

UNIVERSITE TUNIS EL MANAR



المدرسة الوطنية للمهندسين بتونس

École Nationale d'Ingénieurs de Tunis

Laboratoire de Génie Civil



Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse
Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions



THÈSE DE DOCTORAT EN COTUTELLE

Présentée pour l'obtention du grade de

DOCTEUR EN GÉNIE CIVIL

Par

HAYET HELALI SFAR FELFOUL

ÉTUDE DU PHOSPHOGYPSE DE SFAX (TUNISIE) EN VUE D'UNE VALORISATION EN TECHNIQUE ROUTIÈRE

Sous la direction de Pierre CLASTRES et Mongi BEN OUEZDOU

Soutenue le 20 décembre 2004

devant la Commission d'Examen

Président
Encadreur
Encadreur
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Invité

Hichem SMAOUI
Pierre CLASTRES
Mongi BEN OUEZDOU
Micheline MORANVILLE
Foued ZARGOUNI
André CARLES GIBERGUES
Aboulhassen CHARFI

Professeur
Professeur
Maître de Conférences
Professeur
Professeur
Professeur Emérite
Directeur de recherche.

Hayet HELALI SFAR FELFOUL

Étude du phosphogypse de Sfax (Tunisie) en vue d'une valorisation en technique routière

Thèse de doctorat en cotutelle ENIT / INSA de Toulouse

RÉSUMÉ

Le phosphogypse faisant l'objet de cette recherche est un sous-produit de la fabrication, par procédé au dihydrate, de l'acide phosphorique de l'usine de Sfax. Une importante revue bibliographique montre que le phosphogypse est un déchet mondialement connu, dont la composition et les caractéristiques dépendent du minerai et du procédé de fabrication et pour lequel on constate des difficultés de valorisation. La caractérisation du phosphogypse de Sfax a permis de découvrir qu'il s'agit d'un matériau dont les caractéristiques évoluent peu en fonction de la durée de son stockage. Il est peu radioactif, comparé à d'autres phosphogypses dans le monde, mais présente lui aussi un très mauvais comportement à l'immersion.

L'étude de l'effet sur les propriétés géotechniques et mécaniques d'une neutralisation par un sable calcaire et d'un traitement au ciment, indispensables pour une utilisation routière, montre une solidification du mélange et une amélioration des caractéristiques mécaniques, une diminution de la solubilité et un piégeage des impuretés limitant ainsi leur relargage dans l'environnement.

L'étude de la durabilité dans les conditions climatiques locales (sud tunisien) de la formulation retenue est menée en suivant un protocole expérimental établi à partir de données météorologiques et simulant les événements pluvieux d'une année sur une période de trois mois. Les résultats obtenus montrent une bonne durabilité pour la formulation ayant subi la pluviométrie du sud tunisien, comparée à celle soumise au climat du nord, pour laquelle on observe une perte de résistance à 90 jours d'âge.

Les caractéristiques minimales imposées par le Guide Technique des Traitements des Sols (GTS, 1997) sont vérifiées sur la formulation finale choisie.

MOTS-CLÉS : Phosphogypse, dihydrate, valorisation, technique routière, formulation, radioactivité, résistances, ciment, pluviométrie, durabilité.

JURY :

<u>Président</u>	: H. SMAOUI
Encadreur	: P. CLASTRES
Encadreur	: M. BEN OUEZDOU
Rapporteur	: Mme M. MORANVILLE
Rapporteur	: F. ZARGOUNI
Examinateur	: A. CARLES GIBERGUES
Invité	: A. CHARFI

Thèse préparée au LGC, ENIT, BP 37, 1002 Tunis Belvédère et au LMDC, INSA de Toulouse, Centre de Génie Civil, complexe scientifique de Rangueil 31077 Toulouse Cedex

TUNISIAN PHOSPHOGYPSUM STUDY FOR A ROAD CONSTRUCTION VALORIZATION

ABSTRACT

Phosphogypsum, subject of this research, is a by-product, by dehydrate process, of phosphoric acid production of Sfax factory. An important bibliographical review shows that phosphogypsum is a world-wide known waste, for which the composition and the characterisation depend on the ore and on the manufacture process, for which we note difficulties in its use. The characterisation of the Sfax phosphogypsum has allowed finding out that it is a material for which the characteristics change not so much during its storage. It has a low radioactivity level, compared to other phosphogypsum in the world, but it presents also a very bad behaviour to immersion.

The study of the effect on the geotechnical and mechanical properties for a neutralisation by limestone sand and by a cement treatment, essential for a road use, show mixture solidification, an improvement in its mechanical characteristics, a reduction in the solubility, and impurities trapping thus limiting their spill in the environment.

The study of the durability in the local climatic conditions (south of Tunisia) of the retained formulation is conducted following an experimental program established on the basis of the meteorological data and simulating rainy events of a year over a period of three months. The obtained results show a good durability for the formulation based on rainfall measurements of the Tunisian south, compared to the one submitted to the north climate, for which we observe a resistance loss at age of 90 days.

The minimal characteristics imposed by the technical guide for soil treatments (GTS, 1997) are satisfied for the final chosen formulation.