



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 Anouar ANNOUCH**

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Informatique

**Le Samedi 30 Décembre 2023 à 10h00 au Grand Amphi à l'ENSIAS de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

**OPTIMISATION DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT**

**ET DE DISTRIBUTION GAZIÈRE : MODÈLES ET PERFORMANCE**

**Devant le Jury composé de :**

**Président :**

Pr. Ahmed ETTALBI, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

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

**Rapporteurs :**

Pr. Mohamed HACHIMI, PES, Université Ibn Zohr, Agadir

Pr. Abdellah EL FALLAHI, PES, ENSA, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan

Pr. Abdeltif EL BYED, PH, FS Ain Chock, Université Hassan II de Casablanca

**Examineur :**

Pr. Mohamed NAIMI, PH, ENSA-Berrechid, Université Hassan I, Settat



**Résumé:** L'industrie gazière est un domaine vaste, faisant partie des activités économiques les plus importantes dans le monde moderne. La chaîne logistique liée à cette industrie, quant à elle, est connue par sa complexité, son inflexibilité et également l'incertitude des données entrant dans sa gestion. L'optimisation d'une telle chaîne joue un rôle clé et repose sur des solutions informatiques et des modèles mathématiques très sophistiqués. La composante de transport, en particulier la gestion des tournées de véhicules (VRP), représente un intérêt particulier pour les industriels et qui nécessite une stratégie plus vaste de réorganisation pour répondre aux exigences métier et aux demandes du marché. Dans ce sens, ce projet de thèse s'intéresse particulièrement aux problèmes d'optimisation des tournées de véhicules dans la chaîne logistique marocaine du gaz de pétrole liquéfié (GPL). Nous proposons des modèles et méthodes d'optimisation pour la résolution des problèmes d'approvisionnement en gaz vrac, et de distribution de bouteilles du gaz conditionné. Nous apportons aussi une valeur ajoutée dans le domaine de l'optimisation non-déterministe, par le développement de méthodes pour le traitement de l'incertitude. Les principales contributions apportées par cette thèse, reposent sur les axes suivants : le premier axe est un état de l'art sur les problèmes VRP liés aux maillons d'approvisionnement et de distribution. Le deuxième axe concerne le problème d'approvisionnement du gaz GPL en vrac. Ce problème se caractérise par l'existence de plusieurs variantes du problème VRP. Particulièrement, le chargement complet, le multi-dépôts, le multiproduits, les fenêtres de temps et l'existence d'une flotte hétérogène de camions citernes mono-compartment (HFFT-MDMP-VRPTW). L'objectif consiste à construire des tournées minimisant le coût total. Une formulation mathématique basée sur un modèle déterministe de programmation linéaire en variables mixtes (MILP) a été élaborée. Pour la résolution des instances réelles de grandes tailles nous avons développé et adapté la méthode de recherche à voisinage variable (RVV) et l'algorithme génétique (AG). Dans le troisième axe nous nous intéressons au problème de distribution de bouteilles du gaz conditionné avec chargement en deux dimensions et avec les contraintes de tournées ouvertes, livraisons divisibles et collecte, multi-dépôts et fenêtres de temps (2L-MD-OSPDTW). Un modèle mathématique basé sur la programmation linéaire en variables mixtes a été présenté. Deux algorithmes évolutionnaires (algorithme génétique, algorithme mémétique) ont été développés et adaptés pour la résolution des instances de grande taille. Le dernier axe de cette thèse consiste à utiliser l'optimisation robuste pour considérer l'incertitude dans le problème de distribution avec des demandes entièrement inconnues à l'avance. La résolution de la nouvelle variante du problème repose sur le développement et l'adaptation de l'algorithme d'essais particuliers.

**Mots-clés :** Algorithme d'essai particulier, Algorithme Génétique, Approvisionnement, Chaîne logistique gazière, Distribution, Incertitude, GPL, MILP, Optimisation Robuste, Recherche à Voisinage Variable.



**Abstract:** The gas industry is a vast field, forming one of the most important economic activities in the modern world. The supply chain associated with this industry is known for its complexity, inflexibility, and the uncertainty of the data involved in its management. Optimizing such a chain is key and relies on sophisticated computer solutions and mathematical models. The transport component, in particular the vehicle routing problems (VRP), represents a particular interest for the businesspeople and requires a broader reorganization strategy to meet business and market requirements. In this sense, this thesis focuses particularly on the optimization of the vehicle routing problems in the Moroccan liquefied petroleum gas (LPG) supply chain. We propose models and optimization methods for solving the problem of bulk gas supply and distribution of gas cylinders. We also bring added value in the field of non-deterministic optimization, by developing methods for handling uncertainty. The main contributions of this thesis are based on the following axes: the first axis is a state-of-the-art on VRP problems related to gas supply and distribution. The second concerns the problem of bulk LPG gas supply. The existence of several variants of the VRP problem characterizes this problem. One can quote, full truck loading, multi-depots, multi-products, time windows, and the existence of a heterogeneous fleet of single-compartment tanker trucks (HFFT-MDMP-VRPTW). The aim is to design routes that minimize total costs. A mathematical formulation based on a deterministic Mixed Variable Linear Programming (MILP) model has been developed. For solving large real-life instances, we have developed and adapted the Variable Neighborhood Search method (VNS) and the genetic algorithm (GA). In the third axis, we focus on the distribution problem of gas cylinders with two-dimensional loading and with constraints of open tours, collection and split delivery, the multi-depots and time windows (2L-MD-OSPDTW). A mathematical model based on mixed integer linear programming has been presented. Two evolutionary algorithms (genetic algorithm, and memetic algorithm) have been- also developed and adapted for solving large-scale instances. The last axis of this thesis consists of using robust optimization to consider uncertainty in the distribution problem with demands completely unknown in advance. The resolution of the new variant of the problem is based on the development and adaptation of the particle swarm algorithm.

**Keywords:** Particle Swarm Algorithm, Genetic Algorithm, Supply, Gas Supply Chain, Distribution, Uncertainty, LPG, MILP, Robust Optimization, Variable Neighborhood