PRATIQUE DE LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS

Présentation d'un logiciel

d'éléments finis

G. Caloz et D. Martin

Pratique de la M.E.F.

Dans le cours *Pratique de la méthode des éléments finis* [1], nous voulons aborder la résolution de problèmes d'E.D.P. à l'aide d'un logiciel d'éléments finis.

Le logiciel que nous allons utiliser est

MODULEF.

Même si celui-ci n'est pas très utilisé dans le milieu industriel, il possède des caractéristiques intéressantes pour illustrer un cours sur la mise en œuvre de la M.E.F. Nous pouvons aborder des problèmes délasticité, de mécanique des fluide, de la thermique, d'électromagnétisme et nous disposons des sources.

[1] G. Caloz, janvier 1997. Ceci est un document préparé à l'aide de LaTeX.

Buts

1. Passer d'une formulation variationnelle à la résolution effective d'un problème.

2. S'initier à l'utilisation d'un gros code de calcul pour résoudre des problèmes aux limites.

3. Se préparer à ésoudre de nouveaux problèmes.

- **Mots-Clés:**

Formulation variationnelle. Éléments finis. Mise en œuvre de la M.E.F. Modulef.

I. LE PROGRAMME MODULEF

I.1. Le club Modulef

Modulef : bibliothèque de programmes consacrés à la résolution de problèmes par la M.E.F.

Le club Modulef : club de 100 membres (laboratoires de recherche et laboratoires industriels) fondé en 1974 par l'I.N.R.I.A.

Le but du club : rassembler des laboratoires pour concevoir et développer une bibliothèque de modules destinés à résoudre des E.D.P. par E.F.

Les problèmes abordés concernent:

- la *thermique*,

- l'*élasticité* et la thermoélasticité,

- la *mécanique des fluides*.

La bibliothèque est constituée des contributions des membres.

Les raisons de la création du club

• le prix, la spécificité des codes commerciaux,

• la complexité et la multiplicité des algorithmes,

• le besoin d'outils modulaires pour se concentrer sur une difficulté.

Les objectifs sont:

- développer une bibliothèque up-to-date,
- favoriser les échanges et le savoir-faire,
- valider de nouvelles méthodes,
- promouvoir Modulef.

Les **difficultés rencontrées sont:**

- standardisation et normes de programmation,
- portabilité,
- maintenance et mise à jour.

I.2. Le bibliothèque Modulef

La bibliothèque comprend 600 000 lignes de code (principalement du Fortran 77).

Plus de 50 *librairies* portables, des *librairies* non portables (périphériques graphiques, utilitaires) et des outils d'environnement logiciel (navigation dans le code, analyse du code).

Modulef propose un certain nombre d'**outils**, que l'on appelle module. Un module est un ensemble de subroutines qui permet de réaliser une tâche, par exemple 1 étape dans la résolution d'un problème.

Les modules communiquent via les structures de données (S.D.).

On a

$$\text{S.D.E.} \rightarrow \text{Module} \rightarrow \text{S.D.S.}$$

Une S.D. se présente sous la forme d'un **fichier binaire séquentiel**.

La S.D. NOPO contient la description du maillage.

Les outils proposés par Modulef sont divers et multiples.

- Génération et modification de maillages 2D et 3D.

- Spécification des caractéristiques des matériaux, des forces par sous-domaines.

- Éléments finis pour la thermique, l'élasticité, la piézo-électricité et l'électromagnétisme.

- Assemblage et stockage des matrices sous formes adaptées aux algorithmes de résolution (Morse, profil,…)

- Résolution de systèmes linéaires par des méthodes directes (Cholesky, Gauss,...) ou itératives (GC, GCPC,...)

- Calculs d'éléments propres par puissance inverse, Lanczos, QR, ...

- Problèmes évolutifs : méthodes multi-pas, de Runge-Kutta,...

- Navier-Stokes en vitesse-pression.

- Visualisation de maillages, de résultats.

I.3. Utilisation de Modulef

Dans la structure à niveaux

1. Formulation mathématique du problème
2. *Programmes principaux*
3. *Modules*
4. *Algorithmes et utilitaires*
5. Fortran 77
6. Ordinateur

Modulef recouvre les niveaux 2, 3 et 4.

On distingue

1. le cas où les programmes principaux existent. On utilise alors Modulef comme boîte noire. Il suffit de fournir les **fichiers de données**
2. le cas où l'utilisateur doit écrire un programme principal ou des subroutines
3. le cas où l'utilisateur doit écrire un module complet correspondant à 1 étape d'un calcul.

Nous allons utiliser Modulef de 2 façons différentes.

1. **Utilisation conversationnelle** Via des menus, on peut exécuter un certain nombre de modules de la bibliothèque.
2. **Utilisation classique** Il faut écrire un programme principal en gérant les S.D.E. et les S.D.S., et des subroutines. Il faut compiler et linker pour fabriquer l'exécutable.

Durant une première phase, nous utiliserons Modulef sous forme conversationnelle. Après quoi nous allons travailler sur des programmes principaux.

Documentation

La documentation est groupée dans 7 guides.

1. Introduction à Modulef
2. Normes d'utilisation et de programmation
3. Construction et modification de maillages
4. Interpolation et création des matrices élémentaires
5. Résolution des sytèmes linéaires
6. Post-traitements et graphiques
7. Fiches techniques

Les guides, sous forme de fichiers html, se trouvent dans le répertoire `/usr/local/modulef/doc`.

I.4. Utilisation conversationnelle

Présentons un premier exemple de maillage. Nous souhaitons mailler le quart d'anneau circulaire présenté ci-après.

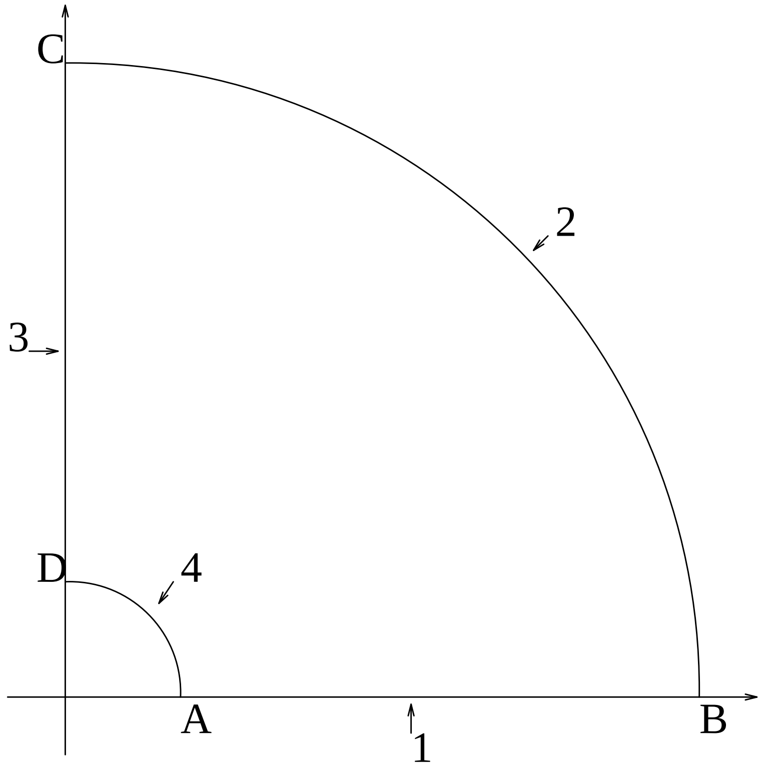
Le programme à utiliser est **apnoxx**. Il s'agit d'un programme principal

APpel du *module* CONOPO

On peut visualiser la S.D. NOPO produite par apnoxx à l'aide du programme **trnoxx**. Il s'agit d'un programme principal

TRacer la *NOPO*

Domaine à mailler Le domaine à mailler est délimité par les quatres courbes 1,2,3,4 d'extrémités $A = (0.5, 0)$, $B = (2.5, 0)$, $C = (0, 2.5)$, $D = (0, 0.5)$. Sur les courbes 1, 2 et 4 nous imposons une condition de Dirichlet (numéro de référence 1) tandis que sur la courbe 3, nous imposons une condition de Neumann homogène (numéro de référence 0).



Fichier de commande apno.data

```
'MAILLAGECOURONNE                                                           '
'POIN                                                                       '
     1     4                           $ IMPRE NPOINT  $
$   NOP   NOREF(NOP)     X(NOP).           Y(NOP).  $
     1       1         0.500000E+00     0.000000E+00
     2       1         0.250000E+01     0.000000E+00
     3       1         0.000000E+00     0.250000E+01
     4       1         0.000000E+00     0.500000E+00
'LIGN                                                                       '
     1     4                           $ IMPRE  NDLM   $
$   NOLIG NOELIG NEXTR1 NEXTR2 NOREFL NFFRON       RAISON $
       1     11      1      2      1      0     0.100000E+01
       2     11      2      3      0     -2     0.100000E+01
       3     11      3      4      1      0     0.100000E+01
       4     11      1      4      1     -2     0.100000E+01
'QUAC                                                                       '
     1     1     1     4     1         $ IMPRE NIVEAU NUDSD NBRELI NS1L
 $ LISTE DES LIGNES DU CONTOUR :
     1     2     3     4
    11    -1                           $ IMAX NQUAD
'SAUV                                                                       '
     1     1     0                     $ IMPRE NINOPO NTNOPO
 NOPO                                  $ NOM FICHIER
'FIN                                                                        '
```