

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DU COMMERCE ET DE L'ARTISANAT

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

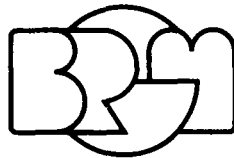
INFORMATIQUE GÉOTECHNIQUE

**SIMULATION PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS
DE SOLS A LOI DE COMPORTEMENT HYPERBOLIQUE**

Notice d'emploi du programme LØCK

par

J.-M. SIMON et C. GUYOT



Département géotechnique

B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

77 SGN 374 GTC

Juillet 1977

R E S U M E

Le programme Løck permet une simulation par la méthode des éléments finis de la construction de remblais formés de sols à loi de comportement hyperbolique. Le présent rapport permet l'utilisation de ce programme.

Après quelques rappels sur la méthode des élément finis, on trouvera successivement les principes généraux des différentes étapes de construction qu'autorisent Løck et la théorie développée par DUNCAN concernant les lois de comportement hyperbolique pour les sols de remblai. La notice s'achève par quelques remarques sur la discrétisation d'une structure et par l'utilisation proprement dite du programme : introduction des données et listing des cartes.

"Ce travail méthodologique a été réalisé sur fonds propres du Département géotechnique (crédits du Ministère de l'industrie, du commerce et de l'artisanat)".

S O M M A I R E

RESUME

INTRODUCTION

1 - RAPPELS SUR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS	2
1.1 - La méthode des éléments finis	2
1.2 - La méthode des éléments finis pour la mécanique des milieux continus en élasticité	3
2 - PRINCIPES GENERAUX DES DIFFERENTES ETAPES DE CONSTRUCTION	5
2.1 - Conditions initiales	5
2.2 - Excavation	5
2.3 - Chargement dû aux forces d'écoulement	7
2.4 - Mise en place de béton ou de remblai	9
2.5 - Variations de température	10
2.6 - Comportement des joints	10
3 - LOI DE COMPORTEMENT	11
3.1 - Premier chargement	11
3.2 - Décharge	15
3.3 - Procédure d'analyse	15
4 - DETERMINATION DES PARAMETRES	17
4.1 - Détermination des paramètres à partir d'essais au triaxial	17
4.2 - Détermination des paramètres à partir d'essais de cisaillement et de consolidation unidimensionnelle	17
5 - COMPORTEMENT DES JOINTS ENTRE REMBLAI ET BETON	25
6 - DISCRETISATION D'UNE STRUCTURE	27
7 - ROLES DES SOUS-PROGRAMMES	30
8 - COMPATIBILITE AVEC LE PROGRAMME DE TRACE TRAME	31
9 - DEFINITION DES DONNEES	31
9.1 - Carte d'identification	31
9.2 - Carte de données générales	32
9.3 - Caractéristiques des éléments bidimensionnels	32
9.4 - Propriétés des joints	34
9.5 - Cartes de noeuds	34
9.6 - Conditions aux limites	35
9.7 - Cartes des éléments	35
9.8 - Cartes de contraintes, déplacements, raideur des joints.	36
9.9 - Construction incrémentale	38
10- CARTES DE CONTROLE	42
11- EXEMPLES D'UTILISATIONS	44

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Conditions aux limites dues à l'eau sur un élément quadrilatéral quelconque.
- Figure 2 : Loi de comportement d'un sol sous différentes pressions de confinement.
- Figure 3 : Loi de comportement hyperbolique.
- Figure 4 : Détermination du module pour un cycle décharge-charge.
- Figure 5 : Détermination des valeurs de k et n à partir d'essais au triaxial.
- Figure 6 : Détermination du module pour un cycle.
- Figure 7 : Courbe de consolidation.
- Figure 8 : Coefficient de pression latérale k_0^Δ .
- Figure 9 :
- Figure 10 : Influence de la numérotation des noeuds sur la largeur de bande.
- Figure 11 : Numérotation des noeuds pour différents types d'éléments.

ANNEXES

- Annexe 1 : Organigramme synthétique
- Annexe 2 : Listing du programme Lock
-

I N T R O D U C T I O N

Le programme d'éléments finis Løck fut mis au point en 1968 pour étudier le comportement des ouvrages en béton armé de l'écluse de Port Allen. Il a été réalisé à l'Université de Berkeley (Californie).

Ce programme permet de simuler les différentes étapes de construction d'un ouvrage en autorisant des excavations, des mises en place de remblai ou de béton, des chargements ponctuels, des variations de pressions et de température.

Il permet également divers types de lois de comportement des matériaux :

- ils sont soit élastiques linéaires, soit élastiques hyperboliques et permettent donc de rendre assez fidèlement compte du comportement mécanique d'une structure de remblai.

Il est possible d'utiliser des éléments unidimensionnels -joints- qui autorisent des déplacements relatifs entre deux éléments adjacents.

Les calculs sont faits en déformations planes.

Le présent rapport a été réalisé sur fonds propres du Département Géotechnique (crédits du Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat).

1 - RAPPELS SUR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS

Sachant qu'il n'est pas possible de connaître l'état mécanique en tous points d'un corps dans la plupart des problèmes, on essaie d'approcher la solution réelle par celle d'un problème où l'on calcule cet état en un nombre fini de points.

Pour cela le système est divisé en unités. La solution est formulée pour chacune d'elles puis combinée pour obtenir la solution globale.

1.1 - La méthode des éléments finis

Il est utile de considérer la méthode des éléments finis comme une méthode variationnelle.

Soit une fonctionnelle $F [u]$ définie sur un domaine D par

$$F [u] = \int_D f (s, u, \frac{\partial u}{\partial s}, \dots) ds$$

où u est un champ de fonctions inconnues dépendant de s , et f une fonction connue de s , de u et de ses dérivées.

Le champ $u_0 (s)$ qui satisfait le principe variationnel est celui qui rend la fonctionnelle stationnaire. Le problème consiste à déterminer ce champ $u_0 (s)$.

La méthode des éléments finis revient à décomposer le milieu continu en éléments ; chaque élément est étudié en faisant une hypothèse sur le champ des fonctions inconnues (approximation polynomiale). De ce fait, pour déterminer le champ des fonctions, il suffit de connaître les valeurs de celles-ci en un certain nombre de points qui sont les noeuds du maillage.

Les éléments sont ensuite assemblés suivant une loi déduite du principe variationnel. On aboutit alors à la résolution d'un système linéaire.

1.2 - La méthode des éléments finis pour la mécanique des milieux continus en élasticité

Le problème consiste à déterminer les champs de déplacement et de contrainte dans un milieu continu, connaissant la géométrie du système, les charges et les déplacements imposés.

Les inconnues principales étant les déplacements, on pourra appliquer le théorème de l'énergie potentielle :

"De tous les champs de déplacement cinématiquement admissibles, c'est le champ réel qui rend minimum l'énergie potentielle".

Il faut donc trouver le champ de déplacement réel.

Pour simplifier la formulation, nous évoquerons le cas d'un problème à deux dimensions. Le milieu sera discrétisé par des éléments triangulaires, les noeuds étant les sommets I, J, K de chaque triangle.

Nous prendrons comme fonction polynomiale pour les déplacements une fonction linéaire des coordonnées, ce qui assure la continuité des déplacements à la frontière entre deux éléments voisins.

$$\begin{aligned} u(x,y) &= A_0 + A_1x + A_2y \\ v(x,y) &= B_0 + B_1x + B_2y \end{aligned} \tag{1.1}$$

Ces relations sont vérifiées aux trois sommets ; d'où le système :

$$\{u\} = [M] \{A\}$$

avec

$$\{u\}^t = (u_I, u_J, u_K, v_I, v_J, v_K)$$

$$\{A\}^t = (A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2)$$

La matrice $[M]$ est la matrice des coordonnées.

Par dérivation de (1.1) on obtient :

$$\begin{aligned}\{\epsilon\} &= [\Delta] \{A\} \\ &= [\Delta] [M]^{-1} \{u\}\end{aligned}$$

soit en posant

$$[B] = [\Delta] [M]^{-1}$$

$$\{\epsilon\} = [B] \{u\} \quad (1.2)$$

La matrice $[B]$ est fonction des coordonnées des noeuds de l'élément.

Pour un élément donné, soumis à un champ de contrainte $\{\sigma\}$, on cherche les forces qu'il faudrait appliquer aux noeuds I, J, K pour que l'élément, considéré isolément, soit en équilibre.

Le théorème des travaux virtuels donne :

$$\{F\} = \iiint_V [B]^t \{\sigma\} dv \quad (1.3)$$

où $\{F\}$ est un vecteur formé de toutes les composantes des forces appliquées aux noeuds de l'élément.

Si nous supposons le milieu élastique, nous avons :

$$\{\sigma\} = [T] \{\epsilon\}$$

où $[T]$ est la matrice des coefficients élastiques.

Nous pouvons écrire :

$$\{F\} = [k] \{u\}$$

avec

$$[k] = \iiint_V [B]^t [T] [B] dv \quad (1.4)$$

$[k]$ est la matrice de rigidité élémentaire.

En faisant la somme de toutes les forces appliquées à chaque noeud, on obtient une relation linéaire entre les déplacements de tous les noeuds et les forces F qui y sont appliquées :

$$\{F\} = [K] \{u\} \quad (1.5)$$

[K] est la matrice de rigidité globale : elle est symétrique.

Le système (1.5) permet de calculer {U} connaissant {F}. De là on obtient aisément les contraintes :

$$\{\sigma\} = [T] [B] \{U\}$$

2 - PRINCIPES GENERAUX DES DIFFERENTES ETAPES DE CONSTRUCTION

2.1 - Conditions initiales

L'état de contrainte initial effectif est donné par la contrainte verticale induite par le poids des terres au-dessus de l'élément considéré et par la contrainte horizontale donnée par la relation :

$$\sigma'_x = K_0 \sigma'_y$$

dans laquelle K_0 est le coefficient de pression latérale des terres.

Les déplacements initiaux et contraintes de cisaillement sont nuls sur des plans horizontaux et verticaux.

2.2 - Excavation

L'excavation est simulée en appliquant des contraintes sur les faces exposées à l'excavation.

La technique utilisée consiste à calculer les contraintes créées par l'excavation, à les transformer en chargements nodaux et à appliquer aux noeuds des contraintes égales mais de signe opposé à celles calculées. On donne aux éléments excavés une rigidité minimum.

Pour cela on utilise une fonction d'interpolation :

$$\sigma = a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy$$

x, y étant les coordonnées du noeud

a_i : coefficient d'interpolation

Les coefficients d'interpolation sont calculés en utilisant les contraintes connues dans l'élément et dans trois éléments adjacents.

On obtient ainsi quatre relations du type :

$$\sigma(i) = a_1 + a_2x_i + a_3y_i + a_4x_iy_i$$

i : numéro de l'élément.

que l'on peut écrire matriciellement :

$$\{\sigma\}_e = [m] \{a\}$$

$\{\sigma\}_e$ vecteur des contraintes connues dans les éléments de l'interpolation

$[m]$ matrice des coordonnées

$\{a\}$ vecteur des coefficients d'interpolation

On obtient donc les coefficients d'interpolation :

$$\{a\} = [m]^{-1} \{\sigma\}_e$$

Ces coefficients sont alors utilisés pour connaître la contrainte $\{\sigma\}_n$ à chaque noeud.

$$\{\sigma\}_n = [n] \{a\}$$

[n] matrice des coordonnées des noeuds I, J, K, L.

On a donc

$$\{\sigma\}_n = [n] [m]^{-1} \{\sigma_e\}$$

Puis on calcule les forces nodales verticales et horizontales correspondantes

$$\{F\}_n = [H] \{\sigma\}_n$$

$$\{F\}_n = [H] [n] [m]^{-1} \{\sigma_e\}$$

Le choix des éléments d'interpolation est arbitraire. Toutefois, on ne devra pas avoir plus de deux éléments dont les centres sont sur une même ligne verticale ou horizontale. Si tel était le cas, le déterminant de la matrice [m] serait nul. On aura également intérêt à donner la même taille à tous les éléments de l'interpolation.

2.3 - Chargement dû aux forces d'écoulement

Les écoulements induisent des efforts qui affectent le comportement des sols.

Pour cela on considère que la pression d'eau change à chaque noeud et que la variation entre noeud est linéaire (cf. figure 1).

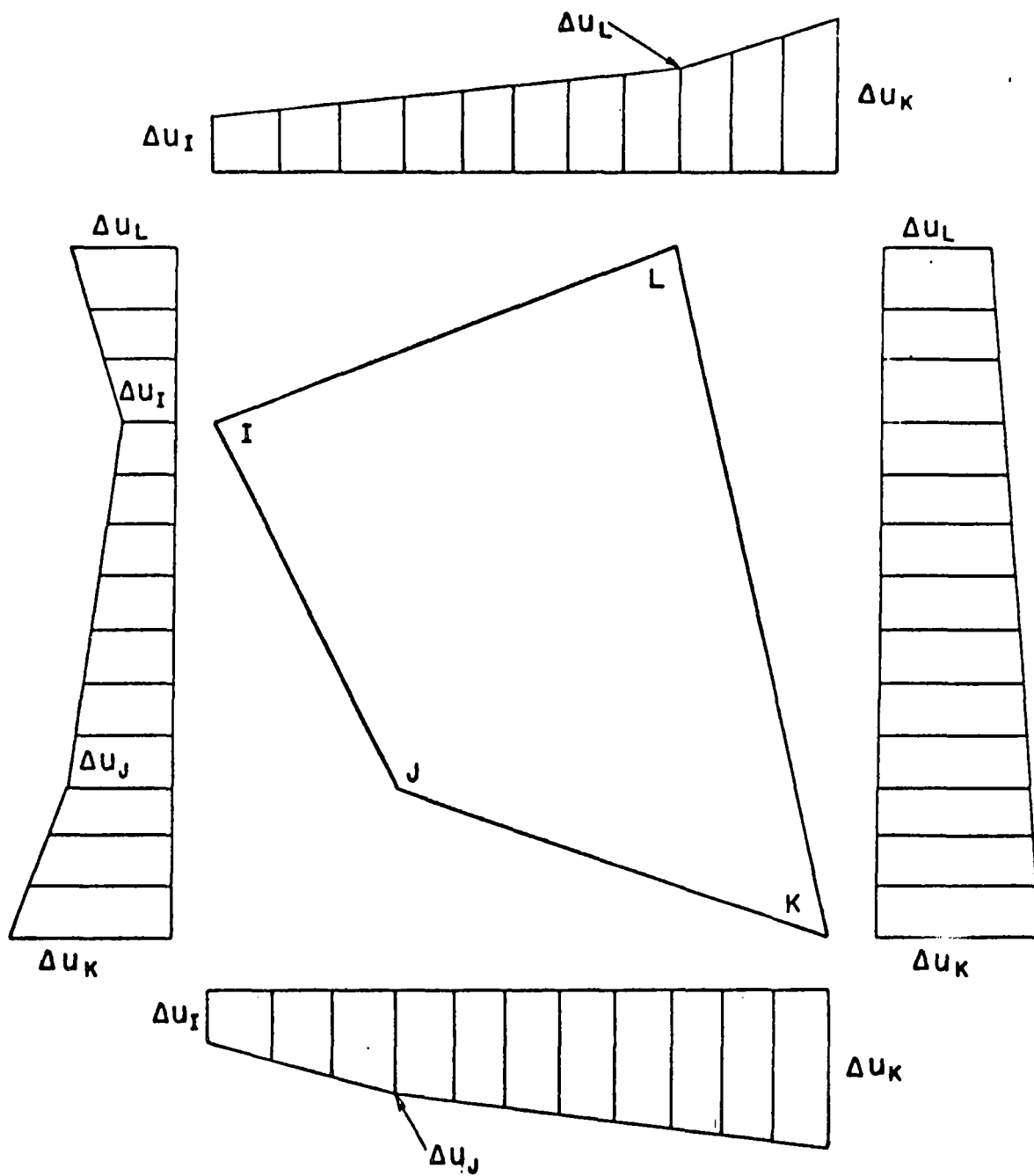


Figure 1 - Conditions aux limites dues à l'eau sur un élément quadrilatéral quelconque

Le chargement nodal est alors :

$$\begin{array}{r}
 R_x^I \\
 R_y^I \\
 R_x^J \\
 R_y^J \\
 R_x^K \\
 R_y^K \\
 R_x^L \\
 R_y^L
 \end{array}
 = \frac{1}{6}
 \begin{array}{cccc}
 2(YLI) & & & \\
 + & YIJ & 0 & YLI \\
 2(YIJ) & & & \\
 2(XIL) & XJI & 0 & XIL \\
 + & & & \\
 2(XJI) & & & \\
 & 2(YIJ) & & 0 \\
 YIJ & + & & \\
 & 2(YJK) & & \\
 & 2(XJI) & & \Delta u_I \\
 + & & & \\
 XJI & 2(XKJ) & & 0 \\
 & & & \Delta u_J \\
 & & 2(YJK) & \\
 0 & YJK & + & YKL \\
 & & 2(YKL) & \Delta u_K \\
 & & 2(XKJ) & \\
 & & + & \Delta u_L \\
 & XKJ & 2(XLK) & \\
 & & & \\
 & & & 2(YKL) \\
 YLI & 0 & YKL & + \\
 & & & 2(YLI) \\
 & & & 2(XLI) \\
 XLI & 0 & XLK & + \\
 & & & 2(XLK)
 \end{array}$$

2.4 - Mise en place de béton ou de remblai

La structure est considérée comme construite par petites étapes successives. Quand ils sont placés, les niveaux sont "liquides" c'est-à-dire qu'ils sont pesants mais non résistants. Par la suite, quand le niveau suivant est placé, ils se solidifient.

Ceci modélise bien le comportement du béton.

Pour le remblai la phase liquide correspond à la phase non compactée.

La méthode des éléments finis n'autorisant pas des tassements différentiels entre deux éléments adjacents, il conviendra de placer des joints entre les éléments en béton et les matériaux de remblai et d'une façon plus générale entre tous les éléments qui ont des modules d'Young très différents.

2.5 - Variations de température

Les variations saisonnières produisent des dilatations du béton armé qui induisent des contraintes dans le béton.

Les variations des contraintes sont données par la relation

$$\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = \frac{E \alpha \Delta T}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

E : module élastique

α : coefficient de dilatation thermique

ν : coefficient de Poisson

ΔT : variation de température.

2.6 - Comportement des joints

Avant excavation, un joint doit être inactif et ainsi avoir servi à maintenir les compatibilités entre noeuds c'est-à-dire ne pas accepter de déplacements entre deux éléments adjacents. Pour cela on donne une valeur très grande aux raideurs normales et tangentielles.

Les joints placés entre deux éléments bidimensionnels du même matériau sont laissés inactifs.

3 - LOI DE COMPORTEMENT

Quel que soit le matériau et la façon dont il a été échantillonné, trois caractéristiques du comportement du sol sont généralement observées :

- dépendance des contraintes,
- non linéarité,
- non élasticité.

Ces caractères sont mis en évidence par des essais de compressions sous des pressions de confinement différentes (fig. 2).

Pour tenir compte de ces phénomènes, DUNCAN et CHANG (1969) utilisent deux relations de comportement, une pour le premier chargement, et une seconde pour un cycle décharge-recharge.

3.1 - Premier chargement

La simulation du premier chargement se fait par une relation hyperbolique de la forme (fig. 3) :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\varepsilon}{a + b\varepsilon} \quad (1)$$

$\sigma_1 - \sigma_3$: déviateur des contraintes

ε : déformation axiale

a, b : paramètres dépendant du type de sol et de l'état de contrainte.

$$\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3} = a + b\varepsilon \quad (2)$$

On voit que pour $\varepsilon = 0$ on a :

$$a = \frac{1}{\text{module tangent initial}}$$

$$b = \frac{1}{\text{asymptote}} = \frac{1}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ult}}}$$

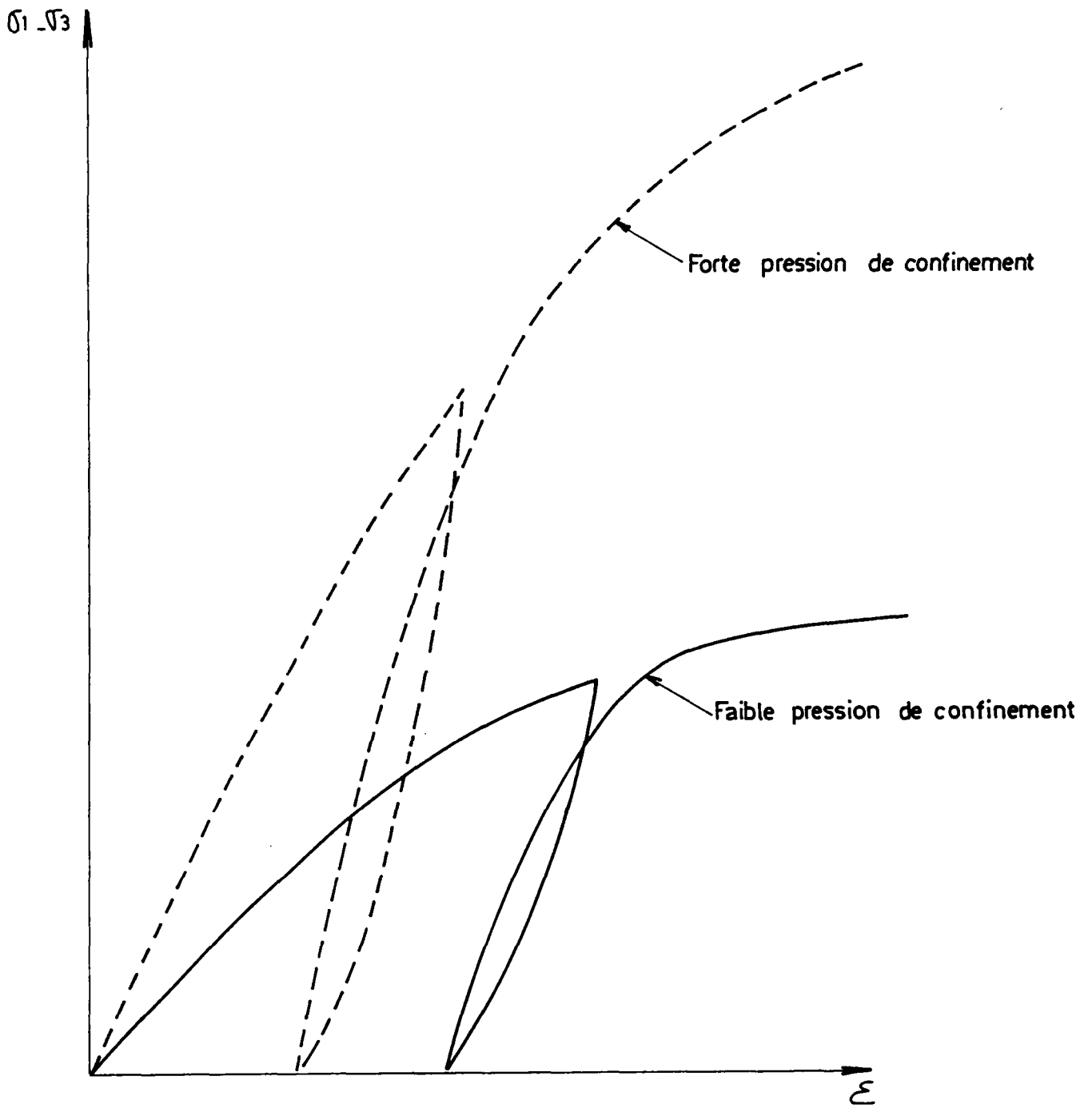


Figure 2 - Loi de comportement d'un sol sous différentes pressions de confinement

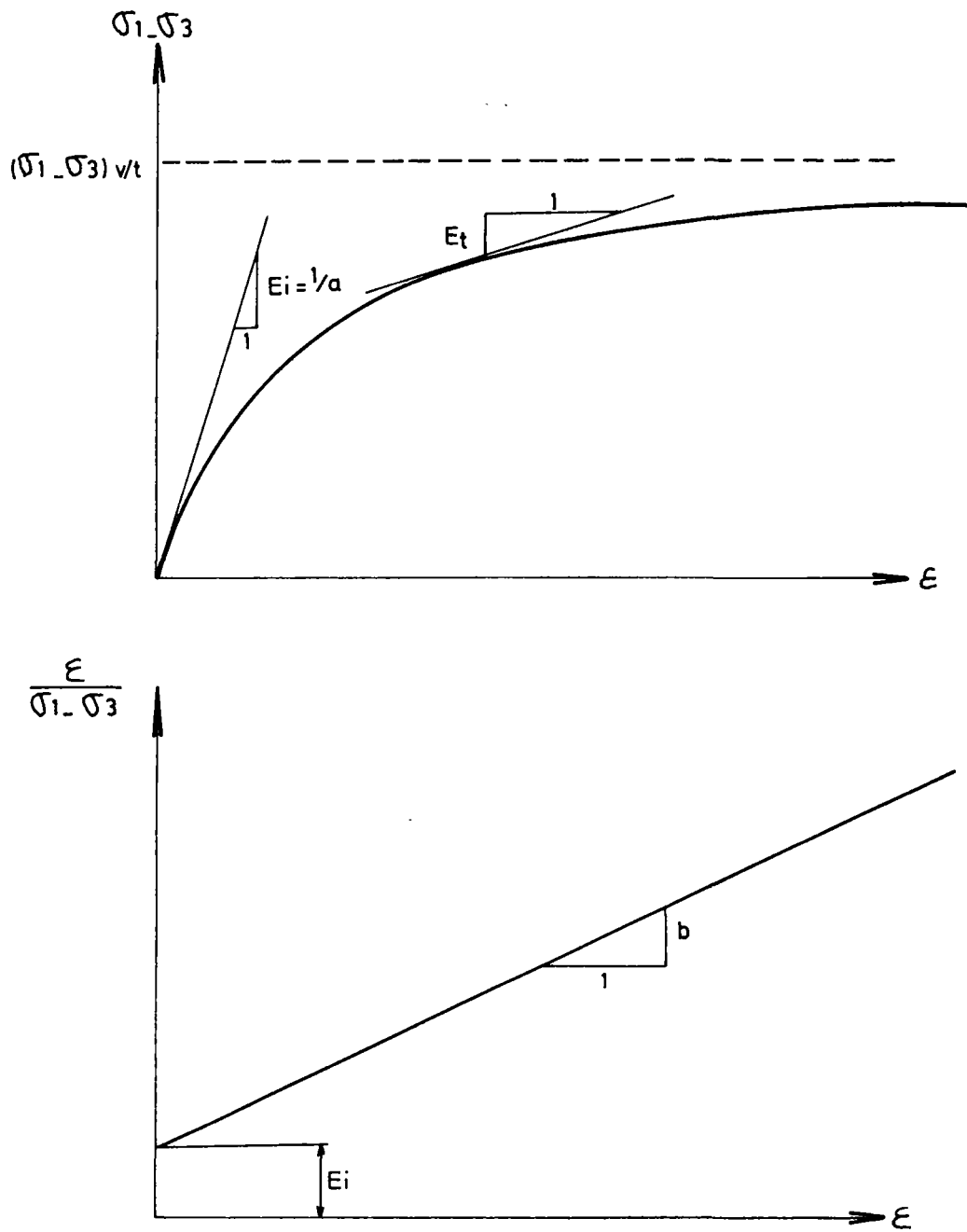


Figure 3 - Loi de comportement hyperbolique

On peut déterminer empiriquement un "rapport de rupture" Rf par :

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = Rf (\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$$

(pour beaucoup de sols ce rapport vaut 0,85)

En dérivant l'équation (1) on obtient l'expression du module tangent :

$$E_t = \left[1 - \frac{Rf (\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} \right]^2 E_i \quad (3)$$

Le terme $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}$ sera appelé niveau de contrainte.

Ce niveau de contrainte peut s'exprimer en fonction des paramètres de Mohr-Coulomb par la relation :

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_3 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\Gamma}{4} + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)} \quad (4)$$

L'effet de la pression de confinement sur la valeur de E_i est pris en compte par une relation empirique du type :

$$E_i = K_m p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (5)$$

On obtient ainsi pour le module tangent :

$$E_t = \left[1 - Rf \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} \right]^2 K_m p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (6)$$

3.2 - Décharge

DUNCAN et CHANG ont montré que le comportement du sol lors d'un déchargement suivi d'un chargement pouvait être représenté par un module égal à la pente de la droite joignant les extrémités du cycle d'hysteresis (fig. 4) produit par ce type de chargement. Ce module varie avec la pression de confinement de la façon suivante :

$$E_{ur} = K_{ur} p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (7)$$

K_{ur} et n sont des constantes pour un type de sol donné. Il a été montré que les valeurs de (n) dans les équations (5) et (7) sont les mêmes mais que K_{ur} est supérieur à K_m .

3.3 - Procédure d'analyse

Puisque les paramètres entrant dans la formulation de CHANG sont dépendants des contraintes, chaque élément du maillage doit avoir un module différent. Pour un incrément donné, le module est évalué pour chaque élément en fonction des contraintes qui existaient dans l'élément avant l'exécution.

Une itération peut être nécessaire si la variation de contrainte durant un incrément est importante vis-à-vis des contraintes préexistantes dans l'élément.

Le critère utilisé pour contrôler l'emploi de E_{ur} ou E_t est basé sur la valeur maximale prévue de $|\sigma_1 - \sigma_3|$. Pour toute valeur de $|\sigma_1 - \sigma_3|$ inférieure à ce seuil, le module considéré sera E_{ur} , dans l'autre cas on prendra E_t .

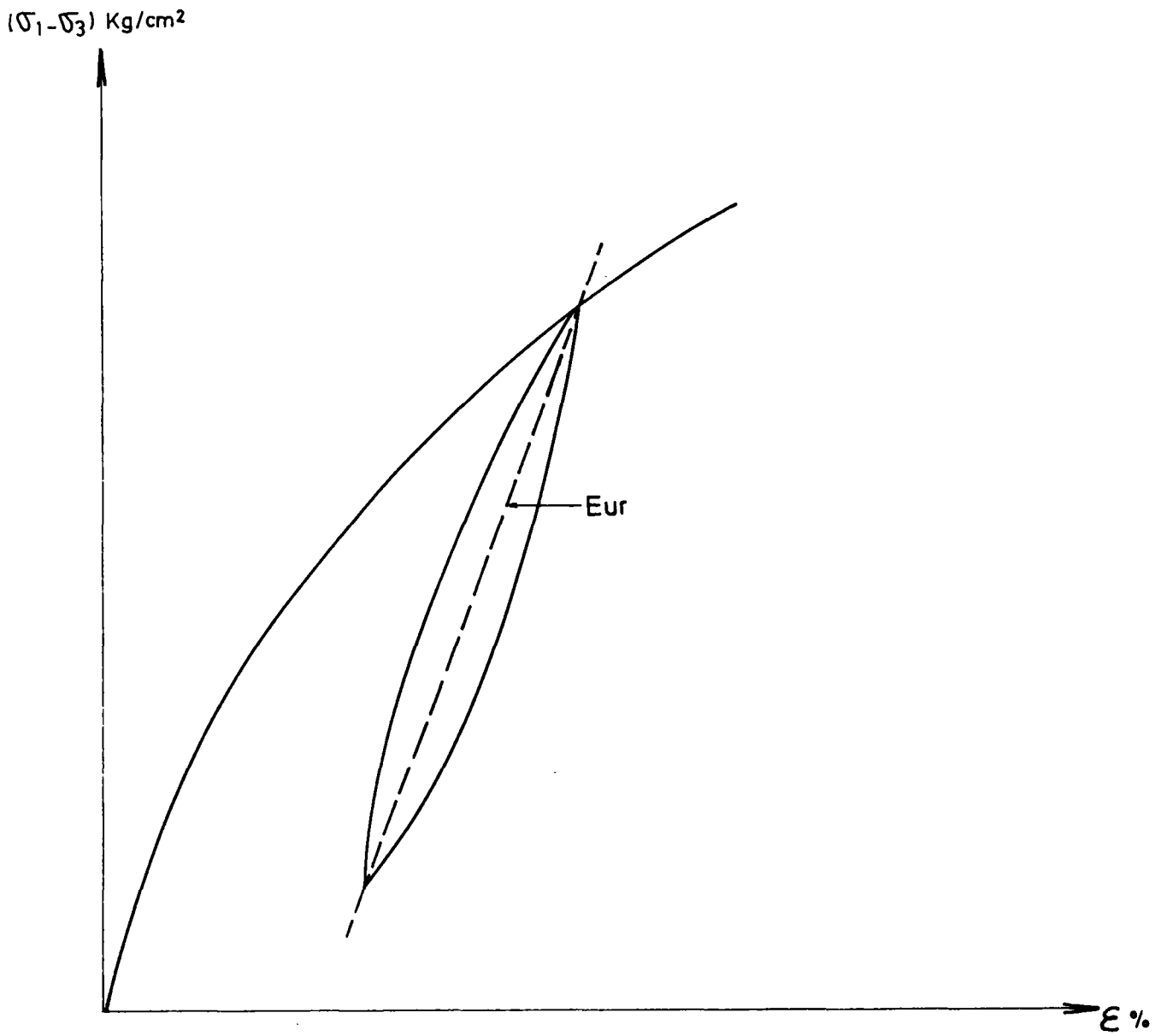


Figure 4 - Détermination du module pour un cycle décharge-charge

4 - DETERMINATION DES PARAMETRES

4.1 - Détermination des paramètres à partir d'essais au triaxial

La figure 5 montre comment déterminer les valeurs de $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$, $K_{1,n}$ à partir des résultats de l'essai triaxial pour le chargement.

La procédure est identique pour un cycle décharge, charge après avoir évalué le module E_{ur} comme l'indique la figure 6.

Le coefficient de Poisson sera donné par la relation

$$\nu = \frac{\Delta \varepsilon_v - \Delta \varepsilon_1}{2 \Delta \varepsilon_1} \quad (8)$$

ε_v , ε_1 : déformation volumique, axiale.

4.2 - Détermination des paramètres à partir d'essais de cisaillement et de consolidation unidimensionnelle

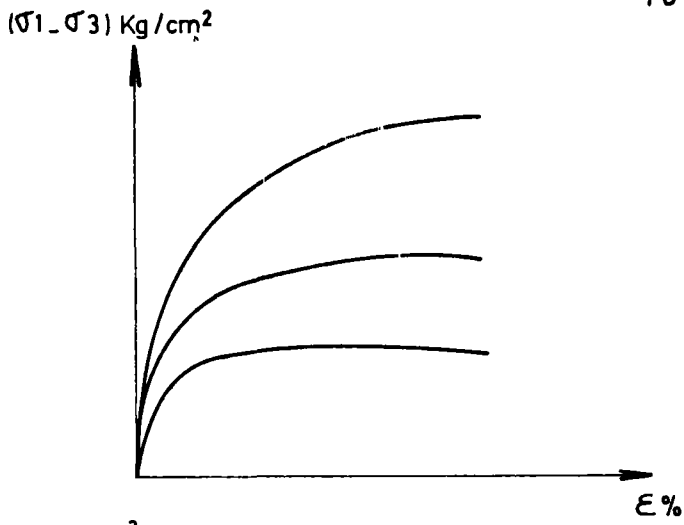
Pour un calcul à long terme, le comportement du sol doit être observé dans des conditions drainées.

Mais beaucoup de formations argileuses ayant une très faible perméabilité ne peuvent être étudiées au triaxial à cause du temps important que nécessiterait l'essai.

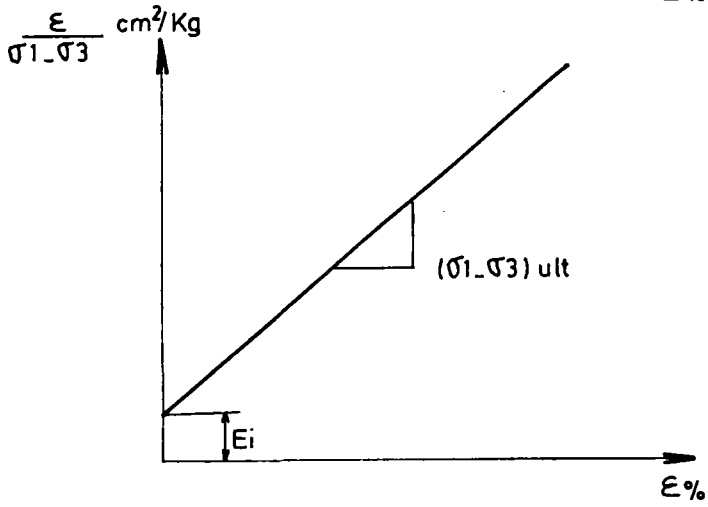
Dans ces conditions, il est possible de déterminer les paramètres du sol à l'aide d'un essai de cisaillement et d'un essai oedométrique.

- Essai de cisaillement

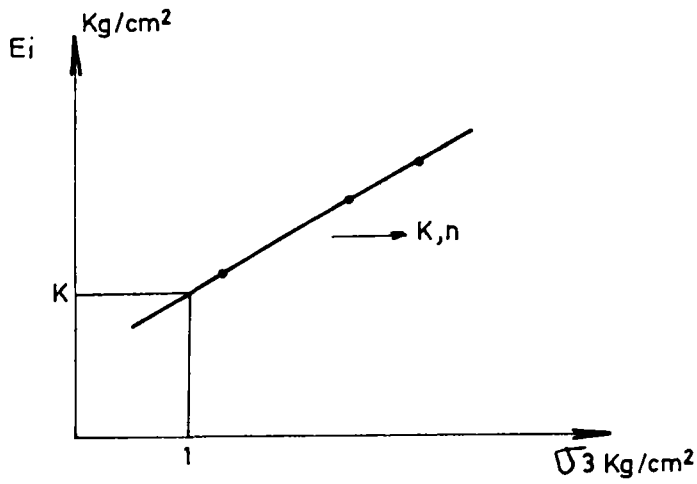
Les résultats de cet essai permettent de déterminer les paramètres ϕ' et c' .



Résultats des essais triaxiaux pour différentes pressions de confinement



Pour chaque pression de confinement, on obtient E_i



$$E = K \text{ pa} \left(\frac{\sigma_3}{\text{pa}} \right)^n$$

Figure 5 - Détermination des valeurs de k et n à partir d'essais au triaxial

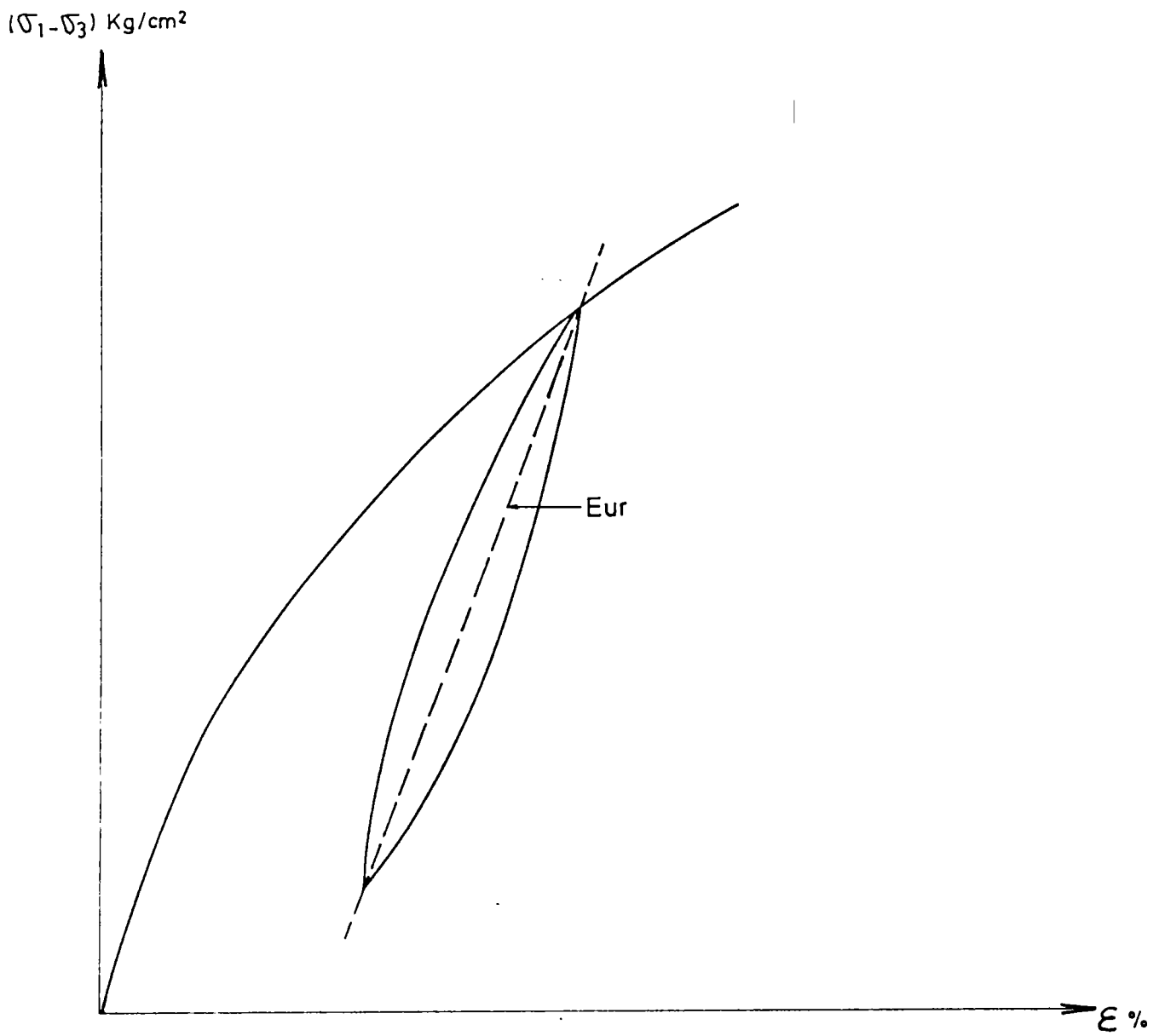


Figure 6 - Détermination du module pour un cycle décharge-charge

- Essai oedométrique

1) Premier chargement

En négligeant le frottement contre les parois de l'appareil, la pression de confinement pour le premier chargement est donnée par :

$$\sigma'_3 = \sigma'_x = K_o p' = K_o \sigma'_1 \quad (9)$$

Le module tangent vaut :

$$E_t = \frac{1 + e_o}{a_v} \left[1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu} \right] \quad (10)$$

où e_o = indice des vides initial
 a_v = coefficient de compressibilité

(fig. 7)

En utilisant le coefficient de pression latérale

$$K_o = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (11)$$

on obtient :

$$E_t = \frac{1 + e_o}{a_v} \left[1 - \frac{2K_o^2}{1 + K_o} \right] \quad (12)$$

Le module initial E_i est tiré de l'équation (3)

$$E_i = E_t / \left[1 - Rf \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} \right]^2 \quad (13)$$

qui devient :

$$E_i = \frac{1 + e_o}{a_v} \frac{1 - \frac{2K_o^2}{1 + K_o}}{\left[1 - Rf \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} \right]^2} \quad (14)$$

Indice des
vides , e

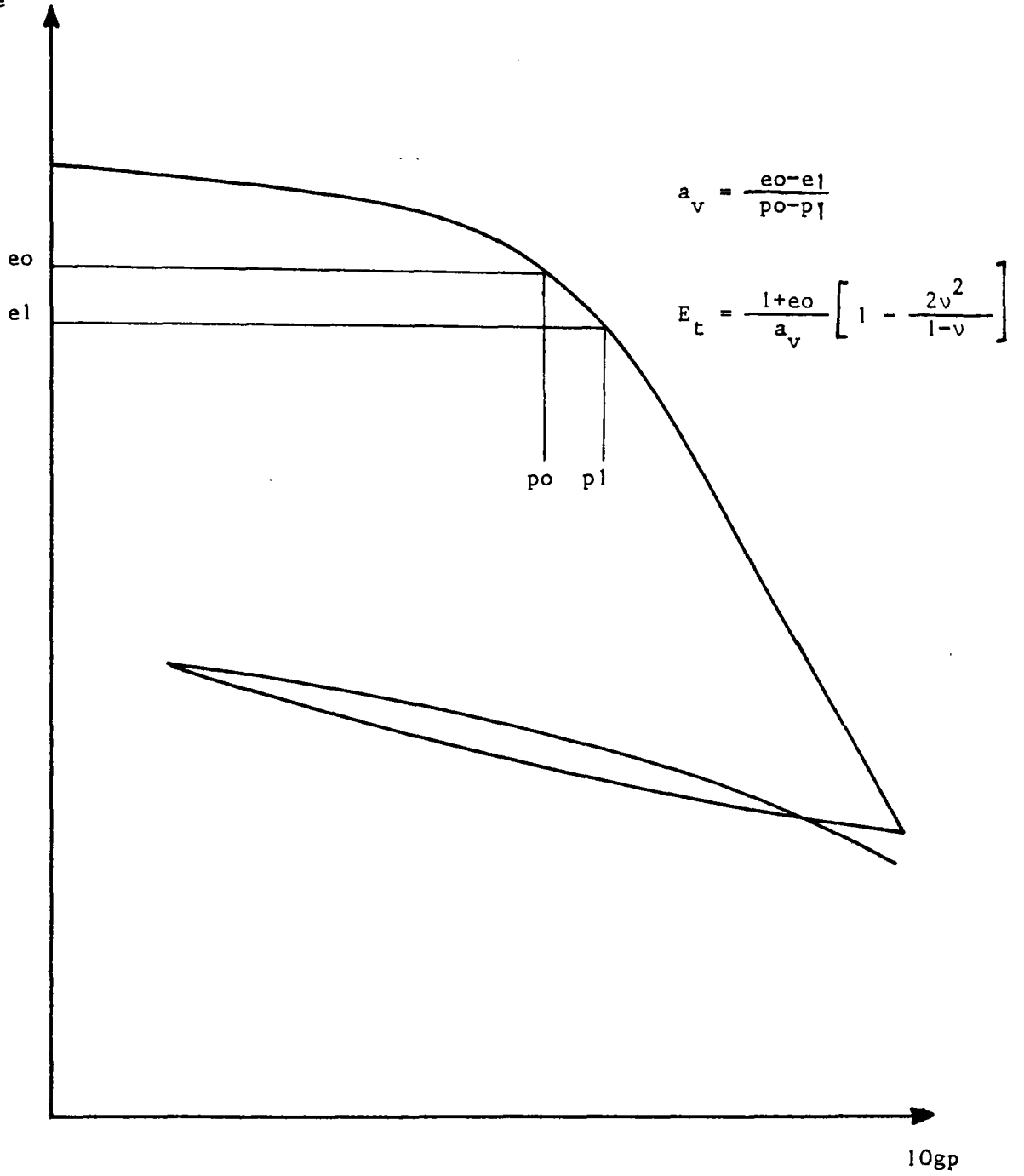


Figure 7 - Courbe de consolidation

Détermination du niveau de contrainte lors du premier chargement :

$$\begin{aligned}\sigma'_3 &= K_o \sigma'_1 \\ \sigma_1 - \sigma_3 &= \sigma'_3 \left(\frac{1 - K_o}{K_o} \right)\end{aligned}\quad (15)$$

en substituant dans l'équation (4) on obtient :

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} = \frac{\sigma'_3 \left(\frac{1 - K_o}{K_o} \right)}{\sigma'_3 \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) - 1 \right] + 2c' \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right)}\quad (16)$$

Cette expression peut se simplifier en notant que lors du premier chargement le sol est normalement consolidé.

Comme pour de nombreux sols normalement consolidés, c' est nul, l'équation (16) devient :

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} = \frac{1 - K_o}{K_o \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) - 1 \right]}\quad (17)$$

Donc si c' vaut zéro, le niveau de contrainte ne dépend plus de σ'_3 .

En introduisant l'approximation proposée par JACKY (1948) pour K_o :

$$K_o = 1 - \sin \phi'\quad (18)$$

l'équation (17) se réduit à :

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} = 0,5\quad (19)$$

Mais en général, le niveau de contrainte ne vaut pas 0,5. Le module initial a pour expression :

$$E_i = E_t / \left[1 - Rf \frac{1 - K_o}{K_o \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) - 1 \right]} \right]^2\quad (20)$$

En appliquant l'équation (20) aux résultats des tests de consolidation on peut faire les remarques suivantes concernant le coefficient (n) de l'équation (5) :

- pour une courbe e, log σ' concave, n est inférieur à 1
- pour une courbe vierge droite, n vaut 1.

Sous ces conditions on a :

$$K_m = \frac{2,3 C (1 + e_0)}{C_c K_0} \quad (21)$$

où C_c est l'indice de compression (pente de la courbe vierge).

avec

$$C = \left[1 - \frac{2 K_0^2}{1 + K_0} \right] \left[1 - R_f \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} \right]^2 \quad (22)$$

2) Décharge - charge

La détermination du module de déchargement à partir de la courbe de consolidation se fait de la façon suivante :

- Le coefficient de pression latérale pour chaque cas de chargement n'est plus K_0 mais $K_0^\Delta \neq K_0$.
- Les valeurs de K_0 et K_0^Δ augmentent avec le coefficient de consolidation au cours de la décharge.
- Le module de déchargement est indépendant du niveau de contrainte.

La valeur de K_0^Δ est donnée par la figure en fonction de l'indice de plasticité et du coefficient de consolidation (fig. 8)

Le module vaut alors :

$$E_{ur} = \frac{1 + e_0}{av} \left[1 - \frac{2 (K_0^\Delta)^2}{1 + K_0^\Delta} \right] \quad (23)$$

$$K_{ur} = \frac{E_{ur}}{P_a} / \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n \quad (24)$$

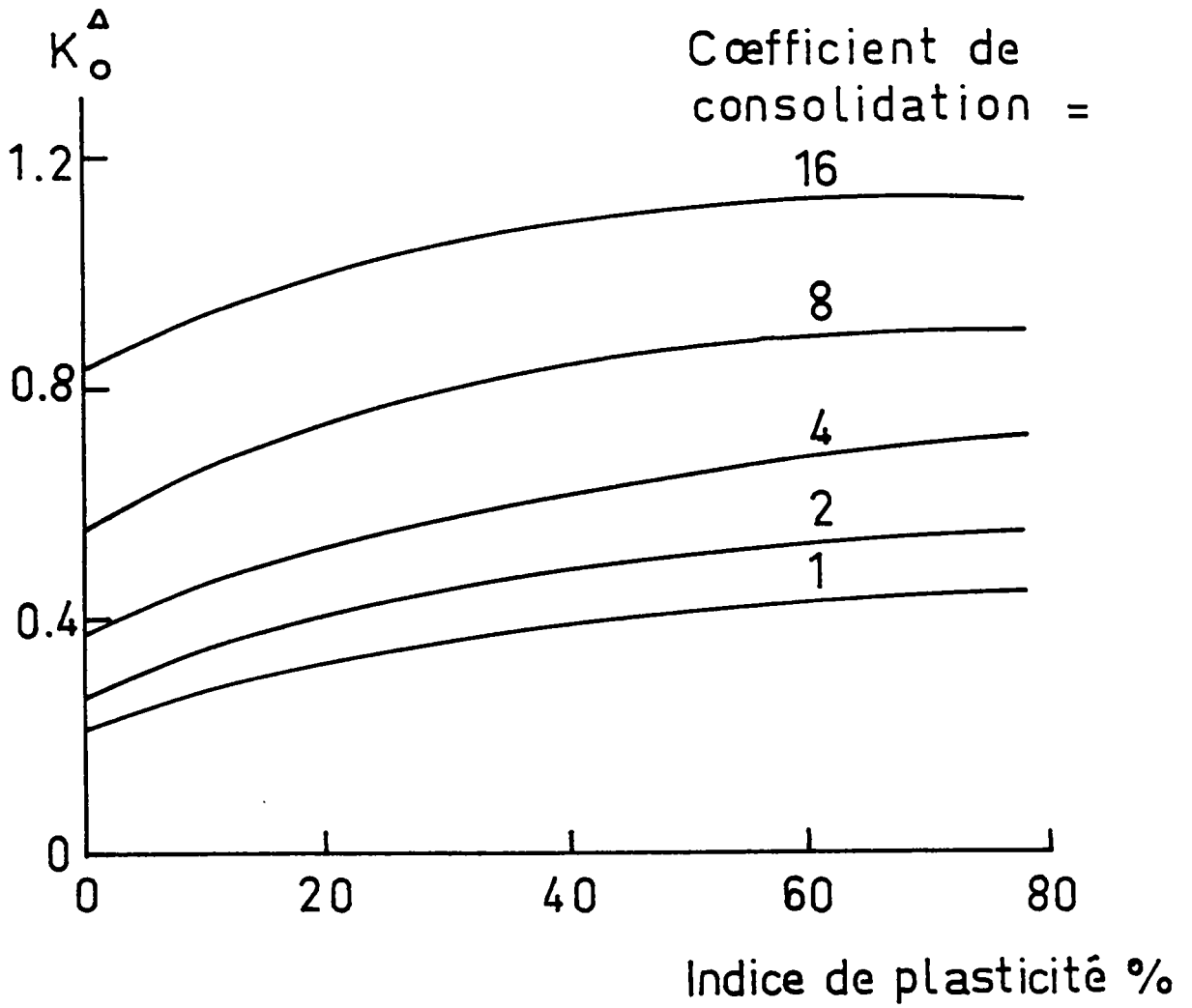


Figure 8 - Coefficient de pression latérale K_o^Δ

5 - COMPORTEMENT DES JOINTS ENTRE REMBLAI ET BETON

Le rapport des modules du béton et du remblai étant de l'ordre de 10^3 , il convient de placer des joints au contact de ces matériaux pour permettre des déplacements entre éléments voisins.

Les paramètres modélisant les propriétés de ces joints sont :

- une raideur normale, k_n
- une raideur tangentielle, k_s .

Ces coefficients sont liés aux contraintes normales et tangentielles par les relations :

$$\begin{aligned} k_n \Delta_n &= \sigma_n \\ k_s \Delta_s &= \tau \end{aligned} \tag{25}$$

où Δ_n est le déplacement moyen normal et Δ_s le déplacement moyen tangentiel.

La relation existant entre la contrainte de cisaillement et le déplacement tangentiel est approximée par un hyperbole :

$$\tau = \frac{\Delta_s}{a + b \Delta_s} \tag{26}$$

où a et b sont des constantes dépendant des caractéristiques de dureté du joint et de la contrainte normale.

L'équation (26) peut être linéarisée et devient :

$$\frac{\Delta_s}{\tau} = a + b \Delta_s \tag{27}$$

Expérimentalement cette formulation correspond bien à la réalité. Toutefois, il sera prudent de déterminer les paramètres sur les droites entre 70 et 95 % de mobilisation de la résistance au cisaillement.

$$a = \frac{1}{k_{si}} \quad (28)$$

k_{si} raideur tangente initiale

$$b = \frac{1}{\tau} - \frac{a}{\Delta_s}$$

Quand Δ_s augmente, τ tend vers sa valeur asymptotique τ_{ult}

Donc

$$b = \frac{1}{\tau_{ult}} \quad (29)$$

On obtient k_{st} par la relation

$$k_{st} = \frac{d\tau}{d\Delta_s} = \frac{a}{(a + b \Delta_s)^2} \quad (30)$$

De l'équation (27) on tire :

$$\Delta_s = \frac{a\tau}{1 - b\tau}$$

d'où
$$\Delta_s = \frac{(\tau_{ult}) \tau}{k_{si} (\tau_{ult} - \tau)} \quad (31)$$

soit
$$k_{st} = k_{si} \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{ult}}\right)^2 \quad (32)$$

Comme précédemment on définit un rapport R_f par :

$$R_f = \frac{\tau_f}{\tau_{ult}} \quad \text{qui se situe autour de } 0,88.$$

(32) devient :

$$k_{st} = k_{si} \left(1 - R_f \frac{\tau}{\tau_f}\right)^2 \quad (33)$$

en écrivant que $\tau_f = \sigma_n \operatorname{tg} \tau$ (34)

on obtient $k_{st} = k_{si} \left(1 - R_f \frac{\tau}{\sigma_n \operatorname{tg} \tau}\right)^2$ (35)

k_{si} est lié à la contrainte normale par la relation :

$$k_{si} = K_j \gamma_w \left(\frac{\sigma_n}{p_a}\right)^n \quad (36)$$

le poids volumique de l'eau sert à rendre le coefficient K_j sans dimension.

D'où :

$$k_{st} = K_j \gamma_w \left(\frac{\sigma_n}{p_a}\right)^n \left(1 - R_f \frac{\tau}{\sigma_n \operatorname{tg} \tau}\right)^2 \quad (37)$$

Les notations font apparaître des contraintes totales mais si le joint est sous l'eau il conviendra de raisonner en contraintes effectives.

6 - DISCRETISATION D'UNE STRUCTURE

Le problème est de trouver le nombre, la forme et les dimensions des éléments pour simuler conformément le problème réel.

La règle générale est que la précision du modèle, mais également le temps de calcul sur ordinateur, augmentent avec la finesse du maillage.

Toutefois, on pourra respecter les règles suivantes :

- Toute variation brutale de géométrie, de chargement, ou de propriété des matériaux, doit comporter sur sa frontière un certain nombre de noeuds et de lignes joignant ces noeuds.
- Le maillage doit être plus fin dans les zones de concentration de contraintes ainsi que dans les zones courbes pour représenter au mieux la géométrie de la structure.
- Notations : les éléments et noeuds seront définis comme indiqué sur l'exemple figure 9.

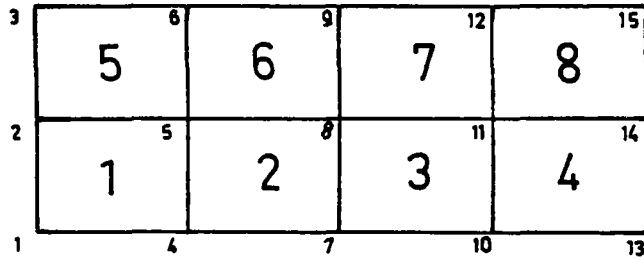


Figure 9

- La largeur de bande du système algébrique final dépend de la taille de la matrice de raideur de chaque élément et du système de numération des noeuds.

La largeur de bande du système dépend de la plus grande différence qui existe entre les numéros des noeuds d'un même élément. Appelons D cette différence.

La demie largeur de bande B est donnée par

$$B = (D + 1) f$$

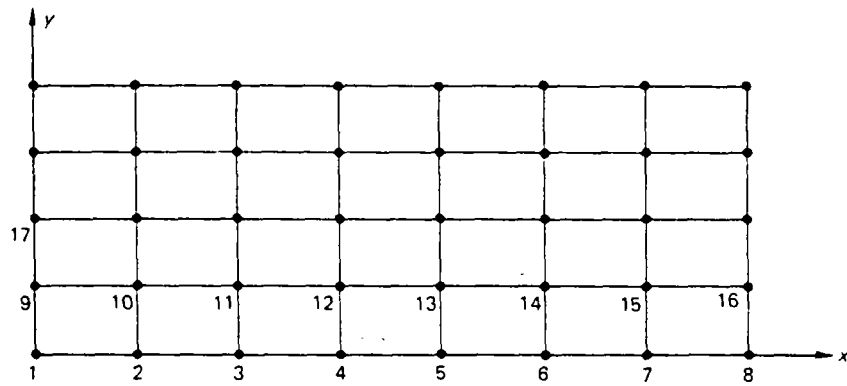
où f est le degré de liberté à chaque noeud.

Pour minimiser B il faut donc avoir D le plus petit possible.

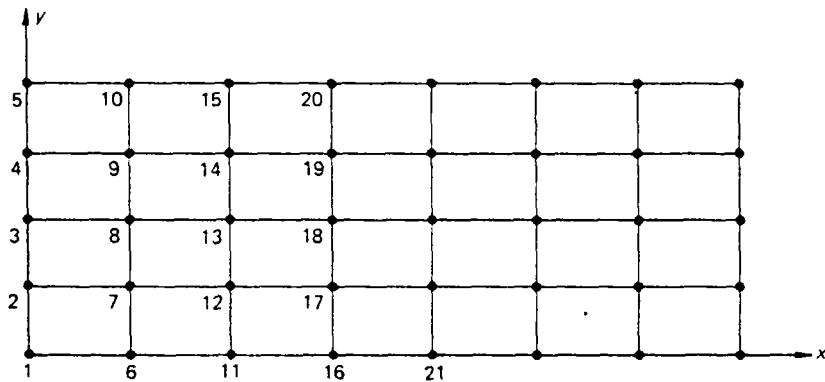
Sur la figure 10 on voit que pour le cas (a) D vaut 9 alors que pour le cas (b) sa valeur est de 6.

- L'exactitude de la solution dépend de l'aspect des éléments. Cet aspect peut être défini comme le rapport entre la plus grande et la plus petite dimension de l'élément. Ce rapport doit si possible être en accord avec les déplacements : par exemple, pour un élément soumis à des déplacements égaux dans toutes les directions, on aura tendance à prendre des éléments les plus carrés possibles.

- Quand il est nécessaire de placer des joints actifs (faible raideur), on aura intérêt, pour des raisons de compatibilité des déformations, à les mettre en "ligne" de façon à ce qu'ils joignent deux bords du maillage, quitte à laisser une partie de cette ligne inactive.



(a)



(b)

Figure 10 - Influence de la numérotation des noeuds sur la largeur de bande

7 - ROLES DES SOUS-PROGRAMMES

- Le programme principal lit les données et appelle les sous-programmes.
- INITIAL établit les contraintes initiales pour tous les éléments, les déplacements pour tous les noeuds, les modules pour les éléments bidimensionnels et les rigidités pour les joints.
- STRSTF assemble la matrice de raideur globale, ajoute les charges concentrées aux noeuds, les charges dues aux pressions uniformes et modifie la matrice de raideur en fonction des conditions aux limites.
- QUAD formule les équations et si spécifié fait intervenir les chargements dus au poids ou au changement de température.
- LSTSTF forme la matrice de raideur de chaque élément bidimensionnel.
- JTSTF forme la matrice de raideur de chaque joint.
- Si une excavation est nécessaire, EXCAV interpole les contraintes, calcule les forces nodales équivalentes et donne des raideurs minimum aux éléments excavés qu'il s'agisse de joints ou d'éléments bidimensionnels.
- EQNDFØ calcule les forces nodales équivalentes aux répartitions de contraintes uniformes.
- Quand on spécifie un changement de pression dans un élément perméable, SEEP calcule la variation de pression interstitielle aux noeuds.
- S'il y a mise en place de remblai ou de béton, BUILD attribue les types de matériaux, les modules initiaux, et "active" les joints.
- BANSØL résoud le système pour déterminer les déplacements nodaux.
- STRESS calcule les contraintes à chaque incrément, les cumule et les écrits pour les éléments bidimensionnels. De plus les déplacements sont cumulés. Les contraintes pour chaque élément et les déplacements pour chaque noeud sont punchés au dernier incrément de l'analyse.

- JSTRES calcule et écrit les contraintes pour les joints.
- MØDCAL effectue les tests de rupture sur tous les éléments, calcule les modules et les raideurs pour respectivement les éléments bidimensionnels et les joints.

8 - COMPATIBILITE AVEC LE PROGRAMME DE TRACE TRAME

Le programme TRAME permet les traçages suivants :

- maillage seul,
- maillage plus n° des éléments,
- maillage plus n° des noeuds,
- contraintes,
- contrainte principale/contrainte secondaire dans les éléments,
- déformée du maillage,
- déplacements sous forme de segments.

Il est intéressant de vérifier le maillage et les numérotations avant de lancer le programme Løck. A cet effet les cartes des noeuds et des éléments sont compatibles pour les deux programmes.

Løck permet d'obtenir en sortie les contraintes et déplacements sur cartes perforées. Les formats de ces cartes permettent de les utiliser directement sur TRAME.

9 - DEFINITION DES DONNEES

9.1 - Carte d'identification FØRMAT (20 A 4)

Titre du problème qui sera imprimé avec les résultats.

9.2 - Carte de données générales FØRMAT (10 I 5, 2 F 10.3)

Cols	1-5	NUMNP	- nombre de noeuds (maximum 450)
	6-10	NUMEL	- nombre d'éléments, y compris les joints (maximum 400)
	11-15	NUMMAT	- nombre de matériaux, y compris les joints (maximum 30, minimum 2)
	16-20	NUMSØL	- nombre de matériaux pour les éléments à deux dimensions (maximum 20)
	21-25	NUMJT	- nombre de joints (maximum 320)
	26-30	NUMAPP	- nombre d'itérations (généralement 2)
	31-35	INIT	- INIT = 1, les conditions initiales sont calculées, les joints sont inactifs. INIT = 0, les données initiales sont lues (contraintes effectives)
	36-40	NC	- nombre de cas de chargement
	41-45	LØRUL	- LØRUL = 1, si le premier cas de construction est un chargement LØRUL = 0 s'il s'agit d'un déchargement
	46-50	ITRD	- ITRD = 1, les résultats pour chaque itération sont imprimés ITRD = 0, les résultats de la dernière itération sont seulement imprimés
	51-60	GAMW	- poids volumique de l'eau T/m ³
	61-70	PATM	- pression atmosphérique T/m ²

9.3 - Caractéristiques des éléments bidimensionnels

La première carte est fournie une seule fois. La seconde et la troisième sont à fournir pour chaque matériau. Au total (2 x NUMSØL + 1) cartes.

Pour les matériaux excavés, on prend un module d'Young et un coefficient de Poisson de 0,001 et toutes les autres valeurs nulles.

Pour le béton ne préciser que : poids volumique, module d'Young, coefficient de Poisson, et coefficient de dilatation thermique (= 0 s'il n'y a pas de changement de température).

Si on désire que les matériaux aient un comportement élastique linéaire, il suffit de prendre :

EXP(N) = 0 et prendre E (N) égal à la valeur désirée.

Pour les matériaux en-dessous de la nappe, il faut prendre le poids déjaugé.

Carte n° 1 FØRMAT (4 I 10)

Cols	1-10	NATYP	- numéro du matériau de la fouille après excavation par exemple air) (écrire 50 non utilisé)
	11-20	NCTYP	- numéro du matériau structural (écrire 50 si non utilisé)
	21-30	NB1TYP	- numéro du matériau pour remblai n° 1 (50 si non utilisé)
	31-40	NB2TYP	- numéro du matériau pour remblai n° 2 (50 si non utilisé)

Carte n° 2 FØRMAT (7 F 10.5)

Cols	1-10	GUI(N)	- coefficient de Poisson avant rupture
	11-20	GUF(N)	- coefficient de Poisson à la rupture, inférieur à 0,49
	21-30	GAM(N)	- poids volumique T/m ³
	31-40	FR(N)	- rapport de rupture
	41-50	AØ(N)	- coefficient de poussée des terres au repos
	51-60	PHI(N)	- angle de frottement (en degré)
	61-70	EXP(N)	- exposant n (= 0 pour les matériaux élastiques).

Carte n° 3 FØRMAT (5 E 15.5)

Cols 1-15	HCØEF(N)	- coefficient K_m de la relation $E_i = K_m p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a}\right)^n$
16-30	ULCØEF(N)	- coefficient K_{ur} de la relation $E_{ur} = K_{ur} p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a}\right)^n$
31-45	CØHE(N)	- cohésion T/m ²
46-60	E(N)	- module d'Young pour les matériaux structuraux ou les matériaux élastiques, sinon zéro.
61-75	ALPHA(N)	- coefficient de dilatation thermique pour matériau structural, sinon zéro.

9.4 - Propriétés des joints FØRMAT (8 F 10.5)

Une carte pour chaque type de joint.

Cols 1-10	EXPJ(N)	- exposant n
11-20	PHJ(N)	- angle de frottement (degré)
21-30	RKS(N)	- raideur résiduelle de cisaillement
31-40	AO(N)	- coefficient de poussée des terres au repos dans les éléments bidimensionnels adjacents
41-50	CØJ(N)	- cohésion
51-60	CØEFJ(N)	- coefficient K_j de la relation $k_{si} = \gamma_w K_j \left(\frac{\sigma_n}{p_a}\right)^n$
61-70	GU(N)	- coefficient de Poisson dans les éléments bidimensionnels adjacents pour un état initial inactif
71-80	FR(N)	- rapport de rupture.

9.5 - Cartes de noeuds FØRMAT (I 5, 5 X, 4 F 10.2)

Cols 1-5	N	- numéro du noeud
11-20	X(N)	- abscisse (+ vers la droite)
21-30	Y(N)	- ordonnée (+ vers le haut)
31-40	PP(N)	- pression d'eau
41-50	DP(N)	- changement de pression

9.6 - Conditions aux limites

Carte n° 1 FØRMAT (3 I 10)

Cols	1-10	NØY	- nombre de noeuds pour lesquels le déplacement en Y est bloqué
	11-20	NØX	- nombre de noeuds pour lesquels le déplacement en X est bloqué
	21-30	NØXY	- nombre de noeuds pour lesquels le déplacement en X et en Y est bloqué.

Carte n° 2 FØRMAT (8 I 10)

Cols	1-10	IC(N)	- numéro du noeud dont le mouvement est bloqué en Y.
------	------	-------	--

On continue ainsi en séquence jusqu'au bout de la carte et éventuellement sur les suivantes.

Carte n° 3 FØRMAT (8 I 10)

Cols	1-10	IC(N)	- numéro du noeud dont le mouvement est bloqué en X.
------	------	-------	--

On continue ainsi en séquence jusqu'au bout de la carte et éventuellement sur les suivantes.

Carte n° 4 FØRMAT (8 I 10)

Cols	1-10	IC(N)	- numéro du noeud dont le mouvement est bloqué en X et en Y.
------	------	-------	--

On continue ainsi en séquence jusqu'au bout de la carte et éventuellement sur les suivantes.

9.7 - Cartes des éléments FØRMAT (6 I 5)

Cols	1-5	N	- numéro de l'élément
	6-10	IL(N, 1)	- numéro du point nodal I
	11-15	IL(N, 2)	- numéro du point nodal J
	16-20	IL(N, 3)	- numéro du point nodal K
	21-25	IL(N, 4)	- numéro du point nodal L
	26-30	IL(N, 5)	- numéro du matériau constituant l'élément.

Les joints doivent être numérotés en premier, de 1 à NUMJT.

Ensuite viennent les éléments à deux dimensions.

Les noeuds doivent être donnés consécutivement en tournant dans le sens trigonométrique autour de l'élément.

Pour les joints, le premier et le second noeud doivent être aux deux extrémités de l'élément.

Les éléments bidimensionnels de forme triangulaire doivent obligatoirement avoir quatre noeuds (cf. fig.11).

Ils ne doivent pas figurer sur les bords d'une excavation.

Les numéros des noeuds à l'intérieur d'un élément ne doivent pas différer de plus de 30.

Si des éléments sont omis, ils sont générés en augmentant le numéro de noeud de 1 et en utilisant le même matériau que le dernier élément spécifié. Le premier et le dernier élément doivent apparaître.

Le format de cette carte est compatible avec le programme de tracé TRAME.

9.8 - Cartes de contraintes, déplacements, raideur des joints

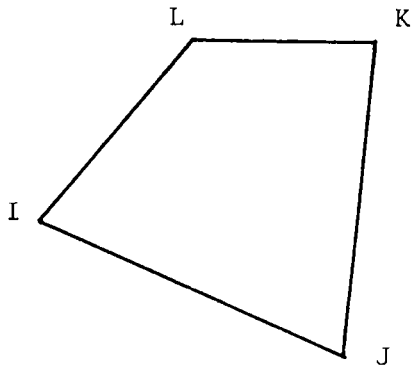
Ces cartes sont lues uniquement si INIT = 0.

Elles peuvent être obtenues par une sortie perforatrice à un incrément choisi. Cependant, elles peuvent être utilisées pour entrer les conditions initiales.

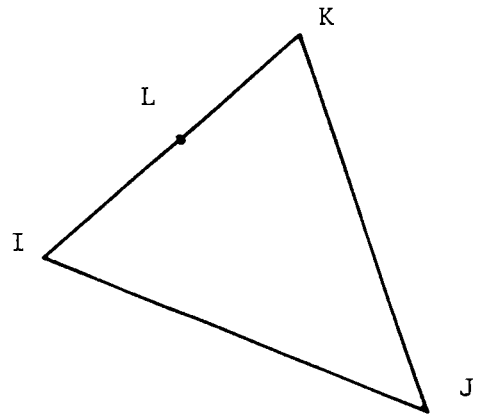
Carte n° 1 FØRMAT (8 F 10.2)

Cols 1-10	SIG(N, 1) - σ_x
11-20	SIG(N, 2) - σ_y
21-30	SIG(N, 3) - τ
31-40	SIG(N, 4) - valeur maximum prévue pour la plus grande contrainte de cisaillement.

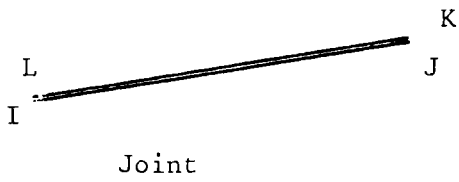
Répéter pour l'élément suivant sur le restant de la carte.



Elément quadrilatéral
quelconque



Elément triangulaire



Joint

L'ordre de numérotation des noeuds de chaque élément est I, J, K, L.

Figure 11 - Numérotation des noeuds pour différents
types d'éléments

Carte n° 2 FØRMAT (9 F 8.3)

Déplacement et pression interstitielle pour trois noeuds sont spécifiés sur chaque carte.

Cols 1-8 DISP(N,1) - déplacement en X
9-16 DISP(N,2) - déplacement en Y
17-24 PP(N) - pression interstitielle.

A répéter pour deux autres noeuds sur la même carte.

Carte n° 3 FØRMAT (15 I 5)

Les numéros des matériaux pour 15 éléments sont spécifiés sur chaque carte.

Cols 1-5 PL(N,5) - numéro du matériau
6-10 PL(N,5) - numéro du matériau, etc..

Carte n° 4 FØRMAT (8 E 10.4)

Valeurs des raideurs pour quatre joints sur chaque carte (pas nécessaire si NUMJT = 0).

Cols 1-10 STFS(N) - raideur tangentielle
11-20 STF(N) - raideur normale.

Répéter pour 3 autres joints.

9.9 - Construction incrémentale

A - Construction incrémentale - carte de contrôle des chargements FØRMAT (6 I 10)

Cols 1-10 NUL - NUL = 1 excavation
NUL = 0 pas d'excavation
11-20 NLL - NLL = 1 mise en place de béton et/ou de remblai
NLL = 0 pas de mise en place considérée
21-30 MS - MS = 1 rabattement de nappe
MS = 0 rabattement de nappe non considéré
31-40 NWP - NWP = 1 changement de pression
NWP = 0 changement de pression non considéré

- 41-50 NT - NT = 1 chargement dû à la température pour matériaux structuraux
NT = 0 non considéré
- 51-60 NF - NF = 1 chargement par force concentrée -
ou déplacement local
NF = 0 non considéré.

B - Cartes d'excavation lues si NUL = 1

Carte n° 1 FØRMAT (I 10)

Cols 1-10 NEL - nombre d'éléments à excaver (au maximum 110).

Carte n° 2 FØRMAT (8 I 10)

Une carte par élément excavé.

Cols 1-10 LUL(N,1) - élément excavé (premier élément de l'interpolation)
11-20 LUL(N,2) - second élément d'interpolation
21-30 LUL(N,3) - troisième élément d'interpolation
31-40 LUL(N,4) - quatrième élément d'interpolation
41-50 LUL(N,5) - si LUL(N,5) = 0 le noeud I n'est pas chargé par les forces dues à l'excavation
si LUL(N,5) = 1 le noeud I est chargé.

De même pour les noeuds J, K, L. Les noeuds doivent être chargés seulement s'ils sont communs à la fois à l'élément excavé et à un élément intact.

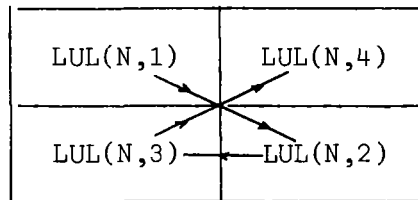
Si un élément à excaver n'a aucune frontière commune avec un élément intact, on ne mettra que le numéro de l'élément ; les éléments d'interpolation et le chargement des noeuds peuvent être omis.

Les cartes pour les éléments excavés doivent s'ordonner ainsi :

- joints (LUL(N,2,...8) non spécifiés)
- éléments qui n'ont aucune frontière commune avec des éléments intacts
- éléments en contact avec des éléments intacts.

On ne doit pas avoir plus de deux des centres des éléments d'interpolation sur une même ligne horizontale ou verticale.

Les éléments d'interpolation doivent être lus comme suit :



Les noeuds chargés doivent être numérotés comme sur les cartes d'élément.

C - Mise en place de remblai et/ou béton lue si NLL = 1

Carte n° 1 FØRMAT (16 I 5)

Cols 1-5	NLEL	- nombre d'éléments à mettre en place y compris les joints
6-10	LEL(N)	- numéro de l'élément à placer
11-15	LEL(N)	- numéro de l'élément à placer.

Répéter pour treize autres éléments sur cette carte et continuer éventuellement sur d'autres.

Les éléments doivent être lus par type de matériau :

- matériau structural
- remblai de type 1
- remblai de type 2
- joints à activer
- joints laissés inactifs, placés entre deux éléments de béton ou deux éléments de remblai.

Carte n° 2 FØRMAT (I 5)

Cols 1-5	NJ	- nombre d'éléments à mettre en place moins le nombre de joints "inactifs" plus un.
----------	----	---

Carte n° 3 FØRMAT (16 I 5)

Cols	1-5	NØNP	- nombre de noeuds à la partie supérieure d'une couche nouvellement mise en place devant avoir un déplacement nul
	6-10	NP(N)	- numéro du noeud
	11-25	NP(N)	- numéro du noeud

Ainsi de suite jusqu'à un total de NØNP.

Carte n° 4 FØRMAT (2 I 10, F 10.2)

Cols	1-10	NCE	- nombre de matériaux structuraux à placer
	11-20	NBIE	- nombre de remblai de type 1
	21-30	HTB	- nouvelle ordonnée du sommet du remblai Si on place simplement des joints, on prendra pour HTB la cote des éléments bidimensionnels adjacents.

D - Cartes de changement de pression lues si NWP = 1

Carte n° 1 FØRMAT (I 10)

Cols	1-10	NWPF	- nombre de conditions de pression.
------	------	------	-------------------------------------

Carte n° 2 FØRMAT (3 (2 I 8, F 8.2))

Cols	1-10	N	- numéro du noeud
	11-20	FX(N)	- chargement ou déplacement suivant l'axe
	21-30	FY(N)	- idem pour Y.

De même pour un autre noeud sur la même carte. Continuer éventuellement sur d'autres cartes.

Arrêter la construction avec deux cartes blanches ou bien continuer le problème (retour à la carte d'identification 9).

10 - CARTES DE CONTROLE Mai 1977

Tout ce qui suit est relatif au terminal Franlab d'Orléans-La Source pour passage sur CDC 7600.

Les cartes de contrôle sont les suivantes :

1	5	7	10	15	20	25	30	35	40
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

nom du job, CP 70, MT 0, T temps en seconde.
 ACCØUNT, CH = C 017, KY = 41 BRG 401
n° imputation nom

FTN .
LGØ .
7/8/9

PRØGRAMME

7/8/9

DØNNEES

6/7/8/9

La compilation du programme étant assez longue, de l'ordre de cinq secondes, il sera intéressant si plusieurs passages sont nécessaires de le cataloguer pour un temps déterminé chez Franlab.

Pour celà on utilise les cartes suivantes :

1	5	7	10	15	20	25	30	35	40
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

nom du job, CP 70, MT 0, T 10 .
 ACCØUNT, CH = C0 171 , KY = 41 BRG 401
n° imputation nom

REQUEST, LGØ, PF .

FTN .

CATALØG, LGØ, BRGMLØCKS2, ID = , CY = 1
n° imputation nom

41 45 50 55

ST - CCP PP - 000

7/8/9

PRØGRAMME

6/7/8/9

Cartes de contrôle pour l'exécution d'un job à partir du programme catalogué :

1 . 5 10 15 20 25 30 35 40

nom du job, CP 70, MT 0, T temps en secondes .

ACCØUNT idem que précédemment

ATTACH, FG 1, BRGM LØCKS 2, ID = n° imputation - nom, CY = 1,

41 45 50

ST = CCP .

LØAD, FG 1 .

EXECUTE .

7/8/9

DØNNEES

6/7/8/9

pour purger . le fichier contenant le catalogue la séquence est la même que ci-dessus en remplaçant LØAD, FG 1 par PURGE, FG 1. supprimer EXECUTE.

Exemple de temps de calcul

Pour un maillage comportant 237 noeuds, 200 éléments, neuf incréments de construction plus calcul des conditions initiales, le nombre d'itérations étant égal à deux le temps total facturé est de 72 s.

On peut approximativement prévoir 4 secondes par incrément pour cent éléments, pour une largeur de bande maximum de 60. Pour une largeur de bande de 26, on divise le temps par 3.

11 - EXEMPLES D'UTILISATIONS

L'exemple traité est un remblai de décompression situé sur la Ravine Bourgeois à la Guadeloupe. Le but de l'étude était de montrer que les contraintes formaient une "voûte" au-dessus de l'ouvrage en béton.

Le fond de la Ravine Bourgeois est tapissé d'une couche d'alluvions sablo-argileuses d'environ 5 m d'épaisseur reposant sur un tuf volcanique incompressible. Les flancs de la vallée sont composés de tufs argileux.

Lors de la construction environ 2 m d'alluvions ont été enlevées et remplacées par le matériau de remblai sur lequel a été construit le tunnel. Cet ouvrage en béton mesure 60 m de long, 3 m de large et 4 m de haut.

Le remblai a ensuite été mis en place de part et d'autre du tunnel jusqu'au niveau de sa dalle supérieure par couches de 30 cm.

Ensuite les opérations se déroulent ainsi :

- mise en place du remblai compacté jusqu'à une hauteur de 3 m au-dessus du tunnel ;
- ouverture du remblai au droit de l'ouvrage sur 11 m de long et 3 m de large. Les parois de la fouille ont été taillées verticalement ; en fond de fouille, la dalle a été découverte.
- mise en place du remblai non compacté dans la fouille jusqu'à une hauteur de 3 m au-dessus du tunnel ;
- mise en place du remblai compacté jusqu'à une hauteur de 5 m au-dessus du tunnel ;
- mise en place d'une couche de 2 m de remblai compacté puis mis en place jusqu'au sommet du remblai.

Pour le maillage n°= 1 (figure 12.) le traitement simulera comme suit les étapes de construction :

- conditions initiales calculées, le remblai étant au niveau de la dalle ;
- mise en place d'une première couche de remblai compacté de 1 m d'épaisseur et activation des joints n° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17, 18, 15, 20, 21, 22, 23 ;

- mise en place d'une autre couche d'1 m de remblai compacté et activation des joints 7, 8, 24, 25;
- excavation des éléments 106, 118 ;
- mise en place du remblai non compacté dans ces deux éléments.

puis montée du remblai compacté en cinq étapes.

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX . ESSAI N° 1

- AIR :

$$\begin{aligned} \nu &= 0.001 \\ E &= 0.001 \end{aligned}$$

- BETON :

$$\begin{aligned} \nu &= 0.3 & \gamma &= 2.3 \\ \nu_f &= 0.01 & E &= 2\ 000\ 000 \end{aligned}$$

- ALLUVIONS

$$\begin{aligned} \nu &= 0.28 & \gamma &= 1.2 & FR &= 0.9 \\ \kappa_o &= 0.6 & \varphi &= 30 & N &= 0.7 \\ \kappa_m &= 100 & \kappa_{ur} &= 300 & C &= 1 \end{aligned}$$

- REMBLAI COMPACTE

$$\begin{aligned} \nu &= 0.3 & \gamma &= 1.65 & FR &= 0.85 \\ \kappa_o &= 0.7 & \varphi &= 30 & N &= 0.8 \\ \kappa_m &= 300 & \kappa_{ur} &= 450 & C &= 1.8 \end{aligned}$$

- REMBLAI NON COMPACTE

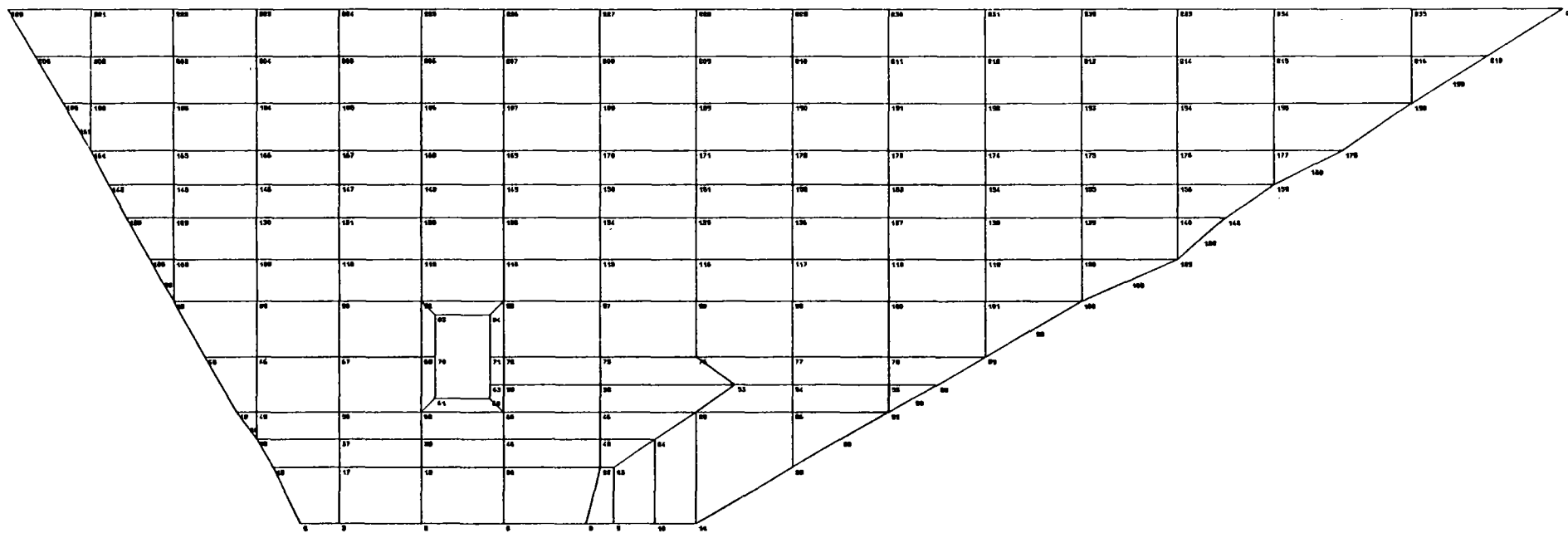
$$\begin{aligned} \nu &= 0.2 & \gamma &= 1 & FR &= 0.85 \\ \kappa_o &= 0.7 & \varphi &= 25 & N &= 0.8 \\ \kappa_m^o &= 10 & \kappa_{ur} &= 150 & & \end{aligned}$$

- JOINTS REMBLAI-BETON

$$\begin{aligned} N &= 1 & \varphi &= 30 & RKS &= 1 \\ \kappa &= 0.7 & C &= 50 & \kappa_j &= 75000 \\ \nu^o &= 0.3 & FR &= 0.9 & & \end{aligned}$$

- JOINTS REMBLAIS-REMBLAIS

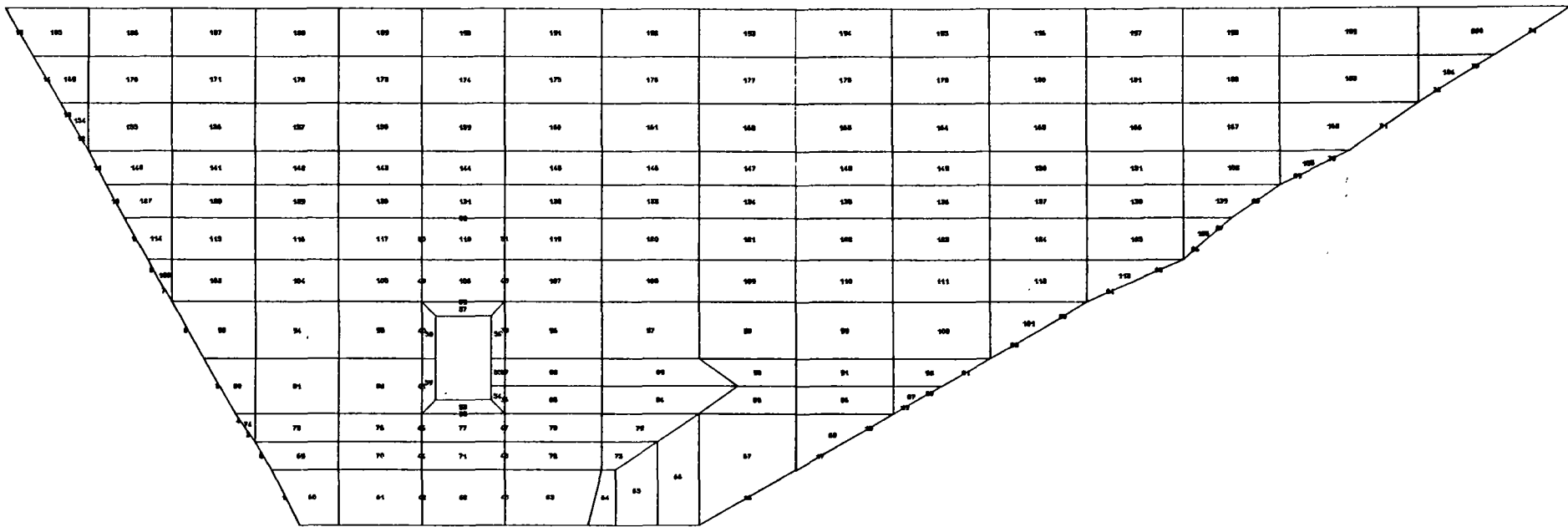
$$\begin{aligned} N &= & \varphi &= 30 & RKS &= 1 \\ \kappa &= 0.7 & C &= 50 & \kappa_j &= 10\ 000\ 000. \\ \nu^o &= 0.3 & & & & \end{aligned}$$



✱ RAVINE BOURGEOIS ✱ MAILLAGE + N DES NOEUDS ✱

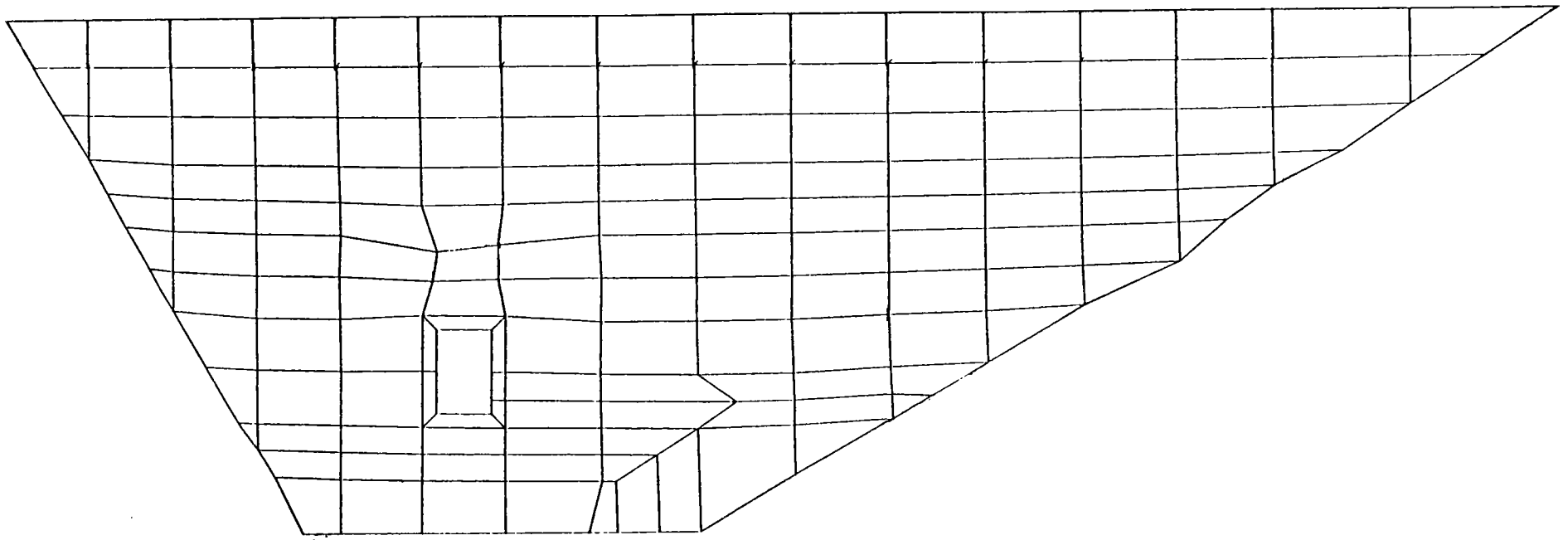
LONGUEURS 1C=1.00 m.
 CONTRAINTES 1C=0. 7/12
 DEPLACEMENTS 1 0.

TRAELEF1 GTC33 FEUGAGUYOT 05/05/77 08.35.56 F4



■ RAVINE BOURGEOIS ■ MAILLAGE + N DES ELEMENTS ■

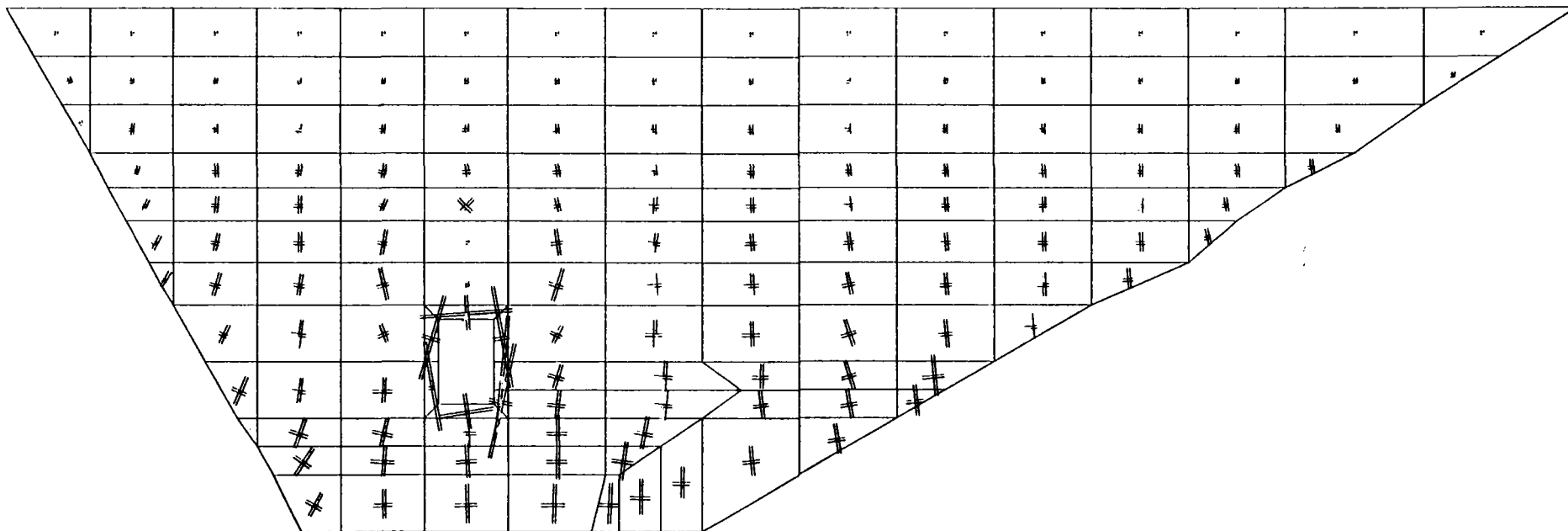
LONGUEURS 1CM=1.00 M.
 CONTRAINTES 1CM. 0. 1/72
 DEPLACEMENTS X 0.



« BAVINE RONNÉDÉS » DÉFORMÉE DU MAILLAGE « COEFF AMPLI = 3 »

LONGUEURS 11A-1.00 B.
 CUNTHAINES 1CF-0. 1/12
 IMPLALEMENTS 1 6.00

TRACÉ ET GTC33 FEINAGITOT 09/05/77 21.26.20 DG



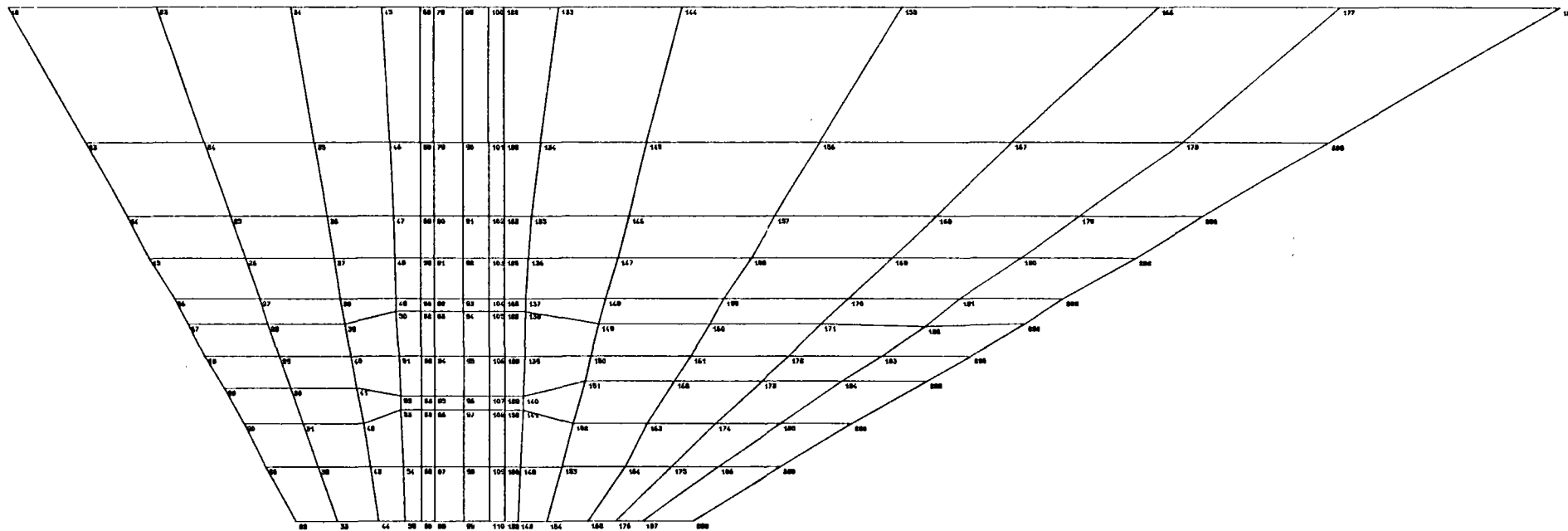
« RAVINE BOURGEOIS » CONTRAINTES »

LONGUEURS 1CM=1.00 M.
 CONTRAINTES 1CM=20.00 F/M2
 DEPLACEMENTS X 0.

AELEFI GTC33 FEUGAGUYOT 12/05/77 17.35.53 BG

L'importance du coût de l'étude réalisée à l'aide du maillage n° 1 étant prohibitive, il a été réalisé un second maillage qui avec 180 éléments (le maillage n° 1 en comptait 200) divise le prix du passage par deux. Ceci est obtenu grâce à une largeur de bande assez faible provenant d'une numérotation régulière des noeuds. D'autre part, le nombre d'éléments dans la zone intéressante (zone décomprimée et éléments adjacents) est notablement augmenté. La montée du remblai se fait en six étapes.

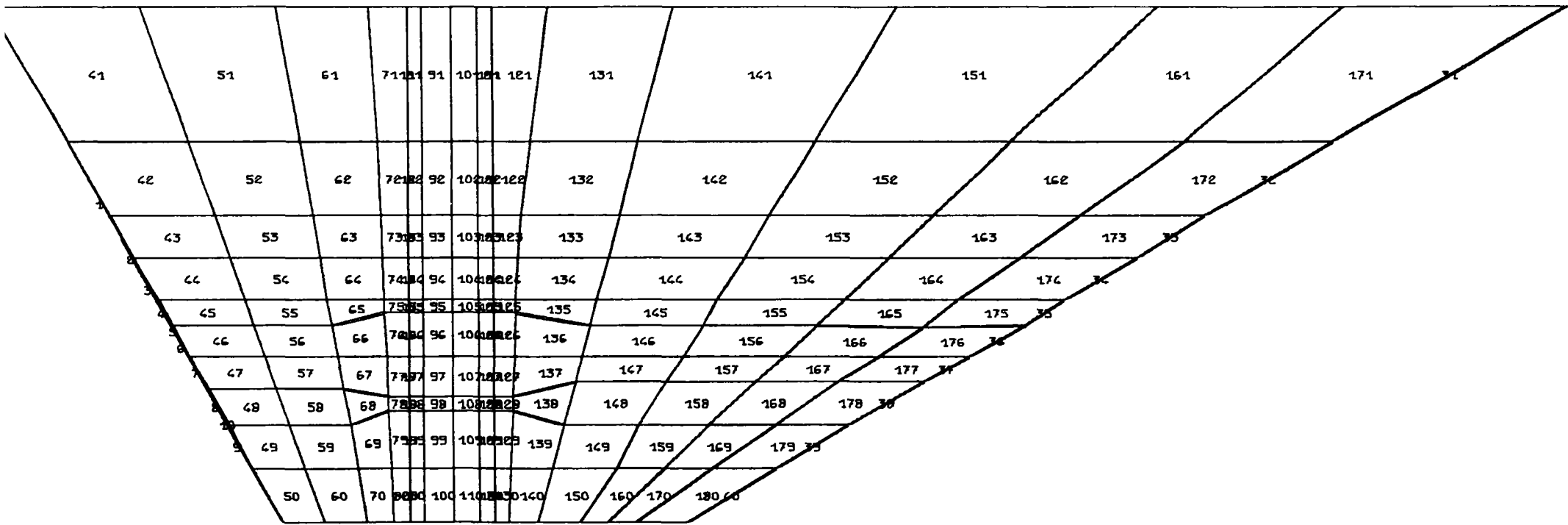
- calcul des conditions initiales au niveau de la dalle en béton ;
- mise en place d'une couche de 1 m de remblai compacté ;
- mise en place d'une couche de 1 m de remblai compacté ;
- excavation des éléments 83 - 84 - 93 - 94 - 103 - 104 - 123 - 124 ;
- mise en place de remblai non compacté dans ces éléments et activation des joints 4 à 10 et 34 à 40 ;
- mise en place en deux étapes du remblai compacté jusqu'au sommet du remblai et activation des joints 1-2-3-31-32-33.



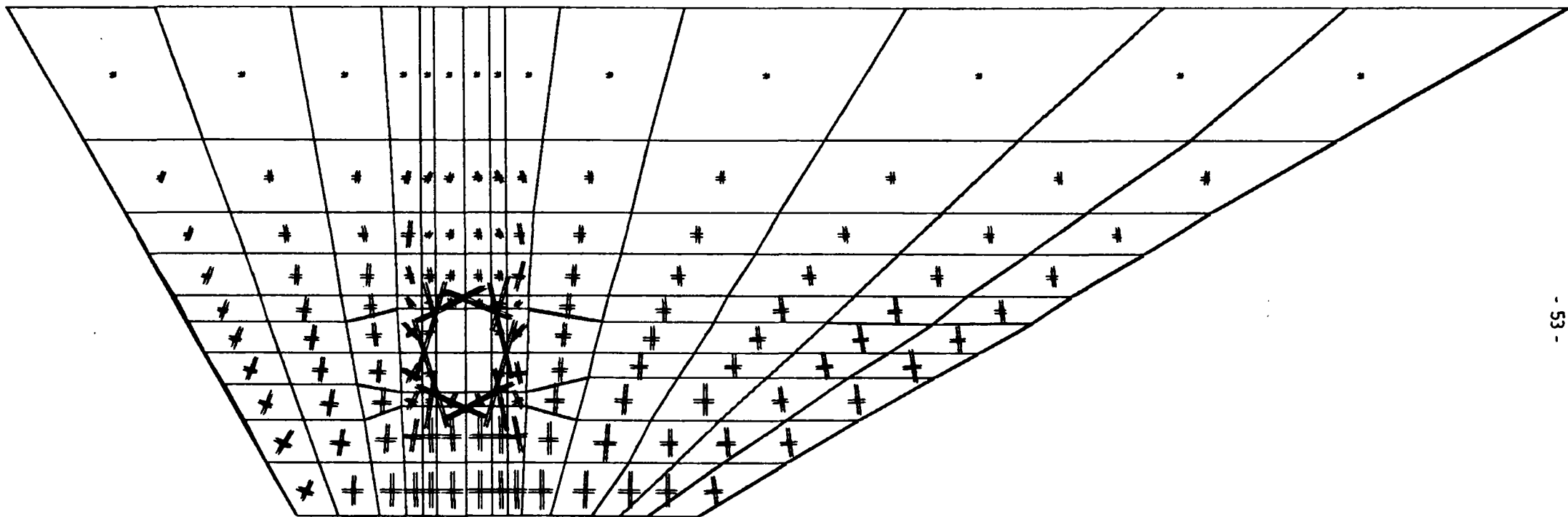
✱ RAVINE BOURGEOIS ✱ MAILLAGE + N DES NOEUDS ✱

LONGUEURS 1CR=1.00 m.
 CONTRAINTES 1CR=0. 1/M2
 DEPLACEMENTS I 0.

TRAELEF1 GTC33 FEUGAGUYOT 10/05/77 11.36.43 F4

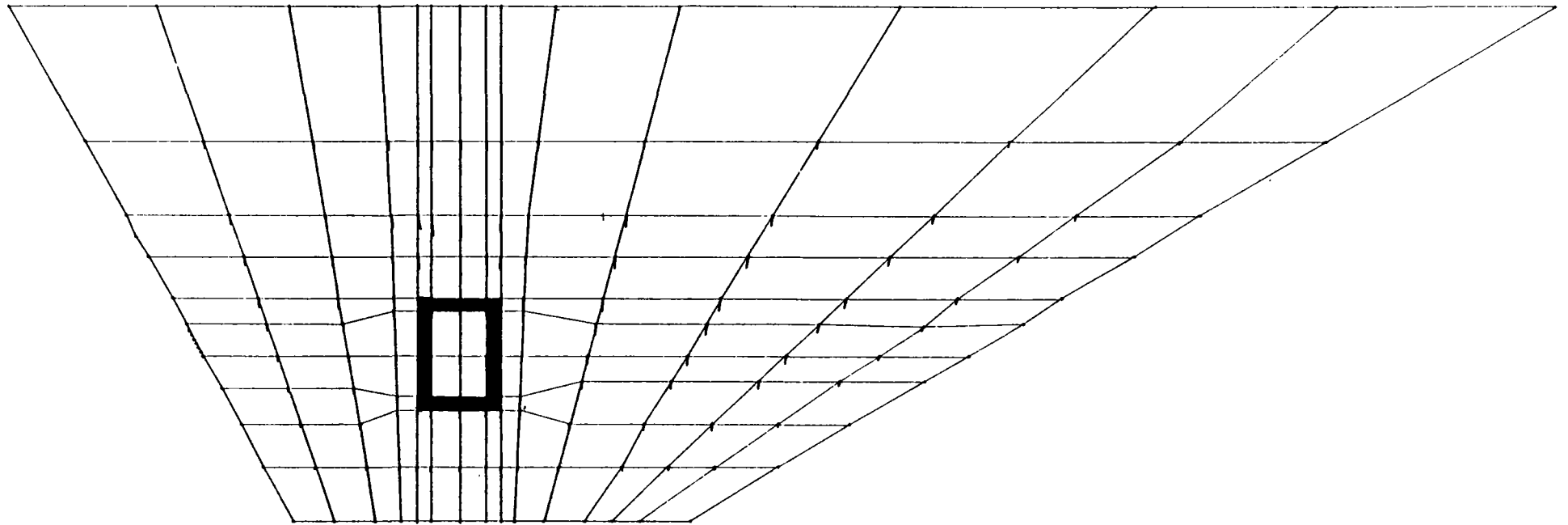


LONGUEURS 1CM=2.00 M.
 CONTRAINTE 1CM=40.00 T/M2
 DEPLACEMENTS X 0.



* RAVINE BOURGEOIS * MAILLAGE N=2 * CONTRAINTES *

LONGUEURS 1CM=2.00 M.
CONTRAINTES 1CM=40.00 T/M2
DEPLACEMENTS X 0.



■ RAVINE BOURGEOIS ■ MAILLAGE N=2 ■ DEPLACEMENTS ■

LONGUEURS 100=1.00 M.
 CONTRAINTES 100=0. 1/100
 DEPLACEMENTS X 5.00

FRAME GTC33 FEUGAGUYOT 11/07/77 11.49.27 F4

11-10-90 1923 1.5.90

11-10-90 1923 1.5.90

DISPLACEMENT RESULTS FOR LOADING CASE NO. 6 ITERATION 2

N.P.	X	Y	TOTAL UX	TOTAL UY	INCR. UX	INCR. UY	PURE PRESS.	N.P.
1	-0.00	14.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	1
2	2.00	13.65	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	2
3	4.30	11.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	3
4	5.10	9.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	4
5	6.00	8.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	5
6	6.50	7.10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	6
7	7.10	5.95	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	7
8	7.80	4.80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	8
9	8.50	3.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	9
10	9.30	1.95	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	10
11	10.00	-0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	11
12	-0.00	18.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	12
13	2.00	13.65	.0012	-.0021	.0012	-.0021	-0.000	13
14	4.30	11.00	.0002	-.0004	.0002	-.0004	-0.000	14
15	5.10	9.50	-.0000	.0000	-.0000	.0000	-0.000	15
16	6.00	8.00	.0000	-.0001	.0000	-.0000	-0.000	16
17	6.50	7.10	.0001	-.0002	.0000	-.0000	-0.000	17
18	7.10	5.95	.0000	-.0000	.0000	-.0000	-0.000	18
19	7.80	4.80	.0000	-.0001	.0000	-.0000	-0.000	19
20	8.50	3.50	.0001	-.0002	.0000	-.0000	-0.000	20
21	9.30	1.95	.0000	-.0000	.0000	-.0000	-0.000	21
22	10.00	-0.00	.0000	0.0000	.0000	0.0000	-0.000	22
23	5.00	14.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	23
24	7.10	13.65	.0091	-.0178	.0091	-.0378	-0.000	24
25	8.65	11.00	.0081	-.0565	.0022	-.0224	-0.000	25
26	8.50	9.50	.0064	-.0497	.0005	-.0180	-0.000	26
27	9.10	8.00	.0055	-.0476	-.0000	-.0145	-0.000	27
28	9.40	7.10	.0031	-.0373	.0001	-.0124	-0.000	28
29	9.80	5.95	.0022	-.0282	.0003	-.0100	-0.000	29
30	10.20	4.80	.0004	-.0221	.0002	-.0082	-0.000	30
31	10.65	3.50	-.0007	-.0170	-.0001	-.0064	-0.000	31
32	11.20	1.95	-.0076	-.0171	-.0024	-.0064	-0.000	32
33	11.90	-0.00	-.0124	0.0000	-.0042	0.0000	-0.000	33
34	10.25	18.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	34
35	11.10	13.65	.0095	-.0431	.0095	-.0431	-0.000	35
36	11.55	11.00	.0137	-.0609	.0031	-.0311	-0.000	36
37	11.80	9.50	.0092	-.0578	.0012	-.0249	-0.000	37
38	12.02	8.00	.0052	-.0581	.0005	-.0198	-0.000	38
39	12.20	7.10	.0044	-.0496	.0008	-.0172	-0.000	39
40	12.40	5.95	.0029	-.0410	.0007	-.0144	-0.000	40
41	12.80	4.80	.0004	-.0340	.0001	-.0119	-0.000	41
42	12.85	3.50	-.0045	-.0294	-.0014	-.0105	-0.000	42
43	13.10	1.95	-.0110	-.0250	-.0035	-.0089	-0.000	43
44	13.40	-0.00	-.0102	0.0000	-.0053	0.0000	-0.000	44
45	13.55	18.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	45
46	13.65	13.65	.0103	-.0564	.0133	-.0564	-0.000	46
47	13.87	11.00	.0353	-.0904	.0030	-.0414	-0.000	47
48	14.00	9.50	.0167	-.0593	.0061	-.0310	-0.000	48
49	14.05	8.00	.0056	-.0620	.0022	-.0204	-0.000	49
50	14.05	7.55	.0050	-.0541	.0017	-.0181	-0.000	50
51	14.15	5.95	.0009	-.0435	.0002	-.0144	-0.000	51
52	14.20	4.50	-.0027	-.0397	-.0009	-.0132	-0.000	52
53	14.20	4.00	-.0042	-.0374	-.0014	-.0125	-0.000	53
54	14.30	1.95	-.0114	-.0293	-.0037	-.0101	-0.000	54
55	14.35	-0.00	-.0158	0.0000	-.0052	0.0000	-0.000	55
56	14.95	18.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000	56

EFFECTIVE STRESSES, MODULUS VALUES AND POPE PRESSURES
FOR CASE 6 - ITERATION 2

EL. NO.	X	Y	X-STRESS	Y-STRESS	XY-STRESS	MAX-STRESS	MIN-STRESS	ANGLE	MODULUS	POISSON RATIO	STRESS LEVEL	POPE PRESS
41	4.10	16.04	2.80	4.00	0.00	4.00	2.80	.00	910.9	.30	.10	0.00
42	5.70	12.33	4.76	8.79	1.15	8.09	4.39	-14.67	843.5	.30	.31	0.00
43	6.84	10.25	5.97	10.85	1.93	11.53	5.29	-19.15	851.5	.30	.37	0.00
44	7.29	8.75	7.99	13.52	2.63	14.57	6.94	-21.78	1036.2	.30	.38	0.00
45	7.4	7.55	8.36	14.30	2.81	15.47	7.26	-21.53	1028.6	.30	.40	0.00
46	8.25	6.53	9.92	16.41	3.21	17.73	8.61	-22.30	1200.8	.30	.39	0.00
47	8.81	5.38	11.73	19.15	3.50	21.56	10.31	-21.83	1412.4	.30	.38	0.00
48	9.35	4.15	12.10	18.84	3.71	20.50	10.51	-24.00	1488.9	.30	.37	0.00
49	9.98	2.73	17.74	21.45	4.85	24.79	14.40	-34.50	2261.7	.30	.30	0.00
50	10.40	.94	13.10	15.97	1.55	16.66	12.47	-23.90	886.7	.28	.15	0.00
51	8.68	16.04	2.80	4.00	0.00	4.00	2.80	.00	910.9	.30	.10	0.00
52	9.54	12.33	6.11	10.70	-0.27	10.71	6.10	3.37	1259.2	.30	.25	0.00
53	10.07	10.25	8.14	14.79	-0.21	14.79	8.13	1.83	1434.2	.30	.30	0.00
54	10.45	8.75	9.36	16.53	.38	16.55	9.34	-3.04	1625.1	.30	.29	0.00
55	10.71	7.55	10.68	18.73	1.17	18.89	10.52	-8.13	1716.1	.30	.31	0.00
56	11.00	6.53	11.26	19.54	1.56	19.87	10.98	-10.30	1742.6	.30	.32	0.00
57	11.3	5.34	12.02	19.88	1.63	20.20	11.70	-11.28	1955.4	.30	.29	0.00
58	11.63	4.15	14.51	21.19	2.11	21.80	13.90	-16.17	2530.2	.30	.23	0.00
59	12.03	2.73	16.05	19.87	1.87	20.15	15.77	-14.66	3530.3	.30	.12	0.00
60	12.50	.94	14.65	22.57	.9	22.57	14.65	-6.8	807.6	.28	.24	0.00
61	12.33	16.04	2.80	4.00	0.00	4.00	2.80	.00	910.9	.30	.10	0.00
62	12.71	12.33	6.53	11.17	.71	11.27	6.42	-8.53	1302.2	.30	.25	0.00
63	12.49	10.25	7.17	14.64	.45	14.72	7.14	-3.39	1047.0	.30	.37	0.00
64	13.01	8.75	10.21	20.15	-0.30	20.16	10.20	1.73	1426.7	.30	.37	0.00
65	13.13	7.55	11.17	20.65	-0.17	20.66	11.17	1.01	1698.9	.30	.33	0.00
66	13.23	6.75	12.02	19.53	-0.47	19.56	11.99	3.55	2161.9	.30	.25	0.00
67	13.38	5.38	13.50	18.45	.60	19.01	13.44	-6.25	2807.0	.30	.17	0.00
68	13.53	4.00	14.85	20.74	.57	20.79	14.80	-5.50	3038.8	.30	.17	0.00
69	13.65	2.94	15.79	22.65	.25	22.66	15.78	-2.12	3108.8	.30	.18	0.00
70	13.45	.94	15.45	25.16	-0.7	25.16	15.45	.41	761.2	.28	.28	0.00
71	14.40	16.04	2.80	4.00	0.00	4.00	2.80	.00	910.9	.30	.10	0.00
72	14.40	12.33	6.98	10.31	2.19	11.89	6.00	-24.05	1057.0	.30	.32	0.00
73	14.48	10.25	9.02	23.70	1.71	23.89	8.83	-6.54	587.8	.30	.63	0.00
74	14.50	8.75	7.34	15.95	-2.42	16.58	6.70	14.69	717.9	.30	.50	0.00
75	14.50	7.78	7.05	8.88	-2.87	10.84	4.89	37.04	795.3	.30	.37	0.00
76	14.55	6.75	13.54	14.45	-3.77	17.73	13.16	41.95	1753.8	.30	.29	0.00
77	14.54	5.23	17.39	17.24	.6	17.41	17.22	-70.15	6494.9	.30	.00	0.00
78	14.54	4.25	11.80	15.00	2.27	16.18	11.63	-27.40	2174.8	.30	.20	0.00
79	14.63	2.94	15.60	24.57	1.23	24.73	15.50	-7.73	2668.2	.30	.25	0.00
80	14.65	.94	15.69	26.24	-0.24	26.25	15.68	1.30	731.5	.28	.30	0.00
81	15.20	16.04	2.80	4.00	0.00	4.00	2.80	.00	910.9	.30	.10	0.00
82	15.20	12.33	8.78	9.41	3.43	12.82	5.87	-40.29	887.1	.30	.39	0.00
83	15.20	10.25	1.35	2.05	1.70	3.43	-0.03	-39.20	10.0	-0.00	1.70	0.00
84	15.20	8.75	5.60	11.54	-2.06	12.23	4.96	17.29	10.0	-0.00	1.00	0.00
85	15.20	7.78	8.75	25.54	-12.14	31.98	2.36	27.69	2000000.0	.30	0.00	0.00
86	15.20	6.75	12.64	63.81	-19.14	70.17	6.27	-18.40	2000000.0	.30	0.00	0.00
87	15.20	5.23	14.94	72.21	-21.77	79.54	7.81	18.62	2000000.0	.30	0.00	0.00
88	15.20	4.25	8.55	38.82	-5.78	39.89	7.48	-10.45	2000000.0	.30	0.00	0.00
89	15.20	2.94	14.71	25.21	-0.36	25.22	14.70	1.87	2300.6	.30	.30	0.00
90	15.20	.94	15.87	26.75	-0.12	26.75	15.87	1.01	726.4	.28	.31	0.00
91	15.94	16.04	2.80	4.00	0.00	4.00	2.80	.00	910.9	.30	.10	0.00
92	15.94	12.33	8.82	7.22	1.31	9.54	6.49	-60.82	1600.4	.30	.16	0.00
93	15.98	10.25	3.25	4.04	.51	5.08	3.11	-15.48	15.9	.20	.43	0.00
94	15.98	8.75	3.11	4.95	.33	5.00	3.05	-9.79	15.3	.20	.44	0.00
95	15.94	7.78	54.33	15.24	13.42	62.63	11.44	-74.12	2000000.0	.30	0.00	0.00
96	15.94	6.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.0	.00	0.00	0.00

INTERFACE ELEMENT RESULTS

EL	X	Y	NORM STRESS	TAN STRESS	NORM DISP	TAN DISP	TAN STIFF	NORM STIFF	PORE PRESS
1	1.49	16.04	3.101	0.000	-.000004	.001220	22514.129	100000000.000	0.000
2	3.55	12.33	7.874	0.000	.000002	.001476	57167.165	100000000.000	0.000
3	4.75	10.25	-133.253	-.000	.000001	.000252	.001	100000000.000	0.000
4	5.55	8.75	44.058	-2.305	-.000000	.000004	302527.761	100000000.000	0.000
5	6.25	7.55	25.874	-2.664	-.000000	.000021	174241.377	100000000.000	0.000
6	6.85	6.54	-43.753	-.233	.000000	.000015	.001	100000000.000	0.000
7	7.45	5.34	51.836	-3.169	-.000000	.000047	349965.262	100000000.000	0.000
8	8.15	4.15	18.677	-3.243	-.000000	.000021	122491.049	100000000.000	0.000
9	8.95	2.73	-15.507	-.715	.000000	.000025	.001	100000000.000	0.000
10	9.85	.94	42.283	-3.385	-.000000	.000010	282499.529	100000000.000	0.000
11	14.95	16.04	2.445	-.034	-.000000	-.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
12	14.95	12.33	7.138	-4.128	-.000000	.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
13	14.95	10.25	4.654	-2.637	-.000000	.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
14	14.95	8.75	7.606	9.823	-.000000	-.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
15	14.95	7.78	12.240	1.424	-.000000	-.000017	84920.977	100000000.000	0.000
16	14.95	6.75	13.289	2.451	-.000000	-.000025	89246.222	100000000.000	0.000
17	14.95	5.24	16.743	.541	-.000000	-.000011	119584.622	100000000.000	0.000
18	14.95	4.25	15.899	-.502	-.000000	-.000003	113036.545	100000000.000	0.000
19	14.95	2.94	12.892	-3.981	-.000000	.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
20	14.95	.94	13.165	1.414	-.000000	-.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
21	18.00	16.04	2.396	-.077	-.000000	.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
22	18.00	12.33	7.230	4.053	-.000000	-.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
23	18.00	10.25	4.674	3.506	-.000000	-.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
24	18.00	8.75	8.469	-1.349	-.000000	.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
25	18.00	7.74	13.339	-1.743	-.000000	.000018	91650.882	100000000.000	0.000
26	18.00	6.75	12.532	-3.366	-.000000	.000035	81609.653	100000000.000	0.000
27	18.00	5.23	15.688	-2.000	-.000000	.000024	106860.744	100000000.000	0.000
28	18.00	4.25	15.359	-.015	-.000000	.000008	111461.937	100000000.000	0.000
29	18.00	2.94	12.890	5.348	-.000000	-.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
30	18.00	.94	13.454	-1.338	-.000000	.000000	100000000.000	100000000.000	0.000
31	52.37	16.04	3.701	0.000	.000003	-.007596	26871.726	100000000.000	0.000
32	45.80	12.33	9.427	0.000	-.000003	-.007627	68444.592	100000000.000	0.000
33	42.30	10.25	-159.116	.000	.000002	-.000025	.001	100000000.000	0.000
34	39.78	8.75	67.183	1.298	-.000000	-.000001	475020.449	100000000.000	0.000
35	37.75	7.55	-55.696	.000	.000000	-.000008	.001	100000000.000	0.000
36	36.05	6.54	32.062	-.005	-.000000	.000001	232757.066	100000000.000	0.000
37	34.25	5.54	20.999	3.522	-.000000	-.000017	137303.586	100000000.000	0.000
38	32.08	4.24	25.789	4.826	-.000000	-.000019	163010.355	100000000.000	0.000
39	29.47	2.73	24.584	1.021	-.000000	-.000004	173417.150	100000000.000	0.000
40	26.50	.94	22.568	1.152	-.000000	-.000004	158508.374	100000000.000	0.000

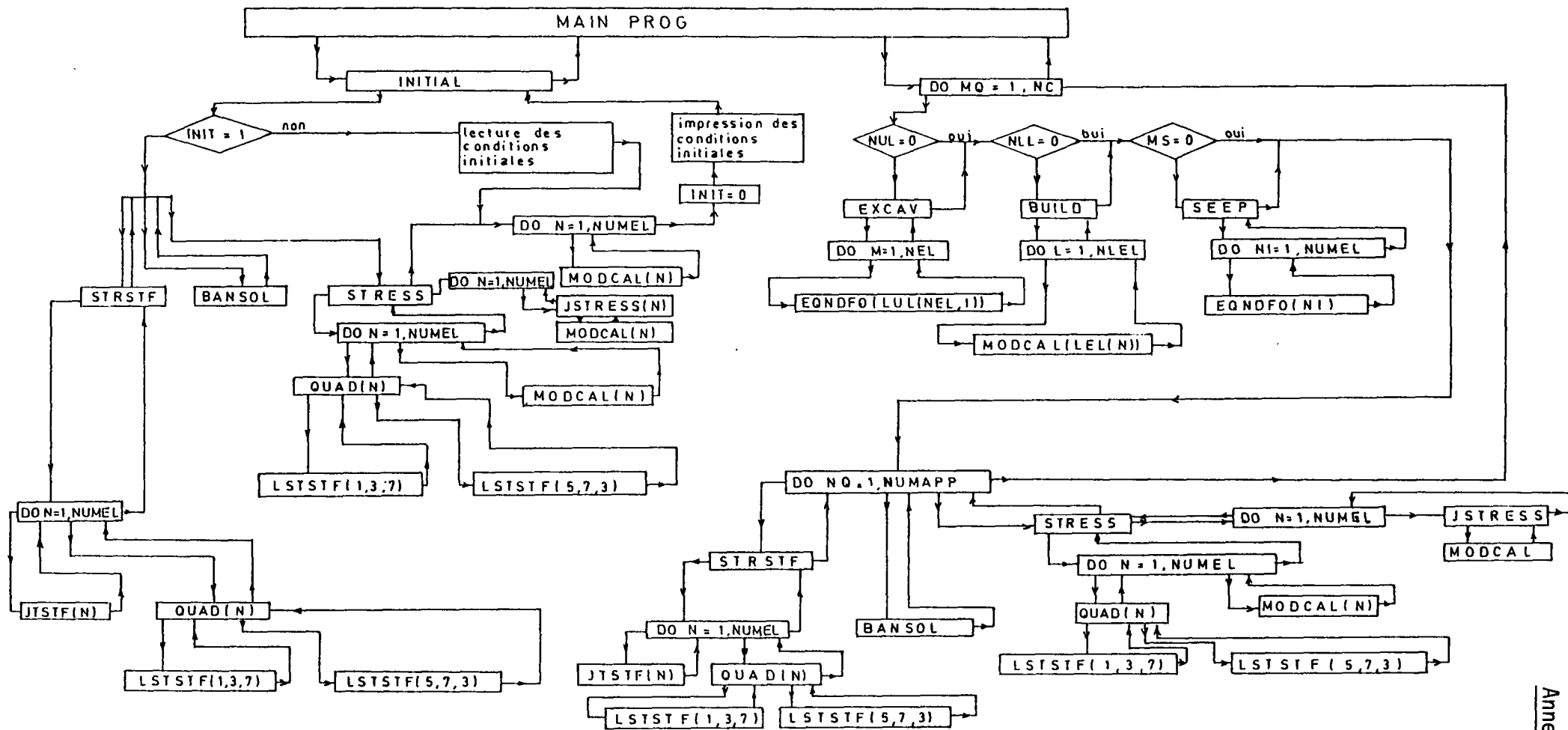
BIBLIOGRAPHIE

DUNCAN J.M., and CHANG, CHIN-YUNG (1970) - Non linear analysis of stress and strain in soils. Journal of the soils mechanics and foundations division. ASCE Vol. 96, n° SM5, sept. 1970, p. 1629-1653.

DESAI - ABEL - Introduction to the finite element method.
Van Nostrand Reinhold.

DUNCAN J.M. and CLOUGH G.W. - Finite element analysis of Port Allen and Old River locks. Geotechnical engineering.
Report n° TE - 69 - 3 to U.S. ARMY engineers, waterways experiment station. University of California - Berkeley.

ANNEXES



Organigramme synthétique

PROGRAM LOCKS (INPUT,OUTPUT,PUNCH,TAPE1=INPUT,TAPE2=PUNCH,
1TAPE3=OUTPUT,TAPE4,TAPE5)

```

C * * * * *
C
C * A FINITE ELEMENT PROGRAM FOR SIMULATION OF ARBITRARY
C * SEQUENCES OF INCREMENTAL EXCAVATION, SEEPAGE LOADING,
C * EMBANKMENT OR STRUCTURAL LOADING, BOUNDARY PRESSURE
C * LOADING, CONCENTRATED FORCE OR DISPLACEMENT LOADING,
C * OR TEMPERATURE LOADING ON STRUCTURAL MATERIALS
C
C * LATEST REVISION- MAY 1977
C
C * * * * *
C   COMMON/BKARG/HED(20),LL,NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORUL,NUMJT
C   1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NRIE,NONP,HTR,NCTYP,NR1TY
C   2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MO,NQ,NWP,NT,MBAND,
C   3TEMP,NUMBLK,II,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
C   420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G
C   5UI(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20)
C   6,ULCOEF(20),FR(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),RMOD(400),GUI(40
C   70),X(450),Y(450),DJSP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
C   80),IL(400,5),LUL(150,8),LEL(150),NP(75),IBC(70),JRC(70),PR(70),F(2
C   9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(H),Ba(3,2),A
C   1BC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)
C * * * * *
C   * READ AND PRINT CONTROL DATA *
C * * * * *
C   10 READ(1,1000) (HED(I),I=1,20),NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,NUMJT,NUMAPP
C   1,INIT,NC,LORUL,ITRD,GAMW,PATM
C   IF(NUMNP.EQ.0) GO TO 600
C   WRITE(3,2000) (HED(I),I=1,20),NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,NUMJT,NC,NU
C   1MAPP,INIT,LORUL,GAMW,PATM
C   READ(1,1030) NATYP,NCTYP,NB1TYP,NB2TYP
C   WRITE(3,2005) NATYP,NCTYP,NB1TYP,NB2TYP
C   WRITE(3,2010)
C * * * * *
C   * READ AND PRINT MATERIAL PROPERTIES *
C * * * * *
C   DO 20 N = 1,NUMSOL
C   READ(1,1010) GUI(N),GUF(N),GAM(N),FR(N),AO(N),PHI(N),XXP(N)
C   READ(1,1015) HCOEF(N),ULCOEF(N),COHE(N),E(N),ALPHA(N)
C   20 WRITE(3,2020) N,GAM(N),GUI(N),GUF(N),AO(N),PHI(N),COHE(N),XXP(N),
C   1 HCOEF(N),ULCOEF(N),FR(N),E(N),ALPHA(N)
C   IF(NUMSOL.EQ.NUMMAT) GO TO 30
C * * * * *
C   * READ AND PRINT INTERFACE PROPERTIES *
C * * * * *
C   NN = NUMSOL + 1
C   WRITE(3,2030)
C   READ(1,1010) (EXPJ(N),PHJ(N),RKS(N),AO(N),COJ(N),COEFJ(N),GU(N),
C   1 FR(N),N=NN,NUMMAT)
C   WRITE(3,2040) (N,RKS(N),COJ(N),PHJ(N),COEFJ(N),EXPJ(N),FR(N),
C   1 N = NN,NUMMAT)
C   30 CONTINUE
C * * * * *
C   * READ AND PRINT OF NODAL POINT DATA -- INCLUDING COORDINATES
C   PORE PRESSURE AND CHANGE IN PORE PRESSURE OR TEMPERATURE *
C * * * * *
C   WRITE(3,2050)
C   L = 0
C   40 READ(1,1020) N,X(N),Y(N),PP(N),DP(N)

```

```

NL = L + 1
IF(N .EQ. 1) GO TO 50
ZX = N-L
DX = (X(N) - X(L))/ZX
DY = (Y(N) - Y(L))/ZX
DELP = (PP(N) - PP(L))/ZX
DELPD = (DP(N) - DP(L))/ZX
50  L = L + 1
    IF(N - L) 80,70,60
60  X(L) = X(L - 1) + DX
    Y(L) = Y(L - 1) + DY
    PP(L) = PP(L-1) + DELP
    DP(L) = DP(L-1) + DELPD
    IF(L .LE. NUMNP) GO TO 50
    WRITE(3,2055)
    GO TO 600
70  WRITE(3,2060) (M,X(M),Y(M),PP(M),DP(M),M,M=NL,N)
    IF(NUMNP - N) 90,90,40
80  WRITE(3,2065) N
    CALL EXIT
90  CONTINUE
C * * * * *
C * READ AND PRINT BOUNDARY CONDITIONS *
C * * * * *
WRITE(3,2070)
READ(1,1030) NOY,NOX,NOXY
IM = NOY + NOX
IP = NOY + 1
IN = IM + 1
IO = NOY + NOX + NOXY
IF(NOY .EQ. 0) GO TO 93
READ(1,1030) (IC(N),N=1,NOY)
WRITE(3,2075) (IC(N),N=1,NOY)
93  IF(NOX .EQ. 0) GO TO 97
    READ(1,1030) (IC(N),N=IP,IM)
    WRITE(3,2080) (IC(N),N=IP,IM)
97  IF(NOXY .EQ. 0) GO TO 99
    READ(1,1030) (IC(N),N=IN,IO)
    WRITE(3,2090) (IC(N),N=IN,IO)
C * * * * *
C * READ AND PRINT OF ELEMENT DATA *
C * * * * *
99  N = 0
    WRITE(3,2100)
100 READ(1,1080) M,(IL(M,I),I=1,5)
110  N = N + 1
    IF(M .EQ. N) GO TO 120
    IL(N,1) = IL(N-1,1) + 1
    IL(N,2) = IL(N-1,2) + 1
    IL(N,3) = IL(N-1,3) + 1
    IL(N,4) = IL(N-1,4) + 1
    IL(N,5) = IL(N-1,5)
120 WRITE(3,2103) N,(IL(N,I),I=1,5)
    IF (M .EQ. N) GO TO 130
    IF(N .LE. NUMEL) GO TO 110
    WRITE(3,2105)
    GO TO 600
130 IF(NUMEL .EQ. N) GO TO 140
    GO TO 100
140 CONTINUE

```

```

150 CONTINUE
C * * * * *
C * DETERMINE BAND WIDTH *
C * * * * *
  J=0
  DO 250 N=1,NUMEL
  DO 250 I=1,4
  DO 240 L=1,4
  KK=IABS(IL(N,I)-IL(N,L))
  IF (KK-J) 240,240,230
230 J=KK
  IF (J .LE. 29) GO TO 240
  WPITF (3,2110) N
240 CONTINUE
250 CONTINUE
  MBRAND=2*J+2
  IF(MBRAND .LE. 60) GO TO 300
  GO TO 600
300 CONTINUE
  WRITE(3,2120) MBRAND
  NWP = 0
  NLL = 0
C * * * * *
C * ESTABLISH INITIAL STRESSES IN SUBROUTINE INITIAL *
C * * * * *
  CALL INITIAL
C * * * * *
C * PERFORM INCREMENTAL LOADING *
C * * * * *
  IF(NC .EQ. 0) GO TO 600
  DO 550 MQ = 1,NC
  WRITE(3,2130) MQ
  READ (1,1030) NUL,NLL,MS,NWP,NT,NF
  DO 304 I = 1,75
304 NP(I) = 0
  DO 305 I = 1,NUMNP
  FX(I) = 0.
305 FY(I) = 0.
C * * * * *
C * READ AND PRINT EXCAVATION DATA *
C * * * * *
  IF(NUL .EQ. 0) GO TO 310
  READ(1,1030) NEL
  READ(1,1030) ((LUL(N,I),I=1,8),N=1,NEL)
  WRITE(3,2155)
  WRITE(3,2160) ((LUL(N,I),I=1,8),N=1,NEL)
  CALL FXCAV
C * * * * *
C * READ AND PRINT BUILD-UP DATA *
C * * * * *
310 IF(NLL .EQ. 0) GO TO 330
  READ(1,1050) NLEL,(LEL(N),N = 1,NLFL)
  READ(1,1050) NJ
  READ(1,1050) NONP,(NP(N),N = 1,NONP)
  READ(1,1040) NCE,NRIE,HTB
  WRITE(3,2190) NLFL
  WRITE(3,2400) (LEL(N),N = 1,NLEL)
  CALL BUILD
  IF(NJ .EQ. (NLEL + 1)) GO TO 330
  DO 320 N = NJ,NLEL

```

```

M = LEL(N)
SIG(M,1) = 0.0
STFS(M) = 100000000.
320 STFN(M) = 100000000.
C * * * * *
C * GENERATE SEEPAGE LOADING *
C * * * * *
330 IF(MS .EQ. 0) GO TO 350
WRITE(3,2200)
CALL SEEP
C * * * * *
C * READ AND PRINT BOUNDARY PRESSURE LOADING DATA *
C * * * * *
350 IF(NWP .EQ. 0) GO TO 360
WRITE(3,2260)
READ(1,1030) NWP
READ(1,1060) (IBC(L),JBC(L),PR(L),L=1,NWP)
WRITE(3,2300) (IBC(L),JBC(L),PR(L),L=1,NWP)
C * * * * *
C * ACKNOWLEDGE TEMPERATURE LOADING *
C * * * * *
360 IF(NT .EQ. 0) GO TO 370
WRITE(3,2320) M
C * * * * *
C * ZERO LOADS ON FIXED BOUNDARY POINTS *
C * * * * *
370 DO 400 M = 1,IO
N = IC(M)
IF(M .GT. NOY .AND. M .LE. IM) GO TO 390
FY(N) = 0.0
IF(M .LE. NOY) GO TO 400
390 Fx(N) = 0.0
400 CONTINUE
C * * * * *
C * ACKNOWLEDGE CONCENTRATED FORCE OR DISPLACEMENT LOADING *
C * * * * *
IF(NF .EQ. 0) GO TO 470
WRITE(3,2340)
READ(1,1030) NCL
DO 450 I = 1,NCL
READ(1,1070) M,X1,Y1,N,X2,Y2
Fx(M) = Fx(M) + X1
Fy(M) = Fy(M) + Y1
IF(N .EQ. 0) GO TO 450
Fx(N) = Fx(N) + X2
Fy(N) = Fy(N) + Y2
450 WRITE(3,2350) M,X1,Y1,N,X2,Y2
470 CONTINUE
DO 500 NQ = 1,NUMAPP
C * * * * *
C * SET UP STRUCTURE STIFFNESS MATRIX AND LOAD VECTOR*
C * * * * *
C * * * * *
C * SOLVE SIMULTANEOUS EQUATIONS FOR DISPLACEMENTS *
C * * * * *
CALL STRSTF
CALL BANSOL
C * * * * *
C * SOLVE FOR ELEMENT STRESSES AT CENTER NODE *

```

```

C * * * * *
CALL STRESS
500 CONTINUE
550 CONTINUE
1000 FORMAT(20A4/10I5,2F10.3)
1010 FORMAT(8F10.5)
1015 FORMAT(5E15.5)
1020 FORMAT(1I5,5X,4F10.2)
1030 FORMAT(8I10)
1040 FORMAT(2I10,F10.2)
1050 FORMAT(16I5)
1060 FORMAT(3(2I8,F8.2))
1070 FORMAT(2(I10,2F10.3))
1080 FORMAT(6I5,50X)
2000 FORMAT(1H1,20A4///30X,#NUMBER OF NODAL POINTS =#,I5/30X,#NUMBER OF
1 ELEMENTS=#,I5/30X,#TOTAL NUMBER OF DIFFERENT MATERIALS =#,I5/30X,
2#NUMBER OF DIFFERENT MATERIALS FOR TWO DIMENSIONAL ELEMENTS =#,I5/
330X,#NUMBER OF ONE-D ELEMENTS =#,I5/30X,#NUMBER OF LOAD CASES =#,
4I5/30X,#NUMBER OF ITERATIONS PER LOAD CASE =#,I5/30X,#INITIAL STRE
5SS CODE =#,I5/30X,#MODULUS CALCULATION CODE =#,I5/30X,#UNIT WEIGHT
6 OF WATER =#,F10.2/30X,#ATMOSPHERIC PRESSURE =#,F10.2)
2005 FORMAT(///30X,#THE SPECIFIED INCREMENTAL MATERIAL TYPES ARE AS FO
1LLOWS#//50X,#AIR=#,I5/34X,#STRUCTURAL MATERIAL=#,I5/35X,#BACKFILL
2MATERIAL1=#,I5/35X,#BACKFILL MATERIAL2=#,I5)
2010 FORMAT(1H1,55X,#MATERIAL PARAMETERS#//2X,#MATL#,5X,#GAMMA#,4X,#NUI
1#,4X,#NUF#,4X,#K0#,4X,#PHI#,4X,#COHESION#,3X,#EXP.#,8X,#LCOEF.#,6X
2,#ULCOEF.#,5X,#F.P.#,3X,#YOUNGS MODULUS#,5X,#ALPHA#//)
2020 FORMAT(I5,5X,F6.2,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F4.2,4X,F5.2,1X,F 8.2,4X,F5.3
1,2(3X,F11.3),3X,F4.2,2X,F14.1,8X,F8.6)
2030 FORMAT(///55X,#INTERFACE PROPERTIES#//25X,#MATERIAL#,3X,#RESIDUAL
1KS#,5X,#COHESION#,8X,#PHI#,9X,#COEF.#,5X,#EXPONENT#,5X,#F. R.#//)
2040 FORMAT(/25X,I5,5X,F12.4, F12.3,8X,F5.2,3X,F12.0,5X,F5.2,5X,F5.2)
2050 FORMAT(1H1,15X,#NODAL POINT#,4X,#X-ORDINATE#,8X,#Y-ORDINATE#,8X,#P
1ORE PRESSURE#,8X,#CHANGE IN PORE PRESSURE#,4X,#NODAL POINT#//)
2055 FORMAT(1H1,30X,#ERROR IN NODAL POINT DATA#)
2060 FORMAT(18X,I5,9X,F7.2,11X,F7.2,12X,F8.2,19X,F8.2,13X,I5)
2065 FORMAT(1H1,#NODAL POINT CARD ERROR N = #,I5)
2070 FORMAT (1H1,50X,#NODES WITH BOUNDARY RESTRAINTS#//)
2080 FORMAT(//5X,#NO X MOVEMENT#,20I5/20X,20I5)
2075 FORMAT (5X,#NO Y MOVEMENT#,20I5/20X,20I5)
2090 FORMAT(//5X,#NO X OR Y MOVEMENT#,20I5/20X,20I5/20X,20I5)
2100 FORMAT(1H1,30X,#ELEMENT NO. I J K L MATERI
1AL#)
2103 FORMAT(30X,I7,6X,4I6,2I12)
2105 FORMAT(1H1,30X,#ERROR IN ELEMENT DATA#)
2110 FORMAT(1H1,#BAND WIDTH TOO LARGE AT ELEMENT = #, I5)
2120 FORMAT(///40X,#THE BANDWIDTH IS=#,I5//)
2130 FORMAT(1H1,30X,#INCREMENTAL LOADING HAS BEEN SPECIFIED CASE LOADING
1G NUMBER#,I5//)
2155 FORMAT(///40X,#EXCAVATION INPUT DATA#//5X,#CUT ELEM.#,5X,#INTERP
1OLATION ELEMENTS#,5X,#LOADED NODAL POINTS - CODE = 1#//49X,
2#I#,9X,#J#,9X,#K#,9X,#L#//)
2160 FORMAT(8(5X,I5))
2190 FORMAT(///40X,#BUILD-UP INPUT DATA#//41X,#NUMBER OF ELEMENTS#,I3/
1//30X,#ELEMENTS BUILT-UP#)
2200 FORMAT(///30X,#INCREMENTAL SEEPAGE LOADING HAS BEEN SPECIFIED FOR
1 THIS INCREMENT#)
2260 FORMAT(///40X,#INCREMENTAL PRESSURE LOADING#//)

```

```
140X, #NODE I#, 5X, #NODE J#, 5X, #WATER PRESSURE#//)
2300 FORMAT(38X, 2I9, F17.2)
2320 FORMAT(///20X, #DIFFERENTIAL NODAL TEMPERATURES ARE BEING APPLIED F
100 LOADING CASE = #, I5)
2340 FORMAT(///30X, #INCREMENTAL FORCE OR DISPLACEMENT LOADING HAS BEEN
1 SPECIFIED FOR THIS INCREMENT#//34X, #NODAL PT. X-LOAD Y-LOAD
2 NODAL PT. X-LOAD Y-LOAD#//)
2350 FORMAT(31X, I10, 2F10.4, 2X, I10, 2X, 2F10.4)
2400 FORMAT (20X, 8I10)
GO TO 10
600 STOP
END
```

SUBROUTINE INITAL

COMMON/BKARG/HED(20),LL,NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORUL,NUMJT
 1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NRIE,NONP,HTR,NCTYP,NBITY
 2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MO,NO,NWP,NT,MBAND,
 3TEMP,NUMBLK,II,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
 420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G
 5UI(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20)
 6,UUCOEF(20),FR(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),BMOD(400),GUI(40
 70),X(450),Y(450),DISP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
 80),IL(400,5),LUL(150,8),LEL(150),NP(75),IBC(70),JRC(70),PR(70),F(2
 9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(X),BA(3,2),A
 1BC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)

```

C * * * * *
  WRITE(3,2000)
  LL = 0
  II = 0
  MO = 1
  NO = NUMAPP
  NTRIP = 1
  IF(INIT .EQ. 1) GO TO 100
C * * * * *
C * READ INITIAL STRESS,DISPLACEMENT,MATERIAL PROPERTY AND
C INTERFACE STIFFNESS VALUES IF SPECIFIED *
C * * * * *
  READ(1,1000) ((SIG(N,M),M=1,3),N=1,NUMEL)
  READ(1,1005) (SIG(N,4),N=1,NUMEL)
  READ(1,1010) ((DISP(N,M),M=1,2),N=1,NUMNP)
  READ(1,1015) (PP(N),N=1,NUMNP)
  READ(1,1020) (IL(N,5),N=1,NUMEL)
  IF(NUMJT .EQ. 0) GO TO 170
  READ(1,1030) ((STFS(N),STFN(N)),N=1,NUMJT)
  GO TO 170
C * * * * *
C * GENERAT INITIAL VERTICAL STRESSES BY GRAVITY TURN-ON IF STRESSES
C NOT READ IN *
C * * * * *
100 DO 150 N = 1,NUMEL
  DO 130 M = 1,4
130 SIG(N,M) = 0.0
  IF(IL(N,5) .GT. NUMSOL) GO TO 140
  EE(N) = 100.*PATM
  IF(IL(N,5) .EQ. NATYP) EE(N) = 0.001
  MTYPE = IL(N,5)
  GUE = GUI(MTYPE)
  GUI(N) = GUI(MTYPE)
  BMOD(N) = EE(N)/(2.*(1. + GUE)*(1.-2.*GUE))
  GO TO 150
140 STFN(N) = 100000000.
  STFS(N) = 100000000.
150 CONTINUE
  DO 160 N = 1,NUMNP
  FY(N) = 0.0
160 FX(N) = 0.0
  CALL STRSTF
  CALL HANSOL
  CALL STRESS
170 DO 360 N = 1,NUMEL
  MTYPE = IL(N,5)
  IF(INIT .EQ. 0) GO TO 260
  IF(MTYPE .LE. NUMSOL) GO TO 240
  GO TO 360
C * * * * *

```

```

C      * GENERATE INITIAL HORIZONTAL STRESSES IF STRESSES NOT READ IN *
C * * * * *
240  UU = 0.0
     DO 180 I = 1,4
       L = IL(N,I)
180  UU = UU + PP(L)
     UW = UU/4.*GAMW
     SIG(N,2) = SIG(N,2) - UW
     SIG(N,1) = A0(MTYPE)*SIG(N,2)
     SIG(N,4) = ABS( SIG(N,1) - SIG(N,2) )/2.
     SIG(N,3) = 0.0
260  IF(MTYPE .GT. NUMSOL) GO TO 360
     DO 265 I = 1,4
265  Q(I) = SIG(N,I)
C * * * * *
C      * SET UP INITIAL MODULUS VALUES AND PRINT INITIAL STRESSES,
C * * * * *
C      * MODULUS VALUES, AND PORE PRESSURES FOR 2-D ELEMENTS *
C * * * * *
     CALL MODCAL(N)
     WRITE(3,2010) N,XC,YC,(SIG(N,I),I=1,4),PSTR(1),PSTR(2),EE(N),SL,UW
360  CONTINUE
     IF(NUMJT .EQ. 0) GO TO 390
C * * * * *
C      * OUTPUT INITIAL INTERFACE PROPERTIES *
C * * * * *
     WRITE(3,2020)
     DO 380 J = 1,NUMJT
       K = IL(J,1)
       L = IL(J,2)
       XC = (X(K) + X(L))/2.
       YC = (Y(K) + Y(L))/2.
       IF(INIT .EQ. 0) GO TO 370
       SIG(J,2) = 0.0
370  WRITE(3,2030) J,XC,YC,(SIG(J,I),I=1,2),STFN(J),STFS(J),J
380  CONTINUE
390  CONTINUE
C      * ZERO INITIAL DISPLACEMENTS *
     IF( INIT .EQ. 0) GO TO 550
     DO 500 N = 1,NUMNP
       DO 500 M = 1,2
500  DISP(N,M) = 0.0
550  CONTINUE
     INIT = 0
     NTRIP = 0
     RETURN
1000  FORMAT(30X,2E10.2,10X,E10.2)
1005  FORMAT(8F10.2)
1010  FORMAT(6E12.4,8X)
1015  FORMAT(10F8.2)
1020  FORMAT(15I5)
1030  FORMAT(8E10.4)
2000  FORMAT(1H1,40X, #INITIAL EFFECTIVE STRESSES AND MODULI#///9X, #EL NO
1#,5X, #X#,5X, #Y#,5X, #X-STRESS#,3X, #Y-STRESS#,5X, #TAU-XY#,3X, #TAU MA
2X, #2X, #MAX STRESS#,1X, #MIN STRESS#,4X, #MODULUS#,2X, #STRESS LEVEL#,
34X, #PORE PRESS#/63X, #PREVIOUS#//)
2010  FORMAT(7X,I5,2X,2F7.2,6F11.2,F11.1,3X,F6.2,8X,F11.2)

2020  FORMAT(///40X, #INITIAL INTERFACE STRESSES#///9X, #EL NO#,4X, #X#,
16X, #Y#,5X, #NORMAL STRESS#,4X, #SHEAR STRESS#,4X, #NORMAL STIFF#,
2 5X, #SHEAR STIFF#,4X, #EL NO#//)
2030  FORMAT(4X,I8,2F8.2, 4F16.3,I8)
END

```

SUBROUTINE STRSTF

```
COMMON/BKARG/HED(20),LL,NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORUL,NUMJT
1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NRIE,NONP,HTR,NCTYP,NRITY
2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MQ,NQ,NWP,NT,MBAND,
3TEMP,NUMBLK,II,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G-
5UI(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20)
6,LULCOEF(20),FP(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),BMOD(400),GU(40
70),X(450),Y(450),ZISP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
80),IL(400,5),LUL(150,8),LFL(150),NP(75),IBC(70),JRC(70),PR(70),F(2
9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(R),BA(3,2),A
IBC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)
```

```
C * * * * *
C * INITIALIZE CONSTANTS TO CONTROL EQUATION BLOCKS *
C * * * * *
```

```
REWIND 5
NR = 30
ND = 2*NB
ND2 = 2*ND
NUMBLK = 0
STOP = 0.
```

```
C * * * * *
C * INITIALIZE STIFFNESS MATRIX AND LOAD VECTOR *
C * * * * *
```

```
DO 100 N = 1,ND2
B(N) = 0.0
DO 100 M = 1,ND
100 A(N,M) = 0.0
DO 101 I = 1,3
DO 101 J = 1,10
101 ST(I,J) = 0.
```

```
C * * * * *
C * FORM STRUCTURAL STIFFNESS MATRIX A(MBAND,2*DOF) IN BLOCKS *
C * * * * *
```

```
105 NUMBLK = NUMBLK + 1
NH = NB*(NUMBLK + 1)
NM = NH - NR
NL = NM - NR + 1
KSHIFT = 2*NL - 2
DO 260 N = 1,NUMEL
IF(IL(N,5) .LT. 0) GO TO 260
DO 120 I = 1,4
110 IF(IL(N,I) - NL)120,110,110
120 CONTINUE
GO TO 260
```

```
C * * * * *
C * FORM ELEMENT STIFFNESS MATRIX S(10,10) *
C * * * * *
```

```
140 MTYPE = IL(N,5)
IF (MTYPE .LE. NUMSOL) GO TO 150
CALL JTSTF(N)
GO TO 200
150 CALL QUAD(N)
IF(VOL .GT. 0.001) GO TO 200
WRITE(3,2000) N
STOP = 1.0
```

```
C * * * * *
C * ADD S(8,8) TO STRUCTURAL STIFFNESS BY DIRECT STIFFNESS
```

```

C      METHOD - STORE ONLY ABOVE DIAGONAL TERMS IN A( ) *
C * * * * *
200  IL(N,5) = -IL(N,5)
      DO 210 I = 1,4
210  LM(I) = 2*IL(N,I) - 2
      DO 250 I = 1,4
      DO 250 K = 1,2
      II = LM(I) + K - KSHIFT
      KK = 2*I - 2 + K
      B(JI) = B(II) + P(KK)
      DO 250 J = 1,4
      DO 250 L = 1,2
      JJ = LM(J) + L - II + 1 - KSHIFT
      LL = 2*J - 2 + L
      IF(JJ) 250,250,220
220  IF(ND - JJ) 230,240,240
230  WRITE(3,2000) N
      STOP = 1.
      GO TO 260
240  A(II,JJ) = A(II,JJ) + S(KK,LL)
250  CONTINUE
260  CONTINUE
C * * * * *
C      * ADD INCREMENTAL CONCENTRATED LOADS TO LOAD VECTOR B( ) *
C * * * * *
      Nx = NM
      IF(NM .GT. NUMNP) NX = NUMNP
      DO 270 N = 1,NX
      K = 2*N - KSHIFT
      B(K) = B(K) + FY(N)
270  B(K - 1) = B(K - 1) + FX(N)
      IF(NWP .EQ. 0) GO TO 275
C * * * * *
C      * ADD BOUNDARY PRESSURE LOADS *
C * * * * *
      DO 500 L = 1,NWPF
      I = IBC(L)
      J = JBC(L)
      WP = PR(L)/2.
      DY = (Y(I) - Y(J))*WP
      DX = (X(J) - X(I))*WP
      II = 2*I - KSHIFT
      JJ = 2*J - KSHIFT
      IF(II .LE. 0) GO TO 450
      IF(II - ND .GT. 0) GO TO 450
      B(II-1) = B(II-1) + DY
      B(II) = B(II) + DX
450  IF(JJ .LE. 0) GO TO 500
      IF(JJ - ND .GT. 0) GO TO 500
      B(JJ-1) = B(JJ-1) + DY
      B(JJ) = B(JJ) + DX
500  CONTINUE
C * * * * *
C      * MODIFY EQUATIONS FOR BOUNDARY CONDITIONS
C * * * * *
275  IN = NOY + NOX + 1
      IM = NOY + NOX + NOXY
      DO 310 MM = 1,IM
      M = IC(MM)

```

```

IF(MM .GT. NOY .AND. MM .LT. IN) GO TO 280
KK = 0
U = FY(M)
N = 2*M - KSHIFT
GO TO 290
280 U = FX(M)
KK = 1
N = 2*M - 1 - KSHIFT
290 IF(M .LT. NL) GO TO 310
IF(M .GT. NH .OR. M .GT. NUMNP) GO TO 310
DO300 NN = 2,MBAND
K = N - NN + 1
IF(K .LE. 0) GO TO 295
B(K) = B(K) - A(K,NN)*U
A(K,NN) = 0.0
295 K = N + NN - 1
IF(ND2 .LT. K) GO TO 300
B(K) = B(K) - A(N,NN)*U
A(N,NN) = 0.0
300 CONTINUE
A(N,1) = 1.0
B(N) = U
IF (MM .GE. IN .AND. KK .EQ. 0) GO TO 280
310 CONTINUE
C * * * * *
C *WRITE 60X60 BLOCK OF EQUATIONS ON TAPE AND SHIFT UP LOWER BLOCK*
C * * * * *
C WRITE(5) (B(N),(A(N,M),M = 1,MBAND),N = 1,ND)
C * * * * *
C * INITIALIZE FOR NEXT BLOCK OF EQUATIONS *
C * * * * *
DO 320 N = 1,ND
K = N + ND
B(N) = B(K)
B(K) = 0.0
DO 320 M = 1,ND
A(N,M) = A(K,M)
320 A(K,M) = 0.0
C * * * * *
C * CHECK FOR LAST BLOCK *
C * * * * *
IF(NM .LT. NUMNP) GO TO 105
340 CONTINUE
IF (STOP .EQ. 1.) CALL EXIT
RETURN
2000 FORMAT(1H1, #NEGATIVE AREA ELEMENT = #,I5)
3000 FORMAT(5I5)
3010 FORMAT(2I5,F15.5)
3020 FORMAT(10E11.4)
END
C * * * * *

```



```

      IH=10-K
      ID=IH+1
      DO 150 I = 1,IH
      S(ID,I)=S(ID,I)/S(ID,ID)
      DO 150 J = 1,IH
150   S(J,I) = S(J,I) - S(J,ID)*S(ID,I)
      IF(INIT .EQ. 1) GO TO 300
      IF(NT .EQ. 0 .OR. MTYPE .NE. NCTYP) GO TO 300
C * * * * *
C * * * * *
C * * * * *
      I = IL(N,1)
      J = IL(N,2)
      K = IL(N,3)
      L = IL(N,4)
      DTAVG = (DP(I) + DP(J) + DP(K) + DP(L))/4.
      TEMP = DTAVG*ALPHA(MTYPE)
      DO 200 I = 1,4
      II = IL(N,I)
      TT(2*I) = Y(II)*TEMP
200   TT(2*I-1) = X(II) * TEMP
      DO 250 I = 1,8
      DO 250 K = 1,8
250   P(I) = P(I) + S(I,K)*TT(K)
300   CONTINUE
      RETURN
      END
C * * * * *

```



```

II=LM(I)
UU=(U(2,I)+U(3,I))/COMM
VV=(V(2,I)+V(3,I))/COMM
ST(1,II)=ST(1,II)+UU
ST(2,II+1)=ST(2,II+1)+VV
ST(3,II)=ST(3,II)+VV
ST(3,II+1)=ST(3,II+1)+UU
200 CONTINUE
SUM=U(1,I)+U(2,I)+U(3,I)
SUM1=SUM+U(1,I)
SUM2=SUM+U(2,I)
SUM3=SUM+U(3,I)
SUM=V(1,I)+V(2,I)+V(3,I)
SVM1=SUM+V(1,I)
SVM2=SUM+V(2,I)
SVM3=SUM+V(3,I)
DO 300 J=1,4
JJ=LM(J)
UQU=U(1,J)*SUM1+U(2,J)*SUM2+U(3,J)*SUM3
VQU=V(1,J)*SUM1+V(2,J)*SUM2+V(3,J)*SUM3
VQV=V(1,J)*SVM1+V(2,J)*SVM2+V(3,J)*SVM3
UQV=U(1,J)*SVM1+U(2,J)*SVM2+U(3,J)*SVM3
S(II,JJ)=S(II,JJ)+C11*UQU+C13*(VQU+UQV)+C33*VQV
S(II+1,JJ+1)=S(II+1,JJ+1)+C22*VQV+C23*(VQU+UQV)+C33*UQU
S(II,JJ+1)=S(II,JJ+1)+C23*VQV+C13*UQU+VQU*C12+C33*UQV
300 S(JJ+1,II)=S(II,JJ+1)
400 RETURN
END

```

SUBROUTINE JTSTF(N)

COMMON/8KARG/HED(20),LL,NUMNP,NIJEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORUL,NUMJT
1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NRIE,NONP,HTR,NCTYP,NRITY
2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MO,NQ,NWP,NT,MBAND,
3TEMP,NUMBLK,IT,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G
5UI(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20)
6,ILCOEF(20),FR(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),RMOO(400),GU(40
70),X(450),Y(450),DISP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
80),IL(400,5),LUL(150,8),LEL(150),NP(75),IRC(70),JRC(70),PR(70),F(2
9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(8),BA(3,2),A
1BC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)

C * * * * *
DIMENSION BC(4,4),COSIN(2,2)

DATA BC/2.,1.,-1.,-2.,1.,2.,-2.,-1.,-1.,-2.,2.,1.,-2.,-1.,1.,2./

C * * * * *
* ESTABLISH ELEMENT GEOMETRY *

C * * * * *
C * * * * *

II = IL(N,1)

JJ = IL(N,2)

DX = X(JJ) - X(II)

DY = Y(JJ) - Y(II)

DL = SQRT(DX**2 + DY**2)

IF(DL .GT. 0.) GO TO 100

WRITE(3,2000) II

CALL EXIT

100 JTYPE = IL(N,5)

C * * * * *
C * * * * *

* SET UP ELEMENT STIFFNESS IN LOCAL COORDINATE SYSTEM *

C * * * * *
C * * * * *

DO 150 I = 1,8

P(I) = 0.

DO 150 J = 1,8

150 S(I,J) = 0.

CKS = STFS(N)*DL/6.

CKN = STFN(N)*DL/6.

DO 160 I = 1,4

IS = 2*I - 1

IN = 2*I

DO 160 J = 1,4

JS = 2*J - 1

JN = 2*J

S(IS,JS) = CKS*BC(I,J)

160 S(IN,JN) = CKN*BC(I,J)

IF(DY .EQ. 0.) RETURN

C * * * * *
C * * * * *

* ROTATE STIFFNESS TO GLOBAL COORDINATE - (AT)*(K)*(A) *

C * * * * *
C * * * * *

COSIN(1,1) = DX/DL

COSIN(1,2) = DY/DL

COSIN(2,1) = -DY/DL

COSIN(2,2) = DX/DL

DO 190 NN = 1,4

DO 170 I = 1,8

JJ = 2*NN - 1

TEMP = S(I,JJ)

DO 170 K = 1,2

S(I,JJ) = TEMP *COSIN(1,K) + S(I,2*NN)*COSIN(2,K)

```
170 JJ = JJ + 1
    DO 180 I = 1,8
      JJ = 2*NN - 1
      TEMP = S(JJ,I )
      DO 180 K = 1,2
        S(JJ,I)=COSIN(1,K)*TEMP+COSIN(2,K)*S(2*NN,I)
180 JJ = JJ + 1
190 CONTINUE
2000 FORMAT(1H1, #NEGATIVE LENGTH JOINT ELEMENT#,I5)
    RETURN
    END
```

```

C * * * * *
SURROUTINE EXCAV
COMMON/BKARG/HED(20),LL,NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORUL,NUMJT
1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NRIE,NONP,HTB,NCTYP,NRITY
2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MQ,NQ,NWP,NT,MBAND,
3TEMP,NUMBLK,II,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G
5UI(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20),
6,ULCOEF(20),FR(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),RMOD(400),GU(40
70),X(450),Y(450),DISP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
80),IL(400,5),LUL(150,8),LEL(150),NP(75),IHC(70),JHC(70),PR(70),F(2
9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(8),BA(3,2),A
1BC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)
C * * * * *
III = 0
ISTOP = 0
DO 300 M = 1,NEL
NI = LUL(M,1)
IF(M .EQ. 1) GO TO 50
MK = LUL(M-1,1)
50 IF(IL(NI,5) .LE. NUMSOL) GO TO 90
STFS(NI) = 0.001
STFN(NI) = 0.001
GO TO 300
90 IL(NI,5) = NATYP
EE(NI) = E(NATYP)
DO 100 I = 1,4
IF(LUL(M,I+4) .NE. 0) GO TO 110
100 CONTINUE
GO TO 300
110 CONTINUE
III = III + 1
DO 25 I = 1,4
DO 25 J = 1,3
25 DD(J,I) = C(J,I)
C * * * * *
C * SET UP CENTER NODE COORDINATE MATRIX S( ) *
C * * * * *
DO 120 NN = 1,4
MM = LUL(M,NN)
I = IL(MM,1)
J = IL(MM,2)
K = IL(MM,3)
L = IL(MM,4)
P(NN) = (PP(I) + PP(J) + PP(K) + PP(L))*GAMW/4.
YY = (Y(J) + Y(L))/2.
XX = (X(J) + X(L))/2.
S(NN,1) = 1.
S(NN,2) = XX
S(NN,3) = YY
S(NN,4) = XX*YY
120 CONTINUE
C * * * * *
C * INVERT CENTER NODE COORDINATE MATRIX S( ) *
C * * * * *
DO 180 N = 1,4
D = S(N,N)
IF(ABS(D - 0.) .GT. 0.000001) GO TO 125
ISTOP = 1

```

```

WRITE(3,2000) NI
GO TO 300
125 DO 130 J = 1,4
130 S(N,J) = -S(N,J)/D
DO 170 I = 1,4
IF(N - I) 140,170,140
140 DO160 J = 1,4
IF(N - J)150,160,150
150 S(I,J) = S(I,J) + S(I,N)*S(N,J)
160 CONTINUE
170 S(I,N) = S(I,N)/D
S(N,N) = 1./D
180 CONTINUE
C * * * * *
C * SOLVE FOR INTERPOLATION COEFFICIENT MATRIX ARC( ) *
C * * * * *
DO 190 K = 1,3
DO 190 J = 1,4
ARC(K ,J ,1) = 0.
DO 190 I = 1,4
IF( K .EQ. 3) P(I ) = 0.0
MM = LUL(M,I )
190 ARC(K ,J ,1) = ABC(K ,J ,1) + S(J ,I )*(SIG(MM,K ) + P(I ))
C * * * * *
C * SOLVE FOR NODAL STRESS MATRIX C( ) *
C * * * * *
DO 250 K = 1,4
DO 250 J = 1,3
MM = IL(NI,K )
IF(III .EQ. 1) GO TO 220
DO 210 I = 1,4
IF(IL(MK,I) .EQ. MM) GO TO 230
210 CONTINUE
220 C(J ,K ) = ABC(J ,1,1) + ABC(J ,2,1)*X(MM) + ARC(J ,3,1)*Y(MM) +
1 ARC(J ,4,1)*X(MM)*Y(MM)
GO TO 250
230 DO 240 L = 1,3
240 C(L, K) = DD(L,I)
250 CONTINUE
CALL EQNDF0(NI)
C * * * * *
C * ADD EQUIVALENT NODAL FORCES TO CONCENTRATED NODAL FORCES *
C * IF LUL(M,4-H) EQUALS ZERO - NODE NOT LOADED *
C * * * * *
DO 260 I = 1,4
IM = IL(NI,I)
IF(LUL(M,I+4) .EQ. 0) GO TO 260
FX(IM) = FX(IM) + F(1,I)
FY(IM) = FY(IM) + F(2,I)
260 CONTINUE
300 CONTINUE
IF(ISTOP .EQ. 1) CALL EXIT
RETURN
2000 FORMAT(///20X,*,ELEMENT#,I4,*,HAS PRODUCED A SINGULAR INTERPOLATION
IMATRIX -REORDER INTERPOLATION ELEMENT#)
END
C * * * * *

```


SUBROUTINE BUILD

COMMON/BKARG/HED(20),LL,NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORJL,NUMJT
 1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NB1E,NONP,HTB,NCTYP,NB1TY
 2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MQ,NQ,NWP,NT,MBAND,
 3TFMP,NUMBLK,II,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
 420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G
 5UT(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20)
 6,ULCOEF(20),FR(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),RMOD(400),GU(40
 70),X(450),Y(450),DISP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
 80),IL(400,5),LUL(150,8),LEL(150),NP(75),IBC(70),JRC(70),PR(70),F(2
 9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(8),BA(3,2),A
 1BC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)

C *

```

LL = 0
NI = NCE + NB1E
DO 30 L = 1,NLEL
  MM = LEL(L)
  DO 90 I = 1,4
    90 SIG(MM,I) = 0.0
    I = IL(MM,1)
    J = IL(MM,2)
    K = IL(MM,3)
    M = IL(MM,4)
    YAVG = (Y(I) + Y(J) + Y(K) + Y(M))/4.
    IF(IL(MM,5) .LE. NUMSOL) GO TO 180
  
```

C *

C * ESTABLISH STRESSES AND MATERIAL PARAMETERS *

C *

```

DX = X(J) - X(I)
DY = Y(J) - Y(I)
DL = SQRT(DX**2 + DY**2)
CSN = DX/DL
SNE = DY/DL
ANG = 3.1415
IF(ABS(CSN-0.) .LT. 0.000001) GO TO 150
TANG = SNE/CSN
ANG = 2.*ATAN(TANG)
150 SS = GAM(NB1TYP)*(HTB - YAVG)
SR = AO(NB1TYP)*SS
SIG(MM,1) = 0.5*(SS + SR) + 0.5*(SS - SR)*COS(ANG)
STFN(MM) = 100000000.
170 STFS(MM) = 0.001
GO TO 300
180 MG = NCTYP
IF(L .GT. NCE) MG = NB1TYP
IF(L .GT. NI) MG = NB2TYP
IL(MM,5) = MG
IF(IL(MM,5) .EQ. NB2TYP .OR. IL(MM,5) .EQ. NB1TYP) GO TO 200
GU(MM) = GUI(NCTYP)
BMOD(MM) = E(NCTYP)/(2.*(1. + GUI(NCTYP))*(1. - 2.*GUI(NCTYP)))
EE(MM) = 0.00000001 *E(NCTYP)
GO TO 220
200 Q(2) = GAM(MG)*(HTB-YAVG)
Q(1) = AO(MG)*Q(2)
Q(3) = 0.0
Q(4) = 0.0
CALL MODCAL(MM)
EF(MM) = .001*EE(MM)
  
```

200 Q(2) = GAM(MG)*(HTB-YAVG)

Q(1) = AO(MG)*Q(2)

Q(3) = 0.0

Q(4) = 0.0

CALL MODCAL(MM)

EF(MM) = .001*EE(MM)

```

      SIG(MM,2) = Q(2)
      SIG(MM,1) = Q(1)
      SIG(MM,4) = 0.0
C * * * * *
C * * GENERATE GRAVITY LOADING FOR BUILD-UP ELEMENTS *
C * * * * *
220  APEA = 0.0
      I = IL(MM,1)
      J = IL(MM,2)
      K = IL(MM,4)
      GO TO 260
240  I = IL(MM,3)
      J = IL(MM,4)
      K = IL(MM,2)
260  APEA = AREA + 0.5*(X(J)*(Y(K)-Y(I)) + X(I)*(Y(J)-Y(K)) +
1  X(K)*(Y(I) - Y(J)))
      IF(I .EQ. IL(MM,1)) GO TO 240
      CK = AREA*GAM(MG)
      DO 280 I = 1,4
      J = IL(MM,I)
280  FY(J) = FY(J) - CK/4.
300  CONTINUE
      RETURN
      END
C * * * * *

```

SUBROUTINE BANSOL

COMMON/BKAPG/HED(20),LL,NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORUL,NUMJT
1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NRIE,NONP,HTR,NCTYP,NRITY
2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MQ,NQ,NWP,NT,MBAND,
3TFMP,NUMBLK,II,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G
5UJ(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20),
6,UJLCOEF(20),FR(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),RMOD(400),GU(40
70),X(450),Y(450),DISP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
80),IL(400,5),LUL(150,8),LEL(150),NP(75),IBC(70),JRC(70),PR(70),F(2
9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(8),BA(3,2),A
1BC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)
DIMENSION G(120),7(120,60)

```
C * * * * *
MM = MBAND
NN = 60
DO 50 I = 1,NN
G(I) = 0.0
DO 50 J = 1,MM
50 Z(I,J) = 0.0
NL=NN+1
NH=NN+NN
REWIND 4
REWIND 5
NR=0
GO TO 150
C * * * * *
C REDUCE EQUATIONS BY BLOCKS
C * * * * *
C * * * * *
C 1. SHIFT BLOCK OF EQUATIONS
C * * * * *
100 NR=NR+1
DO 125 N=1,NN
NH=NH+N
B(N)=B(NH)
R(NH)=0.0
DO 125 M=1,MM
A(N,M)=A(NH,M)
125 A(NH,M)=0.0
C * * * * *
C 2. READ NEXT BLOCK OF EQUATIONS INTO CORE
C * * * * *
IF (NUMBLK-NB) 150,200,150
150 READ (5) (B(N),(A(N,M),M=1,MM),N=NL,NH)
151 IF (NR) 200,100,200
C * * * * *
C 3. REDUCE BLOCK OF EQUATIONS
C * * * * *
200 DO 127 N = 1,NN
NM = NN + N
G(N) = G(NM)
DO 127 M = 1,MM
127 Z(N,M) = Z(NM,M)
I = 1
IF (NR .GT. 1) I = 61
DO 130 N = 1,120
G(N) = R(N)
DO 130 M = 1,MM
```

```

130 Z(N,M) = A(N,M)
    DO 300 N=1,NN
      IF (7(N,1)) 225,300,225
225 G(N)=G(N)/Z(N,1)
    DO 275 L=2,MM
      IF (7(N,L)) 230,275,230
230 D=Z(N,L)/Z(N,1)
      I=N+L-1
      J=0
      DO 250 K=L,MM
        J=J+1
250 Z(I,J)=Z(I,J)-D*Z(N,K)
      G(I)=G(I)-Z(N,L)*G(N)
      Z(N,L)=D
275 CONTINUE
300 CONTINUE
C * * * * *
C 4. WRITE BLOCK OF REDUCED EQUATIONS ON TAPE 4
C * * * * *
      IF (NUMBLK-NB) 375,400,375
375 WRITE (4) (G(N), (Z(N,M),M=2,MM),N=1,NN)
      GO TO 100
C * * * * *
C BACK-SUBSTITUTION
C * * * * *
400 CONTINUE
      DO 450 M=1,NN
        N=NN+1-M
        DO 425 K=2,MM
          L=N+K-1
425 G(N)=G(N)-Z(N,K)*G(L)
          NM=N+NN
          G(NM)=G(N)
450 Z(NM,NB)=G(N)
          NB=NB-1
          IF (NB) 475,500,475
475 BACKSPACE 4
          READ (4) (G(N), (Z(N,M),M=2,MM),N=1,NN)
480 BACKSPACE 4
          GO TO 400
C * * * * *
C ORDER UNKNOWN IN B ARRAY
C * * * * *
500 K=0
      DO 600 NB=1,NUMBLK
        DO 600 N=1,NN
          NM=N+NN
          K=K+1
600 G(K)=Z(NM,NB)
          NDF = 2*NUMNP
          DO 700 N = 1,NDF
700 B(N) = G(N)
          RETURN
3000 FORMAT(9I5)
      END
C * * * * *

```

SUBROUTINE STRESS

COMMON/BKARG/HED(20),LL,NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORJL,NUMJT
 1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NBIE,NONP,HTB,NCTYP,NB1TY
 2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MQ,NQ,NWP,NT,MBAND,
 3TFMP,NUMBLK,II,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
 420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G
 5UT(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20)
 6,ULCOEF(20),FR(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),BMOD(400),GJ(40
 70),X(450),Y(450),DISP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
 80),IL(400,5),LUL(150,8),LEL(150),NP(75),IBC(70),JBC(70),PR(70),F(2
 9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(8),BA(3,2),A
 1BC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)

```

C * * * * *
C * CALCULATE THE DISPLACEMENTS *
C * * * * *
IF(INIT .EQ. 1 .OR. NO .LT. NUMAPP) GO TO 160
WRITE(3,2000) MQ,NQ
J = 1
DO 150 N = 1,NUMNP
  FX(N) = 0.
  FY(N) = 0.
  IF(NP(J) .NE. N) GO TO 130
  J = J + 1
  DISP(N,1) = 0.
  DISP(N,2) = 0.
  B(2*N-1) = 0.0
  B(2*N) = 0.0
  GO TO 150
130 IF(ABS(B(2*N)) .LT. 10. .AND. ABS(B(2*N-1)) .LT. 10. ) GO TO 140
  DISP(N,1) = 0.0
  DISP(N,2) = 0.0
  GO TO 150
140 DISP(N,1) = DISP(N,1) + B(2*N-1)
  DISP(N,2) = DISP(N,2) + B(2*N)
150 WRITE(3,2010) N,X(N),Y(N),(DISP(N,I),I=1,2),B(2*N-1),B(2*N),PP(N),N
C * * * * *
C * CALCULATE ELEMENT STRESSES AT CENTER NODE *
C * * * * *
160 CONTINUE
IF(INIT .EQ. 1) GO TO 162
IF(ITRD .EQ. 0 .AND. NQ .NE. NUMAPP) GO TO 162
WRITE(3,2020) MQ,NQ
162 DO 300 N = 1,NUMEL
  IL(N,5) = IABS(IL(N,5))
  MM = IL(N,5)
  IF(MM .GT. NUMSOL) GO TO 300
  DO 173 I = 1,4
173 Q(I) = SIG(N,I)
  LL = 0
  IF(NLL .EQ. 0) GO TO 170
  DO 165 I = 1,NLEL
  IF(LEL(I) .NE. N) GO TO 165
  IF(MM .EQ. NCTYP) GO TO 163
  PSTR(2) = SIG(N,1)
  PSTR(5) = SIG(N,1)
  PHIR = PHI(MM)*0.01745
  CK = (2.*COHE(MM)*COS(PHIR))/(1.-SIN(PHIR))
  RDF = (PSTR(2) )*((1.+SIN(PHIR))/(1.-SIN(PHIR)) - 1.) + CK
  PSTR(4) = (ABS(SIG(N,2)-SIG(N,1)))/RDF
  
```

```

163 CONTINUE
GO TO 240
165 CONTINUE
170 IF(MM .NE. NATYP) GO TO 174
GO TO 240
174 CONTINUE
IF(INIT .EQ. 1 .OR. NQ .EQ. NUMAPP) GO TO 185
LL = 1
GO TO 240
175 PSTR(4) = 2.*RD/RDF
PSTR(5) = PSTR(2)
185 DO 190 I = 1,3
DO 190 J = 1,10
190 ST(I,J) = 0.
CALL QUAD(N)
C * * * * *
C * SET UP ELEMENT DISPLACEMENT VECTOR *
C * * * * *
DO 195 I = 1,4
II = 2*I
JJ = 2*IL(N,I)
P(II - 1) = B(JJ - 1)
195 P(II) = B(JJ)
DO 200 I = 9,10
P(I) = 0.0
KK = I - 1
DO 200 K = 1,KK
200 P(I) = P(I) - S(I,K)*P(K)
C * * * * *
C * SOLVE FOR STRESSES *
C * * * * *
DD(1,1) = -TEMP
DD(2,1) = -TEMP
DD(3,1) = 0.0
DO 220 I = 1,3
DO 220 J = 1,10
220 DD(I,1) = DD(I,1) + ST(I,J)*P(J)
DO 230 I = 1,3
DO 230 J = 1,3
230 Q(I) = Q(I) - C(I,J) *DD(J,1)
LL = 0
240 CONTINUE
IF(INIT .EQ. 1) GO TO 270
C * * * * *
C * CALCULATE NEW MODULUS AND POISSON RATIO VALUES *
C * * * * *
CALL MODCAL(N)
IF(LL .EQ. 1) GO TO 175
IF(INIT .EQ. 1) GO TO 300
IF(ITRD .EQ. 0 .AND. NQ .NE. NUMAPP) GO TO 300
WRITE(3,2030) N, XC, YC, ( Q(I), I=1,3), (PSTR(I), I=1,3), EE(N), GU(N)
1, SL, UW
IF(NQ .NE. NUMAPP) GO TO 300
270 DO 280 I = 1,4
280 SIG(N,I) = Q(I)
300 CONTINUE
IF(NUMJT .EQ. 0) GO TO 340
IF(INIT .EQ. 1) GO TO 310
IF(ITRD .EQ. 0 .AND. NQ .NE. NUMAPP) GO TO 310

```

```

C * * * * *
C * CALCULATE NEW INTERFACE STIFFNESS VALUES *
C * * * * *
WRITE(3,2040)
310 DO 320 N = 1,NUMEL
IF(IL(N,5) .GT. NUMSOL) CALL JSTRES(N)
320 CONTINUE
340 CONTINUE
IF(NLL .EQ. 0 .OR. NQ .EQ. NUMAPP) GO TO 355
DO 350 N = 1,NLEL
MM = LEL(N)
MG = IL(MM,5)
SIG(MM,4) = 0.0
IF(MG .GT. NUMSOL) GO TO 345
EE(MM) = EE(MM)*0.001
IF(MG .EQ. NCTYP)EE(MM) = EE(MM)*0.001
GO TO 350
345 IF(ABS(STFS(MM)-100000000.) .LT. 1.)GO TO 350
STFS(MM) = 0.001
350 CONTINUE
355 IF (NQ .NE. NUMAPP .OR. INIT .EQ. 1 .OR. MO .NE. NC) GO TO 360
WRITE(2,3010) ((N,(IL(N,I),I=1,4), (SIG(N,M),M=1,3)),N=1,NUMEL)
WRITE(2,3015) (SIG(N,4),N=1,NUMEL)
WRITE(2,3020) ((DISP(N,M),M=1,2),N=1,NUMNP)
WRITE(2,3050) (PP(N),N=1,NUMNP)
WRITE(2,3030) (IL(N,5),N=1,NUMEL)
WRITE(2,3040) (STFS(N),STFN(N),N=1,NUMJT)
3010 FORMAT(5I5,15X,2E10.2,10X,E10.2)
3015 FORMAT(8F10.2)
3020 FORMAT(6E12.4,8X)
3030 FORMAT(15I5)
3040 FORMAT(8E10.4)
3050 FORMAT(10F8.3)
2000 FORMAT(1H1,30X, #DISPLACEMENT RESULTS FOR LOADING CASE NO. #,I3,
1# ITERATION#,I2///3X,#N.P.#,4X,#X#,6X,#Y#,6X,#TOTAL UX#,4X,#TOTAL
2 UY#,3X,#INCREM. UX#,2X,#INCREM. UY#,1X,#PORE PRESS.#,3X,#N.P.#///
1)
2010 FORMAT(15,2F8.2, 4F12.4,F12.3,I5)
2020 FORMAT(1H1,20X,#EFFECTIVE STRESSES,MODULUS VALUES AND PORE PRESSURE
1ES#/35X,#FOR CASE#,I2,2X,#-ITERATION#,I2//2X,#EL. NO.#,2X,#X#,6X,#
2Y#,5X,#X-STRESS#,3X,#Y-STRESS#,2X,#XY-STRESS#,1X,#MAX-STRESS#,1X,#
3MIN-STRESS#,2X,#ANGLE#,4X,#MODULUS#,1X,#POISSON RATIO#,1X,#STRESS
4LEVEL#,1X,#POPE PRESS#///)
2030 FORMAT(15,2F8.2,5F11.2,F7.2,F11.1,F11.2,1X,F11.2,4X,F11.2)
2040 FORMAT(1H1,40X,#INTERFACE ELEMENT RESULTS#///5X,#EL NO#,4X,#X#,7X,
1 #Y#,6X,#NORM STRESS#,1X,#TAN STRESS#,2X,#NORM DISP#,3X,#TAN DISP#,
2,6X,#TAN STIFF#,3X,#NORM STIFF#,3X,#PORE PRESS#///)
3000 FORMAT (I5)
360 CONTINUE
RETURN
END
C * * * * *

```

SUBROUTINE JSTRES(N)

COMMON/BKARG/HED(20),LL,NUMNP,NUMEL,NUMMAT,NUMSOL,ITRD,LORUL,NUMJT
1,NUMAPP,INIT,MTYPE,NOY,NOX,NOXY,NCE,NLEL,NRIE,NONP,HTR,NCTYP,NRITY
2P,NB2TYP,NATYP,NEL,NTRIP,NLL,NF,NWPF,NUL,MS,NC,MQ,NQ,NWP,NT,MBAND,
3TFMP,NUMBLK,II,JJ,KK,VOL,UW,SL,XC,YC,RDF,RD,PATM,GAMW,RKS(20),COJ(
420),PHJ(20),COEFJ(20),EXPJ(20),STFN(320),STFS(320),GAM(20),E(20),G
SUI(20),GUF(20),AO(20),ALPHA(20),PHI(20),COHE(20),HCOEF(20),XXP(20)
6,ULCOEF(20),FR(20),Q(4),PSTR(5),SIG(400,4),EE(400),RMOD(400),GU(40
70),X(450),Y(450),DISP(450,2),FX(450),FY(450),PP(450),DP(450),IC(12
80),IL(400,5),LUL(150,8),LEL(150),NP(75),IBC(70),JBC(70),PR(70),F(2
9,4),XY(2,4),B(120),A(120,60),S(10,10),P(10),C(4,4),LM(3),BA(3,2),A
IBC(3,4,2),DD(3,10),ST(3,10)

JTYPE = IL(N,5)

C * * * * *
C * ROTATE GLOBAL DISPLACEMENTS TO LOCAL COORDINATE SYSTEM *
C * * * * *

I = IL(N,1)

J = IL(N,2)

XC = (X(I) + X(J))/2.

YC = (Y(I) + Y(J))/2.

DX = X(J) - X(I)

DY = Y(J) - Y(I)

DL = SQRT(DX**2 + DY**2)

CSN = DX/DL

SNE = DY/DL

DO 100 K = 1,4

L = IL(N,K)

P(2*K) = -8(2*L-1)*SNE + 8(2*L)*CSN

100 P(2*K-1) = 8(2*L-1)*CSN + 8(2*L)*SNE

RDN = 0.5*(P(2)-P(2) + P(6)-P(4))

RDS = 0.5*(P(7)-P(1) + P(5)-P(3))

Q(1) = SIG(N,1)

Q(2) = SIG(N,2)

IF(NLL .EQ. 0) GO TO 110

DO 105 K=1,NLEL

IF(LEL(K) .NE. N) GO TO 105

GO TO 120

105 CONTINUE

C * * * * *
C * COMPUTE STRESSES IN INTERFACE ELEMENT *
C * * * * *

110 AA = 0.5

IF(INIT .EQ. 1 .OR. NQ .EQ. NUMAPP) AA = 1

Q(1) = SIG(N,1) - AA*STFN(N)*RDN

Q(2) = SIG(N,2) - AA*STFS(N)*RDS

IF(NQ .NE. NUMAPP) GO TO 120

SIG(N,1) = SIG(N,1) - STFN(N)*RDN

SIG(N,2) = SIG(N,2) - STFS(N)*RDS

117 IF(ABS(STFS(N)-100000000.) .LT. 1. .OR. ABS(STFN(N)-0.001).LT.
10.00001) GO TO 120

IF(SIG(N,1) .GT. 0.) GO TO 120

STFS(N) = 0.001

GO TO 130

120 IF(ABS(STFS(N)-100000000.) .LT. 1. .OR. ABS(STFN(N)-0.001).LT.
10.00001) GO TO 130

CALL MODCAL(N)

C * * * * *
C * PRINT INTERFACE STRESSES AND RELATIVE DISPLACEMENTS *
C * * * * *

```
130 CONTINUE
    IF(ITRD .EQ. 0 .AND. NQ .NE. NUMAPP) GO TO 140
    IF(INIT .EQ. 1) GO TO 140
    WRITE(3,2010) N,XC,YC,Q(1),Q(2),RDN,RDS,STFS(N),STFN(N),UW
2010 FORMAT(I9,2F8.2,3X,2F11.3,2F12.6,1X,3F14.3)
140 CONTINUE
    RETURN
    END
```

C * * * * *


```

147 PSTR(3) = PSTR(3) + 90.00
150 IF(MM .EQ. NCTYP .OR. ABS(XXP(MM)-0.) .LT. 0.01) GO TO 270
    PHIR = PHI(MM)*0.01745
    CK = (2.*COHE(MM)* COS(PHIR))/(1.- SIN(PHIR))
    RDF = (PSTR(2) )*((1. + SIN(PHIR))/(1. - SIN(PHIR)) - 1.) + CK
    IF(PSTR(2) .LE. 0.) RDF=2.*(PSTR(1)*SIN(PHIR)+COHE(MM)*COS(PHIR))/
1(1.+SIN(PHIR))
    IF(LL .EQ. 1) RETURN
    IF(NQ .NE. NUMAPP)GO TO 160
    PSTR(5) = PSTR(2)
    PSTR(4) = 2.*RD/RDF
160 SL = (PSTR(4) + 2.*RD/RDF)/2.
    GO TO 180
170 EF(N) = 10.
    GU(N) = GUF(MM)
    RMOD(N) = 10.
    IF(RD .GT. Q(4)) Q(4)=RD
    GO TO 400
180 IF(INIT .EQ. 1) GO TO 182
    IF(NTRIP .EQ. 1) GO TO 183
    IF(RD - Q(4))185,190,190
182 IF(LORUL .EQ. 0) GO TO 185
183 IF(ABS(RD-Q(4)) .LT. 1.) GO TO 190
185 CH = (PSTR(2) + PSTR(5))/2.
    IF(CH .LT. 0.0) GO TO 170
    EE(N) = (ULCOEF(MM)*PATM)*((PSTR(2) + PSTR(5))/(2.*PATM))**XXP(MM)
    RR = EE(N)
    IF(SL .GT. 1.) GO TO 210
    RMOD(N) = BB/(2.*(1. + GUI(MM))*(1. -2.*GUI(MM)))
    GU(N) = GUI(MM)
    GO TO 400
190 Q(4) = RD
    CH = (PSTR(2) + PSTR(5))/2.
    IF(CH .LT. 0.0) GO TO 170
    BR = (HCOEF(MM)*PATM)*((PSTR(2)+PSTR(5))/(2.*PATM))**XXP(MM)
    IF(SL .GT. 1.) GO TO 210
    EE(N) = (HCOEF(MM)*PATM)*((PSTR(2)+PSTR(5))/(2.*PATM))**XXP(MM)*
1(1.-FR(MM)*SL)**2
    GU(N) = GUI(MM)
    IF(ABS(GU(N)-0.5) .LT. 0.0001) GU(N) = 0.4999
    RMOD(N) = BB/(2.*(1.+GU(N))*(1.-2.*GU(N)))
    GO TO 400
210 EE(N) = 10.
    GU(N) = GUF(MM)
    RMOD(N) = BB/(2.*(1.+GU(N))*(1.-2.*GU(N)))
    GO TO 400
270 EE(N) = E(MM)
    GU(N) = GUI(MM)
    SL = 0.0
    RR = EE(N)
280 RMOD(N) = BB/(2.*(1. + GUI(MM))*(1. - 2.*GUI(MM)))
    GO TO 400
C * * * * *
C * CALCULATE STIFFNESSES FOR 1-D ELEMENT *
C * * * * *
300 IF(ABS(STFS(N) - 100000000.) .LT. 1.) GO TO 400
    PHIR = PHJ(MM)*0.01745
    SHRST = COJ(MM) + ABS(Q(1))*TAN(PHIR)
    STFS(N) = PKS(MM)

```

```
IF(ABS(Q(2)) .GT. SHRST .OR. Q(1) .LE. 0.) GO TO 400
SD = (1.-( ABS(Q(2))*FR(MM)/(COJ(MM) + Q(1)* TAN(PHIR))))**2
SU = (COEFJ(MM)*GAMW)*((Q(1)/PATM)**EXPJ(MM))
STFS(I) = SU*SD
STFN(N) = 100000000.
400 CONTINUE
RETURN
END
```