

Table des matières

| | |
|---|-----|
| Avant-propos | iii |
| Table des matières | v |
| Introduction | 1 |
| Nomenclature et notations | 5 |
| Chapitre I. Mise en équation d'un problème thermique. Formulation | |
| continue | 7 |
| 1 Notation et définitions | 7 |
| 2 Classe de problèmes étudiés | 9 |
| 3 Principe de la mise en équation | 10 |
| 4 Mise en équation des phénomènes | 10 |
| 4.1 Conduction thermique | 10 |
| 4.2 Convection | 13 |
| 4.3 Rayonnement | 17 |
| 4.4 Mélange | 22 |
| 4.5 Transfert de masse | 25 |
| 4.6 Distribution de densité de coefficients d'échange globaux | 25 |
| 4.7 Énergies | 26 |
| 5 Équation de la chaleur ; condition aux limites | 27 |
| 5.1 Points matériels volumiques | 27 |
| 5.2 Points surfaciques | 30 |
| 5.3 Équations de continuité | 34 |
| 6 Mise en forme du système d'équations | 34 |
| 6.1 Terme de régime permanent glissant | 36 |
| 6.2 Terme de régime purement dynamique | 37 |
| 6.3 Variables d'observation ou de « sortie » du modèle | 37 |
| 7 Résumé en guise de conclusion | 38 |
| Chapitre II. Mise en équation d'un problème thermique. | |
| Formulation discrète | 39 |
| 1 Principe | 39 |
| 2 La méthode des volumes finis | 39 |
| 2.1 Principe | 40 |
| 2.2 Mise en œuvre | 40 |
| 3 Variante systémique de la méthode des volumes finis | 52 |

| | |
|---|-----|
| Chapitre III. Modèle modal thermique d'une paroi plane homogène | 57 |
| 1 Cas continu | 57 |
| 1.1 Méthode de séparation des variables | 58 |
| 1.2 Approche modale | 85 |
| 2 Cas discret | 91 |
| 2.1 Méthode des volumes finis | 91 |
| 2.2 Mise sous forme modale | 97 |
| 3 Cas de deux conditions aux limites de 2^{ème} espèce (Neumann) | 108 |
| Chapitre IV. Mise sous forme modale d'un problème de thermique | 112 |
| 1 Mise sous forme modale d'un problème de thermique continu en espace | 112 |
| 1.1 Terme de régime permanent glissant | 112 |
| 1.2 Terme de régime dynamique pur | 113 |
| 1.3 Propriétés de l'opérateur de la chaleur | 113 |
| 1.4 Problème aux valeurs propres généralisé | 115 |
| 1.5 Mise sous forme modale du problème | 116 |
| 1.6 Cas où l'opérateur de la chaleur est auto-adjoint | 119 |
| 2 Mise sous forme modale d'un problème de thermique discrétisé en espace | 121 |
| 2.1 Terme de régime permanent glissant | 124 |
| 2.2 Terme de régime dynamique pur | 124 |
| 2.3 Propriétés du système | 125 |
| 2.4 Mise sous forme modale | 126 |
| 2.5 Considérations pratiques | 129 |
| 3 Comparaison entre les modèles modaux continus et discrets | 131 |
| Chapitre V. Simulation modale | 133 |
| 1 Intégration temporelle d'un modèle modal | 133 |
| 2 Réponse d'un modèle modal à des évolutions « typiques » | 138 |
| 3 Simulation analytique | 151 |
| 4 Intégration numérique discrète d'un modèle modal | 152 |
| 5 Intégration numérique d'un modèle modal | 155 |
| 6 Simulation stochastique | 160 |
| 6.1 Approche discrète de la simulation stochastique | 161 |
| 6.2 Approche continue de la simulation stochastique | 169 |
| Chapitre VI. Analyse modale | 175 |
| 1 Analyse des caractéristiques statiques | 175 |
| 1.1 Calcul des valeurs intégrales et moyennes des sorties | 175 |
| 1.2 Coefficients statiques température-température | 176 |
| 2 Analyse des éléments propres | 178 |
| 2.1 Étude des valeurs propres et constantes de temps | 179 |
| 2.2 Étude des vecteurs propres | 183 |

| | |
|---|------------|
| 3 Les spectres de réponse indicielle | 187 |
| 4 Les tableaux de réponse indicielle | 192 |
| 5 Diagrammes de Bode | 192 |
| 6 Diagrammes de Nyquist | 195 |
| Chapitre VII. Réduction modale | 201 |
| 1 Objectifs de la réduction de modèles | 201 |
| 2 Réduction modale par troncature | 211 |
| 3 Réduction modale par troncature et optimisation | 224 |
| 3.1 Méthode de Michaïlesko | 224 |
| 3.2 Méthode de Oulefki (amalgame modal) | 225 |
| 3.3 Autres méthodes possibles | 226 |
| 4 Réduction modale par changement de base et troncature | 226 |
| 4.1 Méthode de Moore | 226 |
| 4.2 Méthode de décomposition dans la base singulière | 229 |
| 5 Synthèse modale et synthèse de modèles | 229 |
| 5.1 Un cas simple de synthèse modale | 230 |
| 5.2 Synthèse de modèles et méthode modale | 236 |
| Chapitre VIII. Applications | 246 |
| 1 La paroi monocouche | 246 |
| 2 La paroi multicouche | 246 |
| 3 La maison m5_105 | 246 |
| 4 La barre 2D | 256 |
| Conclusion | 267 |
| Index | 269 |
| Bibliographie | 271 |
| Annexe A. Rappels de mathématiques | 273 |
| 1 Espaces fonctionnels | 273 |
| 2 Espaces vectoriels | 285 |
| 3 Comparaison entre les formulations continue et discrète | 290 |
| 4 Quelques propriétés des matrices | 292 |
| 5 Statistiques - Probabilités - Processus stochastiques | 294 |
| 6 Analyse des modèles d'état | 296 |
| 7 Bibliographie « mathématique » | 304 |
| Annexe B. Codes scilab, gnuplot et maple | 305 |
| Annexe C. Le paquetage m2m | 307 |