

## Modélisation numérique et prédiction du rebond dans les bétons projetés

**Auteur** : Troquay, Julien

**Promoteur(s)** : Courard, Luc

**Faculté** : Faculté des Sciences appliquées

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

**Année académique** : 2023-2024

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/20221>

---

### *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.*

---

# Modélisation numérique et prédiction du rebond dans les bétons projetés

Promoteur : COURARD Luc

## Résumé :

La compréhension et l'optimisation des phénomènes de rebond sont capitales dans l'industrie du béton projeté, en particulier en voie sèche où les pertes par rebond peuvent atteindre des valeurs allant jusqu'à 30%. Une découverte récente pose l'hypothèse qu'une couche *fluide* est activée sur une certaine épaisseur du substrat par l'impact régulier des particules du jet de béton projeté par voie sèche. Ce n'est que quelques années plus tard que cette couche *fluide* a enfin été observée et validée au laboratoire de l'Université Laval grâce à un nouvel essai de pénétration dynamique consistant à projeter une bille en acier sur le substrat : la *catapulte*.

L'objectif principal de ce travail de recherche consiste à développer un modèle numérique représentant l'essai de la *catapulte*. Ce modèle a pour but principal de caractériser les propriétés des couches *fluide* et élasto-plastique du substrat, de déterminer l'influence de la variation de l'épaisseur de la couche *fluide* et d'explorer les conséquences de la prise en compte d'un angle d'incidence de la bille. Le développement de ce modèle est rendu possible par l'utilisation du logiciel de calcul aux éléments finis ABAQUS.

Le développement du modèle numérique a permis de mettre en évidence des résultats très encourageants, insistant sur la nécessité d'explorer encore plus en détails la modélisation de ces phénomènes de rebond dans les bétons projetés. Au niveau des résultats probants, une combinaison module de Young - limite d'élasticité de faibles valeurs a pu être trouvée pour représenter la couche *fluide* et le modèle a mis en évidence l'effet négatif d'un angle d'incidence sur le rebond d'une particule : la dissipation de l'énergie cinétique de la particule en énergie de déformation du substrat. En effet, la perte d'énergie qui pourrait se produire par la création d'un angle relativement faible lors d'une projection à la main peut atteindre 50%. L'automatisation de la mise en place par l'utilisation d'un robot et d'une trajectoire bien définie permet de diminuer le rebond de 50% par rapport à une projection réalisée par un lanceur.

# Numerical modeling and prediction of rebound in shotcrete

Promotor : COURARD Luc

## Abstract :

Understanding and optimizing rebound phenomena is of vital importance in the shotcrete industry, particularly for the dry process where rebound losses can reach values of up to 30%. A recent discovery hypothesizes that a *fluid* layer is activated over a certain substrate thickness by the regular impact of particles from the dry shotcrete spray. It was only a few years later that this *fluid* layer was finally observed and validated in the Laval University laboratory, thanks to a new dynamic penetration test involving the projection of a steel ball onto the substrate : the *catapult*.

The main objective of this research work is to develop a numerical model representing the *catapult* test. The main aim of this model is to characterize the properties of the *fluid* and elasto-plastic layers of the substrate, to determine the influence of varying the thickness of the *fluid* layer, and to explore the consequences of an angle of incidence of the ball. The development of this model is made possible by the use of ABAQUS finite element software.

Development of the numerical model has produced some very encouraging results, highlighting the need to explore the modelling of rebound phenomena in shotcrete in even greater detail. In terms of convincing results, a combination of low Young's modulus and yield strength values was found to represent the *fluid* layer and the model highlighted the negative effect of an angle of incidence on the rebound of a particle : the dissipation of the particle's kinetic energy into substrate deformation energy. Indeed, the loss of energy that could occur through the creation of a relatively small angle during a handheld projection can be as high as 50%. By automating placement using a robot and a well-defined trajectory, rebound can be reduced by 50% compared with projection by a nozzleman.