

---

## Hydraulic modelling of a network of mining galleries used as a lower reservoir of a pumping-turbining scheme

**Auteur :** Ceresetti, Sara

**Promoteur(s) :** Erpicum, Sebastien; Archambeau, Pierre

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil des constructions, à finalité spécialisée en "civil engineering"

**Année académique :** 2022-2023

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/17718>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---



---

Master's Thesis :  
Hydraulic modelling of a network of mining  
galleries used as a lower reservoir of a  
pumping-turbining scheme

---

Sara Ceresetti



MASTER'S THESIS FOR THE DEGREE OF CIVIL CONSTRUCTION ENGINEER BY SARA  
CERESETTI

**Academic supervisors :** SÉBASTIEN ERPICUM, PIERRE ARCHAMBEAU

**Jury :** SERGE BROUYÈRE, MIROSLAV MARENCE

UNIVERSITY OF LIÈGE - FACULTY OF APPLIED SCIENCES

Academic Year 2022-2023

# Résumé

Ce travail de fin d'études porte sur l'étude hydraulique d'un système de pompage turbinage souterrain réutilisant des anciennes galeries minières. Dans le contexte de crise énergétique actuel, le stockage d'énergie est devenu un élément clé. Ce système permettrait de stocker de l'énergie comme un système classique de pompage turbinage mais avec au moins un des deux réservoirs souterrains. Ce travail se focalise sur l'étude du réservoir qui serait composé d'anciennes galeries minières. L'objectif est l'étude de cet écoulement de manière expérimentale et numérique afin de permettre de mieux comprendre ce qui se passe et avoir une idée plus claire de la façon d'utiliser ce type de système.

L'étude expérimentale porte aussi bien sur le remplissage que sur la vidange du réservoir inférieur. L'étude a ainsi permis de mettre en lumière les différentes phases présentes. Trois grandes phases ont été identifiées lors du remplissage. La première est la propagation du front d'ondes. La deuxième phase est la réflexion de ce front d'ondes. La troisième phase est le remplissage uniforme des conduites. Lors de la vidange, deux grandes phases ont été observées. Dans un premier temps la vidange est conditionnée par la pompe. Cette phase représente 60 % du temps de vidange totale quelque soit le débit de vidange et permet de vidanger 85 % de la hauteur d'eau du réservoir. Dans un second temps, la vidange est uniquement régie par la géométrie des conduites.

Une fois validé par les résultats de laboratoire, le modèle numérique offre la possibilité d'étudier un réservoir de taille réelle. Le réservoir étudié possède un volume de 2 506 990.93 m<sup>3</sup>. Il permet de stocker 2561.7 MWh. Une étude de l'influence du débit sur l'écoulement met en évidence la différence du temps de remplissage ainsi que les différentes amplitudes du front d'ondes. La vitesse de propagation du front n'augmente pas proportionnellement avec le débit. Pour un débit de 250 m<sup>3</sup>/s, la vitesse de propagation peut atteindre plus de 5 m/s. Un autre paramètre étudié est l'influence de la zone d'injection sur la mise en pression de celle-ci. Pour des raisons de stabilité de sol, l'écoulement doit rester à surface libre. Lors de l'arrivée de l'eau dans les conduites, un écoulement critique est observé, avant que la hauteur d'eau n'augmente. La hauteur critique a été étudiée comme une fonction du débit et de la section d'injection. Le diamètre de la section d'injection doit être au moins trois à quatre fois plus grand que le diamètre des conduites pour ne pas mettre en charge cette zone. Lorsque la section d'injection est deux fois plus grande ou de la même taille que la section des conduites, la section sera mise sous pression sauf lorsque les débits sont plus faible, 50 m<sup>3</sup>/s ou 100 m<sup>3</sup>/s par exemple.

L'influence du frottement est également un paramètre important. Les revêtements possibles pour ce type de système peuvent être du béton projeté ou simplement de la roche pure. L'étude est à la base menée sur des conduites en PVC qui n'entraînent presque aucun frottement. Un revêtement en béton entraîne par contre un frottement plus important sans aucune oscillation complémentaire. La vitesse de propagation est quant à elle plus faible. Lorsque le revêtement est composé uniquement de roches, la vitesse de propagation représente la moitié de celle d'un revêtement en PVC. Des oscillations supplémentaires apparaissent également.

**Mots clés :** Pompage-turbinage souterrain, stockage d'énergie, modèle numérique, volumes finis, hydraulique, conduites circulaires, laboratoire, expérimental, anciennes mines

# Abstract

This master's thesis involves the hydraulic study of an underground pumped-turbine system using old mining galleries. In the current energy crisis, energy storage has become a key element. This system would make it possible to store energy in the same way as a conventional pumped-turbine system, but with at least one of the two underground reservoirs. This work focuses on the study of the reservoir, which would be made up of old mining galleries. The aim is to study this flow experimentally and numerically in order to gain a better understanding of what is happening and to have a clearer idea of how to use this type of system.

The experimental study covered both the filling and emptying of the lower tank. The study highlighted the different phases involved. Three main phases were identified during filling. The first is the propagation of the wave front. The second phase is the reflection of this wave front. The third phase is the uniform filling of the pipes. During emptying, two main phases have been observed. In the first phase, emptying is conditioned by the pump. This phase accounts for 60 % of the total emptying time, whatever the emptying rate, and enables 85 % of the tank's head of water to be emptied. In the second phase, emptying is governed solely by the geometry of the pipes.

Once the numerical model has been validated by laboratory results, it can be used to study a full-scale reservoir. The reservoir studied has a volume of  $2,506,990.93 \text{ m}^3$  and can store 2561.7 MWh. A study of the influence of the flow rate on the flow shows the difference in filling time and the different amplitudes of the wave front. The propagation speed of the wave front does not increase proportionally with the flow rate. For a flow rate of  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ , the propagation speed can reach more than  $5 \text{ m/s}$ . Another parameter studied was the influence of the injection zone on its pressurisation. For reasons of soil stability, the flow must remain at a free surface. When water enters the pipes, a critical flow is observed, before the water height increases. The critical head was studied as a function of flow rate and injection cross-section. The diameter of the injection section must be at least three to four times greater than the diameter of the pipes so as not to overload this area. When the injection cross-section is twice as large or the same size as the cross-section of the pipes, the cross-section will be pressurised, except when the flow rates are lower, in the order of  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  to  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

The influence of friction is also an important parameter. Possible linings for this type of system can be shotcrete or simply pure rock. The study is based on PVC pipes, which cause almost no friction. A concrete lining, on the other hand, causes greater friction without any additional oscillation. The speed of propagation is also lower. When the pavement consists entirely of rock, the propagation speed is half that of a PVC pavement. Additional oscillations also occur.

**Key words:** Underground pumping-turbining, energy storage, numerical model, finite volumes, hydraulics, circular pipes, laboratory, experimental, old mines

# Laboratory



FIG. 1 Setup in the laboratory

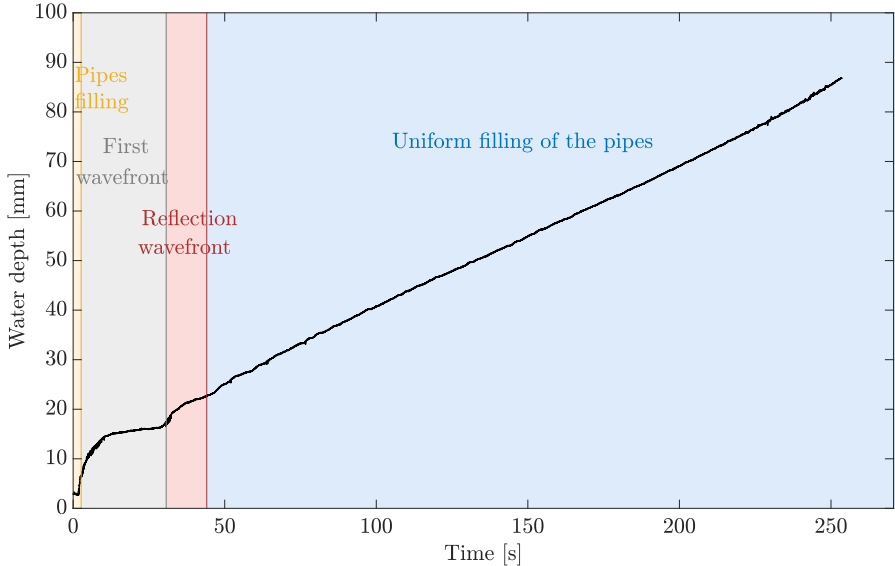


FIG. 2 Evolution of the water level at sensor 1 for the lowest discharge

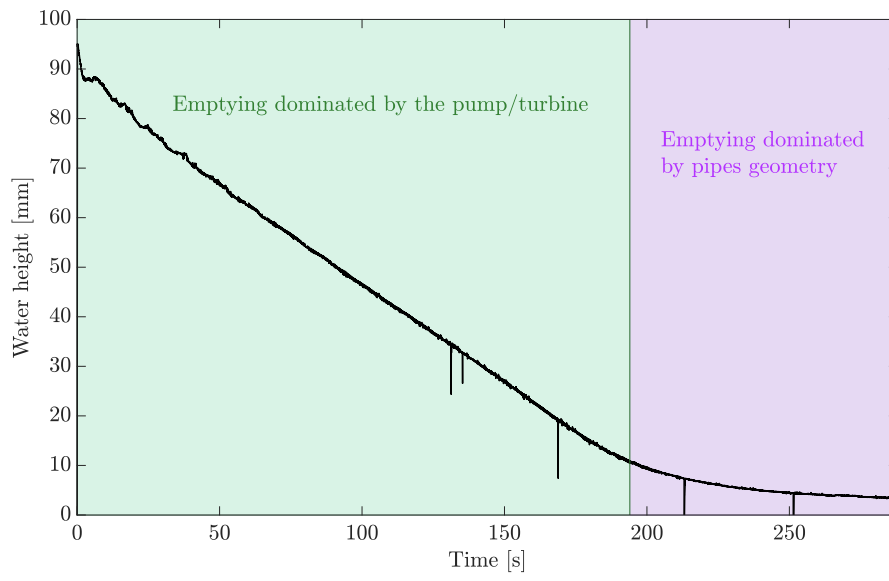


FIG. 3 Evolution of the water depth at sensor four for configuration two

# Numerical model

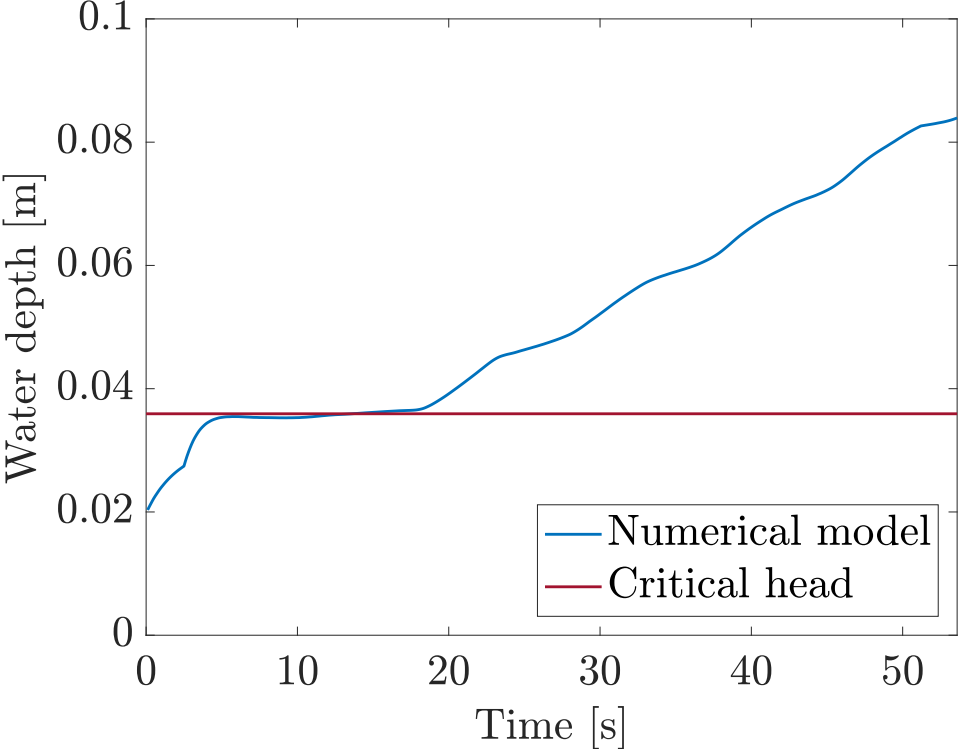


FIG. 4 Numerical curve in the tank compared with the critical head

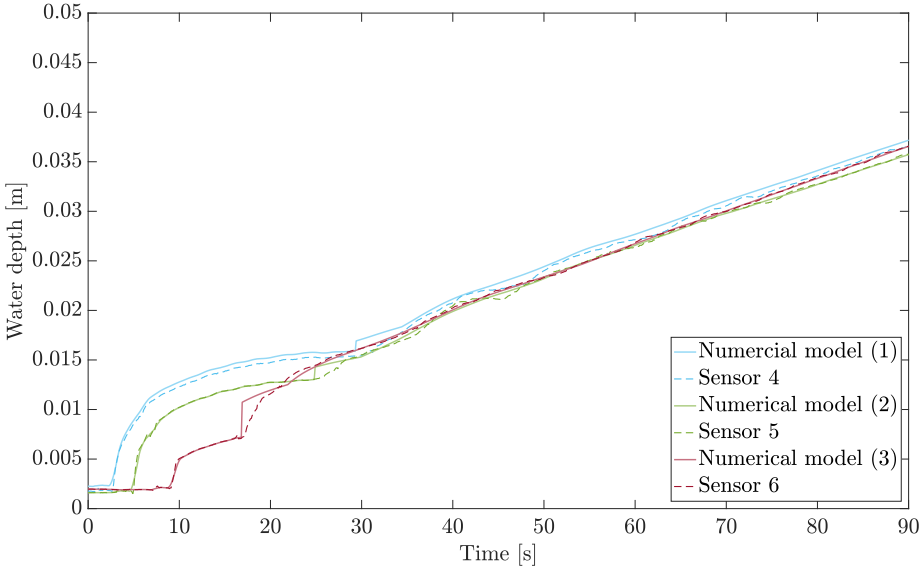


FIG. 5 Comparison between the numerical model and the experimental results

# Analysis

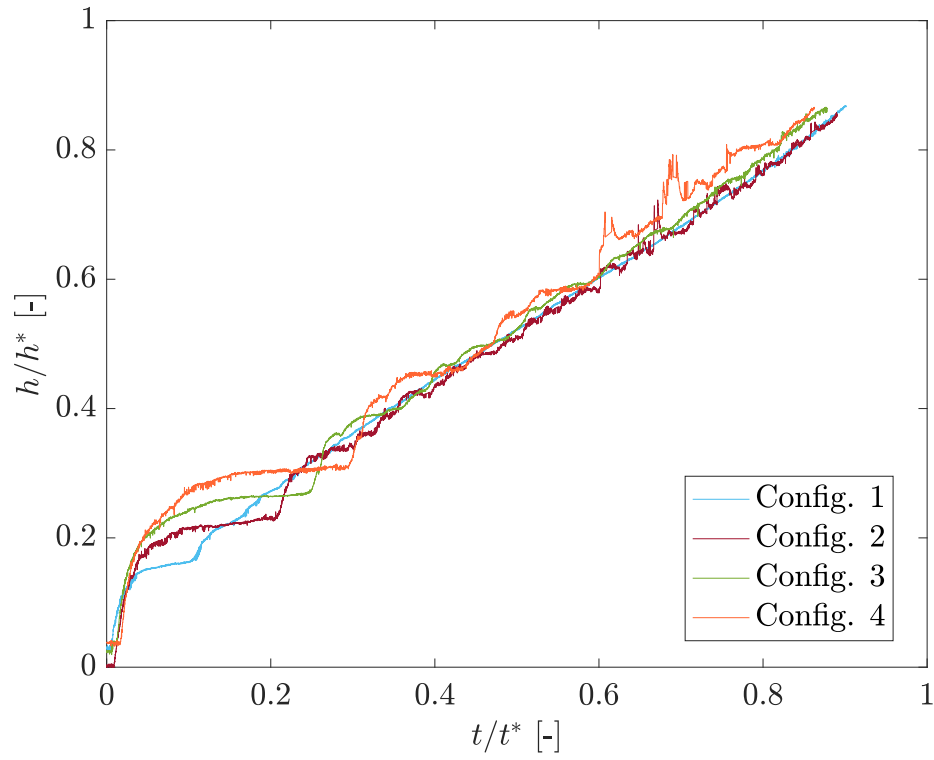


FIG. 6 Comparison between the four configuration at sensor one



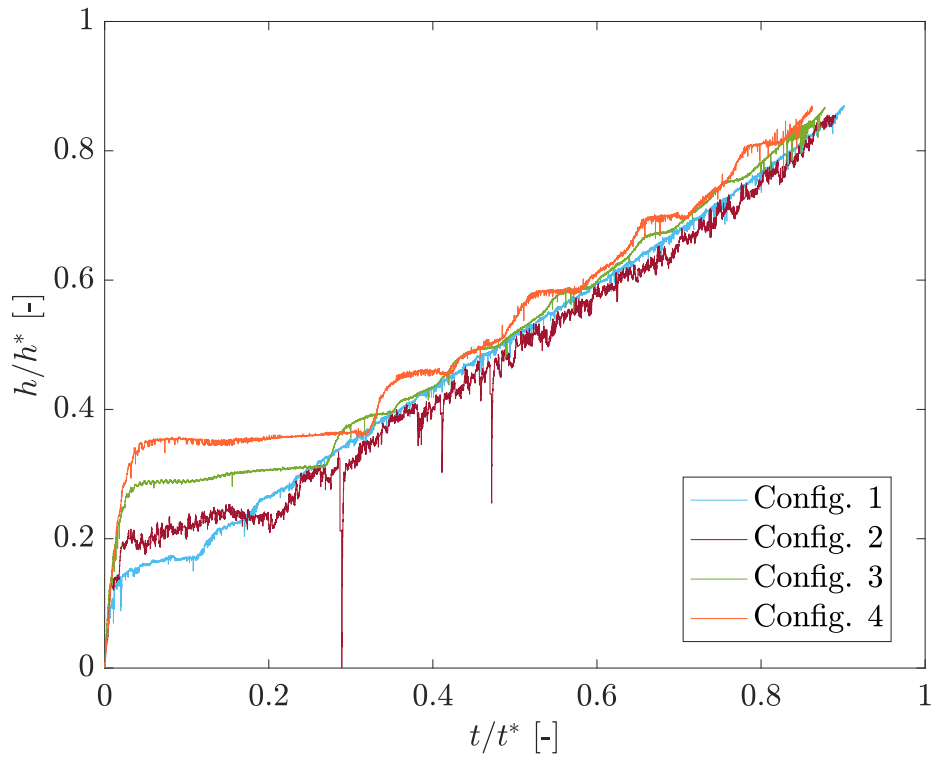


FIG. 7 Comparison between the four configuration at sensor seven

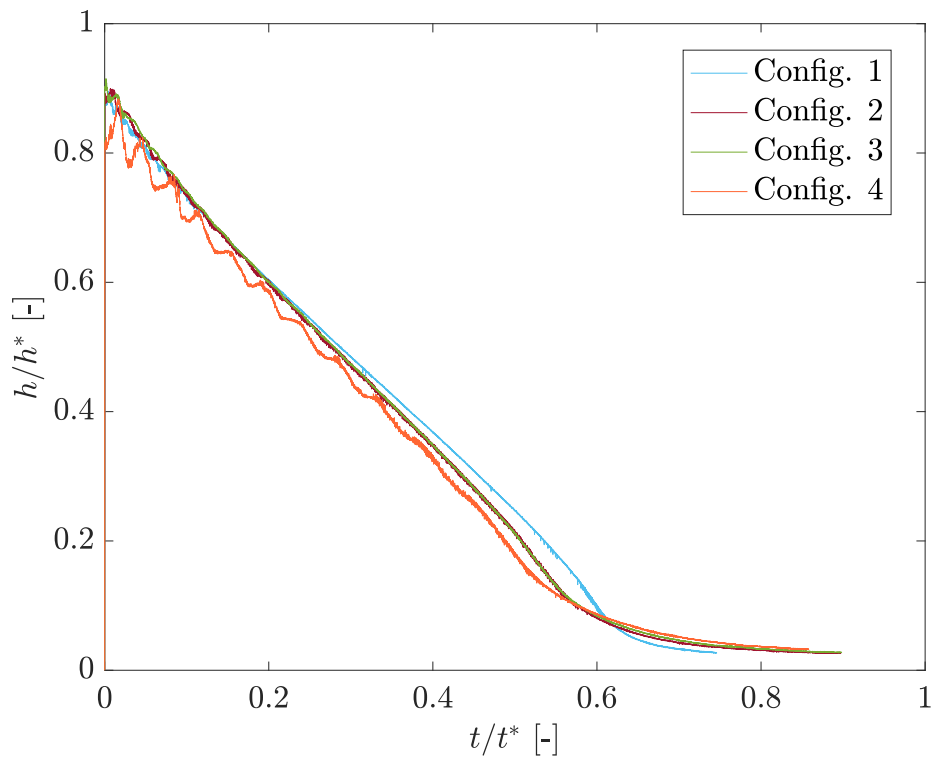


FIG. 8 Comparison between the four configuration at sensor seven for the emptying

# Anlysis on the real size model

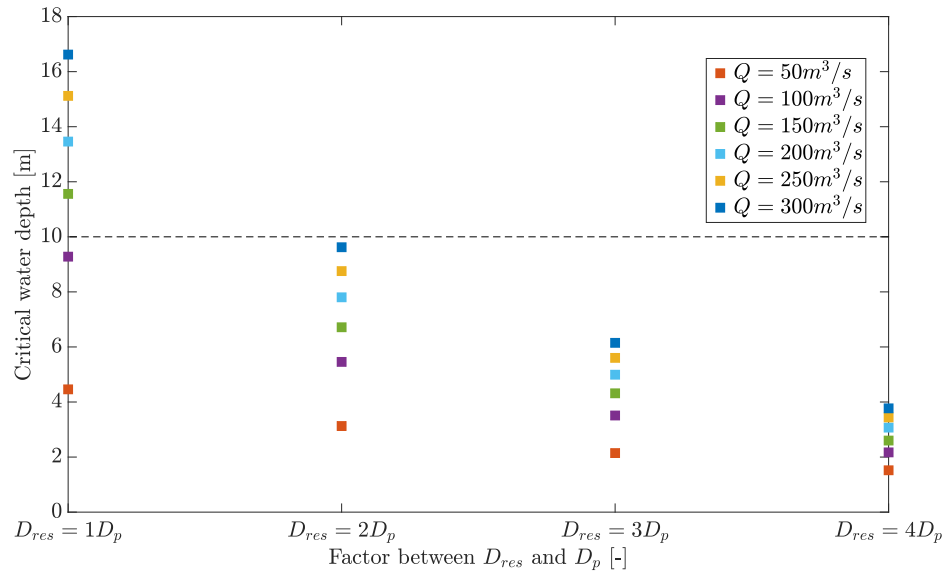


FIG. 9 Influence of the diameter of the injection section on the critical head