



جامعة عبد الملك السعدي  
foOALUf | foOALUfO 00oALf  
Université Abdelmalek Essaadi

Pôle des Etudes Doctorales  
Centre des Etudes Doctorales  
Sciences et Techniques et Sciences Médicales

## AVIS DE SOUTENANCE DE THESE DE DOCTORAT

Madame MARRAKCHI Nisrine  
Présentera ses travaux de recherche en vue de l'obtention du  
Doctorat



Formation Doctorale : Sciences Appliquées et Technologies Avancées  
Discipline : Mathématiques Appliquées  
Spécialité : Modélisation Statistique et Analyse des Données

Le 04/10/2025 à 11H00 à l'Auditorium, Faculté Polydisciplinaire  
de Larache, UAE

Sous le thème

La Modélisation Statistique Et Numérique Des Aérosols

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
Pr. TAJANI Chakir	FPL de LARACHE, UAE	Président
Pr. ABOUTAFAIL Moulay Othman	ENSA de KENITRA, UIT	Rapporteur
Pr. SERHANI Mustapha	FSJES de MEKNÈS, UMI	Rapporteur
Pr. GHAFRANI Fatima	FPL de LARACHE, UAE	Rapporteur
Pr. EL HARRAK Anouar	FPL de LARACHE, UAE	Examineur
Pr. SERROUKH Abdeslam	FPL de LARACHE, UAE	Examineur
Pr. FAKHOURI Hanane	FPL de LARACHE, UAE	Co-Directrice
Pr. BERGAM Amal	FPL de LARACHE, UAE	Directrice

*Structure de recherche : Laboratoire de Simulations et Modélisation Mathématiques, Analyse de Données  
Chimie des substances naturelles- Faculté Polydisciplinaires à Larache.*

## Résumé



Cette thèse s'articule autour du développement de modèles avancés de prévision de la qualité de l'air dans la région de Tanger, en se concentrant sur deux polluants majeurs : l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) et les particules en suspension (PM<sub>10</sub>). L'objectif principal est d'anticiper les niveaux de pollution et de détecter les pics, afin de limiter les effets néfastes sur la santé publique. La première étape de ce travail cherche à comparer les moyennes saisonnières des paramètres de qualité de l'air à l'aide d'une analyse de variance unidirectionnelle (ANOVA), suivie d'un test post hoc de Tukey, mettant en évidence une influence significative des saisons sur les concentrations des polluants.

Par ailleurs, l'analyse en composantes principales (ACP) a permis d'identifier l'ozone troposphérique et les particules fines (PM<sub>10</sub>) comme principaux polluants préoccupants, confirmant une dégradation globale de la qualité de l'air. Parmi les modèles statistiques appliqués (régression linéaire, arbre de décision, forêt aléatoire), la forêt aléatoire a montré les meilleures performances pour prédire les concentrations des polluants en question.

La deuxième étape consiste en une comparaison entre deux types de réseaux neuronaux récurrents, le Simple RNN et l'architecture Long Short-Term Memory (LSTM). Les résultats ont clairement montré la supériorité du LSTM dans la modélisation des concentrations de polluants, en particulier lors des épisodes de fortes concentrations des PM<sub>10</sub> et d'O<sub>3</sub>. Ensuite, l'étude a intégré des facteurs météorologiques en tant que prédicteurs supplémentaires, ce qui a permis d'améliorer significativement les performances des modèles.

Ensuite, trois approches innovantes ont été développées : deux modèles basés sur l'architecture LSTM couplée à des méthodes de lissage exponentiel et une approche hybride combinant LSTM avec la méthode de Holt-Winters. Les résultats ont révélé que le modèle hybride LSTM-Holt-Winters offrait les prévisions les plus précises, en particulier dans la détection des pics de pollution, avec un indice d'agreement d'environ 0.91.

Finalement, l'étude a introduit une combinaison encore plus performante, intégrant les modèles ARIMA et Prophet avec LSTM. Ces deux approches hybrides ont surclassé les autres, produisant des prévisions remarquablement précises avec un MSE de l'ordre de 0.015 pour l'ozone et de 0.087 pour les particules PM<sub>10</sub>, ainsi qu'un indice d'agreement de 0.99 pour les deux polluants. Cette méthodologie s'est donc révélée être une solution robuste pour la prévision des concentrations de polluants atmosphériques, en combinant les forces des modèles statistiques traditionnels et des réseaux neuronaux pour capturer à la fois les relations linéaires et non linéaires. Ainsi, cette thèse contribue à la mise en place de systèmes de prévision plus efficaces, permettant une meilleure gestion des épisodes de pollution et des actions préventives pour protéger la santé publique dans les environnements urbains.

**Mots clés :** Réseaux de Neurones Artificiels, Prévision de la Qualité de l'Air, Pollution Atmosphérique, Ozone troposphérique (O<sub>3</sub>), Particules en suspension (PM<sub>10</sub>), Long Short-Term Memory (LSTM), Réseaux de Neurones Récurrents (RNN), Analyse de Variance (ANOVA), Analyse en Composante Principale (ACP).