

Michaël Bruyneel  
Jean-Charles Craveur  
Pierre Gourmelen

**L'USINE  
NOUVELLE**



# OPTIMISATION DES STRUCTURES MÉCANIQUES

Méthodes numériques et éléments finis

**DUNOD**

# Table des matières

<b>Avant-propos</b>	<b>XI</b>
<b>Chapitre 1 : Objectif et contraintes</b>	<b>1</b>
1.1 Pourquoi l'optimisation ?	1
1.2 Optimisation et mécanique des structures	2
1.3 Structure de l'ouvrage	4
<b>Chapitre 2 : De la conception à la conception optimale</b>	<b>5</b>
2.1 Présentation	5
2.2 Concepts de base	5
2.3 Configurations possibles	11
2.4 Essai-erreur	14
2.5 Étude paramétrique	15
2.6 Plans d'expériences	18
2.7 Surfaces de réponse	20
2.8 Optimisation	21
2.9 Questions préalables à la résolution	22
<b>Chapitre 3 : Les différents problèmes d'optimisation des structures</b>	<b>24</b>
3.1 Paramétrage et choix des fonctions	24
3.2 Les problèmes d'optimisation de structures	25
<b>Chapitre 4 : Les différentes méthodes d'optimisation des structures</b>	<b>35</b>
4.1 Catégories de méthodes d'optimisation des structures	35
4.2 Les critères d'optimalité	36
4.3 Une méthode stochastique	37
4.4 Les méthodes de programmation mathématique	38

4.5 Variables discrètes	44
4.6 Références	45
<b>Chapitre 5 : Optimisation 1D</b>	<b>46</b>
5.1 Fonctions convexes et fonctions non convexes	46
5.2 Minimisation à une dimension : processus itératif	50
5.3 Méthodes à un point	51
5.4 Méthode à deux points	55
5.5 Méthodes avec intervalle de confiance	56
5.6 Exemple d'application	59
5.7 Références	61
<b>Chapitre 6 : Optimisation multi-variables sans contrainte</b>	<b>62</b>
6.1 Préambule	62
6.2 Exemple	63
6.3 Remise à jour des variables de conception	67
6.4 Calcul de la direction de recherche	68
6.5 Calcul du pas de progression	77
6.6 Minimisation d'une fonction quadratique à deux variables	81
6.7 Synthèse de structure : exemple 1	85
6.8 Synthèse de structure : exemple 2	89
6.9 Références	90
<b>Chapitre 7 : Optimisation avec contraintes : notions de base et méthode duale</b>	<b>91</b>
7.1 Position du problème d'optimisation avec contraintes	91
7.2 Contraintes et domaines convexes	92
7.3 Les conditions de Kuhn-Tucker	95
7.4 Étude de la fonction lagrangienne	102
7.5 Notion de point de selle	103
7.6 Méthode duale	107
7.7 Exemples	110
7.8 Références	115



<b>Chapitre 8 : Optimisation avec contraintes : autres méthodes</b>	<b>116</b>
8.1 Méthodes primales	116
8.2 Méthode du gradient projeté	116
8.3 Méthode de pénalité intérieure	123
8.4 Méthode de pénalité extérieure	125
8.5 Méthodes primales-duales	127
8.6 Méthode du simplexe	131
8.7 Exemples	137
8.8 Références	142
<b>Chapitre 9 : Méthodes d'approximations séquentielles convexes</b>	<b>143</b>
9.1 Motivations et solution proposée	143
9.2 Approximations en optimisation de structure	151
9.3 Comparaison de quelques approximations	165
9.4 Méthodes de résolution	168
9.5 Relaxation	168
9.6 Problèmes multi-objectifs	171
9.7 Exemples	173
9.8 Références	180
<b>Chapitre 10 : Calcul de sensibilité</b>	<b>181</b>
10.1 Utilité et difficultés	181
10.2 Étude paramétrique	182
10.3 Dérivées par différences finies	183
10.4 Dérivées semi-analytiques	184
10.5 Exemple	190
10.6 Cas des contraintes de tension	192
10.7 Cas de la compliance	193
10.8 Cas des fréquences de vibration	193
10.9 Cas des charges de flambement	194
10.10 Cas des composites	195

10.11 Cas non linéaires	196
10.12 Références	196
<b>Chapitre 11 : Algorithmes génétiques</b>	<b>197</b>
11.1 Intérêt et principes de la méthode	197
11.2 Population et codage	198
11.3 Création de la population suivante	200
11.4 Remarques	205
11.5 Références	206
<b>Chapitre 12 : Dimensionnement optimal et optimisation de forme</b>	<b>207</b>
12.1 Dimensionnement optimal	207
12.2 Exemples de dimensionnement optimal	208
12.3 Optimisation de forme	210
12.4 Exemples d'optimisation de forme de treillis	216
12.5 Exemple d'optimisation, structure continue	223
12.6 Références	227
<b>Chapitre 13 : Optimisation topologique</b>	<b>228</b>
13.1 Position du problème	228
13.2 Formulations du problème	235
13.3 Algorithmes d'optimisation	237
13.4 Analyse de sensibilité	238
13.5 Implantation dans un code de calcul	239
13.6 Enchaînement des optimisations	240
13.7 Modélisation alternative	240
13.8 Exemples	242
13.9 Références	255
<b>Chapitre 14 : Optimisation des structures en matériaux composites</b>	<b>256</b>
14.1 Principe de conception des composites	256
14.2 Rappels de mécanique des composites	257

14.3	Caractéristiques d'une structure composite	268
14.4	Paramétrage des composites	269
14.5	Références	285
<b>Chapitre 15 : Exemples d'optimisation des structures en matériaux composites</b>		<b>286</b>
15.1	Laminé soumis à divers efforts	286
15.2	Problème multi-objectifs	288
15.3	Membrane non homogène	292
15.4	Structure caissonnée	297
15.5	Optimisation topologique et orthotropie	302
15.6	Optimisation de séquence d'empilement	304
15.7	Optimisation topologique en formulation SFP	307
15.8	Comparaison de méthodes	311
15.9	Références	314
<b>Chapitre 16 : Quelques notions supplémentaires très utiles</b>		<b>315</b>
16.1	Vitesse de convergence	315
16.2	Critères de convergence	316
16.3	Solution non admissible et relaxation	318
16.4	Recherche de l'optimum global	319
16.5	La mise à échelle	320
16.6	Grand nombre de contraintes	321
16.7	Critique de l'optimum	322
16.8	Robustesse et fiabilité de la solution	324
16.9	Optimisation multidisciplinaire	325
16.10	Problèmes multi-objectifs	326
16.11	Problèmes d'autres natures	327
16.12	Références	329
<b>Index</b>		<b>331</b>



# OPTIMISATION DES STRUCTURES MÉCANIQUES

## Méthodes numériques et éléments finis

L'optimisation est de plus en plus utilisée dans les bureaux d'études mécaniques dès la phase de conception et fait partie des divers outils à disposition des techniciens et ingénieurs. Cependant, les méthodes et les hypothèses sur lesquelles elles sont fondées ainsi que leurs limites sont peu connues.

Ce livre clarifie les concepts et le vocabulaire particuliers à l'optimisation des structures, en détaille les outils et leurs limites tout en les illustrant par des exemples d'applications.

Cet ouvrage constitue une aide indispensable pour les étudiants, techniciens et ingénieurs des filières mécaniques confrontés à des problèmes d'optimisation de leurs structures.

### Michaël Bruyneel

est ingénieur civil mécanicien, docteur en sciences appliquées. R&D Team Manager chez LMS Samtech, a Siemens Business. Maître de conférences à l'université de Liège, où il enseigne la mécanique des composites.

### Jean-Charles Craveur

est ingénieur ENSMM Besançon, docteur en génie mécanique. Directeur du laboratoire de mécanique des structures et matériaux composites de l'ISMANS.

### Pierre Gourmelen

Ancien ENS Cachan, professeur agrégé de mécanique. En charge du domaine d'enseignement mécanique à l'ENSTA Bretagne, R&D dans le domaine thermique, thermodynamique structure et modèles inverses.

### POINTS FORTS

- ✓ Approche fondamentale exhaustive
- ✓ Exemples d'applications détaillés
- ✓ Nombreuses illustrations

### CONTENU DE L'OUVRAGE

- Les méthodes : optimisation sans ou avec contraintes, construction des approximations séquentielles convexes, détermination de l'optimum, algorithmes génétiques
- Applications aux divers types d'optimisations rencontrés en mécanique des structures : le dimensionnement, la forme, la topologie, le matériau dans le cas des composites



9 782100 600229

6218937

ISBN 978-2-10-060022-9

**L'USINE  
NOUVELLE**

Les actus  
  
du savoir

  
**DUNOD**  
dunod.com