



## **Avis de Soutenance**

# **THESE DE DOCTORAT**

Présentée par

**Madame MANAL EL YADARI**

Discipline : Génie industriel

Spécialité : Génie industriel

Sujet de la thèse

**Etalement Logistique et VRP, entre la logistique 4.0 et l'efficacité énergétique du TMV**

Formation Doctorale " Sciences de l'Ingénieur, Sciences Physiques, Mathématiques et Informatique "

Thèse présentée et soutenue **le samedi 06 juin 2026 à 09h** à l'Ecole Supérieure de Technologie de Fès, devant le jury composé de :

<b>NOM ET PRÉNOM</b>	<b>TITRE</b>	<b>ÉTABLISSEMENT</b>	
SAID BOUTAHARI	PES	Ecole Supérieure de Technologie de Fès	Président
LATIFA EZZINE	PES	Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Meknès	Rapporteur
ABDELOUHAB JABRI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
SOUHAIL SEKKAT	MCH	Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Meknès	Rapporteur
JABIR ARIF	MCH	Ecole Supérieure de Technologie de Fès	Examineur
IMANE MOUFAD	MC	Ecole Supérieure de Technologie de Fès	Invitée
FOUAD JAWAB	PES	Ecole Supérieure de Technologie de Fès	Directeur de Thèse

Laboratoire de recherche : Technologies et services Industriels

Etablissement : Ecole Supérieure de Technologie de Fès



**Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales**

## **Résumé de la thèse**

Cette thèse s'inscrit dans le domaine de la logistique urbaine et se concentre sur la modélisation de l'étalement logistique afin d'évaluer son impact sur l'efficacité énergétique du transport de marchandises en ville (TMV). Elle explore ensuite comment l'intégration des principes de la logistique 4.0, et le développement d'un « Vehicle Routing Problem » (VRP) adapté aux contraintes de l'étalement, peuvent contribuer à maîtriser et optimiser cet impact énergétique.

Dans un premier temps, une revue de littérature approfondie a été menée pour contextualiser les enjeux liés à l'étalement logistique et identifier les variables influençant l'efficacité énergétique du transport de marchandises.

Cette analyse a permis de définir les facteurs déterminants de l'étalement logistique et de construire un modèle quantifiant son influence.

La modélisation de l'étalement logistique a été réalisée à l'aide d'une approche multicritères combinant la méthode FAHP (Fuzzy Hierarchical Analytical Process) avec des modèles prédictifs basés sur les réseaux de neurones, la régression logistique et XGBoost. Cette approche a permis d'estimer l'étalement logistique dans différentes zones urbaines et d'identifier les relations entre les facteurs et l'étalement observé.

Après la modélisation de l'étalement logistique, l'étude s'est concentrée sur l'évaluation de son impact sur l'efficacité énergétique du transport de marchandises en ville selon une approche multidimensionnelle.

Pour ce faire, différents indicateurs ont été mobilisés : la congestion et la fluidité du trafic pour la dimension sociale, la consommation d'énergie des véhicules pour la dimension énergétique, les émissions de CO<sub>2</sub> pour la dimension environnementale, et le coût global du transport pour la dimension économique.

Ces composantes ne constituent pas des finalités en soi, mais servent à mesurer de manière intégrée l'efficacité énergétique du TMV. Pour identifier ces relations, des modèles basés sur la régression logistique et le Random Forest ont été développés afin de déterminer l'influence relative de l'étalement logistique sur chacune de ces dimensions. Ces résultats ont ensuite été intégrés dans une fonction multicritère permettant de transformer le problème en un problème



### **Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales**

de minimisation visant à identifier les zones optimales où l'impact global de l'étalement logistique est le plus faible.

Par la suite, nous proposons une modélisation du problème de tournées de véhicules (VRP) intégrant directement la fonction d'impact de l'étalement logistique. Cette modélisation permet de déterminer les itinéraires et le nombre optimal de véhicules minimisant l'impact de l'étalement logistique sur l'efficacité énergétique du TMV.

Nous avons ainsi modélisé le rôle potentiel de la logistique 4.0 dans la réduction des effets négatifs de l'étalement logistique et dans l'amélioration de l'efficacité énergétique du transport de marchandises en ville.

Les principaux résultats de cette thèse permettent d'analyser les facteurs influençant l'étalement logistique et proposer une modélisation pour prédire le niveau d'étalement logistique dans différentes zones.

Cette recherche permet également d'évaluer l'effet de l'étalement logistique sur l'efficacité énergétique du transport de marchandises en ville (TMV), en considérant les dimensions économique, énergétique, environnementale et sociale. Et de l'utiliser comme fondement pour modéliser le problème de tournées de véhicules.

Enfin, nous mettons en évidence l'intégration de la logistique 4.0 et de la logistique 5.0, illustrant comment ces approches peuvent contribuer à l'optimisation de l'efficacité énergétique du TMV dans le cadre de l'étalement logistique.

Cette recherche ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour la planification urbaine durable, l'optimisation des flux logistiques et le développement de stratégies intelligentes et économes en énergie dans les villes contemporaines.

#### **Mots clés :**

Étalement logistique, Transport de marchandises en ville, Problème de Tournées de Véhicules, Intelligence artificielle, logistique 4.0 et logistique 5.0