

Formes de barreaux optimisées permettant de réduire les pertes de charge de la grille inclinée

Étude sur le colmatage des prises d'eau ichtyocompatibles
Thèse 2022-2025 menée par Guillaume Bon

Table des matières

1	Introduction/Mise en contexte	3
2	Méthode d'optimisation des barreaux	4
3	Les barreaux optimisés en 2D	5
	Profils très rigides	6
	Choix du barreau en fonction du site d'application	8
4	Détermination des coefficients de forme des barreaux	8
4.1	Explication de la simulation 3D	9
5	Exemples d'application	10
6	Conclusion	12

Thèse : Guillaume Bon

Encadrants :

France Hydro Electricité : Xavier Casiot, Cécile Bellot

Institut Pprime, UPR3346, CNRS, Université de Poitiers, ENSMA : Ludovic Chatellier, Laurent David

Laboratoire SIAME, Université de Pau et Pays de l'Adour E2S UPPA-IPRA : Yves Le Guer

Consulter l'ensemble du contenu web lié à la thèse sur :

https://www.france-hydro-electricite.fr/etude_g.bon

1 Introduction / Mise en contexte

Contexte de cette étude : Les nouveaux systèmes de grilles inclinées comportent des espacements réduits de 20 mm, voire même de 15 mm. Cela augmente inévitablement les pertes de charge comparée aux anciennes grilles, qui avaient un espacement beaucoup plus important. Ces dernières étaient essentiellement mises en place pour bloquer les gros débris et éviter la détérioration de la centrale. Si ces nouveaux dispositifs à faible espacement semblent inévitables, puisqu'ils facilitent également la dévalaison des poissons, il est essentiel de réduire au maximum leur impact sur la production en minimisant les pertes de charge qu'ils génèrent. Il faut également éviter le blocage de galets entre les barreaux sur les sites où ce phénomène est particulièrement observé. Le blocage de galets est en effet un problème majeur générant des pertes de charge élevées et nécessitant un nettoyage manuel fastidieux. Un risque de déformation plastique des barreaux apparaît également d'après les observations de terrain. La modification de la forme des barreaux et la recherche de la forme optimale compte tenu des contraintes énoncées constitue donc un axe d'étude essentiel. Cette étude a été abordée dans la thèse de G. Bon (2025).

Objectif de la fiche : L'objectif de cette fiche est d'expliquer comment la forme des barreaux a été optimisée, de présenter les principales formes des barreaux obtenues et leurs applications spécifiques et de comparer les performances des profils obtenus avec celles d'autres profils actuellement disponibles sur le marché. La feuille Excel fourni à la Fiche 1 concernant les pertes de charge des grilles colmatées pourra également être utilisée (avec $\alpha_c = 0\%$ et $T_c = 0\%$) pour déterminer les pertes de charge théoriques des grilles équipées de ces barreaux (en indiquant le coefficient de forme équivalent).

Quelques notions sont importantes à connaître pour aborder cette fiche :

- Le coefficient de traînée des barreaux : noté C_d , correspond au coefficient adimensionné représentant la traînée (effort provoqué par le fluide dans la direction de l'écoulement) des barreaux optimisés.

$$C_d = \frac{2 F_t}{\rho S v_1^2} \text{ avec } F_t \text{ la force de traînée [N], } \rho \text{ la masse volumique de l'eau [kg.m}^{-3}\text{], } S = bL \text{ la surface apparente (} b \text{ et } L \text{ la largeur et longueur des barreaux) [m}^2\text{] et } v_1 \text{ la vitesse débitante [m.s}^{-1}\text{].}$$

- Le coefficient de frottement : noté c_f , au même titre que le coefficient de traînée est une grandeur adimensionnée représentant la friction (exercée parallèlement à la paroi) autour des barreaux soumis à un écoulement.

$$c_f = \frac{2 F_f}{\rho S v_1^2} \text{ avec } F_f \text{ la force de friction [N].}$$

- Le coefficient de pression : noté c_p , est une grandeur adimensionnée représentant la pression (exercée perpendiculairement à la paroi) exercée par le fluide autour des barreaux.

$$c_p = \frac{2 F_{pe}}{\rho S v_1^2} \text{ avec } F_{pe} \text{ la force de pression [N],}$$

- Le coefficient de perte de charge, noté ξ , est un coefficient adimensionnel représentant la perte de charge d'un système donné. Il est défini par la relation :
 - $\xi = \frac{2 g \Delta H}{v_1^2}$, avec v_1 la vitesse débitante (ou la vitesse turbinée) [m.s^{-1}], ΔH la perte de charge [m] et g l'accélération de la pesanteur [m.s^{-2}].
- Le coefficient de forme, noté k_f , représente le coefficient caractérisant les barreaux en fonction de la forme de ceux-ci. La formule de Raynal (2013) sera utilisée pour déterminer ce coefficient (voir Fiche 1, ξ_{propre}).

2 Méthode d'optimisation de forme des barreaux

La méthode d'optimisation des formes des barreaux est brièvement explicitée dans cette partie. Pour plus de détails, veuillez-vous référer au Chapitre 5 de la thèse de G. Bon (2025).

L'objectif est de minimiser la perte de charge générée par la grille. Pour cela, deux grandeurs doivent être réduites : le coefficient de perte de charge généré par les barreaux et le coefficient de traînée de ces mêmes barreaux. Une optimisation basée sur des algorithmes génétiques (classés comme algorithmes d'intelligence artificielle) est ainsi réalisée. Un couplage entre le logiciel d'optimisation Dakota, développé par Sandia National Laboratories, et la suite de logiciels de simulation numérique OpenFOAM est mis en place.

L'algorithme d'optimisation vise à définir intelligemment des formes de profils de barreaux à tester afin de trouver le meilleur profil le plus rapidement possible. Des formes de barreaux sont alors créées par Dakota (générées par Dakota à partir d'un paramétrage prédéfini) et les barreaux paramétrés sont ensuite construits et testés à l'aide de simulations en deux dimensions. Ces simulations incluent un profil central projeté à 26 degrés ainsi que deux demi-profils latéraux, afin de prendre en compte le confinement latéral des barreaux de la grille.

Bien que l'écoulement soit en réalité tridimensionnel et à surface libre, une simplification 2D a été choisie. En effet, ce type d'optimisation nécessite un grand nombre de tests de profils (entre 400 et 1000 simulations), rendant les simulations 3D trop coûteuses en temps et en ressources. Les simulations 2D fournissent ainsi les informations nécessaires à l'algorithme d'optimisation.

En parallèle, la résistance mécanique de chaque profil est évaluée (déformation linéaire), car un barreau plus résistant a moins de chances de se déformer et de bloquer les galets. L'ensemble des informations est ensuite transmis au logiciel d'optimisation, qui génère de nouvelles formes de barreaux à tester de manière intelligente (algorithme génétique, lien : [exemple](#)) et la boucle peut reprendre (voir Figure 1). Une fois la convergence atteinte, le barreau optimal est obtenu.

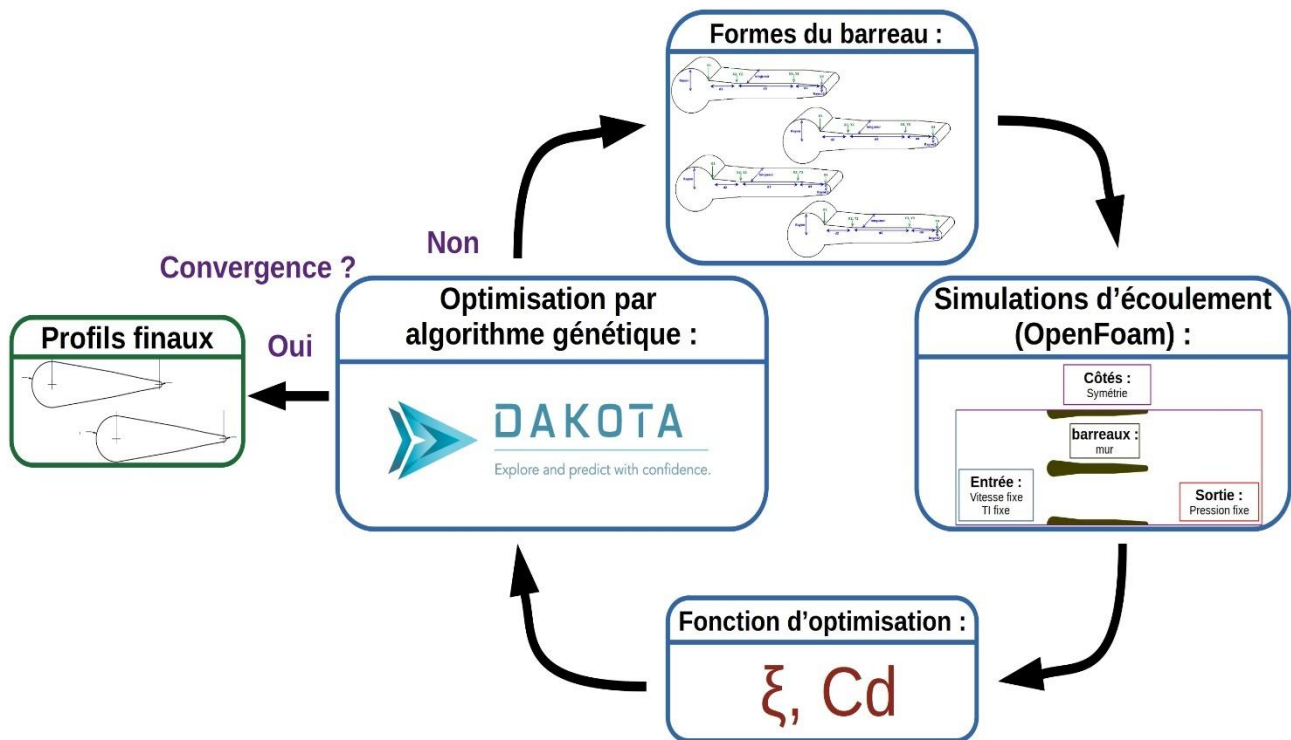


Figure 1: Boucle d'optimisation de la forme des barreaux.

3 Les formes de barreaux optimisés en 2D

Une fois les optimisations effectuées avec différentes contraintes (contraintes géométriques et mécaniques), un groupe de profils est sélectionné. Le profil classique rectangulaire est présenté à la Figure 2 (a), tandis que les profils optimisés sont représentés de (b) à (h). Le Tableau 1 résume les

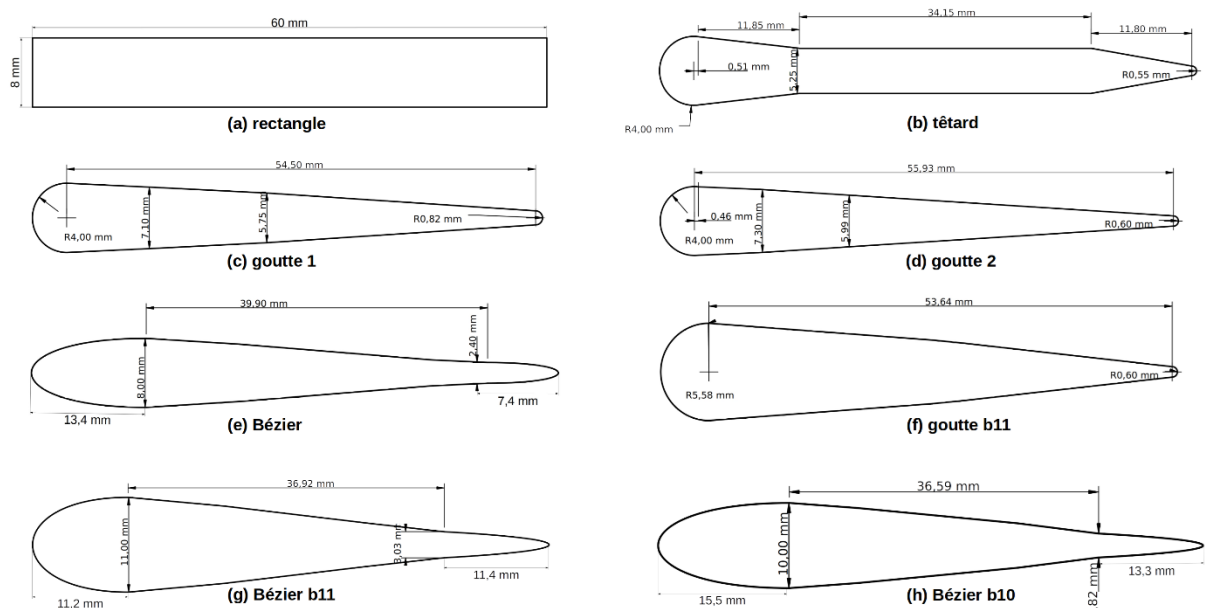


Figure 2: Profils optimisés durant l'optimisation de forme des barreaux utilisant des simulations 2D et un algorithme d'optimisation génétique.

caractéristiques des profils optimisées d'après les simulations 2D (les grandeurs analysées seront explicitées juste après l'explication des profils).

Les profils optimisés sont représentés sur la Figure 2. Le profil (a) correspond aux barreaux classiques rectangulaires. Les autres profils optimisés ont chacun un domaine d'utilisation particulier :

- **(b)** : parfaitement adapté à une fixation par entretoises, il offre une résistance mécanique équivalente aux profils Têtard de largeur 8 mm standard (type T8 de Lemkecher, 2020). Cependant, il possède le coefficient de pertes de charge ainsi que le coefficient de traînée les plus élevés parmi ceux trouvés pour les profils optimisés même si les valeurs de ces coefficients restent très petites.
- **(c)** : en forme de goutte d'eau étirée, il est plus adapté à une fixation des barreaux par peignes mécano-soudés, mais peut également convenir aux entretoises circulaires (Figure 3). Sa rigidité est légèrement meilleure que celle des profils Têtard standards et du profil (d), de forme similaire. Son coefficient de pertes de charge est meilleur que celui du profil (b).
- **(d)** : également en forme de goutte d'eau étirée, il est moins rigide que le précédent mais présente de meilleures performances en termes de pertes de charge.
- **(e)** : conçu à l'aide de courbes de Bézier, il est le meilleur profil optimisé dans cette étude en ce qui concerne les coefficients de pertes de charge et de traînée. Il est adapté aux deux systèmes de fixation et possède une rigidité similaire à celle du profil (c). Cependant, son nez allongé nécessite un système de dégrilleur efficace, avec des dents adaptées et de profondeur élevée.

Profils très rigides

- **(f)** : correspond à une goutte d'eau allongée d'une largeur (b) de 11 mm. Sa rigidité est similaire à celle du profil rectangulaire de 8 mm, ce qui le rend particulièrement adapté aux sites soumis à un fort transport de galets. Son coefficient de forme est également très bas. Cependant, ce profil implique une obstruction plus importante pour un espacement de 20 mm, ce qui génère des pertes de charge légèrement plus élevées que ses homologues de largeur 8 mm pour une prise d'eau de même dimension. Dans certains cas, un agrandissement de la prise d'eau peut être envisagé afin de réduire la vitesse d'amenée et donc les pertes de charge.
- **(g) et (h)** : ces deux profils, respectivement de largeur 11 mm et 10 mm, possèdent une rigidité importante, particulièrement adaptée aux sites fortement sujets au colmatage par galets. Les valeurs de leurs coefficients de forme sont très petites malgré la présence d'une tête plus épaisse. Toutefois, comme pour le profil (f), l'obstruction de la grille sera supérieure, ce qui entraînera des pertes de charge légèrement plus élevées que celles données pour le profil équivalent de largeur (b) de 8 mm.

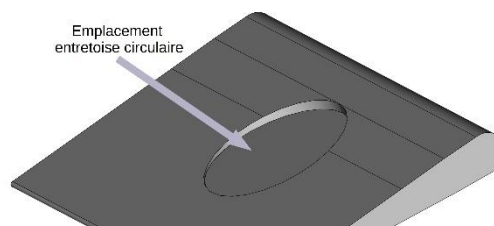


Figure 3: Exemple de modification possible pour une fixation par entretoises circulaires même sans zone plane initialement sur le profil.

Le Tableau 1 présente une comparaison des caractéristiques des profils optimisés en fonction de divers paramètres obtenus à l'aide de simulations numériques en deux dimensions.

⚠ Les grandeurs définies dans le Tableau 1 proviennent de simulations 2D des profils projetés avec une inclinaison de 26 degrés. Bien que cette simplification 2D soit représentative et permette d'optimiser la forme des barreaux, elle ne correspond pas exactement à une simulation 3D d'une grille inclinée. Par conséquent, les grandeurs présentées dans le tableau sont fournies à titre indicatif et ne seront pas utilisées pour le calcul des pertes de charge des grilles inclinées. ⚠

Explication des grandeurs du tableau :

- **I_{gz}** : moment quadratique de flexion du profil [mm^4], correspondant à la rigidité en flexion.
- **I_{gy}** : moment quadratique de torsion du profil [mm^4], également lié à la rigidité mais cette fois-ci en torsion.
- **y_{def}** : déformation du profil [mm] pour un effort de 1 kN appliqué au centre entre deux entretoises espacées de 50 cm. Le calcul est détaillé dans la thèse (Chapitre 5 thèse, G. Bon, 2025). Cela permet simplement de comparer la rigidité des profils pour le processus d'optimisation. Il ne correspond ni à une limite élastique de déformation ni à la déformation sous l'effet d'un galet typique sur des prises d'eau réelles.
- **c_p et c_f** : coefficients de pression et de friction du profil, obtenus à partir des simulations 2D (voir section 2). Ils permettent d'évaluer le rapport entre les deux coefficients en fonction de la forme du profil.
- **C_d et ξ** : coefficients de traînée et de pertes de charge, déjà explicités en introduction de cette fiche, ces grandeurs sont issues des simulations 2D pour une grille avec barreaux espacés de 20 mm et un écoulement bidimensionnel (sans prise en compte des entretoises et supports).
- **k_f** : coefficient de forme du profil, déterminé à partir des résultats des simulations 2D et en utilisant la formule de Raynal (2013) : $k_f = \frac{\xi}{((o_b/(1 - o_b))^{1,65} \sin(\beta))}$

⚠ Le coefficient de forme défini ici utilise la formule de Raynal avec un angle d'inclinaison β de 26°. Cependant, cette configuration n'est pas parfaitement représentable en simulation 2D, comme mentionné précédemment. De même, prendre une valeur de β à 90° ne serait pas optimal en raison de la projection des barreaux. Cette grandeur est donc fournie dans un objectif de classement des profils, mais sa valeur brute reste approximative. ⚠

Tableau 1: Récapitulatif des caractéristiques obtenues pour les profils optimisés à l'aide des simulations numériques en deux dimensions. Le meilleur profil est représenté en gras.

Forme du profil	I_{gz} [mm^4]	I_{gy} [mm^4]	y_{def} [mm]	c_p/c_f [-]	k_f (2D, $\beta = 26^\circ$) [-]	ξ [-]	c_d [-]
Rectangle	2 560	144 000	0,921	2,944	15,576	0,660	2,714
Têtard optimisé	870	94 620	2,692	0,752	3,823	0,163	0,547
Goutte 1	988	83 890	2,371	0,734	3,516	0,153	0,517
Goutte 2	855	69 870	2,702	0,700	3,469	0,147	0,496
Bézier	971	73 290	2,407	0,507	3,280	0,139	0,482
Goutte b11	2 539	93 410	0,920	0,934	2,323	0,169	0,449
Bézier b11	2 395	87 370	0,980	0,799	2,023	0,145	0,406
Bézier b10	2 362	99 110	0,992	0,762	2,384	0,146	0,438

Choix de la forme du barreau en fonction du site d'application

Le choix du profil de barreau doit être effectué en fonction des problématiques locales et des conditions spécifiques du site.

- Sites avec peu de problématiques de colmatage : Le profil Bézier (e) représente la meilleure alternative. Son nez (bord d'attaque) assez long nécessite cependant une installation précise, garantissant un espacement constant de 20 mm entre les profils afin de permettre l'utilisation d'un dégrilleur avec des dents longues et d'optimiser son efficacité. L'utilisation de peignes de fixation est à privilégier, bien qu'une fixation par entretoises circulaires reste envisageable avec la méthode définie précédemment.
- Sites sujets au colmatage par feuilles et branchages : Les profils en forme de goutte d'eau étirée de largeur 8 mm, (c) et (d), sont particulièrement adaptés. Ils présentent des pertes de charge faibles et un nez (bord d'attaque) plus court, facilitant ainsi le dégrillage (nécessitant des dents de dégrilleur moins longues). Le choix de la technologie de fixation reste libre, mais la fixation par peignes est à privilégier.
- Sites avec un fort colmatage par galets : Les profils plus rigides (e), (f) et (g) sont à privilégier en raison de leur résistance mécanique accrue, réduisant le risque de déformation sous l'effet du blocage de galets. En revanche, ces profils génèrent des pertes de charge légèrement plus élevées en conditions de grille propre pour un espacement fixe des barreaux (augmentation d'un facteur 1,2 pour des barreaux de 11 mm de largeur par rapport à un barreau de même coefficient de forme de largeur 8 mm) et sans prise en compte des entretoises. Cette augmentation de pertes de charge ne semble pas vérifiée lorsqu'on prend en compte l'effet des entretoises selon la formule de Raynal (voir section Exemples). Les profils larges semblent alors présenter des pertes de charge inférieures mais cela reste à vérifier par des mesures (expérimentales ou retour de terrain). Cela pourrait nécessiter un élargissement de la prise d'eau afin de diminuer la vitesse d'écoulement et ainsi limiter les pertes de charge.

Les autres profils (excepté le Têtard (b)) pourraient également offrir une bonne capacité d'évacuation des galets, car ils ne possèdent pas de zones planes favorisant leur blocage. Les galets seraient ainsi directement chassés en aval de la grille. Toutefois, cette hypothèse n'a pas été testée dans la thèse et nécessite donc une validation expérimentale.

Profil Têtard (b) : Spécifiquement conçu pour une fixation par entretoises circulaires, il présente des pertes de charge légèrement plus élevées que les autres profils optimisés de largeur 8 mm. Toutefois, ces pertes de charge restent faibles, ce qui permet son utilisation en remplacement des profils Têtard actuellement sur le marché.

4 Détermination des coefficients de forme des barreaux

Les coefficients de forme définis ici résultent des simulations 2D des profils projetés en considérant un angle d'inclinaison de 26 degrés. Il n'est en réalité pas possible de restreindre l'écoulement à travers une grille partiellement immergée à un écoulement uniquement 2D. Ce choix a été fait dans un souci de simplification et de réduction du temps de calcul pour l'optimisation des formes.

Bien qu'une logique de minimisation du coefficient de forme ait été respectée lors de l'optimisation (ce qui a été validé dans la thèse), la valeur brute de ce coefficient (tout comme celle des autres grandeurs hydrauliques) est altérée par cette simplification. Les véritables coefficients de forme des barreaux optimisés sont donc obtenus à partir de simulations en 3 dimensions et à surface libre. Ces résultats sont présentés dans cette section.

4.1 Explication de la simulation 3D

Le coût de calcul (temps) de telles simulations (simulation 3D à surface libre, diphasique) est extrêmement élevé. Il a donc été décidé de ne pas simuler une grille inclinée complète, mais simplement une grille inclinée à l'échelle 1:1 de la dimension du canal hydrodynamique à surface libre du laboratoire Pprime de Poitiers (Fiche 1 : pertes de charge de grilles colmatées).

Le domaine de simulation est présenté sur la Figure 4 pour illustrer le type de domaine utilisé (plus de détails sont également fournis dans le Chapitre 5 de la thèse, G. Bon, 2025). Pour chaque simulation, 10 barreaux sont présents dans le domaine et une vingtaine de jours de simulations ont été nécessaires, avec 64 processeurs alloués à chaque optimisation. L'utilisation d'un mésocentre de calcul (MCIA, Bordeaux) était indispensable.

Note : Cela engendre un coût environnemental non négligeable, à prendre en compte dans ce type de projet. À titre d'exemple, lors de la thèse, une équivalence de plus de 500 kg de CO₂ a été produite pour les simulations réalisées au mésocentre de calcul, sans compter les simulations effectuées sur l'ordinateur personnel.

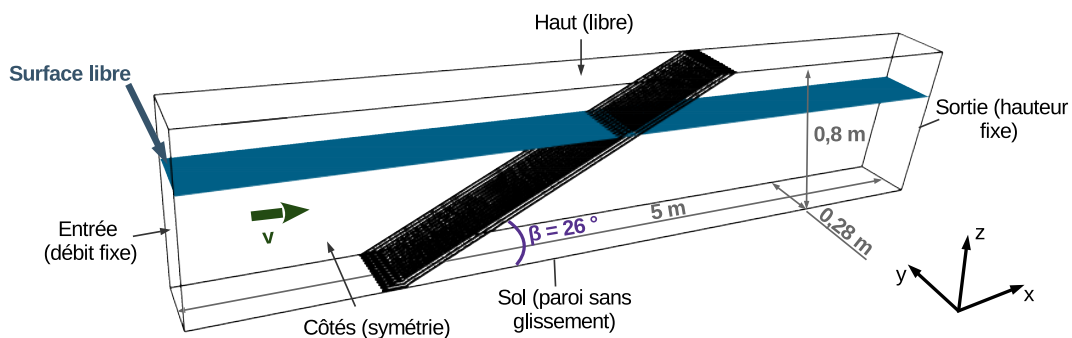


Figure 4: Domaine de simulation utilisé pour les simulations 3D à surface libre.

Les résultats des simulations sont présentés dans le Tableau 2 pour les profils optimisés dans la thèse. Le profil « S4 » de Meister et al. (2020) ainsi que les profils « Plétina » et « Têtard T8 » de Lemkecher (2020) sont également présentés à titre de comparaison (Figure 5). En effet, les coefficients de forme des profils de Meister et al. (2020) et Lemkecher (2020) sont initialement plus faibles, car ils sont calculés à partir d'études expérimentales en laboratoire. Une comparaison utilisant le même outil (simulation numérique 3D à surface libre) est donc essentielle pour comparer les profils sur des bases identiques.

Ces résultats mettent également en lumière la dépendance de la valeur du coefficient de forme à la méthode de détermination utilisée et que les valeurs brutes de pertes de charge doivent être interprétées avec prudence. Par exemple, les valeurs du coefficient de forme trouvées par Meister et al. (2020) pour les profils Rectangulaire et « S4 » sont respectivement de 3,38 et 1,05, contre 4,60 et

2,36 pour les résultats des simulations 3D. De même, pour les profils de Lemkecher et al. (2020), les valeurs du coefficient de forme pour les profils « Plétina » et « Têtard » sont respectivement de 1,75 et 1,27 contre 2,70 et 2,10 pour les résultats des simulations 3D.

Tableau 2 : Caractéristiques des différents profils d'après les simulations 3D à surface libre.

Barreaux	o_b [-]	ξ (3D) [-]	k_f (3D) [-]
Rectangle	0,286	0,195	4,600
Têtard	0,286	0,087	2,051
Goutte1	0,286	0,080	1,884
Goutte2	0,286	0,066	1,569
Bézier	0,286	0,062	1,473
Goutte b11	0,357	0,092	1,261
Bézier b11	0,357	0,082	1,140
Bézier b10	0,333	0,074	1,214
T8 (Lemkecher, 2020)	0,286		
Plétina (Lemkecher, 2020)	0,375		
S4 (Meister et al. 2020)	0,286	0,100	2,357

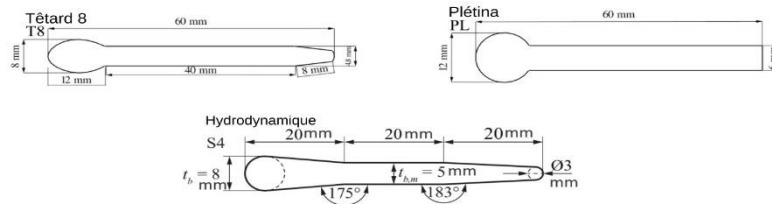


Figure 5: Profils (a) T8 de Lemkecher (2020), (b) Plétina de Lemkecher (2020) et (c) S4 de Meister et al. (2020).

Ces résultats comparatifs de simulations numériques 3D avec des profils du marché mettent en évidence le bon comportement des profils optimisés trouvés dans cette étude. Ceux-ci pourront être utilisés dans les futures installations de prises d'eau équipées de systèmes de grille inclinée.

5 Exemples d'application

Des exemples de calculs de pertes de charge pour une grille inclinée composée de ces barreaux sont présentés. Le même exemple que dans la Fiche 2 est utilisé.

Considérons une prise d'eau de 4 m de hauteur (avec 3,5 m de hauteur d'eau) et 7 m de largeur. Une grille inclinée (sans exutoires) est installée avec un angle d'inclinaison de 26 degrés.

La grille est composée :

- De barreaux optimisés de dimensions $8 \times 60 \text{ mm}^2$, $10 \times 60 \text{ mm}^2$ ou $11 \times 60 \text{ mm}^2$ ($b \times p$).
- D'un espacement entre barreaux (e) de 20 mm.
- D'entretoises circulaires de diamètre (D_{ent}) 30 mm, espacées (e_{ent}) de 50 cm.

La vitesse débitante est de 0,6 m/s

La Figure 6 illustre cette configuration.

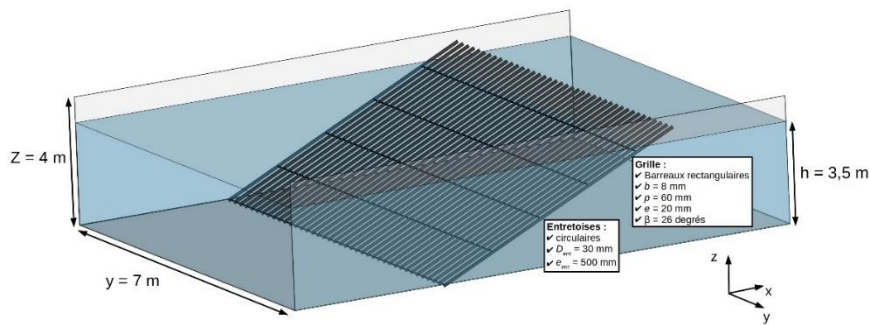


Figure 6: Prise d'eau choisie comme exemple pour la comparaison de la forme des barreaux.

Le Tableau 3 montre le résultat de la détermination des pertes de charge de la grille (sans et avec entretoises) utilisant la formule de Raynal.

Tableau 3 : Pertes de charge de la grille considérée comme exemple en fonction de la forme des barreaux avec et sans entretoises.

Profils	Coefficient de forme k_f [-]	Ob [%]	ξ [-] (avec entretoises)	ΔH (sans entretoises) [mm]	ΔH (avec entretoises) [mm]
Rectangulaire	4,600	28,6	0,554	3,6	10,2
S4 (Meister et al., 2020)	2,357	28,6	0,460	1,9	8,4
Plétina (Lemkecher, 2020)		37,5			
T8 (Lemkecher, 2020)		28,6			
Têtard (b)	2,051	28,6	0,445	1,6	8,2
Goutte 1 (c)	1,884	28,6	0,438	1,5	8,0
Goutte 2 (d)	1,569	28,6	0,425	1,2	7,8
Bézier (d)	1,473	28,6	0,421	1,1	7,7
Goutte b11 (f)	1,261	35,7	0,419	1,7	7,7
Bézier b11 (g)	1,140	35,7	0,411	1,5	7,5
Bézier b10 (h)	1,152	33,3	0,408	1,2	7,5

Les pertes de charge, avec la prise en compte des entretoises, montrent que les profils les plus larges ont des pertes de charge aussi faibles que celles obtenues pour les autres profils. Cependant, ces résultats doivent être pris avec précaution, car cela est dû à l'effet moins important des entretoises dans la formulation de Raynal (2013) pour des profils larges et un espacement fixe de 20 mm (effet des entretoises inversement proportionnel à l'obstruction), **un phénomène qui reste à vérifier expérimentalement en laboratoire ou sur le terrain avec les barreaux optimisés.**

Bien que les pertes de charge calculées soient très petites, cela n'implique pas nécessairement que les pertes de charge des centrales *in situ* soient aussi petites. **Il faut également prendre en compte le système de goulotte de dévalaison avec le masque en haut de la grille, les exutoires, mais aussi le dessous de la goulotte en aval de la grille,** qui sont en réalité responsables des principaux effets sur la perte de charge mesurée du système. Ce phénomène (écoulement en contact avec le dessous de

la goulotte) n'a pas été analysé dans cette thèse, mais il serait intéressant de réaliser une étude sur l'effet du fond de la goulotte et d'optimiser la forme de la goulotte de dévalaison à cet égard.

Exemple :

Par exemple, pour le profil optimisé Bézier avec un masque couvrant 14 % de la surface en haut de la grille (hauteur de l'exutoire de 50 cm), la perte de charge est de 26,1 mm, contre seulement 7,7 mm sans ce masque. Cela augmente à 36,2 mm avec 3 supports de 10 cm pour la fixation de la grille en plus, tout en ne prenant pas en compte l'effet du dessous de la goulotte et des autres éléments de la prise d'eau. Ces grandeurs sont calculées à l'aide du fichier de calcul Excel de la Fiche 1 :

- Feuilles Excel « avec masque de haut de grille »
- Grandeurs de la prise d'eau, des barreaux, des entretoises et des supports données ici
- $o_c = T_c = 0 \%$ (grille propre)
- $T_m = 14 \%$

6 Conclusion

De nouvelles formes de barreaux ont été développées dans le but à la fois de minimiser leurs pertes de charge et d'éviter des problématiques de colmatage, telles que le blocage des galets entre les barreaux. Ces nouvelles formes de barreaux permettront d'améliorer le fonctionnement de la centrale et faciliteront son opération. Une attention particulière est accordée à l'effet prédominant d'un masque en haut de la grille, des exutoires et du dessous de la goulotte en aval de la grille sur les pertes de charge, par rapport à la grille optimisée. Cela peut expliquer les différences entre les données mesurées sur le terrain et les données théoriques, qui ne prennent pas en compte ces infrastructures complémentaires. Par découplage des pertes de charge de la grille propre, il apparaît que l'effet des entretoises prédomine sur celui des barreaux pour des inclinaisons faibles, autour de 26 degrés (Raynal, 2013 et Tableau 3).

REFERENCES

- 1 Lemkecher, F. « Étude des grilles de prises d'eau ichtyocompatibles ». Thèse de doctorat. Université de Poitiers, déc. 2020. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03255290>.
- 2 Raynal, S. « Étude expérimentale et numérique des grilles ichtyocompatibles ». Thèse de doct. Université de Poitiers, déc. 2013. URL : <http://theses.univ-poitiers.fr>.
- 3 Bon, G. « Etude de colmatage de prises d'eau ichtyocompatibles de centrales hydroélectriques : influences des conditions d'écoulement. » ». Thèse de doctorat. Université de Poitiers, France Hydro Electricité, mars. 2025.
- 4 Meister, J.; Fuchs, H.; Beck, C.; Albayrak, I.; Boes, R.M. Head Losses of Horizontal Bar Racks as Fish Guidance Structures. *Water* 2020, 12, 475. <https://doi.org/10.3390/w12020475>

NOTATIONS

C_d	Coefficient de traînée	[-]
F_t	Force de traînée	[N]
ρ	Masse volumique de l'eau	[kg.m ⁻³]
S	Surface apparente du barreaux	[m ²]
V_1	Vitesse débitante	[m.s ⁻¹]
b	Largeur du barreau	[m]
L	Longueur du barreau	[m]
p	Profondeur du barreau	[m]
c_f	Coefficient de friction	[-]
F_f	Force de friction	[N]
c_p	Coefficient de pression	[-]
F_{pe}	Force de pression	[N]
ξ	Coefficient de perte de charge	[-]
ΔH	Perte de charge	[m]
g	Accélération de la pesanteur	[m.s ⁻²]
o_c	Obstruction du colmatage	[-]
T_c	Taux de surface de grille colmatée	[-]
T_m	Taux de surface de grille masquée	[-]
I_{gz}	Moment quadratique de flexion	[m ⁴]
I_{gy}	Moment quadratique de torsion	[m ⁴]
y_{def}	Déformation du profil (effort de 1kN)	[mm]
k_f	Coefficient de forme du profil	[-]
o_b	Obstruction des barreaux de la grille	[-]
β	Angle d'inclinaison de la grille	[°]
e	Espacement entre les barreaux	[m]
D_{ent}	Diamètre des entretoises	[m]
e_{ent}	Espacement entre les entretoises	[m]