

SURVERSE NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE D'UN BARRAGE

PROJET PERSONNEL DE RECHERCHE

2024-2026

INTRODUCTION

Problématique :

Comment le couplage entre simulation numérique et expérimentation permet-il une étude précise des phénomènes de water entry et de surverse d'un barrage ?

Plan :

- ▶ Cahier des charges
- ▶ Surverse numérique (Simulation avec le Code CERF)
- ▶ Surverse expérimentale (maquette)
- ▶ Comparaison et analyse des résultats

CAHIER DES CHARGES

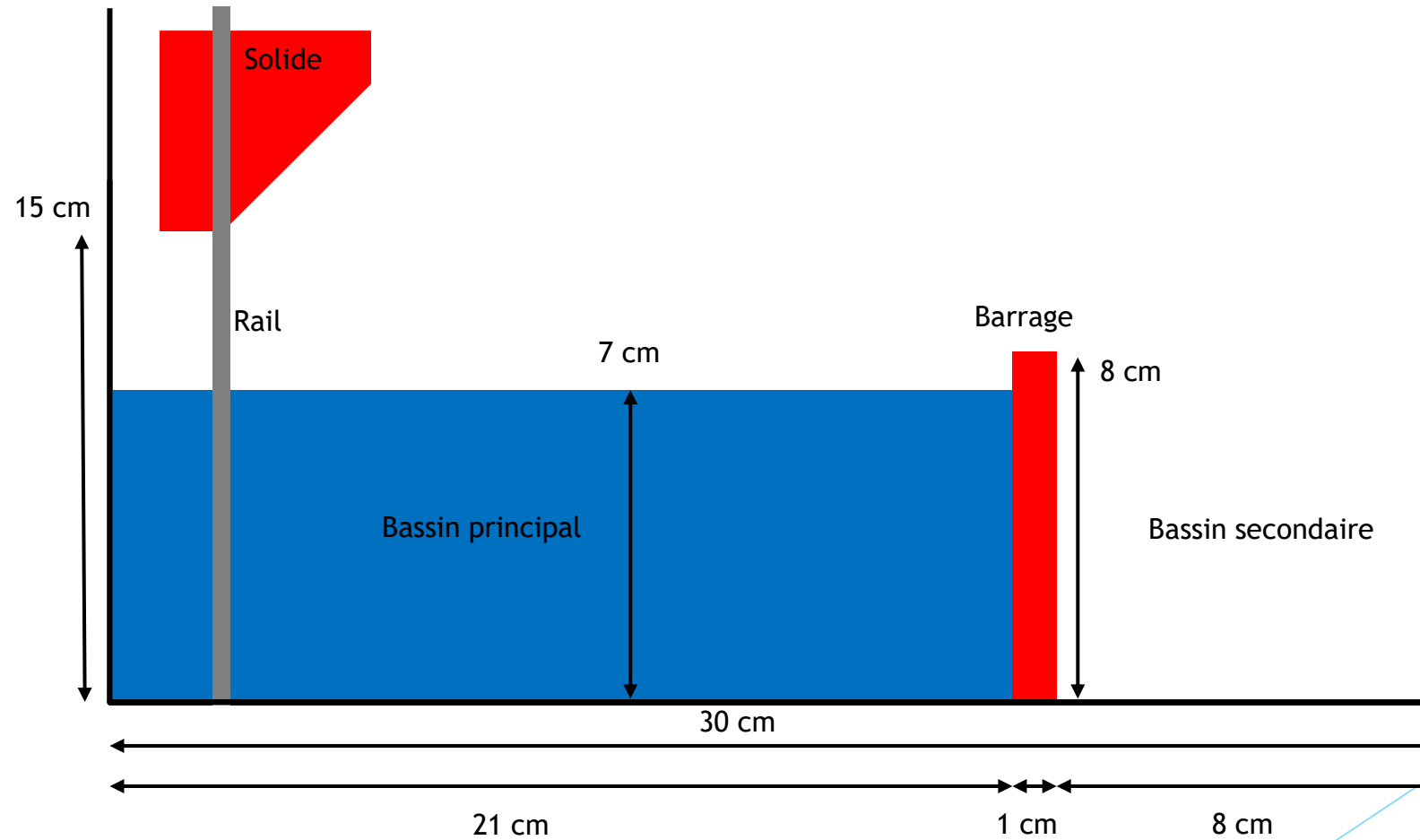
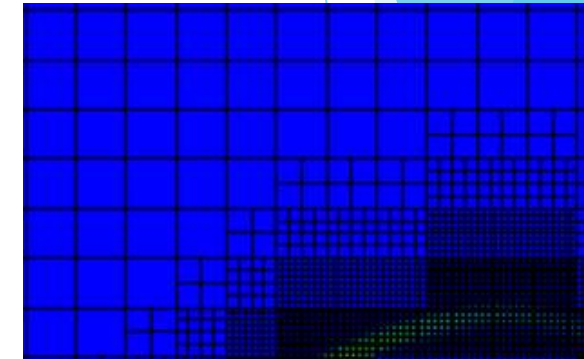


Schéma de la configuration initiale

SURVERSE NUMERIQUE

Code de calcul CERF V1.0

- ▶ Modèle physique : Eulérien bi-fluide isotherme
- ▶ Maillage : BB-AMR (adaptatif en temps et en espace)
- ▶ Environnement : WSL + MPI
- ▶ Visualisation : VisIt 3.1.2



Maillage BB-AMR

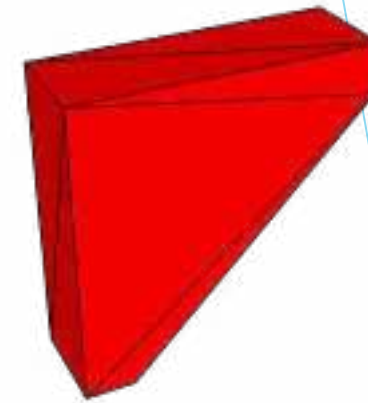
$$1 : \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \varphi = 0 \qquad 3 : \frac{\partial \rho \vec{u}}{\partial t} + \text{div} (\rho \vec{u} \otimes \vec{u} + pI) = \rho \vec{g}$$

$$2 : \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} (\rho \vec{u}) = 0 \qquad 4 : p = p_0 + c_0^2 [\rho - (\varphi \rho_e + (1 - \varphi) \rho_a)]$$

SURVERSE NUMERIQUE

Fichier de configuration :

- ▶ Maillage initial
- ▶ Dimensions et taille du domaine (2D, 30x30cm)
- ▶ Définition des objets (eau rigidifiée)



Solide

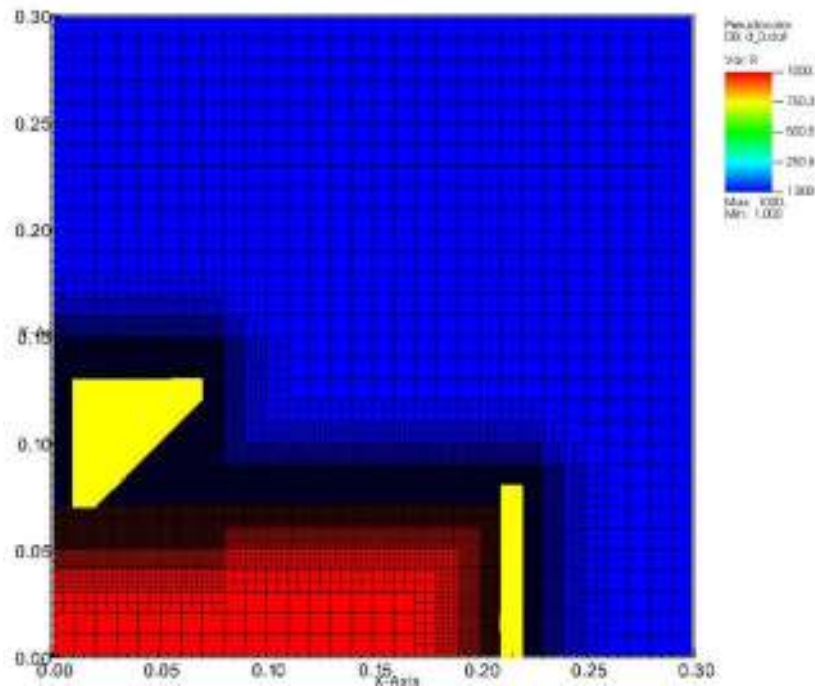
$$V(t) = \frac{|V_0|}{1 + \frac{k|V_0|}{m}t}$$

Numéro de l'essai	Temps de vol (s)	Vitesse d'impact (m/s)
n° 1	0,131	1,13
n° 2	0,134	1,17
n° 3	0,132	1,15
Moyenne	0,132	1,15

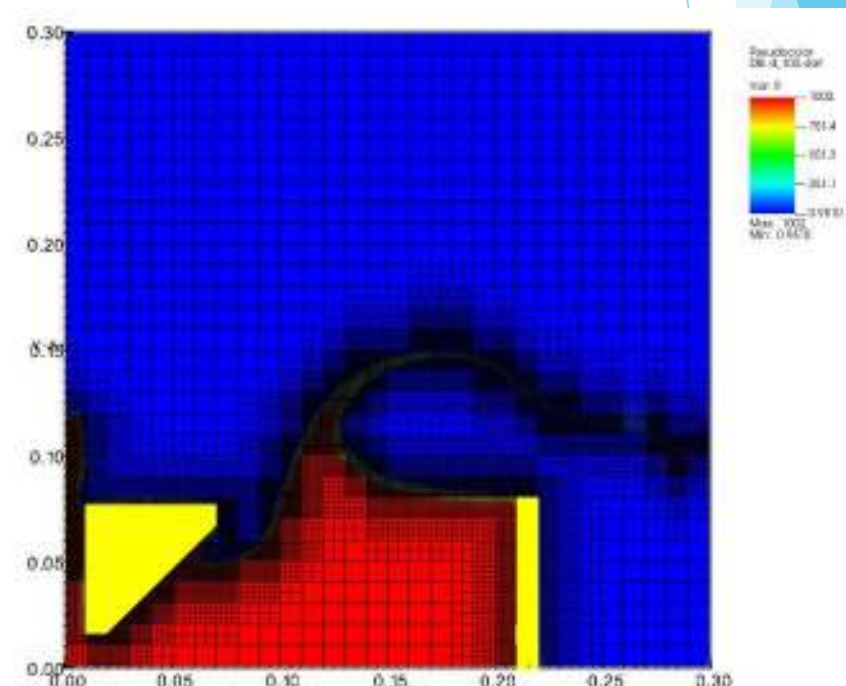
SURVERSE NUMERIQUE

Vérification de la simulation finale :

- ▶ Maillage initial approprié
- ▶ Bon suivi de l'interface air/eau/objets
- ▶ Production d'eau : 0,14 cm de hauteur dans le bassin secondaire



Maillage initiale



Suivie du maillage

SURVERSE EXPERIMENTALE

Fabrication par impression 3D :

Matériel :

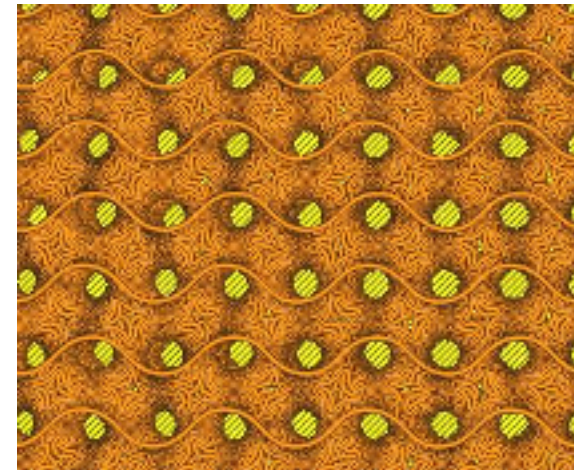
- ▶ ENDER 3 V3 SE (modifiée)
- ▶ Filament PLA

Paramètres d'impression :

- ▶ Hauteur de couche : 0,20 mm
- ▶ Température d'impression : 220°C
- ▶ Nombre de parois : 4 couches
- ▶ Remplissage : 25%, motif gyroïde



ENDER 3 V3 SE



Motif gyroïde

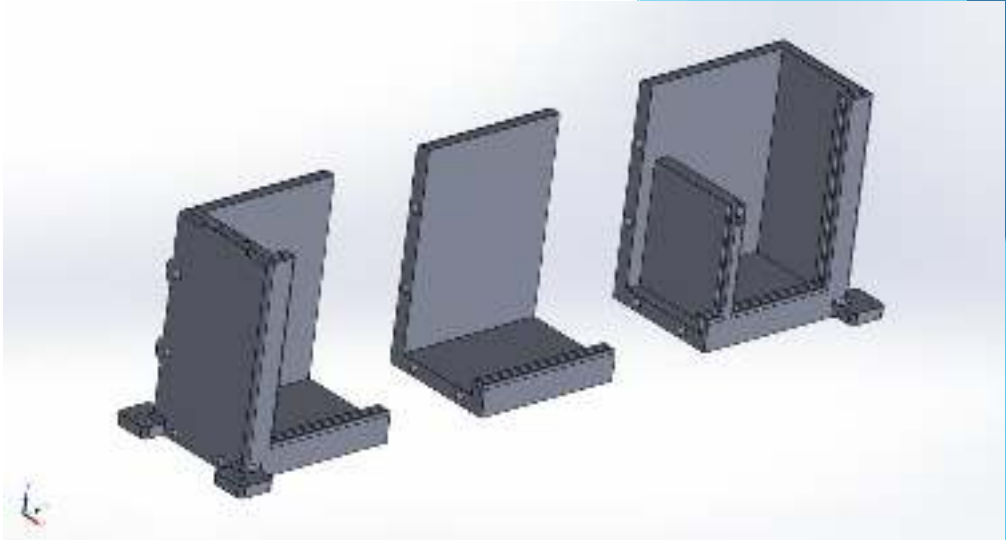
SURVERSE EXPERIMENTALE

Modélisation : SOLIDWORKS 2025

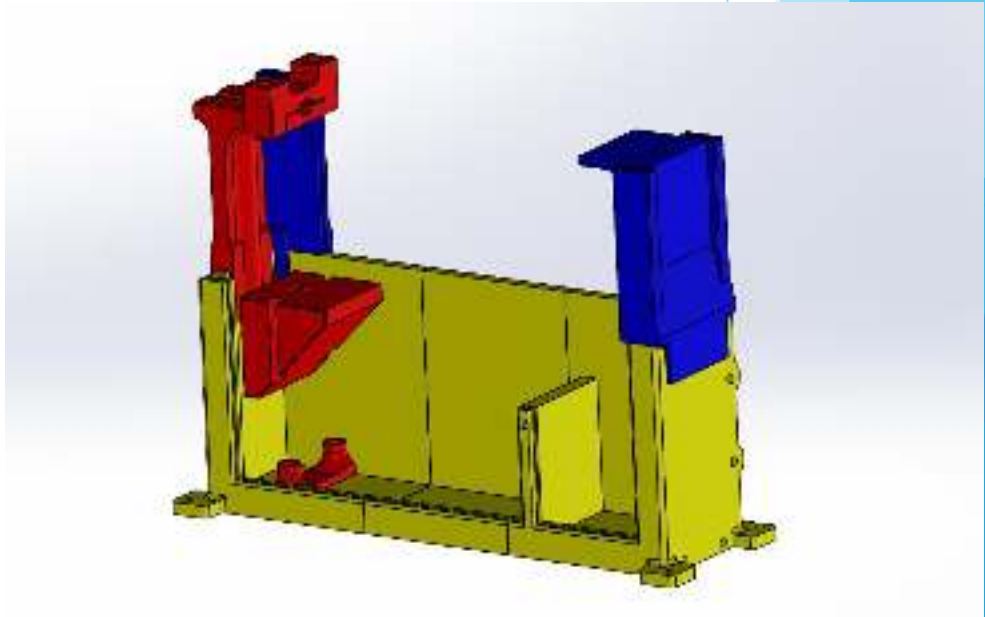
Temps d'impression : 120+ heures

Numéro de l'essai	Hauteur finale (cm)
n°1	1,00
n°2	1,01
n°3	1,02
n°4	1,00
Moyenne	1,00

Niveau d'eau dans le bassin secondaire
après surverse (prototype 2)



Base de la maquette



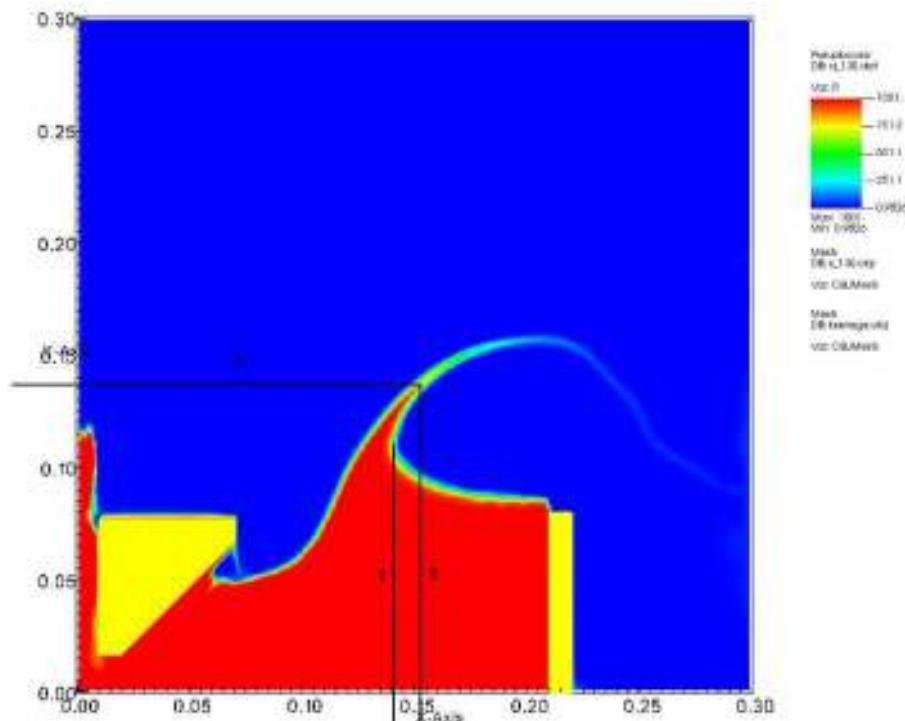
Modélisation 3D

COMPARAISON

Phase 1 : propagation de la vague (cm)

Instant 1 :

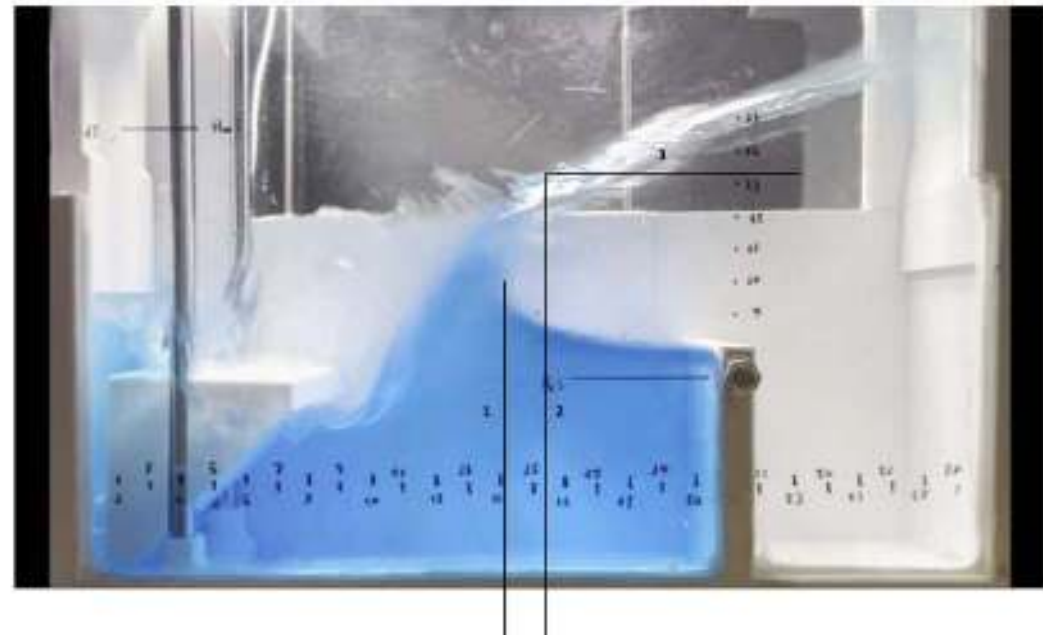
- Numérique : (15,3 ; 13,6)
- Expérimentale : (15,4 ; 13,3)



Surverse numérique : instant 1

Instant 2 :

- Numérique : (17,8 ; 12,9)
- Expérimentale : (18 ; 12,6)

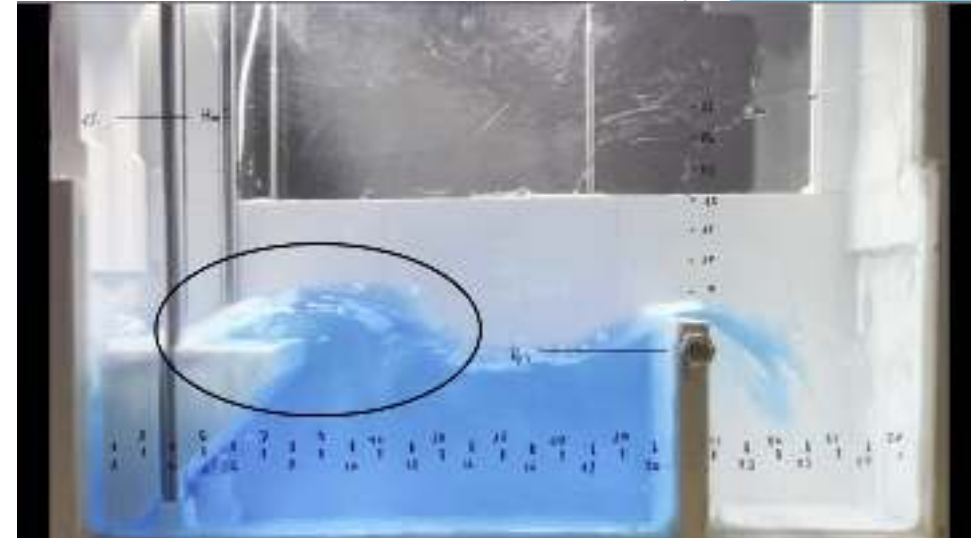
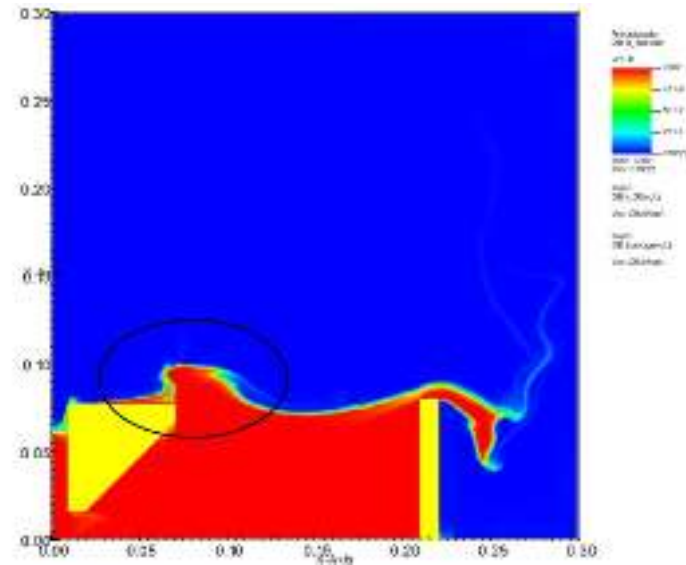


Surverse expérimentale : instant 1

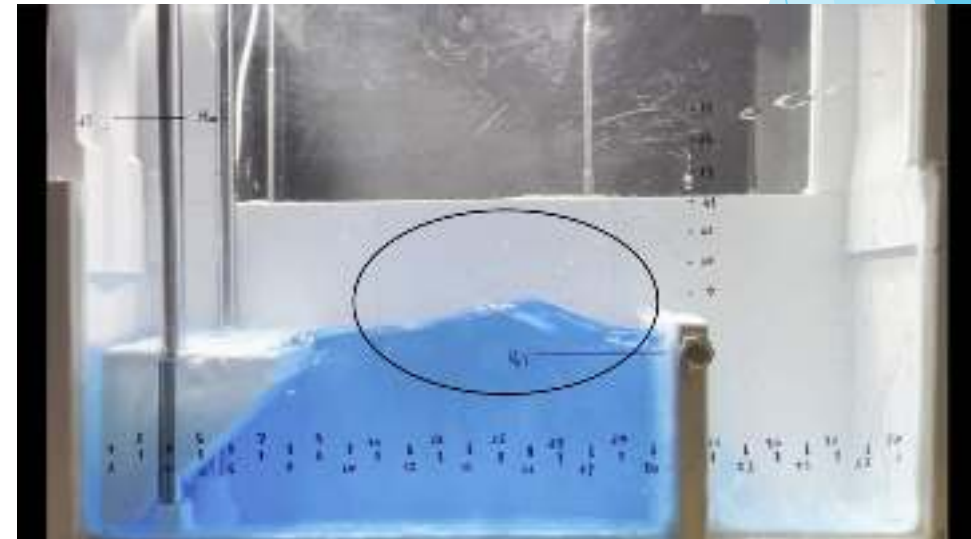
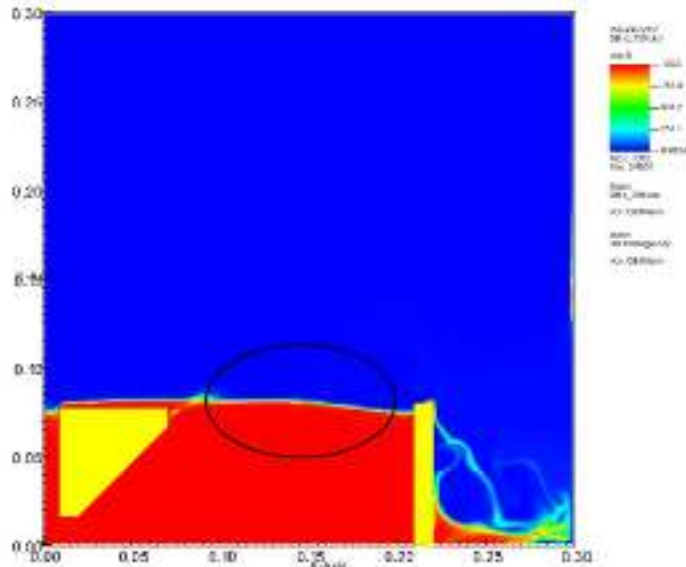
COMPARAISON

Phase 2 : Surverse et retour à la statique

Instant 3



Instant 4



COMPARAISON

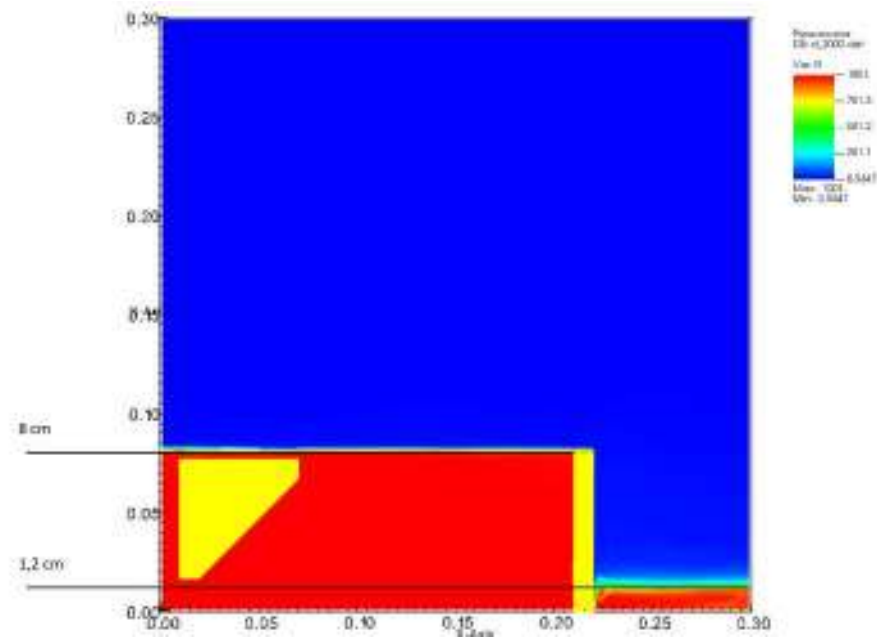
Phase 3 : Comparaison des hauteurs d'eaux finales

Bassin principal :

- ▶ Numérique : 8,00 cm
- ▶ Expérimentale : 7,80 cm
- ▶ Ecart : 2,5 %

Bassin secondaire :

- ▶ Numérique : 1,06 cm (AC)
- ▶ Expérimentale : 1,00 cm
- ▶ Ecart : 3,8 %



Niveau d'eaux finaux de la surverse
numérique

COMPARAISON

Interprétation des écarts :

Approximations du modèle numérique :

- ▶ Fluide non visqueux
- ▶ Approximation de la 2d
- ▶ Incertitudes

Approximations de l'expérimentation :

- ▶ Frottements (parois, rails)
- ▶ Incertitudes

Les écarts sont causés par une plus grande perte d'énergie lors de la propagation de la vague expérimentale comparée à la vague numérique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion :

- ▶ La simulation permet une analyse détaillée et rapide des phénomènes
- ▶ L'expérience valide les résultats mais révèle aussi les limites du modèle
- ▶ Les écarts finaux sont de 2,5% pour le bassin principal et 3,8% pour le bassin secondaire (après correction)

Perspectives :

- ▶ Utiliser un filament et une imprimante plus adaptés
- ▶ Réduire le facteur humain en automatisant le système de lâchage
- ▶ Effectuer des simulations en 3D plutôt que 2D

BIBLIOGRAPHIE

- ▶ Altazin, T., Ersoy, M., Golay, F., Sous, D., et Yushchenko, L. (2016). Numerical investigation of BB-AMR scheme using entropy production as refinement criterion. International Journal of Computational Fluid Dynamics.
- ▶ Birosz, M. T., Ledenyák, D., et Andó, M. (2022). Effect of FDM infill patterns on mechanical properties. Polymer Testing, 113, 107654. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107654>
- ▶ Brébec, J.-M., Guéneau, P., Mallet, J.-M., et al. (2021). Physique MPSI/PTSI (2e éd.). Dunod
- ▶ Golay, F. (2019). Écoulements multi-fluides [Cours]. Seatech.
- ▶ Golay, F. (2026). CERF : Computation, ERosion and Flow V1.0. IMATH, Université de Toulon.
- ▶ Golay, F., et Helluy, P. (2007). Numerical schemes for low Mach wave breaking. International Journal of Computational Fluid Dynamics, 21(2), 69-86. <https://doi.org/10.1080/10618560701343382>

<https://www.youtube.com/@tomabad108> -