

**THESE**

Présentée devant

**L'UNIVERSITE PAUL SABATIER**

En vue de l'obtention du

**DOCTORAT DE L'UNIVERSITE PAUL SABATIER**

Spécialité GENIE CIVIL

Par

**George WARDEH**

**LES PHENOMENES DE GEL-DEGEL DANS LES MATERIAUX A BASE DE  
TERRE CUITE ET LES CONSEQUENCES SUR LEUR DURABILITE.  
EXPERIENCES ET MODELISATION**

Soutenu le 12 décembre 2005 devant la commission d'examen :

Rapporteurs	<b>M. George W SCHERER</b>	Princeton University
	<b>M. Guy BASTIAN</b>	IUT SAINT-NAZAIRE
	<b>M. Jean-François DAIAN</b>	LTHE-ENSHM Grenoble
Examineurs	<b>M. Olivier COUSSY</b>	LMSGC – LC Ponts et Chaussées
	<b>M. Gilles PIJAUDIER-CABOT</b>	Ecole Centrale de Nantes
Invité	<b>M. Guy LAURENT</b>	CTTB
Directeur de thèse	<b>M. Bernard PERRIN</b>	Université PAUL SABATIER

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, INSA-UPS

135, Avenue de Rangueil 31077 Toulouse Cedex 4 France

Nom : **WARDEH**

Prénom : **George**

*Sujet de la thèse :*

**Les phénomènes de gel-dégel dans les matériaux à base de terre cuite et les conséquences sur leur durabilité. Expériences et modélisation.**

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier Toulouse III, spécialité « Génie Civil »

Soutenue le 12 décembre 2005.

**N° d'ordre :**

---

**Résumé de la thèse :**

Le but de la thèse est d'expertiser le projet de norme européenne de résistance des tuiles, à base de terre cuite, aux cycles de gel-dégel. Dans ce projet les tuiles sont recouvertes d'un tissu afin de créer des dissymétries dans les conditions de frontières. Un tel procédé implique des changements importants de comportement des produits testés. L'expertise passe donc ainsi par une meilleure compréhension de l'ensemble des phénomènes physiques mis en jeu.

Après un rappel ces principaux phénomènes physiques, sont décrits le test et le comportement des produits sélectionnés pour cette étude.

Les diverses propriétés des milieux étudiés sont ensuite présentées afin de pouvoir apprécier la contribution de chacune d'entre elles au comportement des tuiles.

La connaissance de la cinétique de formation de la glace a été étudiée par la technique de la calorimétrie basse température. Pour les matériaux étudiés les phénomènes de surfusion sont dominants et ne permettent donc pas d'exploiter la répartition porométrique. Une méthode d'utilisation des résultats a alors été proposée.

L'observation des déformations et de leur évolution au cours des cycles a permis d'identifier la pression générée à l'intérieur de la porosité lors de la formation de la glace. Par une méthode inverse les parts dues à la phase liquide et à la pression de cristallisation ont alors été calculées. Ces résultats ont pu être obtenus pour toutes les configurations étudiées.

Un modèle physique thermo-hydro-mécanique permettant de réaliser les couplages entre les différents mécanismes à l'origine des pressions internes développées dans les matériaux a alors été mis en œuvre. Ce modèle a permis de bien analyser l'influence des divers paramètres que sont, la répartition porométrique, la perméabilité, le module d'élasticité, les conditions aux frontières. Dans son état actuel le modèle ne reproduit pas complètement les observations expérimentales, mais permet de bien identifier les points à préciser et approfondir.

---

**Mots clés:**

Gel-dégel, Calorimétrie basse température, Répartition porométrique, Terre cuite, Modélisation thermo-hydro-mécanique.

---

*Thèse de Doctorat préparée au Laboratoire Mécanique et Durabilité des Constructions (L.M.D.C.) INSA/UPS Centre de Génie Civil - Complexe scientifique de Rangueil 31062 Toulouse Cedex4*

# THESIS

## Freezing-thawing phenomena in fired clay based materials and the consequences on their durability. Experiments and modelling.

---

### ABSTRACT

The aim of the thesis is to evaluate the European frost resistance standard of fired clay based materials during freezing-thawing cycles.

In this project, the tiles are covered with a cloth in order to create a boundary conditions dissymmetry. Such a process implies significant changes of the behaviour of the tested products.

The evaluation thus goes through a better comprehension of the whole physical phenomena involved during the ice formation process.

After a recall of these principal intervening physical phenomena, the test and the behaviour of the products selected for this study are described.

The various properties of the studied mediums are then presented in order to be able to appreciate the contribution of each of them on the behaviour of the tiles.

Ice formation kinetics was studied with the low temperature calorimetry techniques. For the studied materials the phenomena of under-cooling are dominant and thus do not allow to exploit the pore size distribution. A method to use the results was then proposed.

The observation of the deformations and their evolution during the cycles allowed to identify the pressure generated inside the porosity during ice formation. By an inverse method, the parts due to the liquid phase and crystallization pressure were then calculated. These results could be obtained for all the studied configurations.

A thermo-hydro-mechanics numerical code allowing the couplings between the various mechanisms at the origin of the internal pressures developed in materials was then implemented. This code allowed to better analyse the influence of the various parameters being, the pore size distribution, the permeability, the modulus of elasticity and, the boundary conditions. In its current state, the model does not reproduce sufficiently satisfying the experimental observations, but allows to identify the points to be specified and developed.

---

### Key words:

Freezing-thawing; low temperature calorimetry; pore size distribution; thermo-hydro-mechanical modelling.