

**UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH  
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MAHRAZ  
FES**



**AVIS DE SOUTENANCE DE THESE**

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mme(elle): **NAAMANE Sara**

Soutiendra : **le 09/02/2019** à **10H**

**Lieu : Centre de visioconférence-FSDM**

**une thèse intitulée :**

*Contribution à la valorisation des boues d'épuration des eaux usées dans la fabrication du ciment*

**En vue d'obtenir le Doctorat**

**FD :** Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable (RNE2D)

**Spécialité :** Chimie - physique appliquée

**Devant le jury composé comme suit :**

	<b>NOM ET PRENOM</b>	<b>GRADE</b>	<b>ETABLISSEMENT</b>
<b>Président</b>	Pr. BENLEMLIH Mohammed	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès
<b>Directrice de thèse</b>	Pr. RAIS Zakia	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès
<b>Rapporteurs</b>	Pr. ABRIAK Nor- Edine	PES	Ecole des Mines de Douai- France
	Pr. SOUABI Salah	PES	FST- Mohammedia
	Pr. TALEB Mustapha	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès
<b>Membres</b>	Pr. BENZERZOUR Mahfoud	PH	Ecole des Mines de Douai- France
	Pr EL HAJI Mounia	PES	ENSEM - Casablanca
	Pr. TALEB Abdeslam	PES	FST- Mohammedia
<b>Invité</b>	Pr. AINANE Tarik	PA	EST- Khénifra

## **Résumé**

Les boues issues, de traitement des eaux usées, sont des déchets volumineux nuisibles pour l'environnement et néfastes pour la santé humaine. Ce travail s'intéresse à la valorisation de ces boues dans la fabrication du ciment CPJ<sub>45</sub>. Ce qui permettra, non seulement de se débarrasser de ce déchet mais de réduire en plus le coût, l'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, notamment le gaz carbonique, produits lors de la fabrication du ciment et de diminuer la consommation des ressources naturelles.

Pour ce faire, les boues d'épuration des eaux usées ont été utilisées à l'état brut et après un traitement thermique à différentes températures (300, 400, 500, 600, 700, 800 et 900°C). Elles ont été caractérisées chimiquement et physiquement pour être appliquées comme ajout secondaire au clinker. Le ciment élaboré avec un pourcentage de boues donnant les meilleures performances a été testé dans la préparation d'un béton ordinaire après avoir validé statistiquement les résultats obtenus. Une évaluation environnementale de ces boues et des ciments à boues a eu lieu par des essais de lixiviation.

La caractérisation physico-chimique des boues séchées et traitées thermiquement montre que la boue à l'état brute contient une quantité importante d'oxydes de tailles différentes et plusieurs minéraux et métaux, ce qui a préconisé leur utilisation dans le ciment. Cependant, leur calcination influence la microstructure des boues d'épuration et augmente leur activité pouzzolanique qui atteint son maximum à 800 °C. L'évaluation environnementale de ces boues a révélé que la majorité des éléments présents dans la boue ont été solubilisés, principalement les éléments traces métalliques suivants: Cr, Mo, Ba, Sr, V, Zn et Al.

Les boues, séchées et traitées, ont été incorporées dans le ciment CPJ<sub>45</sub>, par substitution partielle du clinker à différents pourcentages (5, 10, 15 et 20%) afin d'évaluer leur influence sur les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du ciment, et sur le comportement à la lixiviation des mortiers de ciment à boues écrasés et monolithiques. Il ressort de cette étude que les propriétés physiques des ciments à boues, séchées ou traitées, ont été améliorées par rapport au ciment témoin. Cependant, les propriétés mécaniques des mortiers ont été affectées négativement par la présence de l'eau absorbée et de la matière organique dans les boues d'épuration séchées et calcinées dans la gamme de température 300-500 °C. Au-delà de 600°C, les résistances à la compression des ciments à boue sont dans la norme de qualité d'un ciment CPJ<sub>45</sub>. En effet, le ciment à boue ayant les meilleurs résultats mécaniques est celui produit par la substitution de 10% de clinker par les boues d'épuration calcinées à 700°C. Les résultats ainsi obtenus ont été prédis et validés statistiquement en utilisant la méthode de régression linéaire multiple (MLR)

L'évaluation environnementale de ce ciment a montré un comportement à la lixiviation satisfaisant car les métaux lourds présents dans la boue ont été immobilisés avec succès dans la matrice de ciment.

Le béton élaboré avec le ciment à boue calcinée à 700 °C a enregistré une résistance à la compression comparable à celle du béton ordinaire et d'excellentes propriétés de durabilité pour un environnement agressif par rapport au ciment Portland ordinaire.

### **Mots clés :**

Valorisation ; Boue d'épuration des eaux usées ; Ciment ; Propriétés physico-chimiques et mécanique, Etude environnementale, Béton, Durabilité.

## CONTRIBUTION TO THE VALORIZATION OF SEWAGE SLUDGE IN CEMENT MANUFACTURING

### **Abstract :**

Sewage sludge produced from wastewater treatment is a bulky waste that is harmful to the environment and human health. This work focuses on the valorization of this sludge in the manufacturing of cement CPJ<sub>45</sub>. This will not only get rid of this waste but also reduce the cost, energy and emissions of many gases, especially carbon dioxide, produced during the manufacturing of cement and reduce consumption of natural resources.

Thus, the wastewater treatment sludge was used in the raw state and after a thermal treatment at different temperatures (300, 400, 500, 600, 700, 800 and 900 °C). Then, they have been chemically and physically characterized to be applied as a secondary addition to clinker. The cement produced with a percentage of sludge giving the best performance was tested in the preparation of ordinary concrete after a statistical validation of the results obtained. An environmental assessment of these sludges and cements containing these wastes was conducted by leaching tests.

The physico-chemical characterization of the dried and heat-treated sludge shows that the sludge in the raw state contains a large quantity of oxides of different sizes and several minerals and metals, which recommended their use in cement. However, their calcination influences the microstructure of sewage sludge and increases their pozzolanic activity which reaches its maximum at 800 °C. The environmental assessment of these sludges revealed that the majority of the elements present in the sludge were solubilized, mainly the following metallic trace elements: Cr, Mo, Ba, Sr, V, Zn and Al.

The sludge, dried and treated, was incorporated into the CPJ<sub>45</sub> cement, by partial substitution of the clinker at different percentages (5, 10, 15 and 20 %) in order to evaluate their influence on the physico-chemical and mechanical characteristics of the cement, and the leaching behavior of crushed and monolithic mortars containing these sludges. This study shows that the physical properties of the sludge-cements, whether dried or treated, have been improved compared to the control cement. However, the mechanical properties of the mortars were negatively affected by the presence of absorbed water and organic matter in the dried and calcined sewage sludge at 300-500 °C temperature range. Above 600 °C, the compressive strengths of sludge-cements are within the quality standard of a CPJ<sub>45</sub> cement. Indeed, the sludge-cement having the best mechanical results is that produced by the substitution of 10% of clinker by the sewage sludge calcined at 700 °C. The results obtained were predicted and validated statistically using the Multiple Linear Regression (MLR) method.

The environmental assessment of this cement showed a satisfactory leaching behavior as the heavy metals present in the sludge were successfully immobilized in the cement matrix.

Concretes made from cements containing calcined sludge at 700 °C have a comparable compressive strength to ordinary concrete and excellent durability properties for an aggressive environment compared to the ordinary Portland cement.

### **Key Words :**

Valorization; Wastewater treatment sludge; Cement; Physico-chemical and mechanical properties, Environmental study, Concrete, Durability.