



Vous êtes cordialement invité(e) à  
la soutenance de thèse de **Manon VITEL**

## **Modélisation thermo-hydraulique de la congélation artificielle des terrains**

**qui aura lieu lundi 14 décembre 2015 à 14 h 30  
à MINES ParisTech, 60 bd Saint-Michel, 75006 Paris – Amphi V334**

devant le jury composé de :

M. Alain MILLARD, Ecole Centrale de Paris	Rapporteur
M. Jean-François THIMUS, Université Catholique de Louvain	Rapporteur
M. Pierre BEREST, LMS, Ecole Polytechnique, Palaiseau	Examineur
M. Frédéric GUERIN, AREVA Mines, Courbevoie	Examineur
M. Ahmed ROUABHI, MINES ParisTech, Fontainebleau	Examineur
M. Michel TIJANI, MINES ParisTech, Fontainebleau	Examineur

RESUME : La congélation artificielle des terrains est une technique d'imperméabilisation et de renforcement des terrains régulièrement employée dans le génie civil et l'industrie minière. Dans un objectif de prédiction fiable de l'évolution de la congélation dans le milieu poreux, cette recherche propose deux nouveaux modèles numériques permettant la simulation du problème global de la congélation artificielle des terrains. Un premier modèle a pour objectif la représentation des mécanismes couplés thermo-hydrauliques associés à la congélation du matériau tandis qu'un deuxième modèle se concentre sur l'estimation des échanges de chaleur entre un puits de congélation et le terrain environnant.

Le modèle thermo-hydraulique, en plus d'être cohérent sur le plan thermodynamique, a été vérifié à la fois par rapport à des solutions analytiques et par rapport à des résultats expérimentaux obtenus à grande échelle en conditions d'écoulements importants. Le modèle puits-terrain adopte une approche innovante par rapport à la bibliographie. Il permet de déterminer les conditions aux limites des modèles de congélation des terrains, difficiles à connaître en pratique, et d'optimiser les conditions opératoires du système grâce à des temps de simulation limités. De par les hypothèses considérées, leur fiabilité et leur praticité d'utilisation, ces deux modèles sont particulièrement adaptés à des sites industriels comme celui de la mine d'uranium de Cigar Lake (Canada) qui présente deux contraintes majeures : la présence potentielle d'écoulements importants et la forte hétérogénéité des terrains à congeler. Dans de tels contextes, des applications d'utilisation conjointe des deux modèles ou non sont présentées par rapport à des cas simples et au cas industriel de Cigar Lake. Ils peuvent ainsi être employés pour prédire l'évolution de la congélation dans le terrain en tenant compte des interactions thermo-hydrauliques, pour optimiser le système de congélation, ou encore pour évaluer l'impact sur la progression des zones congelées de conditions géologiques, hydrogéologiques et opératoires particulières.

**Mots clés** : congélation artificielle des terrains – couplage thermo-hydraulique – modélisation numérique – échanges de chaleur

*Compte tenu des contrôles de sécurité à l'entrée de l'Ecole, merci de bien vouloir signaler votre participation à la soutenance et au pot amical auprès de [dominique.vassiliadis@mines-paristech.fr](mailto:dominique.vassiliadis@mines-paristech.fr) (et de vous munir d'une pièce d'identité qui pourra vous être demandée à l'accueil de l'Ecole)*

*Vous êtes cordialement invité(e) au pot amical qui suivra la soutenance*

## **Thermo-hydraulic modeling of artificial ground freezing**

**Abstract** : Artificial ground freezing is a ground sealing and reinforcement technique regularly used in civil and mining engineering. In order to reliably predict the freezing evolution in the porous medium, this research offers two new numerical models allowing the simulation of the global problem of artificial ground freezing. A first model aims at representing the thermo-hydraulic coupled mechanisms associated with the material freezing while a second model focuses on the estimation of heat transfers between a freeze pipe and the surrounding ground. The thermo-hydraulic model, in addition to being thermodynamically consistent, has been verified both with respect to analytical solutions and large-scale experimental results obtained under conditions of high water flow velocity. The pipe-ground model adopts an innovative approach compared with literature. It allows to determine the boundary conditions of the ground freezing models, not readily available in practice, and to optimize the operating conditions of the system thanks to limited simulation times. By the considered assumptions, their reliability and their practicality, these two models are particularly well adapted to industrial sites like the uranium mine Cigar Lake (Canada) which presents two major constraints: the potential presence of high seepage-flow velocities and the strong ground heterogeneity. In these contexts, applications of the two models, jointly used or not, are presented with respect to simple cases and to the industrial case of Cigar Lake. They can be employed to predict the freezing evolution in the ground considering the thermo-hydraulic interactions, to optimize the freezing system, or to evaluate the impact of specific geological, hydrogeological and operating conditions on the freezing progress.

**Keywords** : artificial ground freezing – thermo-hydraulic coupling – numerical modeling – heat exchanges