

Recommandations sur le dimensionnement du système d'exutoires et de goulotte

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

Table des matières

1	Objectifs de la fiche	3
2	Contexte de l'étude	3
2.1	Configuration de référence et paramétrisation	3
2.2	Simulations numériques	5
2.3	Grandeurs de comparaison :	6
3	Résultats	7
3.1	Solutions non efficaces en utilisation seule.....	9
3.2	Solutions efficaces en utilisation seule mais pas suffisante	10
3.3	Meilleures solutions	11
3.4	Apparition de tourbillons d'aspirations	13
4	Conclusion	14

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 Objectifs de la fiche

Contexte de cette étude : Le système d'exutoires et de goulotte situé en haut d'une grille inclinée à faible espacement permet de guider les poissons en toute sécurité vers l'aval de la centrale. Ce système a été conçu dans cet objectif, mais en réalité, peu d'études se sont intéressées à la forme de cette infrastructure et à son effet sur l'écoulement. Aujourd'hui, la principale difficulté rencontrée avec ces systèmes est la mauvaise répartition des débits entre les exutoires. En effet, lorsqu'une infrastructure comporte plusieurs exutoires, l'un d'eux capte souvent un débit d'eau plus important que les autres, ce qui impacte l'attractivité hydraulique des exutoires et leur efficacité pour guider les poissons.

Dans ce contexte, et compte tenu du manque d'études traitant cette problématique, une étude paramétrique de la forme des exutoires et de la goulotte a été réalisée pour un système à deux exutoires, afin d'analyser l'effet de chaque configuration sur la répartition des débits mais également sur les vitesses et gradients de vitesses. Cette étude a été menée dans le cadre d'une thèse et constitue le Chapitre 6 de cette thèse de doctorat (Bon, 2025).

Objectif de la fiche : L'objectif de cette fiche est d'expliquer la mise en place et les principaux résultats de cette étude. La configuration de référence du système d'exutoires et de goulotte est étudiée, et la paramétrisation de ce système est dans un premier temps effectuée. L'étude repose ensuite sur des simulations numériques de l'écoulement en trois dimensions et à surface libre autour de la prise d'eau pour chaque configuration d'exutoires et de goulotte à tester. La construction des simulations numériques est donc présentée, suivie de l'analyse des effets de chaque forme d'infrastructure. Enfin, cette étude permet de formuler des recommandations pour la conception de ces systèmes, afin d'équilibrer au mieux la répartition des débits entre les exutoires tout en optimisant leur attractivité hydraulique (sans lien avec un critère piscicole) et en favorisant un écoulement incitatif pour les poissons.

Cette Fiche présente un résumé du Chapitre 6 de la thèse (Bon, 2025). Ce résumé permet de comprendre succinctement l'étude qui a été menée. Si cette étude vous intéresse il est conseillé de se référer directement au Chapitre 6 qui est plus complet et permet de mieux comprendre comment l'étude est menée et comment mettre en application les résultats.

2 Contexte de l'étude

2.1 Configuration de référence et paramétrisation

La configuration de référence est illustrée à la Figure 1. Elle comprend un canal d'une largeur de 7,4 m et avec une hauteur d'eau de 2,5 m. Le débit maximal transitant dans le canal d'amenée correspond à une vitesse d'écoulement de $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Une grille inclinée à 26 degrés y est installée. Le débit théorique alloué aux exutoires représente 6 % du débit total turbiné pour cette configuration, conformément aux recommandations de Courret et Larinier (2008).

Concernant le système d'exutoires et de goulotte, un premier exutoire est positionné contre la paroi droite du canal afin d'éviter toute recirculation dans la goulotte et la stagnation des débits. Un second exutoire est situé à 1 m à gauche du premier. Chaque exutoire mesure 1 m de large pour 2 m de long, avec un espacement de 4,4 m entre eux, conformément aux recommandations actuelles (Raynal,

2013 ; Courret et Larinier, 2008). La hauteur d'eau dans les exutoires est fixée à 50 cm, également en accord avec ces préconisations. Les exutoires de dévalaison se déversent dans une goulotte orientée à 90 degrés par rapport à l'écoulement. Cette goulotte mesure 1,5 m de large pour une longueur totale de 11,4 m. Un seuil est installé à sa sortie afin de maintenir une hauteur d'eau de 50 cm.

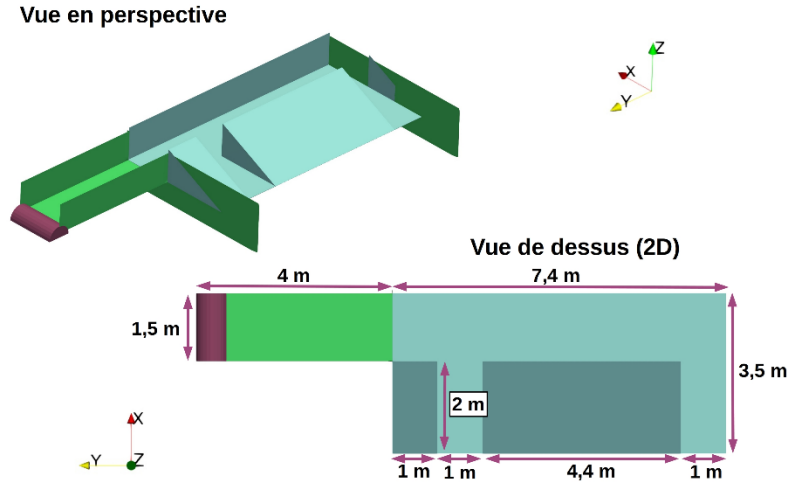


Figure 1: Configuration de référence pour l'étude paramétrique des exutoires et de la goulotte.

La configuration de référence est ensuite paramétrisée afin de pouvoir modifier certains paramètres et étudier des configurations différentes. Les paramètres variables sont présentés à la Figure 2 et la Figure 3 et sont :

- ✓ $y_{exutoire,1}$: largeur de l'exutoire 1 (gauche) [m].
- ✓ $y_{exutoire,2}$: largeur de l'exutoire 2 (droite) [m].
- ✓ β_{masque} : angle d'inclinaison du masque [°].
- ✓ $y_{\%,petite\ section} = y_{petite\ section}/y_{tot}$: longueur de la petite section de la goulotte divisée par la largeur du canal [%].
- ✓ $x_{grande\ section}$: largeur de la goulotte au niveau de l'exutoire de gauche (partie de goulotte la plus large) [m].
- ✓ $x_{\%,def\ lecteur} = x_{deflecteur}/x_{exutoires}$: longueur du déflecteur par rapport à la longueur des exutoires [%]
- ✓ $y_{\%,def\ lecteur} = y_{deflecteur}/y_{exutoires}$: largeur du déflecteur par rapport à la largeur des exutoires [%].

L'ensemble des paramètres et l'étude paramétrique globale est présentée dans le Chapitre 6 de la thèse (Bon, 2025). Seuls les résultats principaux seront présentés dans cette fiche.

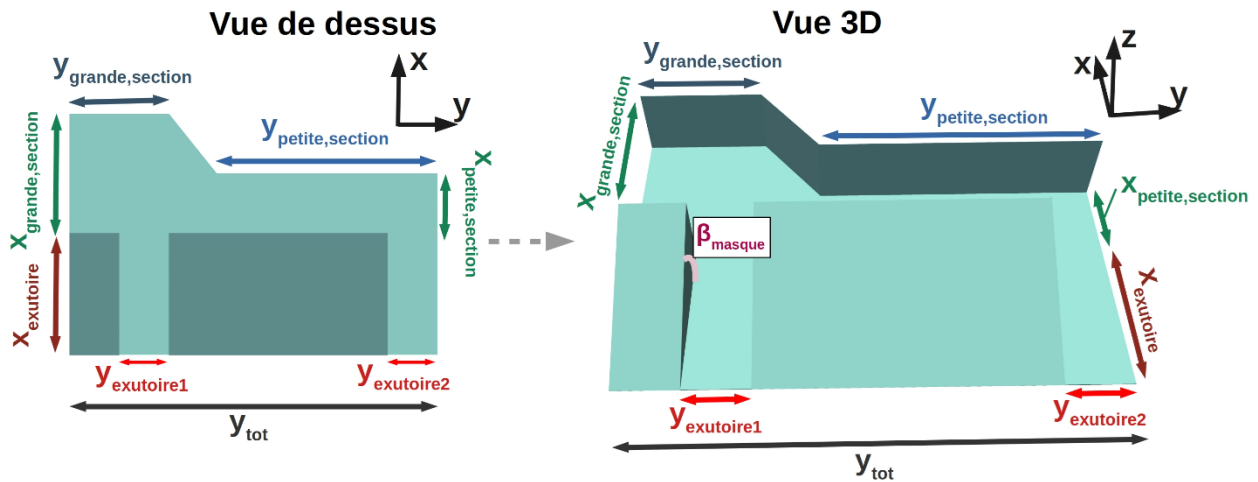


Figure 2: Paramétrisation du système d'exutoires et de goulotte.

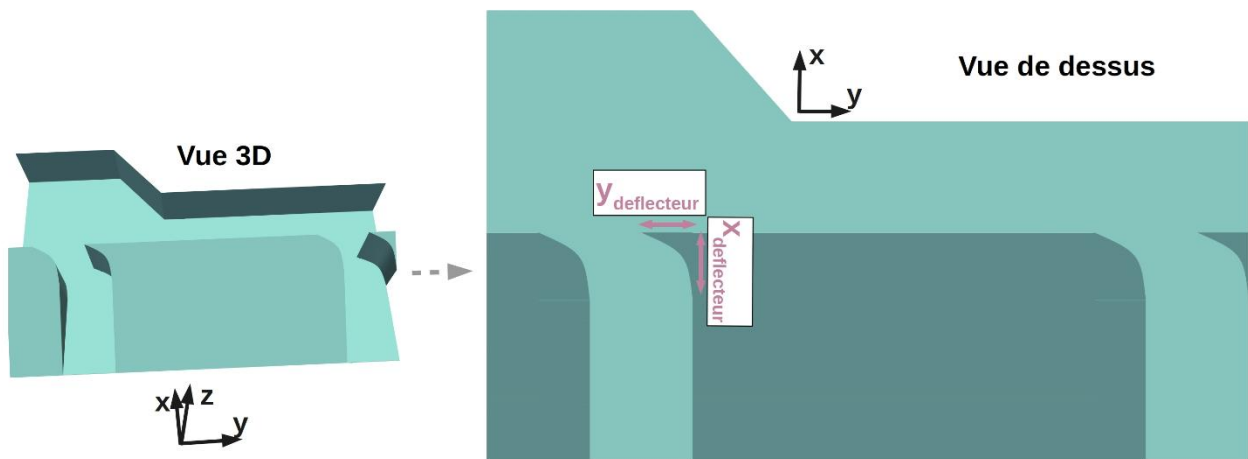


Figure 3: Paramétrisation du système de déflecteur pour l'ajout d'un pincement ou l'orientation des exutoires.

2.2 Simulations numériques

L'étude numérique est réalisée à l'aide de la suite de logiciels OpenFOAM, par le biais de simulations URANS (*Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes*) en trois dimensions, avec prise en compte de la surface libre (modèle multiphasique VOF – *Volume of Fluid*). Le domaine simulé constitue le jumeau numérique de la prise d'eau de la centrale de référence étudiée et est présenté à la Figure 4. Toutefois, une exception est faite concernant la grille, qui, en raison de son coût élevé en termes de maillage et de temps de calcul, est remplacée par un volume poreux présentant des pertes de charge équivalentes, une approche bien moins coûteuse en maillage.

Note : les simulations ont été effectuées au mésocentre de calcul de Bordeaux et ont contribué à l'empreinte carbone non négligeable de cette thèse, comme expliqué dans la Fiche 3. L'impact carbone est estimé à 500 kg de CO₂ générés par les calculs réalisés au mésocentre de calcul de Bordeaux durant la thèse.

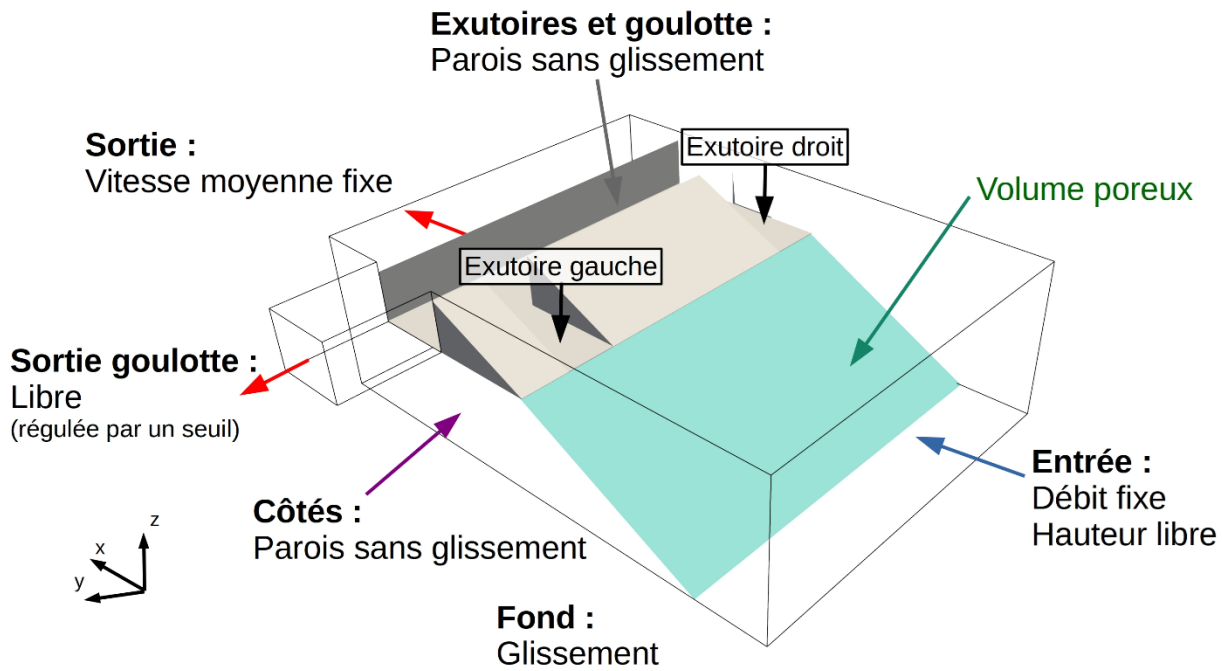


Figure 4: Domaine numérique utilisé pour effectuer les simulations 3D à surface libre de la prise d'eau et indication des conditions aux limites.

2.3 Grandeurs de comparaison :

Plusieurs grandeurs sont définies afin de comparer l'efficacité et la qualité de l'écoulement dans le système pour chaque forme d'exutoires et de goulotte testé. Les grandeurs sont ainsi :

- Indice d'équilibre des débits (IE) (ou de déséquilibre) : $IE = \sqrt{\frac{(Q_1 - \bar{Q})^2 + (Q_2 - \bar{Q})^2}{2\bar{Q}^2}} * 100$ défini à partir des débits des exutoires, avec : Q_1 , débit du premier exutoire (exutoire de gauche) [$m^3.s^{-1}$], Q_2 : débit du second exutoire (exutoire de droite) [$m^3.s^{-1}$] et $\bar{Q} = (Q_1 + Q_2)/2$: débit moyen par exutoire [$m^3.s^{-1}$].
 - Plus cet indice est faible, mieux les débits de chaque exutoire sont équilibrés. Cette grandeur est définie lors de l'étude de EAUCEA (2016) et est acceptable en dessous de 10% même si une valeur inférieure à 5 % est à privilégier.
- Attractivité hydraulique totale : correspond à la largeur, en entrée de domaine (située 5 m en amont des exutoires), qui se dirige vers un ou plusieurs exutoires [m]. Pour évaluer cette grandeur, des lignes de courant sont tracées à partir de l'entrée du domaine, puis celles passant par les exutoires sont sélectionnées afin d'analyser la largeur des lignes de courant (Figure 5). Plusieurs hauteurs sont étudiées, et une moyenne est calculée en fonction de la hauteur d'eau considérée pour ces lignes de courant.

- **Attractivité hydraulique brute** : correspond à la largeur, en entrée de domaine (5 m en amont des exutoires), qui se dirige vers un ou plusieurs exutoires en moins de 30 secondes [m]. Le temps de transit de 30 secondes est un critère de comparaison permettant de ne retenir que les lignes de courant atteignant les exutoires dans un délai raisonnable.
- **Attractivité hydraulique nette** : définie comme l'attractivité hydraulique brute à laquelle est soustraite la largeur de l'exutoire cible [m].

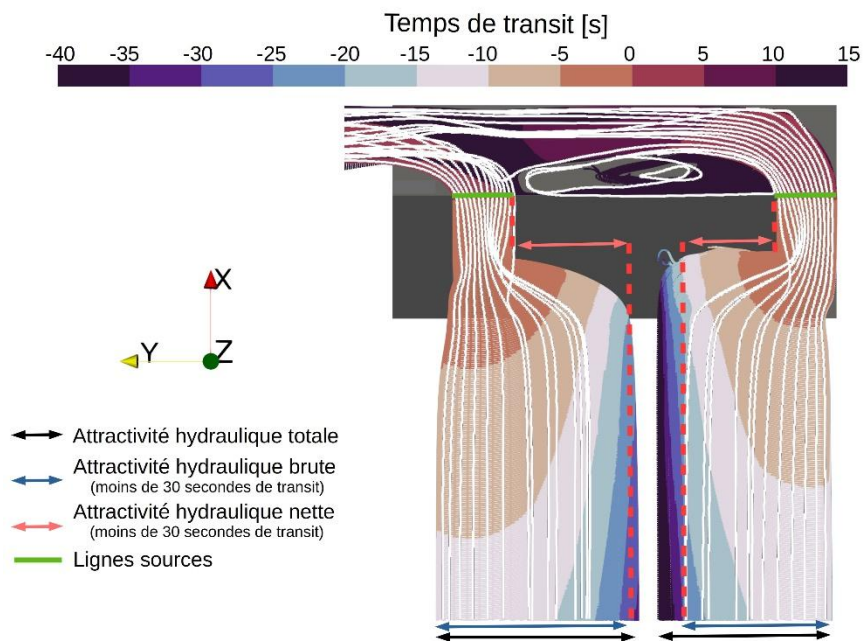


Figure 5: Lignes de courant pour la configuration initiale afin d'expliquer le calcul de l'attractivité hydraulique.

Des champs de vitesses et de gradients de vitesse sont également tracés à mi-hauteur d'eau des exutoires afin d'analyser l'influence de chaque paramètre sur l'écoulement dans les exutoires et la goulotte. L'étude porte notamment sur le gradient de vitesse longitudinal ainsi que sur les effets de cisaillement, qui peuvent impacter les performances hydrauliques nécessaires à la dévalaison des poissons.

3 Résultats

L'ensemble de l'étude paramétrique est présenté au Chapitre 6 de la thèse au sein duquel l'effet de chaque paramètre sur l'écoulement est détaillé. Un résumé des paramètres de formes étudiés et de leurs effets sur les grandeurs de comparaisons est présenté au Tableau 1. Ce tableau, non exhaustif, a pour objectif d'illustrer les effets de chaque paramètre de manière simplifiée. A noter que l'exutoire "tirant le plus" est l'exutoire où le débit est le plus important et inversement pour l'exutoire "tirant le moins". L'effet de chaque paramètre sur l'équilibre des débits, l'attractivité hydraulique et la qualité de l'écoulement est classé selon un code couleur et une échelle d'effets : vert foncé (+++) pour un effet très positif, vert (++) pour un effet positif, vert clair (+) pour un effet faiblement positif, jaune (O) pour un effet neutre, orange clair (-) pour un effet faiblement négatif, et orange foncé (- -) pour un effet négatif.

Tableau 1: Résumé de l'étude paramétrique avec les principales recommandations.

Paramètre	Equilibre des débits	Attractivité hydraulique	Ecoulement
Diminution de la largeur de tous les exutoires	++	- - (pour l'attractivité hydraulique brute)	- - (gradients de vitesse plus importants)
		+ (pour l'attractivité hydraulique nette)	
Augmentation de la largeur de l'exutoire tirant le moins	+	O	+ (diminution des gradients de vitesse dans l'exutoire cible)
Diminution de la largeur de l'exutoire tirant le plus	++	O	- (augmentation des gradients de vitesse dans l'exutoire cible)
Augmentation de la largeur de la goulotte	+	O	+ (écoulement moins accéléré en sortie de goulotte)
			- - (zone de recirculation moins importante dans la goulotte)
Inclinaison de masque	+	- - (diminution importante de l'attractivité hydraulique)	O
Elargissement progressif de la goulotte	O (pour des angles d'élargissement faibles)	O	O (peu d'effets)
	+ (pour des angles d'élargissement élevés)		
Pincement	+++ (Meilleure solution)	O	O
			- (peut avoir un effet négatif sur le gradient longitudinal)
Guidage	O (pour un guidage simple)	O	O
	++ (pour un guidage avec orientation de l'écoulement)		
Séparation de la goulotte	++ (avec une goulotte large)	O	+ (homogénéisation de l'écoulement en aval de la goulotte)
Orientation des exutoires	+++ (suivant la courbure)	O	O (pas de suppression des zones de recirculation)

Ce tableau permet d'analyser l'effet de chaque paramètre et, par exemple, de mettre en évidence que plus les exutoires sont étroits, meilleure est la répartition du débit. Cependant, cela a un impact négatif sur l'attractivité hydraulique et la qualité de l'écoulement.

Un autre exemple concerne l'élargissement progressif de la goulotte : utilisé seul (sans orientation des exutoires), il n'a pas d'effet significatif sur la répartition des débits, ni sur l'attractivité hydraulique, ni sur la qualité de l'écoulement. Ce tableau permet ainsi de comparer les avantages et inconvénients de chaque solution afin d'optimiser le dimensionnement du système.

Chaque solution présentée est étudiée individuellement, sans combinaison avec d'autres. Par exemple, l'élargissement de la goulotte est analysé en supposant des exutoires parfaitement droits, sans déflecteur, ce qui peut expliquer pourquoi, utilisé seul, cet élargissement n'est pas très efficace. En revanche, lorsqu'il est combiné à un positionnement de déflecteurs (orientation des exutoires), comme présenté dans le tableau, l'élargissement de la goulotte a un effet positif.

L'association de plusieurs solutions sera discutée dans la partie suivante de la Fiche tout comme les principaux résultats afin de mieux illustrer les conclusions présentées dans ce tableau.

3.1 Solutions non efficaces en utilisation seule

Il ressort du tableau récapitulatif que plusieurs solutions utilisées sur les prises d'eau des centrales, lorsqu'elles sont employées seules, ne semblent pas les plus adaptées.

3.1.1 Elargissement de la goulotte

Parmi ces solutions, on retrouve notamment l'élargissement de la goulotte. Dans le cas où les exutoires sont droits (sans déflecteur), l'élargissement de la goulotte n'améliore que légèrement la répartition des débits.

Par exemple, dans la solution de référence avec une goulotte d'une largeur de 1 m (Figure 6(a)), l'indice IE est de 28,3 %, sachant qu'un indice IE est considéré comme bon lorsqu'il est inférieur à 10 % (et idéalement inférieur à 5 %). En comparaison, la meilleure solution d'élargissement testée (Figure 6(b)) présente un indice IE de 22,3 %, avec une goulotte initialement large de 1 m et élargie progressivement à 2 m avec un angle de 46 degrés. Ce résultat reste cependant moins performant que celui obtenu pour la configuration de référence avec une goulotte de largeur constante de 2 m, qui affiche un indice IE de 15,1 % (Figure 6(c)). Ces observations montrent que l'élargissement progressif seul n'est pas une solution efficace. Une goulotte plus large dès le départ favorise davantage la répartition des débits, bien que la mise en place d'une goulotte large puisse s'avérer difficile. En réalité au-delà de l'élargissement de la goulotte, il est surtout important que la largeur de la goulotte soit importante pour l'exutoire de droite afin que l'écoulement puisse s'orienter à 90 degrés pour aller dans la direction principale de la goulotte. En ce qui concerne l'écoulement et l'attractivité hydraulique, peu d'effets significatifs sont observés.

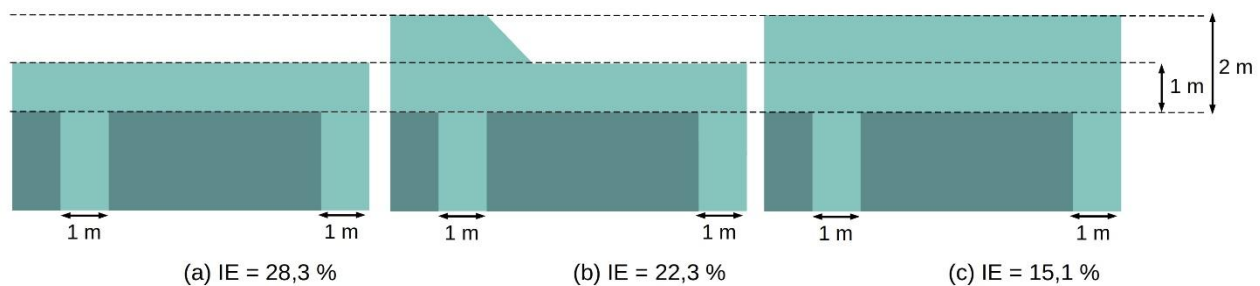


Figure 6: Configurations correspondantes à plusieurs formes de goulottes.

3.1.2 Inclinaison du masque

La modification de l'inclinaison du masque (Figure 7), tout en maintenant une inclinaison de grille (β) de 26 degrés, est une solution utilisée pour raccourcir les exutoires et rendre ainsi le système d'exutoires et de goulotte moins intrusif. Cette solution suppose qu'il soit possible de modifier l'inclinaison du système de dégrilleur. D'après l'étude paramétrique et le tableau récapitulatif, l'augmentation de l'angle d'inclinaison du masque a un effet plutôt positif sur la répartition des débits, mais un impact très négatif sur l'attractivité hydraulique en raison de l'augmentation des gradients de vitesse. Il est donc nécessaire de trouver un compromis pour cette solution.

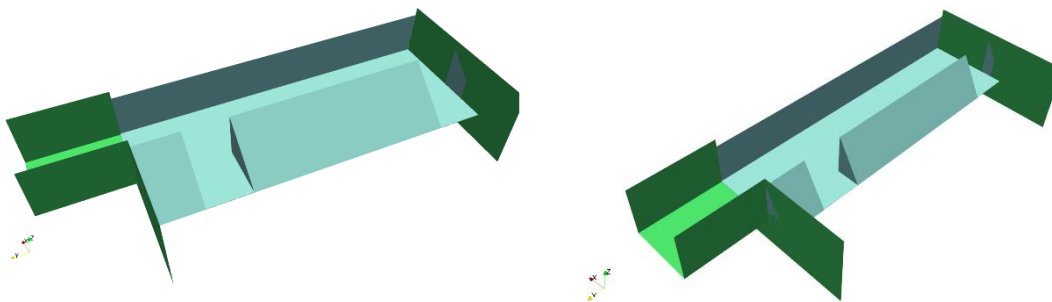


Figure 7: Différentes inclinaisons du masque avec à gauche un angle de 26 degrés et à droite de 60 degrés.

3.1.3 Guidage dans la goulotte

Le guidage seul de l'écoulement dans la goulotte (voir Figure 8) afin d'éviter les zones de recirculation dans la goulotte n'a pas d'effet majeur sur les grandeurs analysées. Cela est finalement intéressant puisque le guidage permet d'éviter les zones de recirculation gênantes d'un point de vue de l'accumulation de débris dans ces zones sans pour autant détériorer l'équilibre des débits.

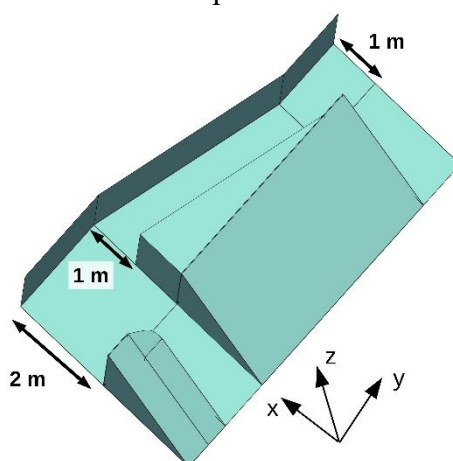


Figure 8: Exemple de guidage évitant la zone de recirculation entre les deux exutoires.

3.2 Solutions efficaces en utilisation seule mais pas suffisantes

Il est désormais possible de s'intéresser aux solutions efficaces, bien que pas forcément suffisantes lorsqu'elles sont utilisées seules.

3.2.1 Modification de la largeur des exutoires

La modification de la largeur des exutoires, ou même de l'un des deux exutoires uniquement, est une solution qui semble efficace du point de vue de la répartition des débits. De manière générale, la réduction de la section des exutoires, ou uniquement de l'exutoire ayant le débit le plus élevé, tend à rééquilibrer les débits de manière assez efficace. En revanche, cela affecte négativement l'attractivité hydraulique de ces exutoires ainsi que les gradients de vitesse à l'intérieur de ceux-ci.

3.2.2 Guidage de l'écoulement

Comme affirmé précédemment, le guidage de l'écoulement dans la goulotte seul n'est pas forcément très efficace sur la répartition des débits. Cependant, l'association de ce guidage avec une orientation de l'écoulement de l'exutoire de gauche dans la goulotte (voir Figure 9) est, elle, plus efficace. La configuration de guidage sans orientation de l'écoulement présente un indice IE de 33,6 %, contre 16,7 % avec l'orientation de l'écoulement.

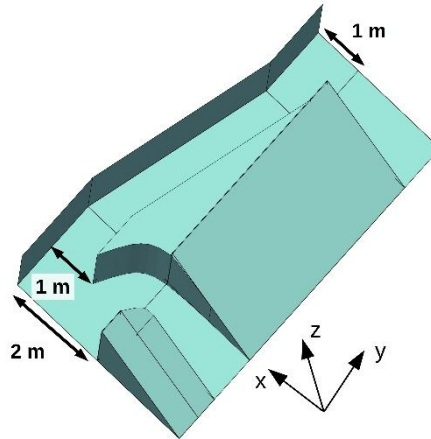
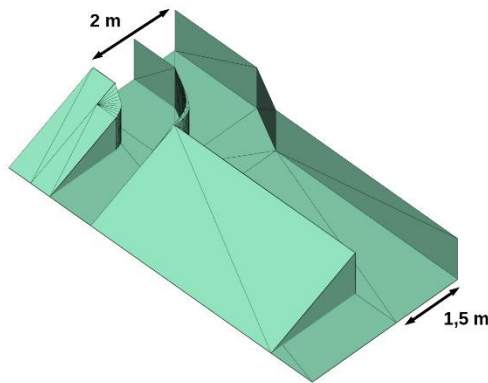


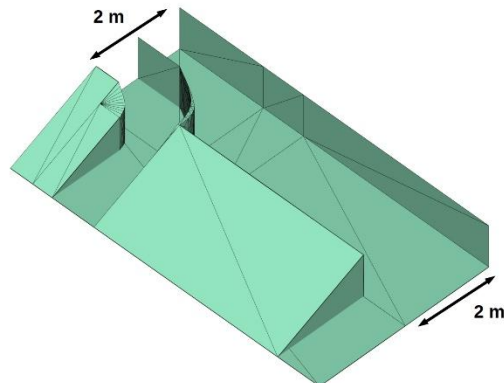
Figure 9: Exemple de guidage avec orientation de l'écoulement de l'exutoire de gauche

3.2.3 Séparation de la goulotte

Finalement, la séparation complète de la goulotte en deux parties réservées aux deux exutoires est une solution efficace dans l'objectif d'améliorer la répartition des débits, tout en impactant le moins possible l'attractivité hydraulique et en assurant un écoulement peu varié dans l'espace (avec des gradients de vitesses faibles). Cette solution peut être associée à un élargissement progressif de la goulotte ou non (voir Figure 10). La meilleure solution (Figure 10 (b)) est sans élargissement de goulotte, mais avec une goulotte globalement large (de 2 m de large) et présente un indice IE satisfaisant de 9,6 %.



(a) IE = 13,4 %



(b) IE = 9,6 %

Figure 10: Configurations avec séparation de la goulotte.

3.3 Meilleures solutions

Des solutions se sont dégagées pour leur meilleure efficacité vis-à-vis de la répartition des débits.

3.3.1 Orientation des exutoires

Premièrement, un aspect essentiel semble être d'orienter progressivement les exutoires pour diminuer l'angle de jonction entre l'écoulement des exutoires et celui de la goulotte. L'orientation des exutoires semble indispensable pour un bon équilibre des débits dans les exutoires. Une orientation optimale peut être trouvée afin d'optimiser la répartition des débits. À noter que cela est effectué sur les deux exutoires. Il semble particulièrement important d'avoir une courbure élevée pour rediriger l'écoulement tout en évitant une courbure trop élevée responsable du décollement du jet (voir

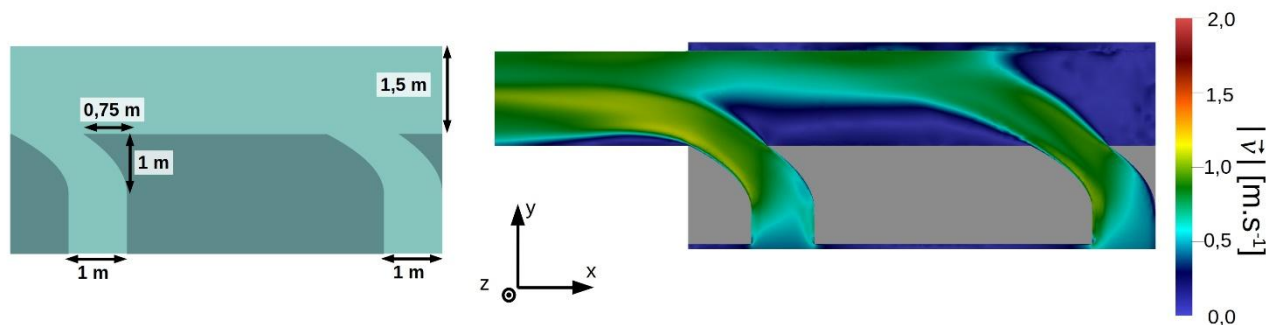


Figure 11: Configuration d'orientation des écoulements dans les exutoires (à gauche) et écoulement résultant (à droite).

Chapitre 6 thèse, G. Bon, 2025). La solution optimale d'orientation des exutoires présente un indice IE de 1,04 %, et est présentée à la Figure 11 ; elle correspond à une largeur de goulotte de 1,5 m avec une orientation de 75% de la largeur des exutoires (de 1 m) sur 50% de la longueur de l'exutoire. La courbure est élevée et permet le guidage du jet sans décollement. Plusieurs autres configurations et les paramètres associés sont présentés dans le Chapitre 6 de la thèse afin de disposer de plus de données quantitatives pour appliquer cette solution.

3.3.2 Ajout d'un pincement sur l'exutoire

Pour des systèmes d'exutoires déjà en place, l'ajout d'un pincement sur l'exutoire avec le débit le plus élevé est particulièrement efficace (comme présenté dans l'étude d'EAUCEA, 2016). Dans l'exemple de référence, l'ajout d'un pincement obstruant 30 % de la largeur de l'exutoire de gauche (voir Figure 12) réduit l'indice IE à moins de 1 %, soit un équilibre quasiment parfait. Il faut simplement noter que cette solution réduit localement la largeur de l'exutoire, ce qui implique une augmentation plus brutale de la vitesse à cet endroit. Cette solution doit donc être utilisée avec précaution vis-à-vis des critères piscicoles.

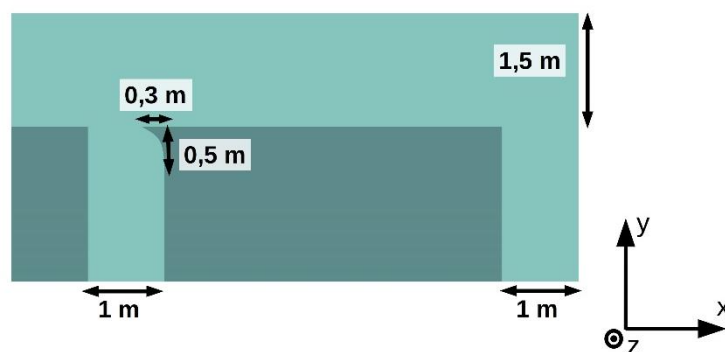


Figure 12: Exemple de configuration avec présence d'un pincement pour la régulation des débits.

3.3.3 Solution finale optimale

En combinant les différentes solutions et afin d'éviter des zones de recirculation dans la goulotte favorisant la stagnation des débris, une solution finale est imaginée et présentée à la Figure 14. Cette solution associe l'orientation des exutoires, le guidage et la séparation de la goulotte, et présente un indice IE de 1,1 %. Cette forme semble donc optimale et peut être adaptée en fonction de la configuration de la prise d'eau et du nombre d'exutoires. Il est également à noter que le triangle de guidage n'est pas ici optimal, car une zone de recirculation persiste (voir Figure 13). Un guidage non triangulaire, mais suivant l'écoulement, serait alors plus optimal.

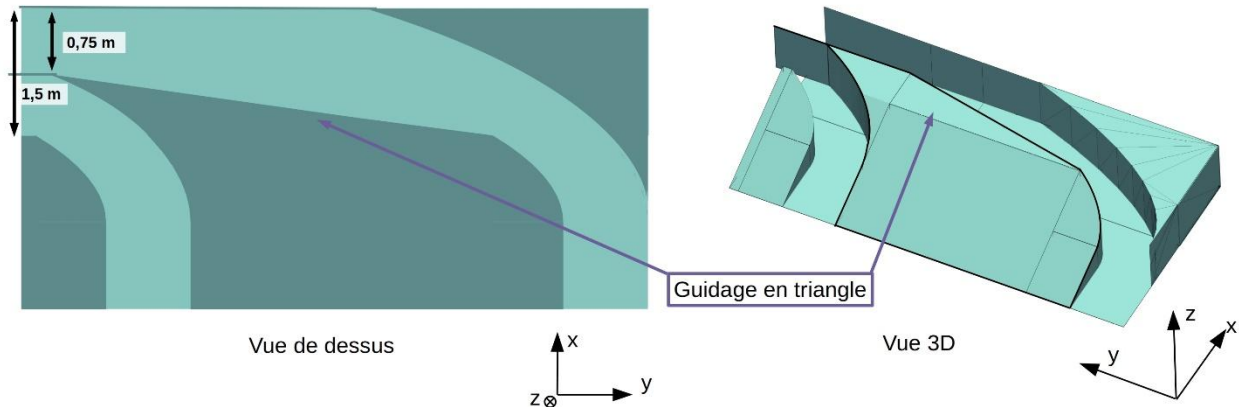


Figure 14: Solution hybride permettant un équilibre quasi parfait des débits dans les exutoires.

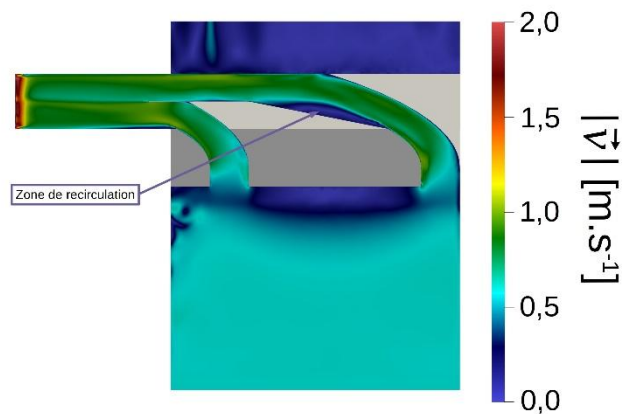


Figure 13: Ecoulement dans les exutoires et la goulotte pour la solution hybride.

3.4 Apparition de tourbillons d'aspirations

En réalité, lors de l'étude numérique consacrée aux exutoires (cette Fiche 4) et pour l'ensemble des configurations testées, la **zone du masque de gauche (collée à la paroi de gauche)** génère un **tourbillon d'aspiration**, rendant toute la zone non attirante hydrauliquement pour l'exutoire de gauche.

Cela pourrait également engendrer des vibrations du système de grille inclinée et favoriser la propagation des bulles d'air vers les turbines, ce sont des hypothèses qui n'ont pas été démontrées durant la thèse et qui mériteraient une étude complémentaire.

Différentes réflexions peuvent alors être menées :

- Pour éviter ce tourbillon, il faudrait **coller l'exutoire à la berge**.
 - Cela peut être difficile selon les sites et implique une augmentation de la distance entre les deux exutoires.
- Lorsqu'il n'est pas possible de coller l'exutoire :
 - Le masque (à cette zone uniquement et non pas celui entre les exutoires) a un effet négatif sur les pertes de charge et sur l'attractivité hydraulique.
 - Il semble donc intéressant, d'un point de vue hydraulique, de l'**enlever et de positionner un morceau de grille à la place**.

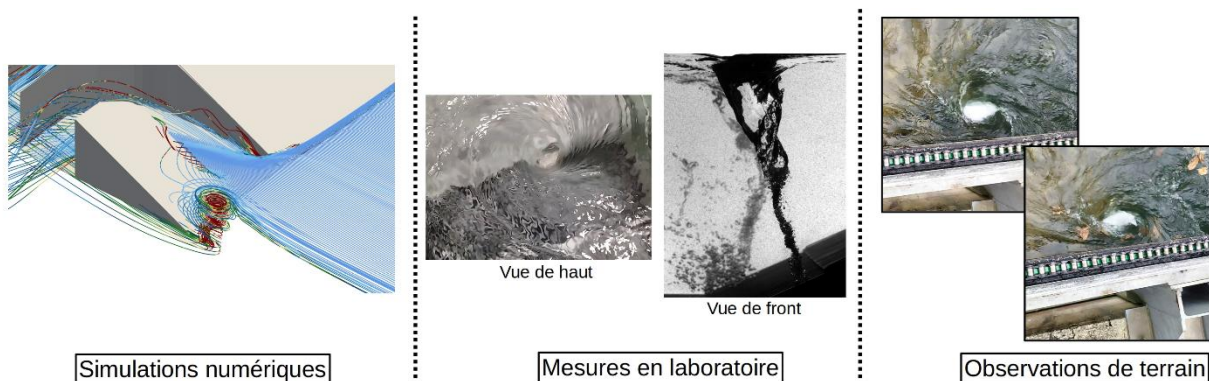


Figure 15: Tourbillons d'aspiration observés pour les simulations numériques, les mesures en laboratoire et les mesures de terrain.

4 Conclusion

Cette fiche permet de mieux appréhender l'effet des formes des exutoires et de la goulotte sur la répartition des débits et sur l'écoulement dans un système à 2 exutoires, dont l'un est collé aux berges. Ces remarques et recommandations peuvent être extrapolées à d'autres solutions impliquant deux exutoires ou plus. Cette étude vient compléter l'étude d'EAUCEA de 2016 sur le même sujet. Quelques points de conclusion essentiels sont à retenir :

- La largeur de la goulotte au niveau de l'exutoire de droite (l'exutoire avec le moins de débit) est un paramètre important : un élargissement progressif de la goulotte seul n'est pas essentiel.
- L'orientation des jets sortant des exutoires est essentielle pour une bonne répartition des débits et pour limiter la largeur de la goulotte.
- La séparation des écoulements de la goulotte peut être une solution intéressante.
- Pour les systèmes déjà en place, l'ajout d'un pincement au niveau de l'exutoire ayant le débit le plus élevé semble également une solution efficace.
- Afin d'éviter les zones de recirculation dans la goulotte, favorables à l'accumulation de débris, la condamnation de ces zones par un guidage n'influence pas ou peu négativement les paramètres hydrauliques et peut donc être utilisée.

Finalement, dans la thèse et lors de chacune des étapes (étude en laboratoire, étude de terrain et simulations numériques), il a été découvert qu'à partir du moment où un masque de haut de grille est positionné en contact direct avec la berge (dans cette étude, l'exutoire de gauche n'est pas collé à la berge, il y a donc un masque), des tourbillons d'aspiration apparaissent (voir Figure 15). Même si l'impact de ces tourbillons sur les pertes de charge n'a pas été démontré, ceux-ci impactent négativement le système de grille inclinée, générant des vibrations. Cela affecte également l'attractivité hydraulique des exutoires, car la largeur équivalente du tourbillon est perdue en termes d'attractivité hydraulique.

REFERENCES

- 1 Courret, D. & Larinier, M. « Guide pour la conception de prise d'eau ichthyocompatibles pour les petites centrales hydroélectriques », 2008. 10.13140/RG.2.1.2359.1449.
- 2 Lemkecher, F. « Étude des grilles de prises d'eau ichthyocompatibles ». Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers, 2020. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03255290>.
- 3 Raynal, S. « Étude expérimentale et numérique des grilles ichthyocompatibles ». Thèse de doctorat de l' Université de Poitiers, 2013. URL : <http://theses.univ-poitiers.fr>.
- 4 Bon, G. « Etude de colmatage de prises d'eau ichthyocompatibles de centrales hydroélectriques : influences des conditions d'écoulement. ». Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers, France Hydro Electricité, mars. 2025.
- 5 Eaucea. « Modélisation hydraulique pour la conception et l'optimisation des exutoires de dévalaison ». Rapport d'étude, 2016.

Nomenclature

IE	Indice d'équilibre des débits	[-]
$\bar{Q}$	Débit moyen par exutoire	[m ³ .s ⁻¹]
Q₁	Débit de l'exutoire 1 (gauche)	[m ³ .s ⁻¹]
Q₂	Débit de l'exutoire 2 (droite)	[m ³ .s ⁻¹]
y_{exutoire,1}	Largeur de l'exutoire 1 (gauche)	[m]
y_{exutoire,2}	Largeur de l'exutoire 2 (droite)	[m]
β_{masque}	Angle d'inclinaison du masque	[°]
y_{%,petite section}	Longueur de la petite section de la goulotte divisée par la largeur du canal	[-]
y_{petite section}	Longueur de la petite section de la goulotte	[m]
y_{tot}	Largeur du canal	[m]
x_{grande section}	Largeur de la goulotte au niveau de l'exutoire de gauche (partie de goulotte la plus large)	[m]
x_{%,deflecteur}	Longueur du déflecteur par rapport à la longueur des exutoires	[-]
x_{deflecteur}	Longueur du déflecteur	[m]
x_{exutoires}	Longueur des exutoires	[m]
y_{%,deflecteur}	Largeur du déflecteur par rapport à la longueur des exutoires	[-]
y_{deflecteur}	Largeur du déflecteur	[m]
y_{exutoires}	Largeur des exutoires	[m]