جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH DE FES
كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MAHRAZ FES

CENTRE D'ETUDES DOCTORALES
«SCIENCES ET TECHNIQUES ET SCIENCES MÉDICALES »

مركز الدكتوراه « العلوم والتقنيات والعلوم الطبية»

# *AVIS DE SOUTENANCE DE THESE*

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

Mme **MADANI Nassira**
Soutiendra : **le Samedi 27/12/2025** à **10H00**
*Lieu :* **FSDM – *Centre Visioconférence***

*Une thèse intitulée :*

**Mathematical Modeling and Numerical Simulation of Some Dynamical Systems: Integrating Fractional Calculus and Artificial Intelligence**

*En vue d'obtenir le* ***Doctorat***

*FD :* **Sciences et Techniques**
*Spécialité :* **Equations aux Dérivées Partielles**

***Devant le jury composé comme suit :***

| Nom et prénom | Etablissement | Grade | Qualité |
|---|---|---|---|
| HACHIMI Hanaa | Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Kénitra | PES | Présidente |
| EL ALAOUI Fatima-Zahrae | Faculté des Sciences, Meknès | PES | Rapporteuse |
| AZIZ-ALAOUI Moulay Ahmed | Université Le Havre NORMANDIE, France | PES | Rapporteur |
| BARBARA Abdelkrim | Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès | PES | Rapporteur |
| KHARAZI Adil | Ecole Nationale de Commerce et de Gestion, Fès | PES | Examinateur |
| SEAID Mohammed | Durham University | PES | Examinateur |
| RAGUSA Maria Alessandra | Université de Catania, Italie | PES | Experte |
| AZROUL El Houssine | Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès | PES | Directeur de thèse |
| HAMMOUCH Zakia | Ecole Normale Supérieure, Meknès | PES | Co-Directrice de thèse |

**Résumé :**

pendant des générations, l'histoire de la dynamique des populations a été narrée dans le langage net et immédiat des Équations Différentielles Ordinaires (EDO). Des modèles comme la croissance exponentielle et logistique dépeignent un monde sans échos, où les populations réagissent instantanément au présent, sans être encombrées par leur passé. Pourtant, la biologie n'est pas si oublieuse. Cette thèse propose un nouveau lexique, écrit dans le langage du calcul fractionnaire, pour capturer la "mémoire" persistante inhérente à la vie elle-même. Nous soutenons que les populations ne sont pas seulement des entités présentes mais sont des palimpsestes de leur histoire, où les conditions passées façonnent de manière subtile mais persistante leur trajectoire actuelle, une complexité narrative que seules les équations différentielles d'ordre fractionnaire peuvent pleinement articuler.

De plus, nous présentons une utilisation novatrice de l'intelligence artificielle (IA) pour compléter notre cadre mathématique global. Bien que le calcul fractionnaire fournisse un cadre théorique puissant pour capturer les effets de mémoire, ses équations sont souvent analytiquement difficiles. De même, les systèmes complexes d'équations différentielles ordinaires (EDO) peuvent bénéficier d'une capacité de traitement accrue. Par conséquent, nous utilisons des approches d'IA dans les deux paradigmes de modélisation pour améliorer la robustesse computationnelle, optimiser l'optimisation des paramètres et fournir des prédictions de haute fidélité. Cette méthode hybride combine le réalisme biologique de nos modèles – qu'il s'agisse de la profondeur sans mémoire des EDO ou de la profondeur historique du calcul fractionnaire – avec la capacité prédictive de l'IA, permettant d'obtenir des solutions plus précises et puissantes pour comprendre la dynamique des populations.

Nos études de cas démontrent l'application de cette structure complète, révélant des détails complexes dans la croissance et la stabilité des populations que les analyses EDO typiques manquent souvent. En ancrant nos avancées théoriques dans des simulations numériques avancées, incluant des interpolations polynomiales, et en les renforçant avec l'IA, nous élargissons la boîte à outils de la biologie des populations et redéfinissons ses fondements mathématiques et computationnels, offrant ainsi des méthodologies améliorées pour prédire les résultats biologiques.

**Mots clés** : Modélisation Mathématique, Calcul Fractionnaire, Systèmes Dynamiques, Modèles Épidémiologiques, Réseau Neuronal, Contrôle Optimal, Biomathématiques, Maladie Infectieuse, Croissance Tumorale, Chimiothérapie, Intelligence Artificielle, Réseau Neuronal Profond, Perceptron, Fonction d'Activation.

# MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL SIMULATION OF SOME DYNAMICAL SYSTEMS: INTEGRATING FRACTIONAL CALCULUS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Abstract :**

For generations, the story of population dynamics has been narrated in the crisp, immediate language of Ordinary Differential Equations (ODEs). Frameworks like exponential and logistic growth paint a picture of a world without echoes, where populations react instantaneously to the present, unburdened by their past. Yet, biology is not so forgetful. This thesis proposes a new lexicon, written in the language of fractional calculus, to capture the lingering "memory" inherent to life itself. We argue that populations are not just present entities but are palimpsests of their history, where past conditions subtly but persistently shape their current trajectory, a narrative complexity that only fractional-order differential equations can fully articulate.

In addition, we present a novel use of artificial intelligence (AI) to supplement our whole mathematical framework. While fractional calculus provides a powerful theoretical framework for capturing memory effects, its equations are frequently analytically difficult. Similarly, complicated ordinary differential equation (ODE) systems can benefit from increased processing capacity. As a result, we use AI approaches in both modeling paradigms to improve computational resilience, optimize parameter optimization, and provide high-fidelity predictions. This hybrid method combines the biological realism of our models—whether the memoryless depth of ODEs or the historical depth of fractional calculus—with AI's predictive capacity, resulting in more accurate and powerful solutions for understanding population dynamics.

Our case studies demonstrate the application of this comprehensive structure, revealing intricate details in population growth and stability that typical ODE analyses often miss. By grounding our theoretical advancements in advanced numerical simulations, including polynomial interpolations, and reinforcing them with AI, we expand the toolkit of population biology and redefine its mathematical and computational foundations, offering improved methodologies for predicting biological outcomes.

**Key Words :**

Mathematical Modeling, Fractional Calculus, Dynamical Systems, Epidemiological Models, Neural Network, Optimal Control, Biomathematics, Infectious Disease, Tumor Growth, Chemotherapy, Artificial Intelligence, Deep Neural Network, Perceptron, Activation function.