

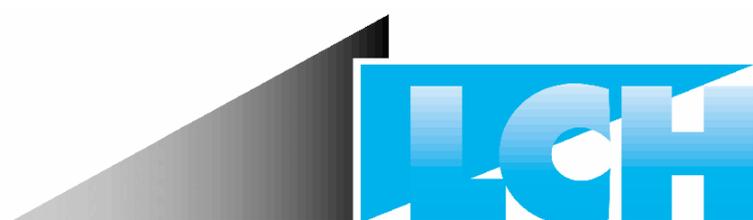


Rapport final

Chopin S2C

Caractérisation hydraulique des orifices des
chambres d'équilibre d'aménagements à haute
chute, paramétrage et influence sur la stabilité
du système en charge





LABORATOIRE DE CONSTRUCTIONS HYDRAULIQUES

Date : 25 Mars 2018

Lieu : Lausanne

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Force hydraulique
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch
energieforschung@bfe.admin.ch

Mandataire :

Laboratoire de Constructions Hydrauliques LCH
EPFL ENAC IIC LCH
GC A3 514 (Bât.GC), Station 18
CH-1015 Lausanne
<http://lch.epfl.ch>

Auteurs :

Nicolas Adam, EPFL LCH; nicolasjean.adam@epfl.ch
Giovanni De Cesare, EPFL LCH; giovanni.decesare@epfl.ch
Anton Schleiss, EPFL LCH; anton.schleiss@epfl.ch

Responsable de domaine OFEN : Dr Michael Moser, michael.moser@bfe.admin.ch

Chef de programme de l'OFEN : Dr Klaus Jorde, klaus.jorde@kiconsult.net

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/501313-01



Zusammenfassung

Drosseln werden in verschiedenen Gebieten der Hydraulik verwendet, beispielsweise beim Einlass in das Wasserschloss ohne konstruktive Veränderung des Wasserschloss. In diesem Fall ermöglicht eine Drossel die Anpassung einer bestehenden Wasserkraftanlage an eine moderate Zunahme des Abflusses. Eine systematische Untersuchung hat es ermöglicht, die Kenntnis dieser Drossel in Bezug auf ihr asymmetrisches Verhalten bezüglich Kavitation oder ihre charakteristischen Längen zu verbessern. Diese unterschiedlichen Verhaltensweisen wurden im Detail ausgewertet, um empirische Beziehungen zur Charakterisierung jeder Drosselgeometrie unter dem Gesichtspunkt der Zieldruckverluste und des Kavitationsrisikos herzuleiten. Die Erstellung eines interaktiven Katalogs auf der Grundlage physikalischer und numerischer Tests ermöglicht es den Ingenieuren, die Drosselgeometrie zu optimieren, so dass diese den gewünschten Druckverlusten aufbaut. Der Zieldruckverlust wird durch die numerische Analyse von instationären Abflussvorgängen im Druckleitungssystem eruiert.

Résumé

Les orifices sont utilisés dans divers domaines de l'hydraulique par exemple pour des étranglements au pied de cheminées d'équilibre sans modification constructive de la cheminée d'équilibre. Dans ce cas, un orifice permet d'adapter un aménagement hydroélectrique existant à une augmentation modérée de débit. Une étude systématique a permis d'améliorer la connaissance de ces orifices du point de vue de leur comportement asymétrique, vis-à-vis de la cavitation ou de leurs longueurs caractéristiques. Ces différents comportements ont été évalués en détail afin d'en tirer des relations empiriques permettant de caractériser chaque géométrie d'orifice du point de vue de pertes de charge cibles et du risque de cavitation. L'établissement d'un catalogue interactif sur la base des essais physiques et numériques permet aux ingénieurs de trouver une géométrie correspondant aux pertes de charge souhaitées obtenues par l'analyse numérique du comportement transitoire du système d'adduction d'eau de l'aménagement hydroélectrique.

Summary

Orifices are used in various fields in hydraulics, e.g. for throttling surge tanks without large geometrical modifications. In this case, an orifice allows to adapt existing hydroelectric power plants to a moderate increase of discharge. This systematic study improves the knowledge about orifices for their asymmetric behavior, cavitation and their characteristic lengths. Different behavior were studied in order to develop empirical relations allowing to characterize each orifice geometry. A catalogue was established from physical tests and numerical simulations allowing engineers to find the corresponding geometry to reach the target head losses.





Table des matières

Zusammenfassung	3
Résumée	3
Summary	3
Table des matières	5
1 Objectifs	6
2 Résumé	6
3 Introduction	6
4 Travaux réalisés et résultats obtenus	9
4.1 Dimensionnement d'un orifice	9
4.1.1 Perte de charge stationnaire	9
4.1.2 Longueurs caractéristiques	11
4.1.3 Cavitation.....	12
4.2 Utilisation de l' « ExpertSheet »	14
5 Collaboration au niveau national	14
6 Collaboration au niveau international	14
7 Évaluation et perspectives	15
7.1 Travaux effectués et résultats atteints.....	15
7.2 Perspectives	15
8 Publications	15
9 Références	16



1 Objectifs

Les orifices placés à l'entrée des cheminées d'équilibre permettent d'adapter économiquement les aménagements à haute chute suite à un accroissement de puissance. Le dimensionnement se fait généralement par itérations d'essais sur modèle physique. Cette étude propose une démarche systématique en alliant modélisation physique et numérique afin de réduire les itérations utilisées et de donner des critères de dimensionnement paramétrés. De plus, cette étude caractérise chaque orifice du point de vue de leur longueur de perturbation, de leur comportement transitoire et vis-à-vis de la cavitation.

2 Résumé

Cette thèse réalisée au Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) vise à améliorer la connaissance des comportements hydrauliques des orifices, soit des restrictions locales de section de géométrie à déterminer pour chaque cas.

Ces organes permettent d'adapter efficacement la stabilité et le comportement hydraulique des aménagements hydroélectriques à haute chute (dont la différence d'altitude entre le lac amont et l'aval est supérieure à 200m) subissant des accroissements de puissance. Ceux-ci peuvent être causés par un remplacement de turbines, par une augmentation du débit turbiné ou de l'altitude du lac amont.

Actuellement, le dimensionnement de ces orifices et diaphragmes est généralement réalisé de manière itérative au cas par cas sur modèle numérique. La mise en œuvre de ce projet permettrait :

1. D'améliorer la connaissance de l'influence des différents paramètres géométriques sur les pertes de charge produites par le placement d'un orifice
2. D'évaluer l'influence de la géométrie des orifices (angles vifs ou arrondis) ainsi que la combinaison de deux orifices sur les pertes de charges

Une étude systématique a permis d'améliorer la connaissance de ces orifices du point de vue de leur comportement asymétrique, vis-à-vis de la cavitation ou de leurs longueurs caractéristiques. Ces différents comportements ont été évalués en détail afin d'en tirer des relations empiriques permettant de caractériser chaque géométrie d'orifice du point de vue de pertes de charge cibles et du risque de cavitation. L'établissement d'un catalogue interactif sur la base des essais physiques et numériques permet aux ingénieurs de trouver une géométrie correspondant aux pertes de charge souhaitées obtenues par l'analyse numérique du comportement transitoire du système d'adduction d'eau de l'aménagement hydroélectrique.

3 Introduction

Augmenter la flexibilité des aménagements hydroélectriques à haute chute permet d'améliorer leur compétitivité sur le marché électrique. Un moyen d'améliorer la flexibilité est de concentrer la production d'électricité dans un plus court laps de temps en augmentant le débit installé de l'aménagement. En règle générale, la mise en place d'un étranglement au bas des cheminées d'équilibre suffit à adapter un aménagement pour des augmentations modérées de débits et ainsi de puissance. La perte de charge souhaitée des étranglements par orifice est généralement définie avec des simulations transitoires numériques 1D (De Cesare et al. 2015; Hachem et al. 2013; Nicolet 2007) du système



d'adduction d'eau complet de l'aménagement hydroélectrique. Un orifice est un moyen simple de modifier la géométrie au pied des cheminées d'équilibre et permet d'insérer une asymétrie dans le comportement hydraulique locale qui permet d'assurer la stabilité globale du système (Gabl et al. 2011) sans modification de la cheminée d'équilibre elle-même. Le dimensionnement d'un orifice et, principalement, le lien entre l'étude numérique 1D et la géométrie est actuellement réalisé au cas par cas souvent au moyen d'une étude sur modèle physique (Adam et al. 2018; Alligne et al. 2014; De Cesare et al. 2015; Hachem et al. 2013; Kendir and Ozdamar 2013). C'est pourquoi, un grand nombre d'orifices avec trois différentes géométries ont été testés dans cette étude. Le but est de créer une base de données avec des essais expérimentaux et numériques reliant les caractéristiques géométriques et des coefficients de perte de charge.

Trois différentes géométries d'orifices ont été testées durant cette étude : orifice avec chanfrein, orifice avec bords arrondis ou orifice avec deux chanfreins comme montré à la Figure 1 avec la définition des paramètres géométriques testés. Ces différents orifices permettent d'introduire un comportement asymétrique entre les deux sens d'écoulement. Au total, 55 différentes géométries d'orifice ont été testées avec différents rapports de contractions $\beta = \frac{d}{D}$, d'épaisseurs $\alpha = \frac{t}{D}$, d'épaisseurs internes

$\alpha_i = \frac{t_i}{D}$ et d'angle θ .

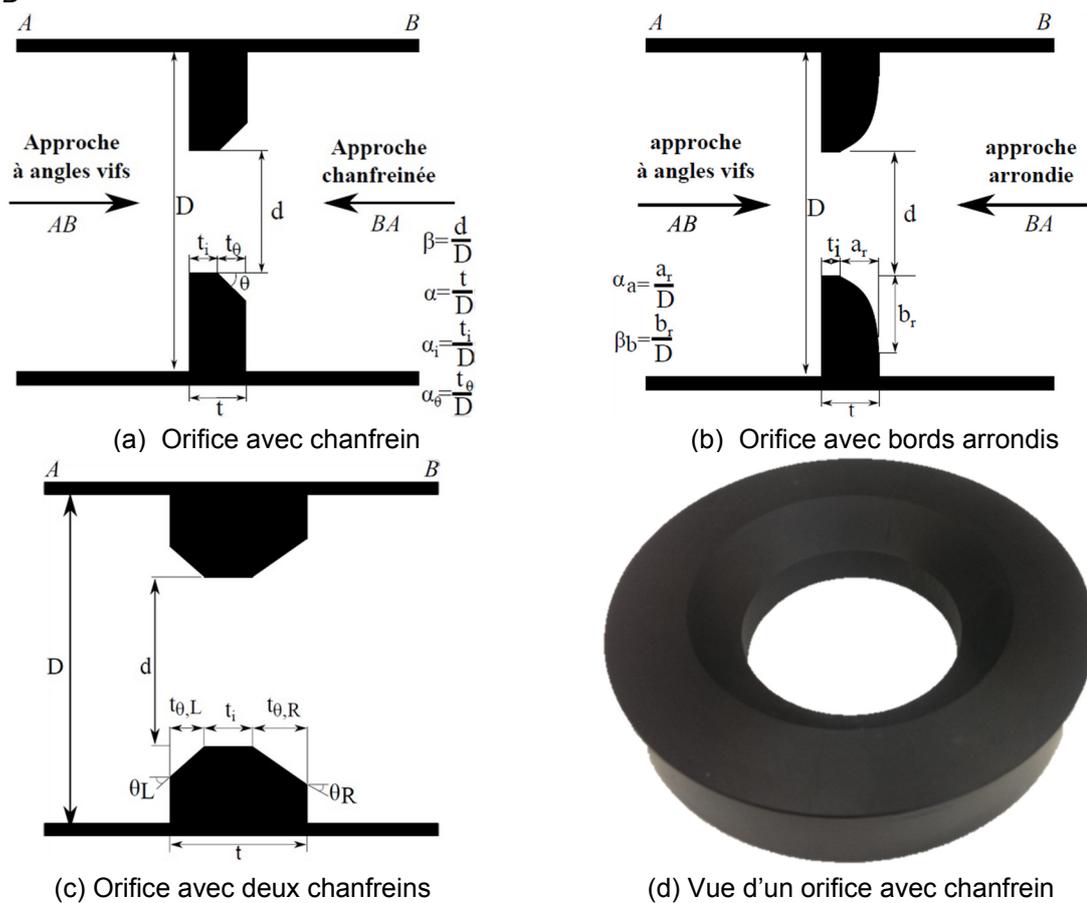


Figure 1 : Trois différentes géométries d'orifices testées dans l'étude avec définition des paramètres géométriques

Lors de cette étude, les orifices ont été étudiés avec une installation expérimentale (Figure 2) et des simulations numériques (Figure 4).



D'un côté, l'installation expérimentale est située au Laboratoire de Constructions Hydrauliques à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Comme montré à la Figure 3, la conduite principale, connectée à l'alimentation du laboratoire via deux coudes à 180 degrés, est faite en PVC avec un diamètre de 0.216 m et d'une longueur de 4 m. Afin de limiter le comportement asymétrique induit par les changements de direction des tuyaux d'alimentation du laboratoire, deux types de stabilisateur d'écoulement sont utilisés : un nid d'abeille et une croix en PVC (d'une longueur d'environ $10D_{LS}$). La pression est enregistrée au moyen de capteurs de pression, KELLER-series 25, et le débit au moyen de débitmètre ENDRESS+HAUSER PROMAG 50 W.

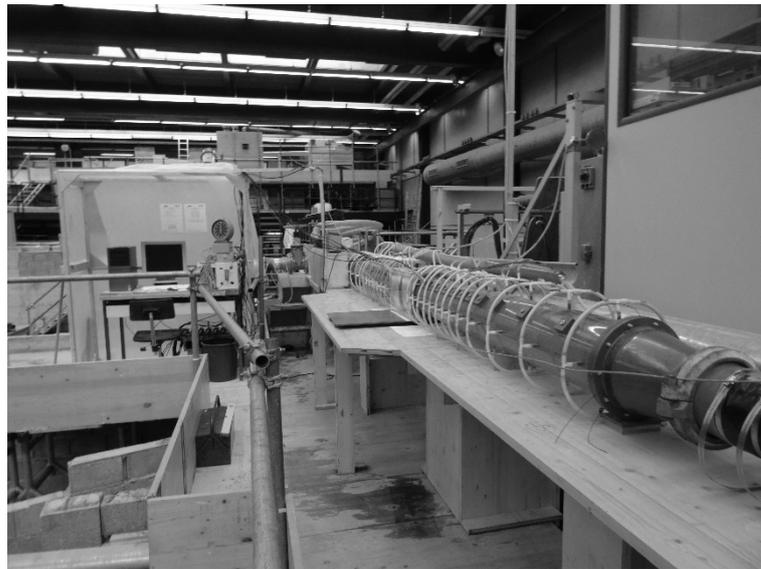


Figure 2 : Vue générale du modèle expérimental au LCH (EPFL)

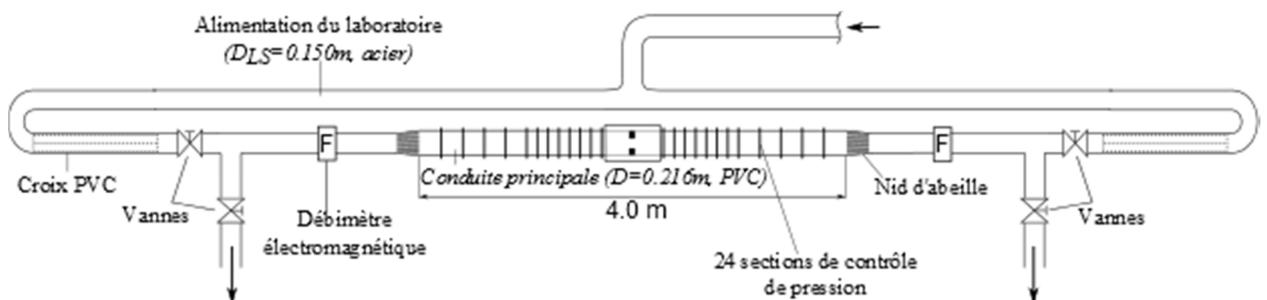


Figure 3 : Vue schématique en plan du modèle expérimental (LCH-EPFL)

D'un autre côté, les simulations numériques ont été effectuées au moyen d'ANSYS CFX version 17.1. Le domaine de fluide est défini comme la conduite principale du modèle expérimentale (Figure 4). L'orifice est donc placé en partie centrale de la conduite et distant de $10D$ des conditions de bords : débit à l'amont et pression à l'aval. Un maillage de type « O-Mesh » (ANSYS 2016) a été mis en œuvre au niveau de la section circulaire de la conduite afin d'améliorer sa qualité. Différents raffinements de maillage ou types de modèle de turbulence ont été testés et comparés aux résultats du modèle physique. Finalement, le modèle SST a été choisi avec un maillage de 1.5 millions de cellules.



Les résultats (Section 3) ont été déterminés, expérimentalement, au moyen de dix débits et, numériquement, au moyen de trois débits. Même le plus petit débit caractérise un écoulement pleinement turbulent, $Re_D > 10^4$ (Blevins 1984; Idel'cik 1969).

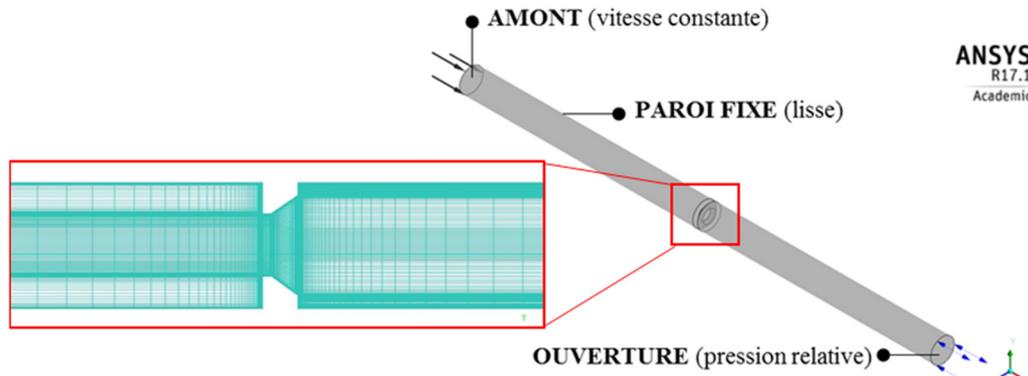


Figure 4 : Géométrie utilisée dans le modèle numérique avec zoom sur une coupe du maillage utilisé

4 Travaux réalisés et résultats obtenus

4.1 Dimensionnement d'un orifice

4.1.1 Perte de charge stationnaire

Comme abordé à l'introduction, la première étape est généralement de réaliser une étude transitoire numérique 1D dont le résultat est une paire de coefficients souhaités de perte de charge (défini à l'Eq.(1)) dans les deux sens d'écoulement, i.e. vers et hors de la cheminée d'équilibre.

$$\Delta H = k \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

où ΔH est la perte de charge, k est le coefficient de perte de charge et qui est relatif à la section de référence utilisée pour déterminée v .

Ensuite, les résultats de l'étude présentent ou plusieurs géométries d'orifice produisant cette paire de coefficients de perte de charge donnée. Différentes méthodes ont été développées :

- 1) En utilisant un catalogue de type « ExpertSheet » en ligne (Adam, 2017), voir paragraphe 4.2.
- 2) Il est possible de déterminer le coefficient de perte de charge avec les relations empiriques ajustées sur les résultats numériques et empiriques et résumées ci-dessous :
 - Ecoulement d'approche à angles vifs : Le coefficient de perte de charge dépend seulement du coefficient de contraction β et de l'épaisseur interne de l'orifice α_i . Il est donc possible de déterminer des paires (β, α_i) comme montré à la Figure 5 ou par l'équation (2) et les coefficients donnés par le Tableau 1.

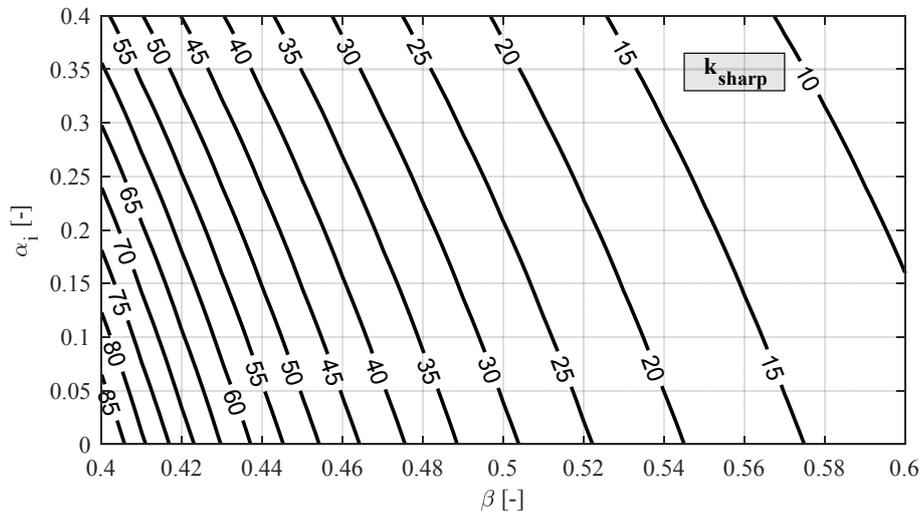


Figure 5 : Variation du coefficient de perte de charge pour l'approche à angle vif pour le coefficient de contraction β variant de 0.4 à 0.6 et du coefficient d'épaisseur interne de l'orifice α_i variant de 0 à 0.4

- Écoulement d'approche chanfreinée : Pour les orifices avec un chanfrein, l'asymétrie est déterminée principalement par l'angle du chanfrein, par son épaisseur caractérisée par le coefficient α_θ (Figure 1) mais aussi par le coefficient de l'épaisseur interne de l'orifice α_i . Pour les orifices avec deux chanfreins, chaque coefficient de perte de charge peut être défini individuellement comme donné par l'équation (2) et le Tableau 1.
- Écoulement d'approche arrondie : Le coefficient de perte de charge dans cette approche d'écoulement dépend très peu de la forme de l'arrondi mais plus de l'épaisseur de celui-ci,

$\alpha_a = \frac{a_r}{D}$, comme donné par l'équation (2) et le Tableau 1.

$$k = \lambda_k \cdot Y_{ai} \frac{\left(1 + \tau \sqrt{1 - \beta^2} - \beta^2\right)^2}{\beta^4}$$

(2)

Avec λ_k et Y_{ai} ont été déterminés expérimentalement et sont donnés par le Tableau 1 pour les écoulements d'approche chanfreinée et arrondie.

Tableau 1: Coefficients utilisés pour l'évaluation empirique (donnée à l'équation(2)) des pertes de charge en fonction des différentes approches définies à la Figure 1

Écoulement	λ_k	λ_0^k	Y_{ai}	K_{ai}
Approche à angle vif	1	/	$1 - \kappa_{ai} \cdot \alpha_i$	0.9486
Approche chanfreinée	$\frac{\lambda_0^k \cdot (\alpha - \alpha_i) + 0.0125}{(\alpha - \alpha_i) + 0.0125}$	$1.30\theta^4 - 5.97\theta^3 + 9.05\theta^2 - 4.55\theta + 1$		$3.18\theta^4 - 13.88\theta^3 + 18.66\theta^2 - 7.29\theta + 0.95$
Approche arrondie		0.271		0.071



4.1.2 Longueurs caractéristiques

Comme montré dans la Chapitre 2, tous les orifices ont été testés dans une situation idéale avec des conduites rectilignes. Afin de pouvoir appliquer les différentes relations empiriques définies à la Section 4.1.1, des longueurs caractéristiques ont été mises en évidence et leur influence sur les coefficients de perte de charge ont été évaluées. D'un côté, la longueur d'influence (Figure 6) caractérise la partie de la conduite à l'aval de l'orifice qui est perturbée par l'orifice. D'un autre côté, la longueur de rattachement caractérise la longueur aval où le jet se rattache à la paroi de la conduite (Figure 6). La connaissance de ces longueurs caractéristiques permet de connaître la zone dans la conduite qui est sollicitée à des pressions dynamiques et un risque de cavitation accru dû à des pressions plus faibles.

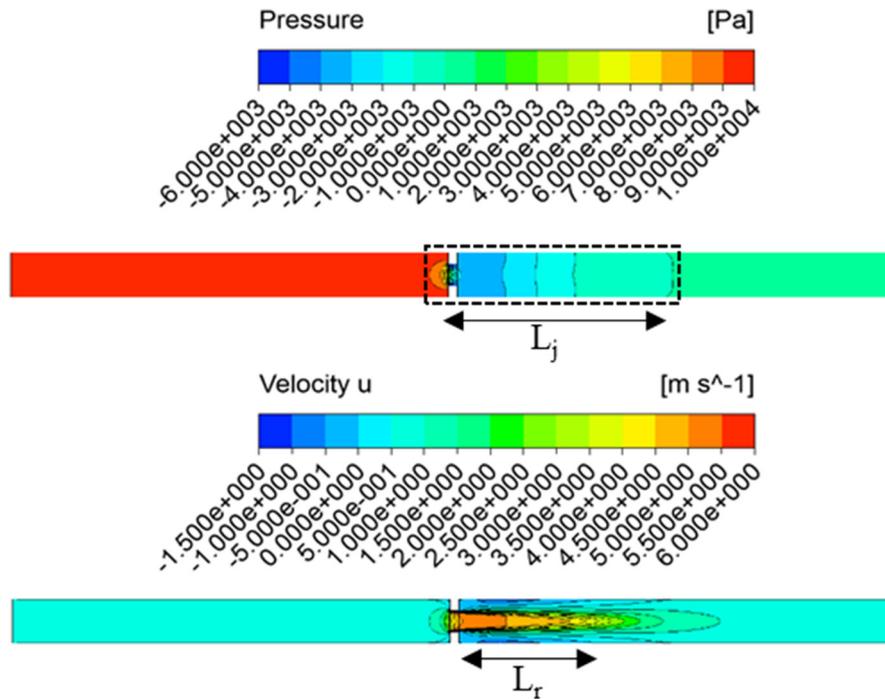


Figure 6 : Champs de pression et de vitesse dans la conduite avec un orifice en position centrale – définition des longueurs d'influence L_j et de rattachement L_r

Les équations (3) et (4) prédisent la longueur adimensionnelle d'influence $l_j = \frac{L_j}{D}$.

$$l_j = [1.47 + 6.90 \cdot \beta + 0.77 \cdot \alpha_i] \cdot \lambda_j(\alpha_i, \theta) \quad (3)$$

avec λ_j est donné par l'équation (4) pour les orifices avec un chanfrein.

$$\lambda_j(\alpha_i, \theta) = 1 + d_{l,j}(\alpha_i) \cdot \sin^2(2\theta) \quad (4)$$

et avec $d_{l,j} = 0.97 \cdot \alpha_i + 0.14$

L'équation (5) permet, elle, de déterminer la longueur adimensionnelle de rattachement $l_r = \frac{L_r}{D}$.

$$l_r = \begin{cases} a_{l,r}(\alpha_i) \cdot \gamma_o & \text{si } \beta \geq 0.5 \\ b_{l,r}(\alpha_i) \cdot \gamma_o + c_{l,r}(\alpha_i) & \text{si } \beta < 0.5 \end{cases} \quad (5)$$



avec $\gamma_o = \frac{1-\beta}{2}$ et $a_{l,r}$, $b_{l,r}$, $c_{l,r}$ sont données par l'équation (6).

$$\begin{aligned} a_{l,r} &= -5.46 \cdot \alpha_i + 14.10 \\ b_{l,r} &= 3.95 \cdot \alpha_i + 2.32 \\ c_{l,r} &= \frac{a_{l,r} - b_{l,r}}{4} \end{aligned} \quad (6)$$

La Figure 7 montre les longueurs caractéristiques l_r et l_j pour différents paramètres géométriques : le coefficient de contraction β , d'épaisseur interne de l'orifice α_i et du l'angle du chanfrein θ .

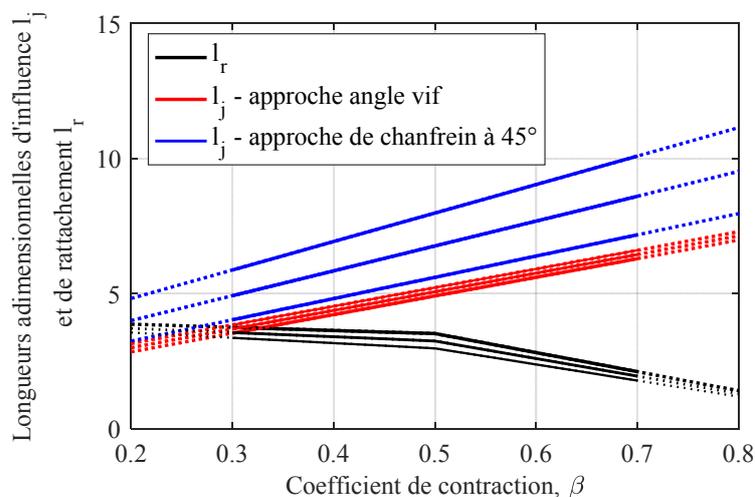


Figure 7 : Evolution des longueurs adimensionnelles de rattachement l_r et d'influence l_j pour trois coefficients d'épaisseur ($\alpha_i=0, 0.2$ et 0.4) et deux angles vifs ($\theta=0^\circ$ et 45°)

Des essais expérimentaux sur l'influence de la position de l'orifice dans une jonction en T ont été réalisés et ont montré que l'influence des conditions avales se limitent à la longueur de rattachement (Adam 2017; Adam and De Cesare 2015). Cependant, la longueur d'influence reste une information intéressante afin de déterminer la mise en place de différents orifices en série (Zhang and Chai 2001).

4.1.3 Cavitation

Il est possible de trouver différentes géométries d'orifice produisant le même couple de pertes de charge. Cependant, certaines géométries sont plus susceptibles de subir de la cavitation que d'autres. La cavitation peut être acceptée selon certaine occurrence et sévérité si elle n'influence pas les pertes de charge (Ferrarese et al. 2015; Malvasi and Messa 2011) et donc le fonctionnement global du système en charge.

Le nombre d'apparition de la cavitation caractérise les conditions de formation des premières bulles de cavitation au bord de l'orifice. Cette faible cavitation influence peu les pertes de charge et peut être trop conservateur pour le design. C'est pourquoi, un nombre d'apparition de la cavitation dans la veine contractée à l'aval de l'orifice a été développé. L'équation (7) permet de prédire le nombre d'apparition de la cavitation σ_i tandis que l'équation (8) prédit le nombre d'apparition de la cavitation dans la veine contractée, σ_{vc} . Pour chaque orifice, σ_{vc} est toujours plus petit que σ_i comme la cavitation dans la veine contractée se produit après.

$$\sigma_i = (1 + 2.02\beta^2 + 2.50\alpha_i^{1.5})\lambda_\sigma(\theta) \quad (7)$$



Avec $\lambda_\sigma = 1 + 4.15 \sin^2(2\theta)$

$$\sigma_{vc} = \begin{cases} 1 + 1.47\beta^2 + 0.45\alpha_i^{1.5} & (\text{approche angle vif}) \\ 1 + 2.01\beta^2 + 0.23\alpha_i^{1.5} & (\text{approche chanfreinée}) \end{cases} \quad (8)$$

Lier à chaque géométrie d'orifice avec un chanfrein et un nombre d'apparition de la cavitation permet de choisir l'orifice le moins sujet à la cavitation. En outre, il est possible de mettre en évidence l'apparition de la cavitation durant des oscillations de masse dans une chambre d'équilibre. En effet, la Figure 8 montre l'évolution du niveau dans la cheminée d'équilibre en fonction du débit entrant ou sortant de celle-ci lors d'un arrêt d'urgence. Il est possible de voir qu'il est probable qu'il y ait deux risques de cavitation lors de la première montée et la première descente de l'oscillation de masse (oscillations de masse hors de la parabole de limite d'apparition de la cavitation).

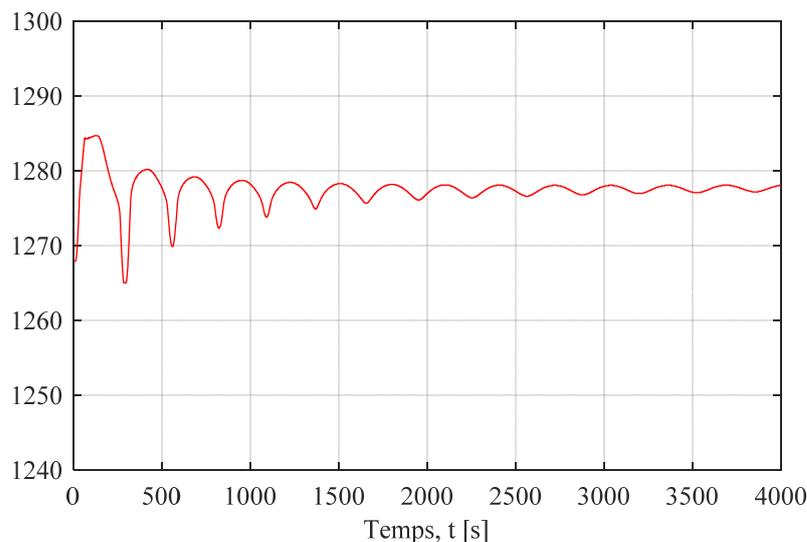
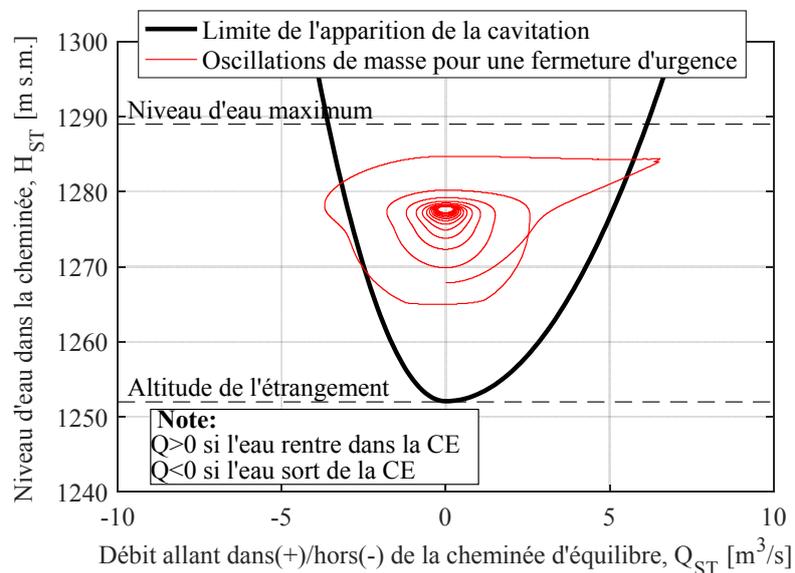


Figure 8 : (a) Evaluation graphique du risque d'apparition de la cavitation dans une cheminée d'équilibre soumis à une fermeture d'urgence entrant une oscillation de masse convergente (b) Oscillations de masse en fonction du temps dans la cheminée d'équilibre



4.2 Utilisation de l' « ExpertSheet »

La Figure 9 présente l'ExpertSheet disponible en ligne (Adam 2017). Ce fichier Excel résume tous les résultats expérimentaux et numériques réalisés durant l'étude systématique. Il permet de déterminer les coefficients de pertes de charge voulus dans les deux directions d'écoulement et un intervalle de résultats acceptables. Les orifices peuvent donc être classer selon leur éloignement par rapport aux pertes de charge cibles avec les résultats cibles. Dès lors, il est possible de mettre en évidence les angles de chanfrein capable de produire l'asymétrie voulue.

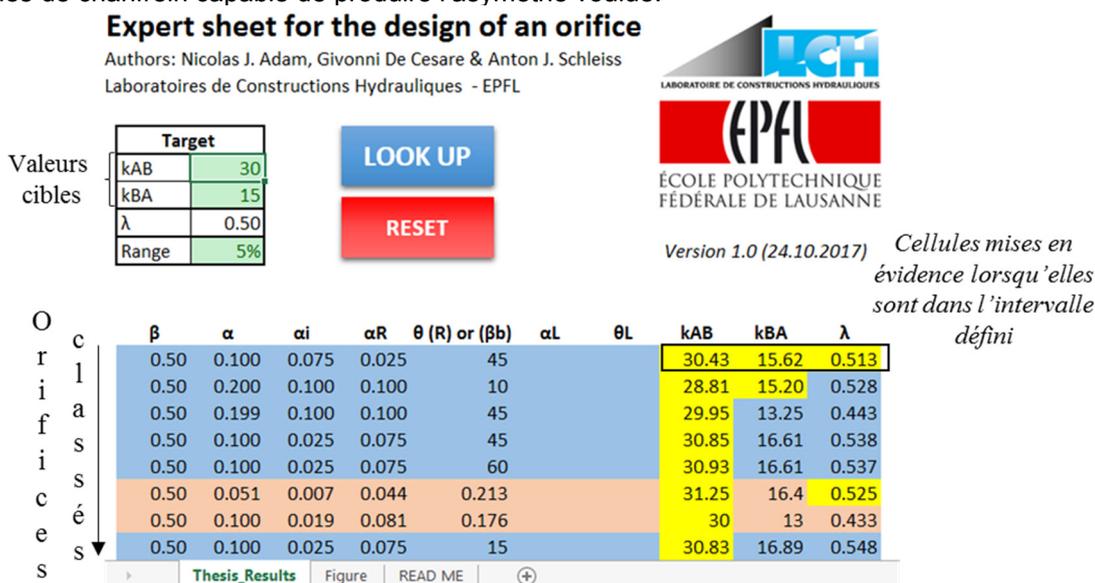


Figure 9 : Capture d'écran de l' « Expertsheet » en ligne sur Adam (2017)

5 Collaboration au niveau national

La partie numérique est réalisée sur le logiciel ANSYS CFX à l'EPFL en collaboration avec l'équipe du Prof. Dr Cécile Muench-Alligné.

De plus, cette étude s'intègre dans les activités menées au LCH-EPFL tant que membre intégrant du SCCER-SoE dans le cadre de la stratégie énergétique 2050. Le potentiel d'application des résultats sera évalué à l'échelle suisse à l'aide de la base de données des infrastructures hydroélectriques HydroGIS 2.0.

6 Collaboration au niveau international

Une collaboration est en cours depuis quelques années entre le LCH et Dr Roman Gabl de l'Université d'Edimbourg qui a visité le LCH comme hôte académique en 2013 et avec Leif Lia de Norwegian University of Science and Technology (NTNU).



7 Évaluation et perspectives

7.1 Travaux effectués et résultats atteints

La thèse a été rendue fin Aout 2017 et défendue publiquement le 1^{er} décembre 2017. Différents articles scientifiques sont en cours de rédaction pour soumission tandis que deux autres sont en révision.

7.2 Perspectives

L'installation physique est toujours présente dans la halle hydraulique du LCH à l'EPFL permettant de réaliser d'autres tests sur d'autres géométries permettant de compléter le catalogue est en ligne avec la thèse.

8 Publications

Tout d'abord, sept articles de conférences ont été publiés depuis 2015 :

- Adam, N. J., De Cesare, G., & Schleiss, A. (2017). Head losses and influence length of sharp-edged and rounded orifices under steady flow conditions. In Proc. of the 37th IAHR World Congress, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Adam, N. J., De Cesare, G., & Schleiss, A. (2016). Surge tank throttles for safe and flexible operation of storage plants. In HYDRO 2016, Montreux, Switzerland.
- Adam, N. J., De Cesare, G., & Schleiss, A. J. (2016). Non-intrusive flow velocity measurements in pressurized pipe with orifice. In Proc. of the 10th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering, Tokyo, Japan.
- Adam, N. J., De Cesare, G., Schleiss, A. J., Richard, S., & Muench-Alligné, C. (2016). Head loss coefficient through sharp-edged orifices. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 49, No. 6, p. 062009). IOP Publishing.
- Adam, N. J., De Cesare, G., & Schleiss, A. (2016). Experimental assessment of head losses through elliptical and sharp-edged orifices. In Proc. of the 4th IAHR Europe Congress, Liège, Belgium.
- Adam, N. J., & De Cesare, G. (2015). Diaphragm in pressure pipe: Steady state head loss evolution and transient phenomena. In 5th IAHR International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, Spa, Belgium.
- De Cesare, G., Adam, N. J., Nicolet, C., Billeter, P., Angermayr, A., & Valluy, B. (2015). Surge tank geometry modification for power increase. In HYDRO 2015, Bordeaux, France.

Ensuite, deux articles sont en révision:

- Adam, N.J., De Cesare, G. & Schleiss, A.J. (under revision). Influence of geometrical parameters on the head losses of standard orifice. Submitted to Journal of Hydraulic Research.
- Adam, N. J., De Cesare, G., & Schleiss, A. (under revision). Throttles in surge tank to reduce mass oscillations. Submitted to Canadian Journal of Civil Engineering.



Enfin, un article a été accepté ainsi que la thèse et la communication LCH sont publiés en ligne :

- Adam, N.J., De Cesare, G., Nicolet, C., Billeter, P., Angermayr, A., Valluy, B. & Schleiss, A.J. (2018). Design of a throttled surge tank for the refurbishment by power increase of a high head power plant. *Journal of Hydraulic Engineering*, 144(2).
- Adam, N.J. (2017). Characterization of hydraulic behavior of orifices in conduits (Thèse 8090). PhD thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne ([doi:10.5075/epfl-thesis-8090](https://doi.org/10.5075/epfl-thesis-8090)).
- Adam, N.J. (en cours d'édition). Characterization of hydraulic behavior of orifices in conduits. Communication LCH 73. Ed. Anton Schleiss, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne ([doi:10.5075/epfl-lchcomm-73](https://doi.org/10.5075/epfl-lchcomm-73))

Un article est en préparation avec l'équipe de Prof. Dr. Cécile Muench-Alligné de la HES-So Valais sur la comparaison des essais expérimentaux et numériques.

9 Références

Adam, Nicolas J. 2017. "Characterization of hydraulic behavior of orifices in conduits (EPFL Thesis 8090)." Lausanne (Switzerland), doi:10.5075/epfl-thesis-8090: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Adam, Nicolas J., G. De Cesare, C. Nicolet, P. Billeter, A. Angermayr, B. Valluy, and A. J. Schleiss. 2018. "Design of a throttled surge tank for refurbishment by increase of installed capacity at a High-Head Power Plant." *Journal of Hydraulic Engineering* 144 (2):05017004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001404](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001404).

Adam, Nicolas J., and Giovanni De Cesare. 2015. "Diaphragm in pressure pipe: steady state head loss evolution and transient phenomena." In . Spa, Belgium. <http://popups.ulg.ac.be/IJREWHS2014/index.php?id=177>.

Alligne, Sébastien, Primoz Rodic, Jorge Arpe, Jurij Mlacnik, and Christophe Nicolet. 2014. "Determination of surge tank diaphragm head losses by CFD simulations." In *Advances in Hydroinformatics*, Gourbesville et al., 325–36. Springer.

ANSYS. 2016. "ANSYS IDEM CFD User's Manual, Release 17.1 (Available Online)." ANSYS.

Blevins, Robert D. 1984. "Applied fluid dynamics handbook." New York, Van Nostrand Reinhold Co. 1:568.

De Cesare, G., N. J. Adam, C. Nicolet, P. Billeter, A. Angermayr, and B. Valluy. 2015. "Surge tank geometry modification for power increase." In . Bordeaux (France): The International Journal on Hydropower & Dams.

Ferrarese, Giacomo, Gianandrea V. Messa, Marco MA Rossi, and Stefano Malavasi. 2015. "New method for predicting the incipient cavitation index by means of single-phase computational fluid dynamics model." *Advances in Mechanical Engineering* 7 (3):168781401557597. <https://doi.org/10.1177/1687814015575974>.

Gabl, R., S. Achleitner, J. Neuner, H. Gotsch, and M. Aufleger. 2011. "3D-Numerical optimisation of an asymmetric orifice in the surge tank of a high-head power plant." In *Proceedings of the 34th World*



Congress of the International Association for Hydro-Environment Research and Engineering: 33rd Hydrology and Water Resources Symposium and 10th Conference on Hydraulics in Water Engineering, 2428. Valentine et al.

Hachem, Fadi, Christophe Nicolet, Rafael Duarte, Giovanni De Cesare, and Gaël Micoulet. 2013. "Hydraulic design of the diaphragm's orifice at the entrance of the surge shaft of FMHL pumped-storage power plant." In Proceedings of 35th IAHR World Congress: The Wise Find Pleasure in Water: Meandering through Water Science and Engineering. Chengdu (China): International Association for Hydraulic Engineering and Research.

Idel'cik, IE. 1969. "Mémento des pertes de charges singulières et de pertes de charges par frottement [Handbook of Singular and Friction Head Losses]." Eyrolles, Paris.

Kendir, Tarik Efe, and Aydogan Ozdamar. 2013. "Numerical and Experimental Investigation of Optimum Surge Tank Forms in Hydroelectric Power Plants." *Renewable Energy* 60:323–31.

Malavasi, Stefano, and Gianandrea Vittorio Messa. 2011. "Dissipation and cavitation characteristics of single-hole orifices." *Journal of Fluids Engineering* 133 (5):051302.

Nicolet, Christophe. 2007. "Hydroacoustic modelling and numerical simulation of unsteady operation of hydroelectric systems, Thesis Report 3751." Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne (Switzerland).

Zhang, Q. Y., and B. Q. Chai. 2001. "Hydraulic characteristics of multistage orifice tunnels." *Journal of Hydraulic Engineering* 127 (8):663–68