



Projet à rendre

CIVIL-515: Ondes de crue et de rupture de barrage

Semestre printemps 2025

1 Description du projet

1.1 Contexte

Dans de nombreuses régions montagneuses, le rétrécissement du lit des rivières (dû à des ouvrages de génie civil tels que des ponts ou des digues) peut modifier substantiellement la nature de l'écoulement. Par exemple, une réduction de la largeur du lit peut provoquer une augmentation locale de la vitesse et de la hauteur d'eau, accroissant ainsi le risque d'inondation en amont et pouvant induire des phénomènes hydrauliques complexes tels que des ressauts hydrauliques. La réduction des risques et l'optimisation des structures hydrauliques requiert une analyse détaillée des écoulements.

Dans le cadre d'un projet de construction d'un pont sur la Navisence (l'image de gauche sur la figure 1) à l'amont du village de Zinal, un seuil en béton sera installé sur le lit (l'image de droite sur la figure 1), avec pour conséquence une largeur moindre de la rivière. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de ce rétrécissement sur le fonctionnement hydraulique et de proposer un dimensionnement optimal du seuil au regard du risque d'inondation.



FIG. 1 – À gauche: la crue de la Navisence survenue le 21 juin 2024. À droite: le pont sur la Navisence que l'on va étudier.

Depuis 2018, le Laboratoire d'Hydraulique Environnementale (LHE) de l'EPFL effectue des relevés bi-mensuels sur ce site en utilisant des drones pour collecter des données topographiques et hydrauliques précises. Ces mesures constituent une base essentielle pour la simulation numérique et l'analyse du risque hydraulique dans cette étude. À toutes fins utiles, vous pouvez trouver plus d'information sur le site dédié

<https://navisence.ch>.

1.2 Mission

Votre mission est d'évaluer l'impact du rétrécissement de la rivière dû à la structure en béton et de proposer un dimensionnement optimisé minimisant le risque d'inondation. Pour cela, vous devrez :

1. effectuer une première simulation sous Iber pour analyser l'écoulement naturel avant l'installation du seuil et identifier les hauteurs d'eau et vitesses caractéristiques ;
2. analyser les résultats de simulation afin d'évaluer le fonctionnement hydraulique de l'ouvrage ;
3. comparer les conditions hydrauliques avant et après l'installation du seuil et identifier les éventuels impacts sur les caractéristiques d'écoulement ;
4. tester différentes configurations de l'ouvrage en ajustant la hauteur des bajoyers et la largeur disponible pour l'écoulement.

La question 1 compte pour 30 % de la note. Cette question fera l'objet d'un pré-rapport à rendre **le vendredi 11 avril, avant minuit**. Le reste du projet est à rendre pour le **vendredi 20 juin, avant minuit**.

1.3 Données du projet

Vous disposez des éléments suivants pour mener votre étude :

- données géologiques du bassin-versant ;
- modèle numérique de terrain (MNT) de la région ;
- données de débit de la rivière, la courbe de tarage, le débit de pointe et la période de retour ;
- paramètres de simulation pour le modèle numérique bidimensionnel sous Iber.

2 Devoirs spécifiques

2.1 Étape 1 : Simulation du régime naturel en amont

On vous demande de :

- réaliser des simulations sous Iber en considérant des écoulements dans la configuration actuelle sans le seuil ;
- analyser les résultats, à savoir les hauteurs d'eau, le profil des vitesses et la présence éventuelle de phénomènes hydrauliques (le régime d'écoulement, le resaut hydraulique, etc.) ;
- comparer la courbe de tarage en simulation avec la courbe de tarage calibrée par CREALP en 2019.

2.2 Étape 2: Analyse du risque de crue au point de rétrécissement et dimensionnement du seuil

On vous demande de :

- tester **trois différentes configurations de la structure** en ajustant la hauteur des murs latéraux et la largeur de l'écoulement. Pour des raisons économiques, l'aire de la section transversale du seuil ne devrait pas dépasser **25 m²** ;
- simuler l'impact du rétrécissement sur le fonctionnement hydraulique ;
- calculer les caractéristiques de l'écoulement, puis identifier d'éventuels ressauts hydrauliques et leur emplacement.

2.3 Étape 3: Analyse hydraulique des résultats du modèle

On vous demande de :

- comparer les conditions hydrauliques avant et après l'installation du seuil ;
- s'assurer de la sécurité de l'ouvrage lors d'une crue, c'est-à-dire vérifier que la hauteur et la forme du seuil permettent de contenir l'écoulement sans provoquer un débordement.

2.4 Étape 4: Conclusion

Finalement, il vous est demandé de :

- choisir la meilleure structure du seuil d'après les résultats des simulations.

3 Rapport à rendre

Vous devez préparer un rapport complet contenant l'analyse du problème, comme si vous travailliez dans un bureau d'ingénieurs. La structure du rapport est libre, mais gardez à l'esprit qu'il doit contenir toutes les informations nécessaires pour comprendre le problème ainsi que la solution que vous proposez. Prenez garde à la présentation du rapport : elle sera notée. Rédigez de manière formelle, avec des images et schémas à la bonne résolution et, si vous en éprouvez le besoin, des liens vers des documents externes tels que des vidéos pour faciliter l'analyse.

Le rapport peut être rédigé en français ou en anglais. Sa longueur totale ne devra pas excéder 30 pages. Il doit être envoyé au format PDF à Sofi Farazande (sofi.farazande@epfl.ch) conjointement

avec le dossier du projet Iber.

Attention! Si n'exécutons *a priori* pas le projet, nous vérifierons les résultats et les paramètres spécifiés dans le rapport, ainsi que les résultats présentés. Il faut donc envoyer le projet déjà exécuté avec tous les fichiers de résultat (il suffit de créer une archive compressée du dossier de calcul d'Iber).

Données complémentaires

Données de débit

La courbe de tarage de Navisence est présentée dans la figure 2.

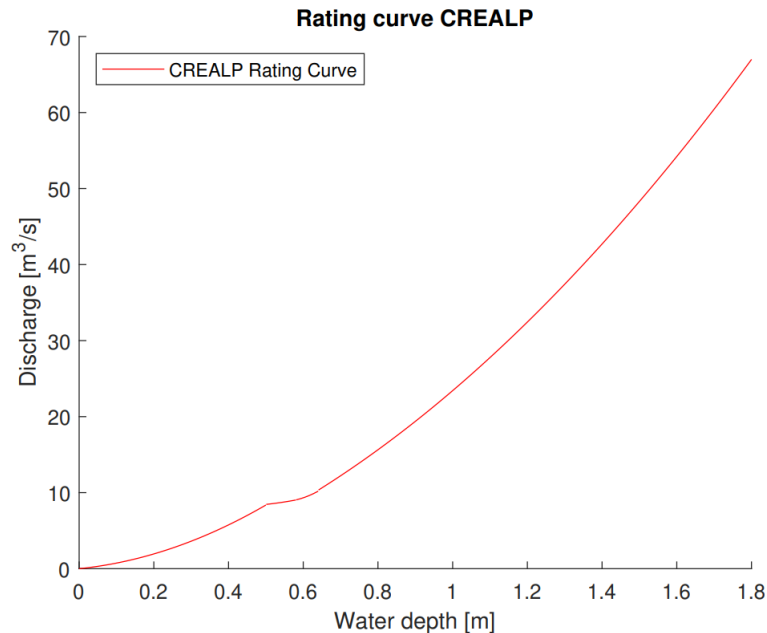


FIG. 2 – La courbe de tarage calibrée par CREALP en 2019.

La fonction est définie continue par morceaux :

$$\text{pour } h < 0,50 \text{ m : } Q = 23,47h^2 + 5,0089h,$$

$$\text{pour } 0,50 < h < 0,58 \text{ m : } Q = 23,077h^2 - 17,702h + 11,534,$$

$$\text{pour } 0,58 < h < 0,64 \text{ m : } Q = 127,91h^2 - 136,82h + 45,369 \text{ et}$$

$$\text{pour } h > 0,64 \text{ m : } Q = 15,568h^2 + 10,856h - 3,006,$$

où Q [m³/s] est le débit et h [m] la profondeur d'eau.

Les débits et les coefficients de la rugosité à utiliser

Vous avez trois valeurs de débit pour la simulation: 5 m³/s, 30 m³/s et 60 m³/s.

Comme point de référence, on a la relation entre débit et coefficient de Strickler de la rugosité K pour la rivière Birse à Moutier (BE) étudiée par Spreafico *et col.* (2001) à la figure 3. On a également quelques données pour la Navisence montrant une tendance similaire (voir tableau 1). Il faudra

ajuster une fonction pour trouver les coefficients de la rugosité K correspondant aux débits du projet.

Rappel: Le coefficient de Strickler K [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$] correspond à $1/n$, n étant le coefficient de Manning de la rugosité sans unité.

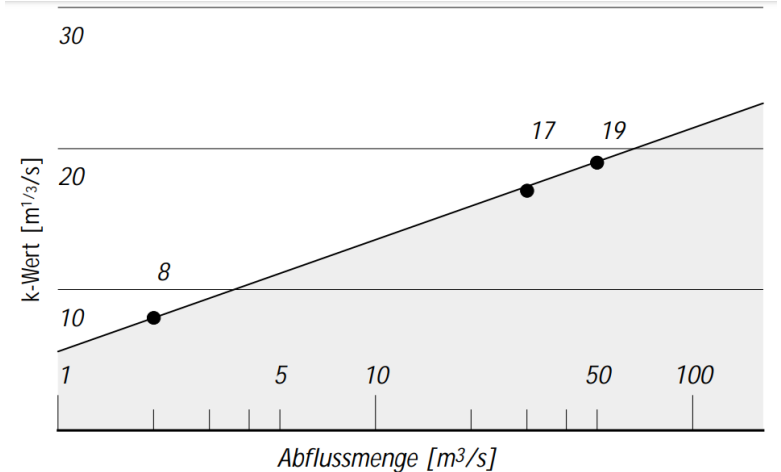


FIG. 3 – Résistance à l’écoulement de la Birse à Moutier (source : M. Spreafico, H.P. Hodel, H. Kaspar, [Rauheiten in ausgesuchten schweizerischen Fließgewässern](#), OFEV, Berne, 2001.)

TAB. 1 – Débit calibré et coefficient de Strickler pour la Navisence. Source des données: *Calibration of a Discharge Measurement Station: The Navisence Case Study*, mémoire de Master HS23, ETHZ, Simon Constantin, janvier 2024.

Débit Q [m^3/s]	Coefficient de Strickler K [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]
1	10,10
2	13,04
4	15,25
6	16,96
8	18,41
10	19,21
25	22,23
50	25,81

Contraintes sur le seuil en béton

Vous devrez sélectionner une section de seuil parmi celles existantes. Quelques exemples de formes différentes sont donnés à la figure 4. Si vous le souhaitez, vous pouvez rechercher d’autres formes géométriques et les utiliser à condition d’en indiquer la référence.

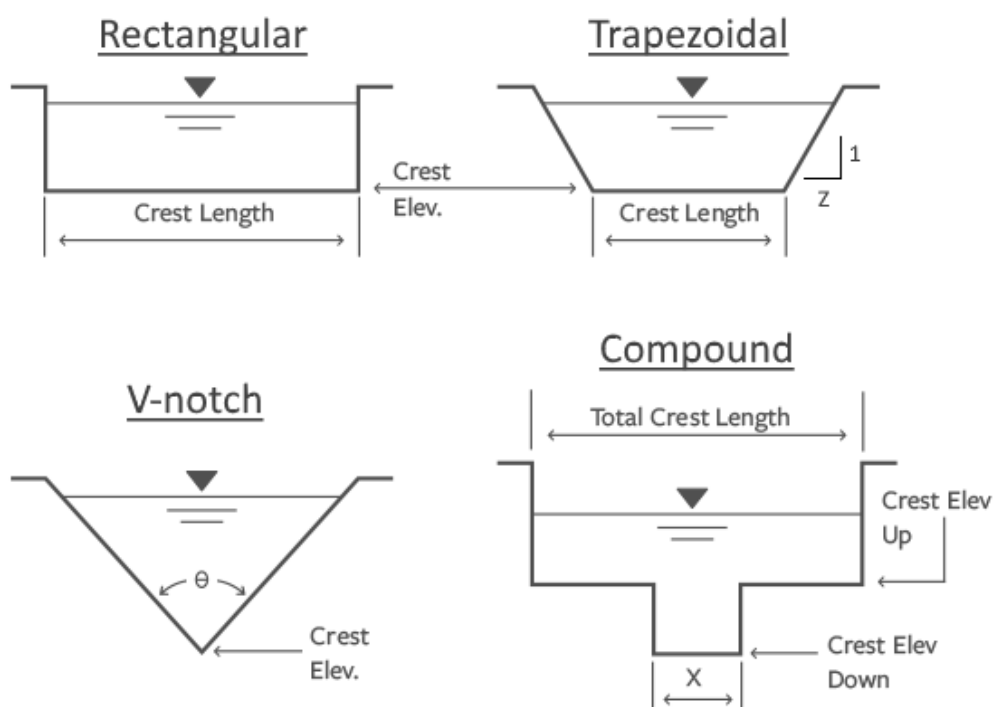


FIG. 4 – Différentes formes de seuil. (source : [Engineering Notes – Classification or Types of Notches and Weirs](https://www.engineeringnotes.com/knowledge-base/weirs/) ou le site learn.hydrologystudio.com/studio-express/knowledge-base/weirs/.)

Les sections devraient correspondre aux critères de dimensionnement. Quelques exemples sont fournis dans le tableau 2.

Pour commencer, vous devrez choisir une section et estimer la hauteur de l'eau dans la section à partir du débit. Après avoir sélectionné une section avec des dimensions préliminaires et démarré le modèle, vous devrez vérifier de nouveau les dimensions par rapport à la solution du modèle pour la hauteur d'eau.

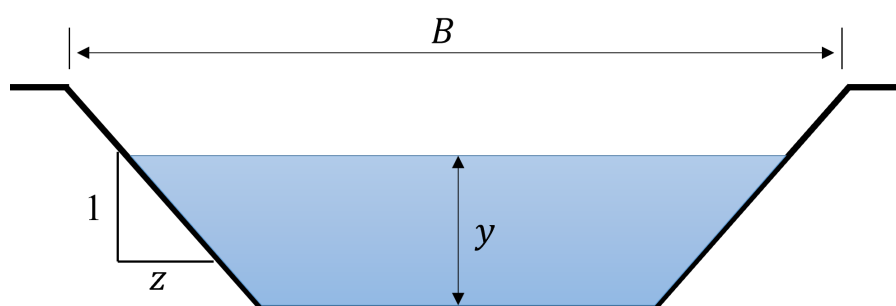


FIG. 5 – Croquis d'un seuil de section trapézoïdale.

TAB. 2 – Paramètres des sections optimales des déversoirs, y étant la hauteur d'eau dans la section (source : notes du cours, Metodología Sección Hidráulica Optima, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.)

Section	Aire	Périmètre mouillé	Rayon hydraulique	Largeur de surface	Hauteur hydraulique	Facteur de section
Symbole	A	P	R	B	D	Z
Trapèze, demi-hexagone	$\sqrt{3}y^2$	$2\sqrt{3}y$	$y/2$	$4\sqrt{3}y/3$	$3y/4$	$3y^{2,5}/2$
Rectangle, demi-carré	$2y^2$	$4y$	$y/2$	$2y$	y	$2y^{2,5}$
Triangle, demi-équilatéral	y^2	$2\sqrt{2}y$	$\sqrt{2}y/4$	$2y$	$y/2$	$\sqrt{2}y^{2,5}/2$
Demi-cercle	$\pi y^2/2$	πy	$y/2$	$2y$	$\pi y/4$	$\pi y^{2,5}/4$
Parabole	$4\sqrt{2}y^2/3$	$8\sqrt{2}y/3$	$y/2$	$2\sqrt{2}y$	$2y/3$	$8\sqrt{3}y^{2,5}/9$
Caténaire hydrostatique	$1,396y^2$	$2,984y$	$0,468y$	$1,918y$	$0,728y$	$1,191y^{2,5}$