

**INFORMATIQUE
ET SYSTÈMES
D'INFORMATION**

Information - Commande - Communication

**Résolution de
problèmes de RO
par les métaheuristiques**

sous la direction de

Marc Pirlot

Jacques Teghem

hermes

Lavoisier

Résolution de problèmes de RO par les métaheuristiques



© LAVOISIER, 2003

LAVOISIER
11, rue Lavoisier
75008 Paris

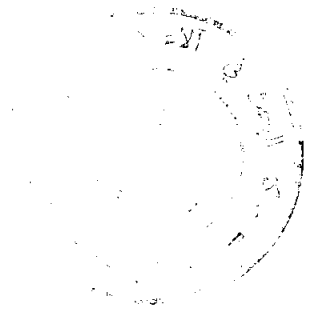
Serveur web : <http://www.hermes-science.com>

ISBN 2-7462-0463-0

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite" (article L. 122-4). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Résolution de problèmes de RO par les métaheuristiques

sous la direction de
Marc Pirlot
Jacques Teghem



*Il a été tiré de cet ouvrage
30 exemplaires hors commerce réservés
aux membres du comité scientifique,
aux auteurs et à l'éditeur
numérotés de 1 à 30*

Résolution de problèmes de RO par les métaheuristiques

sous la direction de Marc Pirlot et Jacques Teghem

fait partie de la série INFORMATIQUE ET SYSTÈMES D'INFORMATION

dirigée par Jean-Charles Pomerol

TRAITÉ IC2 INFORMATION – COMMANDE – COMMUNICATION
sous la direction scientifique de Bernard Dubuisson

Le traité Information, Commande, Communication répond au besoin de disposer d'un ensemble complet des connaissances et méthodes nécessaires à la maîtrise des systèmes technologiques.

Conçu volontairement dans un esprit d'échange disciplinaire, le traité IC2 est l'état de l'art dans les domaines suivants retenus par le comité scientifique :

- Réseaux et télécoms
- Traitement du signal et de l'image
- Informatique et systèmes d'information
- Systèmes automatisés et productique
- Management et gestion des STICS
- Cognition et traitement de l'information

Chaque ouvrage présente aussi bien les aspects fondamentaux qu'expérimentaux. Une classification des différents articles contenus dans chacun, une bibliographie et un index détaillé orientent le lecteur vers ses points d'intérêt immédiats : celui-ci dispose ainsi d'un guide pour ses réflexions ou pour ses choix.

Les savoirs, théories et méthodes rassemblés dans chaque ouvrage ont été choisis pour leur pertinence dans l'avancée des connaissances ou pour la qualité des résultats obtenus dans le cas d'expérimentations réelles.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Liste des auteurs

Christelle BLOCH
Laboratoire Systèmes et Transports
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

Van-Dat CUNG
PRiSM
Université de Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines

Philippe FORTEMPS
MATHRO
Faculté polytechnique de Mons
Belgique

Michel GENDREAU
CRT
Université de Montréal
Canada

Alain HERTZ
CRT
Département de mathématiques et de génie industriel
Ecole polytechnique de Montréal
Canada

Gilbert LAPORTE
CRT
HEC Montréal
Canada

Thierry MAUTOR
PRiSM
Université de Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines

Marc PIRLOT
MATHRO
Faculté polytechnique de Mons
Belgique

Marie-Claude PORTMANN
LORIA
Ecole des Mines
Nancy

Jean-Yves POTVIN
Département d'informatique et recherche opérationnelle
Université de Montréal
Canada

Catherine ROUCAIROL
PRISM
Université de Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines

Frédéric SEMET
LAMIH
Université de Valenciennes

Jacques TEGHEM
MATHRO
Faculté polytechnique de Mons
Belgique

Daniel TUYTTENS
MATHRO
Faculté polytechnique de Mons
Belgique

Berthold ULUNGU-EKUNDA
MATHRO
Faculté polytechnique de Mons
Belgique

Antony VIGNIER
LORIA
Université Henri Poincaré
Nancy

Table des matières

Introduction	15
Marc PIRLOT et Jacques TEGHEM	
Chapitre 1. Application des métaheuristiques à la coloration des sommets d'un graphe	21
Alain HERTZ	
1.1. Le problème de la coloration des sommets d'un graphe	21
1.2. Quelques méthodes constructives	23
1.3. Techniques de recherche locale	25
1.4. Algorithmes génétiques	29
1.5. Algorithmes hybrides	33
1.6. L'algorithme de Galinier et Hao	34
1.7. Quelques autres métaheuristiques	37
1.7.1. La méthode à mémoire adaptative	37
1.7.2. Les systèmes de fourmis	39
1.7.3. La recherche à voisinages variables.	42
1.8. Conclusion	45
Bibliographie	46
Chapitre 2. Métaheuristiques pour le problème des tournées de véhicules .	49
Michel GENDREAU, Gilbert LAPORTE, Jean-Yves POTVIN, Frédéric SEMET	
2.1. Introduction	49
2.2. Heuristiques classiques pour le PTV	50
2.3. Approches basées sur les métaheuristiques pour le PTV	54
2.3.1. Approches basées sur le recuit simulé	54
2.3.2. Approches basées sur les algorithmes génétiques	55
2.3.3. Approches basées sur les colonies de fourmis	57
2.3.4. Approches basées sur les réseaux de neurones	58

- 2.4. Adaptations de la métaheuristique tabou au PTV 59
 - 2.4.1. Exploration du voisinage 61
 - 2.4.2. Réduction de la taille du voisinage 62
 - 2.4.3. Relaxation de contraintes 63
 - 2.4.4. Stratégies d'intensification et de diversification 63
 - 2.4.5. Mémoire adaptative 64
 - 2.4.6. Résultats numériques 64
- 2.5. Conclusion 65
- Bibliographie 67

Chapitre 3. Métaheuristiques pour le problème d'affectation quadratique 71
 Thierry MAUTOR

- 3.1. Présentation du problème d'affectation quadratique 71
- 3.2. Solutions métaheuristiques pour le problème d'affectation quadratique 72
 - 3.2.1. Difficultés des instances 73
 - 3.2.2. Bibliothèque de problèmes d'affectation quadratique 74
- 3.3. Méthodes de recherche locale 75
- 3.4. Algorithmes évolutifs 80
- 3.5. Conclusion 83
 - 3.5.1. Vers une unification des approches métaheuristiques 84
 - 3.5.2. Il faut diversifier la nature de la recherche. 85
 - 3.5.3. L'affectation quadratique : un problème métaheuristiquement facile ? 86
 - 3.5.4. Un besoin de plus en plus marqué de parallélisme 87
- Bibliographie 87

Chapitre 4. Implémentation des métaheuristiques : études de cas 91
 Daniel TUYTTENS, Marc PIRLOT, Jacques TEGHEM

- 4.1. Introduction 91
- 4.2. Problème de groupement homogène 92
 - 4.2.1. Description du problème 92
 - 4.2.2. Recuit simulé et recherche tabou 94
 - 4.2.3. Implémentation et résultats. 97
 - 4.2.4. Hybridation de RS et RT 100
 - 4.2.5. Discussion. 103
- 4.3. Problème du mariage des couvertures. 104
 - 4.3.1. Présentation du problème 104
 - 4.3.2. Modélisation en un problème linéaire en variables mixtes. 106
 - 4.3.3. Application du recuit simulé. 108
 - 4.3.4. Quelques résultats et commentaires. 111

4.4. Ordonnancement d'un atelier de production	113
4.4.1. Description du problème	113
4.4.2. L'algorithme utilisé	117
4.4.3. Résultats numériques	119
4.5. Conclusion générale	123
Bibliographie	125

Chapitre 5. Implémentations parallèles des métaheuristiques 127

Van-Dat CUNG et Catherine ROUCAIROL

5.1. Introduction	127
5.2. Calcul parallèle	128
5.2.1. Machines parallèles : la nouvelle tendance	128
5.2.2. Environnements de programmation parallèles	130
5.2.3. Modèles de programmation parallèle	131
5.2.4. Irrégularité	131
5.3. Pourquoi paralléliser les métaheuristiques ?	132
5.3.1. Plus vite, plus grand !	132
5.3.2. Meilleur, plus robuste !	132
5.4. Classification des métaheuristiques parallèles	133
5.4.1. Parallélisation interne – une seule marche	135
5.4.2. Parallélisation externe – plusieurs marches	136
5.5. Complexité de la recherche locale parallèle	138
5.5.1. Indicateurs de performances	138
5.5.2. Complexité d'un algorithme parallèle	139
5.5.3. Complexité de la recherche locale	140
5.6. Des exemples d'implantation	142
5.6.1. Parallélisation interne	142
5.6.2. Parallélisation externe : marches indépendantes	144
5.6.3. Parallélisation externe : marches coopératives	147
5.7. Conclusion et perspectives	149
Bibliographie	151

Chapitre 6. Application des algorithmes génétiques à l'ordonnancement de la production 155

Christelle BLOCH, Marie-Claude PORTMANN, Antony VIGNIER

6.1. Définition et classification des problèmes d'ordonnancement	156
6.2. Algorithmes génétiques pour le problème du « jobshop »	159
6.2.1. Le problème du « jobshop »	159
6.2.2. Les codages les plus immédiats pour le problème du « jobshop »	160
6.2.3. Algorithmes génétiques basés sur des générateurs de solution	162
6.2.4. Algorithmes génétiques basés sur des codages directs	166

6.2.5. Conclusion sur l'application des algorithmes génétiques au « jobshop »	172
6.3. Algorithmes génétiques pour le « flowshop » hybride	173
6.3.1. Le problème d'ordonnancement de type « flowshop » hybride	173
6.3.2. Un algorithme génétique utilisant un codage indirect	175
6.3.3. Un algorithme génétique utilisant un codage direct	177
6.3.4. Hybridation avec une méthode exacte	178
6.3.5. Conclusion sur l'application des algorithmes génétiques au « flowshop » hybride	179
6.4. Un algorithme génétique pour résoudre un problème particulier de « hoist scheduling »	180
6.4.1. Présentation générale d'un problème de type « hoist scheduling »	180
6.4.2. Un algorithme génétique pour la résolution d'un problème dynamique de type « hoist scheduling »	184
6.4.3. Conclusion sur l'application des algorithmes génétiques au « hoist scheduling »	190
6.5. Conclusion générale	191
Bibliographie	192

**Chapitre 7. Adaptation des métaheuristiques
en optimisation multicritère** 197
 Jacques TEGHEM, Berthold ULUNGU-EKUNDA, Daniel TUYTTENS,
 PHILIPPE FORTEMPS

7.1. Introduction	197
7.2. L'optimisation combinatoire multicritère.	198
7.3. La méthode MOSA.	203
7.3.1. Comparaison de deux solutions	203
7.3.2. Principe de la méthode MOSA	205
7.3.3. Génération de $\widehat{E}(P)$	206
7.4. Mesures de qualité de la méthode MOSA	207
7.4.1. $E(P)$ est disponible.	208
7.4.2. $E(P)$ n'est pas disponible	210
7.5. Expérimentations numériques	210
7.5.1. Le problème de chargement bicritère.	211
7.5.2. Le problème d'affectation bicritère	215
7.5.3. Des problèmes multicritères d'ordonnancement de production	217
7.6. La méthode MOSA interactive.	222
7.6.1. Méthodes interactives	222
7.6.2. Interactivité dans MOSA	223
7.7. Conclusions	225
Bibliographie	226

Chapitre 8. Satisfaction de contraintes flexibles.

Application aux problèmes d'ordonnancement	229
Philippe FORTEMPS	
8.1. Introduction	229
8.2. Modélisation des préférences – Gradation de la satisfaction	232
8.3. Les contraintes flexibles en pratique	234
8.3.1. Affectation flexible	234
8.3.2. L'effet de noyade	236
8.3.3. Procédures de comparaison raffinées	237
8.3.4. Procédures d'optimisation spécifiques	238
8.4. Application à l'ordonnancement	238
8.4.1. Dans le cas classique	239
8.4.2. Préférences sur les paramètres temporels	239
8.4.3. Procédure de résolution	242
8.4.4. Procédures de résolution avancées	243
8.5. Préférence <i>versus</i> Incertitude	244
8.5.1. Modélisation des incertitudes sur la durée	244
8.5.2. Une description commune	245
8.5.3. Incertitude sur les autres paramètres temporels	246
8.6. Préférences ou Priorités	248
8.7. Conclusions et compléments de lecture	249
Bibliographie	250
 Index	 253