



N° d'ordre : 18/2016

## THESE DE DOCTORAT

Dans le cadre d'une cotutelle entre l'Université Sidi Mohamed ben Abdellah  
&  
Normandie Université

Présentée par

**Mustapha OUDANI**

Spécialité : Recherche opérationnelle et Informatique

Sujet de la thèse : Optimisation des problèmes de transport multimodal

Thèse présentée et soutenue le 21/05/2016 devant le jury composé de

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Youssef Benadada	PES	ENSIAS Rabat	Président
Mohamed El Khomssi	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
Loqman Chakir	PH	Ecole Supérieure de Technologie de Meknès	Rapporteur
Abdelkader Sbihi	PES	Ecole de Management de Normandie	Rapporteur
Abdelhamid Benaini	PES	Université du Havre	Examineur
Jaouad Boukachour	HDR	Université du Havre	Directeurs de thèse
Ahmed El Hilali Alaoui	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	

Etablissement : Faculté des Sciences et Techniques de Fès

Laboratoire d'accueil : Laboratoire de modélisation et calcul scientifique

## Résumé

Cette thèse est une contribution aux travaux de recherche sur l'optimisation des problèmes du transport multimodal. Nous commençons par la présentation du contexte général en définissant les principaux concepts clé de la multimodalité dans les réseaux du transport comme les modes de transport de base, les unités du transport intermodal, les formes d'interface, les formes d'intermodalité (rail-route, ferroutage, etc) et en donnant un état de l'art des travaux scientifique du domaine. Le problème de la localisation des terminaux rail-route du transport combiné est ensuite étudié. Nous proposons un algorithme génétique à codage mixte pour la résolution de ce problème et nous comparons nos résultats avec ceux de la littérature. Un ensemble de problèmes posés dans le cadre de notre travail sur le projet DCAS (Direct Cargo Axe Seine), porté par le Grand Port Maritime du Havre, y sont décrits et modélisés par des outils de programmation mathématique. Ainsi, nous avons étudié le problème du transfert de navettes ferroviaires qui consiste à optimiser le transfert d'un ensemble de conteneurs entre des terminaux maritimes et un terminal multimodal. Ensuite, nous avons modélisé le problème d'ordonnancement des trains de grandes de lignes pour le placement sur les voies de la cour ferroviaire du terminal multimodal du Havre. Ces problèmes sont résolus en utilisant une approche combinée optimisation simulation. Une première application est basée sur un algorithme génétique couplée avec la simulation multi agents pour l'affectation des voies aux trains. Une deuxième, consiste à optimiser la manutention des conteneurs lors d'un transbordement rail-rail en utilisant un algorithme de colonie de fourmis intégré dans le modèle de simulation et une stratégie de collaboration agents pour minimiser les temps d'attente des portiques et ainsi augmenter leurs productivités.

**Mots clés :** Optimisation combinatoire, multimodalité, logistique portuaire, transport combiné, simulation multi agents, métaheuristiques.

---

# Table des matières

Table des figures	xv
Liste des tableaux	xix
Introduction générale	1
<b>I Transport multimodal : généralités et état de l'art</b>	<b>5</b>
1 Introduction . . . . .	5
2 Les modes du transport de base . . . . .	6
2.1 Mode maritime . . . . .	6
2.2 Mode ferroviaire . . . . .	7
2.2.1 Train complet vs le wagon isolé . . . . .	8
2.2.2 Principaux opérateurs . . . . .	9
2.3 Mode routier . . . . .	9
2.4 Mode aérien . . . . .	11
2.5 Mode fluvial . . . . .	12
2.6 Pipeline . . . . .	13
2.7 Une comparaison entre les modes . . . . .	14
2.7.1 En termes de capacité . . . . .	14
2.7.2 En termes d'émission . . . . .	14
2.7.3 Seuils de pertinence . . . . .	15
2.7.4 Récapitulatif . . . . .	16
3 Transport multimodal . . . . .	17

## Table des matières

---

3.1	Les unités de transport intermodal . . . . .	17
3.2	Choix politiques et écologiques . . . . .	19
4	Formes d'interface multimodales . . . . .	19
4.1	Engins de manutention . . . . .	19
4.1.1	Les grues et portiques de quai . . . . .	19
4.1.2	Les portiques ferroviaires et fluviaux . . . . .	20
4.1.3	Reach stacker . . . . .	21
4.1.4	Chariot cavalier . . . . .	21
4.1.5	AGV . . . . .	21
4.2	Les ports maritimes . . . . .	22
4.3	Terminaux de transport combiné rail-route . . . . .	23
4.4	Terminaux de combiné fleuve-route . . . . .	24
4.5	Nouvelles générations de terminaux multimodaux . . . . .	24
4.5.1	Les ports secs . . . . .	24
4.5.2	Terminaux de transbordement rapide rail-rail . . . . .	24
5	Différentes formes d'intermodalité . . . . .	26
5.1	Transport combiné rail-route . . . . .	26
5.2	Transport combiné fleuve-route . . . . .	26
5.3	Ferroutage et autoroute ferroviaire . . . . .	27
5.4	Merroulage . . . . .	27
5.4.1	Le feeding maritime . . . . .	27
5.4.2	Le roulier . . . . .	28
6	Organisation logistique et commerciale des chaînes de transport multimodal . . . . .	28
6.1	Principaux acteurs de transport intermodal . . . . .	28
6.2	Organisation du transport intermodal . . . . .	29
7	Transport multimodal : état de l'art . . . . .	30
7.1	Problématique de définition . . . . .	30
7.2	Problèmes stratégiques . . . . .	32
7.3	Problèmes tactiques . . . . .	33
7.4	Problèmes opérationnels . . . . .	35
7.5	Tendances et perspectives . . . . .	35
7.5.1	La mutualisation . . . . .	35
7.5.2	La synchronodalité . . . . .	36
7.5.3	L'internet physique . . . . .	36
8	Conclusion . . . . .	36

<b>II</b>	<b>Localisation des terminaux intermodaux : modélisation et résolution</b>	<b>39</b>
1	Introduction . . . . .	39
2	Réseaux en étoile . . . . .	40
2.1	Fonctions administratives . . . . .	41
2.2	Fonctions d'exploitation . . . . .	41
3	Position du problème . . . . .	41
4	Formulation mathématique . . . . .	41
5	Evaluation du coût intermodal . . . . .	44
6	Résolution par algorithme génétique . . . . .	46
6.1	Représentation des solutions . . . . .	47
6.2	Population initiale . . . . .	47
6.3	Opérateurs de croisement . . . . .	47
6.3.1	Croisement de Laplace . . . . .	48
6.3.2	Croisement arithmétique . . . . .	49
6.4	Opérateurs de mutation . . . . .	50
6.4.1	Mutation MPT . . . . .	50
6.4.2	Mutation puissance . . . . .	50
6.5	Schéma général . . . . .	51
7	Réglages des paramètres de l'algorithme . . . . .	52
8	Résultats numériques . . . . .	53
9	Conclusion . . . . .	56
 <b>III</b>	 <b>Modélisation des problèmes de transport multimodal au port du Havre</b>	 <b>57</b>
1	Introduction . . . . .	57
2	Port du Havre . . . . .	58
2.1	Système logistique actuel . . . . .	58
2.2	Système logistique avec TMM . . . . .	61
2.2.1	Composantes du TMM . . . . .	61
2.2.2	Intérêts logistiques de TMM . . . . .	64
3	Système DCAS . . . . .	65
3.1	Projet DCAS . . . . .	65
3.2	État de l'art sur le coupon . . . . .	66
3.3	Réponse technologique et organisationnelle de DCAS . . . . .	67
3.4	Un autre intérêt pour les entrepôts logistiques . . . . .	68
3.5	Brouettages intraterminaux maritimes . . . . .	68

## Table des matières

---

3.6	Transfert terminal maritime centre de réparation . . . . .	69
4	Modélisation des problèmes d'optimisations rencontrés . . . . .	69
4.1	Problème de transfert de navettes ferroviaires . . . . .	69
4.1.1	Description du problème . . . . .	69
4.1.2	Circulation en noria . . . . .	70
4.1.3	Formulation mathématique . . . . .	70
4.2	Problème d'ordonnement des trains et navettes sur la cour ferroviaire . . . . .	74
4.2.1	Description du problème . . . . .	74
4.2.2	Modélisation mathématique . . . . .	75
4.3	Problème d'affectation des trains/navettes aux voies . . . . .	77
4.3.1	Description du problème . . . . .	77
4.3.2	Première formulation . . . . .	77
4.3.3	Deuxième formulation . . . . .	78
4.3.4	Troisième formulation . . . . .	79
5	Conclusion . . . . .	80
<b>IV Résolution par méthodes de couplage optimisation simulation</b>		<b>81</b>
1	Introduction . . . . .	81
2	Généralités sur l'optimisation . . . . .	82
2.1	l'optimisation mathématique . . . . .	82
2.2	Optimisation combinatoire . . . . .	82
2.2.1	Heuristiques et métaheuristiques . . . . .	83
3	Généralités sur la simulation . . . . .	84
3.1	Essai de définition . . . . .	84
3.2	Les différents paradigmes . . . . .	85
3.2.1	Simulation à évènements discrets . . . . .	85
3.2.2	Simulation des systèmes dynamiques . . . . .	85
3.2.3	Simulation multi agents . . . . .	86
4	Comparaison optimisation simulation . . . . .	86
5	Couplage optimisation simulation . . . . .	87
5.1	Avantages du couplage optimisation simulation . . . . .	87
5.1.1	Deux approches complémentaires . . . . .	88
5.1.2	Test et optimisation de plusieurs scénarios . . . . .	88
6	Modèle de simulation du port du Havre . . . . .	88
6.1	Description de système simulé . . . . .	89

