

**INFORMATIQUE  
ET SYSTÈMES  
D'INFORMATION**

**Information – Commande – Communication**

# **Optimisation combinatoire 3**

*applications*

*sous la direction de*  
Vangelis Th. Paschos

**hermes**

---

*Lavoisier*

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	17
Vangelis Th. PASCHOS	
<b>Chapitre 1. Optimisation de la construction de rotations d'équipages en transport aérien</b> . . . . .	23
Laurent ALFANDARI, Anass NAGIH	
1.1. Introduction . . . . .	23
1.2. Définition du problème . . . . .	24
1.2.1. Construction des sous-réseaux . . . . .	24
1.2.2. Coût des rotations . . . . .	26
1.2.3. Modèle . . . . .	26
1.2.4. Cas sans contraintes de ressources . . . . .	27
1.3. Approches de résolution . . . . .	30
1.3.1. Principes de décomposition . . . . .	30
1.3.2. Génération de colonnes, problème maître et sous-problème . . . . .	30
1.3.3. Méthodes de branchement pour la recherche de solutions entières . . . . .	32
1.4. Résolution du sous-problème pour la génération de colonnes . . . . .	33
1.4.1. Formulation mathématique . . . . .	33
1.4.2. Principe général de génération des étiquettes efficaces . . . . .	34
1.4.3. Cas d'une ressource unique : méthode des seaux . . . . .	35
1.4.4. Cas de ressources nombreuses : réduction de l'espace des ressources . . . . .	39
1.4.4.1. Principe de réduction . . . . .	39
1.4.4.2. Approche basée sur la relaxation lagrangienne . . . . .	40
1.4.4.3. Approche basée sur la relaxation agrégée . . . . .	43
1.5. Conclusion . . . . .	44
1.6. Bibliographie . . . . .	45

<b>Chapitre 2. Recherche opérationnelle et transport de marchandises . . . .</b>	<b>47</b>
Teodor Gabriel CRAINIC, Frédéric SEMET	
2.1. Introduction . . . . .	47
2.2. Systèmes de transport de marchandises . . . . .	49
2.3. Conception de systèmes . . . . .	51
2.3.1. Localisation avec exigences d'équilibrage . . . . .	52
2.3.2. Production-distribution multiproduit . . . . .	54
2.3.3. Localisation de <i>hubs</i> . . . . .	56
2.4. Transport longue distance . . . . .	58
2.4.1. Conception de réseaux de service . . . . .	58
2.4.2. Formulations statiques . . . . .	60
2.4.3. Formulations dynamiques . . . . .	67
2.4.4. Gestion de flottes . . . . .	68
2.5. Problèmes de tournées de véhicules . . . . .	74
2.5.1. Définitions et complexité . . . . .	75
2.5.2. Extensions classiques . . . . .	76
2.6. Modèles et méthodes exactes pour le PTV . . . . .	76
2.6.1. Modèle de flot à trois indices . . . . .	77
2.6.2. Modèle de flot pour le PTVC symétrique . . . . .	78
2.6.3. Modèle de partitionnement d'ensemble . . . . .	79
2.6.4. Méthodes de séparations et coupes pour le PTVC . . . . .	80
2.6.4.1. Inégalités valides . . . . .	81
2.6.4.2. Méthodes de séparation . . . . .	82
2.6.5. Méthodes de génération de colonnes pour le PTVFT . . . . .	84
2.7. Méthodes heuristiques pour le PTV . . . . .	85
2.7.1. Heuristiques classiques . . . . .	85
2.7.1.1. Méthodes constructives . . . . .	86
2.7.1.2. Méthodes à deux phases . . . . .	87
2.7.1.3. Méthodes d'amélioration . . . . .	89
2.7.2. Métaheuristiques . . . . .	90
2.7.2.1. Métaheuristiques pour le PTVC et le PTVCL . . . . .	90
2.7.2.2. Métaheuristiques pour le PTVFT . . . . .	94
2.7.3. Le PTV en pratique . . . . .	98
2.8. Conclusion . . . . .	99
2.9. Annexe : métaheuristiques . . . . .	100
2.9.1. Recherche avec tabous . . . . .	100
2.9.2. Algorithmes évolutionnaires . . . . .	102
2.10. Bibliographie . . . . .	103

<b>Chapitre 3. Modèles d'optimisation pour la planification des systèmes de transport</b> . . . . .	117
Teodor Gabriel CRAINIC, Michael FLORIAN	
3.1. Introduction . . . . .	117
3.2. Modèles d'interaction spatiale . . . . .	118
3.3. Modèles et méthodes d'affectation du trafic . . . . .	122
3.3.1. Modèles d'optimisation système et d'optimisation usager . . . . .	124
3.3.2. Algorithmes pour l'affectation du trafic pour le modèle d'optimisation usager . . . . .	126
3.3.2.1. Décomposition cyclique des O-D avec équilibre des chemins . . . . .	126
3.3.2.2. Méthode d'approximation linéaire . . . . .	128
3.3.3. Le problème de l'usager comme inégalité variationnelle . . . . .	132
3.3.3.1. Méthode de projection pour IVU-DF . . . . .	133
3.3.3.2. Décomposition simpliciale pour IVU-DF . . . . .	135
3.4. Modèles de choix de routes dans le transport en commun . . . . .	137
3.5. Planification stratégique de systèmes multimodaux . . . . .	142
3.5.1. Demande . . . . .	143
3.5.2. Choix de mode . . . . .	144
3.5.3. Représentation de l'offre de transport et affectation de la demande . . . . .	145
3.6. Conclusion . . . . .	149
3.7. Bibliographie . . . . .	149
 <b>Chapitre 4. Le problème du placement de tâches</b> . . . . .	 153
Moaiz BEN DHAOU, Didier FAYARD	
4.1. Présentation . . . . .	154
4.2. Définitions et modélisation . . . . .	154
4.2.1. Définitions . . . . .	154
4.2.2. Les processeurs . . . . .	155
4.2.3. Les communications . . . . .	155
4.2.4. Les tâches . . . . .	156
4.2.5. Types de placement . . . . .	156
4.2.5.1. Placement statique . . . . .	156
4.2.5.2. Placement dynamique . . . . .	157
4.2.5.3. Avec ou sans préemption . . . . .	157
4.2.5.4. Duplication de tâches . . . . .	157
4.2.6. Placement/ordonnancement . . . . .	158
4.2.7. Modélisation . . . . .	158
4.2.7.1. Modélisation des coûts . . . . .	158
4.2.7.2. Contraintes . . . . .	158

4.2.7.3. Objectifs du placement . . . . .	158
4.3. Revue des principaux travaux . . . . .	160
4.3.1. Cas polynomiaux . . . . .	161
4.3.1.1. Cas de deux processeurs . . . . .	161
4.3.1.2. Cas d'un arbre . . . . .	162
4.3.1.3. Autres structures . . . . .	162
4.3.1.4. Restrictions sur les processeurs ou les tâches . . . . .	163
4.3.1.5. Objectif en minmax . . . . .	163
4.3.2. Approximabilité . . . . .	163
4.3.3. Résolution approchée . . . . .	164
4.3.3.1. Processeurs hétérogènes . . . . .	164
4.3.3.2. Processeurs homogènes . . . . .	165
4.3.4. Résolution exacte . . . . .	166
4.3.5. Cas des tâches indépendantes . . . . .	167
4.4. Un modèle peu étudié . . . . .	169
4.4.1. Modèle . . . . .	169
4.4.2. Une heuristique à base de graphes . . . . .	170
4.4.2.1. Transformation du problème . . . . .	171
4.4.2.2. Modélisation . . . . .	172
4.4.2.3. Description de l'heuristique . . . . .	173
4.5. Conclusion . . . . .	175
4.6. Bibliographie . . . . .	175

**Chapitre 5. Une comparaison de quelques méthodes de génération d'inégalités valides pour des problèmes entiers 0-1 généraux . . . . . 179**  
 Pierre BONAMI, Michel MINOUX

5.1. Introduction. . . . .	179
5.2. Présentation des différentes techniques testées . . . . .	183
5.2.1. Séparation exacte par rapport à une relaxation mixte . . . . .	183
5.2.2. Séparation approchée par utilisation d'une heuristique . . . . .	185
5.2.3. Restriction + séparation + lifting relaxé (RSLR) . . . . .	185
5.2.4. La programmation disjonctive et la procédure de <i>Lift &amp; Project</i> . . . . .	189
5.2.5. Technique de reformulation-linéarisation (RLT) . . . . .	193
5.3. Résultats de calculs . . . . .	197
5.3.1. Présentation des problèmes tests . . . . .	197
5.3.2. Présentation des résultats . . . . .	197
5.3.3. Discussion des résultats de calcul . . . . .	199
5.4. Bibliographie . . . . .	200

<b>Chapitre 6. Optimisation combinatoire parallèle</b> . . . . .	203
Van-Dat CUNG, Bertrand LE CUN, Catherine ROUCAIROL	
6.1. Impact du parallélisme en optimisation combinatoire . . . . .	203
6.2. Métaheuristiques parallèles . . . . .	205
6.2.1. Notion de marche . . . . .	205
6.2.2. Classification des métaheuristiques parallèles . . . . .	206
6.2.3. Un exemple illustratif : recherche par dispersion pour l'affectation quadratique ou QAP . . . . .	208
6.3. Parallélisation du parcours arborescent dans les méthodes exactes . . .	214
6.3.1. Retour sur deux <i>success stories</i> . . . . .	214
6.3.2. Modèle de <i>B&amp;X</i> et structures de données . . . . .	215
6.3.3. Les différents niveaux de parallélisme . . . . .	217
6.3.4. Arborecence critique et anomalies . . . . .	218
6.3.5. Algorithmes parallèles et granularité . . . . .	219
6.3.6. La bibliothèque BOB++ . . . . .	220
6.3.7. <i>B&amp;X</i> sur les grilles de machines . . . . .	222
6.4. Conclusion . . . . .	226
6.5. Bibliographie . . . . .	227
<b>Chapitre 7. Affectation multicritère de tâches à des processeurs hétérogènes sous contraintes de capacité et de mutuelle exclusion</b> . . . . .	231
Bernard ROY, Roman SLOWINSKI	
7.1. Introduction et formulation du problème . . . . .	232
7.1.1. Exemple a : organisation du choix des cours à option par les étudiants . . . . .	233
7.1.2. Exemple b : programmation temporelle d'activités . . . . .	234
7.1.3. Exemple c : ordonnancement de tâches sur des machines . . . . .	234
7.2. Modélisation de l'ensemble des affectations réalisables . . . . .	236
7.3. Le concept de configuration bloquante et analyse des possibilités de déblocage . . . . .	238
7.3.1. Rappel de quelques résultats de théorie des flots . . . . .	238
7.3.2. Analyse de la coupe minimum révélée par le marquage d'un flot maximum sur $N$ . . . . .	238
7.3.3. Le concept de configuration bloquante . . . . .	241
7.3.4. Actions de déblocage . . . . .	246
7.3.4.1. Affectation d'une tâche supplémentaire en conservant l'affectation initiale . . . . .	249
7.3.4.2. Affectation d'une tâche supplémentaire en acceptant de changer l'affectation initiale . . . . .	250
7.4. Le problème d'affectation multicritère . . . . .	251
7.4.1. Définition de la famille de critères . . . . .	251

7.4.2. Stratégie de sélection de compromis satisfaisants . . . . .	252
7.5. Exploration d'un ensemble d'affectations réalisables non dominées dans le plan $g_2 \times g_3$ . . . . .	253
7.5.1. Le problème d'affectation bicritère avec contraintes de mutuelle exclusion . . . . .	253
7.5.2. Recherche des solutions supportées du problème P . . . . .	256
7.5.3. Représentation matricielle du problème P . . . . .	257
7.5.4. Recherche des solutions non supportées du problème P . . . . .	259
7.6. Exemples numériques . . . . .	263
7.6.1. Exemple avec présence d'une configuration bloquante . . . . .	263
7.6.2. Exemple sans configuration bloquante . . . . .	265
7.7. Conclusion . . . . .	268
7.8. Bibliographie . . . . .	269

## **Chapitre 8. Optimisation combinatoire**

### **et planification de la production . . . . . 271**

Nadia BRAUNER, Gerd FINKE et Maurice QUEYRANNE

8.1. Introduction. . . . .	271
8.2. Planification hiérarchique . . . . .	272
8.3. Planification stratégique et conception du système productif . . . . .	273
8.3.1. Technologie de groupe. . . . .	273
8.3.2. Implantation d'équipements. . . . .	275
8.4. Planification tactique et gestion des stocks . . . . .	276
8.4.1. Un modèle de programmation linéaire pour la planification à moyen terme. . . . .	276
8.4.2. Gestion des stocks . . . . .	277
8.4.3. Le modèle de Wagner et Whitin . . . . .	278
8.4.4. Le modèle de la quantité économique (EOQ) . . . . .	282
8.4.5. Le modèle EOQ avec réapprovisionnements joints . . . . .	287
8.5. Planification opérationnelle et ordonnancement . . . . .	290
8.5.1. Outillage . . . . .	291
8.5.2. Cellules robotisées . . . . .	297
8.6. Conclusion . . . . .	304
8.7. Bibliographie . . . . .	306

## **Chapitre 9. Les problèmes de synthèse de réseaux :**

### **fondements et méthodes . . . . . 311**

Alain QUILLIOT

9.1. Introduction. . . . .	311
9.2. Les principaux outils mathématiques et algorithmiques pour la synthèse de réseaux . . . . .	316

9.2.1. Décomposition en programmation linéaire et polyèdres . . . . .	316
9.2.1.1. Décomposition de Benders . . . . .	317
9.2.1.2. Décomposition lagrangienne . . . . .	318
9.2.1.3. Génération de colonnes . . . . .	319
9.2.1.4. Décomposition de Dantzig-Wolfe . . . . .	320
9.2.1.5. Décomposition proximale . . . . .	321
9.2.1.6. Polyèdres et facettes . . . . .	322
9.2.2. Flots et multiflots . . . . .	324
9.2.2.1. Le problème du flot de coût minimal . . . . .	325
9.2.2.2. Le problème du multiflot de coût minimal . . . . .	328
9.2.3. Les réseaux de files d'attente . . . . .	331
9.2.4. Les modèles de théorie des jeux . . . . .	332
9.2.4.1. Jeux coopératifs . . . . .	332
9.2.4.2. Jeux non coopératifs . . . . .	333
9.2.4.3. Modèles mixtes : tarification au sens de Ramsay-Boiteux . . . . .	333
9.3. Modèles et problèmes . . . . .	334
9.3.1. Les problèmes de localisation . . . . .	334
9.3.2. Les arbres de Steiner et variantes . . . . .	334
9.3.2.1. Traitement par approche polyédrale . . . . .	335
9.3.2.2. Traitement par heuristiques . . . . .	337
9.3.2.3. Traitement à l'aide d'un modèle de flot et multiflot . . . . .	337
9.3.3. Sur le problème Steiner-étendu . . . . .	339
9.4. Conclusion . . . . .	340
9.5. Bibliographie . . . . .	341

**Chapitre 10. Les problèmes de synthèse de réseaux :  
modèles et applications . . . . . 349**

Alain QUILLIOT

10.1. Introduction . . . . .	349
10.2. Modèles et problèmes de localisation . . . . .	351
10.2.1. Localisation du dispositif d'accès à un réseau . . . . .	352
10.2.1.1. Méthodes de traitement . . . . .	353
10.2.2. Localisation de machines et d'activités au sein d'un espace de production . . . . .	354
10.2.2.1. Méthodes de traitement . . . . .	355
10.3. Modèles de routage pour les télécommunications . . . . .	356
10.3.1. Tests numériques . . . . .	358
10.4. Le problème du design ou dimensionnement en télécommunications . . . . .	359
10.4.1. Tests numériques . . . . .	361
10.5. Flots et multiflots couplés pour les transports et la productique . . . . .	365

## 16 Optimisation combinatoire

10.5.1. Modélisation d'un problème de tournées à l'aide d'un réseau dynamique . . . . .	365
10.5.1.1. Modélisation d'un système de production . . . . .	367
10.5.2. Analyse du problème flot-multiflot-couples (FMC) . . . . .	369
10.5.2.1. Schéma DME par décomposition du type maître-esclave (Benders) . . . . .	369
10.5.2.2. Schéma DRCOUP de traitement de FMC par relaxation lagrangienne de la contrainte de couplage . . . . .	370
10.5.2.3. Gestion agrégée du multiflot . . . . .	372
10.6. Un modèle mixte de tarification de réseaux . . . . .	373
10.6.1. Jeux coopératifs avec demandes élastiques . . . . .	373
10.6.2. Un résultat d'existence et un algorithme. . . . .	375
10.6.3. Un jeu de synthèse de réseau . . . . .	376
10.7. Conclusion . . . . .	378
10.8. Bibliographie . . . . .	378
<b>Index . . . . .</b>	<b>385</b>
<b>Sommaire du volume 1 . . . . .</b>	<b>387</b>
<b>Sommaire du volume 2 . . . . .</b>	<b>395</b>

## Traité IC2 Information – Commande – Communication

---

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.

**hermes**  
**Science**  
— publications —

[www.hermès-science.com](http://www.hermès-science.com)

ISBN 2-7462-1179-3

