réalisés en juin 2023, dont les résultats doivent être analysés.

³ Sylvain Raynal « Etude expérimentale et numérique des grilles ichtyocompatibles ». Thèse de doctorat, Université de Poitiers, décembre 2013. URL : <https://www.theses.fr/2013POIT2303>

Essais de terrain

➤ Mesure du colmatage

Les objectifs de ces essais de terrain sont de comprendre le fonctionnement des centrales hydroélectriques en fonctionnement soumises au phénomène de colmatage et de comparer ces mesures de terrain aux résultats expérimentaux. L'étude est menée en 2 étapes :

- 1^{ère} étape : estimer le colmatage « naturel » in-situ d'une grille pour faire le lien entre le taux de colmatage observé et les pertes de charge mesurées ; une méthode permettant de photographier toute la largeur d'une grille a été développée en utilisant une caméra fixée sur une structure mobile.
- 2^{ème} étape : établir s'il y a une corrélation entre les pertes de charge mesurées à la centrale et le taux de colmatage évalué via les essais en laboratoire.

➤ Premiers résultats

Les premiers tests réalisés à l'automne/hiver 2022-2023 ont permis de définir la méthode permettant d'estimer le taux de colmatage de la grille et la répartition des feuilles sur la grille via une prise d'images sur toute la largeur de la grille (cf. Figure 3).



Figure 3 : (a) dispositif immergé pour l'imagerie de terrain et (b) exemple d'un plan d'une section de grille pour une perte de charge de 46 cm (colmatage des feuilles de 75 % pour une obstruction totale de 82 %)

Cette première phase de mesures a mis en évidence la difficulté à prendre des images lors des périodes de crues (turbidité de l'eau trop élevée). La solution finalement envisagée a été de stocker des feuilles et de les disperser ultérieurement lors de périodes plus adaptées à la prise de vues. Après tests de validation, c'est cette méthode qui sera mise en œuvre lors de l'hiver 2023-2024. Trois centrales hydroélectriques présentant des caractéristiques et des problématiques variées ont été sélectionnées pour ces essais de terrain.

➤ Exploitation des chroniques de pertes de charge mesurées in situ

Sur ces centrales, les données de pertes de charge mesurées par les producteurs seront traitées dans le but de comprendre le fonctionnement actuel des centrales hydroélectriques et leurs limites.

➤ Premiers résultats

Les premières analyses montrent les fluctuations des pertes de charge en fonction des événements hydrologiques transportant les matériaux colmatant et du passage du dégrilleur qui nettoie la grille. Lors de certains événements, qui restent à caractériser, les pertes de charge augmentaient rapidement malgré le fonctionnement du dégrilleur, cela a conduit à l'arrêt de la centrale.

Ces données doivent être analysées plus en détail pour lier les augmentations de pertes de charge à un colmatage particulier afin de mieux pouvoir anticiper les phénomènes futurs.

Etudes numériques

L'objectif de l'étude numérique est d'optimiser le fonctionnement des prises d'eau ichtyocompatibles grâce à l'optimisation de la forme des barreaux de la grille et à l'optimisation de la conception des exutoires de dévalaison.

➤ Optimisation de la forme des barreaux

Des modélisations sont réalisées pour optimiser un ensemble de paramètres du barreau (cf. Figure 4) :

- Paramètres de la forme à faire varier : variation de la forme de barreau hydrodynamique, têtard, plétina ou rectangulaire ;
- Fonction à optimiser/minimiser : (coefficient de pertes de charge et traînée) ;
- Contraintes supplémentaires (mécaniques) : résistance mécanique des barreaux, contraintes dues aux entretoises, contraintes de fabrication.

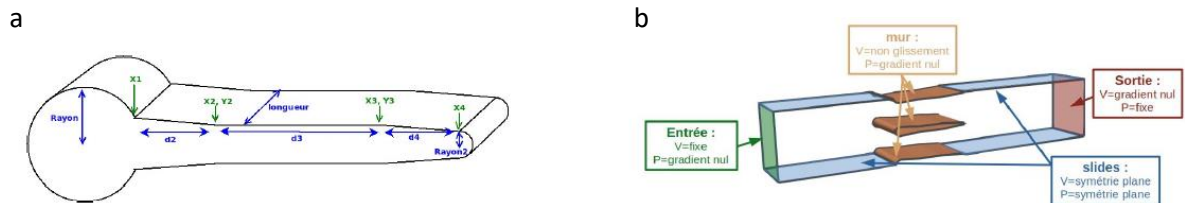


Figure 4 : (a) schéma du barreau à optimiser et (b) schéma de l'optimisation sous Open FOAM

➤ Premiers résultats

Des tests d'optimisation libre et d'optimisation hydraulique avec prise en compte des entretoises ont pu être réalisés. La Figure 5 montre le barreau issu d'une optimisation hydraulique avec prise en compte des contraintes liées à la présence des entretoises. Il ne s'agit ni d'un profil hydrodynamique, ni d'un profil de type « têtard ».

Les tests d'optimisation se poursuivent, notamment pour prendre en compte les contraintes mécaniques.



Figure 5 : forme de barreau optimisée d'un point de vue hydraulique et avec comme contrainte un passage plan pour les entretoises.

Etude paramétrique du design des exutoires

A venir