



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

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

Mme **KHALDI Loubna**
Soutiendra : **le Samedi 18/10/2025 à 10H00**
Lieu : **FSDM – Centre Visioconférence**

Une thèse intitulée :

«Intégration de l'analyse géospatiale et du machine learning pour la cartographie des risques d'inondation : Cas de la Région Fès-Meknès »

En vue d'obtenir le Doctorat

FD : Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable
Spécialité : Géosciences et Ressources Naturelles

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
TEKIOUT Brahim	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Président
BENAABIDATE Lahcen	Faculté des Sciences et Techniques, Fès	PES	Rapporteur & Examineur
AQNOUY Mourad	Faculté des sciences et techniques, Meknès	MCH	Rapporteur & Examineur
BENAMARA Ahmed	Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Meknès	PES	Rapporteur & Examineur
RIFFI Jamal	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MCH	Examineur
CHAOUNI Abdel-Ali	Faculté des Sciences et Techniques, Fès	PES	Examineur
EL KHANCHOUFI Abdessalam	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse



Résumé :

Les inondations représentent une menace significative et récurrente dans diverses régions du monde, soulignant la nécessité cruciale de cartographier avec précision les zones inondées pour faciliter une planification efficace des interventions d'urgence et une évaluation des dommages. Cette thèse se concentre sur la cartographie des inondations dans la région de Fès-Meknès au Maroc, avec pour objectif d'évaluer l'efficacité de diverses méthodologies, y compris l'analyse multicritères (MCDA), les approches statistiques et les algorithmes d'apprentissage automatique, pour obtenir une classification précise de la susceptibilité aux inondations.

Le modèle Random Forest (RF) a démontré des performances exceptionnelles, atteignant une impressionnante aire sous la courbe (AUC) de 96%, ainsi que les plus faibles erreurs absolues moyennes (MAE) et erreurs quadratiques moyennes (RMSE) par rapport à d'autres méthodes. De plus, le RF a montré une efficacité de Nash-Sutcliffe (NSE) plus élevée et des coefficients de corrélation (R^2) plus forts, indiquant sa capacité supérieure à prédire avec précision les schémas de susceptibilité aux inondations. Ces résultats mettent en évidence le potentiel du RF pour améliorer les capacités de cartographie des inondations, en particulier dans les régions aux climats méditerranéens et semi-arides comme celle de Fès-Meknès. De plus, l'intégration des graphiques de dépendance partielle (PDP) et des explications interprétables indépendantes du modèle local (LIME) améliore l'interprétabilité du modèle. Ces outils révèlent que des facteurs tels que la proximité des rivières, la densité de drainage, la pente, l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI), l'Indice de Rugosité du Terrain (TRI) et l'Occupation du Sol (LULC) influencent de manière significative la susceptibilité aux inondations.

Le second objectif de cette thèse est de mesurer la vulnérabilité multidimensionnelle en intégrant des facteurs sociaux, économiques et environnementaux en utilisant l'Analyse en Composantes Principales (PCA). Cette approche globale permet de créer une carte efficace des risques d'inondation, qui combine les résultats des évaluations de la susceptibilité et de la vulnérabilité aux inondations. De plus, cette étude évalue les impacts du changement climatique et des changements d'utilisation et d'occupation des sols (LULC) sur le risque d'inondation, offrant une perspective prospective sur la gestion des risques d'inondation.



Une gestion efficace des risques d'inondation est cruciale pour atténuer les dommages et se préparer aux impacts combinés du changement climatique et des changements d'utilisation des sols dans la région de Fès-Meknès au Maroc. La réalisation d'une évaluation scientifique des risques d'inondation à la lumière des scénarios climatiques futurs est impérative pour les efforts d'atténuation des catastrophes, minimiser les pertes socio-économiques et favoriser un développement durable dans la région. Cette recherche contribue aux efforts continus pour tirer parti des technologies avancées et des analyses complètes pour des réponses plus efficaces et éclairées aux catastrophes d'inondation.

Mots clés :

Cartographie, Région de Fès-Meknès, Apprentissage automatique, Changement climatique ,
Risque des inondations,



INTEGRATING GEOSPATIAL ANALYSIS, MACHINE LEARNING FOR FLOOD RISK MAPPING: A CASE STUDY OF THE FEZ-MEKNES REGION

Abstract

Floods present a significant and recurring threat across various regions worldwide, underscoring the critical need for accurate mapping of inundated areas to facilitate efficient emergency response planning and damage assessment. This thesis focuses on flood mapping in the Fes Meknes region of Morocco, with the primary objective of assessing the efficacy of various methodologies including Multicriteria Decision Analysis (MCDA), statistical approaches, and machine learning algorithms—in achieving accurate flood susceptibility classification.

The Random Forest (RF) model demonstrated exceptional performance, achieving an impressive Area Under the Curve (AUC) of 96%, alongside the lowest Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Squared Error (RMSE) compared to other methods. Additionally, RF exhibited higher Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) and stronger correlation coefficients (R^2), indicating its superior ability to accurately predict flood susceptibility patterns. These results highlight RF's potential for advancing flood mapping capabilities, particularly in arid regions like the Fes Meknes area. Moreover, the integration of Partial Dependence Plots (PDP) and Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME) enhances model interpretability. These tools reveal that factors such as proximity to rivers, drainage density, slope, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), TRI (Terrain Roughness Index), and LULC (Land Use and Land Cover) significantly influence flood susceptibility.

The second objective of this thesis is to measure multidimensional vulnerability by incorporating social, economic, and physical factors using Principal Component Analysis (PCA). This comprehensive approach enables the creation of an effective flood risk map, which combines the results of flood susceptibility and vulnerability assessments. Additionally, this study evaluates the impacts of climate change and land use and land cover (LULC) changes on flood risk, providing a forward-looking perspective on flood risk management.



Effective flood risk management is crucial for mitigating damage and preparing for the combined impacts of climate change and land use changes in Morocco's Fes Meknes region. Conducting a scientific evaluation of flood risk in light of future climate scenarios is imperative for disaster mitigation efforts, minimizing socio-economic losses, and fostering sustainable development across the region. This research contributes to the ongoing efforts to leverage advanced technologies and comprehensive analyses for more efficient and informed responses to flooding disasters.

Keywords:

Mapping, Fez-Meknes Region, Machine Learning, Climate Change, Flood risk.