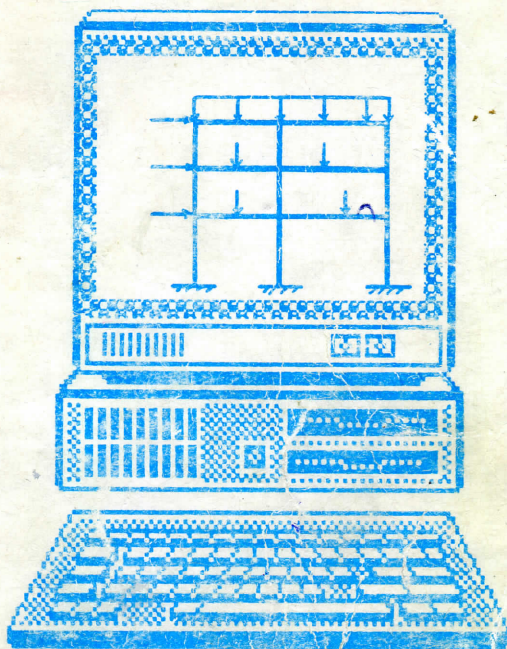


K. BENDANI

H. MISSOUM



**METHODE  
NUMERIQUE**

**DE CALCUL DES  
STRUCTURES**

DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

|  |     |
|--|-----|
| <b>TABLE DE MATIERES</b>   |     |
| <b>PREFACE</b>   | i   |
| <b>NOTATIONS</b>   | iii |
| <br>   |     |
| <b>CHAPITRE 1</b>  |     |
| <b>RAPPELS SUR LE CALCUL MATRICIEL</b>   | 1   |
| 1.1) <b>DEFINITIONS</b>  | 1   |
| 1.1.1) Matrice   | 1   |
| 1.1.2) Matrice carrée  | 1   |
| 1.1.3) Matrice colonne   | 5   |
| 1.1.4) Matrice transposée  | 5   |
| 1.1.5) Addition de deux matrices   | 6   |
| 1.1.6) Produit de deux matrices  | 8   |
| 1.1.7) Produit d'une matrice carrée<br>par un vecteur                                  | 10  |
| 1.1.8) Calcul du produit $[B]^T \cdot [A] \cdot [B]$                                   | 11  |
| 1.2) <b>RESOLUTION DES SYSTEMES D'EQUATIONS<br/>    LINEAIRES</b>                      | 12  |
| 1.2.1) Méthode directe ( <i>Méthode de Gauss</i> )                                     | 12  |
| 1.2.2) Méthode itérative ( <i>Méthode de Gauss-Seidel</i> )                            | 19  |
| 1.3) <b>CALCUL SUR DES MATRICES BANDEES</b>  | 22  |
| 1.3.1) Multiplication d'une matrice stockée sous<br>la forme bandée par un vecteur     | 23  |
| 1.3.2) Résolution d'un système d'équations dont<br>la matrice est sous la forme bandée | 24  |
| <br>   |     |
| <b>CHAPITRE 2</b>  |     |
| <b>INTRODUCTION A LA METHODE DE RIGIDITE</b>   | 26  |
| 2.1) <b>INTRODUCTION</b>   | 26  |
| 2.2) <b>DEGRE DE LIBERTE</b>   | 28  |
| 2.3) <b>REPRESENTATION MATRICIELLE DE LA METHODE<br/>    DE RIGIDITE</b>               | 30  |

|  |    |
|--|----|
| 2.4) PRINCIPE DE LA METHODE  | 31 |
| 2.5) NUMEROTATION DES NOEUDS D'UNE STRUCTURE                                     | 31 |
| 2.6) RELATION ENTRE FORCES ET DEPLACEMENTS                                       | 34 |
| 2.7) PROPRIETES DE LA MATRICE DE RIGIDITE  | 37 |
| <br>   |    |
| CHAPITRE 3   |    |
| LES FERMES PLANES  | 40 |
| 3.1) INTRODUCTION  | 40 |
| 3.2) CALCUL DE LA MATRICE DE RIGIDITE<br>ELEMENTAIRE                             | 40 |
| 3.2.1) Matrice de rigidité dans le repère local                                  | 40 |
| 3.2.2) Matrice de rigidité dans le repère global                                 | 48 |
| 3.3) FORMATION DE LA MATRICE DE RIGIDITE GLOBALE                                 | 55 |
| 3.3.1) Equilibre des noeuds  | 55 |
| 3.3.2) Assemblage des matrices de rigidité<br>élémentaires                       | 56 |
| Application  | 64 |
| 3.4) FORMATION DU VECTEUR FORCE GLOBAL   | 68 |
| Application  | 68 |
| 3.5) INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES                                     | 69 |
| Application  | 73 |
| 3.6) CALCUL DES EFFORTS INTERIEURS DANS LES<br>ELEMENTS                          | 76 |
| Application  | 76 |
| 3.7) CALCUL DES REACTIONS AUX SUPPORTS   | 81 |
| Application  | 82 |
| 3.8) ECRITURE DU PROGRAMME COMPLET CALCULANT<br>UNE STRUCTURE A NOEUDS ARTICULES | 84 |

|   |    |
|---|----|
| 3.8.1) Introduction des données dans le programme | 84 |
| Application                                       | 86 |
| 3.8.2) Regroupement de tous les sous programmes   | 88 |

## CHAPITRE 4

|  |     |
|--|-----|
| LES PORTIQUES PLANS  | 106 |
| 4.1) INTRODUCTION  | 106 |
| 4.2) CALCUL DE LA MATRICE DE RIGIDITE<br>ELEMENTAIRE                           | 106 |
| 4.2.1) Matrice de rigidité dans le repère local                                | 106 |
| 4.2.2) Matrice de rigidité dans le repère global                               | 113 |
| 4.3) FORMATION DE LA MATRICE DE RIGIDITE GLOBALE                               | 118 |
| 4.3.1) Equilibre des noeuds  | 118 |
| 4.3.2) Assemblage des matrices de rigidité<br>élémentaires                     | 120 |
| Application  | 128 |
| 4.4) FORMATION DU VECTEUR FORCE GLOBAL   | 133 |
| -Application   | 133 |
| 4.5) INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES                                   | 134 |
| Application  | 134 |
| 4.6) CALCUL DES EFFORTS INTERIEURS DANS LES<br>ELEMENTS                        | 135 |
| Application  | 136 |
| 4.7) CALCUL DES REACTIONS AUX SUPPORTS   | 140 |
| Application  | 141 |
| 4.8) ECRITURE DU PROGRAMME COMPLET CALCULANT<br>UNE STRUCTURE A NOEUDS RIGIDES | 142 |
| 4.8.1) Introduction des données dans le<br>programme                           | 142 |
| Application  | 144 |
| 4.8.2) Regroupement de tous les sous programmes                                | 146 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.9) CAS SPECIAUX DE CHARGEMENT                   | 161 |
| 4.9.1) Les charges entre les noeuds               |     |
| Application                                       | 161 |
| 4.9.2) Le tassement                               | 169 |
| 4.9.3) L'effet de température                     | 178 |
| 4.9.4) Le défaut de montage                       | 179 |
|   | 180 |
| 4.10) LE PROGRAMME COMPLET CALCULANT UNE          | 182 |
| STRUCTURE A NOEUDS RIGIDES AVEC DES               |     |
| CHARGES CONCENTREES ET REPARTIES                  |     |
| 4.10.1) Introduction des données dans le          | 182 |
| programme   |     |
| Application                                       | 183 |
| 4.10.2) Regroupement de tous les sous programmes  | 184 |
| 4.11) STRUCTURES HYBRIDES CONTENANT DES NOEUDS    | 206 |
| RIGIDES ET ARTICULES                              |     |
| 4.12) STRUCTURES A ELEMENTS COURBES ET A SECTIONS | 210 |
| VARIABLES   |     |
| 4.13) LES POUTRES CONTINUES                       | 211 |
|   |     |
| CHAPITRE 5  |     |
| LES POUTRES CROISEES                              | 213 |
| 5.1) INTRODUCTION                                 | 213 |
| 5.2) CALCUL DE LA MATRICE DE RIGIDITE             | 214 |
| ELEMENTAIRE                                       |     |
| 5.2.1) Matrice de rigidité dans le repère local   | 214 |
| 5.2.2) Matrice de rigidité dans le repère global  | 217 |
| 5.3) FORMATION DE LA MATRICE DE RIGIDITE GLOBALE  | 222 |
| 5.4) FORMATION DU VECTEUR FORCE GLOBAL            | 222 |
| 5.5) INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES      | 225 |
| 5.6) CALCUL DES EFFORTS INTERIEURS DANS LES       | 225 |
| ELEMENTS  |     |

|  |     |
|--|-----|
| 5.7) CALCUL DES REACTIONS AUX SUPPORTS   | 226 |
| 5.8) ECRITURE DU PROGRAMME COMPLET CALCULANT<br>UNE STRUCTURE A POUTRES CROISEES | 226 |
| 5.8.1) Introduction des données dans le<br>programme                             | 226 |
| Application  | 231 |
| 5.8.2) Regroupement de tous les sous programmes                                  | 233 |
| ANNEXE   | 253 |
| BIBLIOGRAPHIE  | 257 |