

Programme de calcul de structure par éléments finis

MiniMef

Version du 26/08/2004

©Bernard SAULME

Tables de Matières

1. Introduction	3
2. Principes de calculs	3
2.1 Généralités sur la méthode utilisée	3
2.2 La matrice de rigidité	4
2.2.1 Cas plan	4
2.2.2 Cas spatial	4
3. Utilisation	5
3.1 Version du programme	5
3.2 Usage	5
3.3 Calcul et nommage des structures et des charges.	5
3.3.1 Exécution en mode direct	5
3.3.2 Exécution en mode interactif	6
3.4 Formalise utilisé	6
3.4.1 Formalisme pour les appuis	6
3.4.2 Formalisme pour les barres	7
4. Exemples	8
4.1 Exemples de structures et de charges	8
4.2 La structure plane	8
4.3 La structure spatiale	10

MiniMef

1. Introduction

Le programme MiniMef est un programme de calcul de structures bi et tridimensionnelles. Il utilise la méthode des éléments finis

2. Principes de calculs

2.1 Généralités sur la méthode utilisée

Le programme permet le calcul sur les structures formées d'éléments linéaires, des barres, ne travaillant que sous l'effet de l'effort normal : traction ou compression.

La méthode utilisée est celle des déplacements. Ces déplacements vont constituer les inconnues du problème. En exprimant que chaque noeud est en équilibre sous l'action des efforts induits par la déformation des éléments incidents et des charges appliquées, on constitue un système linéaire, de matrice M, dont la solution fournit les déplacements des noeuds. On utilise alors ces déplacements pour calculer les efforts dans les sous-structures élémentaires et ensuite les réactions d'appui.

Remarque : la méthode est générale; les éléments choisis ici sont évidemment les barres.

Le programme peut traiter des structures planes ou des structures spatiales.

Toutes les barres auront le même module d'Young mais pourront avoir des sections différentes. La forme de la section n'intervient pas dans le cas qui nous intéresse : traction ou compression.

En ce qui concerne les charges, elles sont appliquées directement aux noeuds ainsi que les charges réparties pour tenir compte du poids des barres.

Remarque : L'axe vertical sera toujours l'axe Y. Ceci est important pour tenir compte du poids des barres.

Les unités :

Les unités sont celles du système international (S.I.) :

- distance : mètre (m)
- force : Newton (N)
- section : mètre carré (m²)
- Module d'Young : Newton par mètre carré (N/m²)
- densité : 'sans unité'

2.2 La matrice de rigidité

La matrice de rigidité est l'élément fondamental de la méthode des éléments finis. Elle est fonction de l'élément considéré. Ainsi elle peut être relativement simple comme extrêmement complexe. Nous utilisons l'élément barre (il représente une barre...)

2.2.1 Cas plan

La matrice de rigidité de cet élément est la suivante :

$$MR = \frac{E * S}{L} \begin{vmatrix} CxCx & CxCy & -CxCx & -CxCy \\ CxCy & CyCy & -CyCx & -CyCy \\ -CxCx & -CxCy & CxCx & CxCy \\ -CyCx & -CyCy & CyCx & CyCy \end{vmatrix}$$

Cx, Cy sont les cosinus directeurs de la barre suivant x, y.

2.2.2 Cas spatial

La matrice de rigidité de cet élément est la suivante :

$$MR = \frac{E * S}{L} \begin{vmatrix} CxCx & CxCy & CxCz & -CxCx & -CxCy & -CxCz \\ CyCx & CyCy & -CyCz & -CyCx & -CyCy & -CyCz \\ CzCx & CzCy & -CzCz & -CzCx & -CzCy & -CzCz \\ -CxCx & -CxCy & -CxCz & CxCx & CxCy & CxCz \\ -CyCx & -CyCy & -CzCy & CyCx & CyCy & CyCz \\ -CxCx & -CzCy & -CzCz & CxCy & CzCy & CzCz \end{vmatrix}$$

Cx, Cy, Cz sont les cosinus directeurs de la barre suivant x, y, z.

3. Utilisation

3.1 Version du programme

Il existe plusieurs versions du programme. La présente version comporte uniquement le module de calcul et de saisie et représentation des résultats en mode texte.

La version 2.02 a été testée sous PC.

3.2 Usage

La saisie, en ligne de commande sous windows de, *minimef -u* donne une sortie du type :

```
Usage : minimef [-dtu] [Structure] [Cas]
minimef -d Structure Cas (Mode direct)
minimef -t                (Mode texte interactif, par défaut)
minimef -u                (Affichage usage)
Programme : minimef
Version   : 2.02
Auteur    : Bernard SAULME
Compil.   : Aug 25 2004 11:20:38
```

Il y a deux modes d'usages de ce programme :

- un mode texte interactif pour la saisie, le calcul et l'affichage
- un mode de calcul seul.

3.3 Calcul et nommage des structures et des charges.

Le nommage des fichiers en entrée pour l'option *-d*, pour la calcul en ligne de commande, est celui utilisé par l'option *-t*. Vous pouvez donc utiliser l'option *-t* pour définir vos structures et les calculer avec l'option *-d* (mais aussi *-t*) !

Pour effectuer un calcul il faut posséder la définition de la structure **et** la définition de la charge à y apporter. Ces deux informations sont dans des fichiers séparés pour permettre d'appliquer des cas différents de charges sur une même structure.

Le fichier de structure est suffixé par *.s*. Le fichier de cas de charge est suffixé par *.id* (ou *id* est l'identifiant de cas de charge qui doit être différent de *s*). La partie à gauche du suffixe doit être la même pour permettre d'associer automatiquement la structure et cas de charge.

Exemple pour un calcul :

plane.s est le nom du fichier comportant le descriptif de la structure

plane.1 est le cas de charge 1 se rapportant à la structure définie dans *plane.s*

3.3.1 Exécution en mode direct

Pour effectuer le calcul en mode direct sur ce cas il faut taper : *minimef -d plane 1*

Le résultat du calcul sera fourni en sortie standard.

Pour mettre le résultat dans un fichier : *minimef -d plane 1 > resultat.txt*

3.3.2 Exécution en mode interactif

Taper **minimef** au prompt dans l'interpréteur de commande.

```
*****
**
**
**          METHODE DES ELEMENTS FINIS          **
**
**
*****

Q sortie
I Informations
S Saisie structure
C saisie Charges
L Lecture structure
H Lecture cHarge
A Affichage des donnees de la structure
F aAffichage des donnees de la charge
E affichagE des déplacements
G affichaGe des efforts
U calcul
O impOrtation d'une structure
X eXportation d'une structure
```

Choisir avec les lettres à gauche les actions désirées (en majuscules ou minuscules).

3.4 Formalise utilisé

3.4.1 Formalisme pour les appuis

Le codage des appuis est fait sous forme 'binaire' (à trois chiffres condensés en un entier).
Chaque noeud de la structure aura le type d'appui coder de la manière suivante :

ndl = Nombre de degré de liberté (ou dimension de la structure)

- ndl = 2 : codage sur un nombre à deux chiffres

libre	appui = 0
bloqué en x	appui = 10
bloqué en y	appui = 1
bloqué en x et en y	appui = 11

- ndl = 3 : codage sur un nombre à trois chiffres

libre	appui = 0
bloqué en x	appui = 100
bloqué en y	appui = 10
bloqué en z	appui = 1
bloqué en x et y	appui = 110
bloqué en x et z	appui = 101
bloqué en y et z	appui = 11
bloqué en x, y et z	appui = 111

Un noeud est donc défini par ses coordonnées et son code d'appui.

3.4.2 Formalisme pour les barres

Chaque barre est définie par son noeud d'origine, son noeud d'extrémité et le numéro de la section. Une section est aussi affectée à chaque barre.

4. Exemples

4.1 Exemples de structures et de charges

Deux exemples sont fournis avec le programme. Un exemple avec une structure bidimensionnelle et un autre exemple avec une structure tridimensionnelle. Pour chacun des ces exemples un cas de charge (nommé 1) est fourni. Les fichiers exemples sont nommés *plane.s plane.1* et *spatial.s spaciales.1*

Ci-après, le résultat des calculs pour les deux exemples fournis.

4.2 La structure plane

Fichier : plane

DEFINITION DE LA STRUCTURE

Structure plane (2 degres de liberte par noeud)

DEFINITION DES 9 NOEUDS

numero 1	x: 0.000000	y: 0.000000	Appui 11
numero 2	x: 2.000000	y: 2.000000	Appui 0
numero 3	x: 4.000000	y: 0.000000	Appui 0
numero 4	x: 6.000000	y: 2.000000	Appui 0
numero 5	x: 8.000000	y: 0.000000	Appui 1
numero 6	x: 10.000000	y: 2.000000	Appui 0
numero 7	x: 12.000000	y: 0.000000	Appui 0
numero 8	x: 14.000000	y: 2.000000	Appui 0
numero 9	x: 16.000000	y: 0.000000	Appui 11

DEFINITION DES 15 LIAISONS

Numero	Origine	Extremite	N. section
1	1	3	1
2	3	5	1
3	5	7	1
4	7	9	1
5	2	4	1
6	4	6	1
7	6	8	1
8	1	2	1
9	3	2	1
10	3	4	1
11	5	4	1
12	5	6	1
13	7	6	1
14	7	8	1
15	8	9	1

VALEURS DES SECTIONS

Section 1 : +2.000000e-003

Module de Young : 2.100000e+011

Fichier : plane

Dans le cas de charge : 1

DEFINITION DE LA CHARGE

1 noeud(s) supportant une charge

Noeud	Fx	Fy
3	+0.000000e+000	-2.000000e+003

POIDS PROPRE DES BARRES

Le poids des barres n'est pas pris en compte

Fichier : plane

Dans le cas de charge : 1

DEPLACEMENT DES NOEUDS

Noeud	Dx	Dy
1	+0.000000e+000	+0.000000e+000
2	+1.517159e-005	-2.726990e-005
3	+5.730909e-006	-4.880890e-005
4	-1.938013e-006	-2.630090e-005
5	+9.523807e-006	+0.000000e+000
6	+1.938012e-006	+6.215414e-006
7	+3.792897e-006	+6.699917e-006
8	+3.876025e-006	+5.246407e-006
9	+0.000000e+000	+0.000000e+000

EFFORTS DANS LES BARRES (Traction + Compression -)

No	Orig	Extrem	Eff.Nor.Ori.	Eff.Nor.Ext.
Barre				
1	1	3	-6.017455e+002	+6.017455e+002
2	3	5	-3.982543e+002	+3.982543e+002
3	5	7	+6.017455e+002	-6.017455e+002
4	7	9	+3.982542e+002	-3.982542e+002
5	2	4	+1.796508e+003	-1.796508e+003
6	4	6	-4.069826e+002	+4.069826e+002
7	6	8	-2.034914e+002	+2.034914e+002
8	1	2	+1.270323e+003	-1.270323e+003
9	3	2	-1.270323e+003	+1.270323e+003
10	3	4	-1.558104e+003	+1.558104e+003
11	5	4	+1.558103e+003	-1.558103e+003
12	5	6	+1.438900e+002	-1.438900e+002
13	7	6	-1.438901e+002	+1.438901e+002
14	7	8	+1.438901e+002	-1.438901e+002
15	8	9	-1.438902e+002	+1.438902e+002

REACTIONS D'APPUI

Noeud	Rx	Ry
1	+2.965087e+002	+8.982542e+002
5	+0.000000e+000	+1.203491e+003

9 -2.965085e+002 -1.017457e+002

4.3 La structure spatiale

Fichier : spatial

DEFINITION DE LA STRUCTURE

Structure spatiale (3 degres de liberte par noeud)

DEFINITION DES 14 NOEUDS

numero 1	x: 0.000000	y: 0.000000	z: 0.000000	Appui 111
numero 2	x: 4.000000	y: 0.000000	z: 0.000000	Appui 0
numero 3	x: 8.000000	y: 0.000000	z: 0.000000	Appui 0
numero 4	x: 12.000000	y: 0.000000	z: 0.000000	Appui 0
numero 5	x: 16.000000	y: 0.000000	z: 0.000000	Appui 111
numero 6	x: 0.000000	y: 0.000000	z: 4.000000	Appui 111
numero 7	x: 4.000000	y: 0.000000	z: 4.000000	Appui 0
numero 8	x: 8.000000	y: 0.000000	z: 4.000000	Appui 0
numero 9	x: 12.000000	y: 0.000000	z: 4.000000	Appui 0
numero 10	x: 16.000000	y: 0.000000	z: 4.000000	Appui 111
numero 11	x: 2.000000	y: 2.000000	z: 2.000000	Appui 0
numero 12	x: 6.000000	y: 2.000000	z: 2.000000	Appui 0
numero 13	x: 10.000000	y: 2.000000	z: 2.000000	Appui 0
numero 14	x: 14.000000	y: 2.000000	z: 2.000000	Appui 0

DEFINITION DES 32 LIAISONS

Numero	Origine	Extremite	N. section
1	1	2	1
2	2	3	1
3	3	4	1
4	4	5	1
5	6	7	1
6	7	8	1
7	8	9	1
8	9	10	1
9	1	6	1
10	2	7	1
11	3	8	1
12	4	9	1
13	5	10	1
14	11	12	1
15	12	13	1
16	13	14	1
17	1	11	1
18	2	12	1
19	3	13	1
20	4	14	1
21	2	11	1
22	3	12	1
23	4	13	1
24	5	14	1
25	6	11	1
26	7	12	1
27	8	13	1

28	9	14	1
29	7	11	1
30	8	12	1
31	9	13	1
32	10	14	1

VALEURS DES SECTIONS

Section 1 : +2.000000e-003

Module de Young : 2.100000e+011

Fichier : spatial

Dans le cas de charge : 1

DEFINITION DE LA CHARGE

2 noeud(s) supportant une charge

Noeud	Fx	Fy	Fz
3	+0.000000e+000	-2.000000e+003	+0.000000e+000
8	+0.000000e+000	-2.000000e+003	+0.000000e+000

POIDS PROPRE DES BARRES

Le poids des barres n'est pas pris en compte

Fichier : spatial

Dans le cas de charge : 1

DEPLACEMENT DES NOEUDS

Noeud	Dx	Dy	Dz
1	+0.000000e+000	+0.000000e+000	+0.000000e+000
2	-9.523840e-006	-2.113924e-004	+0.000000e+000
3	-8.138082e-012	-3.580122e-004	+1.141822e-005
4	+9.523828e-006	-2.113924e-004	+0.000000e+000
5	+0.000000e+000	+0.000000e+000	+0.000000e+000
6	+0.000000e+000	+0.000000e+000	+0.000000e+000
7	-9.523843e-006	-2.113924e-004	+0.000000e+000
8	-1.043400e-011	-3.542234e-004	-7.629395e-006
9	+9.523828e-006	-2.113924e-004	+0.000000e+000
10	+0.000000e+000	+0.000000e+000	+0.000000e+000
11	+7.619060e-005	-1.009343e-004	+5.748824e-012
12	+3.809529e-005	-2.837551e-004	+1.042368e-011
13	-3.809531e-005	-2.837552e-004	+7.184112e-012
14	-7.619063e-005	-1.009343e-004	+1.720814e-012

EFFORTS DANS LES BARRES (Traction + Compression -)

Noeud	Orig	Extrem	Eff.Nor.Ori.	Eff.Nor.Ext.
1	1	2	+1.000003e+003	-1.000003e+003
2	2	3	-1.000002e+003	+1.000002e+003
3	3	4	-1.000003e+003	+1.000003e+003
4	4	5	+1.000002e+003	-1.000002e+003
5	6	7	+1.000004e+003	-1.000004e+003

6	7	8	-1.000003e+003	+1.000003e+003
7	8	9	-1.000003e+003	+1.000003e+003
8	9	10	+1.000002e+003	-1.000002e+003
9	1	6	+0.000000e+000	+0.000000e+000
10	2	7	+0.000000e+000	+0.000000e+000
11	3	8	+2.000000e+003	-2.000000e+003
12	4	9	+0.000000e+000	+0.000000e+000
13	5	10	+0.000000e+000	+0.000000e+000
14	11	12	+4.000008e+003	-4.000008e+003
15	12	13	+8.000013e+003	-8.000013e+003
16	13	14	+4.000010e+003	-4.000010e+003
17	1	11	+1.732055e+003	-1.732055e+003
18	2	12	+1.732054e+003	-1.732054e+003
19	3	13	-1.732050e+003	+1.732050e+003
20	4	14	-1.732055e+003	+1.732055e+003
21	2	11	-1.732057e+003	+1.732057e+003
22	3	12	-1.732052e+003	+1.732052e+003
23	4	13	+1.732055e+003	-1.732055e+003
24	5	14	+1.732054e+003	-1.732054e+003
25	6	11	+1.732056e+003	-1.732056e+003
26	7	12	+1.732056e+003	-1.732056e+003
27	8	13	-1.732050e+003	+1.732050e+003
28	9	14	-1.732055e+003	+1.732055e+003
29	7	11	-1.732056e+003	+1.732056e+003
30	8	12	-1.732051e+003	+1.732051e+003
31	9	13	+1.732057e+003	-1.732057e+003
32	10	14	+1.732055e+003	-1.732055e+003

REACTIONS D'APPUIS

Noeud	Rx	Ry	Rz
1	+2.000006e+003	+1.000002e+003	+1.000002e+003
5	-2.000004e+003	+1.000002e+003	+1.000002e+003
6	+2.000006e+003	+1.000003e+003	-1.000003e+003
10	-2.000004e+003	+1.000002e+003	-1.000002e+003