



## AVIS DE SOUTENANCE

## THESE DE DOCTORAT

Présentée par

**Mr : RAJAA CHRIFI**

Discipline : Physique

Spécialité : Systèmes intelligents et Informatique

**Sujet de la thèse :** Etude, conception et réalisation d'un système de discrimination entre le phosphate et le stérile, par imagerie spectrale.

**Formation Doctorale :** Sciences de l'ingénieur Sciences Physiques, Mathématiques et Informatique.

**Thèse présentée et soutenue le samedi 14 janvier 2023 à 10h à l'Amphi F à la Faculté des Sciences et**

**Technique de Fès devant le jury composé de :**

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Ali AHAITOUF	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Président
Yassine RUCHEK	PES	Université de Technologie de Belfort Montbéliard France	Rapporteur
El Habib NFAOUI	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mehraz de Fès	Rapporteur
Younes LAKHRISSI	PH	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Rapporteur
Driss EL AZZAB	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Examineur
Najia ES-SBAI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Directeurs de thèse
Anass MANSOURI	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	

François BOURZEIX	Mascir Rabat	Invité
Abdelhadi KHALDOUN	Groupe OCP	Invité

**Laboratoire d'accueil :** Laboratoire SIGER

**Etablissement :** Faculté des Sciences et Techniques de Fès.



## Résumé de la thèse

L'intérêt porté à l'utilisation de l'analyse spectroscopique et de l'imagerie hyperspectrale a connu une croissance notable, avec l'accessibilité grandissante des différentes technologies spectroscopiques. En effet, en raison de leur aspect informatif élevé, de leur grande couverture spectrale, et de leur aspect non destructif permettant la reproductibilité des tests, ces technologies ont gagné en popularité dans de nombreux domaines de recherche. La gestion des géo-ressources s'avère ainsi un domaine d'application idéale pouvant se servir des vertus des technologies spectroscopiques.

Les travaux de cette thèse traitent le problème de discrimination du phosphate et du stérile par données spectrales, à base de méthodes et algorithmes de l'intelligence artificielle. Le phosphate, étant une source majeure d'engrais utilisée dans le monde entier et une ressource non renouvelable primordiale pour le Maroc, nécessite une bonne gestion du processus d'exploitation, afin de limiter les pertes susceptibles de se produire au cours de ce processus. Le phosphate est présent, au niveau du gisement sous forme de couches de différentes profondeurs et concentrations du \$P\_{2O\_5}\$, intercalées par des couches et niveaux non exploitables, dites stériles. Néanmoins, Les similarités de couleurs et confusions visibles entre les différentes couches présentes sur le gisement, sont responsables des pertes et contaminations qui se produisent durant l'extraction du phosphate. D'où l'idée d'exploiter l'information spectrale pour une discrimination précise entre les deux classes du phosphate et du stérile et d'étudier la faisabilité de mettre en place un système de discrimination sur le site d'extraction, à base de classificateurs intelligents.

Pour ce faire, nous commençons par une analyse spectroscopique pour créer une base de données de réponses spectrales de réflectance d'un ensemble d'échantillons représentatifs du gisement de Ben Guérir, sur l'intervalle 250-2500 nm. Ensuite, nous proposons une approche de classification basée sur la réduction d'espace et la sélection d'attributs, et sur l'utilisation de la donnée réduite résultante pour la classification binaires des classes du phosphate et du stérile. Les résultats démontrent la possibilité d'extraire des données spectrales hautement informatives, permettant une meilleure classification du phosphate. Cependant, l'utilisation du spectrophotomètre n'est pas faisable pour des applications temps réel sur le site d'extraction. De plus, les échantillons étudiés dans ce travail, ont subi une préparation physique, et l'état brut des échantillons sur site n'a pas été pris en considération.

Ainsi, nous utilisons une caméra hyperspectrale couvrant l'intervalle 400-1000 nm, identifiée en se basant sur les résultats de la première étude, pour collecter une nouvelle base de données incluant les réponses des échantillons non préparés. Ensuite nous développons une chaîne de traitement qui repose sur la combinaison de plusieurs méthodes de prétraitements spectraux, utiles pour réduire l'impact des caractères physico-chimiques des échantillons sur la réponse spectrale, avec des modèles de classifications d'apprentissage machine et profond. Les résultats obtenus soulignent l'utilité de certaines combinaisons de prétraitement pour améliorer les performances de classification, principalement dans le cas des échantillons non préparés. Les modèles ensemblistes ont également été inspectés dans cette étude, bien que leur apport et impact sur les performances de classification étaient réduits, comparés aux ressources de calculs nécessaires pour leur implémentation.



**Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales**

Dans une troisième partie, nous réalisons un logiciel de discrimination et de visualisation des résultats de classification du phosphate sur des images hyperspectrales de front de taille. Pour ce faire, nous créons une base de données d'images synthétiques, simulant la succession des couches du phosphate et du stérile, telle que perçue sur le terrain, et nous proposons une chaîne de traitement qui combine la classification et la segmentation, pour améliorer la distinction entre les couches.

Un dernier travail a été initié dans le cadre de cette thèse, et qui peut être considéré comme un résultat et une capitalisation sur les travaux précédents. Ce dernier consiste à conduire différentes expérimentations par un système multispectral de 16 bandes, pour évaluer les performances de classification par un modèle de réseaux de neurones et ce sur des données spectrales collectées au niveau du laboratoire, et d'autres collectées dans les conditions réelles du gisement.

**Mots clés :**

Phosphate, Classification, Analyse spectrale, Imagerie hyperspectrale, Imagerie multispectrale, Apprentissage machine.