

Robert Faure  
Bernard Lemaire  
Christophe Picouleau

# Précis de recherche opérationnelle

Méthodes et exercices d'application

**7<sup>e</sup> édition**

Licence  
Master  
Écoles d'ingénieurs

DUNOD

M 858

056792

(5)



# Précis de recherche opérationnelle

Méthodes et exercices d'application

**Robert Faure**

était professeur de la chaire  
de recherche opérationnelle au CNAM

**Bernard Lemaire**

est professeur émérite de la chaire  
de recherche opérationnelle au CNAM

**Christophe Picouleau**

est professeur des universités au CNAM

7<sup>e</sup> édition

DUNOD

# TABLE DES MATIÈRES



AVANT-PROPOS.....	vii
INTRODUCTION À LA RECHERCHE OPERATIONNELLE.....	ix
<b>1 STRUCTURES ORDONNÉES APPLICATIONS DES TREILLIS ET DE L'ALGÈBRE DE BOOLE EN RECHERCHE OPÉRATIONNELLE.....</b>	<b>1</b>
1.1 NOTIONS SUR LES STRUCTURES ORDONNÉES .....	1
1.2 REPRÉSENTATION ENSEMBLISTE DES ALGÈBRES DE BOOLE. APPLICATION À LA LOGIQUE ÉLÉMENTAIRE .....	11
1.3 L'ALGÈBRE DE BOOLE BINAIRE .....	19
1.4 APPLICATIONS ÉLÉMENTAIRES .....	27
<b>2 NOTIONS DE COMPLEXITÉ.....</b>	<b>42</b>
2.1 COMPLEXITÉ DES ALGORITHMES .....	42
2.2 COMPLEXITÉ DES PROBLÈMES.....	47
<b>3 ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES GRAPHES : DÉFINITION, CONCEPTS ESSENTIELS; PARCOURS DES GRAPHES.....</b>	<b>59</b>
3.1 ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES GRAPHES .....	59
3.2 PARCOURS DES GRAPHES .....	70
<b>4 APPLICATIONS DES GRAPHES À LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE .....</b>	<b>99</b>
4.1 NOTIONS DE PROGRAMMATION DYNAMIQUE (PRD) .....	99
4.2 APPLICATIONS AUX CHEMINS OPTIMAUX.....	104
4.3 PROBLÈMES D'ORDONNANCEMENT EN GESTION DE PROJETS.....	114
4.4 PROBLÈME DU FLOT DE VALEUR MAXIMALE.....	128
4.5 FLOT DE VALEUR MAXIMALE À COÛT MINIMAL.....	134
4.6 PROBLÈMES D'AFFECTATION .....	139
4.7 NOTIONS D'ARBRE ET D'ARBORESCENCE .....	144
4.8 APPLICATIONS AUX ARBRES OPTIMAUX.....	146
4.9 LES PROGRAMMES DE TRANSPORT.....	149
4.10 RECHERCHES ARBORESCENTES .....	163

<b>5 PROCESSUS STOCHASTIQUES ET PROGRAMMATION</b>	
<b>DYNAMIQUE STOCHASTIQUE .....</b>	<b>186</b>
5.1 INTRODUCTION AUX PROBLÈMES STOCHASTIQUES .....	186
5.2 DÉFINITION D'UN PROCESSUS STOCHASTIQUE .....	188
5.3 CHAÎNES DE MARKOV À ESPACE D'ÉTATS DISCRET.....	188
5.4 CLASSIFICATION DES ÉTATS D'UNE CHAÎNE DE MARKOV FINIE À L'AIDE DU GRAPHE DES TRANSITIONS .....	191
5.5 PROCESSUS DE MARKOV À ESPACE D'ÉTATS DISCRET .....	197
5.6 PROBABILITÉS DES ÉTATS .....	200
5.7 ERGODICITÉ .....	202
5.8 CALCUL DES PROBABILITÉS DES ÉTATS EN RÉGIME PERMANENT—THÉORÈME DES COUPES.....	204
5.9 PROCESSUS DE MARKOV PARTICULIERS.....	208
5.10 NOTION DE PROGRAMMATION DYNAMIQUE STOCHASTIQUE.....	216
<b>6 FIABILITÉ DES COMPOSANTS, SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT</b>	
<b>DES SYSTÈMES .....</b>	<b>228</b>
6.1 DONNÉES DISCRÈTES. COURBES DE SURVIE EXPÉRIMENTALE .....	228
6.2 LOI DE SURVIE : FORME ANALYTIQUE.....	233
6.3 PROBABILITÉ DE CONSOMMATION. APPROVISIONNEMENTS .....	237
6.4 CALCUL DES APPROVISIONNEMENTS.....	239
6.5 UN AUTRE COMPROMIS : L'ENTRETIEN PRÉVENTIF .....	244
6.6 FIABILITÉ DES SYSTÈMES NON RÉPARABLES .....	250
6.7 SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES RÉPARABLES.....	254
6.8 STRATÉGIE DE REMPLACEMENT .....	259
<b>7 LES PHÉNOMÈNES D'ATTENTE.....</b>	<b>270</b>
7.1 GÉNÉRALITÉS SUR LES PHÉNOMÈNES D'ATTENTE.....	270
7.2 LOI DES ARRIVÉES. LOI DES SERVICES.....	271
7.3 FILE À UNE STATION. SYSTÈME OUVERT : FILE M/M/1 .....	272
7.4 FILE À S STATIONS, SYSTÈME OUVERT : FILE M/M/S.....	278
7.5 APPLICATION NUMÉRIQUE .....	280
7.6 FILE À S STATIONS, CAS DU SYSTÈME FERMÉ : FILE M/M/S/N .....	286

7.7	PROBABILITÉ DE DÉPASSER UNE CERTAINE ATTENTE : CAS DE LA FILE M/M/1 .....	289
<b>8</b>	<b>LA PROGRAMMATION LINÉAIRE.....</b>	<b>297</b>
8.1	EXEMPLE DE PROGRAMME LINÉAIRE (PL) – ASPECT GÉOMÉTRIQUE.....	298
8.2	ALGORITHME DU SIMPLEXE : MÉTHODE ALGÈBRIQUE, MÉTHODE DES TABLEAUX.....	307
8.3	DÉGÉNÉRESCENCES POSSIBLES .....	321
8.4	ASPECT MATRICIEL.....	324
8.5	DÉMARRAGE DE L'ALGORITHME DU SIMPLEXE : PROBLÈME DE LA BASE INITIALE .....	330
8.6	NOTIONS SUR LA MÉTHODE RÉVISÉE DU SIMPLEXE.....	340
8.7	DUALITÉ.....	342
8.8	PROGRAMME LINÉAIRE EN NOMBRES ENTIERS ; MÉTHODE DES TRONCATURES DE GOMORY .....	352
<b>9</b>	<b>INTRODUCTION À LA THÉORIE DES JEUX.....</b>	<b>367</b>
9.1	UN JEU D'ENFANT.....	367
9.2	JEUX À DEUX PERSONNES ET À SOMME NULLE.....	368
9.3	NOTION DE STRATÉGIES MIXTES ; CALCUL DES FREQUENCES OPTIMALES .....	372
9.4	AUTRE MÉTHODE DE CALCUL : LES PL DES JOUEURS SONT EN DUALITÉ.....	376
9.5	EXEMPLE D'APPLICATION ÉCONOMIQUE ; DOMINANCE D'UNE STRATÉGIE, RÉDUCTION D'UN JEU.....	379
9.6	MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DES JEUX À DEUX JOUEURS ET SOMME NULLE .....	382
<b>10</b>	<b>SIMULATION .....</b>	<b>384</b>
10.1	INTRODUCTION .....	384
10.2	DÉFINITIONS.....	386
10.3	LES « ENTRÉES » D'UN MODÈLE DE SIMULATION.....	387
10.4	UN EXEMPLE DE SIMULATION.....	392
10.5	LES RÉSULTATS (SORTIES) D'UNE SIMULATION ET ANALYSE STATISTIQUE.....	393

## Table des Matières

10.6 LANGAGES DE SIMULATION.....	398
10.7 CONCLUSION.....	399
<b>11 MÉTAHEURISTIQUES EN OPTIMISATION COMBINATOIRE.....</b>	<b>400</b>
11.1 INTRODUCTION .....	400
11.2 LA TÂCHE IMPARTIE AUX MÉTAHEURISTIQUES.....	401
11.3 LA MÉTHODE DU RECUIT SIMULÉ.....	404
11.4 LA RECHERCHE TABOU .....	408
11.5 LES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES .....	412
11.6 LES ALGORITHMES DE COLONIES DE FOURMIS .....	415
11.7 LES MÉTHODES HYBRIDES.....	417
<b>12 INTRODUCTION À L'AIDE MULTICRITÈRE À LA DÉCISION .....</b>	<b>419</b>
12.1 INTRODUCTION .....	419
12.2 CADRE GÉNÉRAL.....	421
12.3 LA SOMME PONDÉRÉE.....	427
12.4 MÉTHODES DE SURCLASSEMENT (ELECTRE) .....	429
12.5 OPTIMISATION MULTIOBJECTIF.....	435
12.6 CONCLUSION .....	440
<b>SOLUTIONS DES EXERCICES .....</b>	<b>442</b>
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 1 .....	442
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 2 .....	450
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 3 .....	452
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 4 .....	457
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 5 .....	482
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 6 .....	497
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 7 .....	514
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 8 .....	526
SOLUTIONS DES EXERCICES DU CHAPITRE 9 .....	559
<b>BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE .....</b>	<b>568</b>
<b>INDEX .....</b>	<b>569</b>

Robert Faure  
Bernard Lemaire  
Christophe Picouleau

## Précis de recherche opérationnelle Méthodes et exercices d'application

Depuis sa première édition, ce précis a connu une très large diffusion qui en a fait un vecteur privilégié d'initiation et de formation à la recherche opérationnelle pour des générations d'étudiants et d'ingénieurs.

Le souci des auteurs a été de moderniser et de compléter le contenu de ce grand classique tout en accentuant son caractère pédagogique qui est de replacer l'exposé des principales méthodes de la recherche opérationnelle dans un contexte appliqué.

Il est accessible à des lecteurs dont la formation de base est variée et pas nécessairement spécialisés en mathématiques et/ou en informatique. Il comporte plusieurs niveaux de lecture, les paragraphes les plus « pointus » ayant été placés en fin de chapitre. Ainsi convient-il tout à fait à une découverte de la recherche opérationnelle comme on la pratique en fin de Licence ou en début de Master.

Cette septième édition entièrement révisée a été augmentée de nouveaux exercices corrigés et exemples.

7<sup>e</sup> édition

**Robert Faure**  
était professeur de la  
chaire de recherche  
opérationnelle au  
CNAM.

**Bernard Lemaire**  
est professeur  
émérite de la chaire  
de recherche  
opérationnelle au  
CNAM.

**Christophe Picouleau**  
est professeur des  
universités au CNAM.



9 782100 706129

6279392

ISBN 978-2-10-070612-9



Les actus



du savoir

