



## AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

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

Mme ALAOUA Aicha

Soutiendra : le Samedi 11/04/2026 à 10H00

Lieu : FSDM – Centre Visioconférence

Une thèse intitulée :

**Learning-Based Predictive Analytics and Modeling for Lead Time Optimization and Resilience in Engineer-to-Order Supply Chains and Smart Manufacturing Systems**

En vue d'obtenir le **Doctorat**

FD : Sciences et Techniques

Spécialité : Génie Industriel et Intelligence Artificielle

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
KABBAJ Mohammed Nabil	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Président
SEKKAT Souhail	Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Meknès	MCH	Rapporteur
EL HASSANI Ibtissam	Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Meknès	PES	Rapporteur
EL BARKANY Abdellah	Faculté des Sciences et Techniques, Fès	PES	Rapporteur
ARIF Jabir	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	MCH	Examinateur
BOSSOUFI Badre	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Examinateur
KARIM Mohammed	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse



## Résumé :

Les chaînes d'approvisionnement Engineer-to-Order (EtO) et les systèmes de fabrication intelligents se caractérisent par un niveau élevé de personnalisation, une incertitude opérationnelle significative et une dépendance critique à la performance des fournisseurs. Dans ce contexte, la prédiction fiable des délais de livraison des fournisseurs ainsi que le renforcement de la résilience constituent des enjeux majeurs pour la planification, la gestion des risques et la continuité des opérations.

Cette thèse propose une approche globale de modélisation prédictive et d'analyse basée sur l'apprentissage, visant l'optimisation des délais de livraison et l'amélioration de la résilience dans les systèmes de production et de chaînes logistiques intelligents. Les contributions s'articulent autour de modèles statistiques avancés, de l'intégration de données issues de l'Internet des Objets (IoT) et de mécanismes d'apprentissage probabiliste, dans un cadre principalement exploré par simulation.

Dans un premier temps, un modèle statistique basé sur la loi log-normale est développé pour représenter les délais fournisseurs dans un environnement EtO, en tenant compte des matières premières personnalisées et des relations contractuelles à long terme. L'intégration de données IoT permet une calibration dynamique des paramètres, réduisant l'incertitude et améliorant la précision des prévisions. Les résultats obtenus par simulation Monte Carlo démontrent une réduction significative de la variabilité des délais et une amélioration de la fiabilité des performances fournisseurs.

Ensuite, la thèse introduit un système d'alerte précoce intelligent pour la détection des retards fournisseurs, fondé sur une modélisation probabiliste adaptative. Trois mécanismes d'alerte sont proposés : un système de base à seuils fixes, un système calibré par IoT et un système adaptatif orienté risque. Les analyses comparatives mettent en évidence les compromis entre sensibilité, précision et robustesse selon le niveau d'incertitude opérationnelle, offrant des recommandations concrètes pour l'intégration de ces systèmes dans des plateformes de pilotage industriel.

Dans un troisième axe, un cadre d'apprentissage bayésien est proposé afin de renforcer la résilience prédictive face aux perturbations. En combinant une modélisation log-normale, des ajustements basés sur l'IoT et des réseaux neuronaux bayésiens, l'approche permet de capturer à la fois l'incertitude aléatoire et l'incertitude épistémique. Les résultats de simulation montrent une amélioration notable de la robustesse des prédictions sous conditions de variabilité élevée.

Enfin, une contribution complémentaire explore un modèle léger à base de contraintes physiques (Physics-Informed Learning Model) appliqué aux systèmes de production intelligents à petite échelle. Bien que distinct de la problématique principale des délais fournisseurs, ce modèle illustre comment l'intégration de contraintes physiques dans des modèles prédictifs peut améliorer la stabilité opérationnelle et la résilience globale des systèmes de production.

Dans l'ensemble, cette thèse apporte des contributions méthodologiques et conceptuelles à la modélisation prédictive des délais et de la résilience dans les systèmes de production et de chaînes d'approvisionnement intelligents. Elle fournit également des outils d'aide à la décision basés sur la simulation, ouvrant la voie à des extensions futures vers des validations empiriques et des déploiements industriels à grande échelle.

## Mots clés :

Modélisation adaptative, Analytique prédictive, Distribution log-normale, IoT, Résilience de la chaîne d'approvisionnement, Réseau neuronal bayésien, Apprentissage informé par la physique, Intelligence artificielle, Systèmes de fabrication intelligents.



## LEARNING-BASED PREDICTIVE ANALYTICS AND MODELING FOR LEAD TIME OPTIMIZATION AND RESILIENCE IN ENGINEER-TO- ORDER SUPPLY CHAINS AND SMART MANUFACTURING SYSTEMS

### Abstract :

Engineer-to-Order (EtO) supply chains and smart manufacturing systems are characterized by a high level of customization, significant operational uncertainty, and critical dependence on supplier performance. In this context, the reliable prediction of supplier lead times and the strengthening of resilience represent major challenges for planning, risk management, and operational continuity.

This thesis proposes a comprehensive predictive modeling and learning-based analytical approach aimed at optimizing lead times and enhancing resilience in smart supply chain and production systems. The contributions are structured around advanced statistical models, the integration of Internet of Things (IoT) data, and probabilistic learning mechanisms, within a framework primarily explored through simulation.

First, a statistical model based on the log-normal distribution is developed to represent supplier lead times in an EtO environment, taking into account customized raw materials and long-term contractual relationships. The integration of IoT data enables dynamic parameter calibration, reducing uncertainty and improving forecasting accuracy. Monte Carlo simulation results demonstrate a significant reduction in lead time variability and improved supplier performance reliability.

Next, the thesis introduces an intelligent early warning system for detecting supplier delays, based on adaptive probabilistic modeling. Three alert mechanisms are proposed: a baseline fixed-threshold system, an IoT-calibrated system, and a risk-oriented adaptive system. Comparative analyses highlight the trade-offs between sensitivity, precision, and robustness under different levels of operational uncertainty, providing practical recommendations for integrating such systems into industrial decision-support platforms.

In a third research axis, a Bayesian learning framework is proposed to enhance predictive resilience under disruption scenarios. By combining log-normal modeling, IoT-based adjustments, and Bayesian neural networks, the approach captures both aleatory and epistemic uncertainty. Simulation results show a notable improvement in predictive robustness under high-variability conditions.

Finally, a complementary contribution explores a lightweight Physics-Informed Learning Model applied to small-scale smart production systems. Although distinct from the primary focus on supplier lead times, this model demonstrates how embedding physical constraints into predictive models can improve operational stability and overall manufacturing system resilience.

Overall, this thesis provides methodological and conceptual contributions to predictive modeling of lead times and resilience in smart supply chain and production systems. It also delivers simulation-based decision-support tools, paving the way for future extensions toward empirical validation and large-scale industrial deployment.

### Key Words:

Adaptive modeling, Predictive analytics, Log normal distribution, IoT, Supply chain resilience, Bayesian neural network, Physics informed learning, Artificial intelligence, Smart manufacturing systems