



Preliminary Version



DOCTORAL THESIS

NANTES UNIVERSITY

CRACOW UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY

DOCTORAL SCHOOL N° 602

*Sciences de l'Ingénierie et des
Systèmes*

Spécialité : Génie Civil

DOCTORAL SCHOOL OF CRACOW UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

*Specialization: Civil Engineering, Geodesy and
Transport*

Patrycja DUŻY

**Study of the mechanical behaviour and durability
of geopolymer concrete exposed to chlorides**

The thesis to be presented in Saint-Nazaire on December 4, 2025

Research unit (Nantes University):

Research unit (Cracow University of Technology):

GeM - UMR CNRS 6183

Faculty of Civil Engineering

Reviewers :

Assia DJERBI

Andrzej GARBACZ

Łukasz KOTWICA

Research Scientist, Gustave Eiffel University, France

Professor, Warsaw University of Technology, Poland

Associate Professor, University of Science and Technology (AGH), Poland

Members of Jury:

Examineurs:

Abdelhafid KHELIDJ

Jerzy PAMIN

Tomasz ZDEB

Professor, Nantes University, France

Professor, Cracow University of Technology, Poland

Associate Professor, Cracow University of Technology, Poland

Supervisor (Poland):

Izabela HAGER

Associate Professor, Cracow University of Technology, Poland

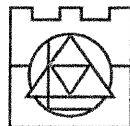
Supervisor (France):

Ouali AMIRI

Professor, Nantes University, France

Co-Supervisor (France): Marta CHOINSKA COLOMBEL

Associate Professor, Nantes University, France



Titre : Etude du comportement mécanique et de la durabilité du béton géopolymère exposé aux chlorures

Mots clés : Matériaux activés par les alcalis, agression des ions chlorure, perméabilité aux gaz, durabilité des AAC, effet de l'âge sur les propriétés des AAC

Résumé : Les matériaux alcali-activés (AAM) suscitent un intérêt croissant dans le domaine de la construction en tant qu'alternatives prometteuses aux liants traditionnels à base de ciment, notamment pour leur potentiel de réduction de l'empreinte carbone. Cette thèse de doctorat a pour objectif principal d'étudier la durabilité de ces matériaux, en particulier dans le cas d'exposition aux chlorures.

Les formulations étudiées reposent sur l'utilisation de cendres volantes et de laitier de haut fourneau, associés à deux types de granulats : le basalte et la dolomite.

Un programme expérimental complet a été mis en place pour analyser le comportement mécanique des AAM, ainsi que leur résistance à la pénétration des ions chlorures dans des conditions agressives, telles que le marnage naturel et différents essais en laboratoire : migration et diffusion des chlorures, ainsi que brouillard salin. Par ailleurs, une étude de la perméabilité aux gaz a été menée dans différentes conditions afin de compléter les investigations sur la durabilité. La microstructure des matériaux a également été analysée par microscopie électronique à balayage (SEM) et par porosimétrie au mercure (MIP), notamment afin d'identifier les effets du traitement thermique.

Les observations SEM ont mis en évidence que la présence de laitier influence la formation de fissures dans la matrice, un phénomène attribué à un processus de prise et de durcissement plus rapide comparé aux mélanges à base de cendres volantes. Malgré ces observations, les résultats suivants ont montré qu'une augmentation de la teneur en laitier améliore significativement la résistance à l'agression par les chlorures. Ce comportement est dû à des modifications physiques et chimiques de la microstructure, notamment une diminution de la porosité totale et une meilleure capacité de fixation des chlorures.

En complément, une autre étude s'est concentrée sur l'impact du chargement mécanique appliquée et les effets des fissures sur la perméabilité au gaz du matériau. Il a été démontré que le type de granulat a une influence importante, en particulier dans le cas des matériaux fissurés, ce qui met en évidence le rôle significatif de la zone de transition interfaciale (ITZ) entre la matrice et les granulats.

Title: Study of the mechanical behaviour and durability of geopolymer concrete exposed to chlorides

Key words: Alkali activated materials, Chloride ions aggression, Gas permeability, AAC durability, Age effect on AAC properties

Abstract: Alkali-activated materials (AAM) are generating growing interest in the construction sector as sustainable alternatives to traditional cement-based binders, particularly due to their potential to reduce carbon footprint. The main objective of this doctoral thesis is to investigate the durability of these materials, especially when exposed to chloride aggression.

The studied formulations are based on fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GGBFS), combined with two types of aggregates: basalt and dolomite.

An extensive experimental program was conducted to evaluate both the mechanical performances of the AAMs and their resistance to chloride ion penetration under aggressive conditions, such as natural tidal cycles exposure and laboratory tests: chloride migration and diffusion, as also salt spray exposure. Additionally, the gas permeability study was carried out under different conditions in order to complete durability investigations. The microstructural characteristics were analyzed using scanning electron microscopy (SEM) and mercury intrusion porosimetry (MIP), including the effect of thermal treatment.

SEM observations highlighted that the presence of slag affects matrix cracking, a phenomenon attributed to a faster setting and hardening process compared to fly ash-based mixtures. Despite of these observations, the following results showed that increasing the slag content significantly improves resistance to chloride aggression. This behaviour is due to physical and chemical changes in microstructure, including the decrease of total porosity and improved capability of chloride ions binding.

In parallel, another study was focused on the impact of applied load and the effects of cracks on material gas permeability. It was demonstrated that the type of aggregate has an important influence, particularly in cracked materials, highlighting the role of the interfacial transition zone (ITZ) between the matrix and coarse aggregate.

