

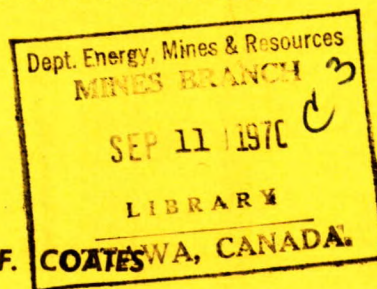
SER  
622(21)  
C212 11



Department of Energy, Mines and Resources  
Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources  
Mines Branch  
Direction des Mines  
OTTAWA

DEVELOPMENT AND USE OF COMPUTER PROGRAMS  
FOR FINITE ELEMENT ANALYSIS

LA MISE AU POINT ET L'UTILISATION DE PROGRAMMES  
SUR ORDINATEUR EN VUE DE L'ANALYSE DE  
LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS



Y.S. YU AND D.F. COATES

MINING RESEARCH CENTRE  
CENTRE DE LA RECHERCHE MINIÈRE

July 1969

Juillet 1969

Research Report R 198

Price \$1.25

Rapport de recherches R 198

Prix \$1.25



© ©

Crown Copyrights reserved

Droits de la Couronne réservés

Available by mail from the Queen's Printer, Ottawa  
and at the following Canadian Government bookshops:

En vente chez l'Imprimeur de la Reine à Ottawa,  
et dans les librairies du Gouvernement fédéral:

HALIFAX  
1735 Barrington Street

HALIFAX  
1735, rue Barrington

MONTREAL  
Æterna-Vie Building, 1182 St. Catherine Street West

MONTRÉAL  
Édifce Æterna-Vie, 1182 ouest, rue Ste-Catherine

OTTAWA  
Daly Building, Corner Mackenzie and Rideau

OTTAWA  
Édifce Daly, angle Mackenzie et Rideau

TORONTO  
221 Yonge Street

TORONTO  
221, rue Yonge

WINNIPEG  
Mall Center Building, 499 Portage Avenue

WINNIPEG  
Édifce Mall Center, 499, avenue Portage

VANCOUVER  
657 Granville Street

VANCOUVER  
657, rue Granville

or through your bookseller

ou chez votre libraire.

Price: \$1. 25

Catalogue No. M38-1/198

Prix \$1. 25

N° de catalogue M38-1/198

Price subject to change without notice

Prix sujet à changement sans avis préalable

The Queen's Printer  
Ottawa, Canada  
1969

L'Imprimeur de la Reine  
Ottawa, Canada  
1969

Mines Branch  
Research Report R 198

Direction des mines  
Rapport de recherches R 198

DEVELOPMENT AND USE OF COMPUTER PROGRAMS  
FOR FINITE ELEMENT ANALYSIS

LA MISE AU POINT ET L'UTILISATION DE PROGRAMMES SUR  
ORDINATEUR EN VUE DE L'ANALYSE DE LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS

by - par

Y.S. Yu<sup>\*</sup> and D.F. Coates<sup>\*\*</sup>

- - - -

ABSTRACT

A computer program has been developed to simulate the stress distributions around typical, irregularly-shaped mining openings. The actual, non-homogeneous mechanical properties of the rock can be taken into account in the program. The simulation also takes into account the possibility that the stresses are produced by either of or both gravity and tectonic forces. In addition, supplementary computer programs to check the input data and to interpret the massive output of the finite element analysis have also been produced.

This report describes the development of these computer programs and provides detailed information and instructions on their use.

SOMMAIRE

Un programme sur calculateur électronique a été mis au point pour simuler la répartition de contraintes autour d'excavations minières, typiques, aux formes irrégulières. L'on peut tenir compte au programme des propriétés mécaniques non-homogènes de la roche. La simulation tient aussi compte du fait de la possibilité que les contraintes sont produites, soit par la gravité ou les forces tectoniques, soit par les deux. En plus, des programmes supplémentaires automatiques ont été élaborés en vue de la vérification des données d'entrée et de l'interprétation de l'énorme débit de renseignements obtenu relativement à l'analyse des éléments finis.

Ce rapport décrit la mise au point de ces programmes sur calculateur électronique et fournit des informations détaillées et des directives au sujet de leur utilisation.

---

<sup>\*</sup> Scientific Officer and <sup>\*\*</sup> Head, Mining Research Centre, Mines Branch,  
<sup>\*</sup> Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.  
<sup>\*</sup> Officier scientifique, <sup>\*\*</sup> chef du Centre de la recherche minière, Direction  
des mines, ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources, Ottawa,  
Canada.

CONTENTS - TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
Abstract - Sommaire .....	i
1. Introduction.....	1
2. Main Computer Program for Finite Element Analysis.....	2
2-1. Definitions of Terms Used in the Program.....	3
2-2. Mesh Preparation.....	8
2-3. Input Data.....	8
2-4. Output Data.....	11
2-5. Error Message Built into Program.....	13
2-6. Limitation of the Program.....	13
2-7. Assembly of Card Deck.....	13
3. Computer Program for Checking Input Data by Plotting.....	15
3-1. Brief Description of Calcomp Plotter Subroutines.....	15
3-1-1. FORTRAN Calls for Initialization.....	15
3-1-2. FORTRAN Call for Pen Movement.....	16
3-1-3. Plotting Characters.....	16
3-1-4. Terminating a Plot.....	16
3-2. Input Data.....	16
3-2-1. 1st Control Card.....	16
3-2-2. 2nd Control Card.....	17
3-2-3. Nodal Parameters.....	17
3-2-4. Element Parameters.....	17
3-3. Supplementary Definitions of Variables.....	17
3-4. Output.....	18
3-5. Error Message Built into the Program.....	18
3-6. Assembly of Card Deck.....	19
4. Plot Package for Interpreting Output Results.....	20
4-1. Program for Plotting Principal Stress Direction and Magnitude.....	20
4-1-1. Input Data.....	20
4-1-2. Supplementary Definition of Variables.....	22
4-1-3. Convention with Respect to Angles.....	23
4-1-4. Plotting of Principal Stresses.....	23
4-1-5. Flexibility of the Program .....	23
4-1-6. Assembly of Card Deck.....	23

4-2. Program for Plotting Displacements.....	25
4-2-1. Input Data.....	25
4-2-2. Supplementary Definition of Variables.....	26
4-2-3. Plotting of Displacements.....	26
4-2-4. Assembly of Card Deck.....	26
4-3. Numerical Plots.....	27
4-3-1. Input Data.....	27
4-3-2. Supplementary Definitions of Variables.....	28
4-3-3. Flexibility of the Program.....	28
4-3-4. Assembly of Card Deck.....	29
5. Remarks.....	30
1F. Introduction.....	31
2F. Programme principal sur ordinateur pour l'analyse des éléments finis.....	32
2F-1. Définitions des variables en usage au programme.....	33
2F-2. La préparation du maillage.....	38
2F-3. Données d'entrée.....	38
2F-4. Les données de sortie.....	41
2F-5. Le message d'erreur incorporé au programme.....	43
2F-6. Limitation du programme.....	43
2F-7. L'assemblage du paquet de cartes.....	44
3F. Un programme sur ordinateur pour la vérification par traçage des données d'entrée.....	45
3F-1. Description succincte des sous-programmes du traceur Calcomp.....	45
3F-1-1. Appels FORTRAN pour l'initialisation.....	45
3F-1-2. L'appel FORTRAN pour le déplacement de la plume.....	46
3F-1-3. Le traçage des caractères.....	46
3F-1-4. La terminaison d'un tracé.....	47
3F-2. Les données d'entrée.....	47
3F-2-1. La 1 <sup>ère</sup> carte de contrôle.....	47
3F-2-2. La 2 <sup>ième</sup> carte de contrôle.....	47
3F-2-3. Les paramètres nodaux.....	47
3F-2-4. Les paramètres élémentaires.....	48
3F-3. Les définitions supplémentaires des variables.....	48
3F-4. Les données de sortie.....	49
3F-5. Message d'erreur incorporé au programme.....	49
3F-6. Assemblage du paquet de cartes.....	50



4F. Un groupe de programmes de tracés pour l'interprétation des résultats de sortie.....	51
4F-1. Un programme pour le traçage de la direction et de la grandeur des contraintes principales.....	51
4F-1-1. Les données d'entrée.....	51
4F-1-2. Définitions supplémentaires des variables.....	53
4F-1-3. La convention en ce qui concerne les angles.....	54
4F-1-4. Le traçage des contraintes principales.....	54
4F-1-5. La souplesse d'emploi du programme.....	55
4F-1-6. L'assemblage du paquet de cartes.....	55
4F-2. Un programme pour le traçage des déplacements.....	56
4F-2-1. Les données d'entrée.....	56
4F-2-2. Les définitions supplémentaires des variables....	57
4F-2-3. Le traçage des déplacements.....	57
4F-2-4. L'assemblage du paquet de cartes.....	58
4F-3. Les tracés numériques.....	59
4F-3-1. Les données d'entrée.....	59
4F-3-2. Les définitions supplémentaires de variables.....	60
4F-3-3. La souplesse d'emploi du programme.....	60
4F-3-4. L'assemblage du paquet de cartes.....	61
5F. Commentaires.....	62
6. References - Références.....	62
Appendix A: Listing of Program D45149 - Appendice A.....	64
Appendix B: Listing of Program D44007 - Appendice B.....	81
Appendix C: Listing of Program D44011 - Appendice C.....	84
Appendix D: Listing of Program D44005 - Appendice D.....	89
Appendix E: Listing of Program D44012 - Appendice E .....	90
Figures 1-7 .....	91-97

FIGURES - FIGURES

<u>No.</u>		<u>Page</u>
1.	Mesh of a 45° slope plotted by program D44007 Maillage d'une pente à 45° tracé par le programme D44007....	91
2.	Examples of sign convention adopted by the vector plots Exemples de la convention des signes adoptée par les tracés vectoriels.....	92
3.	Plotting of principal stresses Traçage des contraintes principales.....	93
4.	Plotting of displacements Traçage des déplacements.....	94
5.	Direction and magnitude of resultant principal stresses and their numerical values for model of an open pit mine Direction et grandeur des contraintes principales résultantes et leurs valeurs numériques pour le cas du modèle d'une exploitation à ciel ouvert.....	95
6.	Computer-plotted excavation displacements for model of an open pit mine Déplacements d'excavation tracés automatiquement pour le cas du modèle d'une exploitation à ciel ouvert.....	96
7.	Numerical plots of stress concentration factors for model of an open pit mine Tracés numériques des facteurs de concentration des contraintes pour le cas du modèle d'une exploitation à ciel ouvert .....	97

## 1. INTRODUCTION

In 1963, the Mining Research Centre of the Mines Branch decided to initiate some new research work on solving the differential equations applicable to slope geometry in plane strain conditions. It became apparent that even with recent developments in modern mathematics no simple solution of this problem would be obtained.

Alternate techniques were examined in 1964 for obtaining some information on the stress distributions to be expected in slopes. On the one hand, it was decided to initiate some experimental work on deformable models to obtain empirically some useful data. On the other hand, numerical approximation techniques were examined. One of these, the finite element technique, looked promising.

The finite element technique was developed for the design of irregular structures in both aeronautical and civil engineering (1). In this technique, continuous material is replaced by a finite number of elements interconnected at nodal points. Linear stiffness equations can then be developed for each nodal point, the solution of which provides an approximation for the differential equations and boundary conditions applicable to each element.

In December 1965, the development of a finite element computer program was started and the integration of the engineering mechanics with mathematics and programming took until March 1967 to obtain an operating program (2).

In the subsequent 18 months the program was successfully used to analyse problems of stress distributions associated with mining engineering geometrics (3,4,5,6). In addition, supplementary computer programs were also developed, during the same period, for checking input data and for interpreting the massive output of the finite element analysis in graphical forms (7,8,9).

This report describes the use and limitations of these computer programs and provides a document for those who are interested in making use of them.



## 2. MAIN COMPUTER PROGRAM FOR FINITE ELEMENT ANALYSIS

The basis and derivation of the finite element equilibrium equations and the development of the computer program have been described by others in great detail (1, 2). Consequently, the following description is primarily of the actual programs that have been developed.

The computer program was written in Fortran IV language for an IBM 360/65 computer, and it develops the force-displacement relationship (element stiffness matrix) for each individual element from its geometry and material properties. The element relationships are then assembled into an over-all structure-displacement relationship (structure stiffness matrix). Equilibrium equations are developed for each degree of freedom at each nodal point in terms of structure force-displacement relationship, the unknown nodal displacements and the external applied nodal point forces. The equations are solved simultaneously for the unknown nodal point displacements by a modified Gaussian elimination procedure. Once the nodal point displacements are known, the element stresses or nodal point stresses are calculated.

The computer program, designated as D45149, consists of the following call statements in the main calling program:

```
CALL READER
CALL FIRST
CALL DLOAD
CALL STIFF
CALL BCOND
CALL SOL
CALL STRES
CALL CONC
CALL EDSP
STOP
END
```

In addition, several features have been added to facilitate use of the program. These include a plot program to check the input data and a plot package to simplify the interpretation of output. These will be discussed separately.

## 2-1. Definitions of Variables Used in the Program:

The variables or terms used in the main program and in its subroutines are briefly described in the following paragraph.

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
READER	Subroutine to read in all input data
FIRST	Subroutine to initialize values to be used in stiffness matrix
DLOAD	Subroutine to calculate gravitational load acting at each node
STIFF	Subroutine to form the stiffness matrix
DCOND	Subroutine to form the nodal flexibilities
SOL	Subroutine to calculate element stresses
STRES	Subroutine to calculate nodal point stresses
CONC	Subroutine to calculate stress concentrations
EDSP	Subroutine to calculate excavation displacements
NOSND	Maximum number of nodes
NOELE	Maximum number of elements (triangles)
NOBDND	Maximum number of boundary points
MAXC	Maximum number of cycles of iteration in Gauss-Seidel technique
BETA	Relaxation factor
TOL	Tolerance limit
NHOMO	An indicator with the following properties: NHOMO = 0 signifies homogeneous material $\geq 0$ signifies inhomogeneous material

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
YY	Young's modulus of the material
DENS	Density of the material
POIS	Poisson's ratio of the material
N	No. of element
I	No. of i'th node for element
J	No. of j'th node for element
K	No. of k'th node for element
Y	Young's modulus of the material
R	Density of the material
FISH	Poisson's ratio of the material
L	No. of node
X	X-coordinate of node
Y	Y-coordinate of node
DX	X-deflection at node
DY	Y-deflection at node
XL	Live X-load at node
YL	Live Y-load at node
NDI (N)	Array containing I'th node of each element
NDJ (N)	Array containing J'th node of each element
NDK (N)	Array containing K'th node of each element
Young (N)	Array containing Young's modulus of each element
Poisson (N)	Array containing Poisson's ratio of each element
RO (N)	Array containing density of each element

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
XORD (M)	Array containing X-coordinate of each node
YORD (M)	Array containing Y-coordinate of each node
XLOAD (M)	Array containing live X-LOAD on each node
YLOAD (M)	Array containing live Y-LOAD on each node
DSX (M)	Array containing X-displacement at each node
DSY (M)	Array containing Y-displacement at each node
NA (M)	Array containing total number of nodes adjacent to each node
NDADJ (M, 10)	Array containing number of nodes adjacent to each node
NDBC (L)	Array containing the number of each boundary node
NSTA (L)	Array containing type of boundary condition for node No. = NDBC(L) 0 = fixed in X and Y directions 1 = fixed in X direction 2 = fixed in Y direction
DET	Determinates
A, B	Submatrices that are used to calculate stiffness matrix of each element
S (6, 6)	Stiffness matrix of each element at a time
SXX ) SXY ) (M, 9) SYX ) SYY )	Matrices containing terms of total stiffness matrix
DISP (6)	Displacements of each node for one element at a time



<u>Variables</u>	<u>Description</u>
STRESS (3)	Stresses for one element at a time
SIGXX (N)	Array containing stress in X-direction for each element
SIGYY (N)	Array containing stress in Y-direction for each element
SIGXY (N)	Array containing shear stress for each element
XX (N)	Array containing major principal stresses for each element
XS (N)	Array containing minor principal stress for each element
DR (N)	Array containing direction of major principal stress for each element, measured from horizontal axis and clockwise positive
X (M)	Array containing stress in X-direction for each node
Y (M)	Array containing stress in Y-direction for each node
XY (M)	Array containing shear stress for each node
XMAX (M)	Array containing major principal stress for each node
XMIN (M)	Array containing minor principal stress for each node
PA (M)	Array containing major principal stress for each node, measured from horizontal axis and clockwise positive
EX (M)	Array containing excavation stress in X-direction for each node
EY (M)	Array containing excavation stress in Y-direction for each node

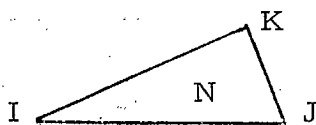
<u>Variables</u>	<u>Description</u>
EXY (M)	Array containing shear stress for each node
EMAX (M)	Array containing excavation major principal stress for each node
EMIN (M)	Array containing excavation minor principal stress for each node
QA (M)	Array containing direction of major principal stress for each node, measured from horizontal axis, clockwise positive
EXX (M)	Array containing initial stress in X-direction for each node (model loaded without excavations)
EYY (M)	Array containing initial stress in Y-direction for each node
EXXYY (M)	Array containing initial shear stress for each node
DSPIX (M)	Array containing initial displacement in X-direction for each node
DSPIY (M)	Array containing initial displacement in Y-direction for each node
EDSX (M)	Array containing excavation displacement in X-direction for each node
EDSY (M)	Array containing excavation displacement in Y-direction for each node
SCF1 (M)	Array containing stress concentration factors of major principal stress (XMAX)
SCF2 (M)	Array containing stress concentration factors of minor principal stress (XMIN)

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
SCF3 (M)	Array containing stress concentration factors of excavation major principal stress (EXMAX)
SCF4 (M)	Array containing stress concentration factors of excavation minor principal stress (EXMIN)

## 2-2. Mesh Preparation:

An assemblage of triangular plate elements is used to represent a continuous structure. In other words, the continuous structure is replaced by a finite number of triangular plate elements. For preparation of the mathematical model, the following steps should follow:

- Select an appropriate scale to draw the mesh.
- Divide the area of interest into triangles; as a general rule, the size of elements should be relatively small in the area where high stress concentrations would be expected.
- Number the triangles in any convenient manner.
- Number the vertices or nodes in any convenient manner; calculate the coordinates of each node and designate each node as being the i'th, j'th, and k'th node of each element (triangle). The sequence of i'th, j'th and k'th nodes should be in a counterclockwise order as shown in the following diagram:



where N is the number of element; I, J and K are the i'th, j'th and k'th nodes of element N respectively.

## 2-3. Input Data:

The input data are called for exclusively in the SUBROUTINE READER as shown in the compilation (D45159). The information is divided into control data, element parameters, nodal parameters, and boundary conditions.

a) Control card for the program:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	NOSND	Maximum number of nodes
5-8	NOELE	Maximum number of elements (triangles)
9-12	NOBDND	Maximum number of boundary points
13-16	MAXC	Maximum number of cycles of iteration in Gauss-Seidel technique
17-21	BETA	Relaxation factor
22-26	TOL	Tolerance limit
27-28	NHOMO	An indicator with the following properties: NHOMO = 0 specifies homogeneous material NHOMO $\geq$ 0 specifies inhomogeneous material

b) Homogeneous media only need this card:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-8	YY	Young's modulus of material
9-15	DENS	Density of the material
16-21	POIS	Poisson's ratio of the material

c) Element parameters:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	N	No. of element
5-8	I	No. of i'th node of element
9-12	J	No. of j'th node of element
13-16	K	No. of k'th node of element
17-28	Y	Young's modulus*
29-36	R	Density*
37-43	FISH	Poisson's ratio *

\*To be left blank for homogeneous material.



d) Nodal parameters:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	L	No. of node
5-17	X	X-coordinate for each node
18-30	Y	Y-coordinate for each node
31-40	DX	X-deflection
41-50	DY	Y-deflection
51-62	XL	Live X-load
63-74	YL	Live Y-load

e) Boundary conditions:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	NDBC (L)	Array containing the number of each boundary node
5-6	NSTA (L)	Type of boundary conditions, i.e., 0 - fixed in X and Y directions 1 - fixed in X-direction 2 - fixed in Y-direction

f) Initial stresses: \*\*\*

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	J	No. of node
5-10		Blank
11-12	EXX (J)	Initial stress in X-direction for each node
23-34	EYY (J)	Initial stress in Y-direction for each node
35-46	EXXYY (J)	Initial shear stress for each node

g) Initial displacements: \*\*\*

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	N	No. of node
5-20		Blank
21-40	DSPIX (N)	Initial X-displacement for each node

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
41-60	DSPIY (N)	Initial Y-displacement for each node

\*\* The initial stresses and displacements are determined by loading the model without excavation first; the resulting stresses and displacements are then used as the initial conditions for the model with the excavation. Then the excavation stresses and displacements can be obtained by subtracting the initial stresses and displacements at each node from the resultant stresses and displacements. For those who are not required to obtain excavation stresses and displacements, this input will be omitted.

#### 2-4. Output Data:

The program will write headings above each set of output data identifying the values. The following output data will be obtained:

- Element parameters and the physical properties associated with each element
- Boundary conditions
- Stresses acting at each element
- Stresses acting at each node
- Excavation stress acting at each node
- Stress concentration factors
- X- and Y-coordinates, X- and Y-load, X- and Y-displacement and X- and Y-excavation displacement for each node

In addition, the following card output will also be obtained, according to the following formats:

- Stresses acting at each node:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	M	No. of node
5-20		Blank
21-30	XMAX (M)	Major principal stress acting at each node
31-40	XMIN (M)	Minor principal stress acting at each node

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
41-50	PA (M)	Direction of major principal stresses
51-60	EXMAX (M)	Major principal excavation stresses
61-70	EXMIN (M)	Minor principal excavation stresses
71-80	QA (M)	Direction of major principal excavation stresses

b) Stress concentration factors:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-6	N	No. of node
7-18	SCF1	Stress concentration factor of XMAX
19-30	SCF2	Stress concentration factor of XMIN
31-42	SCF3	Stress concentration factor of EXMAX
43-54	SCF4	Stress concentration factor of EXMIN

c) Excavation displacements:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	M	No. of node
5-20		Blank
21-50	EDSX (M)	Excavation displacement in X-direction
51-80	EMSY (M)	Excavation displacement in Y-direction

The output cards will be required independently to obtain plots of direction and magnitude of principal stresses, plots of excavation displacements, and plots of numerical stress concentration factors. These supplementary programs will be discussed later.

#### 2-5. Error Message Built into Program:

- Statement 9        - Subroutine DLOAD - This statement operates if one of the areas is nonpositive. The number of the element will be printed and then the program stops. This error could be due to a wrong sequence of the i'th, j'th, and k'th nodes or a wrong coordinate of node.
- Statement 777      - Subroutine STIFF - This statement operates when the adjacent nodes of a particular node exceed the maximum limit of 8. The program prints out one of the element numbers which is associated with that node, then stops.

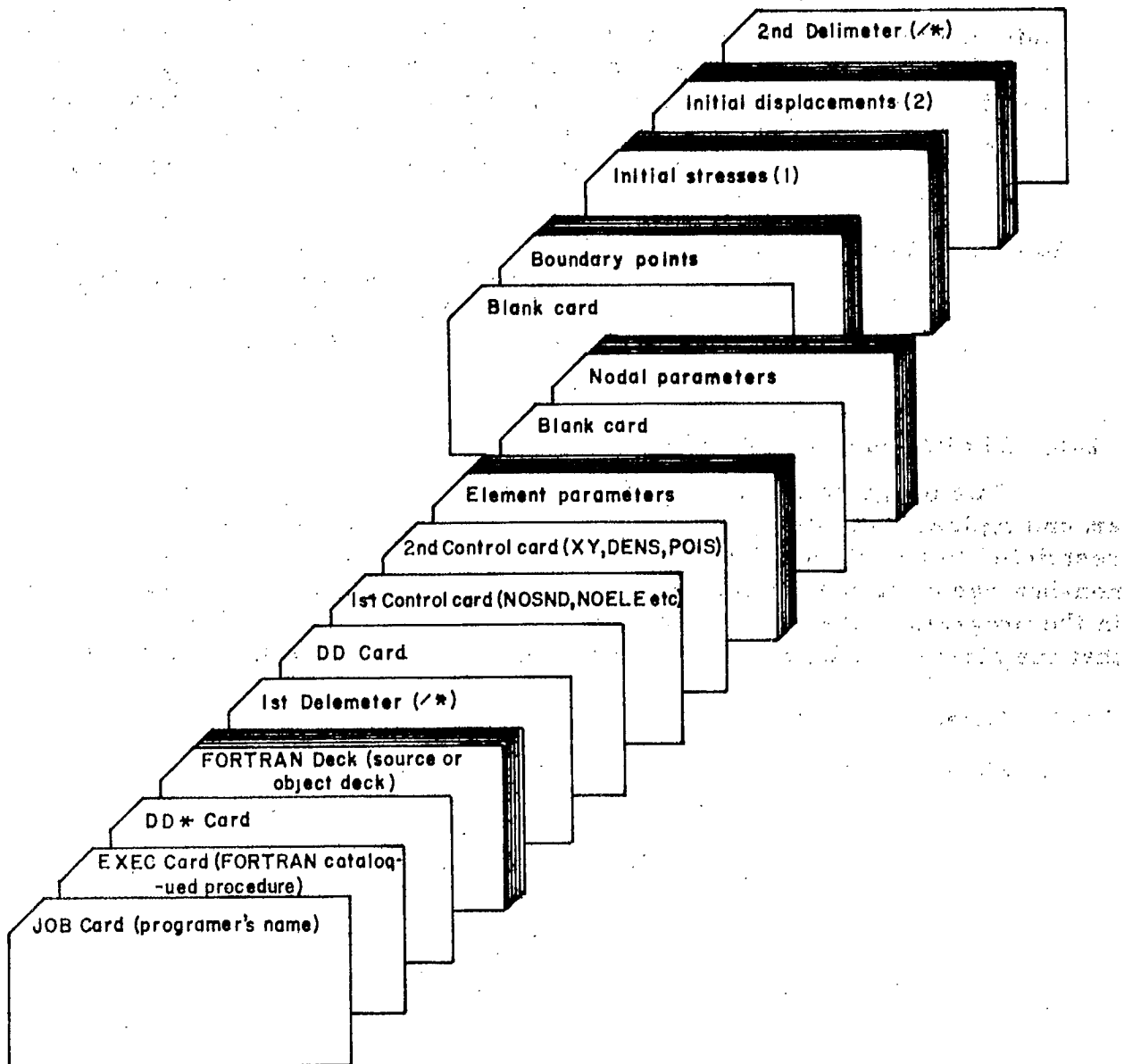
#### 2-6. Limitation of the Program:

This program is capable of simulating the stress distributions around typical irregularly shaped mining openings; however, it is restricted to two-dimensional, plane strain conditions. The actual, non-homogeneous mechanical properties of the rock can be taken into account in the program. The simulation also takes into account the possibility that the stresses are produced by either or both gravity and tectonic forces.

#### 2-7. Assembly of Card Deck:

The order of the card deck is shown as follows:





Cards (1) and (2) will be omitted when excavation stresses and displacements are not required.

The FORTRAN compilation of Program D45149 is shown in Appendix A.

### 3. COMPUTER PROGRAM FOR CHECKING INPUT DATA BY PLOTTING

Usually, a large volume of input data, such as X- and Y-coordinates of nodal points and the element parameters of each triangle-shaped element in a large mesh, will be involved for the Finite Element Analysis.

Realizing that methods for detecting errors in these two major sources of input data are very desirable, computer programs were developed and since modified to provide a means to be able to check and to locate errors quickly and accurately by examining a computer-plotted mesh. This mesh should have the same scale and layout as that of the original mesh provided the input data are all correct. In addition, this program is also capable of eliminating any nonpositive element areas before a computer run.

This program has been written for the CDC 3100 Computer and Calcomp 563 plotter. The program generates codings which are automatically written onto a magnetic tape; the reel of tape is played back through a Calcomp 750 Tape Transport to drive the Calcomp plotter.

#### 3-1 Brief Description of Calcomp Plotter Subroutines:

Programming for the Calcomp 563 plotter is also carried out in FORTRAN IV with a series of subroutines (9).

##### 3-1-1. FORTRAN Calls for Initialization:

At the beginning of each plot, axes must be defined by use of the AXISXY function. The call can take either of the following formats:

```
IF AXISXY (LUN, LX, LY, XTIC, XLNG, YLNG, XMIN, YMIN,  
           XORG, YORG, YTIC, N)n1, n2
```

- or -

```
CALL AXISXY (LUN, LX, LY, XTIC, XLNG, YLNG, XMIN, YMIN,  
            XORG, YORG, YTIC, N)
```

In the IF statement, the branch to  $n_1$  would be taken if all parameters were legal, or the branch  $n_2$  would be taken if some parameters were illegal.

In these two formats, LUN is the logical unit number in integer mode (01), LX is the length of X-axis in inches (real), and LY is the length of Y-axis in inches (real). XTIC is the interval between the tick marks on the X-axis, XLNG is the length of X-axis, YLNG is the length of Y-axis, XMIN is the initial point of the X-axis, YMIN is the initial point of the Y-axis, XORG is the X-axis origin, YORG is the Y-axis origin, and YTIC is the interval between ticks on the Y-axis. All of these are in logical or real units. N is the number of ticks between grid lines in integer mode, and this is optional.

### 3-1-2. FORTRAN Call for Pen Movement:

CALL PLOTXY (X, Y, IPOS, IMARK), where X and Y are new pen positions in real units, IPOS is the pen position during movement (0-up, 1-down), and IMARK is the data mark, if any, after the pen is positioned. Values of 1 to 32 generate marks, all other values are ignored. For example, 0 is no mark, and 11 is an X within a box with the datum at its centre.

### 3-1-3. Plotting Characters:

Three steps are required for plotting characters:

- (a) Use PLOTXY to position the pen to a starting position of the label.
- (b) Use ENCODE feature of FORTRAN to transmit formatted alphanumeric data to an integer array.
- (c) Execute the following CALL:

CALL LABEL (INUN, ISIZ, IDIR, KARAY (J)), where INUN is the integer number of characters to be plotted; ISIZ is the integer size of the characters to be plotted, where the actual size equals 1/12 times ISIZ in inches, and the maximum value of ISIZ is 10; IDIR is the direction of the character lines (0 = +X, 1 = -Y, 2 = -X, 3 = +Y); and KARAY is the starting word of the alphanumeric data to be plotted.

### 3-1-4 Terminating a Plot:

In order to empty the internal plot buffer, necessary when plotting onto magnetic tape, one must make a final entry into the routines; the FORTRAN call is:

CALL ENDPLOT (LUN), where LUN is the logical unit number (01).

## 3-2 Input Data:

The input data are divided into control data, nodal parameters, and element parameters. Actually, the last two parts of data are the same input data for the finite element program as described under section 2-2-2; but some of the information, such as density, Young's modulus, etc., if any, is not required in this program.

### 3-2-1. 1st Control Card:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-7	XTIC	Interval between tick marks on X-axis in logical units

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
8-14	XLNG	Length of the X-axis in logical units; XLNG = 4000.0 means the actual size of the plot will be 1 in. = 4000.0 units
15-21	YLNG	Length of the Y-axis in logical units; same as above

3-2-2. 2nd Control Card:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	NOELE	Maximum number of elements
5-8	NOSND	Maximum number of nodes

3-2-3. Nodal Parameters:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	N	No. of node
5-17	XX	X-coordinate for each node
18-30	YY	Y-coordinate for each node

3-2-4. Element Parameters:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	N	No. of element
5-8	I	No. of i'th node of element
9-12	J	No. of j'th node of element
13-14	K	No. of k'th node of element

3-3. Supplementary Definitions of Variables:

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
NOELE	Maximum number of elements
NOSND	Maximum number of nodes
XORD (M)	Array containing X-coordinate of each node
YORD (M)	Array containing Y-coordinate of each node



<u>Variables</u>	<u>Description</u>
NDI (N)	Array containing i'th node of each element
NDJ (N)	Array containing j'th node of each element
NDK (N)	Array containing k'th node of each element
DX (4)	Array containing X-coordinates of current element to be plotted
DY (4)	Array containing Y-coordinates of current element to be plotted
DXX (12)	Array containing X-coordinates which are used to calculate the centre of each element (approximation)
DYY (12)	Array containing Y-coordinates which are used to calculate the centre of each element
N	No. of node
XX	X-coordinate
CNT	Counter
Error	An indicator; when there are missing elements and non-positive areas, the program stops before call plot subroutines
AREA	Area of each triangle

#### 3-4. Output:

The output of the program is a plot to such a scale which will match an original mesh provided all input is correct. The number of a nodal point is plotted along the horizontal direction, and the number of an element is plotted along the vertical direction and approximately positioned at the centre of each triangle (element). In Figure 1 the mesh which represents an open pit mine was plotted by this program.

#### 3-5. Error Message Built into the Program:

The following messages could be received if there were missing elements and non-positive areas in these input data:

Statement 5 - MAIN

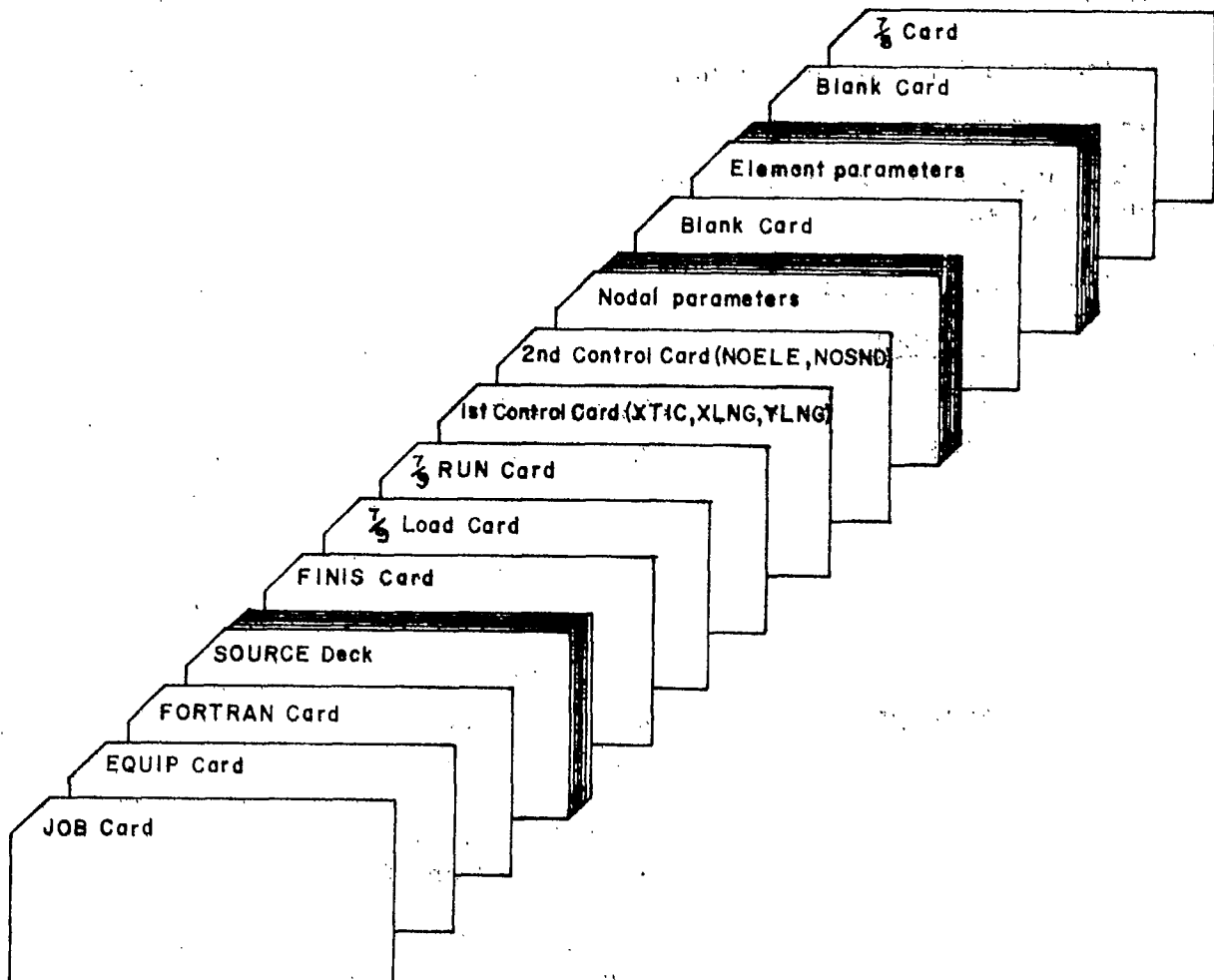
The missing number of an element would be printed.

Statement 9 - Subroutine DLOAD

A list of the numbers of elements and the associated i'th, j'th and k'th nodes will be printed out if they are in a wrong sequence.

### 3-6. Assembly of Card Deck:

The order of the complete card decks is shown below:



The FORTRAN compilation of Program D44007 is shown in Appendix B. Figure 1 shows the mesh which was plotted by this program.

#### 4. PLOT PACKAGE FOR INTERPRETING OUTPUT RESULTS

The interpretation of the results of a finite element analysis is very time-consuming when plots of stresses and deformations are required. To simplify this operation, a program has been developed to plot these quantities automatically, using a Calcomp plotter. The use of this program has saved considerable time and eliminated the errors which normally occur with manual plots.

The programs have also been written for the CDC 3100 computer and Calcomp 563 plotter. The Call subroutines for plots have been described in detail in the previous section.

##### 4-1. Program for Plotting Principal Stress Direction and Magnitude:

###### 4-1-1. Input Data:

The input data are divided into control data, nodal parameters, and nodal stresses.

###### 4-1-1-1. Control Data:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	NOSND	Maximum number of nodes
5-8	TEST	A specification of the type of plot to be executed with the following properties: TEST = 0, stresses will be plotted at all nodes; TEST = "-" or "+", stresses will be plotted along a vertical section or horizontal section respectively.
9-12	NPLOT	Another specification of the type of plot to be executed with the following properties: NPLOT = 2, it will plot the magnitude and direction of the principal stresses only; NPLOT = 1, it will plot the magnitude and direction of the principal stress and print out their numerical values; NPLOT = 0, it will plot the resultant principal stresses and the excavation principal stress on two separate plots and print out their numerical values.

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
13-20	XTIC	Interval between tick marks on X-axis in logical units
21-28	XLNG	Length of X-axis in logical units
29-36	YLNG	Length of Y-axis in logical units
37-44	SCALE	Stress scale to be plotted, i. e., 1 cm = 100 ksc or psi; or 1 inch = 100 ksc or psi, depending on the input.
45-52	UNIT	A factor to control the stress scale, Unit = 2.54, when input coordinates are in centimetres; any other values may be used when the input coordinates are in inches.
53-60	DIST	A distance measured from the origin of the mesh, which specifies the vertical section along which the stresses will be plotted. When TEST = 0, DIST can be any number.
61-68	HEIGHT	A distance measured from the origin of the mesh, which specifies the horizontal section along which the stresses will be plotted. When TEST = 0, HEIGHT can be any number.

#### 4-1-1-2. Nodal Parameters:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	M	No. of node
5-17	X	X-coordinates of each node
18-30	Y	Y-coordinates of each node

#### 4-1-1-3. Nodal Stresses:

These cards containing the required stress data are obtained from the main program according to the following format:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	N	No. of node

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
5-20		Blank
21-30	XMAX )	Major and minor principal stresses (resultant of field stress and excavation stress)
31-40	XMIN )	
41-50	PA	Direction of the major principal stresses
51-60	EXMAX )	Major and minor principal stresses (excavation stresses)
61-70	EXMIN )	
71-80	QA	Direction of the major principal stresses

4-1-2. Supplementary Definition of Variables:

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
XORD (M)	Array containing X-coordinate for each node
YORD (M)	Array containing Y-coordinate for each node
SF1	A factor used to obtain an appropriate scale for major principal stresses
SF2	A factor used to obtain an appropriate scale for the minor principal stresses, generally SF1 = SF2.
BAR	A factor used to plot a bar at end of a vector which represents compression
ANGLE	Direction of the major principal stress in radians
NUM	Subroutine to plot numerical values
K (20)	Starting word address of the alphanumeric data to be plotted
Xmn (m = 1,4, n = 1,2)) )	X- and Y- coordinates at the end of each vector, which are required to be calculated before plotting that vector (referring to Figure 3)
Ymn (m = 1,4, n = 1,2))	

#### 4-1-3. Convention with Respect to Angles:

The angles are in degrees stored in PA (I) and QA (I) respectively for the resultant and excavation principal stresses. The sign convention, as adopted in the main finite element program, is that a positive angle represents rotation in the clockwise direction from the horizontal with respect to stress, as shown in Figure 2.

Consequently, to use these values in regular computation, it is necessary to convert the angle (in degrees) into radians. This is accomplished, in the program D44011, by the following statements:

```

                                PI = 3.14159/180.0
                                . . . . .
44                               DO 300 I = 1, NOSND
                                . . . . .
88                               ANGLE = ABSF (PA (I)) PI
                                . . . . .
300                              CONTINUE
```

#### 4-1-4. Plotting of Principal Stresses:

The vectors are plotted by calculating the coordinates at the end of the vector as shown in Figure 3. The sign convention for stresses is the same as that adopted in the main program, i. e., tensile stresses are positive and compressive stresses are negative. The compressive stresses are distinguished from the tensile stress by plotting the bars at the end of the vectors as shown in Figure 3.

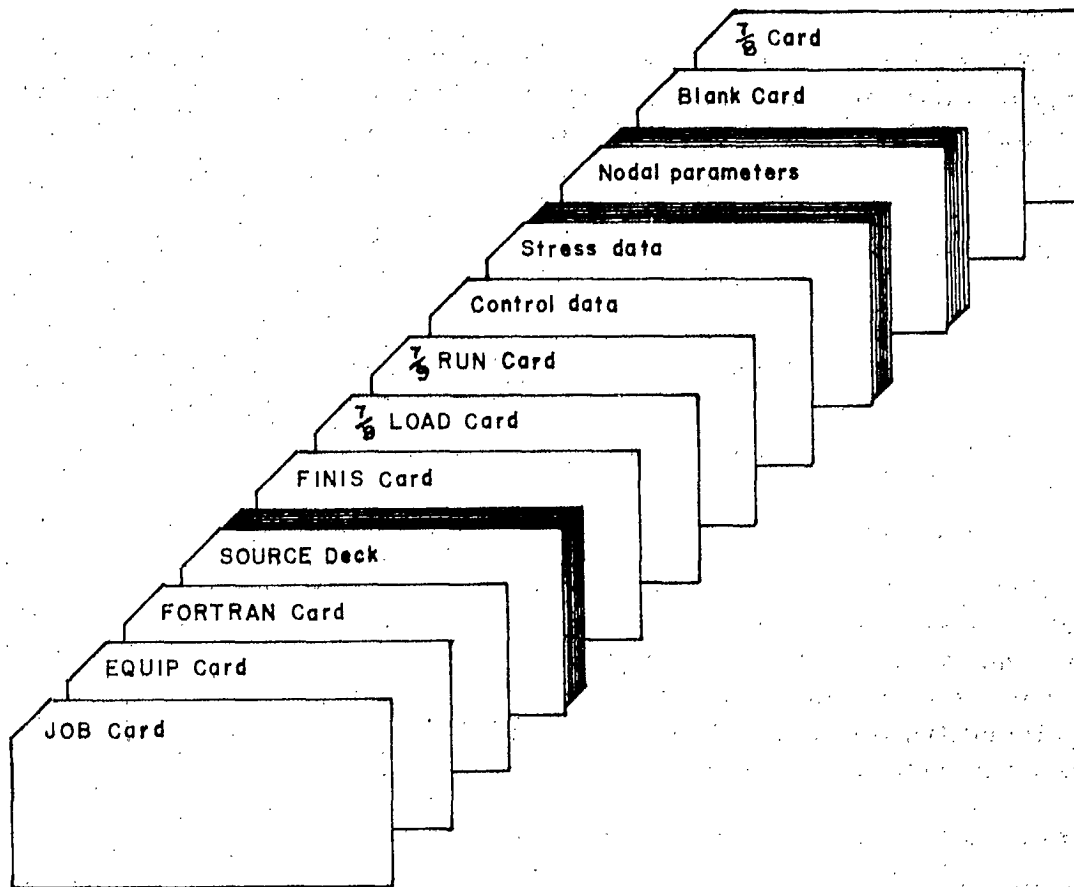
#### 4-1-5. Flexibility of the Program:

With this program, it is possible to select several options for plotting the principal stresses. The principal stress can be plotted either at all nodes or at nodes located along a vertical section or along a horizontal section. This is achieved by assigning different values to the control data, TEST, NPLOT, DIST and HEIGHT, as described in Section 4-1-1.

This program was mainly developed for plotting resultant and excavation principal stresses on two separate plots on the same piece of paper. However, with minor changes in the program, it can be used to plot stress distributions in any two-dimensional structures.

#### 4-1-6. Assembly of Card Deck:

The order of the complete card deck is shown below:



The FORTRAN compilation of Program D44011 is shown in Appendix C. Figure 5 is an example of the vector plots obtained from the program.

#### 4-2. Program for Plotting Displacements

The plotting of displacements at nodal points is relatively simple compared to that of principal stresses, and it is very useful to have a picture of the displacement patterns which was created due to the excavating of a mining opening. The displacements are vectors relative to the coordinate of each node of the mesh.

##### 4-2-1. Input Data:

The input data for plotting displacements are divided into three groups: control data, nodal parameters (coordinates), and nodal displacements.

##### 4-2-1-1. Control Data:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	NOSND	Maximum number of nodes
5-12	XTIC	Interval of tick marks on X-axis in logical units
13-20	XLNG	Length of the X-axis in logical units
21-28	YLNG	Length of the Y-axis in logical units
29-36	SCALE	Displacement scale
37-44	UNIT	A factor to control the displacement scale; UNIT = 2.54, when input coordinates are in centimetres; any other value can be used when the coordinates are in inches

##### 4-2-1-2. Nodal Displacements:

These data are part of the card output from the main finite element program. It contains the following information:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	M	No. of node
5-20		Blank
21-50	DSPX	Excavation displacement in X-direction
51-80	DSPY	Excavation displacement in Y-direction



#### 4-2-1-3. Nodal Parameters:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	N	No. of node
5-17	XX	X-coordinate for each node
18-30	YY	Y-coordinate for each node

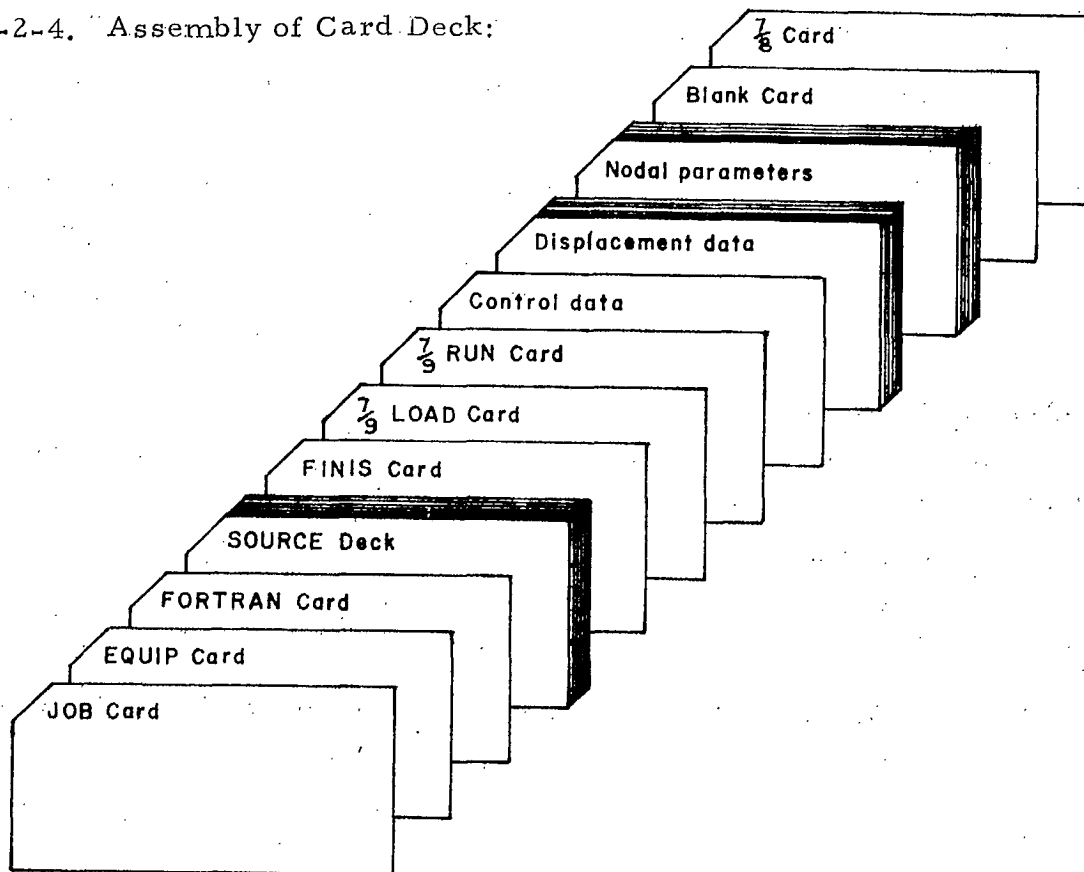
#### 4-2-2. Supplementary Definition of Variables:

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
XORD (M)	Array containing X-coordinate of each node
YORD (M)	Array containing Y-coordinate of each node
SC	A factor to be used to obtain an appropriate scale for the displacement plot

#### 4-2-3. Plotting of Displacements:

The displacements are plotted by calculating the coordinates at the end of the vectors as shown in Figure 4.

#### 4-2-4. Assembly of Card Deck:



The FORTRAN compilation of Program D44005 is shown in Appendix D. Figure 6 shows the excavation displacements plotted by this program for a mathematical model of an open pit mine.

#### 4-3. Numerical Plots:

Numerical plots are designed for presenting data in graphical forms in terms of actual stresses or stress concentrations at the nodal points where stresses are acting. Two values are plotted at the same point; the major principal stresses or their concentration factors are plotted along vertical lines, minor principal stresses or their concentration factors are plotted along horizontal lines.

In some cases, the principal stresses or their concentration factors at some of the nodes were not plotted; this is achieved by replacing the input data with cards containing only the nodal number. This becomes desirable where the sizes of elements are small.

##### 4-3-1. Input Data:

The input is also divided into three groups: control data, nodal parameters (coordinates), and cards containing stress concentration factors. These last were part of the cards output obtained from the main finite element program.

##### 4-3-1-1. Control Data

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	NOSND	Maximum number of nodes
5-8	NPLOT	An indicator to control the number of plots, with the following properties: NPLOT = 1, two separate plots will be executed; NPLOT = 2, only one plot will be executed
9-16	XTIC	Interval between the tick marks on X-axis in logical units
17-24	XLNG	Length of X-axis in logical units
25-32	YLNG	Length of Y-axis in logical units

##### 4-3-1-2. Nodal Parameters:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	N	Number of node
5-17	XX	X-coordinate for each node
18-30	YY	Y-coordinate for each node

4-3-1-3. Stress Concentrations:

<u>Col.</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
1-4	M	Number of node
5-20		Blank
21-35	SCF1	Stress concentration of major principal stress
36-50	SCF2	Stress concentration of minor principal stress
51-65	SCF3	Stress concentration of major principal excavation stress
66-80	SCF4	Stress concentration of minor principal excavation stress

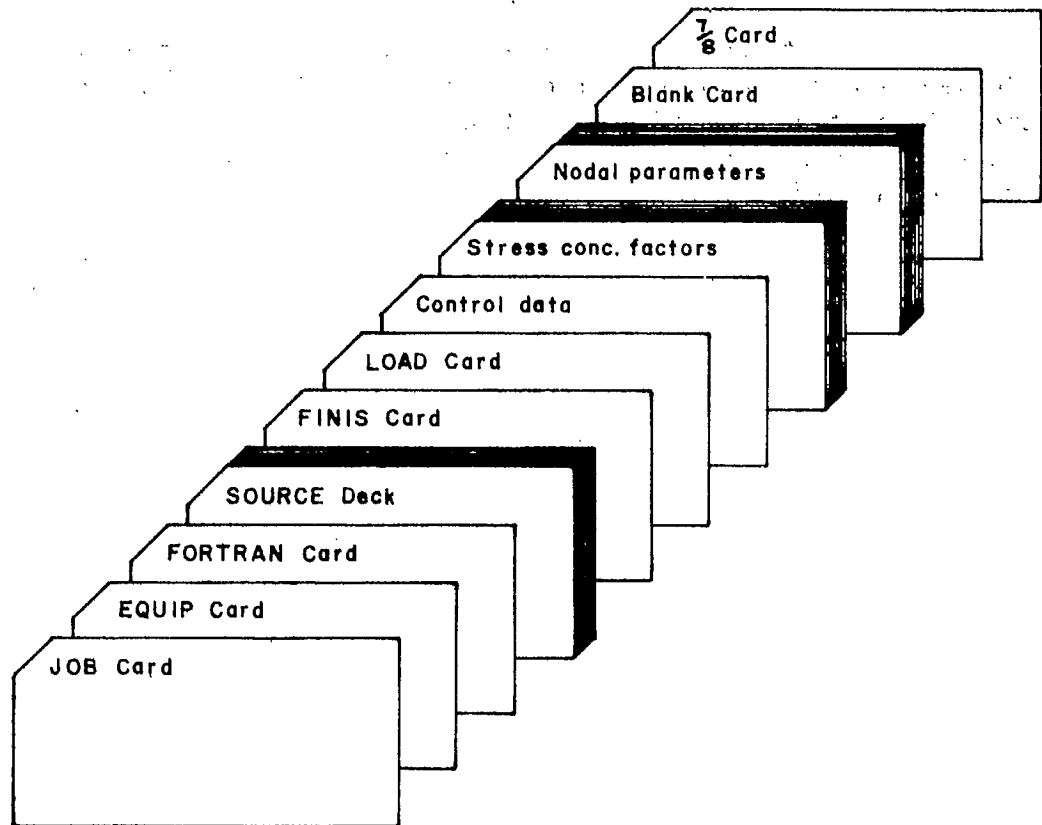
4-3-2. Supplementary Definitions of Variables:

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
XORD (N)	Array containing X-coordinates of each node
YORD (N)	Array containing Y-coordinates of each node
K (20)	Starting word address of the alphanumeric data to be plotted

4-3-3. Flexibility of the Program:

This program was mainly developed for plotting stress-concentration factors for resultant and excavation principal stresses on two separate plots on the same piece of paper. If, however, the second plot is not required, the control datum, NLOT, is changed from 1 to 2.

4-3-4. Assembly of Card Deck:



The FORTRAN compilation of Program D44012 is shown in Appendix E. Figure 7 shows the numerical plots.

## 5. REMARKS

The finite element program was successfully used to analyse problems of stress distributions associated with mining engineering geometries. It also can be used to determine stresses and deflections in any completely arbitrary plane-stress or plane-strain problem associated with engineering in general.

The plot package which is used to interpret the output of the finite element analysis can be integrated easily with the main program. However, the authors feel that it is more desirable to keep those supplementary computer programs independent so that a more flexible and selective plot can be obtained whenever it may be required.

## 1F. INTRODUCTION

En 1963, le Centre de la recherche minière, de la Direction des mines, à Ottawa, se décida d'entreprendre de nouveaux travaux de recherches visant à résoudre les équations différentielles applicables à la géométrie des pentes en fonction de déformations unitaires planes. Même avec les récents développements apportés par les mathématiques modernes, il devint évident que l'on ne parviendrait à aucune solution simple du problème.

Plus tard, en 1964, d'autres techniques furent étudiées dans le but d'obtenir des renseignements quant à la répartition des contraintes dont l'existence est à prévoir dans les pentes. On décida, d'une part, de commencer à expérimenter à l'aide de modèles déformables (élastiques) en vue d'obtenir d'une manière empirique des données utiles. D'autre part, des études portèrent sur les techniques numériques dites approximatives parmi lesquelles une, appelée la technique des éléments finis, nous parut prometteuse.

Cette technique des éléments finis a été mise au point pour le dessin de structures irrégulières dans les génies civil et aéronautique (1). Par cette technique, on substitue au milieu continu, un nombre fini d'éléments reliés entre eux à des points nodaux. Il est possible, dès lors, d'établir les équations linéaires de raideur en chacun des points nodaux, leur solution fournissant une approximation pour la solution des équations différentielles et des conditions aux frontières applicables à chaque élément.

En décembre 1965, débuta la mise au point d'un programme sur calculateur électronique et ce n'est qu'au mois de mars 1967, soit une fois que l'intégration de la mécanique du génie avec les calculs mathématiques fut complétée ainsi que la programmation, que l'on obtint un programme utilisable (2).

Au cours des 18 mois qui suivirent, le programme fut utilisé avec succès pour l'analyse de problèmes de répartition des contraintes liés à différentes formes d'excavations minières (3, 4, 5, 6). En outre, au cours de la même période de temps, on élaborait des programmes supplémentaires sur ordinateur pour vérifier les données d'entrée et interpréter l'énorme quantité de données de sortie sous forme de graphiques résultant de l'analyse des éléments finis (7, 8, 9).

Ce rapport décrit l'utilisation et les restrictions d'emploi de ces programmes sur ordinateur et fournit un document à ceux qui sont intéressés à faire usage de ceux-ci.

## 2F. PROGRAMME PRINCIPAL SUR ORDINATEUR POUR L'ANALYSE DES ÉLÉMENTS FINIS

Le principe de base et la dérivation des équations d'équilibre des éléments finis ainsi que la mise au point du programme sur calculateur électronique ont déjà été décrits d'une façon détaillée par d'autres (1,2). En conséquence, la description qui suit porte surtout sur les programmes actuels mis au point.

Le programme de calcul électronique a été écrit en langage Fortran IV sur ordinateur I. B. M. 360/65 et il met au point le rapport déplacement-force (matrice de raideur élémentaire) pour chaque élément individuel à partir de ses formes et grandeurs ainsi que les propriétés du matériau. Ces rapports élémentaires sont ensuite assemblés en un rapport global dit "structure-déplacement" (matrice de raideur de la structure). Les équations d'équilibre sont définies pour chaque degré de liberté en chaque point nodal, en termes du rapport déplacement-force de la structure, des déplacements nodaux inconnus et des forces extérieures appliquées aux points nodaux. Au moyen d'une méthode modifiée d'élimination gaussienne l'on résout simultanément les équations pour le cas des déplacements des points nodaux inconnus. Une fois que les déplacements des points nodaux sont connus, on calcule les contraintes élémentaires ou les contraintes de ces points.

Le programme sur ordinateur, désigné D45149, se compose, au programme principal d'appel, des instructions "appel" suivantes:

CALL READER

CALL FIRST

CALL DLOAD

CALL STIFF

CALL BCOND

CALL SOL

CALL STRES

CALL CONC

CALL EDSP

STOP

END

En outre, on y ajouta plusieurs caractéristiques pour en faciliter l'usage. Celles-ci comprennent un programme de tracés aux fins de vérification des données d'entrée, ainsi qu'un groupe de programmes tracés pour simplifier l'interprétation des données de sortie. Nous discuterons de ces programmes séparément.

2F-1. Définitions des variables en usage au programme:

Les variables ou les termes en usage dans le programme principal et dans ses sous-programmes sont expliqués brièvement au paragraphe qui suit.

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
READER	Un sous-programme lisant dans le calculateur toutes les données d'entrée
FIRST	Un sous-programme pour initialiser les valeurs qu'on utilisera dans la matrice de raideur
DLOAD	Un sous-programme pour le calcul du chargement gravitationnel agissant à chaque noeud
STIFF	Un sous-programme pour former la matrice de raideur
DCOND	Un sous-programme pour former les flexibilités nodales
SOL	Un sous-programme pour le calcul des contraintes élémentaires
STRES	Un sous-programme pour le calcul des contraintes des points nodaux
CONC	Un sous-programme pour le calcul des concentrations de contraintes
EDSP	Un sous-programme pour le calcul des déplacements d'excavations
NOSND	Le nombre maximal de noeuds
NOELE	Le nombre maximal d'éléments (triangles)
NOBDND	Le nombre maximal de points à la bordure
MAXC	Le nombre maximal de cycles d'itération dans la technique de Gauss-Seidel
BETA	Le facteur de relaxation



<u>Variables</u>	<u>Description</u>
TOL	La limite de tolérance
NHOMO	Un indicateur avec les propriétés suivantes: NHOMO = 0 signifie un matériau homogène $\geq 0$ signifie un matériau non-homogène
YY	Le module d'Young du matériau
DENS	La densité du matériau
POIS	Le coefficient de Poisson du matériau
N	Le numéro de l'élément
I	Le numéro du i ième noeud pour l'élément
J	Le numéro du j ième noeud pour l'élément
K	Le numéro du k ième noeud pour l'élément
Y	Le module d'Young du matériau
R	La densité du matériau
FISH	Le coefficient de Poisson du matériau
L	Le numéro du noeud
X	La coordonnée-X du noeud
Y	La coordonnée-Y du noeud
DX	La déflexion-X au noeud
DY	La déflexion-Y au noeud
XL	Le poids vif-X au noeud
YL	Le poids vif-Y au noeud
NDI (N)	Une rangée contenant le I ième noeud de chaque élément
NDJ (N)	Une rangée contenant le J ième noeud de chaque élément
NDK (N)	Une rangée contenant le K ième noeud de chaque élément
Young (N)	Une rangée contenant le module d'Young de chaque élément
Poisson (N)	Une rangée contenant le coefficient de Poisson de chaque élément

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
RO (N)	Une rangée contenant la densité de chaque élément
XORD (M)	Une rangée contenant la coordonnée-X de chaque noeud
YORD (M)	Une rangée contenant la coordonnée-Y de chaque noeud
XLOAD (M)	Une rangée contenant le poids vif-X sur chaque noeud
YLOAD (M)	Une rangée contenant le poids vif-Y sur chaque noeud
DSX (M)	Une rangée contenant le déplacement-X à chaque noeud
DSY (M)	Une rangée contenant le déplacement-Y à chaque noeud
NA (M)	Une rangée contenant le nombre total de noeuds adjacents à chaque noeud
NDADJ (M, 10)	Une rangée contenant le nombre de noeuds adjacents à chaque noeud
NDBC (L)	Une rangée contenant le numéro de chaque noeud à la bordure
NSTA (L)	Une rangée contenant la sorte de condition à la bordure pour le noeud No. = NDBC (L) 0 = fixe en direction X et Y 1 - fixe en direction X 2 - fixe en direction Y
DET	Les déterminés
A, B	Les sous-matrices employées pour le calcul de la matrice de raideur de chaque élément
S (6, 6)	La matrice de raideur de chaque élément à la fois
SXX ) SXY ) SYX ) SYY )	Les matrices contenant les termes de la matrice globale de raideur
DISP (6)	Les déplacements de chaque noeud pour un élément à la fois

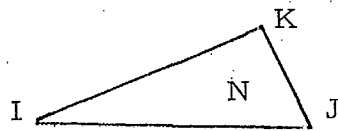
<u>Variables</u>	<u>Description</u>
STRESS (3)	Les contraintes pour un élément à la fois
SIGXX (N)	Une rangée contenant les contraintes dans la direction-X pour chaque élément
SIGYY (N)	Une rangée contenant les contraintes dans la direction-Y pour chaque élément
SIGXY (N)	Une rangée contenant les contraintes de cisaillement pour chaque élément
XX (N)	Une rangée contenant les contraintes principales majeures pour chaque élément
XS (N)	Une rangée contenant les contraintes principales pour chaque élément
DR (N)	Une rangée contenant la direction des contraintes principales majeures pour chaque élément, lesquelles lorsque mesurées à partir de l'axe horizontal et dans le sens des aiguilles ont une valeur positive
X (M)	Une rangée contenant les contraintes en direction-X pour chaque noeud
YC (M)	Une rangée contenant les contraintes en direction-Y pour chaque noeud
XY (M)	Une rangée contenant les contraintes de cisaillement pour chaque noeud
XMAX (M)	Une rangée contenant les contraintes principales majeures pour chaque noeud
XMIN (M)	Une rangée contenant les contraintes principales mineures pour chaque noeud
PA (M)	Une rangée contenant les contraintes principales majeures pour chaque noeud, lesquelles lorsque mesurées à partir de l'axe horizontal et dans le sens des aiguilles ont une valeur positive
EX (M)	Une rangée contenant les contraintes d'excavation en direction-X pour chaque noeud
EY (M)	Une rangée contenant les contraintes d'excavation en direction-Y pour chaque noeud
EXY (M)	Une rangée contenant les contraintes de cisaillement pour chaque noeud

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
EMAX (M)	Une rangée contenant les contraintes principales majeures d'excavation pour chaque noeud
EMIN (M)	Une rangée contenant les contraintes principales mineures d'excavation pour chaque noeud
QA (M)	Une rangée contenant la direction des contraintes principales majeures pour chaque noeud, lesquelles lorsque mesurées à partir de l'axe horizontal et dans le sens des aiguilles ont une valeur positive
EXX (M)	Une rangée contenant les contraintes initiales en direction-X pour chaque noeud (le modèle étant chargé sans excavation)
EYY (M)	Une rangée contenant les contraintes initiales en direction-Y pour chaque noeud
EXXYY (M)	Une rangée contenant les contraintes initiales de cisaillement pour chaque noeud
DSPIX (M)	Une rangée contenant le déplacement initial en direction-X pour chaque noeud
DSPIY (M)	Une rangée contenant le déplacement initial en direction-Y pour chaque noeud
EDSX (M)	Une rangée contenant le déplacement d'excavation en direction-X pour chaque noeud
EDSY (M)	Une rangée contenant le déplacement d'excavation en direction-Y pour chaque noeud
SCF1 (M)	Une rangée contenant les facteurs de concentration de contraintes des contraintes principales majeures (XMAX)
SCF2 (M)	Une rangée contenant les facteurs de concentration de contraintes des contraintes mineures principales (XMIN)
SCF3 (M)	Une rangée contenant les facteurs de concentration de contraintes des contraintes principales majeures d'excavation (EXMAX)
SCF4 (M)	Une rangée contenant les facteurs de concentration de contraintes des contraintes principales mineures d'excavation (EXMIN)

## 2F-2. La préparation du maillage:

On fait usage d'un assemblage d'éléments en forme de plaques triangulaires pour représenter une structure continue. En d'autres mots, le milieu continu est remplacé par un nombre fini d'éléments en forme de plaques triangulaires. La préparation du modèle mathématique se fait comme suit:

- a) Choisir une échelle appropriée pour dessiner le maillage.
- b) Diviser l'aire qui nous intéresse en triangles; règle générale, les éléments devraient être de dimensions relativement faibles dans la zone où des concentrations de contraintes élevées sont à prévoir.
- c) Numéroté les triangles de n'importe quelle manière convenable.
- d) Numéroté les sommets des triangles ou noeuds, de n'importe quelle manière convenable; calculer les coordonnées de chaque noeud et désigner chaque noeud comme étant le i ième, le j ième et le k ième noeud de chaque élément (triangle). La séquence des i ième, j ième et k ième noeuds devrait être dans un ordre qui est à l'encontre des aiguille d'une montre comme le montre le diagramme suivant:



où N est le numéro de l'élément; I, J et K sont les i ième, j ième et k ième noeuds de l'élément N respectivement.

## 2F-3. Données d'entrée:

Les données d'entrée sont appelées exclusivement dans le sous-programme 'Reader' tel que le montre la compilation (D45159). L'information est répartie en données de contrôle, paramètres élémentaires, paramètres nodaux, et conditions à la bordure.

a) La carte de contrôle pour le programme:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	NOSND	Le nombre maximal de noeuds
5-8	NOELE	Le nombre maximal d'éléments (triangles)
9-12	NOBDND	Le nombre maximal de points à la bordure
13-16	MAXC	Le nombre maximal de cycles d'itération de la méthode Gauss-Seidel
17-21	BETA	Le facteur de relaxation
22-26	TOL	La limite de tolérance
27-28	NHOMO	Un indicateur avec les propriétés suivantes: NHOMO = 0 indique un matériau homogène NHOMO $\geq$ 0 indique un matériau non homogène

b) Cette carte est requise pour le cas d'un milieu homogène seulement:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-8	YY	Le module d'Young du matériau
9-15	DENS	La densité du matériau
16-21	POIS	Coefficient de Poisson du matériau

c) Les paramètres élémentaires:

1-4	N	Le numéro de l'élément
5-8	I	Le numéro du i ième noeud de l'élément
9-12	J	Le numéro du j ième noeud de l'élément
13-16	K	Le numéro du k ième noeud de l'élément
17-28	Y	Le module d'Young*
29-36	R	La densité*
37-43	FISH	Le coefficient de Poisson *

\* A laisser en blanc pour le cas d'un matériau homogène.

d) Les paramètres nodaux:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	L	Le numéro du noeud
5-17	X	La coordonnée-X pour chaque noeud
18-30	Y	La coordonnée-Y pour chaque noeud
31-40	DX	La déflexion-X
41-50	DY	La déflexion-Y
51-62	XL	Le poids vif-X
63-74	YL	Le poids vif-Y

e) Les conditions à la bordure:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	NDBC (L)	Une rangee contenant le numéro de chaque noeud à la bordure
5-6	NSTA (L)	Le type de conditions à la bordure, i.e., 0 - fixes dans les directions X et Y 1 - fixes dans la direction-X 2 - fixes dans la direction-Y

f) Les contraintes initiales: \* \*

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	J	Le numéro du noeud
5-10		Un blanc
11-22	EXX (J)	Contrainte initiale en direction-X pour chaque noeud
23-34	EYY (J)	Contrainte initiale en direction-Y pour chaque noeud
35-46	EXXYY (J)	Contrainte initiale de cisaillement pour chaque noeud

g) Les déplacements initiaux: \*\*

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	N	Le numéro du noeud
5-20		Un blanc
21-40	DSPIX (N)	Le déplacement-X initial pour chaque noeud
41-60	DSPIY (N)	Le déplacement-Y initial pour chaque noeud

\*\* Les contraintes et déplacements initiaux sont déterminés par chargement du modèle sans excavation préalable; les contraintes et déplacements qui en résultent sont ensuite employés comme conditions initiales du modèle excavé. Puis les contraintes et déplacements d'excavation peuvent être obtenus en soustrayant les contraintes et déplacements initiaux à chaque noeud des contraintes et déplacements résultants. On omettra ces données dans le cas où il n'est pas requis d'obtenir la valeur des contraintes et déplacements d'excavation.

2F-4. Les données de sortie:

Le programme écrira les en-têtes au-dessus de chaque groupe de données de sortie identifiant les valeurs. On obtiendra les données de sortie suivantes:

- a) Les paramètres élémentaires et les propriétés physiques associées à chaque élément
- b) Les conditions à la bordure
- c) Les contraintes agissant à chaque élément
- d) Les contraintes agissant à chaque noeud
- e) Les contraintes d'excavation agissant à chaque noeud
- f) Les facteurs de concentration des contraintes
- g) Les coordonnées en X et Y, le chargement en X et Y, le déplacement en X et Y et le déplacement d'excavation en X et Y pour chaque noeud

En outre, on obtient les données de sortie suivantes sur cartes selon les formats qui suivent:



a) Les contraintes agissant à chaque noeud:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	M	Le numéro du noeud
5-20		Un blanc
21-30	XMAX (M)	Les contraintes principales majeures agissant à chaque noeud
31-40	XMIN (M)	Les contraintes principales mineures agissant à chaque noeud
41-50	PA (M)	La direction des contraintes principales majeures
51-60	EXMAX (M)	Les contraintes principales majeures d'excavation
61-70	EXMIN (M)	Les contraintes principales mineures d'excavation
71-80	QA (M)	La direction des contraintes principales majeures d'excavation

b) Les facteurs de concentration des contraintes:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-6	N	Le numéro du noeud
7-18	SCF1	Le facteur de concentration des contraintes de XMAX
19-30	SCF2	Le facteur de concentration des contraintes de XMIN
31-42	SCF3	Le facteur de concentration des contraintes de EXMAX
43-54	SCF4	Le facteur de concentration des contraintes de EXMIN

c) Les déplacements d'excavation:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	M	Le numéro du noeud
5-20		Un blanc
21-50	EDSX (M)	Le déplacement d'excavation en direction-X
51-80	EMSY (M)	Le déplacement d'excavation en direction - Y

Les cartes de données de sortie seront aussi requises pour d'autres programmes en vue de l'obtention des tracés de la direction et de la grandeur des contraintes principales, des déplacements d'excavation, et des facteurs de concentration de contraintes numériques. Ces programmes supplémentaires seront discutés ultérieurement.

2F-5. Le message d'erreur incorporé au programme:

Instruction 9 - Le sous-programme DLOAD - Cette instruction fonctionne si une des zones est non-positive. Le numéro de l'élément s'imprime, puis il y a arrêt du programme. Cette erreur pourrait être imputée à une séquence erronée des i<sup>ème</sup>, j<sup>ème</sup> et k<sup>ème</sup> noeuds ou bien à une coordonnée nodale erronée.

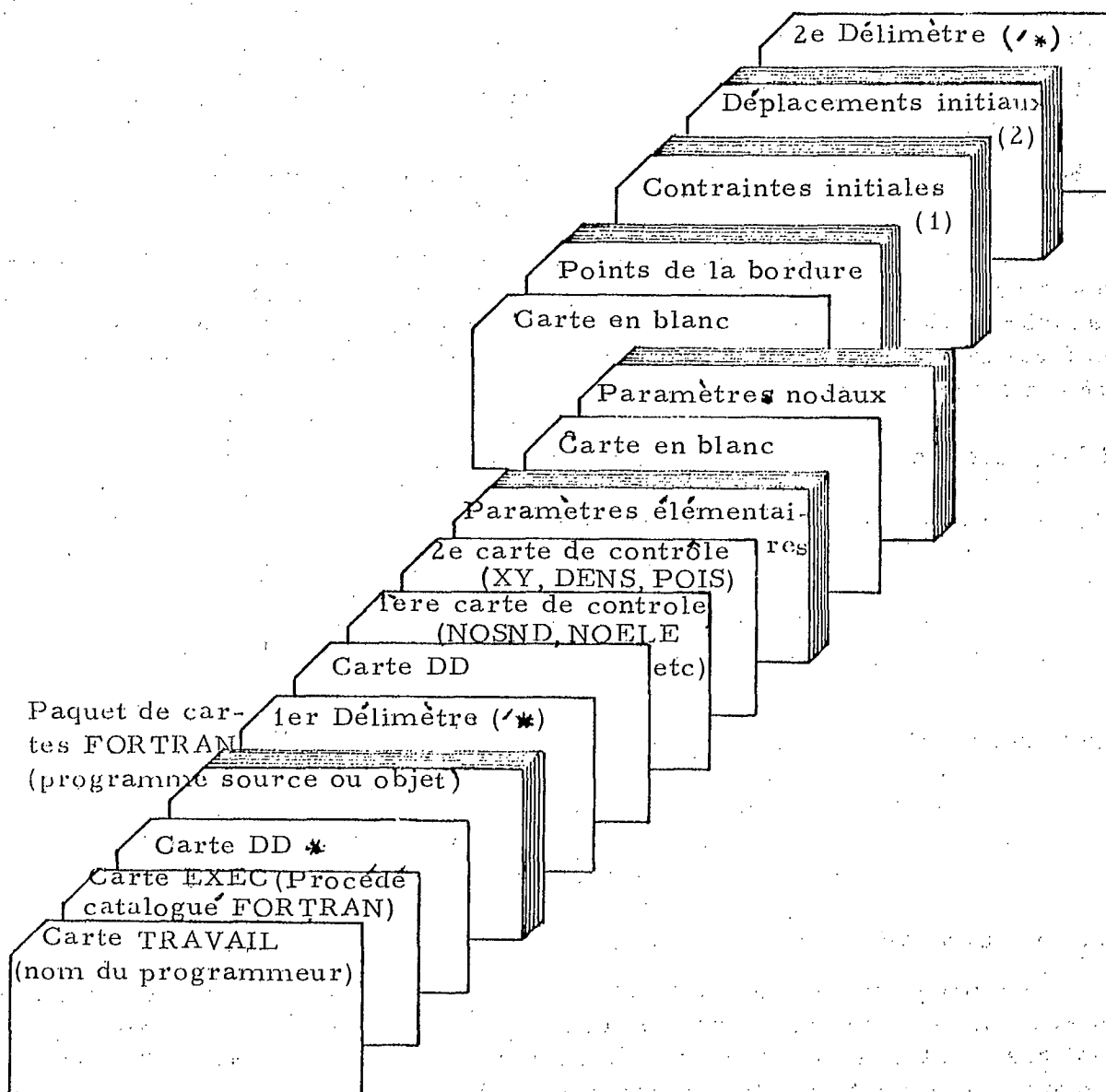
Instruction 777 - Le sous-programme STIFF - Le fonctionnement de cette instruction a lieu lorsque les noeuds adjacents d'un noeud particulier excèdent la limite maximale de 8. Le programme imprime un des nombres élémentaires associés à ce noeud, puis s'arrête.

2F-6. Limitation du programme:

Ce programme a la capacité de simuler les distributions de contraintes autour d'excavations minières aux formes irrégulières typiques; cependant, il est restreint à des conditions de déformation plane, bi-dimensionnelle. Le programme peut prendre en compte les propriétés mécaniques actuelles et non-homogènes du massif rocheux. La simulation tient aussi compte de la possibilité que les contraintes soient produites, soit par la gravité ou les forces de la tectonique, ou par les deux ensemble.

## 2F-7. L'assemblage du paquet de cartes:

L'ordre du paquet de cartes apparaît comme suit:



Les cartes (1) et (2) sont omises lorsque les contraintes et déplacements d'excavation ne sont pas requis.

La compilation FORTRAN du programme D45149 apparaît dans Appendice A.

### 3F. UN PROGRAMME SUR ORDINATEUR POUR LA VÉRIFICATION PAR TRAÇAGE DES DONNÉES D'ENTRÉE

Habituellement, l'analyse de la méthode des éléments finis implique un volume considérable de données d'entrée, telles que les coordonnées en X et Y des points nodaux ainsi que les paramètres élémentaires de chaque élément de forme triangulaire d'un grand maillage.

Comme nous nous sommes rendus compte que des méthodes visant à la détection d'erreurs dans ces deux sources majeures de données d'entrée seraient très désirables, des programmes sur ordinateur furent mis au point, et depuis modifiés, afin de fournir un moyen nous permettant d'être capable de détecter les erreurs rapidement et avec précision par l'examen d'un maillage tracé automatiquement. Ce maillage, pourvu que les données d'entrée soient correctes, devrait avoir la même échelle et le même agencement que ceux du maillage original. De plus, ce programme a aussi la capacité d'éliminer toute zone d'éléments non-positifs antérieurement à un essai sur le calculateur.

Ce programme a été rédigé pour l'ordinateur CDC 1300 et le traceur Calcomp 563. Le programme engendre des codes qui sont inscrits automatiquement sur ruban magnétique; pour commander le traceur Calcomp, il s'agit de rebobiner le ruban en le faisant passer par le Tape Transport Calcomp 750.

#### 3F-1. Description succincte des sous-programmes du traceur Calcomp:

La programmation pour le traceur Calcomp 563 se fait aussi en langage FORTRAN IV avec une série de sous-programmes (9).

##### 3F-1-1. Appels FORTRAN pour l'initialisation:

Au début de chaque tracé, les axes doivent être déterminés par l'emploi de la fonction AXISXY. L'appel peut prendre soit l'un ou l'autre des formats suivants:

```
IF  AXISXY (LUN, LX, LY, XTIC, XLNG, YLNG, XMIN, YMIN, XORG,  
                                                    YORG, YTIC, N)n1, n2
```

- ou -

```
CALL AXISXY (LUN, LX, LY, XTIC, XLNG, YLNG, XMIN, YMIN,  
                                                    XORG, YORG, YTIC, N)
```

Dans l'instruction IF, l'on choisit le branchement vers  $n_1$  si tous les paramètres sont légaux ou le branchement  $n_2$  si quelques paramètres sont illégaux.

Dans ces deux formats, LUN est le numéro de l'unité logique en mode entier (01), LX la longueur de l'axe-X en pouces (réelles), et LY la longueur de l'axe-Y en pouces (réelles). XTIC est l'intervalle entre les marques sur l'axe-X, XLNG est la longueur de l'axe-X, YLNG la longueur de l'axe-Y, X MIN le point initial de l'axe-X, YMIN le point initial de l'axe-Y, XORG l'origine de l'axe-X, YORG l'origine de l'axe Y, et YTIC l'intervalle entre les marques sur l'axe-Y. Toutes ces termes sont en unités réelles ou logiques. N est le nombre de marques entre les lignes du grillage en mode entier et ceci est facultatif.

3F-1-2. L'appel FORTRAN pour le déplacement de la plume:

Le CALL PLOTXY (X, Y, IPOS, IMARK), où X et Y sont les nouvelles positions de la plume en unités réelles, IPOS est la position de la plume en mouvement (0-haut, 1-bas), et IMARK est la marque de donnée, si marque il y a, une fois la plume mise en position. Les valeurs de 1 à 32 engendrent des marques; toutes autres sont ignorées. Par exemple, 0 n'engendre pas de marque et 11 est un X à l'intérieur d'une boîte, au milieu de laquelle se trouvent les données.

3F-1-3. Le traçage des caractères:

Trois étapes sont requises pour le traçage des caractères:

- (a) Employer PLOTXY pour placer la plume à la position de démarrage de l'étiquette.
- (b) Employer la caractéristique FORTRAN ENCODE pour la transmission des données alphanumériques formatées à une rangée entière.
- (c) Exécuter l'instruction CALL suivante:

CALL LABEL (INUN, ISIZ, IDIR, KARAY (J)), où INUN est le nombre entier de caractères à être tracés; ISIZ, la grandeur entière des caractères à être tracés, où la grandeur actuelle égale 1/12 fois ISIZ en pouces et la valeur maximale de ISIZ est 10; IDIR est la direction des lignes de caractère (0 = + X, 1 = - Y, 2 = - X, 3 = + Y), et KARAY est le mot de départ des données alphanumériques à être tracées.

### 3F-1-4. La terminaison d'un tracé:

Pour la libération de la mémoire des tracés internes, qui est nécessaire lorsque les tracés s'effectuent sur ruban magnétique, on doit faire une entrée finale dans les programmes; l'appel FORTRAN est:

CALL ENDPLOT (LUN) où LUN est le nombre de l'unité  
logique (01)

### 3F-2. Les données d'entrée:

Les données d'entrée sont divisées en données de contrôle, en paramètres nodaux, et en paramètres élémentaires. Présentement, les deux dernières parties des données sont les mêmes données d'entrée pour ce qui a trait au programme des éléments finis tel que décrit dans la section 2-2-2; mais une partie de l'information, telle la densité, le module de Young, etc., si c'est le cas, n'est pas requise au programme.

#### 3F-2-1. La 1<sup>ère</sup> carte de contrôle:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-7	XTIC	L'intervalle entre les marques sur l'axe-X en unités logiques
8-14	XLNG	La longueur de l'axe-X en unités logiques; XLNG = 4000.0 signifie que la grandeur actuelle du traçage sera: 1 pouce = 4000.0 unités
15-21	YLNG	La longueur de l'axe-Y en unités logiques; la même que ci-haut

#### 3F-2-2. La 2<sup>ème</sup> carte de contrôle:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	NOELE	Le nombre maximal d'éléments
5-8	NOSND	Le nombre maximal de noeuds

#### 3F-2-3. Les paramètres nodaux:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	N	Le numéro du noeud
5-17	XX	La coordonnée-X pour chaque noeud
18-30	YY	La coordonnée-Y pour chaque noeud

3F-2-4. Les paramètres élémentaires:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	N	Le numéro de l'élément
5-8	I	Le numéro du i ième noeud de l'élément
9-12	J	Le numéro du j ième noeud de l'élément
13-14	K	Le numéro du k ième noeud de l'élément

3F-3. Les définitions supplémentaires des variables:

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
NOELE	Le nombre maximal d'éléments
NOSND	Le nombre maximal de noeuds
XORD (M)	Une rangée contenant la coordonnée-X de chaque noeud
YORD (M)	Une rangée contenant la coordonnée-Y de chaque noeud
NDI (N)	Une rangée contenant le i ième noeud de chaque élément
NDJ (N)	Une rangée contenant le j ième noeud de chaque élément
NDK (N)	Une rangée contenant le k ième noeud de chaque élément
DX (4)	Une rangée contenant les coordonnées-X de l'élément courant à être tracé
DY (4)	Une rangée contenant les coordonnées-Y de l'élément courant à être tracé
DXX (12)	Une rangée contenant les coordonnées-X qui sont utilisées pour le calcul du centre de chaque élément (approximativement)
DYY (12)	Une rangée contenant les coordonnées-Y qui sont utilisées pour le calcul du centre de chaque élément
N	Le numéro du noeud
XX	La coordonnée-X
CNT	Le compteur

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
Error	Un indicateur; lorsqu'il y a des éléments manquants et des aires non positives, le programme s'arrête avant l'appel des sous-programmes de traçage
AREA	L'aire de chaque triangle

3F-4. Les données de sortie:

Les données de sortie du programme consistent en un traçage à une échelle telle qu'elle sera égale à celle du maillage original pourvu que toutes les données d'entrée soient correctes. On trace en direction horizontale le numéro d'un point nodal et en direction verticale le numéro d'un élément et approximativement situé au centre de chaque triangle (élément). Dans la Figure 1, le maillage représentant une exploitation à ciel ouvert a été tracé par ce programme-ci.

3F-5. Message d'erreur incorporé au programme:

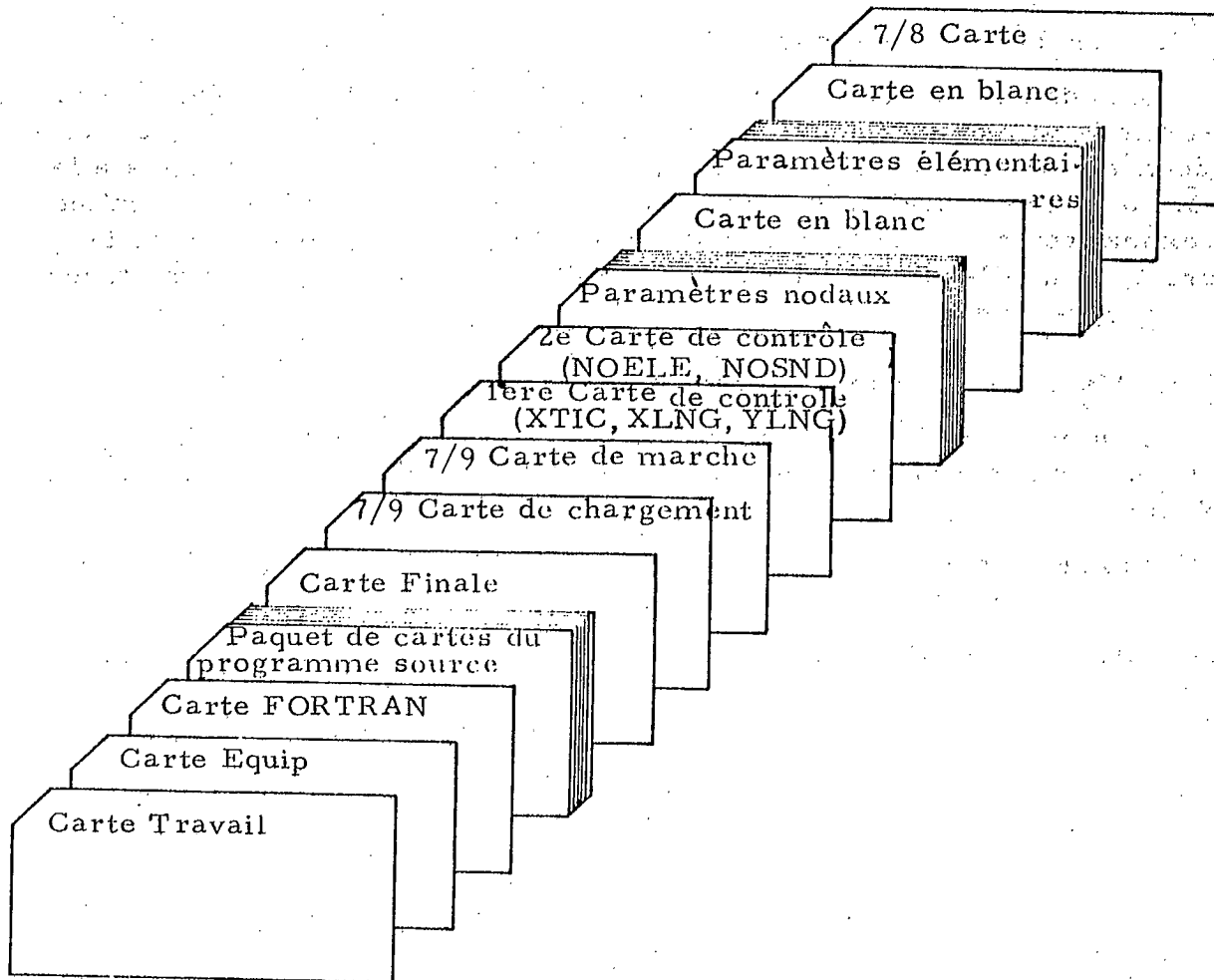
Les messages suivants pourraient être captés dans le cas où il y aurait des éléments manquants et des aires non positives parmi ces données d'entrée:

Instruction 5 - MAIN	Le numéro manquant d'un élément serait imprimé
Instruction 9 - Sous-programme DLOAD	Une liste des numéros d'éléments ainsi que des i ième et k ième noeuds correspondants sera imprimée s'ils sont dans une séquence erronée



3F-6. Assemblément du paquet de cartes:

L'ordre des paquets de cartes au complet est démontré plus bas:



La compilation FORTRAN du programme D44007 est démontrée dans Appendice B. La Figure 1 montre le maillage qui a été tracé par ce programme-ci.

#### 4F. UN GROUPE DE PROGRAMMES DE TRACÉS POUR L'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE SORTIE

L'interprétation des résultats de l'analyse des éléments finis prend beaucoup de temps lorsque les tracés de contraintes et déformations sont requis. Pour simplifier cette opération, on a mis au point un programme en vue de tracer ces valeurs automatiquement par l'emploi du traceur Calcomp. L'usage de ce programme nous a permis d'épargner beaucoup de temps et d'éliminer les erreurs qui normalement se glissent lors de tracés manuels.

Les programmes ont aussi été écrits pour l'ordinateur CDC 3100 et le traceur Calcomp 563. Les sous-programmes Appel pour tracés ont été décrits par le détail à la section précédente.

4F-1. Un programme pour le tracé de la direction et de la grandeur des contraintes principales:

4F-1-1. Les données d'entrée:

Les données d'entrée sont divisées en données de contrôle, paramètres nodaux, et contraintes nodales.

4F-1-1-1. Les données de contrôle:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	NOSND	Le nombre maximal de nodes
5-8	TEST	Une caractéristique du type de tracé à être exécuté avec les propriétés suivantes: TEST = 0, les contraintes seront tracées à tous les noeuds; TEST = "-" ou "+", les contraintes seront tracées le long d'une section verticale ou horizontale respectivement
9-12	NPLOT	Une autre caractéristique du type de tracé à être exécuté avec les propriétés suivantes: NPLOT = 2, le traceur tracera la grandeur et la direction des contraintes principales. NPLOT = 1, le traceur tracera la grandeur et la direction des contraintes principales et imprimera leur valeurs numériques.

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
		NPLOT = 0, le traceur tracera les contraintes principales résultantes et les contraintes principales d'excavation sur deux tracages séparés et imprimera leurs valeurs numériques.
13-20	XTIC	L'intervalle entre les marques sur l'axe-X en unités logiques.
21-28	XLNG	La longueur de l'axe-X en unités logiques
29-36	YLNG	La longueur de l'axe-Y en unités logiques
37-44	SCALE	L'échelle de contraintes à être tracée, i. e., 1 cm = 100 ksc ou psi; ou 1 pouce = 100 ksc ou psi, selon des données d'entrée.
45-52	UNIT	Un facteur pour régler l'échelle de contraintes, l'unité = 2.54, lorsque les coordonnées d'entrée sont en centimètres; tout autres valeurs peuvent être employées lorsque les coordonnées d'entrée sont en pouces.
53-60	DIST	Une distance mesurée à partir de l'origine du maillage qui caractérise la section verticale le long de laquelle les contraintes seront tracées. Lorsque TEST = 0, DIST peut être un nombre quelconque.
61-68	HEIGHT	Une distance mesurée à partir de l'origine du maillage, qui caractérise la section horizontale le long de laquelle les contraintes seront tracées. Lorsque TEST = 0, HEIGHT peut être un nombre quelconque.

4F-1-1-2. Les paramètres nodaux:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	M	Le numéro du noeud
5-17	X	Les coordonnées-X de chaque noeud
18-30	Y	Les coordonnées-Y de chaque noeud

4F-1-1-3. Les contraintes nodales:

Ces cartes renfermant les données requises au sujet des contraintes sont obtenues du programme principal selon le format suivant:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	N	Le numéro du noeud
5-20		Un blanc
21-30	XMAX)	Les contraintes principales majeures et mineures (qui résultent des contraintes en terrain vierge et excavé)
31-40	XMIN )	
41-50	PA	La direction des contraintes principales majeures
51-60	EXMAX)	Les contraintes principales majeures et mineures (contraintes d'excavation)
61-70	EXMIN )	
71-80	QA	La direction des contraintes principales majeures

4F-1-2. Définitions supplémentaires des variables:

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
XORD (M)	Une rangée contenant la coordonnée-X pour chaque noeud
YORD (M)	Une rangée contenant la coordonnée-Y pour chaque noeud
SF1	Un facteur utilisé pour l'obtention d'une échelle appropriée dans le cas des contraintes principales majeures
SF2	Un facteur utilisé pour l'obtention d'une échelle appropriée dans le cas des contraintes principales mineures; en général SF1 = SF2
BAR	Un facteur utilisé pour le traçage d'une barre à la fin d'un vecteur représentant la compression
ANGLE	La direction de la contrainte principale majeure en radians

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
NUM	Sous-programme pour le traçage des valeurs numériques
K (20)	L'adresse du mot initial des données alphanumériques à être tracées
Xmn (m = 1, 4, n = 1, 2))	Les coordonnées X et Y à la fin de chaque vecteur, dont les calculs sont nécessaires avant de tracer ce vecteur (référence à la Figure 3)
Ymn (m = 1, 4, n = 1, 2))	

4F-1-3. La convention en ce qui concerne les angles:

Les angles sont en degrés, et emmagasinés dans PA (I) et QA (I) respectivement pour le cas des contraintes principales résultantes et d'excavation. Le signe conventionnel tel qu'adopté au programme principal des éléments finis est qu'un angle positif représente une rotation dans le sens des aiguilles d'une horloge à partir de l'horizontal en regard de la contrainte, comme le montre la Figure 2.

Conséquemment, pour utiliser ces valeurs en calcul ordinaire, il est nécessaire de changer en radians l'angle qui est en degrés. Ceci est réalisé au programme D44011 au moyen des instructions suivantes:

```

                                PI = 3.14159/180.0
                                .....
44      DO 300 I = 1, NOSND
                                .....
88      ANGLE = ABSF (PA (I)) PI
                                .....
300     CONTINUE

```

4F-1-4. Le traçage des contraintes principales:

On trace les vecteurs par le calcul des coordonnées à la fin du vecteur tel que démontré dans la Figure 3. Le signe conventionnel pour le cas des contraintes est le même que pour celui adopté au programme principal, i.e., les contraintes de traction étant positives et celles de compression, négatives. On distingue les contraintes de compression de celles de traction par le traçage des barres à la fin des vecteurs comme le montre la Figure 3.

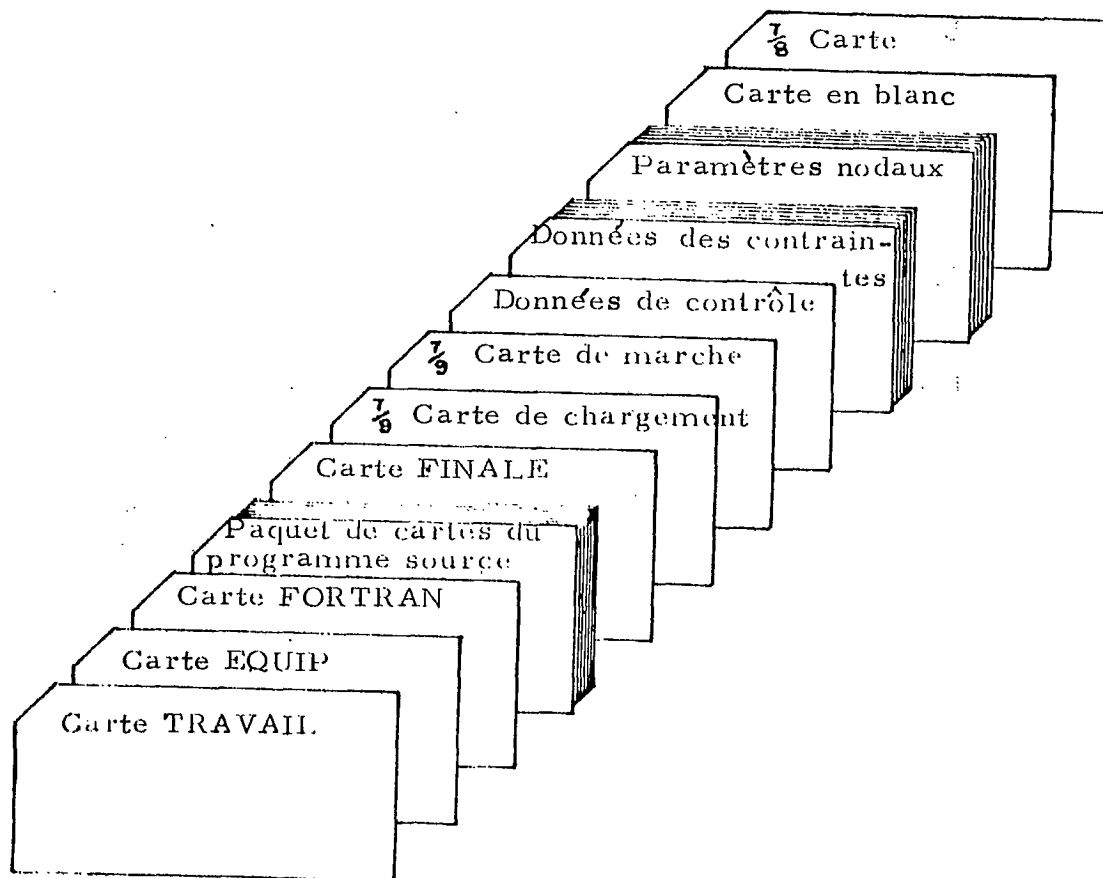
4F-1-5. La souplesse d'emploi du programme:

A l'aide de ce programme, il est possible de choisir plusieurs options permettant le traçage des contraintes principales. Une contrainte principale peut être tracée soit à tous les noeuds ou soit à ceux situés le long d'une section verticale ou horizontale. Ceci s'effectue par l'affectation de différentes valeurs aux données de contrôle, TEST, NPLOT, DIST et HEIGHT, tel que décrit à la Section 4F-1-1.

Ce programme a été mis au point principalement en vue du traçage des contraintes principales résultantes et d'excavation sur deux tracés séparés et sur la même feuille de papier. Cependant, avec quelques modifications mineures apportées au programme, on peut s'en servir pour le traçage des distributions des contraintes dans quelque structure bi-dimensionnelle que ce soit.

4F-1-6. L'assemblage du paquet de cartes:

L'ordre du paquet de cartes au complet apparaît ci-après:



La compilation FORTRAN du programme D44011 apparaît dans Appendice C. La Figure 5 est un exemple des traçages vectoriels obtenus du programme.

#### 4F-2. Un programme pour le traçage des déplacements:

Le traçage des déplacements aux points nodaux est relativement simple en comparaison de celui des contraintes principales et il est très utile de posséder une image des types de déplacements créés en raison des travaux d'excavation d'une exploitation minière. Les déplacements sont des vecteurs correspondants à la coordonnée de chaque noeud du maillage.

##### 4F-2-1. Les données d'entrée:

Les données d'entrée pour le traçage des déplacements se divisent en trois groupes: les données de contrôle, les paramètres nodaux (coordonnées), et les déplacements nodaux.

##### 4F-2-1-1. Les données de contrôle:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	NOSND	Le nombre maximal de noeuds
5-12	XTIC	L'intervalle des marques sur l'axe-X en unités logiques
13-20	XLNG	La longueur de l'axe-X en unités logiques
21-28	YLNG	La longueur de l'axe-Y en unités logiques
29-36	SCALE	L'échelle des déplacements
37-44	UNIT	Un facteur pour régler l'échelle de déplacement; UNIT = 2.54, lorsque les coordonnées d'entrée sont en centimètres; toute autre valeur peut être employée lorsque les coordonnées sont en pouces

#### 4F-2-1-2. Les déplacements nodaux:

Ces données sont une partie des données de sortie sur cartes obtenues au programme principal des éléments finis. Elles contiennent les renseignements suivants:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	M	Le numéro du noeud
5-20		Un blanc
21-50	DSPX	Le déplacement d'excavation en direction-X
51-80	DSPY	Le déplacement d'excavation en direction-Y

#### 4F-2-1-3. Les paramètres nodaux:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	N	Le numéro du noeud
5-17	XX	La coordonnée-X pour chaque noeud
18-30	YY	La coordonnée-Y pour chaque noeud

#### 4F-2-2. Les définitions supplémentaires des variables:

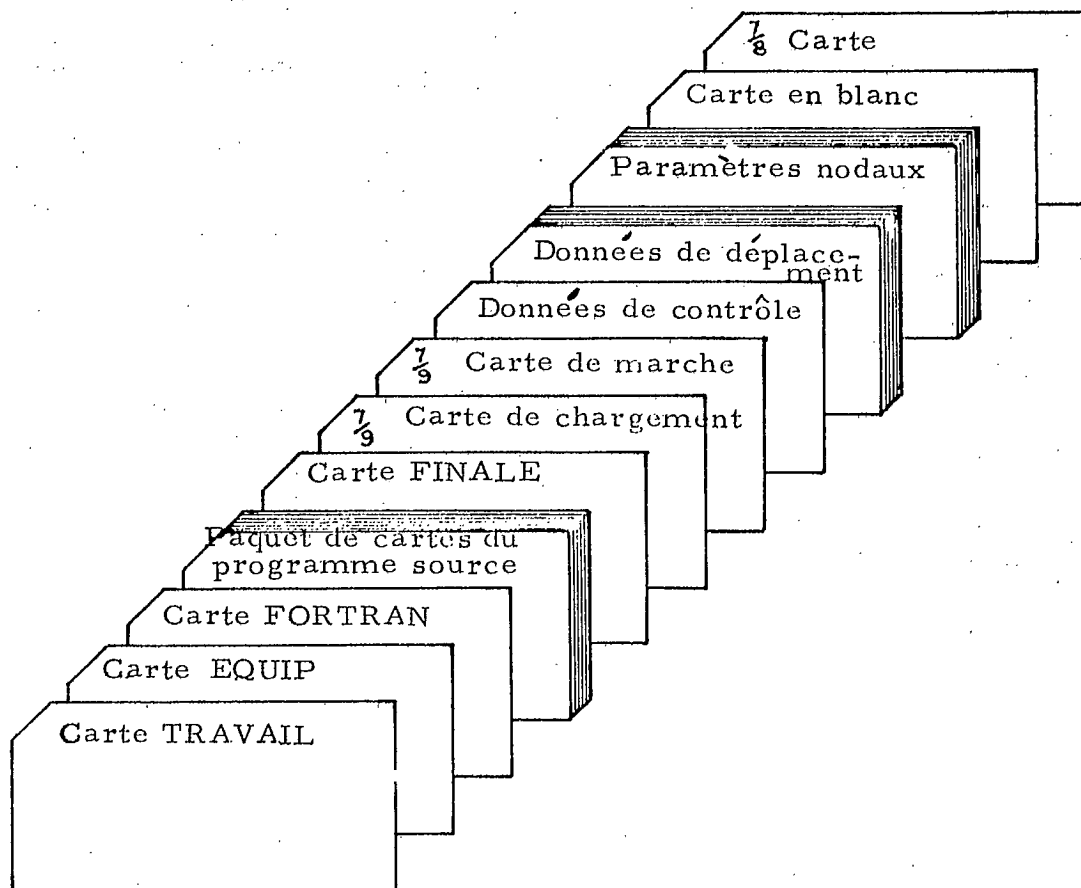
<u>Variables</u>	<u>Description</u>
XORD (M)	Une rangée contenant la coordonnée-X pour chaque noeud
YORD (M)	Une rangée contenant la coordonnée-Y pour chaque noeud
SC	Un facteur utilisé pour l'obtention d'une échelle appropriée pour le traçage des déplacements

#### 4F-2-3. Le traçage des déplacements:

Les déplacements sont tracés par le calcul des coordonnées à la fin des vecteurs tel que le montre la Figure 4.



4F-2-4. L'assemblage du paquet de cartes;



La compilation FORTRAN du programme D44005 apparaît dans Appendice D. La Figure 6 montre les déplacements d'excavation tracés par ce programme pour le cas du modèle mathématique d'une exploitation à ciel ouvert.

#### 4F-3. Les tracés numériques:

Les tracés numériques sont conçus pour présenter les données sous formes de graphiques en termes de contraintes actuelles ou concentrations de contraintes aux points nodaux où les contraintes sont agissantes. On trace deux valeurs au même point: les contraintes principales majeures ou leur facteurs de concentration sont tracés le long de lignes verticales; les contraintes principales mineures ou leurs facteurs de concentration, le long de lignes horizontales.

Dans certains cas, les contraintes principales ou leurs facteurs de concentration, à certains des noeuds, n'ont point été tracés; on réalise cela par la substitution aux données d'entrée de cartes contenant seulement le numéro nodal. Ceci est désirable dans le cas où les éléments sont de petites grandeurs.

##### 4F-3-1. Les données d'entrée:

Les données d'entrée sont aussi divisées en trois groupes; ce sont les données de contrôle, les paramètres nodaux (coordonnées), et les cartes contenant les facteurs de concentration des contraintes. Ce dernier groupe comprend une partie des données de sortie sur cartes obtenue au programme principal des éléments finis.

##### 4F-3-1-1. Les données de contrôle:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	NOSND	Le nombre maximal de noeuds
5-8	NPLOT	Un indicateur pour régler le nombre de graphiques, ayant les propriétés suivantes: NPLOT = 1, deux graphiques séparés seront exécutés; NPLOT = 2, un graphique seulement sera exécuté.
9-16	XTIC	L'intervalle entre les marques sur l'axe-X en unités logiques
17-24	XLNG	La longueur de l'axe-X en unités logiques
25-32	YLNG	La longueur de l'axe-Y en unités logiques

4F-3-1-2. Les paramètres nodaux:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	N	Le numéro du noeud
5-17	XX	La coordonnée-X pour chaque noeud
18-30	YY	La coordonnée-Y pour chaque noeud

4F-3-1-3. Les concentrations des contraintes:

<u>Col.</u>	<u>Symbole</u>	<u>Sémantique</u>
1-4	M	Le numéro du noeud
5-20		Un blanc
21-35	SCF1	La concentration de contraintes de la contrainte principale majeure
36-50	SCF2	La concentration de contraintes de la contrainte principale mineure
51-65	SCF3	La concentration de contraintes de la contrainte principale majeure d'excavation
66-80	SCF4	La concentration de contrainte de la contrainte principale mineure d'excavation

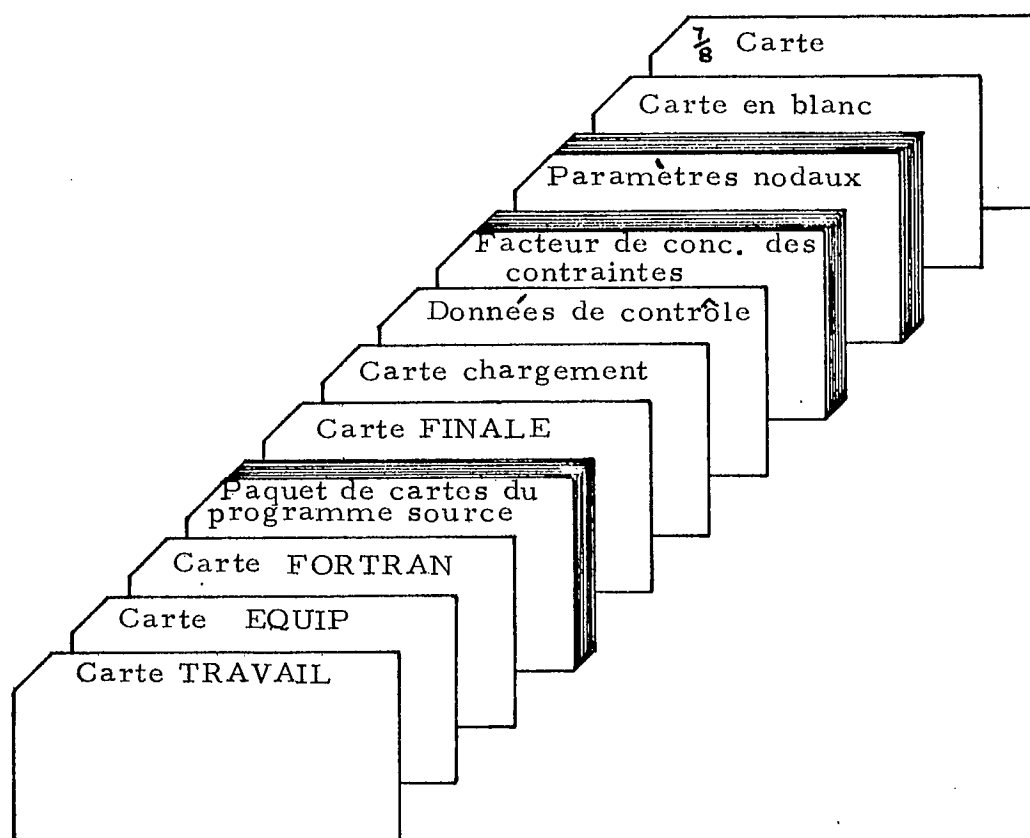
4F-3-2. Les définitions supplémentaires de variables:

<u>Variables</u>	<u>Description</u>
XORD (N)	Une rangée contenant les coordonnées-X de chaque noeud
YORD (N)	Une rangée contenant les coordonnées-Y de chaque noeud
K (20)	Une adresse du mot initial des données alphanumériques à être tracées

4F-3-3. La souplesse d'emploi du programme:

Ce programme à été mis au point principalement en vue du traçage des facteurs de concentration des contraintes dans le cas des contraintes principales résultantes et d'excavation sur deux graphiques séparés et sur la même feuille de papier. Cependant, si le second graphique n'est pas requis, l'on change la donnée de contrôle NPLOT de 1 à 2.

4F-3-4. L'assemblage du paquet de cartes:



La compilation FORTRAN du programme D44012 est dans Appendice E. La Figure 7 montre les tracés numériques.

## 5F. COMMENTAIRES

Le programme des éléments finis a été utilisé avec succès dans l'analyse de problèmes de répartition des contraintes liés à différentes formes d'exploitations minières. On peut aussi l'employer pour la détermination des contraintes et déflexions dans tout problème, complètement arbitraire en matière de contrainte plane ou déformation plane, associé au génie en général.

Le groupe de programmes de traçages qui est utilisé pour l'interprétation des données de sortie de l'analyse des éléments finis peut facilement s'intégrer au programme principal. Cependant, les auteurs croient qu'il est préférable de garder ces programmes automatiques supplémentaires indépendants du programme principal de manière à ce que l'on obtienne, lorsque désiré, un programme de traçages plus flexible et plus sélectif.

## 6. REFERENCES - RÉFÉRENCES

1. Wilson, E.L., "Finite Element Analysis of Two-Dimensional Structures", Report No. 63-2, Department of Civil Engineering, University of California, 1963.
2. Waranica, K., and Coates, D.F., "A Computer Program for Simulating the Stress Distribution Around Irregular Mining Openings in Non-homogeneous Ground Subjected to Gravitational and Tectonic Stress Forces", Internal Report 67/36-MRL, Mines Branch, Canada Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1967.
3. Yu, Y.S., and Coates, D.F., "The Testing of a Finite Element Computer Program for Stress Analysis", Internal Report MR 68/2-LD, Mines Branch, Ottawa, 1968.
4. Yu, Y.S., Gyenge, M., and Coates, D.F., "Comparison of Stress and Displacement in a Gravity-Loaded 60° Slope by Photoelasticity and Finite Element Analysis", Internal Report MR 68/24-ID, Mines Branch, Ottawa, 1968.
5. Coates, D.F., "Deformation of Pillars in Inclined Workings", Internal Report MR 68/64-LD, Mines Branch, Ottawa, 1968.
6. Yu, Y.S., and Coates, D.F., "The Influence of  $S_h/S_v$  (Ratio of Horizontal Stress to the Vertical Stress) on the Stability of a 60° Slope", Internal Report MR 68/61-ID, Mines Branch, Ottawa, 1968.

7. Yu, Y.S., "A Modified Computer Program for Checking Input Data by Plotting for the Finite Element Method of Stress Analysis", Internal Report MR 68/15-LD, Mines Branch, Ottawa, 1968.
8. Yu, Y.S., and Coates, D.F., "Computer Programs for Plotting Principal Stresses and Displacements", Internal Report MR 68/54-ID, Mines Branch, Ottawa, 1968.
9. Information Circular No. 66-7, dated August 29, 1966, of the Computer Science Division, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.

- - -

## APPENDIX A

## APPENDICE A

```

C      PROGRAM D45149
C      *****
C      *PROGRAM D45149, Y.S.YU, MINES BRANCH, 30 LYDIA STREET *
C      *STRESSES IN AN OPEN PIT MINE OF A PARABOLA SHAPED SLOPE *
C      *PARABOLA NUMBER 3 *
C      *GRAVITATIONAL LOADING WITH TECTONIC STRESS *
C      *RATIO OF HORIZONTAL STRESS TO VERTICAL IS 3 *
C      *DEPTH OF THE PIT IS 300 M *
C      *****
C      *****
0001  COMMON NDI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),POISON(700),
      1RO(700),NNCDF(400),XORD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),
      2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),
      3NDADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),B(3,3),SUB(6,3),S(6,6),
      4DISP(6),STRESS(3),NOELE,NOSND,NOBDND,MAXC,BETA,NHOMO,TOL,DENS,
      5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),
      6EXMAX(700),EXMIN(700),QA(700),EX(700),EY(700),EXY(700),EXX(700),
      7EYY(700),EXYY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),EDSX(700),EDSY(700)
0002  CALL READER
0003  CALL FIRST
0004  CALL ELCAO
0005  555 CALL STIFF
0006  556 CALL HCCND
0007  CALL SOL
0008  CALL STRES
0009  CALL CONC
0010  CALL EDSP
0011  WRITE(3,102) NOSND
0012  102 FORMAT(29H NUMBER OF NODAL POINTS =114/)
0013  WRITE(3,103) NOBDND
0014  103 FORMAT(29H NUMBER OF BOUNDARY POINTS =114/)
0015  WRITE(3,106) MAXC
0016  106 FORMAT(29H CYCLE LIMIT =114/)
0017  WRITE(3,108) BETA
0018  108 FORMAT(29H OVER RELAXATION FACTOR =1F6.3)
0019  WRITE(3,110) TOL
0020  110 FORMAT(29H TOLERANCE LIMIT =1E12.4)
0021  WRITE(3,109) NHOMO
0022  109 FORMAT(29H INHOMOGENEOUS =1I2)
0023  WRITE(3,111)
0024  111 FORMAT(104H1      NP      X-ORD      Y-ORD      X-LOAD      Y-LCA
      1D      X-DISP      Y-DISP      EX-DISP      EY-DISP)
0025  WRITE(3,8)(N,XORD(N),YORD(N),XLD(N),YLD(N),DSX(N),DSY(N),EDSX(N),E
      1DSY(N),N=1,NOSND)
0026  8      FORMAT(18,4F12.2,4F12.4)
0027  777 STOP
0028  END

```

0001	C	SLBROLINE READER	R1
0002		COMMON NDI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),POISON(700),	
		1RO(700),NNODE(400),XORD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),	
		2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),	
		3ADADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),B(3,3),SUB(6,3),S(6,6),	
		4DISP(6),STRESS(3),NOELE,NOSND,NOBDND,MAXC,BETA,NHOMC,TOL,DENS,	
		5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),	
		6EXMAX(700),EXMIN(700),QA(700),EX(700),EY(700),EXY(700),EXX(700),	
		7EYY(700),EXYY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),EDSX(700),EDSY(700)	
	C		
	C	CONTROL CARD	R10
	C		
0003		READ(1,1)NOSND,NOELE,NOBDND,MAXC,BETA,TOL,NHOMO	R11
0004	1	FORMAT(4I4,2F5.1,I2)	R12
0005		WRITE(3,113)	R622
0006	113	FORMAT(42H1EL I J K E DENSITY POIS)	
0007		IF(NHOMC)2,1000,2	
0008	1000	READ(1,1001)YY,DENS,POIS	R14
0009	1001	FORMAT(F8.1,F7.4,F6.2)	
	C		
	C	TO READ IN ELEMENT PARAMETERS	R16
	C		
0010	2	READ(1,3)N,I,J,K,Y,R,FISH	
0011	3	FORMAT(4I4,F12.1,F8.4,F7.3)	R18
0012	10	IF(NHOMC)11,12,11	
0013	11	WRITE(3,3)N,I,J,K,Y,R,FISH	
0014		GO TO 13	
0015	12	WRITE(3,3)N,I,J,K,YY,DENS,POIS	
0016	13	IF(N)5,5,4	
0017	4	NDI(N)=I	R20
0018		NDJ(N)=J	R21
0019		NDK(N)=K	R22
0020		IF(NHOMC)114,115,114	R23
0021	115	YG(N)=YY	R24
0022		RO(N)=DENS	R24A
0023		POISON(N)=POIS	R25
0024		GO TO 2	R26
0025	114	YG(N)=Y	R27
0026		RO(N)=R	R27A
0027		POISON(N)=FISH	R28
0028		GO TO 2	R29
	C		
	C	TO READ IN NODAL PARAMETERS	R30
	C		
0029	5	READ(1,6)I,X,Y,CX,DY,XL,YL	R31
0030	6	FORMAT(I4,2E13.6,2E10.4,2E12.2)	
0031		IF(L)117,117,7	R33



0032	7	XORD(L)=X	R34
0033		YCRD(L)=Y	R35
0034		DSX(L)=DX	R36
0035		DSY(L)=DY	R37
0036		XLD(L)=XL	R38
0037		YLD(L)=YL	R39
0038		GC TO 5	R40
	C		
	C	TO READ IN BOUNCARY CONDITIONS	R41
	C		
0039	117	READ(1,107)(NDBC(L),NSTA(L),L=1,NORDND)	
0040	107	FORMAT(I4,I2)	R64
0041		WRITE(3,112)	R60
0042	112	FORMAT (20H BOUNCARY CONDITIONS)	R61
0043		WRITE(3,107)(NDBC(L),NSTA(L),L=1,NORDND)	R63A
0044		READ(1,116)(J,EXX(J),EYY(J),EXXYY(J),J=1,NOSND)	
0045	116	FORMAT(I4,6X,3F12.6)	
0046		READ(1,119)(N,DSPIX(N),DSPIY(N),N=1,NCSAD)	
0047	119	FORMAT(I4,16X,2F20.6)	
0048		RETURN	
0049		END	R66

0001		SUBROUTINE FIRST	F1
0002		COMMON NDI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),POISON(700),	
		1RD(700),NNODE(400),XORD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),	
		2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),	
		3NDADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),B(3,3),SUB(6,3),S(6,6),	
		4DISP(6),STRESS(3),NOELE,NQSD,NQBDND,MAXC,BETA,NHOMO,TOL,DENS,	
		5XMAX(700),XMIN(700),PAI(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),	
		6EXMAX(700),EXMIN(700),QA(700),EX(700),EY(700),EXY(700),EXX(700),	
		7EYY(700),EXYY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),EDSX(700),EDSY(700)	
	C		
	C	TC INITIALIZE VALUES TO BE USED IN STIFFNESS MATRIX	F10
	C		
0003		DO 15 I=1,NQSD	F11
0004		DO 14 J=1,9	F12
0005		SXX(I,J)=0.0	F13
0006		SXY(I,J)=0.0	F14
0007		SYX(I,J)=0.0	F15
0008		SYY(I,J)=0.0	F16
0009	14	NDADJ(I,J+1)=0.0	F17
0010	15	NDADJ(I,1)=I	F18
	C		F
0011		B(1,3)=0.0	F19
0012		B(2,3)=0.0	F20
0013		B(3,1)=0.0	F21
0014		B(3,2)=0.0	F22
0015		A(1,2)=0.0	F23
0016		A(1,4)=0.0	F24
0017		A(1,6)=0.0	F25
0018		A(2,1)=0.0	F26
0019		A(2,5)=0.0	F27
0020		A(3,2)=0.0	F28
0021		A(4,1)=0.0	F29
0022		A(5,2)=0.0	F30
0023		A(6,1)=0.0	F31
0024		WRITE(3,101) NOELE	R44
0025	101	FORMAT(29HNUMBER OF ELEMENTS	R45
0026		RETURN	F32
0027		END	F33

0001		SUBROUTINE CLOAD	D2
0002		COMMON NCI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),POISON(700),	
		1RD(700),NNGDE(400),XORD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),	
		2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),	
		3NOADJ(400,10),NSTAI(100),NDRC(100),A(6,6),B(3,3),SUB(6,3),S(6,6),	
		4DISP(6),STRESS(3),NOELE,NQSD,NQBDND,MAXC,BETA,ANQPD,TOL,DENS,	
		5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),	
		6EXMAX(700),EXMIN(700),QA(700),EX(700),EY(700),EXY(700),EXX(700),	
		7EYY(700),EXYY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),FDSX(700),FDSY(700)	
	C	ADDITION OF DEAD LOADS	D11
	C	TO CALCULATE AREA	D12
0003		ITAG=0	D13
0004	8	DO 12 N=1,NOELE	D14
0005		I=NDI(N)	D15
0006		J=NDJ(N)	D16
0007	876	K=NDK(N)	D17
0008		AREA=((XCRD(J)-XCRD(I))*(YORD(K)-YORD(I))-(XORD(K)-XORD(I))*	D18
		1(YORD(J)-YORD(I)))*0.5	
	C		
	C	TO TEST IF AREA IS POSITIVE	D20
	C		
0009		IF(ARFA)9,9,11	D21
0010	9	WRITE(3,10)N	D22
0011	10	FORMAT(6H AREA 14,12H NONPOSITIVE)	D23
0012		ITAG=1	D24
	C		
	C	TO ASSIGN ONE THIRD OF DEAD LOAD AT EACH NODE OF TRIANGLE	D25
	C		
0013	11	DEDL=RO(N)*AREA/3.	D26
0014		YLD(I)=YLD(I)-DEDL	D27
0015		YLD(J)=YLD(J)-DEDL	D28
0016	12	YLD(K)=YLD(K)-DEDL	D29
0017		IF(ITAG)14,14,13	D30
0018	13	CALL EXIT	D31
0019	14	RETURN	D32
0020		END	D33

```

C
0001      SUBROUTINE STIFF
0002      COMMON NDI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),POISSON(700),
1RD(700),VNUDE(400),XORD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),
2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),
3NDADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),B(3,3),SUB(6,3),S(6,6),
4DISP(6),STRESS(3),NOELE,NOSND,NORDND,MAXC,BETA,ANOMC,TOL,DFNS,
5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),
6FXMAX(700),FXMIN(700),QA(700),EX(700),EY(700),EXY(700),EXX(700),
7EYY(700),EXXY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),FDSX(700),EDSY(700)
C      START OF FORMATION STIFFNESS MATRIX
C      TC FORM MATRIX FOR STRESS-STRAIN RELATIONS FOR INHOMOGENEOUS MEDIUM
C
0003      CC 35 M=1,NOELE
0004      CONS=YG(M)/(1.+POISSON(M))*(1.-2.*POISSON(M))
0005      B(1,1)=1.-POISSON(M)
0006      B(2,2)=B(1,1)
0007      B(1,2)=POISSON(M)
0008      B(2,1)=B(1,2)
0009      B(3,3)=.5-POISSON(M)
C
C      MATRIX FROM TRIANGLE DIMENSIONS
C
0010      I=NDI(M)
0011      J=NDJ(M)
0012      K=NDK(M)
C
C      MATRIX FROM TRIANGLE DIMENSIONS
0013      A(1,1)=YCRD(J)-YCRD(K)
0014      A(3,1)=YGRD(K)-YORD(I)
0015      A(5,1)=YGRD(I)-YORD(J)
0016      A(2,2)=XORD(K)-XORD(J)
0017      A(4,2)=-XORD(K)+XORD(I)
0018      A(6,2)=XORD(J)-XGRD(I)
0019      A(1,3)=XGRD(K)-XORD(J)
0020      A(2,3)=YORD(J)-YGRD(K)
0021      A(3,3)=XGRD(I)-XORD(K)
0022      A(4,3)=YGRD(K)-YORD(I)
0023      A(5,3)=XGRD(J)-XCRD(I)
0024      A(6,3)=YORD(I)-YORD(J)
C
C      TO FORM PRODUCT OF TWO MATRICES, I.E. AXB
C
0025      SECINV=(XORD(J)-XORD(I))*(YORD(K)-YORD(I))-(XGRD(K)-XORD(I))*
1(YORD(J)-YCRD(I))
0026      SECONS=.5*CONS/SECINV
0027      DO 17 I=1,6
0028      DO 17 J=1,3

```

S1

S10

S11

S12

S13

S14

S15

S16

S17

S18

S19

S20

S21

S22

S23

S25

S26

S28

S29

S32

S33

S34

S35

S36

S37

S39

S40

S41

0029		SUB(I,J)=0.0	S42
0030		DO 17 K=1,3	S43
0031	17	SUB(I,J)=SUB(I,J)+SECONS*A(I,K)*B(K,J)	S44
	C		
	C	TC FORM STIFFNESS ARRAY AXBXC FOR EACH ELEMENT WHERE C IS TRANSPCE OF A	
	C		
0032		DO 18 I=1,6	S46
0033		DO 18 J=1,6	S47
0034		S(I,J)=0.0	S48
0035		DO 18 K=1,3	S49
0036	18	S(I,J)=S(I,J)+SUB(I,K)*A(J,K)	02V
	C		
	C	TERMS OF COMPLETE STIFFNESS MATRIX FROM STIFFNESS MATRIX FOR ELEMENT M S5	
	C		
0037		K=NDI(M)	S52
0038		L=1	S53
0039		I=1	S54
0040		J=1	S55
0041		N=1	S56
0042	19	SXX(K,L)=SXX(K,L)+S(I,2*J-1)	S57
0043		SXY(K,L)=SXY(K,L)+S(I,2*J)	S58
0044		SYX(K,L)=SYX(K,L)+S(I+1,2*J-1)	S59
0045		SYY(K,L)=SYY(K,L)+S(I+1,2*J)	S60
0046		N=N+1	S61
0047		IF(N-4)24,37,21	S62
0048	21	IF(N-6)24,24,22	S63
0049	22	IF(N-8)38,24,23	S64
0050	23	IF(N-9)24,24,39	S65
0051	24	L=1	S66
0052	25	L=L+1	S67
0053		IF(L-9)26,26,777	S68
0054	777	WRITE(3,776) M	
0055	776	FORMAT(I4)	
0056		STOP	
0057	26	GO TO (27,28,29,28,27,29,29,27,28),N	S70
0058	27	IF(NDADJ(K,L)-NDI(M))30,31,30	S71
0059	28	IF(NDADJ(K,L)-NDJ(M))30,31,30	S72
0060	29	IF(NDADJ(K,L)-NCK(M))30,31,30	S73
0061	30	IF(NDADJ(K,L))25,31,25	S74
0062	31	GO TO (34,34,35,37,33,36,38,32,34),N	S75
0063	32	NDADJ(K,L)=NDI(M)	S76
0064		J=J-2	S77
0065		GO TO 19	S78
0066	33	NDADJ(K,L)=NDI(M)	S79
0067		J=J-1	S80
0068		GO TO 19	S81
0069	34	NDADJ(K,L)=NDJ(M)	S82
0070		J=J+1	S83

0071		GO TO 19	S84
0072	35	NOADJ(K,L)=NDK(M)	S85
0073		J=J+1	S86
0074		GO TO 19	S87
0075	36	NOADJ(K,L)=NDK(M)	S88
0076		J=J+2	S89
0077		GO TO 19	S90
0078	37	K=VCJ(M)	S91
0079		L=1	S92
0080		J=2	S93
0081		I=3	S94
0082		GO TO 19	S95
0083	38	K=NDK(M)	S96
0084		I=5	S97
0085		L=1	S98
0086		GO TO 19	S99
0087	39	CONTINUE	S100
0088		RETURN	S101
0089		END	S102

0001		SUBROUTINE BCONE	B1
0002		COMMON NDI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),PCISUN(700),	
		1P(700),NNGDE(400),XOPD(400),YOPD(400),XLPD(400),YLPD(400),NA(400),	
		2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),	
		3NDADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),B(3,3),SUP(6,3),S(6,6),	
		4DISP(6),STRESS(3),NOELF,NOSND,NOROND,MAXC,BETA,MUOMP,TCL,DENS,	
		5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),	
		6EXMAX(700),EXMIN(700),QA(700),EX(700),EY(700),FXY(700),FXX(700),	
		7FYY(700),EXXY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),FDSX(700),FDSY(700)	
	C		
	C	CALCULATION OF INVERSES CORRESPONDING TO K(N,N) - THE ONLY ONES	B10
	C	REQUIRED IN THE GAUSS-SEIDEL METHOD.	B11
	C	NOTE - INVERSE OF K(N,N) REPRESENTS THE FLEXIBILITY OF NODE N.	B12
	C		
0003		DO 40 N=1,NOSND	B13
0004		DET = SXX(N,1)*SYY(N,1)-SXY(N,1)*SYX(N,1)	B14
0005		DETINV=1./DET	
0006		HOLD = SXX(N,1)	B16
0007		SXX(N,1) = SYY(N,1)*DETINV	B17
0008		SYY(N,1) = HOLD*DETINV	B18
0009		SXY(N,1) = -SXY(N,1)*DETINV	B19
0010	40	SYX(N,1) = -SYX(N,1)*DETINV	B20
	C		
	C	TO ALTER BOUNDARY FLEXIBILITIES	B21
	C		
0011		DO 50 I=1,NOROND	
	C		
	C	TO SET L EQUAL TO ACTUAL NODAL NO. WHICH IS FOUND IN NDBC(I)	B23
	C		
0012		L = NDBC(I)	B24
0013		NADADJ(L,1)=0	B25
0014		IF(NSTA(I)-1)51,52,53	B26
	C		
	C	NODAL POINT L FIXED IN BOTH X AND Y DIRECTIONS	B27
	C		
0015	51	SXX(L,1) = 0.0	B28
0016		SYY(L,1) = 0.0	B29
0017		GO TO 54	B30
	C		
	C	NODAL POINT L FIXED IN X DIRECTION ONLY	B31
	C		
0018	52	SYY(L,1) = SYY(L,1)-SXY(L,1)*SYX(L,1)/SXX(L,1)	B32
0019		SXX(L,1) = 0.0	B33
0020		GO TO 54	B34
	C		
	C	NODAL POINT FIXED IN Y DIRECTION ONLY	B35
	C		

```
0021      53 SXX(L,1) = SXX(L,1)-SXY(L,1)*SYX(L,1)/SYY(L,1)
0022      SYY(L,1) = 0.0
0023      54 SXY(L,1) = 0.0
0024      SYX(L,1) = 0.0
0025      50 CONTINUE
0026      RETURN
0027      END
```

B36  
B37  
B38  
B39  
B40

B42



```

0001      SUBROUTINE SOL                                U1
0002      COMMON NDI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),POISON(700),
1RD(700),NNODE(400),XORD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),
2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),
3NDADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),B(3,3),SUB(6,3),S(6,6),
4DISP(6),STRESS(3),NUELE,NOSND,NOBND,MAXC,BETA,NHOMO,TOL,DENS,
5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),
6EXMAX(700),FXMIN(700),QA(700),FX(700),EY(700),EXY(700),EXX(700),
7EYY(700),EXXY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),EDSX(700),EDSY(700)

      C
      C      TC FIND NO OF NCCES ADJACENT TO NODE M AND RECORD THIS IN NA(M)      U10
      C
0003      DO 56 M=1,NOSND                                U11
0004      MM=2                                              U12
0005      55 MM=MM+1                                       U13
0006      IF(NDADJ(M,MM))56,56,55                        U14
0007      56 NA(M)=MM-1                                   U15

      C
      C      ITERATION PROCEDURE - GAUSS-SEIDEL METHOD                                U16
      C
0008      II=1
0009      NN=1
0010      NCYCLE = 0                                       U19
0011      59 NCYCLE = NCYCLE+1                             U20
0012      TESTOL = 0.0                                    U21
0013      DO 303 M=1,NOSND                                U22
0014      NI =NA(M)                                       U24
0015      IF(SXX(M,1)+SYY(M,1))300,303,300              U24
0016      300 FRX=XLD(M)                                  U25
0017      FRY=YLD(M)                                       U26
0018      DO 301 L=2,NI                                   U27
0019      N=NDACJ(M,L)                                    U28
0020      FRX=FRX-SXX(M,L)*DSX(N)-SXY(M,L)*DSY(N)        U29
0021      301 FRY=FRY-SYX(M,L)*DSX(N)-SYY(M,L)*DSY(N)    U30
0022      DX=SXX(M,1)*FRX+SXY(M,1)*FRY-DSX(M)            U31
0023      DY=SYX(M,1)*FRX+SYY(M,1)*FRY-DSY(M)            U32
0024      DSX(M)=DSX(M)+BETA*DX                           U33
0025      DSY(M)=DSY(M)+BETA*DY                           U34
0026      IF(NDADJ(M,1))302,303,302                     U35

      C
      C      TO COMPUTE ABSOLUTE MAGNITUDE OF UNBALANCED FORCES AT ALL NODES      U36
      C
0027      302 TESTOL=TESTOL+ABS(DX/SXX(M,1))+ABS(DY/SYY(M,1)) U37
0028      303 CONTINUE                                    U38

      C
      C      TO SEE IF TOLERANCE WITHIN GIVEN LIMITS                                U39
      C
0029      IF(TESTOL-TOL)700,700,64                      U40

```

```

0030      64  IF(NCYCLE-MAXC)66,700,700
0031      66  KTEST=NN*100
0032      IF(NCYCLE-KTEST)59,67,67
0033      67  NN=NN+1
0034      GO TO 68
0035      700  II=0
0036      GO TO 68
0037      68  WRITE(3,69)NCYCLE,TESTOL
0038      69  FORMAT(22H1RESULTS FOR CYCLE NO 14,26H WHERE FORCE UNBALANCE IS E1U49
      12.6)
      WRITE(3,75)
      79  FORMAT(95H ELEMENT      X-STRESS      Y-STRESS      XY-STRESS      MA
      1X-STRESS      MIN-STRESS      DIRECTION)
C
C      COMPTATION OF STRESSES
C
0041      IF(II)72,71,72
0042      71  MA=1
0043      MB=NOFLC
0044      GO TO 73
0045      72  MA=10
0046      MB=10
0047      73  DO 80 M=MA,MB
0048      I=NDI(M)
0049      J=NDJ(M)
0050      K=NDK(M)
0051      DISP(1)=DSX(I)
0052      DISP(2)=DSY(I)
0053      DISP(3)=DSX(J)
0054      DISP(4)=DSY(J)
0055      DISP(5)=DSX(K)
0056      DISP(6)=DSY(K)
C
C      TO FORM PRODUCT OF B AND A TRANSPOSE
C
0057      CCNS=YG(M)/((1.+POISON(M))*(1.-2.*POISON(M)))
0058      B(1,1)=1.-POISON(M)
0059      B(2,2)=B(1,1)
0060      B(1,2)=POISON(M)
0061      B(2,1)=B(1,2)
0062      B(3,3)=.5+POISON(M)
0063      SECINV=(XORD(J)-XORD(I))*(YORD(K)-YORD(I))-(XORD(K)-XORD(I))*
      1 (YORD(J)-YORD(I))
      SECCNS=CCNS/SECINV
0064      A(1,1)=YORD(J)-YORD(K)
0065      A(1,3)=YORD(K)-YORD(I)
0066      A(1,5)=YORD(I)-YORD(J)
0067

```

U50

U51

MA

U54

U62

U63

U64

U66

U67

U68

U69

U70

U71

U72

U73

U74

U75

U76

U77

U78

U79

U80

U82

U83

0068	A(2,2)=XCRD(K)-XCRD(J)	
0069	A(2,3)=C.0	U85
0070	A(2,4)=XCRD(I)-XCRD(K)	U86
0071	A(2,6)=XCRD(J)-XCRD(I)	U87
0072	A(3,1)=XCRD(K)-XCRD(J)	
0073	A(3,2)=YCRD(J)-YCRD(K)	
0074	A(3,3)=XCRD(I)-XCRD(K)	U90
0075	A(3,4)=YCRD(K)-YCRD(I)	U92
0076	A(3,5)=XCRD(J)-XCRD(I)	U93
0077	A(3,6)=YCRD(I)-YCRD(J)	U94
0078	DO 81 I=1,3	U95
0079	DO 81 J=1,6	U96
0080	S(I,J)=C.0	U97
0081	DO 81 K=1,3	U98
0082	81 S(I,J)=S(I,J)+SECONS*B(I,K)*A(K,J)	U99
0083	DO 82 K=1,3	U100
0084	STRFSS(K)=C.0	U101
0085	DO 82 L=1,6	U102
0086	82 STRFSS(K)=STRESS(K)+S(K,L)*DISP(L)	U103
0087	SIGXX(M)=STRESS(1)	
0088	SIGYY(M)=STRESS(2)	
0089	SIGXY(M)=STRESS(3)	
0090	FIRST=(STRESS(1)+STRESS(2))*0.5	U104
0091	XPR=.25*(STRESS(2)-STRESS(1))*(STRESS(2)-STRESS(1))	U105
	1 +STRESS(3)*STRESS(3)	U106
0092	SECOND=SQRT(XPR)	U107
0093	XX=FIRST+SECOND	U108
0094	XS=FIRST-SECOND	U109
0095	TA=2.*STRESS(3)/(STRESS(2)-STRESS(1))	U110
0096	DR=28.64789*ATAN(TA)	U111
0097	TEST=2.*STRESS(1)-XX-XS	U112
0098	IF(TEST)83,86,86	U113
0099	83 IF(DR)84,86,85	U114
0100	84 DR=DR+90.0	U115
0101	GO TO 86	U116
0102	85 DR=DR-90.0	U117
0103	86 WRITE(3,87)M,(STRESS(K),K=1,3),XX,XS,DR	U118
0104	87 FORMAT(3X(3,6XF9.3,4XF9.3,5XF9.3,2(6XF9.3),9XF7.2)	U119
0105	80 CONTINUE	U120
0106	IF(II)59,91,59	
0107	91 RETURN	
0108	END	U130

0001  
0002

SUBROUTINE STRES

COMMON NDI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),POISON(700),  
1PD(700),NNGDE(400),XORD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),  
2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),  
3NDADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),R(3,3),SUR(6,3),S(6,6),  
4DISP(6),STRESS(3),NQELE,NOSND,NOBND,MAXC,BFTA,NHCMC,TOL,DENS,  
5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),  
6FXMAX(700),EXMIN(700),QA(700),EX(700),EY(700),EXY(700),EXX(700),  
7FYY(700),EXXY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),EOSX(700),EDSY(700)

C  
C  
C  
C

TO CALCULATE NODAL POINT STRESSES  
AND TO CALCULATE EXCAVATION STRESSES

0003  
0004

WRITE(3,2000)  
2000 FORMAT(95H1 NP X-STRESS Y-STRESS XY-STRESS MA  
1X-STRESS MIN-STRESS DIRECTION)

C

0005

DO 1500 I=1,NOSND

0006

XMAX(I)=0.

0007

XMIN(I)=0.

0008

FXMAX(I)=0.

0009

FXMIN(I)=0.

0010

EX(I)=0.

0011

EY(I)=0.

0012

EXY(I)=0.

0013

QA(I)=0.

0014

1500 PA(I)=0.

0015

DO 9000 M=1,NOSND

0016

X=0.0

0017

Y=0.0

0018

XY=C.C

0019

SRX=0.0

0020

SRY=0.0

0021

R=0.0

0022

DO 8600 N=1,NQELE

0023

I=NDI(N)

0024

J=NDJ(N)

0025

K=NDK(N)

0026

IF(M-I)8300,8500,8300

0027

8300 IF(M-J)8350,8450,8350

0028

8350 IF(M-K)8600,8400,8600

0029

8400 I=NDK(N)

0030

K=NDI(N)

0031

GO TO 8500

0032

8450 I=NDJ(N)

0033

J=NDI(N)

0034

8500 XA=ABS(XORD(J)+XORD(K)-2.\*XORD(I))

0035

XB=ABS(YORD(J)+YORD(K)-2.\*YORD(I))

```

0036      RY=X3/(XA+XB)
0037      SRY=SRX+RY
0038      Y=Y+SIGYY(N)*RY
0039      PX=XA/(XA+XB)
0040      SRX=SRX+RX
0041      X=X+SIGXX(N)*RX
0042      R=R+1.0
0043      XY=XY+SIGXY(N)
0044      8600 CONTINUE
0045      X=X/SRX
0046      FX(M)=X-EXX(M)
0047      Y=Y/SRY
0048      EY(M)=Y-EYY(M)
0049      XY=XY/R
0050      EXY(M)=XY-FXXYY(M)
0051      C=(X+Y)/2.0
0052      EC=(EX(M)+FY(M))/2.0
0053      R=SQRT(((Y-X)/2.0)**2+XY**2)
0054      FR=SQRT(((EY(M)-EX(M))/2.0)**2+EXY(M)**2)
0055      XMAX(M)=C+R
0056      EXMAX(M)=EC+ER
0057      XMIN(M)=C-R
0058      FXMIN(M)=EC-ER
0059      QA(M)=0.5*57.29578*ATAN(2.*EXY(M)/(EY(M)-EX(M)))
0060      IF(2.*EX(M)-EXMAX(M)-EXMIN(M))80500,8049,8049
0061      80500 IF(QA(M))81000,8049,81500
0062      81000 QA(M)=QA(M)+90.
0063      GO TO 8049
0064      81500 QA(M)=QA(M)-90.
0065      8049 PA(M)=0.5*57.29578*ATAN(2.*XY/(Y-X))
0066      IF(2.*X-XMAX(M)-XMIN(M))8050,8200,8200
0067      8050 IF(PA(M))8100,8200,8150
0068      8100 PA(M)=PA(M)+90.
0069      GO TO 8200
0070      8150 PA(M)=PA(M)-90.
0071      8200 WRITE(3,1240)M,X,Y,XY,XMAX(M),XMIN(M),PA(M)
0072      1240 FORMAT(3X13,6XF9.3,4XF9.3,5XF9.3,2(6XF9.3),9XF7.2)
0073      9000 CONTINUE
0074      WRITE(3,20000)
0075      20000 FORMAT(95H1      AP      EX-STRESS      EY-STRESS      EXY-STRESS      EMA
1X-STRESS      EMIN-STRESS      DIRECTION)
0076      WRITE(3,12400)(M,EX(M),EY(M),EXY(M),EXMAX(M),FXMIN(M),QA(M),M=1,N0
1SND)
0077      12400 FORMAT(3X13,6XF9.3,4XF9.3,5XF9.3,6XF9.3,6XF9.3,9XF7.2)
0078      WRITE(2,12041)(M,XMAX(M),XMIN(M),PA(M),EXMAX(M),FXMIN(M),QA(M),M=1
1,NOSND)
0079      12041 FORMAT(14,16X,2F10.3,F10.2,2F10.3,F10.2)
0080      RETURN
0081      END

```

```

0001      SUBROUTINE CONC
0002      COMMON NDJ(700),NDK(700),YG(700),PCISDN(700),
      1RD(700),NNCEE(400),XURD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),
      2DSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),
      3NDADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),B(3,3),SUB(6,3),SI(6,6),
      4DISP(6),STPFSS(3),NOELE,NOSND,NGBOND,MAXC,BETA,MHOMO,TOL,DENS,
      5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),
      6EXMAX(700),EXMIN(700),QA(700),EX(700),EY(700),EXY(700),EXX(700),
      7EYY(700),EXYY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),EDSX(700),EDSY(700)

```

C

C

C

TO CALCULATE STRESS CONCENTRATION FACTORS

```

0003      WRITE(3,2001)
0004      2001 FORMAT(55H1 NP      SCF-XMAX      SCF-XMIN      SCF-EXMAX      SCF-FXMIN )
0005      DO 2008 N=1,NOSND
0006      SCF1=XMAX(N)/EYY(N)
0007      SCF2=XMIN(N)/EYY(N)
0008      SCF3=EXMAX(N)/EYY(N)
0009      SCF4=EXMIN(N)/EYY(N)
0010      WRITE(3,2005)N,SCF1,SCF2,SCF3,SCF4
0011      2005 FORMAT(16,4F12.6)
0012      WRITE(2,2007)N,SCF1,SCF2,SCF3,SCF4
0013      2007 FORMAT(14,16X,4F15.6)
0014      2008 CCNTINUE
0015      RETURN
0016      END

```

```

0001      SUBROUTINE EDSP
0002      COMPCN NDI(700),NDJ(700),NDK(700),YG(700),PG(SQN(700),
      1RQ(700),NNDCE(400),XORD(400),YORD(400),XLD(400),YLD(400),NA(400),
      2CSX(400),DSY(400),SXX(400,9),SXY(400,9),SYY(400,9),SYX(400,9),
      3NDADJ(400,10),NSTA(100),NDBC(100),A(6,6),B(3,3),SUB(6,3),S(6,6),
      4DISP(6),STRESS(3),NOLE,NOSND,NCBOND,MAXC,BETA,NFOMC,TOL,DENS,
      5XMAX(700),XMIN(700),PA(700),SIGXX(700),SIGYY(700),SIGXY(700),
      6FXMAX(700),FXMIN(700),QA(700),FX(700),EY(700),EY(700),EXX(700),
      7FYY(700),EXXY(700),DSPIX(700),DSPIY(700),ECSX(700),FDSY(700)

      C
      C      TO CALCULATE EXCAVATION DISPLACEMENT
      C
0003      DO 3005 M=1,NOSND
0004      EDSX(M)=DSX(M)-DSPIX(M)
0005      FDSY(M)=DSY(M)-DSPIY(M)
0006      WRITE(2,3007)M,EDSX(M),EDSY(M)
0007      3007 FORMAT(14,16X,2F30.6)
0008      3005 CONTINUE
0009      RETURN
0010      END

```

APPENDIX B - APPENDICE B

```

PROGRAM D44007
C
C PROGRAM TO FIND MISSING ELEMENTS, PARAMETERS, NONPOSITIVE AREAS
C AND TO PLOT ELEMENTS AND THEIR PARAMETERS
C
  DIMENSION XORD(400),YORD(400),NDI(700),NDJ(700),NDK(700),DX(4),
  DY(4),DXX(12),DYY(12),JK(20)
  COMMON XORD(400),YORD(400),NDI(700),NDJ(700),NDK(700)
  INTEGER CTR
  CTR=0
  ERROR=0.
  READ(60,51)XTIC,XLNG,YLNG
51  FORMAT(3F7.1)
  READ(60,50)NOELE,NOSND
50  FORMAT(2I4)
10  READ(60,1)N,XX,YY
1  FORMAT(I4,2E13.6)
  IF(N)2,200,2
2  CTR=CTR+1
  IF(CTR-N)3,4,3
3  WRITE(61,11)CTR
11  FORMAT(1H0,11HPARAMETER ,I4,12H IS MISSING)
  ERROR=1.
  CTR=N
4  XORD(N)=XX
  YORD(N)=YY
  GO TO 10
200 CTR=0
201 READ(60,300)N,I,J,K
300 FORMAT(4I4)
  IF(N)500,500,400
400 CTR=CTR+1
  IF(CTR-N)5,6,5
5  WRITE(61,12)CTR
12  FORMAT(1H0,10HELEMENT NO ,I4,12H IS MISSING)
  ERROR=1.
  CTR=N
6  NDI(N)=I
  NDJ(N)=J
  NDK(N)=K
  GO TO 201
500 CALL DLOAD(NOELE,ERROR)
  IF(ERROR=1.)98,99,98
99  STOP
98  CALL AXISXY(01,1.,1.,XTIC,XLNG,YLNG,0.,0.,0.,0.)
  DO 30 M=1,NOELE
  I=NDI(M)
  J=NDJ(M)
  K=NDK(M)
  DX(1)=XORD(I)
  DY(1)=YORD(I)
  DX(2)=XORD(J)
  DY(2)=YORD(J)
  DX(3)=XORD(K)
  DY(3)=YORD(K)
  DX(4)=DX(1)
  DY(4)=DY(1)
  CALL PLOTXY(DX(1),DY(1),0,0)
  DO 25 L=1,4
25  CALL PLOTXY(DX(L),DY(L),1,0)

```



```

II=I
JJ=J
KK=K
DXX(1)=XORD(II)
DYY(1)=YORD(II)
DXX(2)=XORD(JJ)
DYY(2)=YORD(JJ)
DXX(3)=XORD(KK)
DYY(3)=YORD(KK)
DXX(4)=.5*(DXX(1)+DXX(2))
DYY(4)=.5*(DYY(1)+DYY(2))
DXX(5)=.5*(DXX(2)+DXX(3))
DYY(5)=.5*(DYY(2)+DYY(3))
DXX(6)=.5*(DXX(3)+DXX(1))
DYY(6)=.5*(DYY(3)+DYY(1))
DXX(7)=.5*(DXX(4)+DXX(5))
DYY(7)=.5*(DYY(4)+DYY(5))
DXX(8)=.5*(DXX(5)+DXX(6))
DYY(8)=.5*(DYY(5)+DYY(6))
DXX(9)=.5*(DXX(6)+DXX(4))
DYY(9)=.5*(DYY(6)+DYY(4))
DXX(10)=.5*(DXX(7)+DXX(8))
DYY(10)=.5*(DYY(7)+DYY(8))
DXX(11)=.5*(DXX(8)+DXX(9))
DYY(11)=.5*(DYY(8)+DYY(9))
DXX(12)=.5*(DXX(9)+DXX(7))
DYY(12)=.5*(DYY(9)+DYY(7))
X10=DXX(10)
Y10=DYY(10)
CALL PLOTXY(X10,Y10,0,0)
ENCODE(3,999,JK(1))M
999 FORMAT(I3)
CALL LABEL(3,1,3,JK(1))
30 CONTINUE
DO 26 I=1,NOSND
X=XORD(I)+.2
Y=YORD(I)+.5
CALL PLOTXY(X,Y,0,0)
ENCODE(4,19,JK(1))I
19 FORMAT(I4)
CALL LABEL(4,1,0,JK(1))
26 CONTINUE
CALL ENDPLOT(01)
CALL AXISXY(01,1.,1.,1.,1.,1.,1.,0.,0.,0.,0.)
CALL ENDPLOT(01)
STOP
END

```

3200 FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS - FOR D44007

NO ERRORS

```
      SUBROUTINE DLOAD(NOELE,ERROR)
      C      TO CALCULATE AREA
      COMMON XORD(400),YORD(400),NDI(700),NDJ(700),NDK(700)
      WRITE(61,79)NOELE
79  FORMAT(1H0,I4)
      DO 11 N=1,NOELE
      I=NDI(N)
      J=NDJ(N)
      K=NDK(N)
      AREA=((XORD(J)-XORD(I))*(YORD(K)-YORD(I))-(XORD(K)-XORD(I))*
      1(YORD(J)-YORD(I)))*0.5
      C
      C      TO TEST IF AREA IS POSITIVE
      C
      IF (AREA)9,9,11
      9  WRITE(61,10)N,I,J,K
      10 FORMAT(1H0,6H AREA ,I4,12H NONPOSITIVE,3X,2HI=,I4,5H J=,I4,5H
      1K=,I4)
      ERROR=1.
      11 CONTINUE
      RETURN
      END
```

3200 FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS - FOR DLOAD

NO ERRORS  
LOAD,56  
RUN,

# APPENDIX C - APPENDICE C

```

PROGRAM D44011
DIMENSION PA(400),QA(400)
COMMON XORD(400),YORD(400),XMAX(400),XMIN(400),EXMAX(400),EXMIN(400),N(20),NOSND
INTEGER TEST

```

```

C
C
C COMPUTER PROGRAM FOR PLOTTING THE DIRECTION AND MAGNITUDE OF
C PRINCIPAL STRESSES AND NUMBERING THEIR NUMERICAL VALUES
C STRESS SCALE 1 CM=100 KSC
C

```

```

C *****
C * 1. NOSND IS THE MAX NO. OF NODES *
C * 2. TEST IS A SPECIFICATION FOR THE TYPE OF PLOT TO BE SELECTED, *
C * IFTEST=0,STRESSES WILL BE PLOTTED AT ALL NODES, IF TEST IS A *
C * NEGATIVE OR POSITIVE NUMBER,STRESSES WILL BE PLOTTED ALONG A *
C * VERT OR HORIZ SECTION RESPECTIVELY. *
C * 3. NPLT IS ANOTHER OPTION FOR THE TYPE OF PLOT TO BE SELECTED, *
C * WHEN NPLT=2,IT WILL PLOT XMAXAND XMIN ONLY,WHEN NPLT=1,IT *
C * WILL PLOT XMAX,XMIN, AND PRINT OUT THEIR NUMERICAL VALUES, *
C * WHEN NPLT=0, IT WILL PLOT XMAX,XMIN AND EXMAX,EXMIN ON TWO *
C * SEPARATE PLOT,AND PRINT OUT THEIR NUMERICAL VALUES *
C * 4. XLNG IS THE LENGTH OF X-AXIS IN LOGICAL UNIT *
C * 5. YLNG IS THE LENGTH OF Y-AXIS IN LOGICAL UNIT *
C * 6. SCALE IS THE STRESS SCALE TO BE PLOTTED,IE,1 IN. OR CM = *
C * 100,200 PSI OR KSC,ETC,DEPENDING ON THE UNITS OF THE INPUT *
C * COORDINATES *
C * 7. UNIT IS 2.54 WHEN THE INPUT COORDINATES ARE IN CM,ANY OTHER *
C * VALUES MAY BE USED WHEN THE INPUT COORDINATES ARE IN IN. *
C * 8. XTIC IS THE INTERVAL BETWEEN TICK MARKS ON THE X-AXIS IN *
C * LOGICAL UNITS *
C * 9. DIST AND HEIGHT ARE THE HORIZ AND VERT DISTANCES SPECIFIED *
C * FOR THE VERT AND HORIZ SECTIONS RESPECTIVELY, THEY ARE *
C * MEASURED FROM THE ORIGIN OF THE MESH *
C *****

```

```

C REWIND 1

```

```

C TO READ IN CONTROL DATA

```

```

C READ(60,11)NOSND,TEST,NPLT,XTIC,XLNG,YLNG,SCALE,UNIT,DIST,HEIGHT
11 FORMAT(3I4,7F8,2)

```

```

C TO READ IN THE MAGNITUDES AND DIRECTIONS OF PRINCIPAL STRESSES

```

```

C DO 20 N=1,NOSND
C READ(60,2)N,XMAX(N),XMIN(N),PA(N),EXMAX(N),EXMIN(N),QA(N)
2 FORMAT(I4,16X,2F10.3,2F10.3,2F10.3,2F10.3)
C WRITE(61,2)N,XMAX(N),XMIN(N),PA(N),EXMAX(N),EXMIN(N),QA(N)
20 CONTINUE
C SF1=0.0
C SF2=0.0

```

```

C TO READ IN X- AND Y- COORDINATES FOR EACH NODE

```

```

C 4 READ(60,5)M,X,Y
C 5 FORMAT(I4,2E13.6)
C IF (M)40,40,50
C 50 XORD(M)=X
C YORD(M)=Y

```

```

WRITE(61,15)M,XORD(M),YORD(M)
15  FORMAT(1X,14,2E13.6)
    GO TO 4
40  IF (UNIT-2.54)402,401,402
401  SF1=SF1+(XLNG/SCALE)/2.54
    SF2=SF1
    WRITE(61,403)SF1,SF2,SCALE,XTIC,XLNG,YLNG
403  FORMAT(6F10.4)
    GO TO 400
402  SF1=SF1+XLNG/SCALE
    SF2=SF1
400  IF (AXISXY(01,1.,1.,XTIC,XLNG,YLNG,0.,0.,0.,0.))41,42
41  XX=-2.0*XLNG
    YY=XLNG/4.0
    IF (PLOTXY(XX,YY,0,0))51,52
51  ENCODE(49,99,K(1))
    CALL LABEL(49,3,3,K(1))
99  FORMAT(49H DIRECTIONS AND MAGNITUDES OF PRINCIPAL STRESSES)
    BAR=130.0
    PI=3.14159/180.0
44  DO 300 I=1,NOSND
    IF (TEST)77,97,66
77  IF (XORD(I)-0IST)300,97,300
66  IF (YORD(I)-HEIGHT)300,97,300
97  IF (XMAX(I).AND.XMIN(I))88,300
88  ANGLE=ABSF(PA(I))*PI
C
C    TO TEST THE MAJOR PRINCIPAL STRESS IS IN THE 1ST OR 4TH QUADRANT
C
    IF (PA(I))100,100,200
100  X1=XORD(I)+ABSF(XMAX(I))*SF1*COSF(ANGLE)
    Y1=YORD(I)+ABSF(XMAX(I))*SF1*SINF(ANGLE)
    IF (PLOTXY(X1,Y1,0,0))101,1001
101  X2=XORD(I)-ABSF(XMAX(I))*SF1*COSF(ANGLE)
    Y2=YORD(I)-ABSF(XMAX(I))*SF1*SINF(ANGLE)
    IF (PLOTXY(X2,Y2,1,0))102,1001
C
C    TO TEST THE MAJOR PRINCIPAL STRESS IS COMP OR TENS,IF COMP,A BAR W
C    ILL BE PLOTTED AT END OF THE VECTOR AND PERPENDICULAR TO IT
C
102  IF (XMAX(I))1000,2000,2000
1000 X11=X1-BAR*SINF(ANGLE)
    Y11=Y1+BAR*COSF(ANGLE)
    IF (PLOTXY(X11,Y11,0,0))1005,1006
1005 X12=X1+BAR*SINF(ANGLE)
    Y12=Y1-BAR*COSF(ANGLE)
    IF (PLOTXY(X12,Y12,1,0))1007,1008
1007 X21=X2-BAR*SINF(ANGLE)
    Y21=Y2+BAR*COSF(ANGLE)
    IF (PLOTXY(X21,Y21,0,0))1009,1010
1009 X22=X2+BAR*SINF(ANGLE)
    Y22=Y2-BAR*COSF(ANGLE)
    IF (PLOTXY(X22,Y22,1,0))2000,1012
2000 X3=XORD(I)-ABSF(XMIN(I))*SINF(ANGLE)*SF2
    Y3=YORD(I)+ABSF(XMIN(I))*COSF(ANGLE)*SF2
    IF (PLOTXY(X3,Y3,0,0))103,1003
103  X4=XORD(I)+ABSF(XMIN(I))*SINF(ANGLE)*SF2
    Y4=YORD(I)-ABSF(XMIN(I))*COSF(ANGLE)*SF2
    IF (PLOTXY(X4,Y4,1,0))104,1003
C
C    TO TEST THE MINOR PRINCIPAL STRESS IS COMP OR TENS,IF COMP,A BAR W
C    ILL BE PLOTTED AT END OF THE VECTOR AND PERPENDICULAR TO IT

```

```

C
104 IF (XMIN(1)) 3000,300,300
3000 X31=X3+BAR*COSF(ANGLE)
      Y31=Y3+BAR*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X31,Y31,0,0)) 1013,1014
1013 X32=X3-BAR*COSF(ANGLE)
      Y32=Y3-BAR*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X32,Y32,1,0)) 1015,1016
1015 X41=X4+BAR*COSF(ANGLE)
      Y41=Y4+BAR*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X41,Y41,0,0)) 1017,1018
1017 X42=X4-BAR*COSF(ANGLE)
      Y42=Y4-BAR*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X42,Y42,1,0)) 300,1012
200 X1=XORD(1)-ABSF(XMAX(1))*SF1*COSF(ANGLE)
      Y1=YORD(1)+ABSF(XMAX(1))*SF1*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X1,Y1,0,0)) 105,1001
105 X2=XORD(1)+ABSF(XMAX(1))*SF1*COSF(ANGLE)
      Y2=YORD(1)-ABSF(XMAX(1))*SF1*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X2,Y2,1,0)) 106,1001
C
C TO TEST THE MAJOR PRINCIPAL STRESS IS COMP OR TENS,IF COMP,A BAR W
C ILL BE PLOTTED AT END OF THE VECTOR AND PERPENDICULAR TO IT
C
106 IF (XMAX(1)) 5000,6000,6000
5000 X11=X1+BAR*SINF(ANGLE)
      Y11=Y1+BAR*COSF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X11,Y11,0,0)) 1021,1006
1021 X12=X1-BAR*SINF(ANGLE)
      Y12=Y1-BAR*COSF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X12,Y12,1,0)) 1023,1008
1023 X21=X2+BAR*SINF(ANGLE)
      Y21=Y2+BAR*COSF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X21,Y21,0,0)) 1025,1010
1025 X22=X2-BAR*SINF(ANGLE)
      Y22=Y2-BAR*COSF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X22,Y22,1,0)) 6000,1012
6000 X3=XORD(1)+ABSF(XMIN(1))*SINF(ANGLE)*SF2
      Y3=YORD(1)+ABSF(XMIN(1))*COSF(ANGLE)*SF2
      IF (PLOTXY(X3,Y3,0,0)) 107,1003
107 X4=XORD(1)-ABSF(XMIN(1))*SINF(ANGLE)*SF2
      Y4=YORD(1)-ABSF(XMIN(1))*COSF(ANGLE)*SF2
      IF (PLOTXY(X4,Y4,1,0)) 108,1003
C
C TO TEST THE MINOR PRINCIPAL STRESS IS COMP OR TENS,IF COMP,A BAR W
C ILL BE PLOTTED AT END OF THE VECTOR AND PERPENDICULAR TO IT
C
108 IF (XMIN(1)) 7000,300,300
7000 X31=X3-BAR*COSF(ANGLE)
      Y31=Y3+BAR*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X31,Y31,0,0)) 1029,1014
1029 X32=X3+BAR*COSF(ANGLE)
      Y32=Y3-BAR*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X32,Y32,1,0)) 1031,1016
1031 X41=X4-BAR*COSF(ANGLE)
      Y41=Y4+BAR*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X41,Y41,0,0)) 1033,1018
1033 X42=X4+BAR*COSF(ANGLE)
      Y42=Y4-BAR*SINF(ANGLE)
      IF (PLOTXY(X42,Y42,1,0)) 300,1020
300 CONTINUE
      IF (NPLOT-1) 303,303,302

```

```

303 CALL NUM
    NPL0T=NPL0T+1
    IF (NPL0T-2) 304,302,302
304 DO 301 M=1,N05ND
    XORD(M)=XORD(M)+150000.0
    XMAX(M)=0.0
    XMIN(M)=0.0
    PA(M)=0.0
    XMAX(M)=XMAX(M)+EXMAX(M)
    XMIN(M)=XMIN(M)+EXMIN(M)
    PA(M)=PA(M)+QA(N)
301 CONTINUE
    GO TO 44
42 WRITE(61,43)
43 FORMAT(1H0,13H AXISXY ERROR)
    GO TO 302
52 WRITE(61,53)
53 FORMAT(1H0,13H PLOTXY ERROR)
    WRITE(61,54)XX,YY
54 FORMAT(1X,2F20.1)
    GO TO 302
1001 WRITE(61,1002) I,XORD(I),YORD(I),XMAX(I),SF1,ANGLE
1002 FORMAT(1X,14,2E13.6,F12.4,2F10.4)
    GO TO 302
1003 WRITE(61,1004) I,XORD(I),YORD(I),XMIN(I),SF2,ANGLE
1004 FORMAT(1X,14,2E13.6,F12.4,2F10.4)
    GO TO 302
1006 WRITE(61,1037) I,X11,Y11
1037 FORMAT(14,2E13.6)
    GO TO 302
1008 WRITE(61,1037) I,X12,Y12
    GO TO 302
1010 WRITE(61,1037) I,X21,Y21
    GO TO 302
1012 WRITE(61,1037) I,X22,Y22
    GO TO 302
1014 WRITE(61,1037) I,X31,Y31
    GO TO 302
1016 WRITE(61,1037) I,X32,Y32
    GO TO 302
1018 WRITE(61,1037) I,X41,Y41
    GO TO 302
1020 WRITE(61,1037) I,X42,Y42
    GO TO 302
302 CALL ENDPLOT(01)
    CALL AXISXY(01,1.1.1.1.1.1.1.0.0.0.0.1.99)
    CALL ENDPLOT(01)
    STOP
    END

```

3200 FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS - FOR D44011

NO ERRORS

```
SUBROUTINE NUM  
COMMON XORO(400),YORO(400),XMAX(400),XMIN(400),EXMAX(400),EXMIN(40  
10),K(20),NOSND
```

C  
C

```
601 FORMAT(F4.1)  
602 FORMAT(F5.1)  
603 FORMAT(F6.1)  
604 FORMAT(F7.1)
```

C  
C

```
DO 25 I=1,NOSND  
IF (XMAX(I).AND.XMIN(I)) 501,25  
501 CALL PLOTXY(XORO(I),YORO(I),0,0)  
X=XORO(I)-400.0  
Y=YORO(I)+400.0  
CALL PLOTXY(X,Y,0,0)  
IF (ABS(XMAX(I))-10.0) 502,503,503  
503 IF (ABS(XMAX(I))-100.0) 504,505,505  
505 IF (ABS(XMAX(I))-1000.0) 506,507,507  
502 ENCODE(4,601,K(I))XMAX(I)  
CALL LABEL(4,1,3,K(I))  
GO TO 1000  
504 ENCODE(5,602,K(I))XMAX(I)  
CALL LABEL(5,1,3,K(I))  
GO TO 1000  
506 ENCODE(6,603,K(I))XMAX(I)  
CALL LABEL(6,1,3,K(I))  
GO TO 1000  
507 ENCODE(7,604,K(I))XMAX(I)  
CALL LABEL(7,1,3,K(I))  
1000 XA=XORO(I)+400.0  
YA=YORO(I)+400.0  
CALL PLOTXY(XA,YA,0,0)  
IF (ABS(XMIN(I))-10.0) 701,702,702  
702 IF (ABS(XMIN(I))-100.0) 703,704,704  
704 IF (ABS(XMIN(I))-1000.0) 705,706,706  
701 ENCODE(4,601,K(I))XMIN(I)  
CALL LABEL(4,1,0,K(I))  
GO TO 25  
703 ENCODE(5,602,K(I))XMIN(I)  
CALL LABEL(5,1,0,K(I))  
GO TO 25  
705 ENCODE(6,603,K(I))XMIN(I)  
CALL LABEL(6,1,0,K(I))  
GO TO 25  
706 ENCODE(7,604,K(I))XMIN(I)  
CALL LABEL(7,1,0,K(I))  
25 CONTINUE  
RETURN  
END
```

3200 FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS - FOR NUM

NO ERRORS  
LOAD,56  
RUN,10

APPENDIX D - APPENDICE D

```

PROGRAM D44005
DIMENSION XORD(400),YORD(400),DSPX(400),DSPY(400)

C
C
C
C
COMPUTER PROGRAM FOR PLOTTING EXCAVATION DISPLACEMENTS
C
C
C
C
NOSND IS THE MAX NO. OF NODES
C
XLNG IS THE LENGTH OF X-AXIS IN LOGICAL UNIT
C
YLNG IS THE LENGTH OF Y-AXIS IN LOGICAL UNIT
C
SCALE IS THE SCALE TO BE PLOTTED FOR DISPLACEMENT
C
UNIT IS 2.54 WHEN THE INPUT COORDINATES ARE IN CENTIMETERS
C
UNIT CAN BE ANY OTHER NUMBERS WHEN THE COORDINATES ARE IN INCHES
C
C

REWIND 1
READ(60,2)NOSND,XTIC,XLNG,YLNG,SCALE,UNIT
2  FORMAT(14,5F8.2)
DO 30 M=1,NOSND
READ(60,1)M,DSPX(M),DSPY(M)
1  FORMAT(14,16X,2F30.6)
30  CONTINUE
SC=0.0
200 READ(60,300)N,XX,YY
300 FORMAT(14,2E13.6)
IF(N)6,6,400
400 XORD(N)=XX
YORD(N)=YY
GO TO 200
6  IF(UNIT-2.54)4,3,4
3  SC=SC+(XLNG/SCALE)/2.54
WRITE(61,10)SCALE,SC
10  FORMAT(2F10.2)
GO TO 500
4  SC=SC+XLNG/SCALE
WRITE(61,10)SCALE,SC
500 IF(AXISXY(01,1.,1.,1.,XTIC,XLNG,YLNG,0.,0.,0.,0.))98,99
98  DO 25 I=1,NOSND
CALL PLOTXY(XORD(I),YORD(I),0,9)
X=XORD(I)+SC*DSPX(I)
Y=YORD(I)+SC*DSPY(I)
CALL PLOTXY(X,Y,1,0)
25  CONTINUE
CALL ENDPLOT(01)
IF(AXISXY(01,1.,1.,1.,1.,1.,1.,0.,0.,0.,0.))97,99
97  CALL ENDPLOT(01)
STOP
99  WRITE(61,31)XTIC,XLNG,YLNG
31  FORMAT(1H0,13HAXISXY ERROR ,3F8.2)
STOP
END

```

3200 FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS - FOR D44005

NO ERRORS  
LOAD,56



APPENDIX E - APPENDICE E

```
PROGRAM D44012
DIMENSION XORD(400),YORD(400),SCF1(400),SCF2(400),SCF3(400),SCF4(4
100),K(20)
```

```
C
C
C NUMERICAL PLOTS FOR STRESS OR STRESS CONCENTRATIONS
C
```

```
REWIND 1
READ(60,2)NOSND,NPLOT,XTIC,XLNG,YLNG
2  FORMAT(2I4,3F8.1)
DO 30 M=1,NOSND
READ(60,1)M,SCF1(M),SCF2(M),SCF3(M),SCF4(M)
1  FORMAT(I4,16X,4F15.6)
30  CONTINUE
200 READ(60,300)N,XX,YY
300 FORMAT(I4,2E13.6)
IF(N)500,500,400
400 XORD(N)=XX
YORD(N)=YY
GO TO 200
500 CALL AXISXY(01,1.,1.,XTIC,XLNG,YLNG,0.,0.,0.,0.)
502 DO 25 I=1,NOSND
IF(SCF1(I).AND.SCF2(I))501,25
501 CALL PLOTXY(XORD(I),YORD(I),0,11)
X=XORD(I)+0.0
Y=YORD(I)+100.0
CALL PLOTXY(X,Y,0,0)
ENCODE(6,19,K(1))SCF1(I)
19  FORMAT(F6.3)
CALL LABEL(6,1,3,K(1))
XA=XORD(I)+100.0
YA=YORD(I)+0.0
CALL PLOTXY(XA,YA,0,0)
ENCODE(6,20,K(1))SCF2(I)
20  FORMAT(F6.3)
CALL LABEL(6,1,0,K(1))
CONTINUE
25  IF(NPLOT-1)28,27,28
27  NPLOT=NPLOT+1
DO 26 J=1,NOSND
XORD(J)=XORD(J)+150000.
SCF1(J)=0.0
SCF2(J)=0.0
SCF1(J)=SCF1(J)+SCF3(J)
SCF2(J)=SCF2(J)+SCF4(J)
26  CONTINUE
GO TO 502
28  CALL ENDPLOT(01)
CALL AXISXY(01,1.,1.,1.,1.,1.,0.,0.,0.,0.,1.,99)
CALL ENDPLOT(01)
STOP
END
```

3200 FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS - FOR D44012

NO ERRORS  
LOAD,56  
RUN

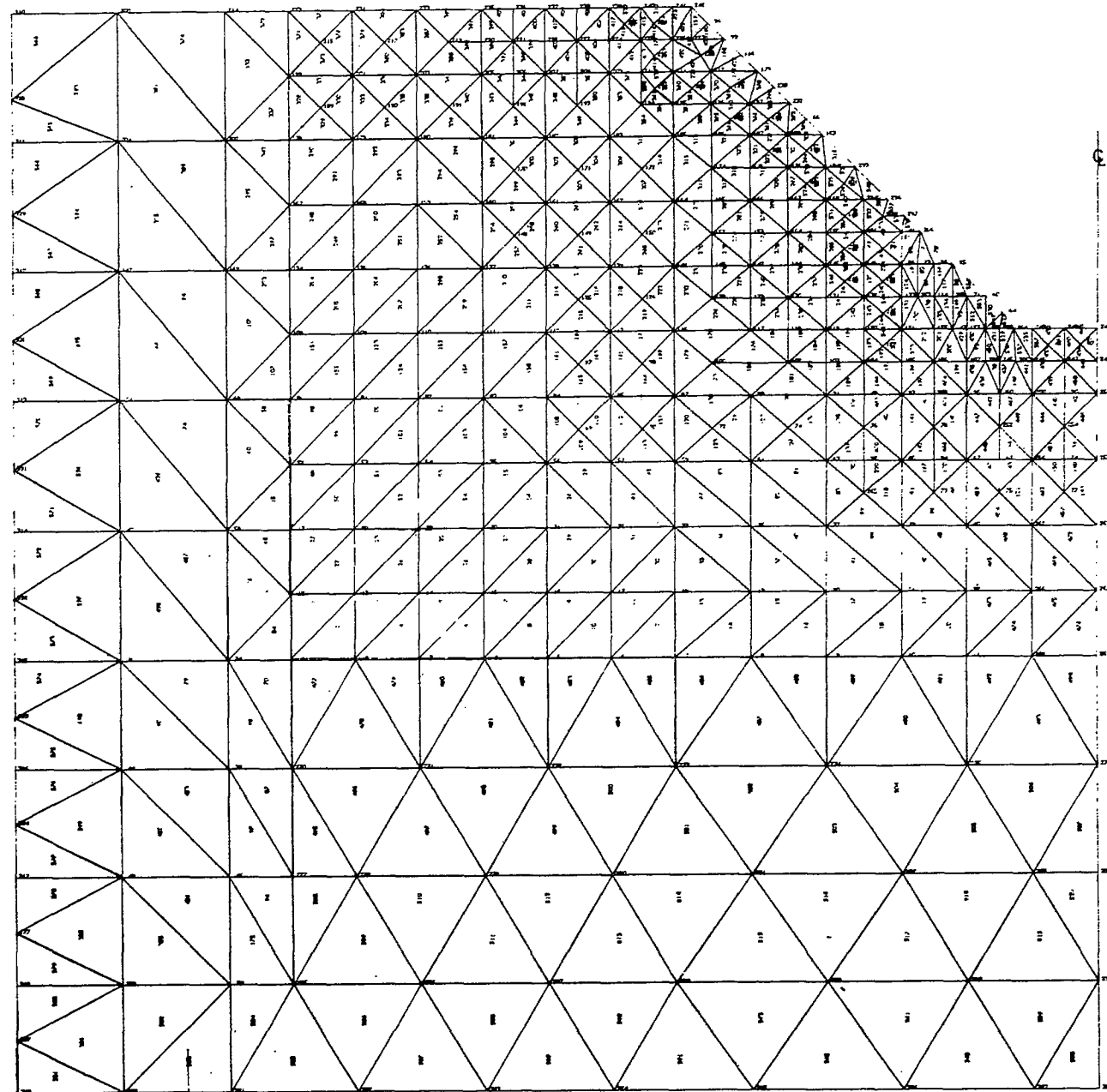


Figure 1. Mesh of a  $45^{\circ}$  slope plotted by program D44007.

Figure 1. Maillage d'une pente a  $45^{\circ}$  tracé par le programme D44007.

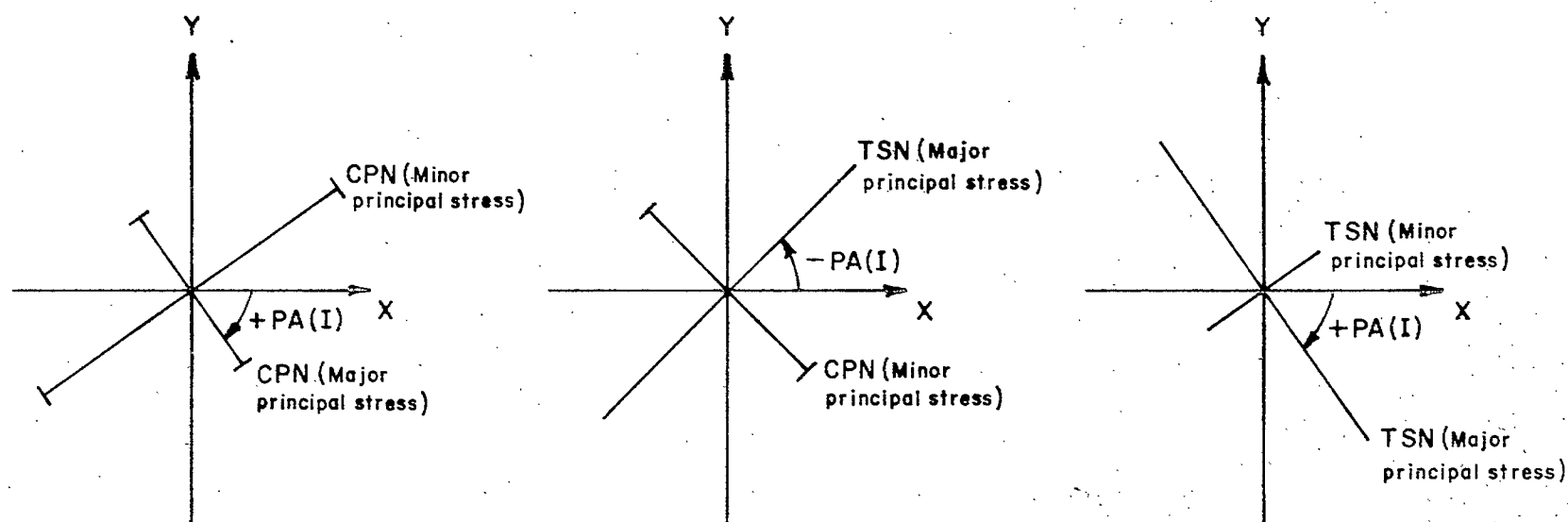
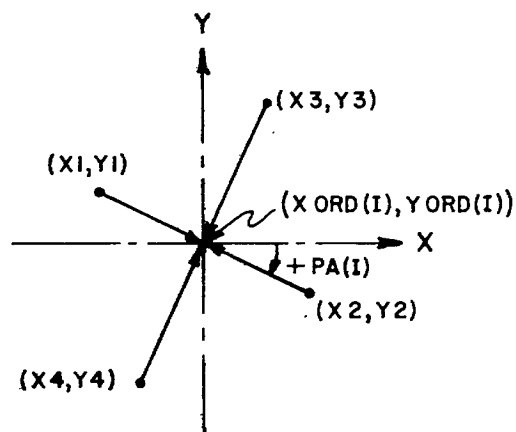
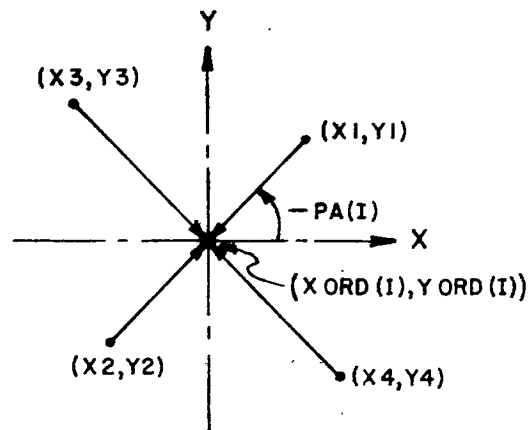


Figure 2. Examples of sign convention adopted by the vector plots.

Figure 2. Exemples de la convention des signes adoptée par les tracés vectoriels.



(a)  $PA(I) = +$



(b)  $PA(I) = -$

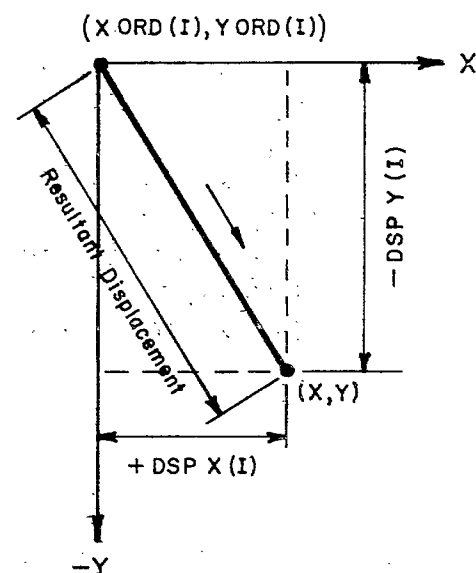
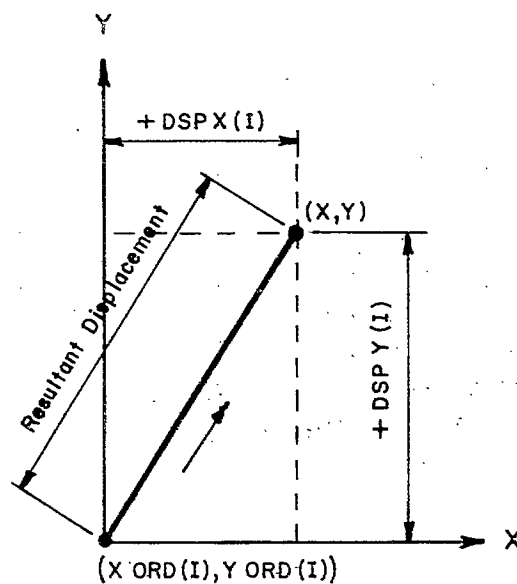
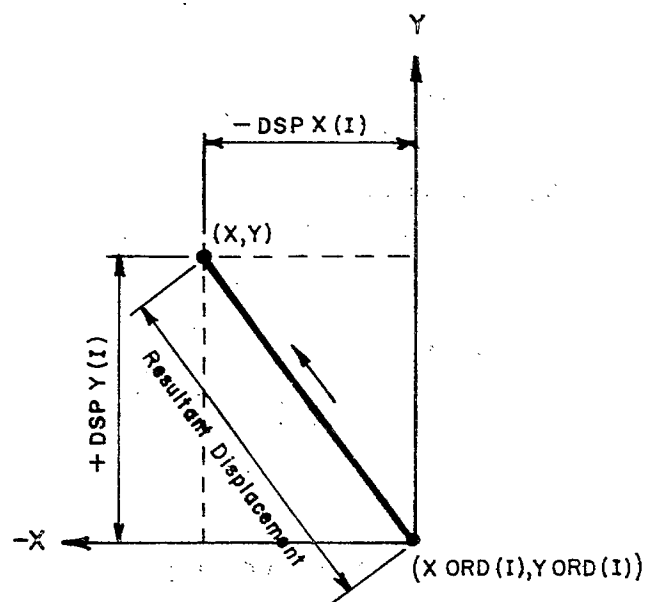
$$\begin{cases} X1 = XORD(I) - ABSF(XMAX(I)) * COSF(ANGLE) * SF1 \\ Y1 = YORD(I) + ABSF(XMAX(I)) * SINF(ANGLE) * SF1 \\ X2 = XORD(I) + ABSF(XMAX(I)) * COSF(ANGLE) * SF1 \\ Y2 = YORD(I) - ABSF(XMAX(I)) * SINF(ANGLE) * SF1 \\ X3 = XORD(I) + ABSF(XMIN(I)) * SINF(ANGLE) * SF2 \\ Y3 = YORD(I) + ABSF(XMIN(I)) * COSF(ANGLE) * SF2 \\ X4 = XORD(I) - ABSF(XMIN(I)) * SINF(ANGLE) * SF2 \\ Y4 = YORD(I) - ABSF(XMIN(I)) * COSF(ANGLE) * SF2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X1 = XORD(I) + ABSF(XMAX(I)) * COSF(ANGLE) * SF1 \\ Y1 = YORD(I) + ABSF(XMAX(I)) * SINF(ANGLE) * SF1 \\ X2 = XORD(I) - ABSF(XMAX(I)) * COSF(ANGLE) * SF1 \\ Y2 = YORD(I) - ABSF(XMAX(I)) * SINF(ANGLE) * SF1 \\ X3 = XORD(I) - ABSF(XMIN(I)) * SINF(ANGLE) * SF2 \\ Y3 = YORD(I) + ABSF(XMIN(I)) * COSF(ANGLE) * SF2 \\ X4 = XORD(I) + ABSF(XMIN(I)) * SINF(ANGLE) * SF2 \\ Y4 = YORD(I) - ABSF(XMIN(I)) * COSF(ANGLE) * SF2 \end{cases}$$

where SF 1 and SF 2 are the appropriate scale factors.

Figure 3. Plotting of principal stresses.

Figure 3. Traçage des contraintes principales.



$$X = X \text{ ORD } (I) + SC * DSP \text{ X } (I)$$

$$Y = Y \text{ ORD } (I) + SC * DSP \text{ Y } (I)$$

Where SC is an appropriate factor

Figure 4. Plotting of displacements.

Figure 4. Traçage des déplacements.

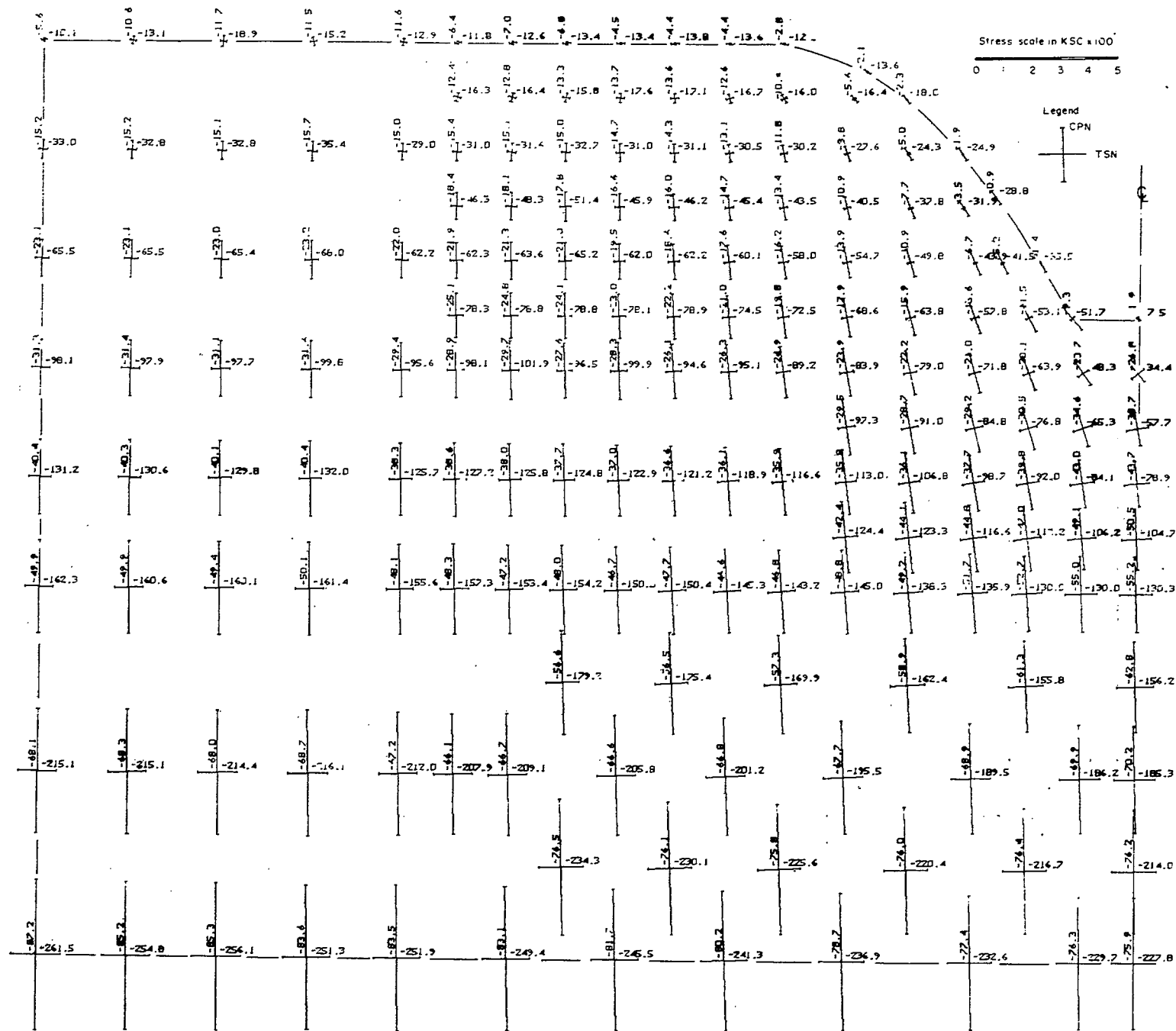


Figure 5. Direction and magnitude of resultant principal stresses and their numerical values for model of an open pit mine (Vert. and Horiz. numbers stand for major and minor stresses respectively).

Figure 5. Direction et grandeur des contraintes principales résultantes et leurs valeurs numériques pour le cas du modèle d'une exploitation à ciel ouvert. (Les nombres verticaux et horizontaux représentent les contraintes majeures et mineures respectivement).

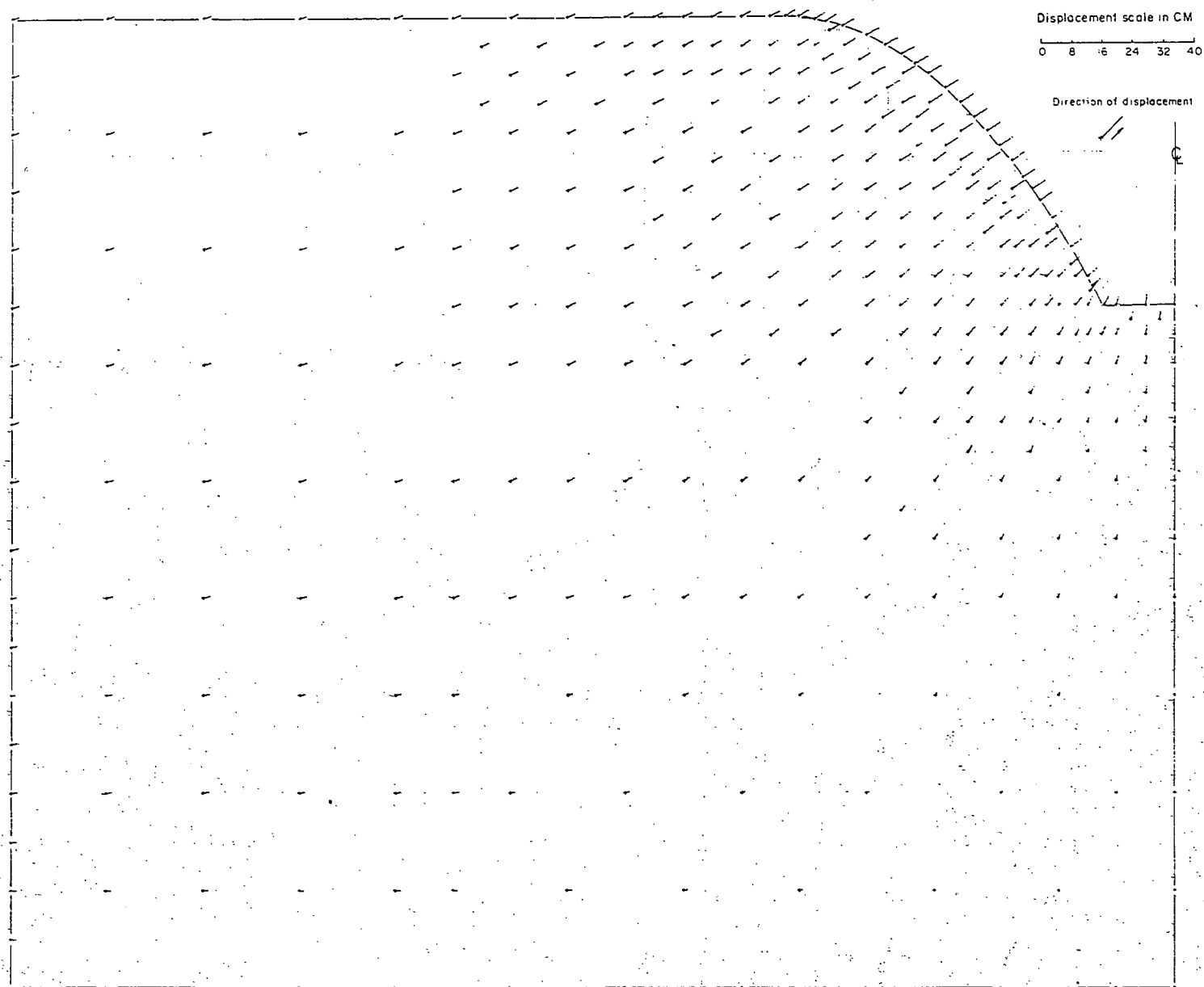


Figure 5. Computer plotted excavation displacements for model of an open pit mine.

Figure 6. Déplacements d'excavation tracés automatiquement pour le cas du modèle d'une exploitation à ciel ouvert.



Figure 7. Tracés numériques des facteurs de concentration des contraintes pour le cas du modèle d'une exploitation à ciel ouvert.



