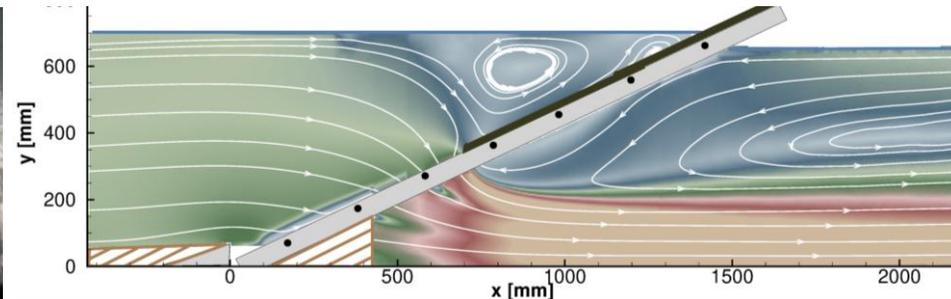
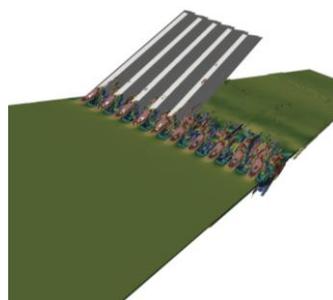
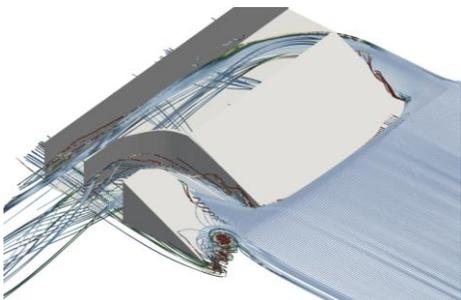


# Etude de colmatage de prises d'eau ichtyocompatibles de centrales hydroélectriques : influence des conditions d'écoulement

**Guillaume Bon**

**Encadrants** : Ludovic Chatellier, Yves Le Guer, Laurent David

**Référents** : Cécile Bellot, Xavier Casiot



# Etude des prises d'eau des centrales hydroélectriques

1. Introduction/Contexte
2. Colmatage des prises d'eau
3. Optimisation de forme des barreaux
4. Etude de la forme des exutoires
5. Conclusion

## Contexte

### Centrale hydroélectrique au fil de l'eau

10 % de la production hydroélectrique  
(7 TWh par an)

90 % des installations

#### Préoccupations autour des centrales

- Augmentation de la demande en production d'énergie
- Nécessité de préserver la biodiversité
- Contraintes d'exploitation (colmatage, inondations, sécheresses, etc.)



Centrale au fil de l'eau (France Hydro Electricité)

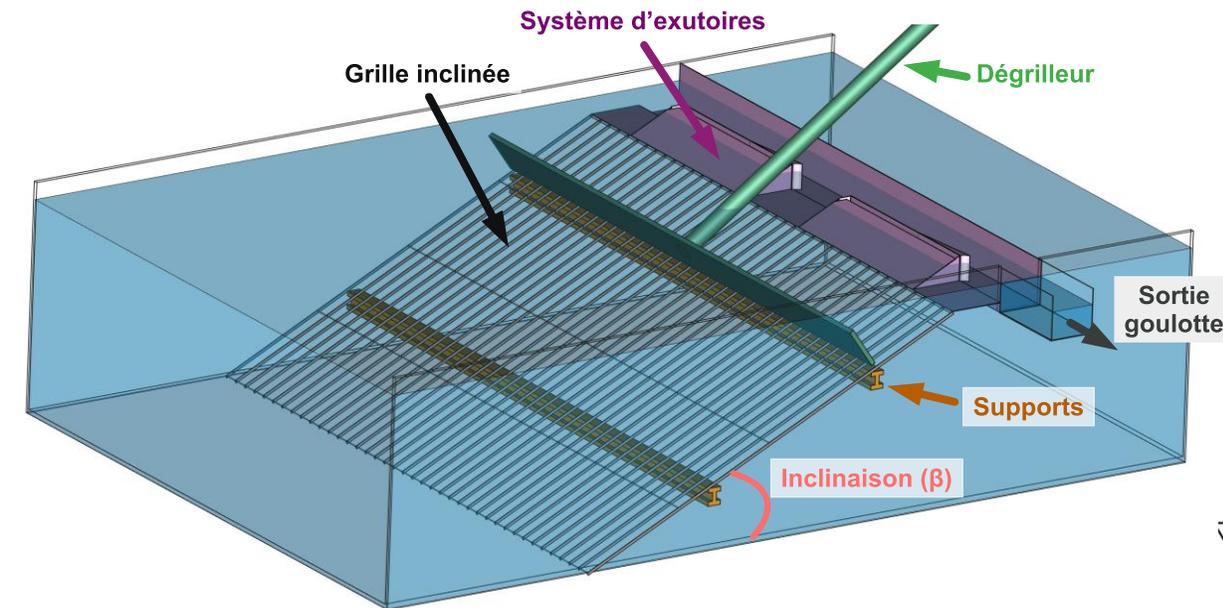
## Contexte

Barrières composées de grilles inclinées

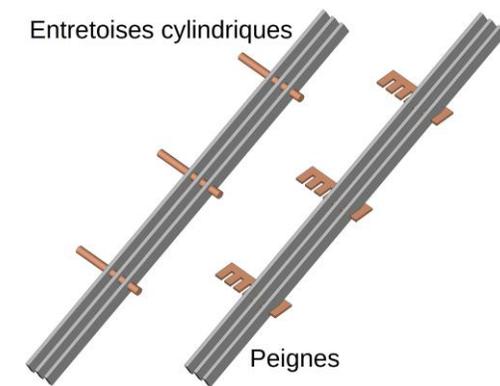
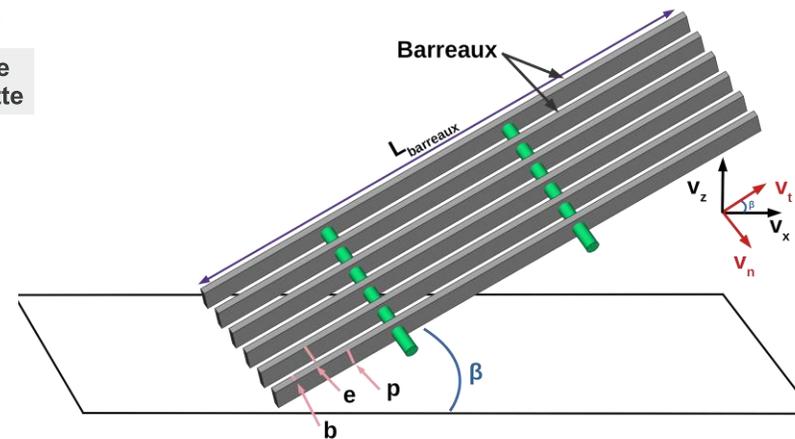
- ✓ **Barreaux** : différents profils
- ✓ **Entretoises** : circulaire/peigne
- ✓ **Supports** : IPN, profilé, etc.
- ✓ **Système d'exutoires** : 2-3 exutoires



M.A INDUSTRIE



Espacement entre les barreaux ( $e$ ) : 20 mm  
Inclinaison de la grille ( $\beta$ ) : autour de  $26^\circ$



Obstruction → Pertes de charge

## Problématiques

### Colmatage par petits débris

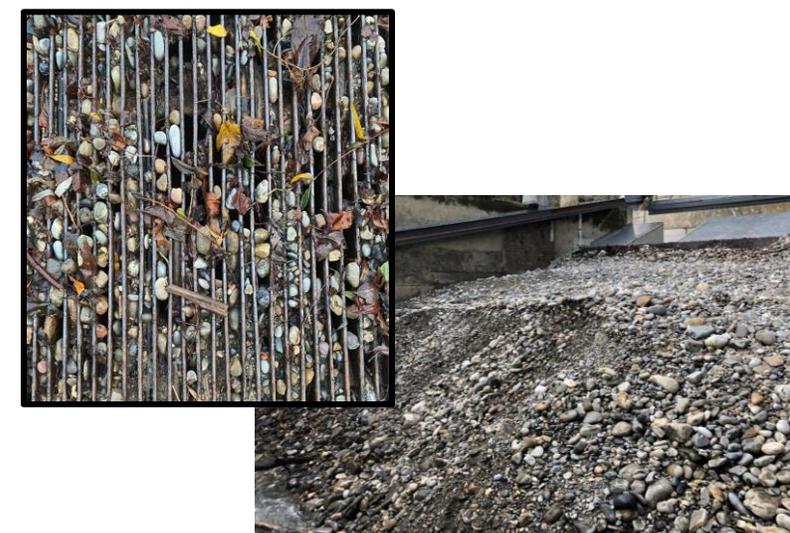
Colmatage (par feuillages, plantes aquatiques, branchages ou galets) des grilles fines inclinées pendant le fonctionnement de la centrale



Colmatage par feuilles  
(Charritte, Le Saison-64)



Colmatage par branchages  
(Oloron Sainte Marie-64)



Colmatage par galets  
(Charritte, Le Saison-64)

# Problématiques

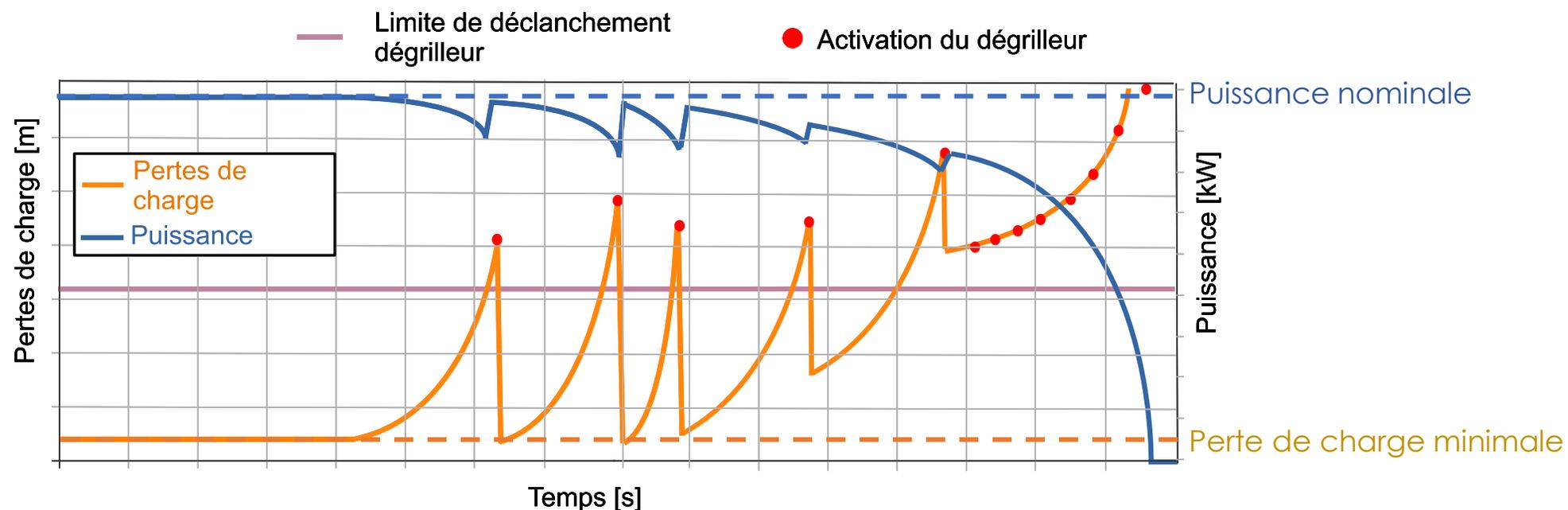
## Colmatage par petits débris

### Périodes de colmatage

- ✓ Saison automnale
- ✓ Période d'inondation
- ✓ Période de chute de neige

### Problématiques liées au colmatage

- ✓ Pertes de production
- ✓ Arrêt de centrale
- ✓ Dommages sur les infrastructures
- ✓ Opérations de nettoyage manuel



# Problématiques

## Objectifs

### Objectifs de thèse

- ✓ Etude et prédiction du colmatage sur les grilles inclinées
- ✓ Optimisation de la forme des barreaux en minimisant les pertes de charge
- ✓ Caractérisation et amélioration de la forme du système d'exutoires

# Etude des prises d'eau des centrales hydroélectriques

1. Introduction/Contexte

2. Colmatage des prises d'eau

- Mise en place
- Résultats de l'étude expérimentale
- Modèle prédictif
- Validation par des essais de terrain

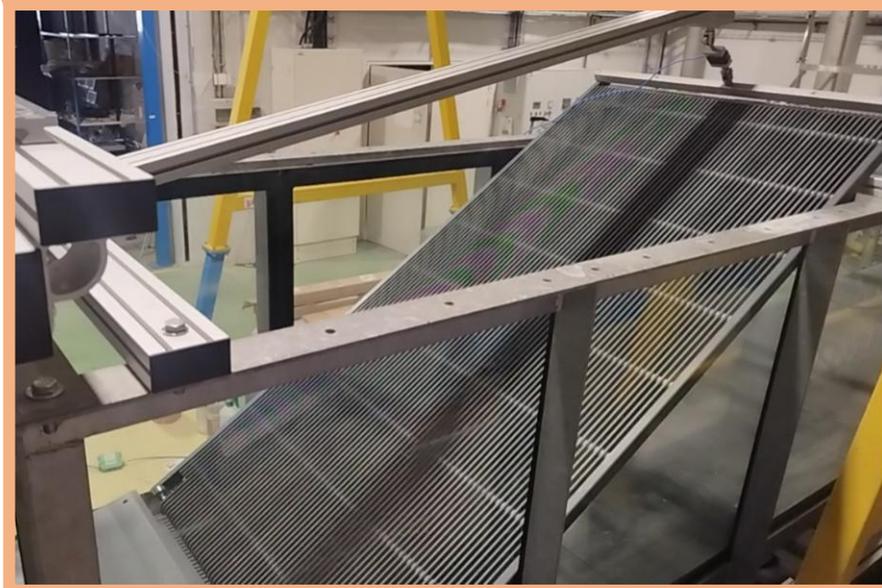
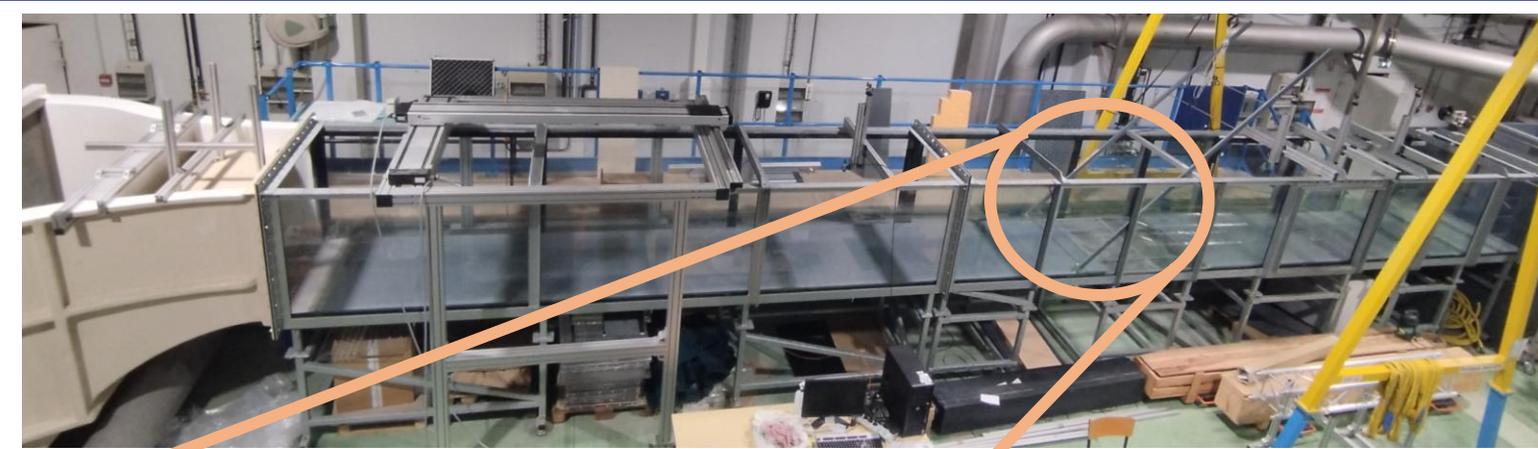
3. Optimisation de forme des barreaux

4. Etude de la forme des exutoires

5. Conclusion

## Mise en place

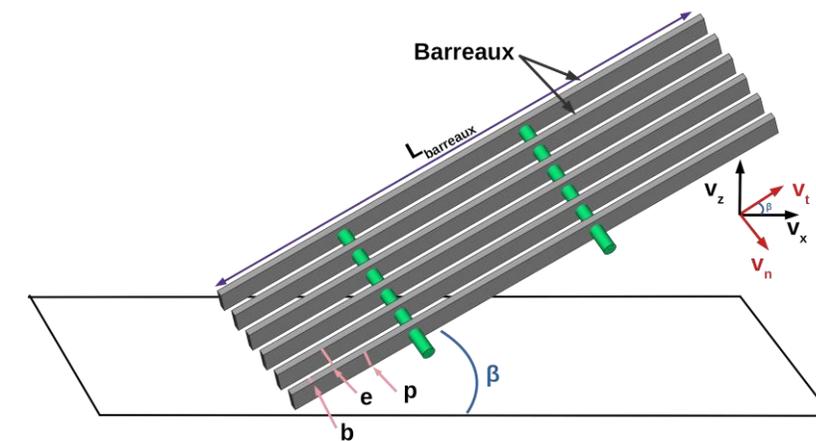
### Canal à surface libre (CANHYDEE)



#### Grille à l'échelle 1:2

- ✓ Espacement ( $e$ ): 10 mm et 15 mm
- ✓ Inclinaison ( $\beta$ ): 20, 26, 30, 35, 45, 90 °
- ✓ Nombre de Reynolds (barreaux) :

$$Re_b = 1000 - 3600$$



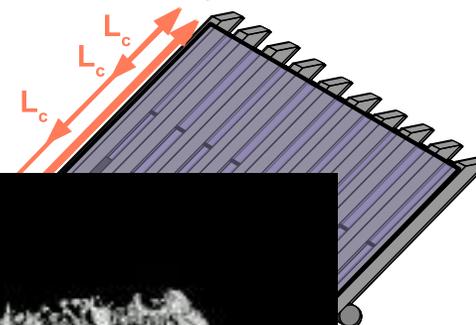
#### Canal à surface libre

- ✓ 12 x 1 x 1 m<sup>3</sup>
- ✓ Débit maximum : 1800 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>  
→  $v_{1,max} = 0,7 \text{ m.s}^{-1}$
- ✓ Similitude de Froude :  $Fr = 0,1 - 0,27$

# Mise en place

Utilisation de surfaces de colmatage artificiel

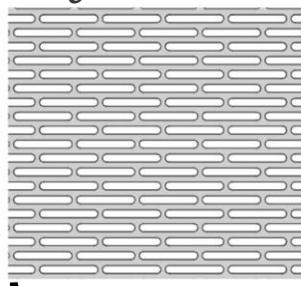
Surface de grille colmatée  $T_c = L_c/L = 36\%$   
Obstruction du colmatage  $o_c$



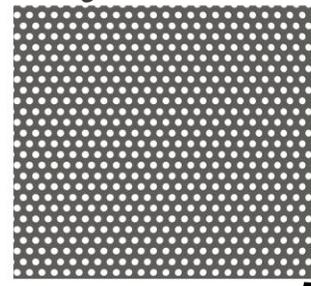
- ✓  $o_c$  : obstruction de colmatage (opposée de la porosité) [%]
- ✓  $T_c$  : surface de grille colmatée [%]  
↳ 15 %, 30 %, 50 % and 100 %



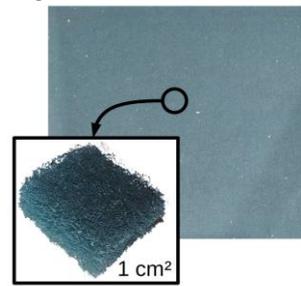
$o_c = 34\%$



$o_c = 57\%$



$o_c = 71 - 82\%$



$o_c =$

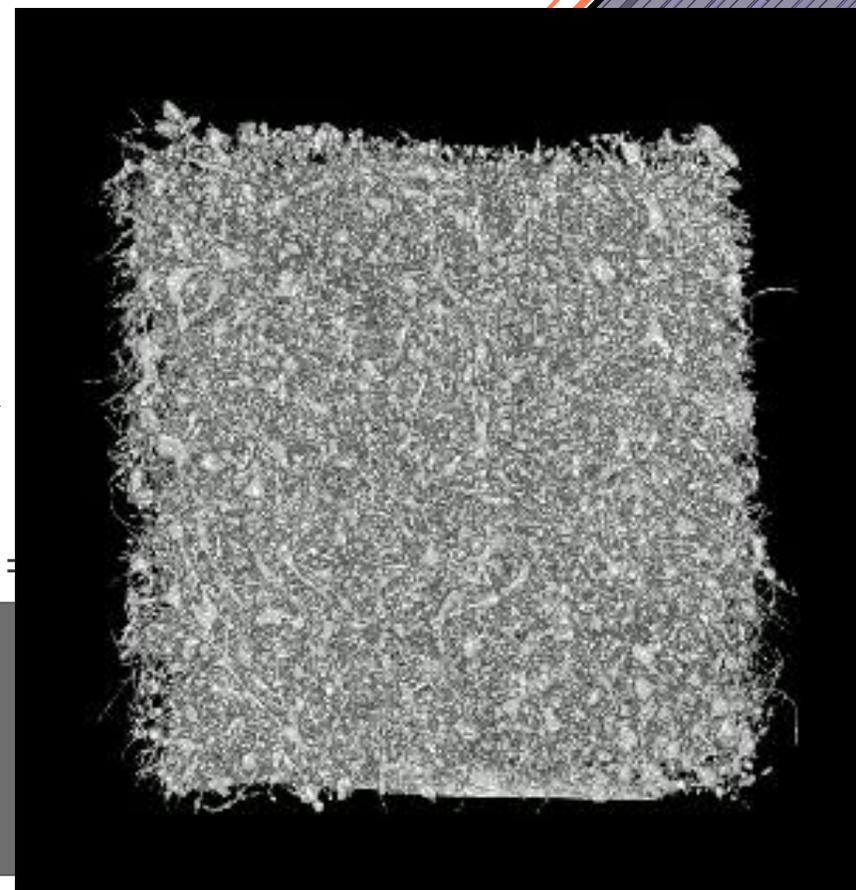


Volume poreux  
(MAPA SPONTEX)

1 cm<sup>2</sup>

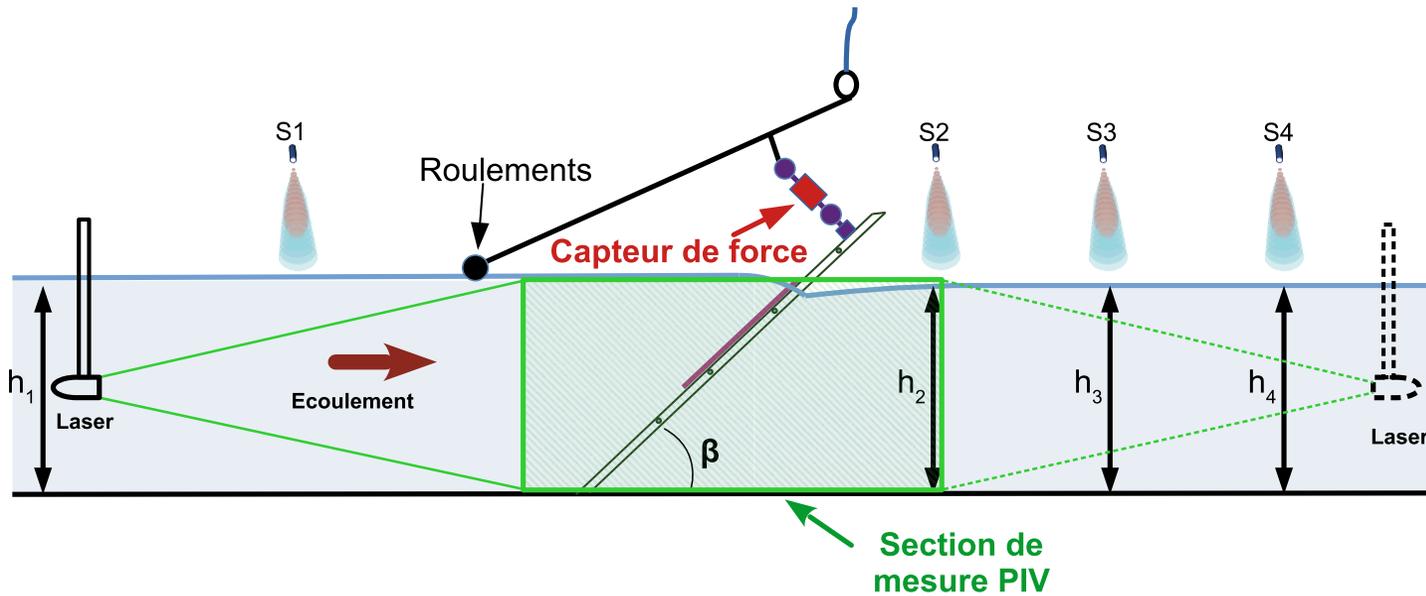
Plaque pleine

Plaques perforées



# Mise en place

## Mesures



Plan laser

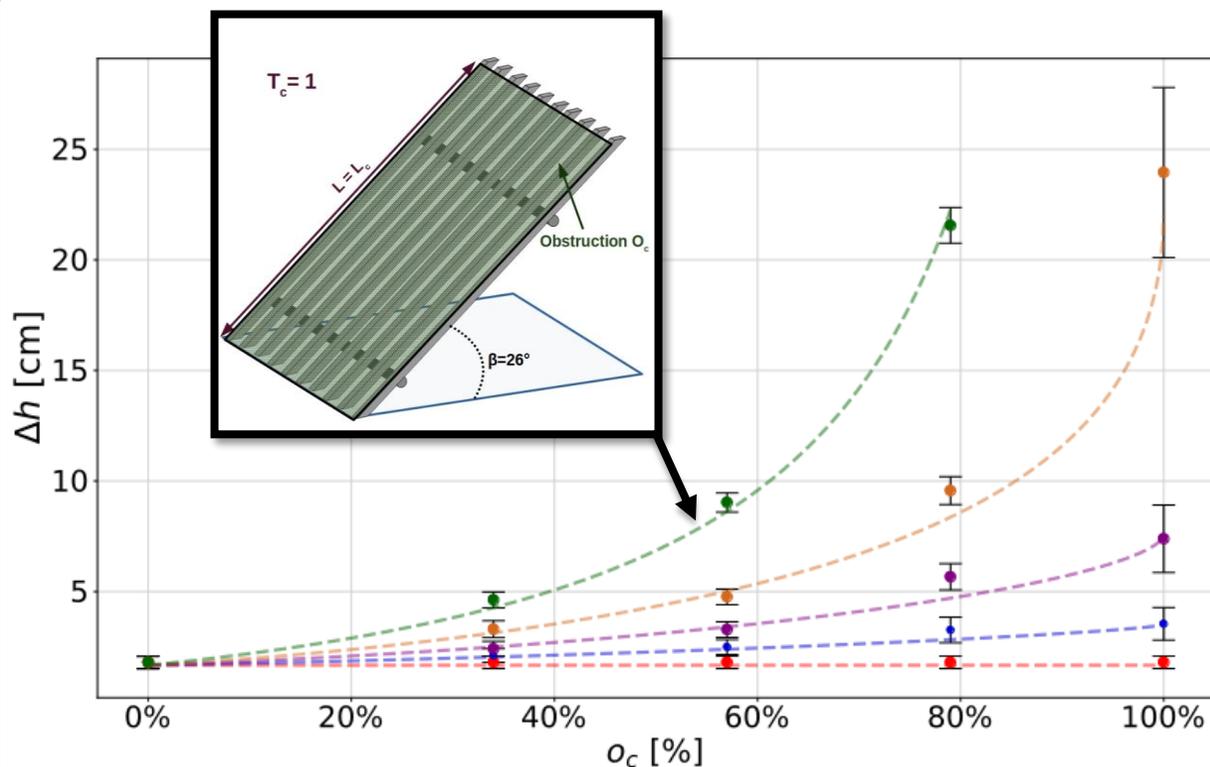
- ✓ **Mesure de perte de charge** : capteur ultrasonique

$$\text{Coefficient de perte de charge : } \Delta h = h_1 - h_{2,3,4} \rightarrow \Delta H \rightarrow \xi = \frac{2g\Delta H}{v_1^2}$$

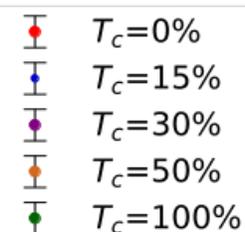
- ✓ **Mesure de force** : capteur de force dans une direction (type S)
- ✓ **Mesure de la vitesse** : particle image velocimetry (PIV)

# Résultats de l'étude expérimentale

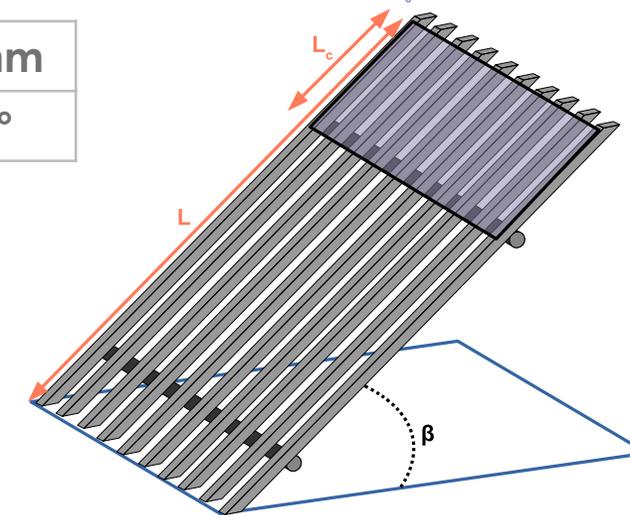
## Analyse de la perte de charge



Espacement ( $e$ )	10 mm
Inclinaison ( $\beta$ )	26 °



Surface de grille colmatée  $T_c = L_c/L$   
Obstruction de colmatage  $o_c$



✓  $\Delta h$  croît quand  $o_c$  augmente

✓ Petites variations de  $\Delta h$  avec  $o_c$  pour des petites valeurs de  $T_c$

✓ Augmentation rapide de  $\Delta h$  avec  $o_c$  pour des grandes valeurs de  $T_c$

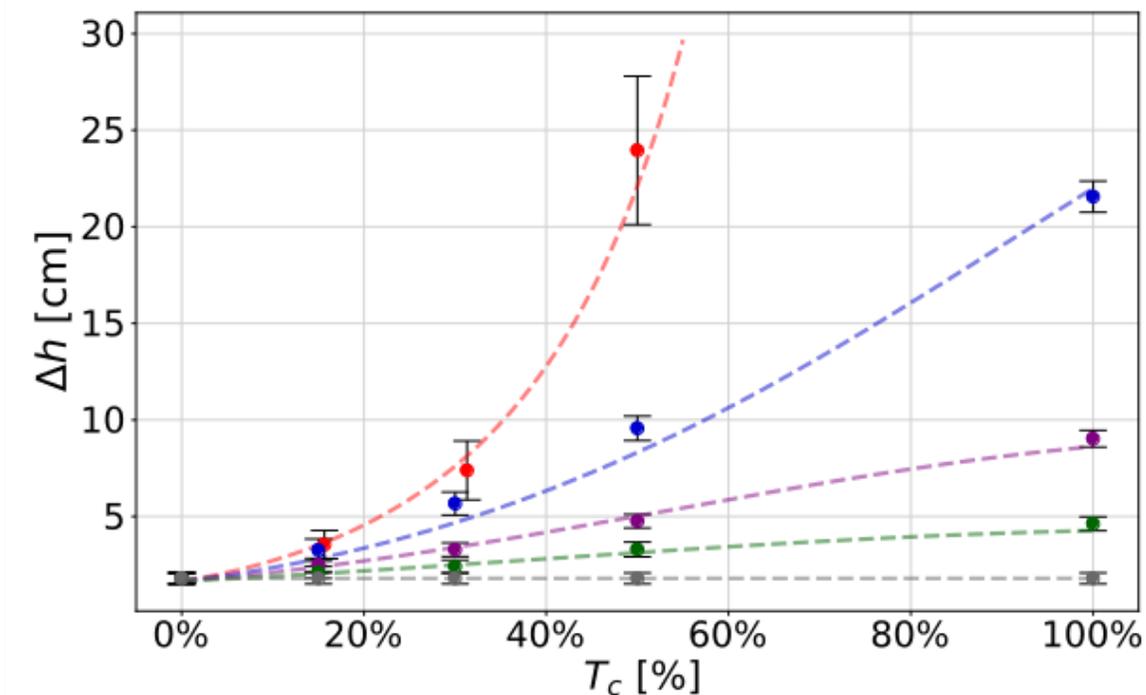
✓ Pire configuration de colmatage :  $\Delta h > 10 \times \xi_{propre}$

Lignes : Loi prédictive

Points : Mesures expérimentales

# Résultats de l'étude expérimentale

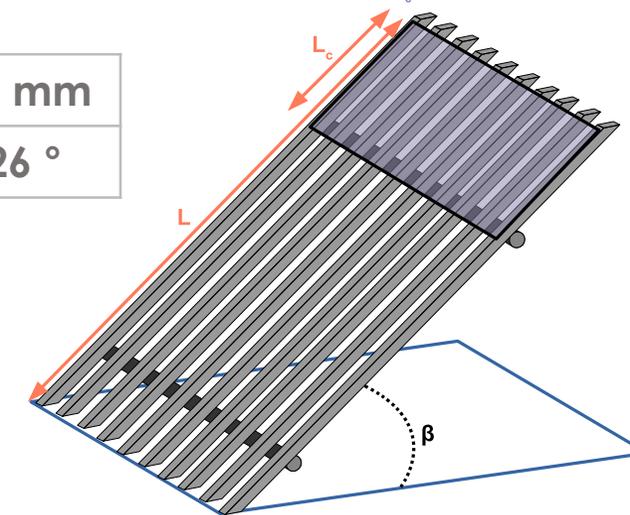
## Analyse de la perte de charge



- Plaque pleine ( $o_c = 100\%$ )
- Surface poreuse ( $o_c = 79\%$ )
- Plaque perforée ( $o_c = 57\%$ )
- Plaque perforée ( $o_c = 34\%$ )
- Grille propre ( $o_c = 0\%$ )

Espacement ( $e$ )	10 mm
Inclinaison ( $\beta$ )	26 °

Surface de grille colmatée  $T_c = L_c/L$   
Obstruction de colmatage  $o_c$



✓  $\Delta h$  croît lorsque  $T_c$  augmente

- ✓ **Variation linéaire de  $\Delta h$**  avec  $T_c$  pour des petites valeurs de  $o_c$
- ✓ **Variation brusque de  $\Delta h$**  avec  $T_c$  pour des grandes valeurs de  $o_c$

Lignes : Loi prédictive

Points : Mesures expérimentales

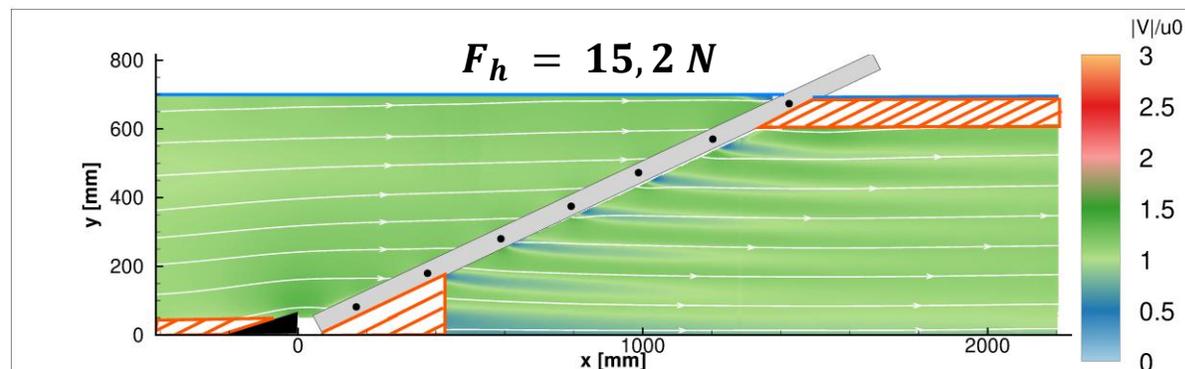
# Résultats de l'étude expérimentale

## Champs de vitesses

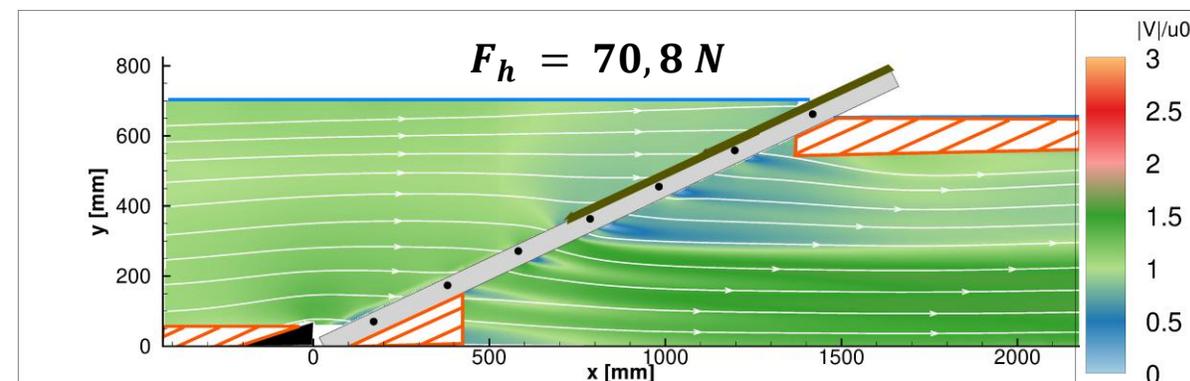
Espacement ( $e$ )	10 mm
Surface de grille colmatée ( $T_c$ )	50 %
Inclinaison ( $\beta$ )	26°

Champs de vitesses – surface de grille colmatée  $T_c = 50\%$

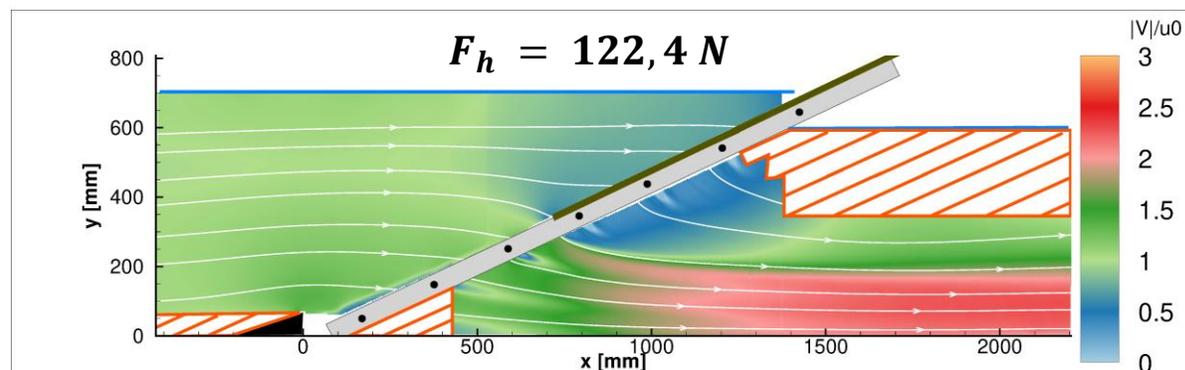
$o_c = 0\%$  (grille propre)



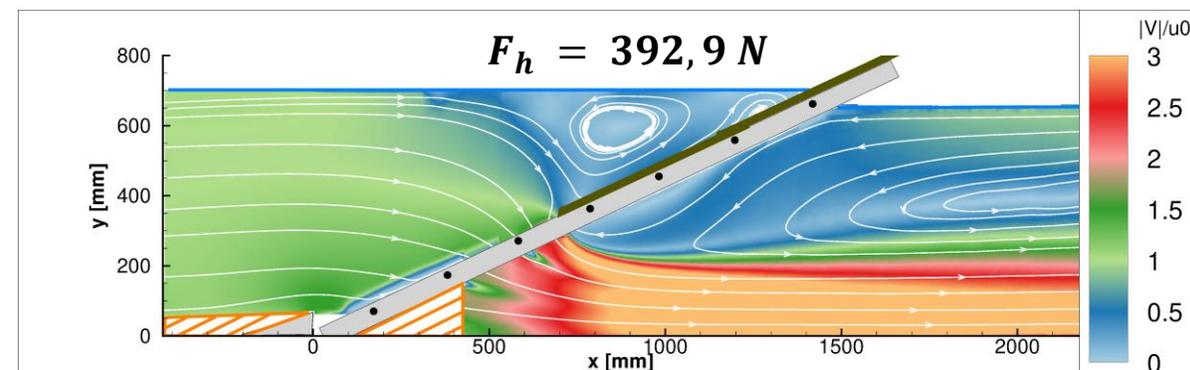
$o_c = 57\%$  (plaque perforée)



$o_c = 79\%$  (volume poreux)



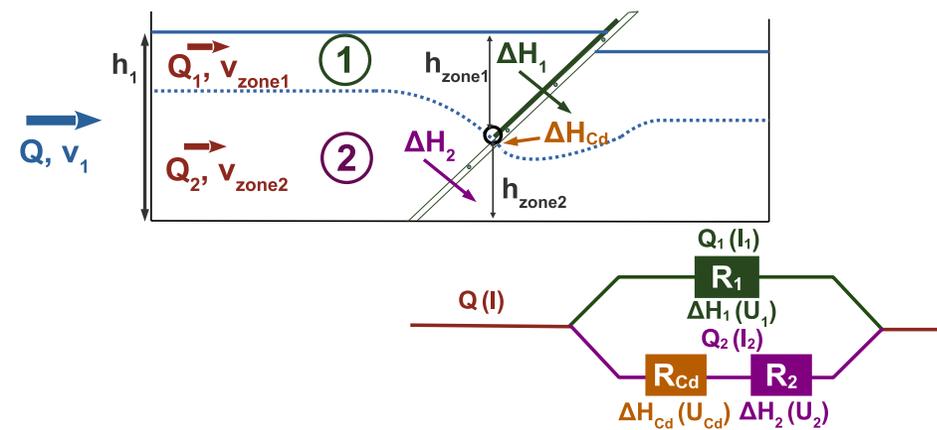
$o_c = 100\%$  (plaque pleine)



 Zone non mesurable

# Développement d'un modèle prédictif

## Validation du modèle prédictif

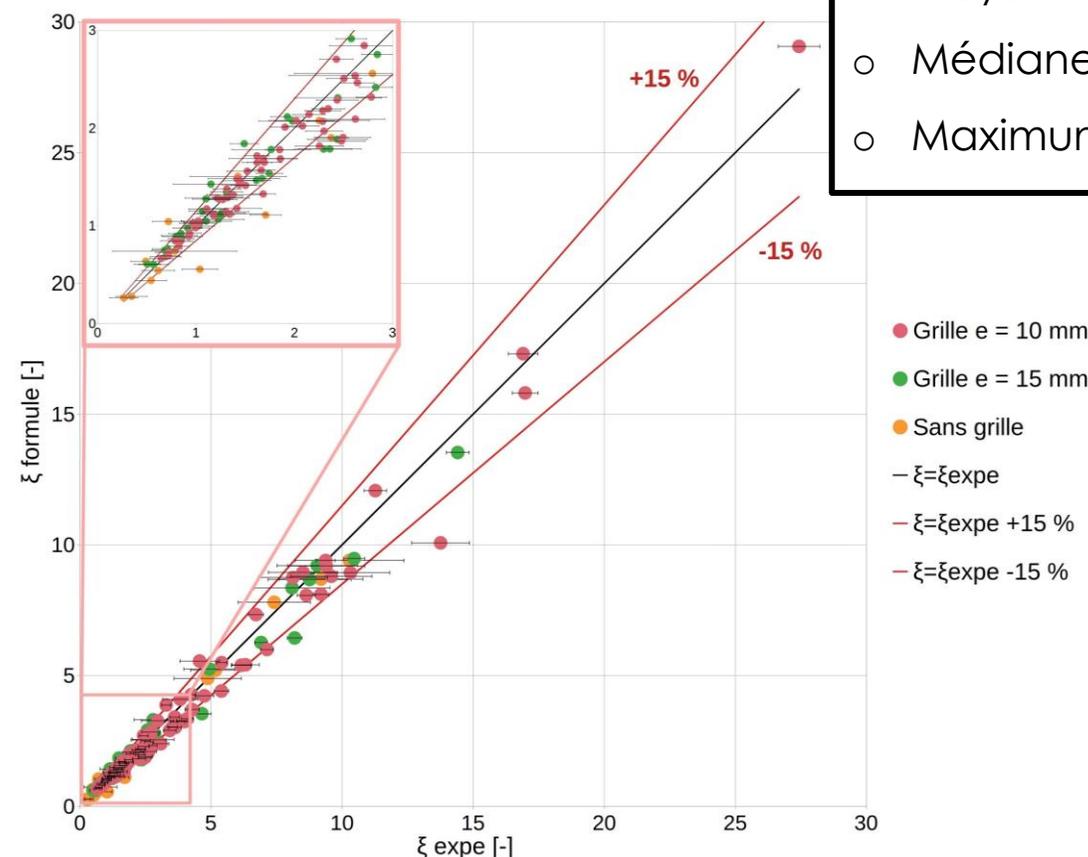


**Coefficient de perte de charge :**  $\xi = \frac{2g\Delta H}{v_1^2}$

$$\xi = \left( \frac{1}{\frac{T_c}{\sqrt{\xi_1}} + \frac{1 - T_c}{\sqrt{\xi_{clean} + \xi_{cd}}}} \right)^2$$

$$\xi_1 = \xi_{clean} + 4,7 \left( \frac{1}{1 - o_b} \right)^2 \left( \frac{o_c}{1 - o_c} \right) \sin^2(\beta)$$

$$\xi_{cd} = 3,0(1 - o_b)T_c^{1,2}o_c^{1,5}(1 + \cos^2(\beta))$$



### Différence relative

- Moyenne : **8,7 %**
- Médiane : **7,5 %**
- Maximum : **28,0 %**

- Grille e = 10 mm
- Grille e = 15 mm
- Sans grille
- $\xi = \xi_{expe}$
- $\xi = \xi_{expe} + 15 \%$
- $\xi = \xi_{expe} - 15 \%$

# Validation par des mesures de terrain

## Description des mesures

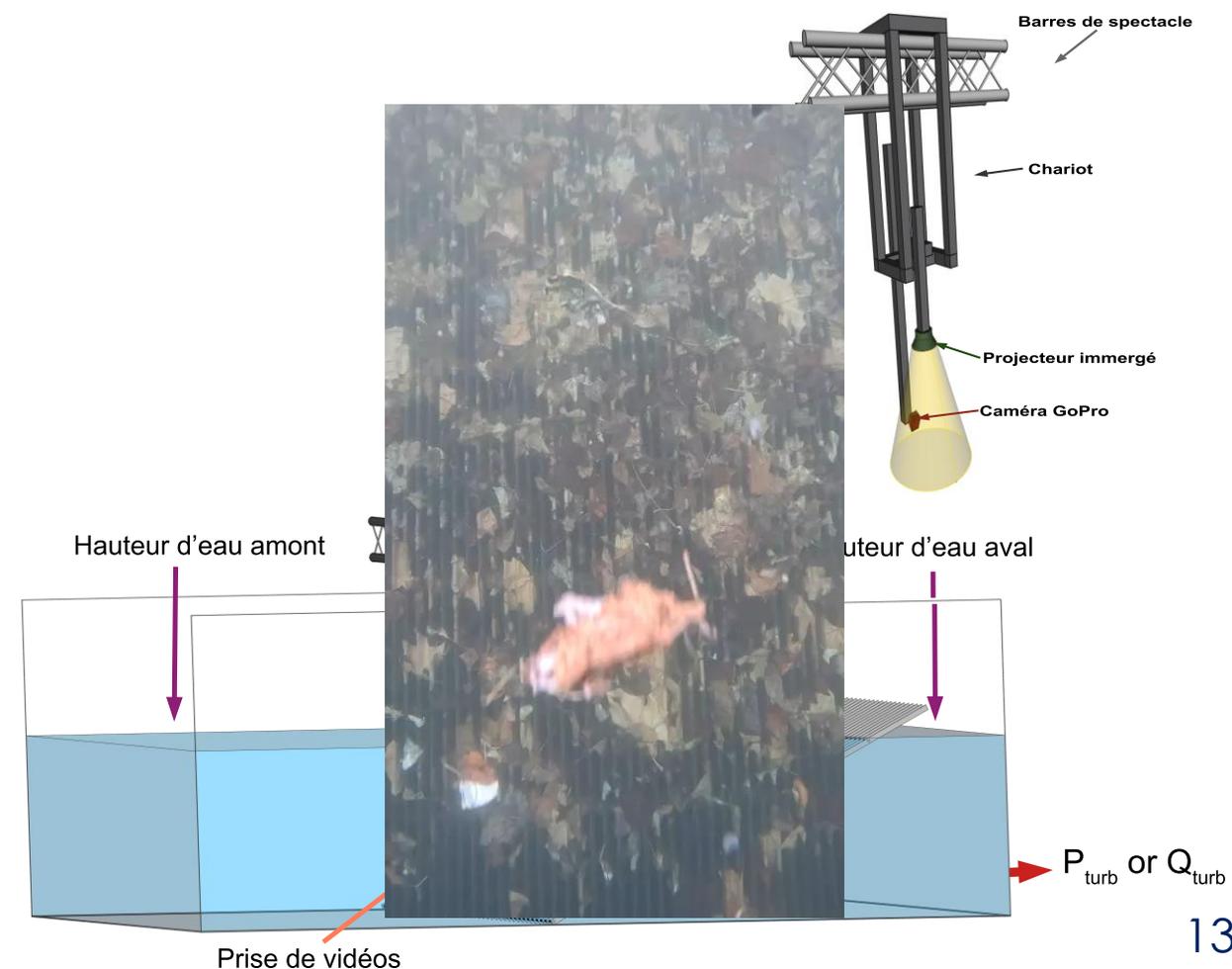


### Objectifs :

- ✓ Détermination de la relation entre les pertes de charge mesurées sur une centrale et le colmatage
- ✓ Comparaison avec les résultats expérimentaux

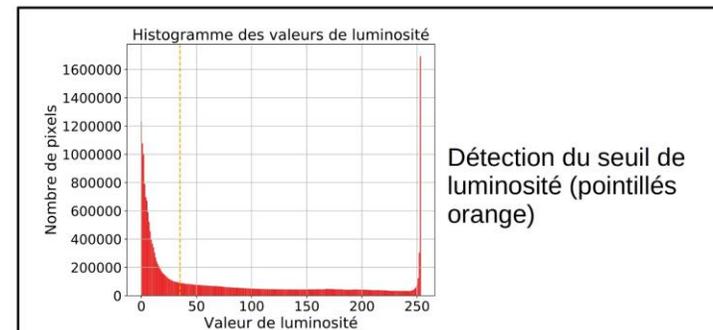
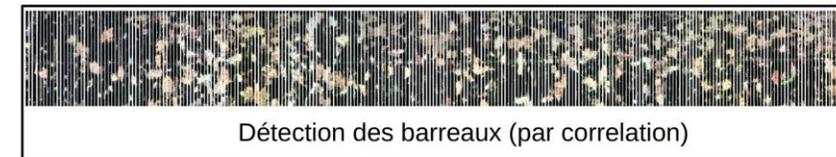
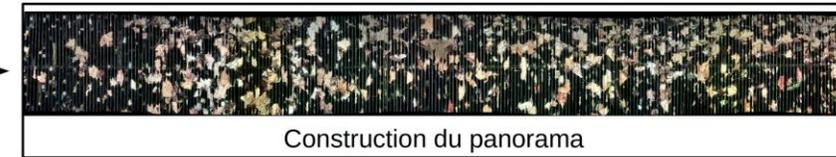
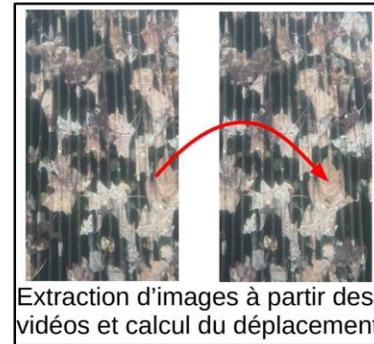
### 1<sup>ère</sup> étape

- ✓ Récolte et stockage des feuilles
- ✓ Restitution des feuilles en amont du canal d'amenée jusqu'à un certain niveau de colmatage
- ✓ Prise de vidéos à plusieurs positions (différentes profondeurs de grille)
- ✓ Récolte de la perte de charge et de la puissance générée par la prise d'eau
  - ✓ Post-traitement  $\rightarrow o_c$



# Validation par des mesures de terrain

## Calcul de l'obstruction de colmatage



$O_c$

# Validation par des mesures de terrain

## Résultats

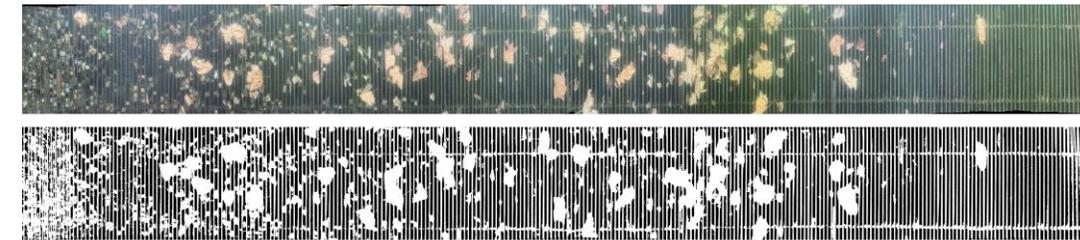
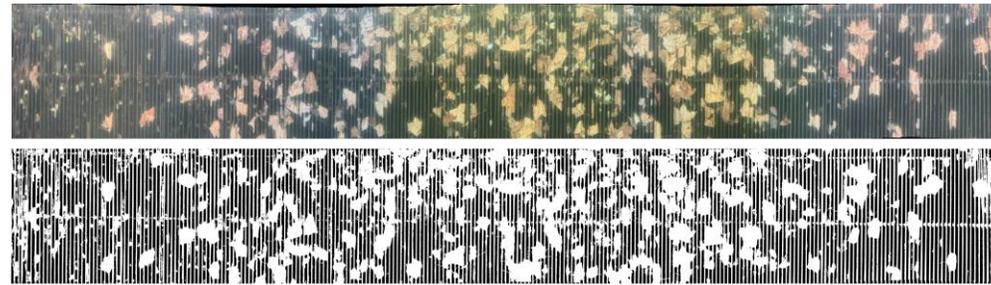
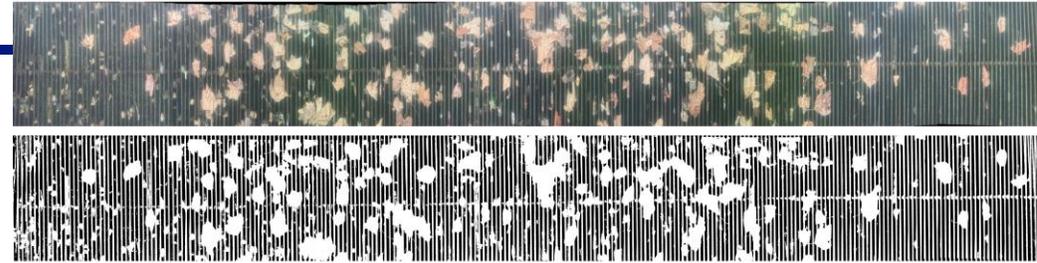
### Milieu de grille

*Coefficient de perte de charge :*

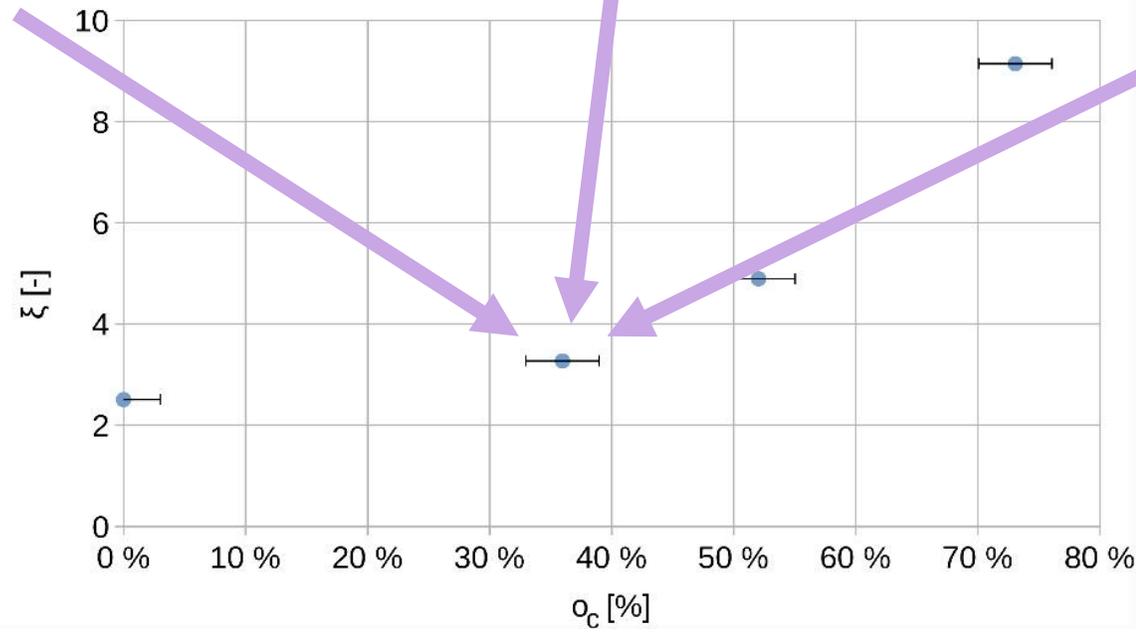
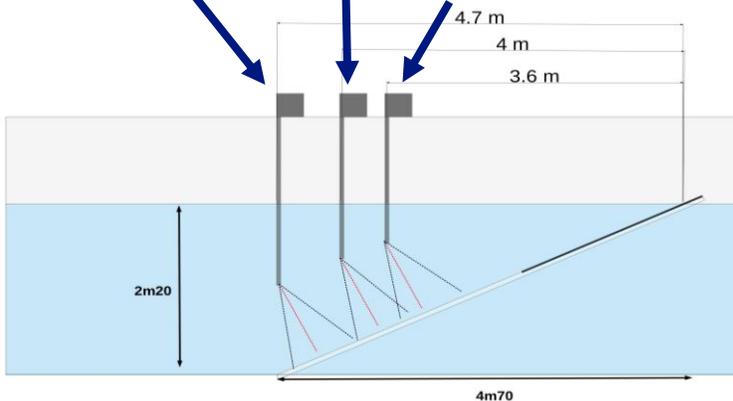
$$\xi = \frac{2g\Delta H}{v_1^2}$$

### Haut de grille

### Bas de grille



Bas de grille  
Milieu de grille  
Haute de grille



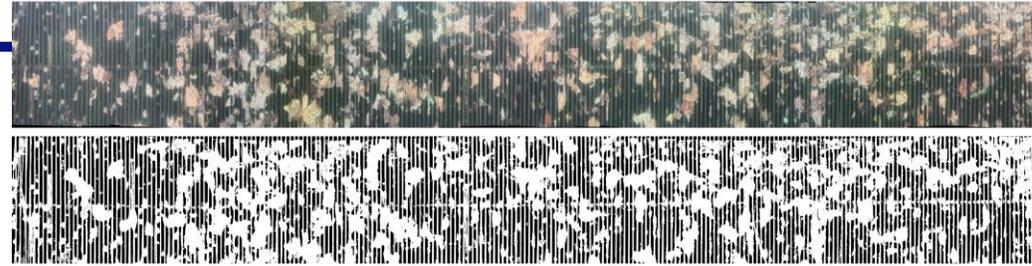
# Validation par des mesures de terrain

## Résultats

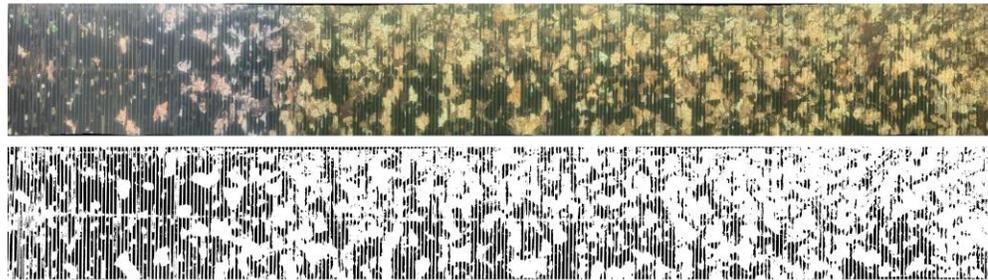
*Coefficient de perte de charge :*

$$\xi = \frac{2g\Delta H}{v_1^2}$$

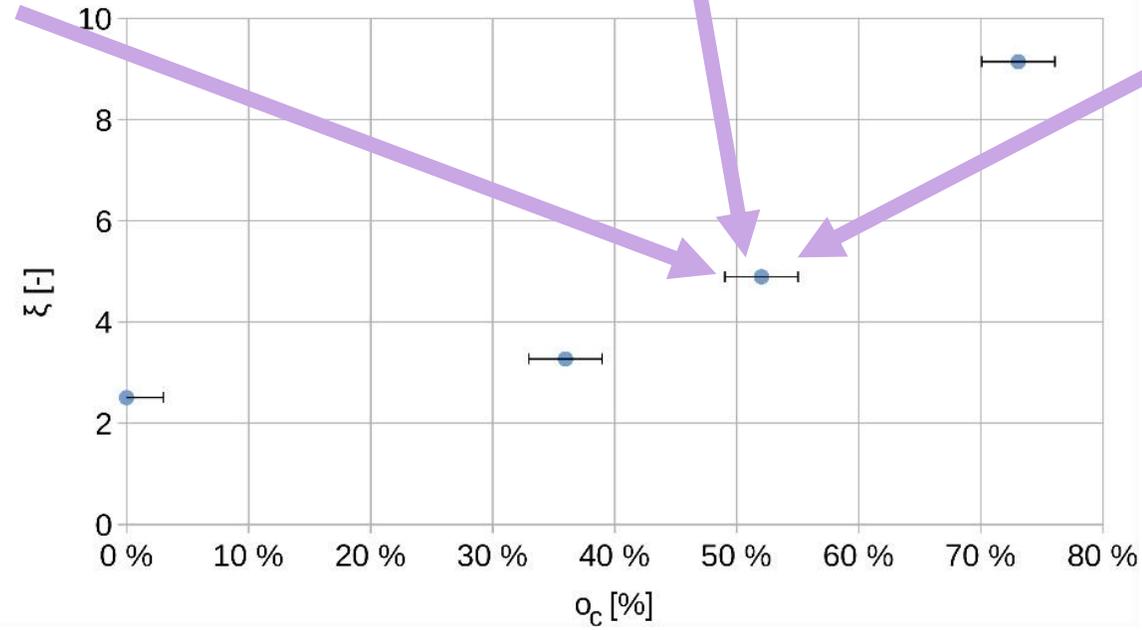
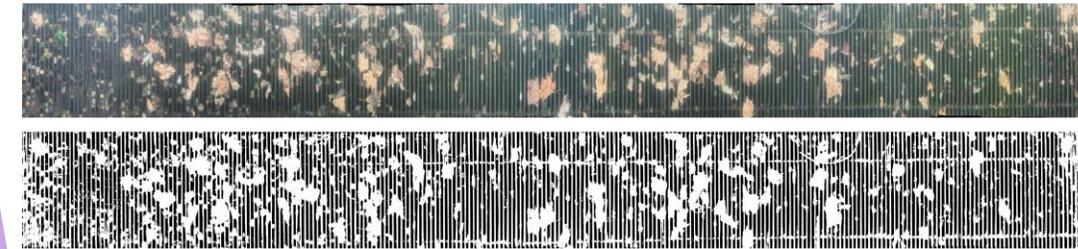
### Milieu de grille



### Haut de grille



### Bas de grille



# Validation par des mesures de terrain

Résultats

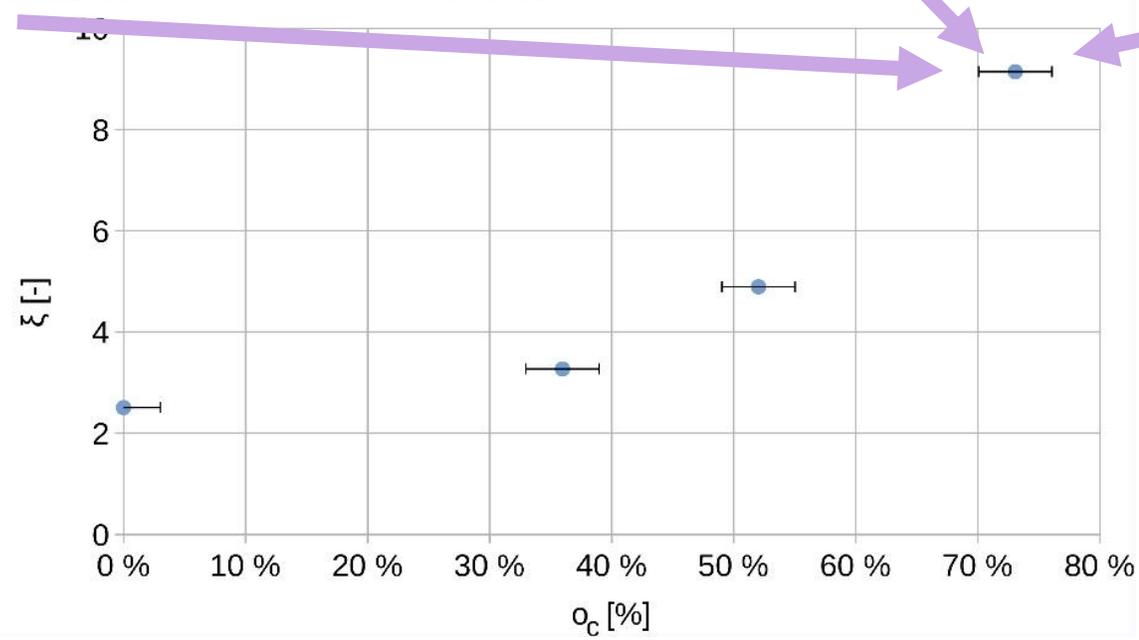
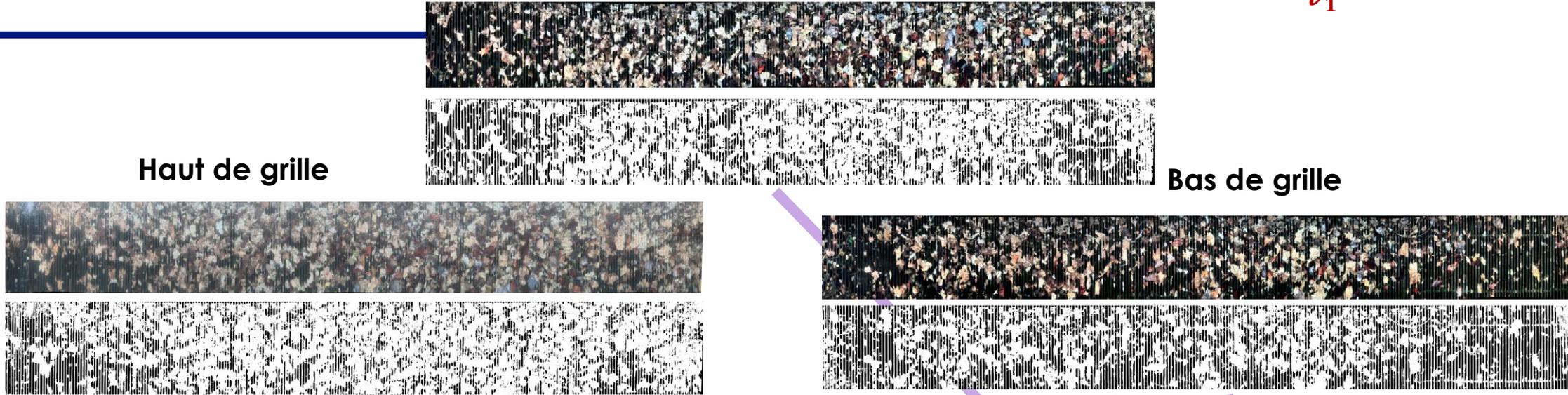
Milieu de grille

*Coefficient de perte de charge :*

$$\xi = \frac{2g\Delta H}{v_1^2}$$

Haut de grille

Bas de grille



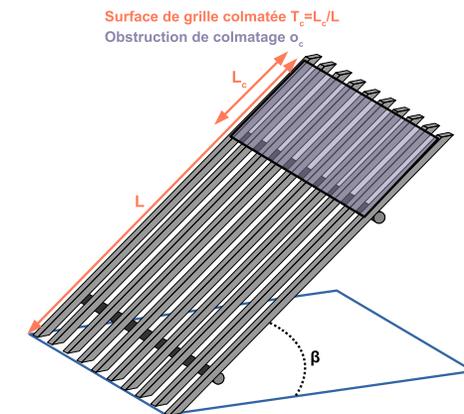
# Validation par des mesures de terrain

## Résultats

$$\Delta H = \Delta H_{\text{grille colmatée}} + \Delta H_{\text{autres éléments}}$$

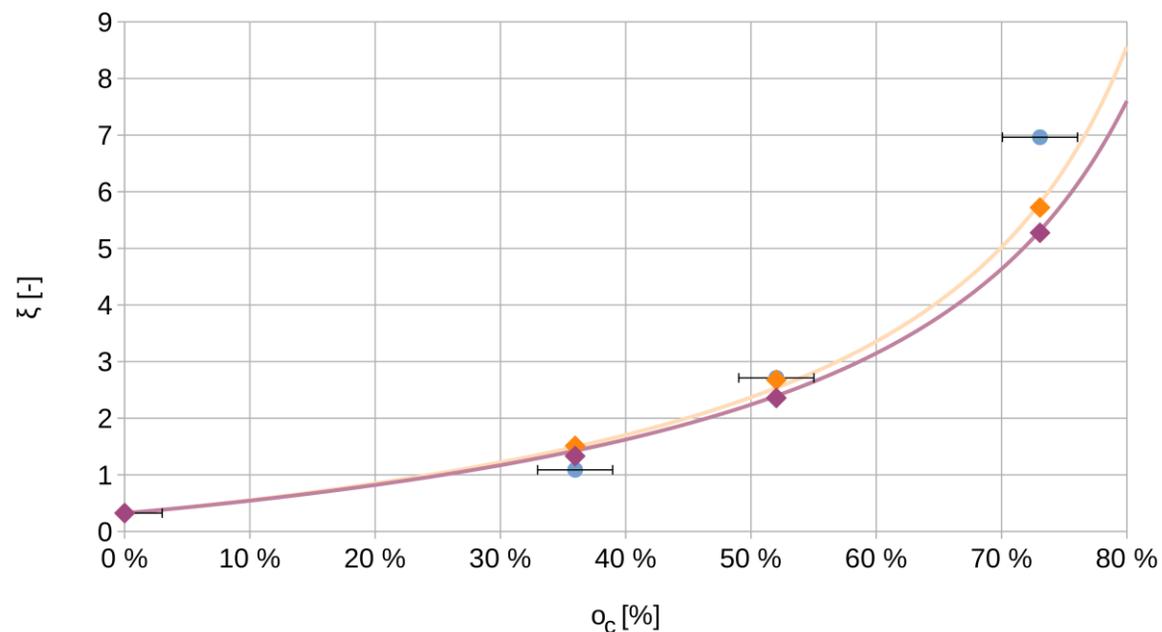
Calculée à partir du modèle analytique

Différence entre la perte de charge de la prise d'eau avec la grille propre (terrain) et la valeur théorique de la perte de charge de la grille propre



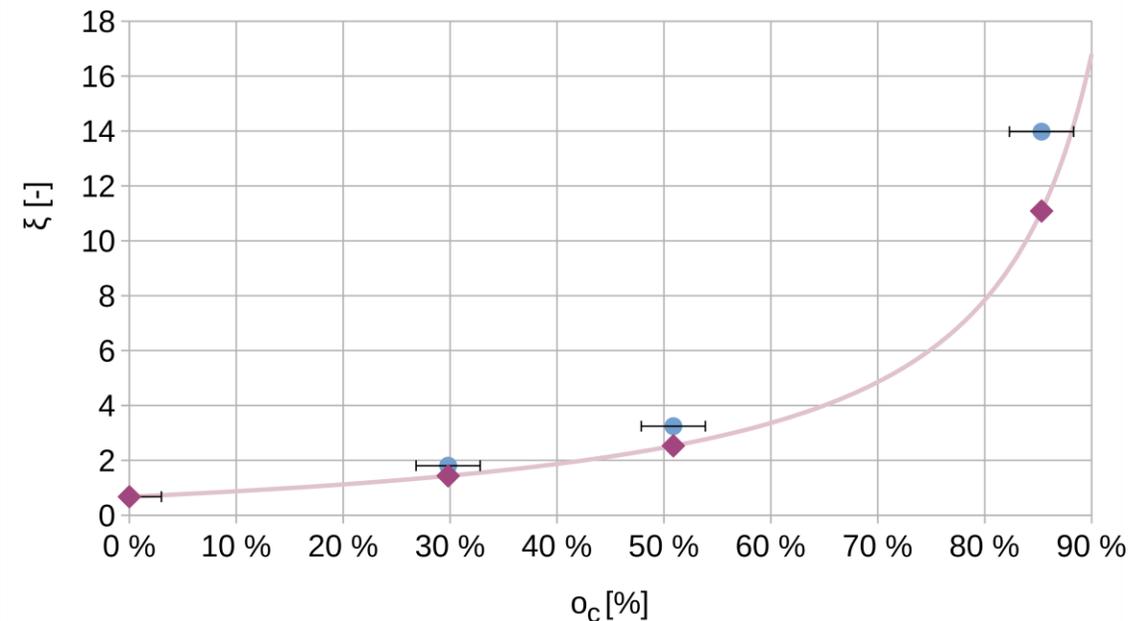
### Centrale de Pyrénées

◆  $\xi$  modèle simplifié [-]    ◆  $\xi$  modèle semi-simplifié [-]    ●  $\xi$  terrain ( $v_{\text{turb}}$ ) [-]



### Centrale de la Haute-Vienne

◆  $\xi$  modèle simplifié [-]    ●  $\xi$  terrain ( $v_{\text{turb}}$ ) [-]



Simplifié: colmatage homogène  
Semi-simplifié: 2 zones de colmatage

Coefficient de perte de charge :  $\xi = \frac{2g\Delta H}{v_1^2}$

# Etude des prises d'eau des centrales hydroélectriques

1. Introduction/Contexte
2. Colmatage des prises d'eau
3. Optimisation de forme des barreaux
  - Mise en place
  - Résultats
  - Recommandations
4. Etude de la forme des exutoires
5. Conclusion

**Objectif :** Trouver une forme de barreaux qui minimise la perte de charge dans des conditions de grille propre et diminue le colmatage et son effet sur la centrale

## Fonctions d'optimisation

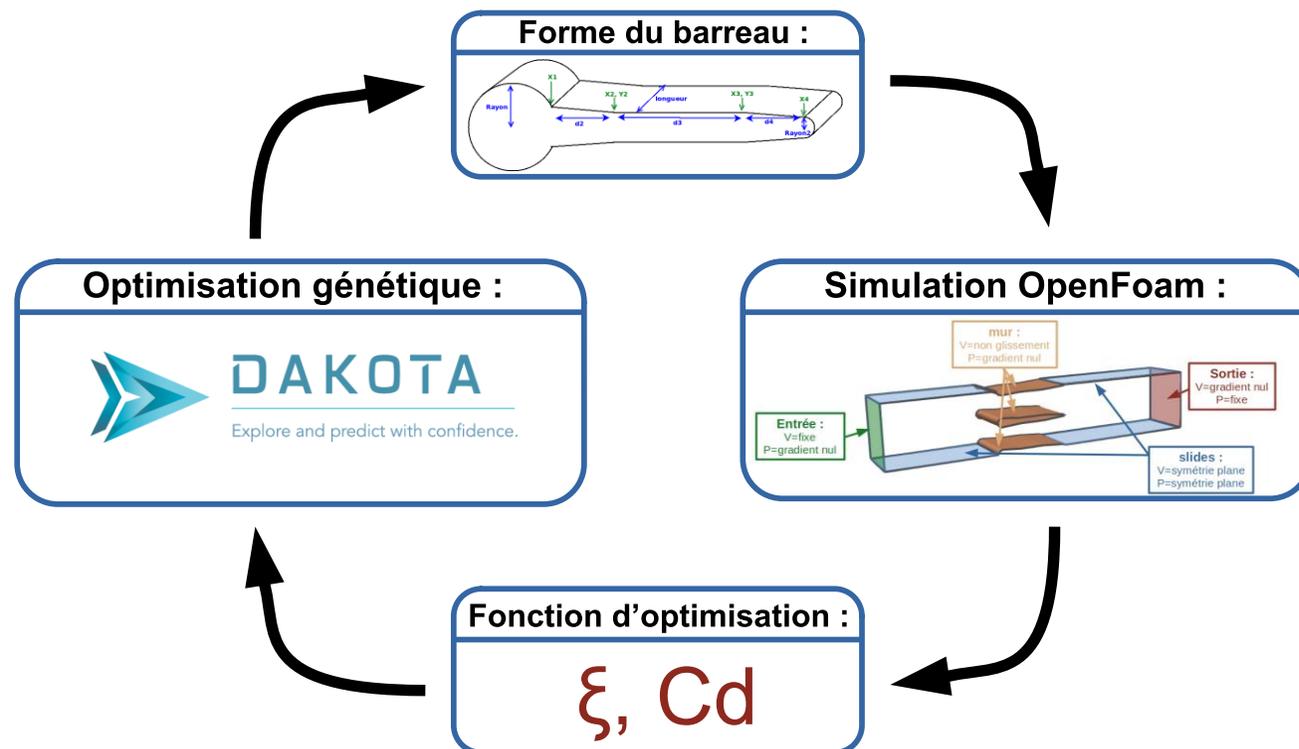
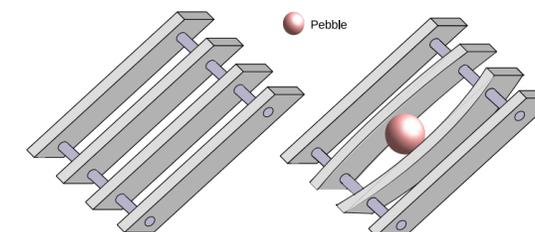
Coefficient de traînée  $C_d = \frac{2F_t}{\rho S v_1^2}$  Avec  $F_t$  la force de traînée [N] et  $S = b \times L$  la section [m<sup>2</sup>]

Coefficient de perte de charge  $\xi = \frac{2\Delta P}{\rho v_1^2}$  Avec  $\Delta P$  la différence de pression [Pa]

## Contraintes

- ✓ Profondeur des barreaux ( $p$ ): **60 mm maximum**
- ✓ Déformation pour une force de 1kN (mi-distance entre les entretoises):  $y_{def} < 2.7 \text{ mm or } 1.0 \text{ mm}$

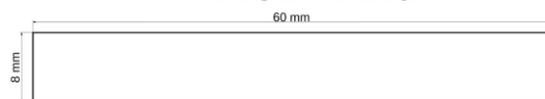
- ✓ Zone plane de 30 mm



## Résultats de l'optimisation

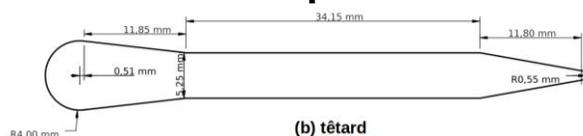
Utilisation de simulations 2D avec la projection des barreaux à une simulation à 26 degrés

### Profil initial

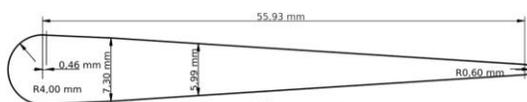


(a) rectangle

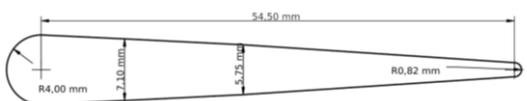
### Profils optimisés



(b) têtard



(d) goutte 2

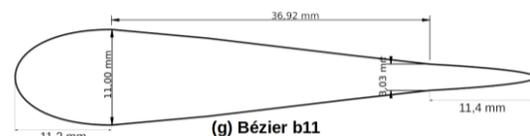


(c) goutte 1

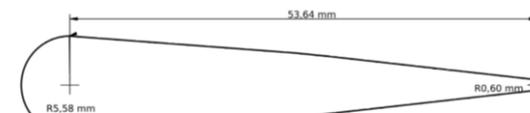


(e) Bézier

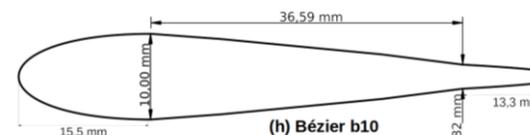
### Profils rigides



(g) Bézier b11



(f) goutte b11



(h) Bézier b10

$c_p$  est le coefficient de pression et  $c_f$  le coefficient de friction [-]

$$C_d = \frac{2F_t}{\rho S v_1^2} \quad S = b \times L \text{ la section apparente [m}^2\text{]}$$

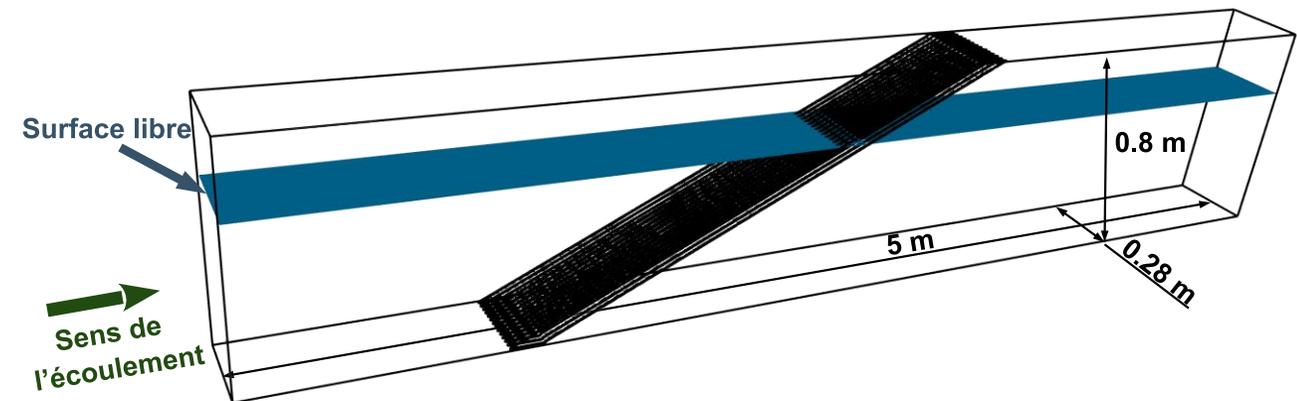
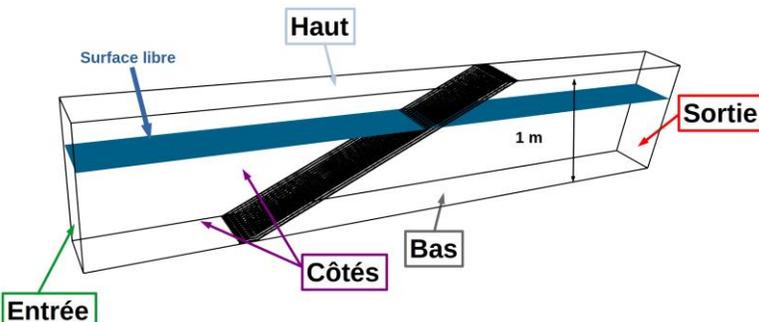
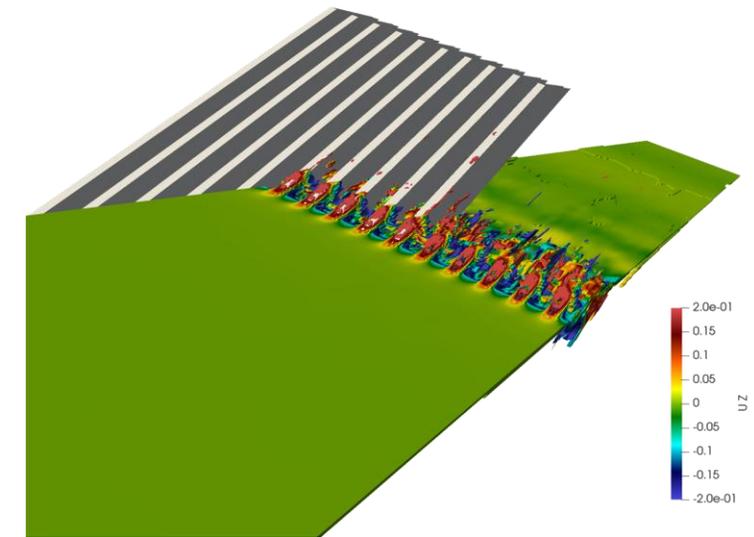
Forme	$O_b$ [%]	$y_{def}$ [mm]	$c_p/c_f$ [-]	$\Delta P$ [Pa]	$C_d$ [-]
Rectangle	28,6	0,92	2,94	161,7	2,714
Têtard	28,6	2,69	0,75	39,9	0,547
Goutte 1	28,6	2,37	0,73	37,5	0,517
Goutte 2	28,6	2,70	0,70	36,0	0,496
<b>Bézier</b>	<b>28,6</b>	<b>2,41</b>	<b>0,51</b>	<b>34,1</b>	<b>0,482</b>
Goutte b11	35,5	0,92	0,93	41,4	0,449
Bézier b11	35,5	0,98	0,80	35,5	0,406
Bézier b10	33,3	0,99	0,76	35,8	0,438

# Validation

Validation avec des simulations 3D

## Simulations 3D d'une partie de grille inclinée

- Multiphasique : méthode **VOF, URANS**
- Modèle de turbulence :  **$\kappa$ - $\omega$  SST**
- Taille du maillage :  **$11 \times 10^6$**  cellules
- Condition de sortie : développée pour cette simulation
- Pas de temps : 0,01 s



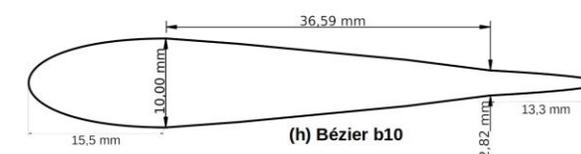
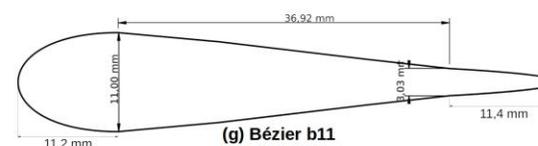
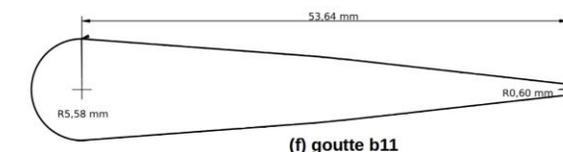
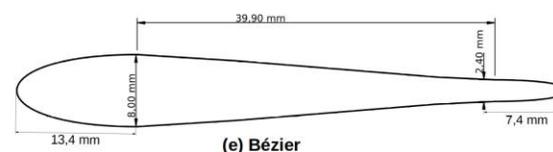
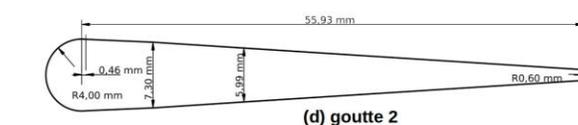
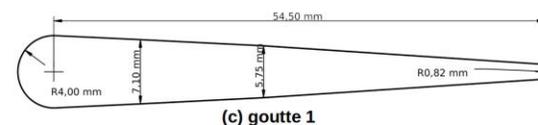
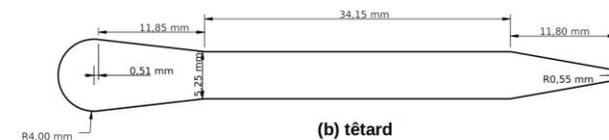
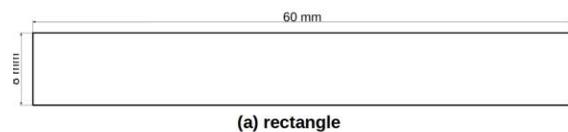
# Validation

Validation avec des simulations 3D

$$k_f = \frac{\xi_{propre}}{\left(\frac{o_b}{1 - o_b}\right)^{1,65} \sin^2(\beta)}$$

Formule de Raynal

Forme	$o_b$ [%]	$k_f$ [-]	$\xi$ [-]
Rectangle	28,6	4,600	0,210
Têtard	28,6	2,051	0,105
Goutte 1	28,6	1,884	0,098
Goutte 2	28,6	1,569	0,071
<b>Bézier</b>	<b>28,6</b>	<b>1,473</b>	<b>0,066</b>
Goutte b11	35,5	1,261	0,099
Bézier b11	35,5	1,140	0,088
Bézier b10	33,3	1,152	0,076

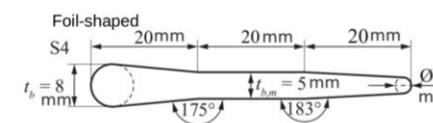
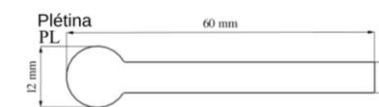
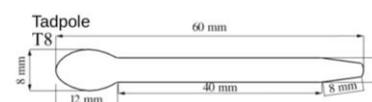


## Autres profils de la littérature (résultats numériques)

S4 (Foil-shaped) (Meister et al. 2020)  $\rightarrow k_f = 2,358$

T8 (Tadpole 8) (Lemkecher 2020)  $\rightarrow k_f = 2,191$

Pletina (Lemkecher 2020)  $\rightarrow k_f = 2,691$



# Etude des prises d'eau des centrales hydroélectriques

1. Introduction/Contexte
2. Colmatage des prises d'eau
3. Optimisation de forme des barreaux
4. Etude de la forme des exutoires
  - Mise en place
  - Résultats
  - Recommandations
5. Conclusion

# Etude de la forme des exutoires

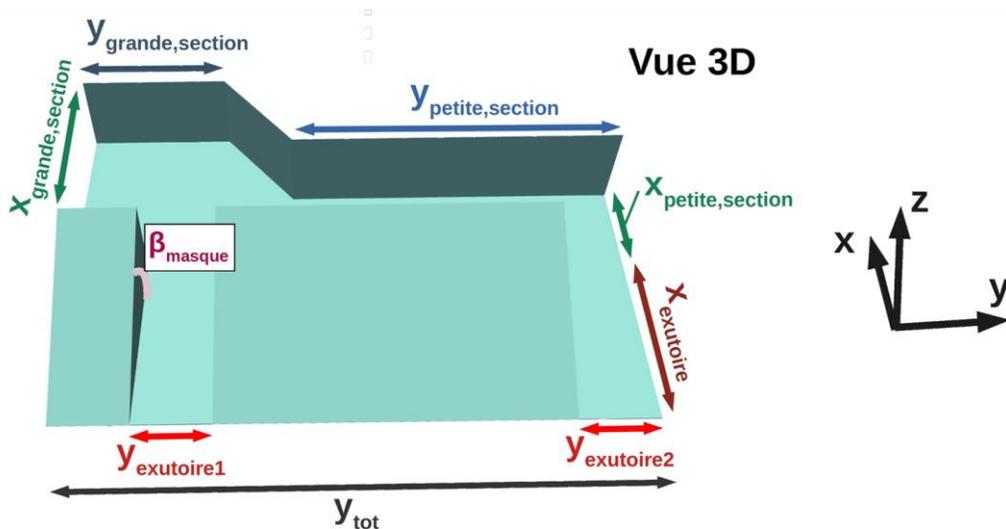
## Introduction

### Objectif :

Tester les différentes formes d'exutoires visibles sur le terrain et identifier celles répondant le mieux aux différents critères, notamment l'ichtyocompatibilité

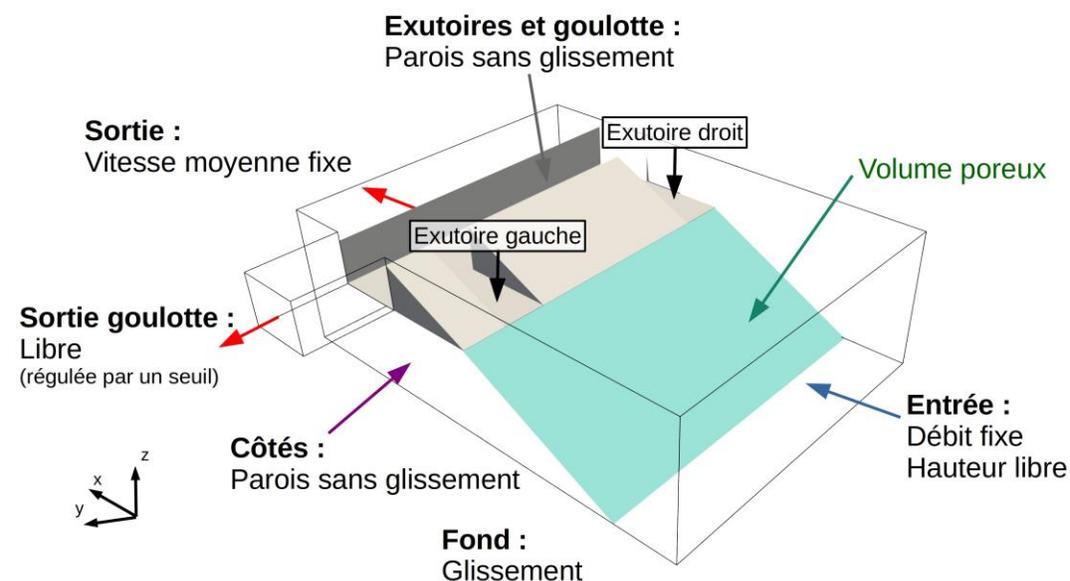
### Paramétrisation du système d'exutoires

- Forme des exutoires
- Forme de la goulotte
- Pincement d'exutoires
- etc.



### Simulation numérique 3D

- Volume Of Fluid (VOF)
- Volume poreux à la place de la grille



# Etude de la forme des exutoires

Facteurs de classement des solutions

## Indice d'équilibre des débits entre les exutoires

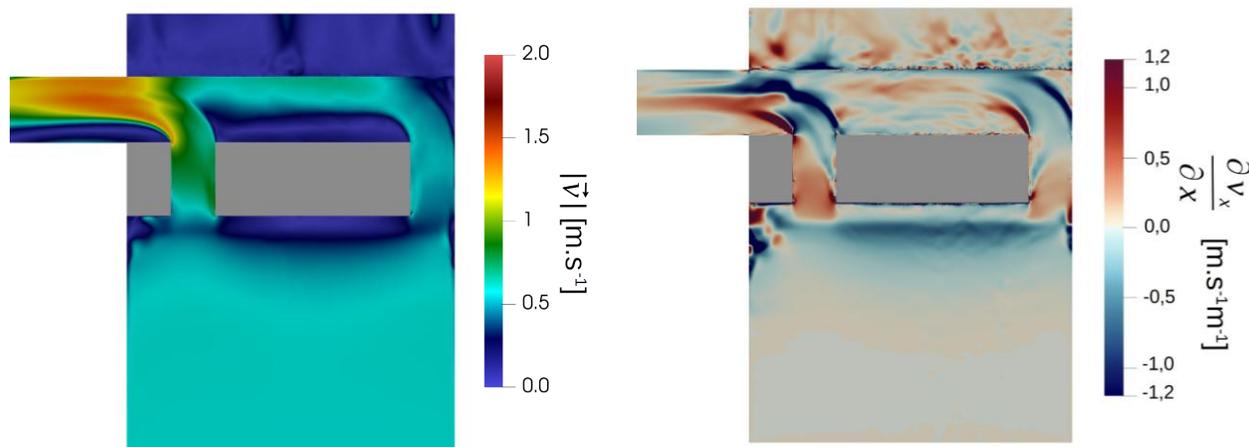
$$IE = \sqrt{\frac{(Q_1 - \bar{Q})^2 + (Q_2 - \bar{Q})^2}{2\bar{Q}^2}} \quad (\text{Eaucea, 2016})$$

$IE = 0\% \rightarrow$  équilibre parfait

$IE > 10\% \rightarrow$  mauvais équilibre

## Champs de vitesse et gradients de vitesses

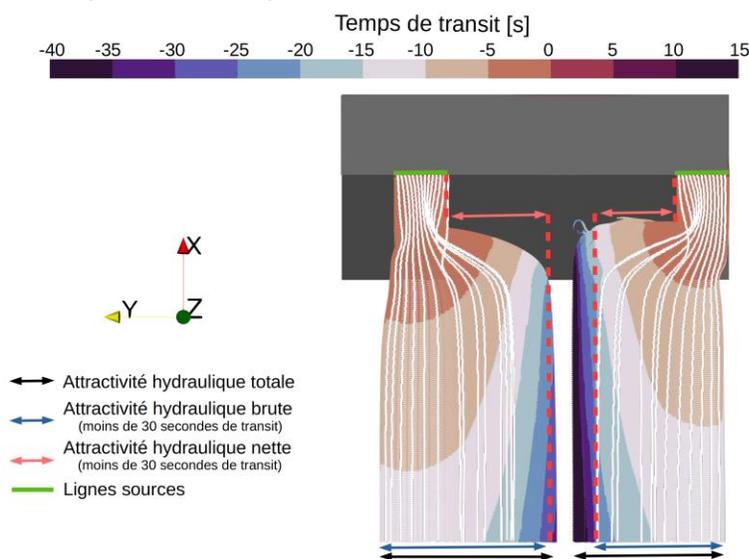
(section horizontale  $z=0,25$ )



## Attractivité hydraulique

(section horizontale)

Moyenne sur plusieurs sections d'exutoires



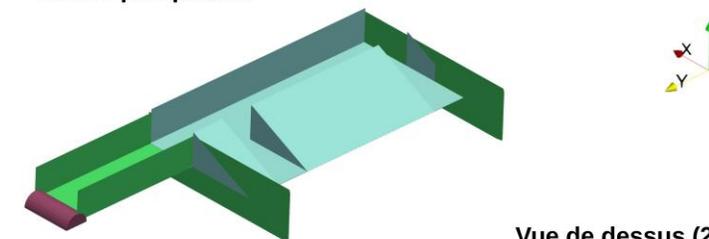
# Etude de la forme des exutoires

## Résultats (cas de référence)

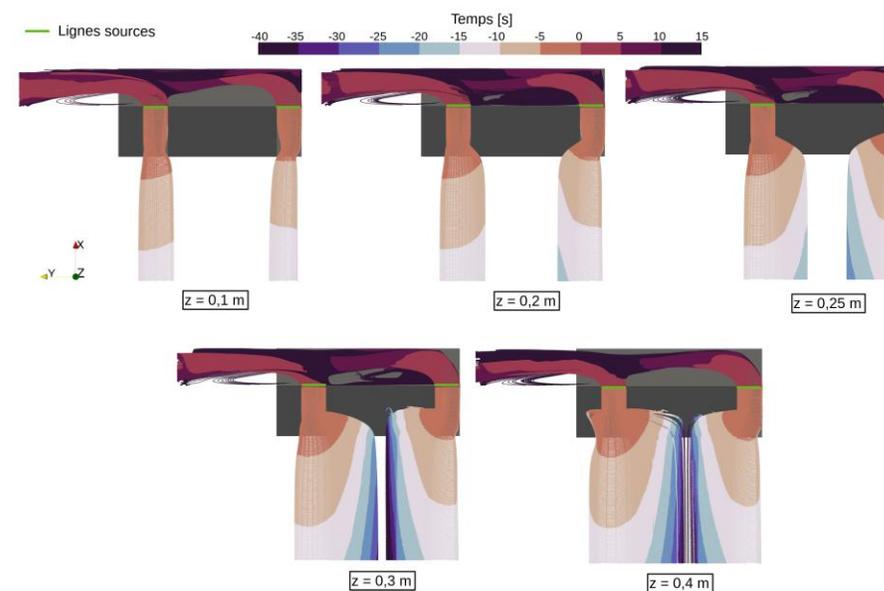
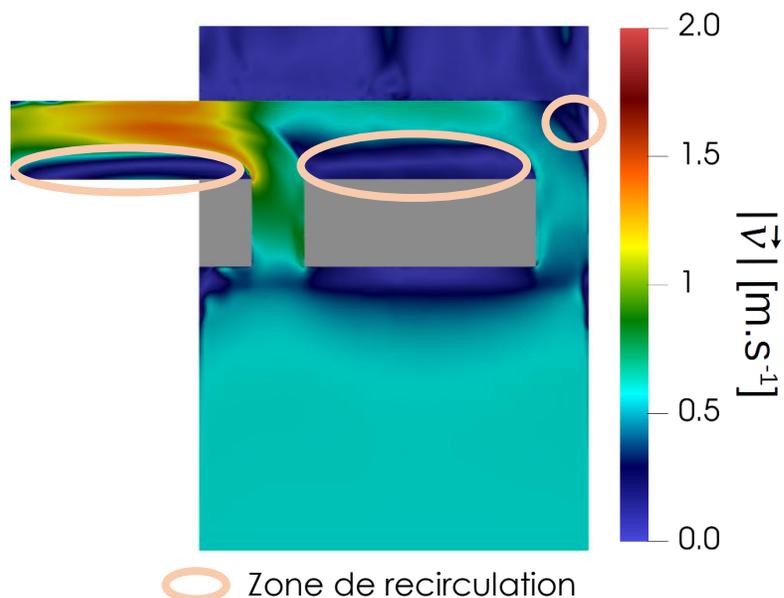
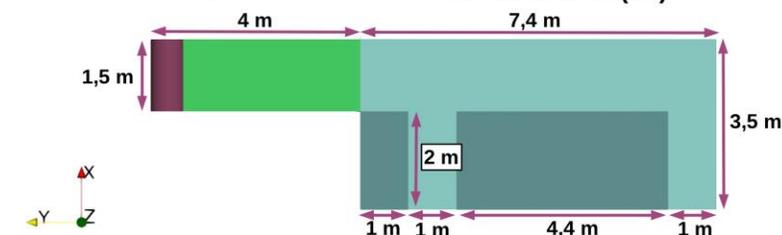
### Etude du cas de référence

- IE : 20,8 % (mauvaise répartition)
- Attractivité brute : 60,9 % de la largeur du canal
- Zones de recirculation présentes
- Gradients de vitesses autour de  $1,2 \text{ s}^{-1}$  en entrée d'exutoires

Vue en perspective

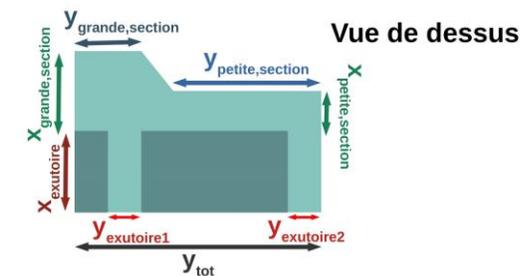


Vue de dessus (2D)



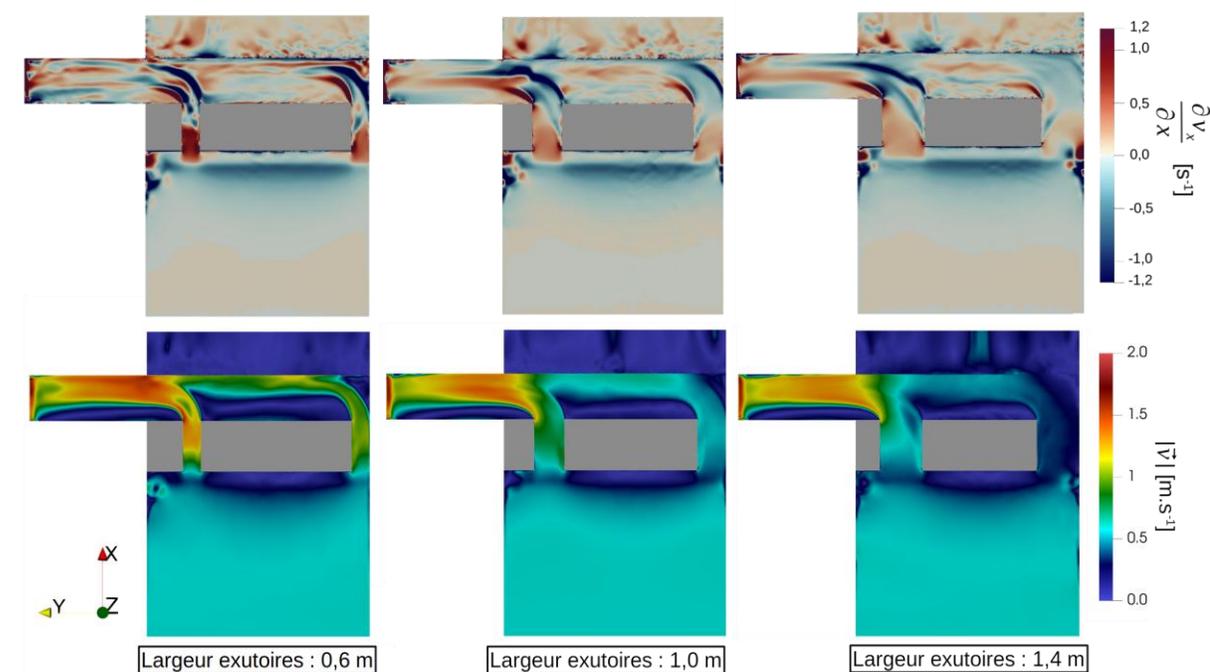
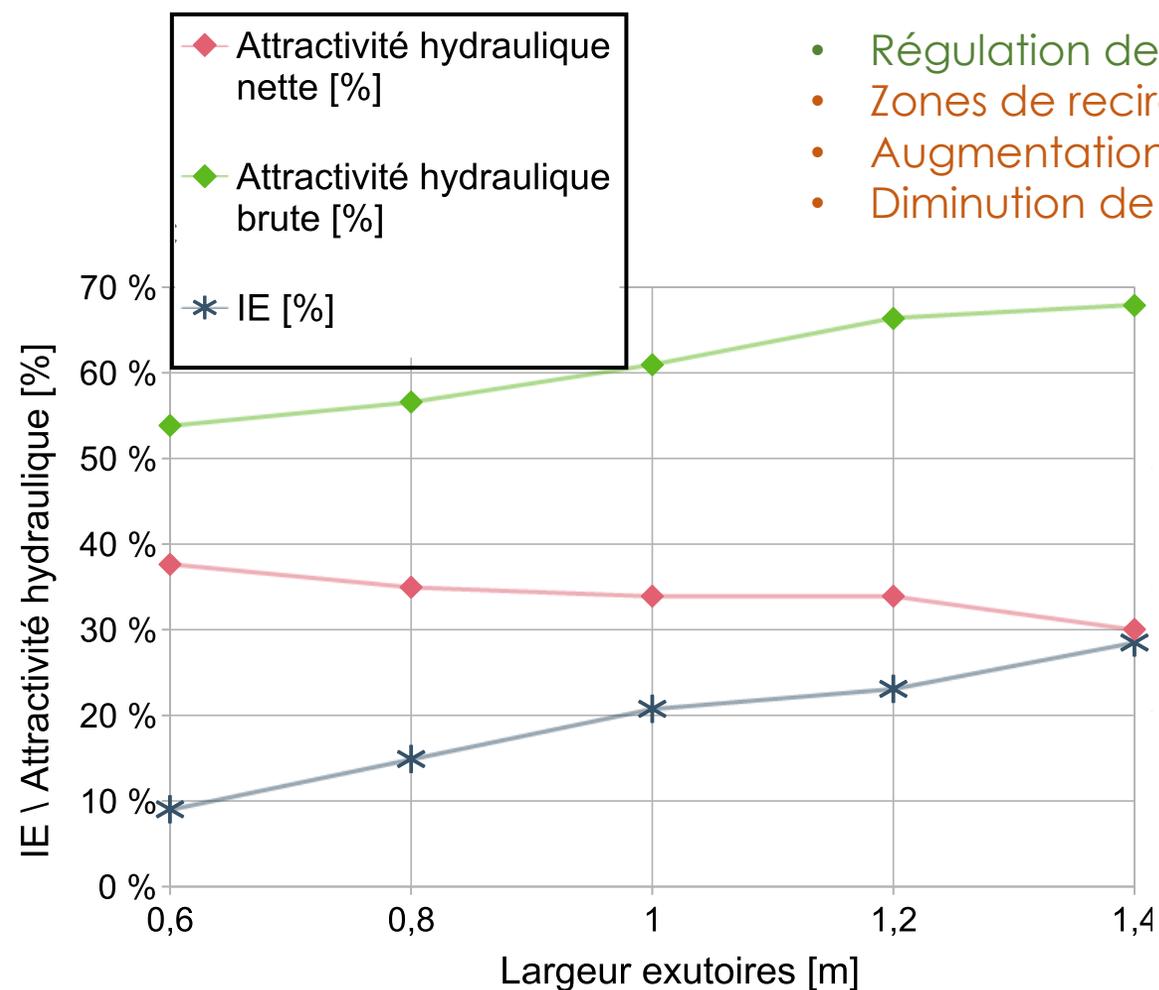
# Etude de la forme des exutoires

## Résultats



## Modification de la largeur des exutoires

- Régulation de la répartition des débits efficace
- Zones de recirculation présentes
- Augmentation du gradient de vitesse
- Diminution de l'attractivité hydraulique

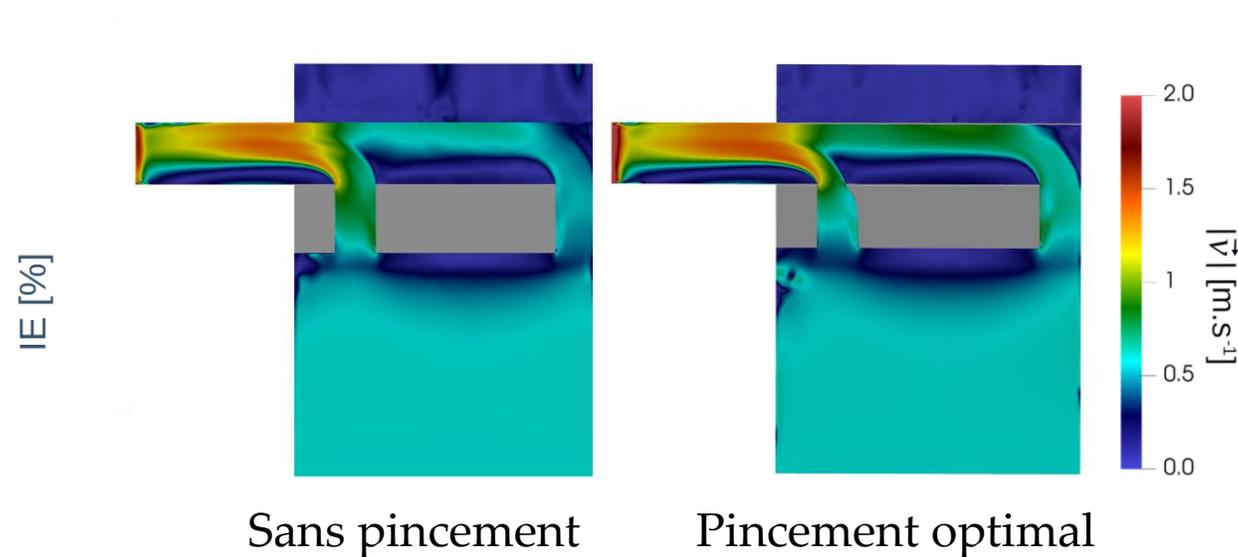
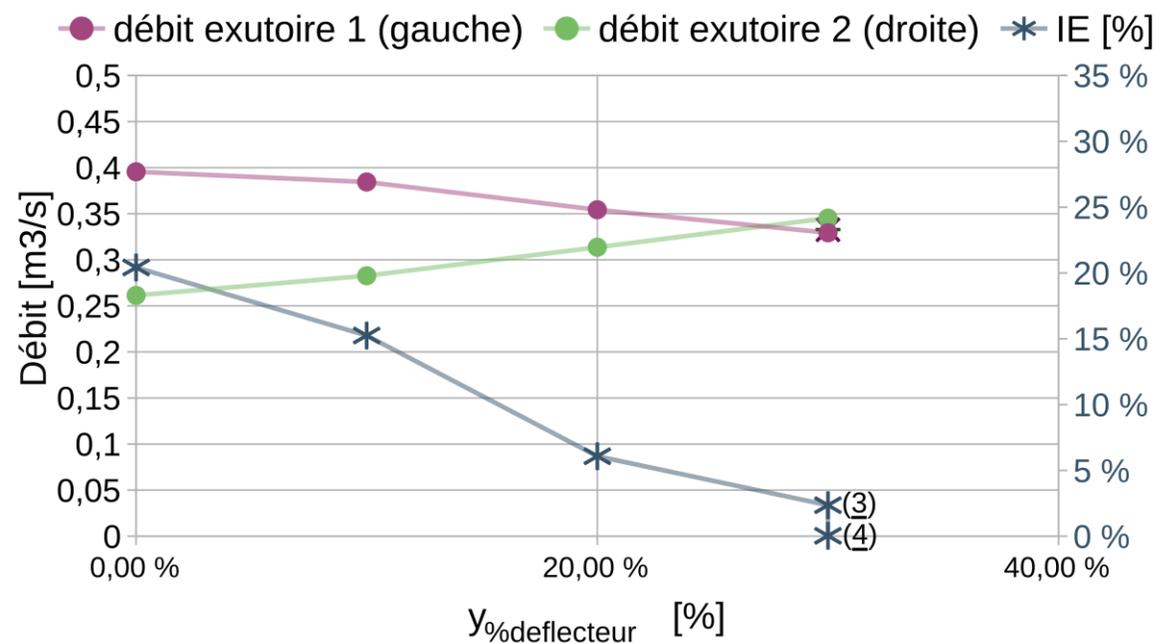
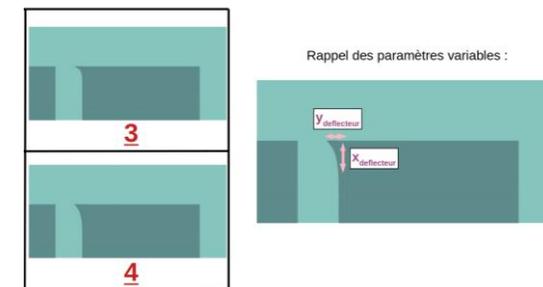


# Etude de la forme des exutoires

## Résultats

### Ajout d'un pincement de régulation

- Régulation de la répartition des débits efficace
- Zones de recirculation présentes
- Peu d'impact sur le gradient de vitesse
- Peu d'impact sur l'attractivité hydraulique

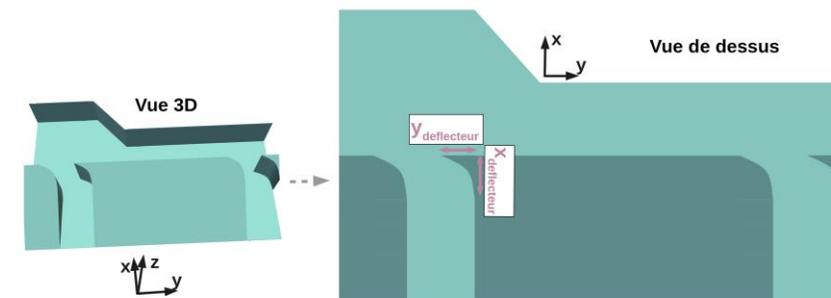


# Etude de la forme des exutoires

## Résultats

### Orientation des exutoires

- Régulation de la répartition des débits efficace
- Zones de recirculation présentes
- Pas d'impact sur le gradient de vitesse
- Peu d'impact sur l'attractivité hydraulique



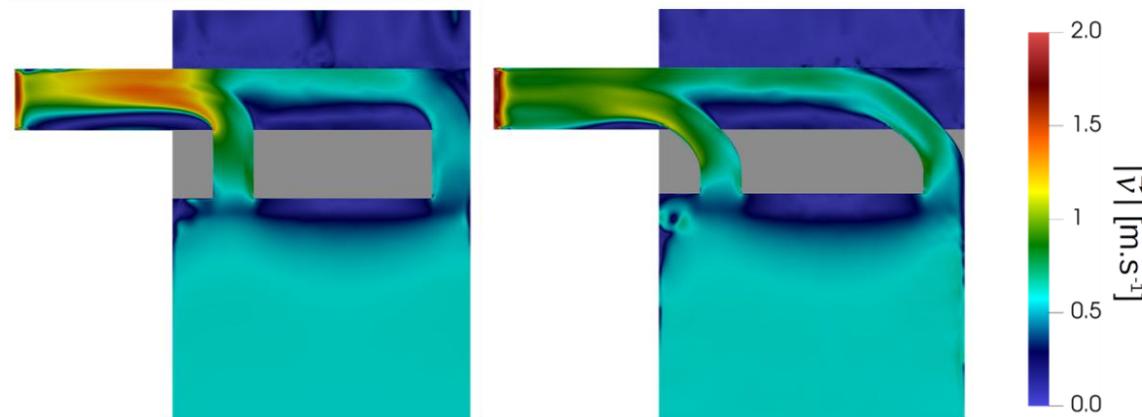
### Meilleure configuration :

$$X_{\text{deflecteur}} = 50 \%$$

$$Y_{\text{deflecteur}} = 75 \%$$



IE (indice d'équilibre) = 1,0 %  
Attractivité hydraulique : ~60%



Sans pincement

Pincement optimal

# Etude de la forme des exutoires

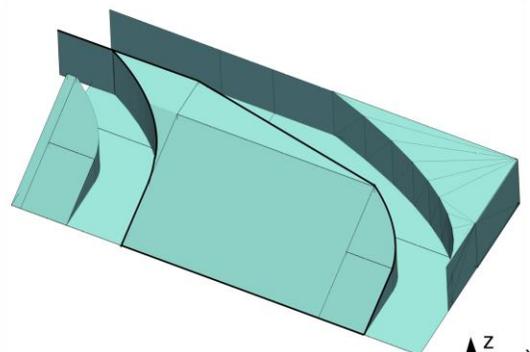
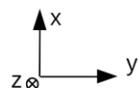
## Solution optimale

### Solution optimale

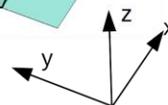
- Régulation de la répartition des débits efficace
- Réduction des zones de recirculation
- Pas d'impact sur le gradient de vitesse
- Peu d'impact sur l'attractivité hydraulique



Vue de dessus

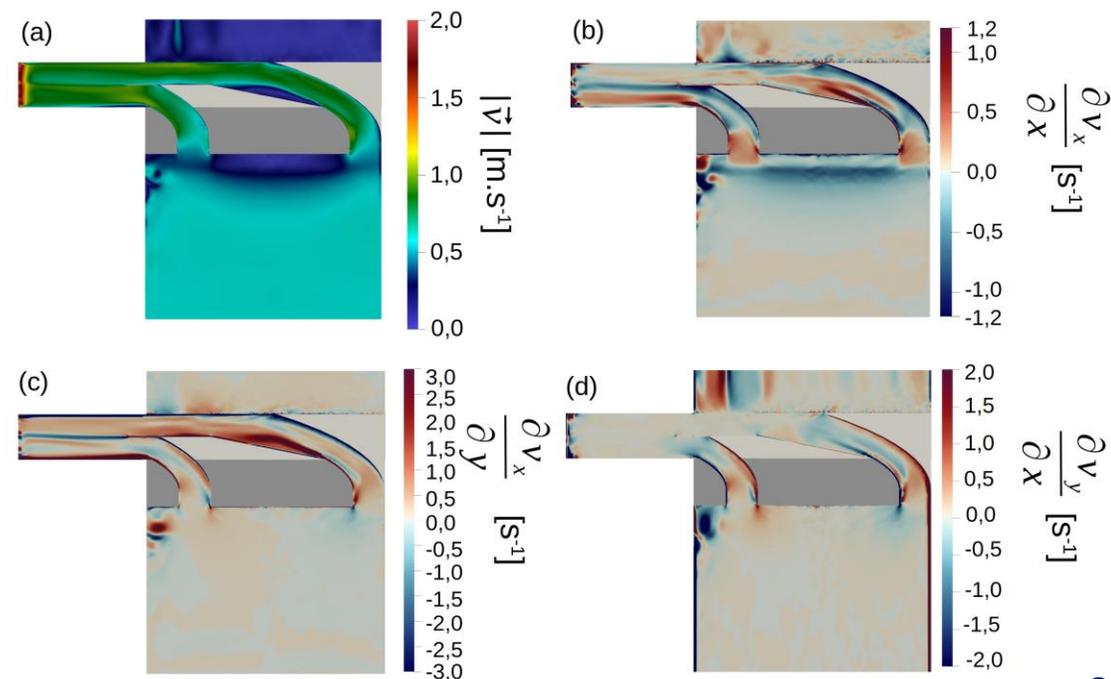


Vue 3D



IE = 1,2 %

Attractivité hydraulique : 60,0 %



# Etude de la forme des exutoires

## Recommandations

Les différentes recommandations sont fournies dans la Fiche 4 récapitulative de la thèse (intranet FHE) et dans le Chapitre 6 du manuscrit de la thèse (Bon, 2025)

Paramètre	Équilibre des débits	Attractivité hydraulique	Écoulement
Diminution de la largeur de tous les exutoires	++	-- (pour l'attractivité hydraulique brute) + (pour l'attractivité nette)	-- (gradients de vitesse plus importants)
Augmentation de la largeur de l'exutoire tirant le moins	+	o	+ (diminution du gradient 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 plus importante dans la goulotte)
Inclinaison du masque	+	-- (diminution importante de l'attractivité hydraulique)	o
Élargissement progressif de la goulotte	o (pour des angles d'élargissement faibles)	o	o (peu d'effets)
	+ (pour des angles d'élargissement élevés)		
Pincement	+++ (très efficace)	o	o - (peut avoir un effet négatif sur le gradient longitudinal)
Guidage	o (pour un guidage simple)	o	o
	++ (pour un guidage avec orientation d'écoulement)		
Séparation de goulotte	++ (avec une goulotte large)	o	+ (homogénéisation de l'écoulement en aval de goulotte)
Orientation des exutoires	+++ (suivant la courbure)	o	+ (homogénéisation de l'écoulement en aval de goulotte)
			o (pas de suppression des zones de recirculations)

# Etude des prises d'eau des centrales hydroélectriques

1. Introduction/Contexte
2. Colmatage des prises d'eau
3. Optimisation de forme des barreaux
4. Etude de la forme des exutoires
5. Conclusion

## Etude du colmatage sur les systèmes de grilles inclinées par des mesures de terrain et en laboratoire

- Etude de l'augmentation de la perte de charge en fonction des paramètres de colmatage
- Elaboration d'une loi prédictive
- Etude de l'effet du colmatage négatif sur l'écoulement aval

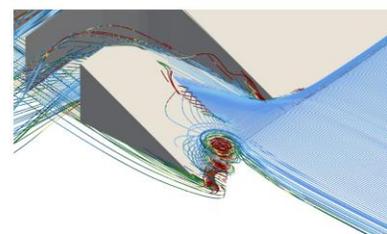
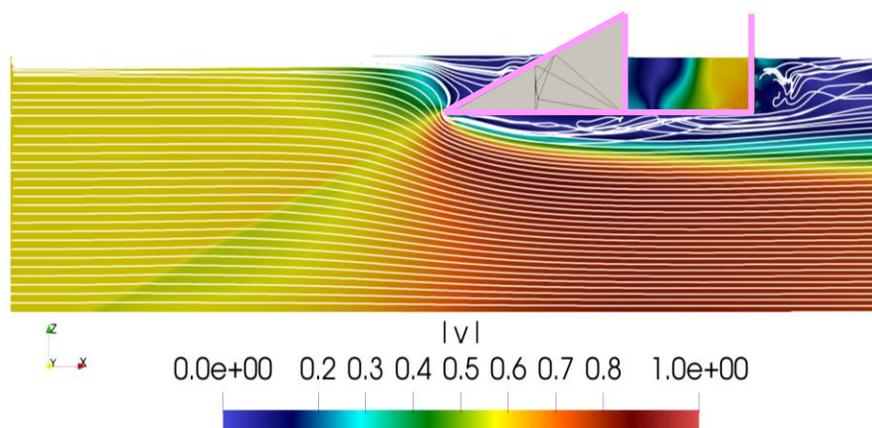
## Optimisation de la forme des barreaux afin de minimiser les pertes de charge

- Définition d'un groupe de barreaux optimaux
- Classement des barreaux suivant le besoin spécifique de chaque centrale
- Validation des résultats par simulations 3D

## Analyse du design des exutoires sur l'écoulement dans ceux-ci

- Analyse de différentes solutions déjà installées
- Etude de nouvelles formes dont l'orientation des exutoires
- Définition d'un design optimal pour la configuration de référence

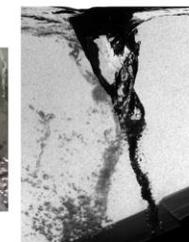
- Colmatage statique et dynamique des grilles orientées (barreaux horizontaux et verticaux) et des plaques perforées
- Effet du profilage de la face inférieure de la goulotte de dévalaison pour minimiser les pertes de charge
- Étude de l'effet des tourbillons d'inspirations
- Transfert des connaissances vers le secteur industriel



Simulations numériques



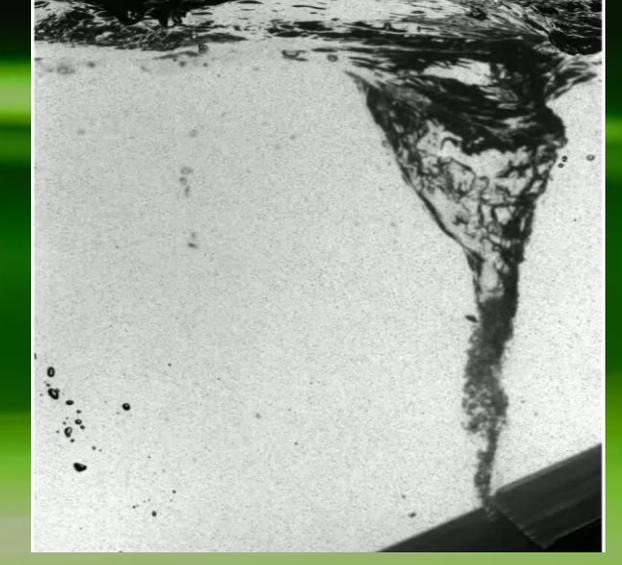
Vue de haut



Vue de front



Observations de terrain



# Merci pour votre écoute

Remerciement à France Hydro Electricité (FHE) et à l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT) pour le financement de la thèse.



## Publications:

- Bon, G., Chatellier, L., Le Guer, Y., Bellot, C., Casiot, X., & David, L. (2024). Pressure Loss Modeling for Multi-Stage Obstacles in Pressurized Ducts. *Energies*, 17(14), 3505. <https://doi.org/10.3390/en17143505>
- Bon, G., Chatellier, L., Le Guer, Y., Bellot, C., Casiot, X., and David, L. (2025). Prediction of head losses for clogged inclined narrow bar rack system. *Journal of hydraulic research*. In revision.
- Bon, G., Chatellier, L., Le Guer, Y., Bellot, C., Casiot, X., Razaaly, N., and David, L.(2025). Design optimization of a bar rack bar for hydro power plant fish friendly water intakes. In preparation for future submission to JHE (*Journal of Hydraulic Engineering*)

## Conferences:

- Bon, G., Chatellier, L., Le Guer, Y., Bellot, C., Casiot, X., Razaaly, N., and David, L.(2024a). Design optimization of a trash-rack bar for hydro power plant fish friendly water intakes. 10<sup>th</sup> International Symposium on Hydraulic Structures, ETH Zürich → Future publication in JHE (*Journal of Hydraulic Engineering*)
- Bon, G., Chatellier, D., Le Guer, Y., Bellot, C., Casiot, X., & David L. (2024). Experimental study of clogging on inclined, sh-friendly trash-racks. CRC Press/Balkema, Taylor and Francis. River Flow, Liverpool.
- Bon, G., Chatellier, D., Le Guer, Y., Bellot, C., Casiot, X., & David L. Field measurements of clogging debris on inclined fish friendly bar rack systems of hydroelectric power plant water intake. HYDROES, Grenoble, September 2025

## France Hydro Electricité communications:

- Videos to promote thesis work
- Poster presented to the SER (*Syndicat des énergies renouvelables*) forum
- 4 technical guidelines
- Reports and presentations at various events of France Hydro Electricité

# Profils optimaux

## Résultats

Evolution de la **vitesse** et des coefficients de **pression** et de **friction** le long des profils

