



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes**  
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

## **AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT**

**Monsieur Mohamed Amine BEN RABIA**

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Informatique

**Le Samedi 20 Juillet 2024 à 10h00 à l'Amphi 1 de l'ENSIAS de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

**COUPLING SIMULATION AND MACHINE LEARNING FOR  
PREDICTIVE AND PRESCRIPTIVE ANALYTICS TO SUPPORT  
FREIGHT COLLABORATION**

**Président :**

Pr. Houda BENBRAHIM, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Adil BELLABDAOUI, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

Pr. Abdessamad AIT EL CADI, Professeur des Universités, INSA Hauts-de-France

Pr. Mohamed ETTAOUIL, PES, FST, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès

Pr. Btissam DKHISSI, PH, ENSA, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan

**Examineur :**

Pr. Mohamed LAZAAR, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat



**Résumé :** Dans le sillage de la numérisation de l'industrie logistique il y a quelques années, les professionnels ont reconnu le potentiel de l'analyse des données pour optimiser les différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement. Dans ce nouveau contexte qui bouleverse les activités quotidiennes des entreprises, les opérations de transport de marchandises exigent de nouvelles approches organisationnelles et technologiques. Actuellement, le Business Analytics, associant des approches centrées sur les données telles que le Machine Learning et des approches centrées sur la modélisation mathématique comme la simulation, sert de réponse opérationnelle pour mettre en œuvre des environnements collaboratifs et intelligents. Ces approches ont le potentiel de transformation nécessaire pour redéfinir les modèles d'entreprise des organisations, en offrant des valeurs clés telles que la découverte de scénarios rentables, l'accélération du partage de l'information et l'optimisation du suivi et de la traçabilité des opérations d'ordre logistiques par exemple.

Dans cette perspective, l'objectif général de cette thèse est d'encadrer le concept de Business Analytics en élucidant la relation entre l'analyse des données par des techniques de Machine Learning, analyse prédictive, et la simulation, qui constitue une partie de la couche d'analyse prédictive ou prescriptive. Sur la base de cet objectif, nous avons présenté différentes architectures pour coupler la simulation et l'Analytics. En outre, cette étude propose un cadre collaboratif basé sur la technique du processus hiérarchique analytique flou intuitionniste (IF-AHP) pour sélectionner une plateforme Business Analytics intégrant la simulation.

Nous avons étudié l'utilisation de divers modèles, notamment XGBoost, Attention-ANN et Bi-LSTM, pour prédire des indicateurs clés. Chaque modèle a été évalué en matière de précision et d'erreur de prédiction. Ensuite, nous avons développé une nouvelle méthode de combinaison des modèles, basée sur la pondération réciproque des erreurs pour faire sortir une seule prédiction robuste et fiable. Cette approche est conçue pour améliorer la précision de la prédiction en attribuant des poids à chaque modèle en fonction de ses performances individuelles. Enfin, la nouvelle architecture intégrée de modèles d'apprentissage automatique a été imbriquée dans un Framework complet avec des capacités de simulation des scénarios et tester dans un cas réel de collaboration entre transporteurs de marchandises afin de leur offrir un système d'aide à la décision pour évaluer l'impact de la collaboration sur la rentabilité et la durabilité.

**Mots-clés:** Analyse prédictive; Analyse prescriptive; Business Analytics ; Collaboration; Gestion de fret; Intelligence artificielle; Machine learning; Simulation-based Analytics.



**Abstract:** In the wake of digitalization in the logistics industry a few years ago, professionals recognized the potential of data analytics in optimizing various stages of the supply chain. Behind each movement, commodity, or system, bits of information can be collected, stored, and leveraged to conclude, facilitating the automation of processes or the formulation of annual forecasts. In this new context that is disrupting the day-to-day operations of companies, freight transport operations demand new organizational and technological approaches.

Presently, Business Analytics coupling data-centric approach such as machine learning and mathematical model-centric approach serve as operational responses to implement collaborative and intelligent environments. These approaches have the transformative potential to redefine organizations' business models, offering key values such as discovering profitable scenarios for carriers, accelerating information sharing, and optimizing the tracking and tracing of logistics operations.

In this perspective, the general aim of this work is to frame the concept of Business Analytics by elucidating the relationship between machine learning as predictive analytics and simulation, which constitutes a part of the predictive or prescriptive analytics layer. Based on this objective, we have presented different architectures for coupling simulation and analytics. Moreover, this study proposes a collaborative framework based on the intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process (IF-AHP) technique to select a business analytics-enabled simulation architecture.

We investigated the use of various models, including XGBoost, Attention-ANN, and Bi-LSTM, to predict key indicators. Each model was evaluated in terms of accuracy and prediction error. We then developed a new method for combining the models based on reciprocal error weighting to produce a single, robust, and reliable prediction. This approach is designed to improve prediction accuracy by assigning weights to each model according to its performance.

Finally, the new integrated architecture of machine learning models has been nested in a comprehensive framework with what-if simulation capabilities and tested in a real case of collaboration between freight carriers to provide them with a decision support system to assess the impact of collaboration on profitability and sustainability.

**Keywords:** Artificial Intelligence; Business Analytics; Collaboration; Freight management; Predictive Analytics; Prescriptive Analytics; Machine learning; Simulation-based Analytics.

