

REPUBLIQUE DU SENEGAL



GC.0274

Ecole Polytechnique de THIES

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplome,
d'ingenieur de conception en genie civil

TITRE: SIMULATION PAR ELEMENTS FINIS
DES ECOULEMENTS A TRAVERS
LES BARRAGES EN TERRE

AUTEUR : Mamadou M. DIAGNE

DIRECTEUR : Amadou SARR, ph.D

Juin 89.

DEDICACE

A mon très regretté père

REMERCIEMENTS

A notre directeur de projet, Amadou SARR, professeur à l'école POLYTECHNIQUE de THIES, pour son assistance et ses conseils éclairés,

A Amadou NDOYE, technicien du centre de calcul, pour sa disponibilité,

A Kinvi KANGNI, élève ingénieur de la 15^{ème} promotion, pour son aide précieuse,

A notre camarade de promotion Mamadou S. L. DIOP pour son coup de main remarqué,

A tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont participé à la réalisation de ce projet,

Nous adressons nos sincères remerciements.

SOMMAIRE

Il est envisagé dans le cadre de ce projet de fin d'études, le calcul par éléments finis des écoulements à travers les barrages en terre.

Essentiellement, il s'agira du calcul des potentiels à l'intérieur du domaine considéré et des débits transitant aux différents noeuds du domaine. Aussi on procédera à la transformation du programme P1 (programme réalisé dans le cadre du projet de fin d'études, de Nénonéné, en 1988) de calcul de potentiels en milieu poreux saturé par la méthode des éléments finis (MEF) en TURBO PASCAL 4, du fait de son avantage de langage structuré et très moderne, et ensuite de l'adapter à notre problème défini initialement, moyennant certaines améliorations.

Par ailleurs, du fait de la précision requise dans la discrétisation du domaine pour la détermination des infiltrations, un programme de maillage sera écrit pour assurer la génération automatique des éléments suivant la taille voulue. Les coordonnées des noeuds extrêmes du domaine et les nombres d'éléments suivant l'axe horizontal et suivant celui vertical, du domaine seront entrées comme données.

Les conditions limites (Dirichlet et Neumann) seront aussi générées automatiquement, étant entendu que les niveaux de l'eau à l'amont et à l'aval seront entrés comme données.

DE même, les perméabilités aux différentes parties du barrage,

seront considérées dans le programme 'MAILLAGE'.

Toutefois, il s'agira d'adapter les programmes 'MAILLAGE' et P1; le premier fournissant entièrement les données du second.

Ainsi, dans le chapitre 1, il sera exposé la théorie des éléments finis. Elle a été utilisée dans le programme P1 pour résoudre l'équation de diffusivité du potentiel, en milieu poreux saturé, qui est établie dans le chapitre 2.

Le chapitre 3 sera consacré aux généralités sur les barrages en terre.

La description des programmes (Maillage et p1) est faite au chapitre 4.

Dans le chapitre 5, il sera traité des tests de vérification relatifs aux programmes.

TABLE DES MATIERES

<u>TITRES</u>	<u>PAGES</u>
DEDICACE -----	I
REMERCIEMENTS -----	II
SOMMAIRE -----	III
INTRODUCTION -----	1
CHAPITRE 1: THEORIE SUR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS __	2
1.1 Généralités -----	2
1.2 Subdivision du domaine -----	3
1.2.1 Subdivision -----	3
1.2.2 Formes d'éléments classiques -----	4
1.3 Eléments de référence -----	4
1.4 Fonctions d'interpolation -----	5
1.5 Méthode des résidus pondérés -----	7
1.6 Discrétisation de la fonction intégrale -----	8
1.7 Fonction de pondération -----	9
1.7.1 Choix -----	9
1.7.2 Méthode de Galerkin -----	9
CHAPITRE 2: ECOULEMENT EN MILIEU POREUX SATURE -----	10
2.1 Equation de continuité -----	10
2.2 Equations d'état -----	12
2.3 Equation de Bernoulli -----	12
2.4 Loi de perte de charge -----	14
CHAPITRE 3: BARRAGE EN TERRE -----	18
3.1 Généralités -----	18
3.1.1 Barrage homogène -----	18
3.1.2 Barrage à noyau étanche -----	19
3.1.3 Barrage en masque amont -----	19
3.2 Profil général de barrage -----	20
3.3 Infiltration dans le barrage -----	21
3.3.1 Equipotentiels et lignes de courant -----	22
3.3.2 pression interstitielle -----	23
3.4 Phénomène de Renard -----	23
CHAPITRE 4: MAILLAGE ET DESCRIPTION DES PROGRAMMES -----	28
1. Nécessité d'une discrétisation de précision -----	28
2 Description des programmes -----	30
2.1 Maillage automatique -----	30
2.2 Traitement d'un élément -----	32
2.3 Programme P1 -----	33
3 Définition des variables utilisées -----	34
dans le programme	

CHAPITRE 5: TESTS DE VERIFICATION	36
Exemple1	36
Exemple2	47
Exemple3	49
Programme de discrétisation	50
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	70
BIBLIOGRAPHIE	72
ANNEXES	73
ANNEXE1	74
ANNEXE2	79
ANNEXE3	84

INTRODUCTION

Le problème de la maîtrise de l'eau acquiert de plus en plus droit de cité au Sénégal.

La multiplication des micro-barrages en terre procède certainement de ce souci. Toutefois, ceux-ci demeurent des structures délicates dont le dimensionnement requiert beaucoup de prudence.

Malheureusement, la détermination des paramètres pertinents du design, entre autres, des infiltrations et des pressions interstitielles, pose des problèmes sérieux.

Nous nous sommes ainsi attelés à cette fin dans le présent document.

Les méthodes numériques de pointe telles celle des éléments finis permettent d'atteindre cet objectif.

Aussi est-il apparu nécessaire de s'apesantir davantage sur la qualité du maillage pour raffiner le maximum possible les résultats obtenus.

CHAPITRE 1

THEORIE SUR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS

La mécanique des solides ,celle des fluides etc... sont des sciences qui permettent à l'ingénieur de décrire des phénomènes physiques grâce aux équations aux dérivées partielles. La méthode des éléments finis est de nos jours l'une des méthodes les plus utilisées pour la résolution de ces équations.

En effet ,elle est préférée à beaucoup d'autres méthodes pour la précision qu'elle offre à des problèmes très complexes.

Son utilisation requiert le recours aux trois domaines suivants :

-sciences de l'ingénieur pour construire les équations aux dérivées partielles.

-méthodes numériques pour construire et résoudre les équations algébriques.

-programmation et informatique pour exécuter efficacement les calculs sur ordinateur.

1.1 GENERALITES

Tout modèle mathématique de système physique fait intervenir plusieurs fonctions exactes $u_{ex}(x)$ représentées par des fonctions approchées $u(x)$ de telle sorte que:

$$e(x)=u(x)-u_{ex}(x)$$

soit suffisamment faible.

La construction d'une fonction approchée suppose le choix d'un ensemble fini de fonctions dépendant de n paramètres $a_1,$

$u(x, a_1, a_2, \dots, a_n)$ et la détermination de paramètres a_1, a_2, \dots, a_n de sorte à satisfaire $e(x)=0$ aux différents noeuds.

C'est donc souligné que deux aspects fondamentaux caractèrisent la MEF (méthode des éléments finis).

En effet,

- IL faut tout d'abord définir analytiquement la géométrie de tous les éléments, ce qui est plus ou moins compliqué selon les formes.

-IL faut ensuite construire des éléments d'interpolation correspondant à chaque élément.

Nous allons ainsi essayer d'expliciter les étapes nécessaires à la résolution par éléments finis .

1.2 CARACTERISATION DU DOMAINE D'ETUDE

1.2.1 Subdivision

IL s'agira de subdiviser notre domaine d'étude en sous domaines V^e appelés éléments. Cela suppose alors que les noeuds soient identifiés et que donc chaque élément soit défini par les noeuds qui le composent .

IL est entendu, dans le choix des éléments, que deux éléments distincts ne peuvent avoir en commun que des points situés sur leur frontière commune et que l'ensemble de tous les éléments doit constituer un domaine aussi proche que possible du domaine donné V .

1.2.2 FORMES D'ELEMENTS CLASSIQUES

Les éléments correspondent à des domaines à une, à deux ou à trois dimensions .

Les éléments à une dimension peuvent être à deux noeuds ou à quatre noeuds

Les éléments à deux dimensions sont des triangles ou des quadrilatères. Les éléments à trois dimensions sont des tétraèdres ou des prismes.

1.3 ELEMENTS DE REFERENCE

La définition analytique de certains éléments de forme complexe est souvent fort délicate. Aussi a-t-on introduit la notion d'élément de référence dont la forme est très simple et qu'on repère donc dans un espace de référence. Il peut être transformé en chaque élément réel V^m par une transformation géométrique s^m . Par exemple, considérons le cas suivant.

La transformation s^m définit les coordonnées X^m de chaque point de l'élément réel X à partir des coordonnées ϵ du point correspondant de l'élément de référence .

$$s^m : \epsilon \longrightarrow X^m(\epsilon) \quad (1.2)$$

Etant donné que s dépend de la forme, de la position de l'élément et des coordonnées qui le définissent, la transformation s est différente pour chaque élément réel.

Toutefois, les éléments réels générés par les transformations s^m devraient respecter les règles de partition de domaine en éléments déjà explicitées . Cela reviendrait alors à choisir s de manière à ce qu'elle présente les propriétés suivantes :

- Elle est bijective en tout point ϵ situé sur l'élément de référence ou sur sa frontière : à tout point de V^r correspond un point de V^m et un seul et inversement .
- Les noeuds géométriques de l'élément de référence correspondent aux noeuds

géométriques de l'élément réel .

- Chaque portion de frontière de l'élément de référence définie par les noeuds géométriques de cette frontière correspond à la portion de frontière de l'élément réel défini par les noeuds correspondants .

1.4 FONCTIONS D'INTERPOLATION

En exposant la philosophie de la méthode en introduction, on a remplacé la fonction dite exacte $u_{ex}(x)$ par une fonction approchée $u(x)$ avec $u_{ex}(x)$ et $u(x)$ coïncidant aux noeuds d'interpolation de sorte à avoir $e(x) = u(x) - u_{ex}(x)$

relativement petit.

Cette fonction approchée s'écrit:

$$U(x) = N_1(x) U_1 + N_2(x) U_2 + \dots + N_n(x) U_n \quad (1.3)$$

que nous noterons:

$$U(x) = \langle N_1(x) \ N_2(x) \ \dots \ N_n(x) \rangle \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} = \langle N \rangle \{U_n\}$$

avec

X point quelconque du domaine

n nombre de noeuds de l'élément

$\{U_n\}$ vecteur colonne composé des valeurs de la variable nodale aux noeuds de l'élément

N_i Fonctions d'interpolation

Cette approximation (1.3) dite nodale, a deux propriétés fondamentales :

a) Comme $U(X_i) = U_i$, les fonctions N_i vérifient :

$$N_i(X_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } i=j \\ 0 & \text{si } i \neq j \end{cases}$$

$$N_i(X_j) = \delta_{ij}$$

$$\delta_{ij} \quad \text{si } i=j$$

b) L'erreur d'approximation définie par :

$$e(x) = U(x) - U_{\text{ex}}(x)$$

en tous les noeuds X_i est nulle .

La fonction approchée U doit être continue sur les éléments et entre les éléments . Il faut donc que les fonctions $N_i(x)$ soient continues sur les éléments et entre les éléments .

Dans certaines conditions, il est nécessaire que les fonctions $N_i(x)$ aient des dérivées continues jusqu'à l'ordre $m-1$, m étant l'ordre de dérivabilité maximale.

En reprenant la transformation définie dans le paragraphe 1.3, on peut écrire :

$$s^e : \epsilon \rightarrow X(\epsilon) = X^e(\epsilon, X_1, X_2, X_k) \quad (1.6)$$

On peut poser :

$$X^e(\epsilon) = \langle \tilde{N}_1(\epsilon) \dots \tilde{N}_n(\epsilon) \rangle \quad (1.7)$$

Les fonctions \tilde{N}_i sont des fonctions d'interpolation géométrique ayant alors les mêmes propriétés que les fonctions d'interpolation dans l'approximation nodale .

Avec la bijection entre l'espace de référence et l'espace réel on a :

$$U(x) = \langle N(x) \rangle \{U_n\} \quad (1.8)$$

Et on obtient donc $N \equiv \tilde{N}$. Les fonctions d'interpolation nodale dependent donc uniquement des coordonnées de référence . Cela procure alors une plus grande aisance de calcul.

1.5 METHODE DES RESIDUS PONDERES

Soit un système physique continu, stationnaire dont le comportement est représenté par un système d'équations aux dérivées partielles linéaire ou non linéaire d'ordre m :

$$L(u) + f_v = 0 \text{ sur le domaine } V \quad (1.9a)$$

Les conditions limites s'écrivant :

$$C(u) = f_s \text{ sur la frontière } S \quad (1.9b)$$

avec L et C opérateurs différentiels caractérisant le système, f_v et f_s des fonctions connues.

Le résidu est la quantité $R(u)$ telle que :

$$R(u) = L(u) + f_v \quad (1.10)$$

La méthode des résidus pondérés consiste alors à rechercher les fonctions U qui annulent la forme intégrale

$$W(u) = \int_V \langle \Omega \rangle \{ R(u) \} dV = \int_V \langle \Omega \rangle \{ L(u) + f_v \} dV \quad (1.11)$$

pour toute fonction de pondération Ω appartenant à un ensemble de fonction E_Ω , u étant solution et dérivable jusqu'à l'ordre m .

1.6 DISCRETISATION DE LA FORME INTEGRALE

Nous avons déjà eu à remplacer la résolution des équations aux dérivées partielles par la recherche de fonctions U annulant la forme intégrale suivante :

$$W(u) = \int \Omega R(u) dV \quad \text{quel que soit } \Omega$$

En utilisant l'approximation par éléments finis, on peut écrire

$$U = U(a_1, a_2, \dots, a_n)$$

Alors l'expression (1.11) devient

$$W = \int_V \Omega [L(U(a_1, a_2, \dots, a_n) + f_v)] dV = 0 \quad (1.12)$$

En choisissant un ensemble de n fonctions de pondération indépendantes $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n$ (étant entendu que qu'on a n paramètres de l'approximation), s'écrit :

$$\begin{aligned} W_1 &= \int_V \Omega_1 [L(U(a_1, \dots, a_n) + f_v)] dV \\ W_2 &= \int_V \Omega_2 [L(U(a_1, \dots, a_n) + f_v)] dV \\ &\dots \\ W_n &= \int_V \Omega_n [L(U(a_1, \dots, a_n) + f_v)] dV \end{aligned} \quad (1.13)$$

Ces relations constituent un système d'équations algébriques dont la solution fournit les paramètres de l'approximation de U .

1.7 FONCTIONS DE PONDERATION

1.7.1 CHOIX

On a souligné au paragraphe précédent que le nombre de fonctions d'interpolation devait être égal au nombre de paramètres de l'approximation. Il faut noter en plus que le choix de ces fonctions Ω_i conduit à différentes méthodes: collocation, Galerkin (celle qui est utilisée dans le programme), moindres carrés.

1.7.2 METHODE DE GALERKINE

Dans cette méthode les fonctions Ω sont constituées par, l'ensemble des variations des fonctions U , δU , étant entendu que: $U = U(X, a_1, a_2, \dots, a_n) =$

$$\langle P_1 \ P_2 \ \dots \ P_n \rangle \begin{pmatrix} a \\ a_n \end{pmatrix}$$

ainsi,

$$\Omega = \delta U = \langle P \rangle \langle \delta a \rangle \text{ pour tout } \delta a$$

alors (1.12) devient :

$$W = \int_V \delta U (L(u) + f_v) dV = 0 \quad (1.13)$$

$$(1.13) \Rightarrow W = \langle \delta a \rangle \int \langle P \rangle [L(\langle P \rangle \langle a \rangle) + f_v] dV = 0 \quad (1.14)$$

W devant s'annuler quel que soit Ω , alors (1.14) pourrait s'écrire comme un système de n équations algébriques.

$$W_1(a) = \int_V P_1 [\langle L(P) \rangle \langle a \rangle + f_v] dV = 0$$

$$W_n(a) = \int_V P_n [\langle L(P) \rangle \langle a \rangle + f_v] dV = 0$$

La MEF ainsi exposée, a permis de résoudre l'équation aux dérivées partielles caractérisant l'écoulement en milieu poreux saturé, que nous allons établir dans le chapitre suivant.

Cette théorie de la MEF nous permet ainsi de bien cerner la démarche adoptée dans le programme P1. Aussi, pourrons nous procéder aux transformations pertinentes; notamment sa transformation en Turbo Pascal version 4, et l'insertion à l'intérieur, de clauses, nous permettant de l'utiliser avec le programme Maillage.

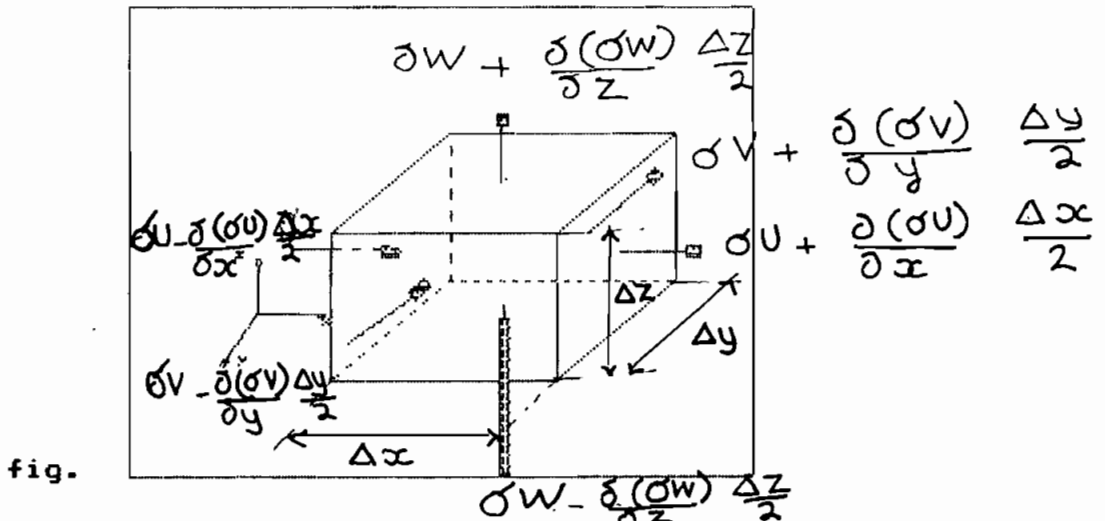
CHAPITRE 2

ÉCOULEMENT EN MILIEU POREUX SATURÉ

Tout écoulement souterrain est défini complètement à l'aide des quatre types d'équation suivants .

- 1) équation de continuité
- 2) équation de Bernouilli
- 3) équation d'état
- 4) loi de perte de charge

1.1 EQUATION DE CONTINUITE



Considérons l'élément parallélépipédique ci-dessus d'un milieu poreux saturé par un fluide de masse spécifique δ , avec pour composantes de vitesse (fictive) U , V et W (suivant les axes x, y et z) au centre C de l'élément .

La masse traversant un élément de surface ΔA est donnée par $\delta V_n \Delta A$ où V_n est la composante de la vitesse normale à ΔA .

$$\delta M / \delta t_x = [-[\delta U - \delta(\delta U) / \delta x \Delta x / 2] + [\delta U - \delta(\delta U) / \delta x \Delta x / 2]] \Delta y \Delta z \quad (2.1)$$

$$= -\delta(\delta U) / \delta x \Delta x \Delta y \Delta z$$

U étant la composante de la vitesse tangente à ΔA .

En généralisant on a :

$$\delta M / \delta t = -[\delta(\delta U) / \delta x + \delta(\delta V) / \delta y + \delta(\delta W) / \delta z] \Delta x \Delta y \Delta z \quad (2.2)$$

Par ailleurs on a :

$$\Delta M = m \delta \Delta x \Delta y \Delta z \text{ avec } m \text{ porosité}$$

Avec ΔM en fonction du temps, en admettant les variations de m et de z et celles de δ , on aboutit à une nouvelle forme de l'équation de continuité (2.3) qui comparée à la première nous donne (2.4).

$$\delta(\Delta M) / \delta t = [m \delta(\Delta z) / \delta t + \delta \Delta z \delta m / \delta t + m \Delta z \delta \delta / \delta t] \Delta x \Delta y \quad (2.3)$$

$$-[\delta(\delta U) / \delta x + \delta(\delta V) / \delta y + \delta(\delta W) / \delta z] \Delta x \Delta y \Delta z = [m \delta(\Delta z) / \delta t + \delta \Delta z \delta m / \delta t + m \Delta z \delta \delta / \delta t] \Delta x \Delta y \quad (2.4)$$

1.2 EQUATIONS D'ETAT

Elles permettent d'introduire les propriétés de déformabilité de l'eau d'une part, du squelette minéral et des grains minéraux, d'autre part.

On définit la compressibilité β de l'eau comme étant :

$$\beta = -d(\Delta V_v) / \Delta V_v \quad 1/dp = 1/E_w \quad (2.5)$$

et la compressibilité α du squelette minéral par :

$$\alpha = -d(\Delta z) / \Delta z \quad (1/d\sigma_z') = 1/E_s \quad (2.6)$$

où

E_w, E_s = modules d'élasticité de l'eau et du squelette minéral [kg/cm²]

En supposant

$$d(\Delta V_s) = d[(1-m)\Delta x \Delta y \Delta z] = 0 \quad (2.7)$$

V_s = volume des grains minéraux

on sait aussi que pendant la consolidation, on a :

$$\sigma = \text{cte} = \sigma' + p \quad \begin{array}{l} \sigma' = \text{contrainte effective} \\ p = \text{contrainte neutre} \end{array}$$

$$\Rightarrow d\sigma = d\sigma' + dp = 0$$

$$\Rightarrow d\sigma' = -dp \quad (2.8)$$

(2.5) (2.6) (2.7) (2.8) donnent après transformations (2.3) sous la forme suivante :

$$\delta(\Delta M)/\delta t = [m \delta \alpha \Delta z \delta p/\delta t + (1-m) \delta \alpha \Delta z \delta p/\delta t + m \delta \beta \Delta z \delta p/\delta t] \Delta x \Delta y \quad (2.9)$$

$$\Rightarrow \delta(M)/\delta t = \delta(\alpha + m\beta) \Delta x \Delta y \Delta z \delta p/\delta t \quad (2.10)$$

L'équation peut donc s'écrire :

$$-[u \delta \delta/\delta x + v \delta \delta/\delta y + w \delta \delta/\delta z] - \delta[\delta u/\delta x + \delta v/\delta y + \delta w/\delta z] = \delta(\alpha + m\beta) \delta p/\delta t \quad (2.11)$$

1.3 EQUATION DE BERNOULLI

La charge hydraulique peut être exprimée de la façon suivante :

$$H = p/(\delta g) + z + V^2/(2g) \quad (2.13)$$

Mais en écoulement souterrain, on a V très faible (écoulement rampant), alors on peut réécrire H comme étant :

$$H = p/\delta_w + z$$

avec $\delta_w = \delta g$

$$d'où \quad p = \rho g(H - z) \quad (2.14)$$

$$\Rightarrow dp/dx = \rho g \delta H/\delta x + g(H - z) \delta \rho/\delta x \quad (2.15)$$

mais $g(H - z) = p/\rho$ d'après (2.13)

$$\text{donc} \quad dp/dx = \rho g \delta H/\delta x + p/\rho \delta \rho/\delta x \quad (2.16)$$

De même on trouve dp/dy et dp/dz , d'où :

$$dp/dx = \rho g \delta H/\delta x + p/\rho \delta \rho/\delta x \quad (a)$$

$$dp/dy = \rho g \delta H/\delta y + p/\rho \delta \rho/\delta y \quad (b) \quad (2.17)$$

$$dp/dz = \rho g (\delta H/\delta z - 1) + p/\rho \delta \rho/\delta z \quad (c)$$

Pour une masse de liquide donnée si ρ change à cause de la variation du volume des vides, on aura la relation de continuité.

$$\rho \Delta V_v = \text{cte} \quad (2.18)$$

d'où

$$\rho d(\Delta V_v)/\Delta V_v + d\rho = 0 \quad (2.19)$$

(2.5) dans (2.19) donne

$$-\rho dp + d\rho = 0 \quad (2.20)$$

$$\Rightarrow \delta \rho/\delta x = 1/\rho \delta p/\delta x \quad (2.21)$$

(2.21) et (2.17a) entraînent :

$$\delta \rho/\delta x = \rho^2 g/(1 - p) \delta H/\delta x \quad (2.22)$$

En considérant p négligeable par rapport à 1 on a :

$$\delta \rho/\delta x = \rho^2 \beta g \delta H/\delta x \quad (2.23)$$

On peut utiliser la même analogie pour $\delta \rho/\delta y$ et $\delta \rho/\delta z$

Avec cela et $\delta p/\delta t = \rho g \delta H/\delta t$ (Bernoulli) et (2.23), on peut réécrire l'équation de continuité, après avoir divisé par ρ

$$-\rho g [u \delta H/\delta x + v \delta H/\delta y + w(\delta H/\delta z - 1)] - [\delta u/\delta x + \delta v/\delta y + \delta w/\delta z] =$$

$$\delta g (\alpha + m\beta) \delta H / \delta t \quad (2.24)$$

1.4 LOI DE PERTE DE CHARGE

Elle représente la loi de DARCY et elle s'écrit (étant supposé un milieu homogène):
voir réf. 2

$$\begin{aligned} | \quad u &= -k_x \delta H / \delta x \\ | \quad v &= -k_y \delta H / \delta y \\ | \quad w &= -k_z \delta H / \delta z \end{aligned} \quad (2.25)$$

Et en dérivant :

$$\begin{aligned} | \quad \delta u / \delta x &= - \delta (k_x \delta H / \delta x) / \delta x \\ | \quad \delta v / \delta y &= - \delta (k_y \delta H / \delta y) / \delta y \\ | \quad \delta w / \delta z &= - \delta (k_z \delta H / \delta z) / \delta z \end{aligned} \quad (2.26)$$

L'équation de continuité (2.24) devient après substitution de (2.25) et de (2.26) :

$$\begin{aligned} \delta g [k_x (\delta H / \delta x)^2 + k_y (\delta H / \delta y)^2 + k_z [(\delta H / \delta z)^2 - \delta H / \delta z]] + \\ [\delta (k_x \delta H / \delta x) / \delta x + \delta (k_y \delta H / \delta y) / \delta y + \delta (k_z \delta H / \delta z) / \delta z] = \delta g (\alpha + m) \delta H / \delta t \end{aligned} \quad (2.27)$$

Si $\delta H / \delta z$ est faible, on peut négliger:

$$\delta g [k_x (\delta H / \delta x)^2 + k_y (\delta H / \delta y)^2 + k_z [(\delta H / \delta z)^2 - \delta H / \delta z]] = 0 \quad (2.28)$$

En utilisant les opérateurs gradient, grad et divergence div, l'équation de continuité devient:

$$\text{div} ([k] \text{grad} H) = \delta g (\alpha + m) \delta H / \delta t \quad (2.29)$$

avec k , tenseur de perméabilité dans les directions principales de l'écoulement.

Soit le coefficient d'emménagement spécifique S_e

$$S_e = \phi g (\alpha + m) \quad (2.30)$$

d'où

$$\text{div} ([k] \text{grad } H) = S_e \delta H / \delta t \quad (2.31)$$

Si on considère que l'écoulement est permanent, alors on a : $\delta H / \delta t = 0$

$$\text{L'équation 2.31 devient alors : } \text{div} ([k] \text{grad } H) = 0 \quad (2.32)$$

La relation (2.32) représente l'équation de diffusivité, en écoulement permanent. C'est justement celle-ci qui est résolue dans le programme P1.

Pour ce qui est du calcul des débits, on pourra se référer à la bibliographie (réf.4).

Il est donné, dans la procédure de résolution par élément finis par la matrice colonne $\{F\}$ dite matrice de sollicitations.

$$\{F\} = q_e \quad e \quad \{N^e\} ds_e$$

N^e , étant une matrice colonne représentant les fonctions d'interpolation (voir chapitre 2).

$$q_e = (-k^{1,j} \delta H / \delta x_1) \cdot n_j, \text{ le flux à travers } s^e \text{ du domaine considéré.}$$

Cet exposé nous permet de mieux cerner la démarche adoptée dans le programme P1 afin que nous puissions l'adapter plus facilement au programme de discrétisation.

CHAPITRE-3

BARRAGE EN TERRE

3.1 GENERALITES

La différence fondamentale qu'il convient de relever entre barrage en terre et barrage de type poids est que le premier met en jeu des volumes dix à quinze fois plus importants.

Il faudra entendre par terre, toute la gamme de sol allant depuis l'argile très fine jusqu'aux éléments très grossiers.

Il existe trois schémas principaux de barrage en terre:

- barrage homogène
- barrage à noyau étanche
- barrage à masque amont

Toutefois du fait qu'il est rare de pouvoir trouver sur place, des volumes suffisants de terre pour réaliser une digue homogène, le massif sera constitué en général de plusieurs zones de caractéristiques différentes.

3.1.1 BARRAGE HOMOGENE

Il représente le type de barrage, le plus facile à réaliser lorsqu'une quantité suffisante de matériaux terreux, permettant d'obtenir après compactage des conditions satisfaisantes d'étanchéité et de stabilité, est disponible.

Le barrage en terre homogène est constitué d'un massif en terre compactée imperméable, muni d'un dispositif de drains dans sa partie aval et d'une protection mécanique contre l'effet

du battillage dans sa partie amont.

3.1.2 BARRAGE A NOYAU ETANCHE

Comme il est mentionné précédemment, l'hétérogénéité des matériaux disponibles, nous amène en général à opter pour une solution autre que celle de digue homogène.

Alors, la fonction d'étanchéité sera assurée par un noyau étanche réalisé par un matériau argileux (fig. 3.1).

Il y a lieu de prévoir une couche filtrante de transition entre zones lorsqu'il y a discontinuités importantes de la granularité des matériaux des différentes parties en contact; étant entendu que le noyau étanche est maintenu par une ou plusieurs zones constituées de matériaux plus grossiers et relativement perméables qui assure la stabilité mécanique de l'ouvrage.

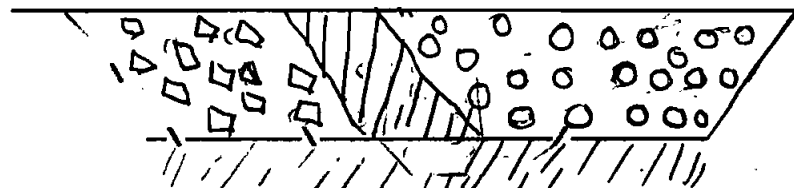


FIG. 3.1 barrage à noyau central

3.1.3 BARRAGE A MASQUE AMONT

Il faut préciser que la réalisation d'un noyau étanche peut présenter des difficultés telles que manque de matériau convenable, difficulté de mise en oeuvre. Il s'agira alors de

comparer cette technique à celle d'une digue homogène à masque amont étanche .

Il est entendu que le masque amont est une paroi étanche plaquée sur le talus amont du barrage. Il existe de nombreux types de masque étanche telles que béton de ciment ou bitumineux , chapes préfabriquées, membrane souple etc...

3.2 PROFIL GENERAL DE BARRAGE

Il importe après l'étude détaillée du site, de la disponibilité de matériaux in situ, donc après le choix du type de barrage à mettre en oeuvre , de définir le profil général du barrage .

- HAUTEUR DU BARRAGE

Elle est donnée par la hauteur normale des eaux majorée de la charge maximale au dessus du seuil du déversoir de crues et de la revanche .

. La hauteur normale de retenue des eaux est fonction des pertes par infiltration et par évaporation, du comblement net, des apports solides, de l'enthrophisation du lac, de la capacité utile à stocker.

. La charge maximale au dessus du déversoir de crues dépend des caractéristiques de l'évacuateur de crues définies en fonction de l'hydrologie du bassin versant de la retenue et du laminage des crues de la retenue. Elle est déterminée par l'étude de l'évacuateur de crues. Le niveau des plus hautes eaux est donné par le niveau normal majoré de la charge sur le déversoir de crue

. La revanche est fonction de la hauteur et de la vitesse des vagues, du tassement après construction, de la marge de sécurité.

-LARGEUR EN CRETE DU BARRAGE

La largeur en crête d'un barrage en terre doit être suffisante pour qu'il n'y ait pas de circulation d'eau importante dans le barrage près de son couronnement lorsque la retenue est pleine.

-PENTE DES TALUS

Elle est fixée par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations. Dans la détermination de la pente du massif on doit toutefois se soucier de la nature des matériaux et vérifier la stabilité du barrage de ce point de vue.

3 INFILTRATIONS DANS LE BARRAGE

Il est entendu qu'il y a infiltration quelque faible que soit la perméabilité du barrage en terre.

Dès lors , la détermination des infiltrations, éléments indispensables pour la conception des dispositifs de drainage et la prévention des dommages tels que le phénomène de renard apparait fondamentale.

Celle-ci devrait nous permettre d'identifier les éléments qui suivent:

- La ligne de saturation du massif du barrage qui est en pratique confondue avec la ligne le long de laquelle la pression hydrostatique est nulle. Cette ligne délimite la partie sèche ou humide de la partie saturée d'eau du barrage.

- La pression de l'eau interstitielle dans le massif qui peut

être déterminée à partir d'un réseau de lignes équipotentiellles, c'est à dire de lignes reliant les points d'égal potentiel hydraulique au sein du barrage.

- La connaissance de la ligne de saturation et des pressions interstitielles est fondamentale pour le calcul de la stabilité de l'ouvrage

- Le débit de fuite dû aux infiltrations qui peut s'obtenir à partir des lignes de courant; étant entendu que celles-ci représentent théoriquement la trajectoire de l'eau à travers le barrage.

Il y a lieu de souligner que le calcul sur ordinateur peut résoudre numériquement le problème des infiltrations.

La figure 3.1 représente les différentes parties du barrage avec les conditions limites. Celles-ci identifient les niveaux où la charge est fixée (condition de Dirichlet) et ceux où la dérivée par rapport à la direction normale est fixée (condition de Neumann).

3.3.1 EQUIPOTENTIELLES ET LIGNES DE COURANT

Quand la position de la ligne phréatique est connue et que les potentiels aux différents noeuds du domaine sont déterminés, les équipotentiellles se tracent aisément. Ce seront des éléments courbes qui se raccordent orthogonalement à la ligne de contact avec les fondations imperméables étant entendu que celles-ci constituent des lignes de courant. Les lignes de courant sont obtenues en construisant un réseau de courbes orthogonales à ces équipotentiellles. On précise toutefois que cette construction

graphique concerne le cas de la retenue pleine.

3.3.2 PRESSIION INTERSTITIELLE

Quand on dispose du réseau d' équipotentiellles, il est aisé d'en déduire la pression interstitielle en tout point.

Soit à calculer cette pression en M_0 (fig. 3.2).

Si notre réseau d'écoulement est suffisamment dense, on a beaucoup de chances d'avoir M_0 sur une equipotentielle, autrement on trace celle passant par M_0 à l'estime et qui s'intègre bien dans le réseau.

Cette ligne couperait la ligne phréatique en M_1 et on aura alors:

Soit H le potentiel,

$$H_{M_1} = H_{M_0}$$

$$H_{M_0} = B + z_0 - z_1$$

alors $p_0 = z_1 - z_0$

p_0 étant la pression interstitielle en M_0

3.3.2 PHENOMENE DE RENARD

Lorsque le gradient hydraulique atteint une certaine valeur critique, la circulation de l'eau dans le barrage peut mettre en danger la stabilité de l'ouvrage en amorçant un phénomène dit de "renard".

Les grains de surface sont ainsi entraînés. Les grains de dessous ne supportant plus le poids des grains supérieurs sont entraînés

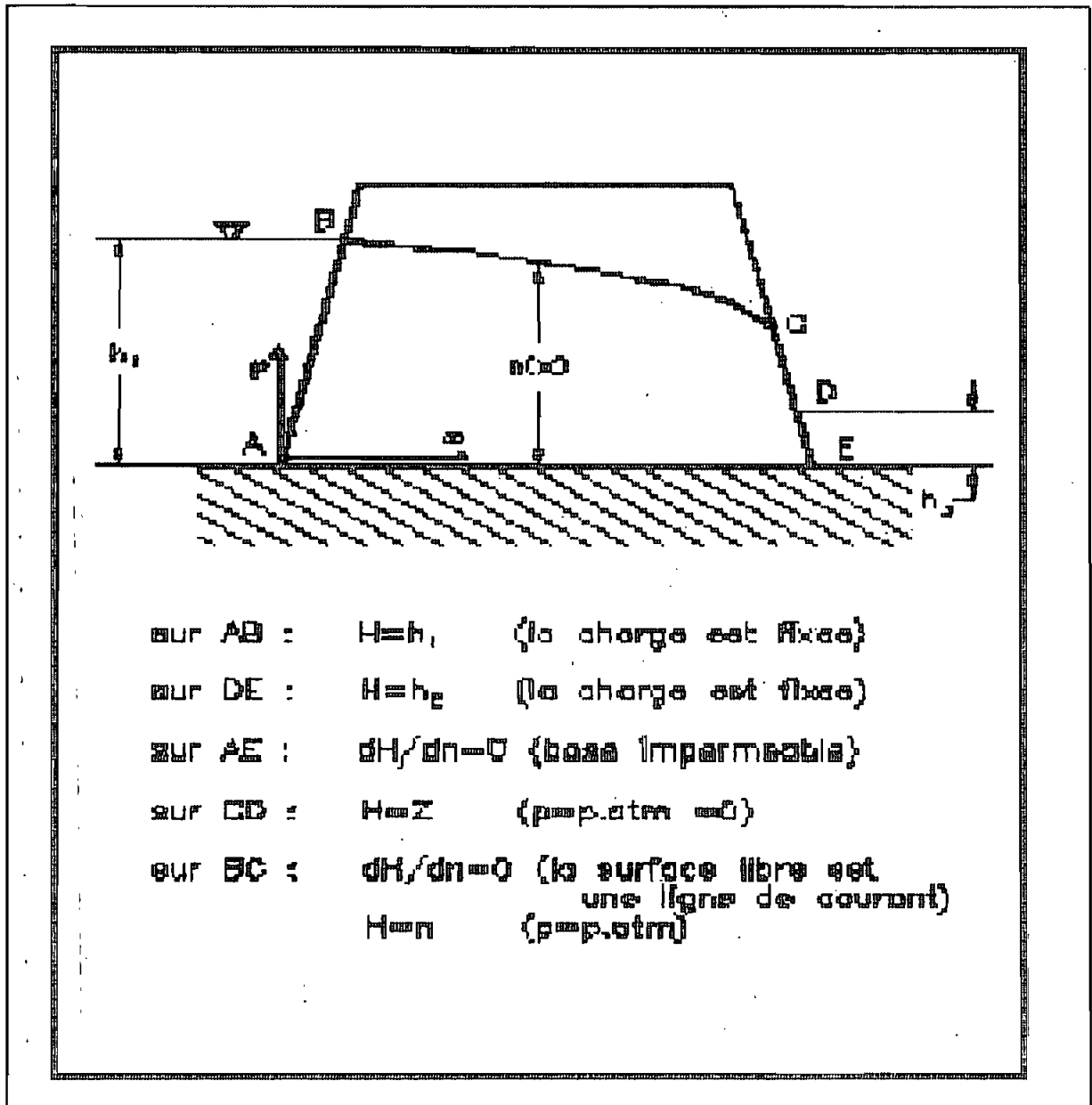


fig. 3.1: conditions limites sur un barrage en terre

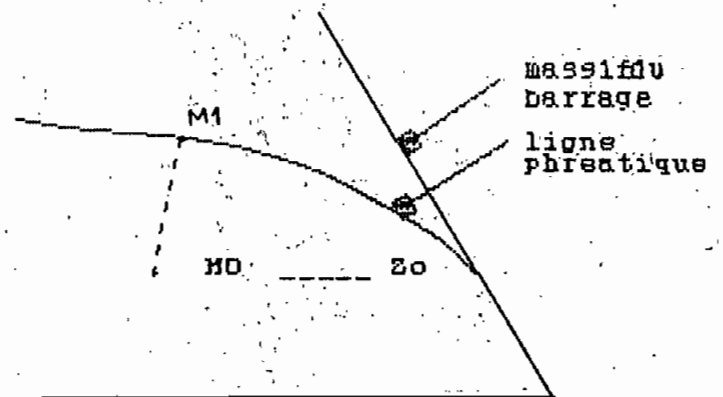


fig. 3. 2: DETERMINATION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE.

à leur tour. Il se forme alors un petit sillon où la circulation est aisée.

Le phénomène peut s'amplifier, jusqu'à déboucher dans la retenue ~~en aval~~. Alors, il se passe une fuite brutale et importante causant un accident grave pouvant même entraîner la ruine de l'ouvrage . Le texte ainsi développé nous édifie sur la nécessité de déterminer précisément la pression interstitielle et les infiltrations. En effet, la connaissance précise de ces paramètres reste fondamentale pour le dimensionnement du barrage et des structures annexes telles les systèmes de drainage.

CHAPITRE 4

MAILLAGE ET DESCRIPTION DES PROGRAMMES

1. NECESSITE D'UNE DISCRETISATION DE PRECISION

Il est entendu qu'il n'est pas toujours possible dans la discrétisation d'épouser exactement la forme du domaine global. dès lors, l'une des erreurs fondamentales, introduites dans la résolution par éléments finis est e' , elle est estimée en fonction de la dimension de l'élément f sous la forme:

$$e' \leq c f^{\xi}$$

où c et ξ sont des constantes, dépendant du type d'élément. Il apparait alors que celle-ci tendrait vers zéro lorsqu'on réduit

suffisamment la taille de l'élément.

Toutefois, il apparaît pertinent de remarquer que l'entrée des données l'une après l'autre serait très fastidieuse. Aussi, elle nous limiterait dans le nombre d'éléments à définir, partant dans la précision recherchée.

C'est ainsi qu'est apparu intéressant voire fondamental d'assurer une génération automatique des éléments par simple définition du nombre désiré. Ceci nous permettra de considérer nos éléments aussi petits que l'on veut en fonction de la précision recherchée.

Par ailleurs quand on sait que, entre autres, un des objectifs est la détermination de la surface libre, l'importance d'un maillage de précision devient plus évidente .

Il faudra envisager deux cas, suivant que l'on veuille générer la surface libre automatiquement ou que l'on veuille la reconstituer manuellement.

Pour le premier, il pourrait s'agir de définir un maillage fixe et d'exclure du domaine de résolution, après chaque itération, les mailles situées au dessus de la surface libre. Aussi lorsque le maillage est grossier, la surface libre est fortement irrégulière. L'avantage du programme 'Maillage', de ce point de vue, est qu'il nous permet de minimiser l'erreur afférente à la grossièreté de la surface libre, étant donné qu'il nous permet de raffiner suffisamment le maillage, notamment aux environs de la localisation éventuelle de la surface libre.

Pour des raisons de commodité, on a fixé le type d'élément à

celui quadratique à neuf noeuds. Cette option qui assurerait un maillage très dense procurerait une excellente précision si l'on voulait dessiner le réseau d'écoulement. Toutefois les modifications à apporter pour traiter un élément autre que celui-là sont très aisées.

2 DESCRIPTION DES PROGRAMMES

On s'est soucié d'abord d'écrire un programme de maillage automatique.

Il a fallu ensuite le transformer pour l'adapter au programme de calcul des potentiels en milieu poreux saturé (P1). Ceci nous a amené à adapter notre terminologie à celle de P1. A l'issue de cette étape, on a eu à transformer P1 en langage TURBO PASCAL 4 avec certaines modifications (telles l'élimination des procédures d'entrée des données ou le calcul des coordonnées et des conditions limites des différents noeuds) qui nous ont permis de l'utiliser efficacement avec le programme de discrétisation.

2.1 MAILLAGE AUTOMATIQUE

D'emblée, il s'agira pour l'utilisateur de fixer les noms des trois fichiers qu'il aura à entrer dans P1, ultérieurement.

-Le premier est celui des coordonnées des noeuds et des conditions limites, et dont le nom logique est `corg` .

-Le deuxième enregistre les tenseurs de perméabilité des différentes classes.

Son nom logique est `fiche_alpha`.

-Enfin, le dernier dont le nom logique est `Loce`, contient les

numéros de noeuds, la classe, l'alimentation distribuée, le type d'élément, relatifs aux différents éléments.

Ensuite, pour les besoins de la génération automatique, on aura à entrer les données suivantes:

- Le nombre d'éléments dans la direction horizontale.
- Le nombre d'éléments dans la direction verticale.
- Les coordonnées des quatre points extrêmes du domaine concerné.

Toutefois, étant entendu que les conditions limites sont aussi générées automatiquement, il y'aura lieu d'entrer le niveau de l'eau à l'amont comme à l'aval du barrage.

Par ailleurs, on sait que les barrages en terre sont très hétérogènes en général et que donc il serait peu réaliste de vouloir assurer une génération automatique des perméabilités relatives aux différents noeuds des éléments.

Cependant, nous avons essayé d'assouplir l'entrée des différentes classes de perméabilité relatives à ceux-là. Une classe représente une valeur de perméabilité commune à différents noeuds. En effet, initialement le programme n'était pas suffisamment interactif et il fallait entrer les valeurs de classes de perméabilité dans un tableau déjà confectionné; ceci faisait que la probabilité, pour l'utilisateur, de se tromper, était grande.

Aussi toute erreur exigeait de tout recommencer car il n'y avait pas de possibilité de recommencer. Maintenant avec le programme 'MAILLAGE', on a la possibilité de voir les éléments un à un à l'écran et l'utilisateur aura à entrer la classe de perméabilité

avec toute la latitude ou de corriger ou de modifier les valeurs.

En résumé, le programme 'maillage' permet:

- d'assurer la discrétisation automatique des domaines (barrages en particulier). Ainsi, il calcule les coordonnées et fixe les conditions limites aux différents noeuds du barrage. Ces dernières informations sont stockées dans le fichier de nom logique corg, déjà décrit.

- de localiser les éléments à générer suivant des classes de perméabilité. La classe de perméabilité représente une valeur de perméabilité fixe. Aussi deux éléments de même matériau appartiendraient à la même classe de perméabilité. Le degré d'hétérogénéité du barrage déterminera le nombre de valeurs (donc de classes) de perméabilité à entrer. Celles-ci seront alors stockées dans le fichier fiche-alpha.

- de définir les éléments suivant les noeuds qui les composent et suivant leur classe de perméabilité. Le fichier loce sera utilisé à cette fin.

Toutefois, il s'agira pour l'opérateur d'adjoindre des noms d'utilisation à chacun des trois fichiers. En effet ce sont ceux-là que le programme P1 utilisera comme données de base.

2.2 TRAITEMENT D'UN ELEMENT

On précisera, à ce niveau que le programme exécute les calculs concernant les barrages aussi bien rectangulaires que trapézoïdaux.

Nous avons commencé par le calcul des coordonnées des différents

noeuds se trouvant sur les branches extrêmes du barrage avant d'appréhender celui des noeuds intérieurs. Il apparait donc que les informations ainsi stockées (étant entendu qu'on utilise des fichiers binaires) se retrouvent dans un ordre dispersé à l'intérieur des fichiers.

Aussi, a-t-on utilisé une procédure de tri pour les ordonner afin de pouvoir les utiliser convenablement, notamment dans la génération automatique des différents noeuds des éléments et la détermination des conditions aux limites.

2.3 PROGRAMME P1

Il est entendu que celui-ci, initialement était écrit en Turbo Pascal version 3. Alors, il s'est d'abord agi de le transformer en Turbo Pascal version 4, avant d'y apporter les modifications nous permettant de l'adapter à notre cas précédemment défini.

Le programme P1, utilise la méthode des éléments finis pour calculer les potentiels à l'intérieur du domaine saturé, et les débits transitant par les différents noeuds.

P1 assurera, alors, le calcul des potentiels aux différents noeuds du domaine (déjà discrétisé) .

Aussi il a fallu inscrire une procédure d'appel de fichiers déjà existants.

Une nouvelle option, nous permettant d'utiliser des fichiers déjà confectionnés à l'aide du programme "MAILLAGE" a été introduite dans le programme P1 (voir listing du programme en annexe3).

3DEFINITION3DES VARIABLES UTILISEES DANS LE PROGRAMME

nd: noeud

Hhcx: entier si Hhcx=-1 alors la charge est fixée
si Hhcx=0 la charge n'est pas fixée

x,y: réels, coordonnées de noeuds

xxn: coordonnée

valh: réel, représentant la charge hydraulique.

valqsp: valeur de débit initial.

classperm : entier, classe de perméabilité.

typelmt:entier, type d'élément (=49)

ald:réel, alimentation distribuée.

Ham:réel, niveau amont de l'eau amont.

Hav: réel, niveau de l'eau aval.

nbreperm: entier, nombre de classes de perméabilité.

rat :enregistrement regroupant: -nd,-Hhcx,-x,y,-valh,-valqsp.

element: enregistrement regroupant : -typelmt,-class,-ald,noeud

puis: enregistrement: -xxn(array), -Hhcx , -valh, -valqsp.

rat1: enregistrement: -x,y, -nd,

alpha: enregistrement : -k(array de six variables), classperm

recfil:fichier de type rat1.

puifile: fichier de type puis.

loce: fichier de type element.

fichier-alpha: fichier de type alpha.

corg: fichier de type rat.

transfer,fichtac: fichiers de type rat1.

permeabilite: variable de type alpha.

recpuis: variable de type puis.

tac,intermi: variables de type rat1.

nix: nombre d'éléments dans la direction horizontale

nly: nombre d'éléments dans la direction verticale

coord: variable de type corg

nbtnd: entier, nombre total de noeuds.

CHAPITRE 5

TESTS DE VERIFICATION

EXEMPLE 1

A travers cet exemple, nous allons traiter un élément de forme quelconque mais qui s'inscrit dans la gamme des coupes de barrage (voir fig.4.1).

Il apparait que les barrages de formes rectangulaire ou triangulaire représentent des cas particuliers de barrage de forme trapézoïdale.

La génération automatique, comme mentionné dans les pages précédentes, concerne également les conditions limites telles:

- charge fixée (DIRICHLET)
- dérivée du potentiel dans la direction normale nulle (Newmann)

Les données qui ont été introduites pour les besoins du traitement de cet exemple sont celles qui suivent.

- nombre d'éléments dans la direction horizontale (n_x)
- nombre d'éléments dans la direction verticale (n_y)
- niveau amont de l'eau (h_{am})
- niveau aval de l'eau (h_{av})
- coordonnées des points délimitant le domaine

DONNEES DE L'EXEMPLE1

Dans la discrétisation, le barrage considéré,

compte, respectivement, 5 et 7 éléments dans les directions horizontale et verticale. Le niveau de l'eau à l'amont est égal à 15; à l'aval, il est de 5. Les coordonnées des côtés extrêmes sont aussi spécifiées; ce sont les suivantes:

- côté inférieur

- 1^{er} POINT

x=0

y=0

- 2^{ème} POINT

x=15

y=2

- côté supérieur

- 1^{er} POINT

x=3

y=17

- 2^{ème} POINT

x=13

y=19

Les résultats obtenus sont présentés sur les pages suivantes. Ils affichent d'abord les valeurs des coordonnées et des conditions limites aux différents noeuds. Le coefficient H_{hcx} apparaissant sur la quatrième colonne, indique que le potentiel est fixé au noeud correspondant, lorsqu'il est égal à -1. Quand il est fixé à 0, il indique le cas contraire.

Le deuxième tableau localise les éléments suivant les noeuds (qui sont au nombre de neuf) qui les composent.

SCHEMA DU DOMAINE

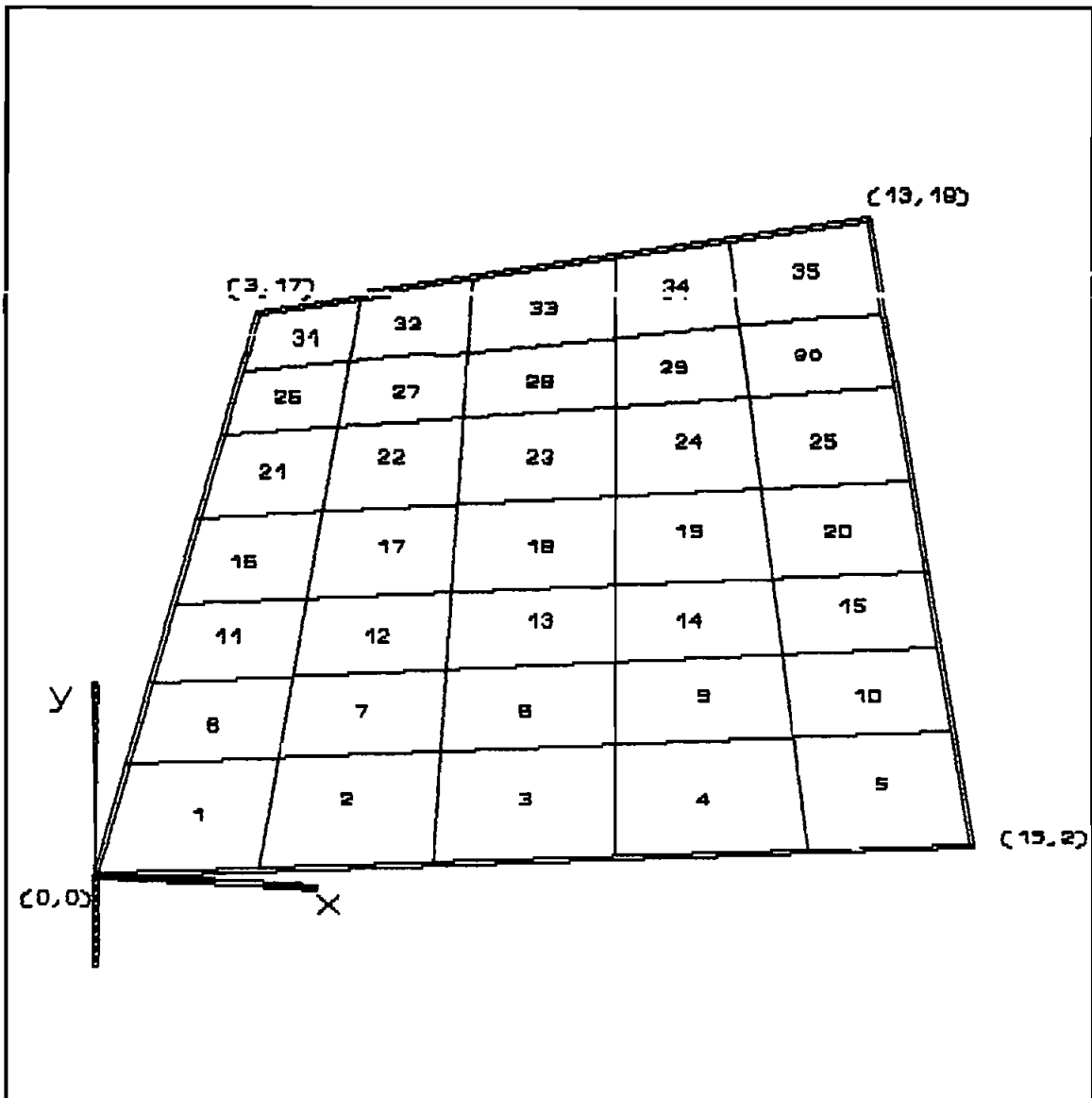


fig. 5.1: discrétisation du barrage

exemple 1

Nd= 1	x= 0.00	y= 0.00	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 2	x= 1.50	y= 0.20	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 3	x= 3.00	y= 0.40	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 4	x= 4.50	y= 0.60	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 5	x= 6.00	y= 0.80	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 6	x= 7.50	y= 1.00	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 7	x= 9.00	y= 1.20	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 8	x= 10.50	y= 1.40	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 9	x= 12.00	y= 1.60	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 10	x= 13.50	y= 1.80	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 11	x= 15.00	y= 2.00	HhcX= -1	valh= 5.00	valqsp= 0.00
Nd= 12	x= 0.25	y= 1.42	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 13	x= 1.71	y= 1.62	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 14	x= 3.17	y= 1.82	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 15	x= 4.63	y= 2.02	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 16	x= 6.08	y= 2.22	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 17	x= 7.54	y= 2.42	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 18	x= 9.00	y= 2.62	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 19	x= 10.46	y= 2.82	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 20	x= 11.92	y= 3.02	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 21	x= 13.37	y= 3.22	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 22	x= 14.83	y= 3.42	HhcX= -1	valh= 5.00	valqsp= 0.00
Nd= 23	x= 0.50	y= 2.83	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 24	x= 1.92	y= 3.03	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 25	x= 3.33	y= 3.23	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 26	x= 4.75	y= 3.43	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 27	x= 6.17	y= 3.63	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00

Nd= 28	x= 7.58	y= 3.83	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 29	x= 9.00	y= 4.03	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 30	x= 10.42	y= 4.23	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 31	x= 11.83	y= 4.43	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 32	x= 13.25	y= 4.63	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 33	x= 14.67	y= 4.83	HhcX= -1	valh= 5.00	valqsp= 0.00
Nd= 34	x= 0.75	y= 4.25	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 35	x= 2.13	y= 4.45	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 36	x= 3.50	y= 4.65	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 37	x= 4.88	y= 4.85	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 38	x= 6.25	y= 5.05	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 39	x= 7.63	y= 5.25	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 40	x= 9.00	y= 5.45	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 41	x= 10.37	y= 5.65	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 42	x= 11.75	y= 5.85	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 43	x= 13.13	y= 6.05	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 44	x= 14.50	y= 6.25	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 45	x= 1.00	y= 5.67	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 46	x= 2.33	y= 5.87	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 47	x= 3.67	y= 6.07	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 48	x= 5.00	y= 6.27	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 49	x= 6.33	y= 6.47	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 50	x= 7.67	y= 6.67	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 51	x= 9.00	y= 6.87	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 52	x= 10.33	y= 7.07	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 53	x= 11.67	y= 7.27	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 54	x= 13.00	y= 7.47	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 55	x= 14.33	y= 7.67	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 56	x= 1.				

	25	y= 7.08	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 57	x= 2.54	y= 7.28	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 58	x= 3.83	y= 7.48	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 59	x= 5.13	y= 7.68	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 60	x= 6.42	y= 7.88	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 61	x= 7.71	y= 8.08	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 62	x= 9.00	y= 8.28	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 63	x= 10.29	y= 8.48	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 64	x= 11.58	y= 8.68	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 65	x= 12.88	y= 8.88	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 66	x= 14.17	y= 9.08	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 67	x= 1.50	y= 8.50	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 68	x= 2.75	y= 8.70	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 69	x= 4.00	y= 8.90	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 70	x= 5.25	y= 9.10	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 71	x= 6.50	y= 9.30	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 72	x= 7.75	y= 9.50	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 73	x= 9.00	y= 9.70	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 74	x= 10.25	y= 9.90	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 75	x= 11.50	y= 10.10	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 76	x= 12.75	y= 10.30	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 77	x= 14.00	y= 10.50	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 78	x= 1.75	y= 9.92	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 79	x= 2.96	y= 10.12	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 80	x= 4.17	y= 10.32	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 81	x= 5.38	y= 10.52	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 82	x= 6.58	y= 10.72	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 83	x= 7.79	y= 10.92	HhcX= 0	valh=	

= 0.00 valqsp= 0.00

Nd= 84	x= 9.00	y= 11.12	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 85	x= 10.21	y= 11.32	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 86	x= 11.42	y= 11.52	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 87	x= 12.62	y= 11.72	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 88	x= 13.83	y= 11.92	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 89	x= 2.00	y= 11.33	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd= 90	x= 3.17	y= 11.53	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 91	x= 4.33	y= 11.73	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 92	x= 5.50	y= 11.93	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 93	x= 6.67	y= 12.13	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 94	x= 7.83	y= 12.33	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 95	x= 9.00	y= 12.53	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 96	x= 10.17	y= 12.73	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 97	x= 11.33	y= 12.93	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 98	x= 12.50	y= 13.13	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd= 99	x= 13.67	y= 13.33	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=100	x= 2.25	y= 12.75	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd=101	x= 3.38	y= 12.95	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=102	x= 4.50	y= 13.15	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=103	x= 5.63	y= 13.35	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=104	x= 6.75	y= 13.55	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=105	x= 7.88	y= 13.75	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=106	x= 9.00	y= 13.95	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=107	x= 10.13	y= 14.15	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=108	x= 11.25	y= 14.35	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=109	x= 12.38	y= 14.55	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=110	x= 13.50	y= 14.75	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00

Nd=111	x= 2.50	y= 14.17	HhcX= -1	valh= 15.00	valqsp= 0.00
Nd=112	x= 3.58	y= 14.37	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=113	x= 4.67	y= 14.57	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=114	x= 5.75	y= 14.77	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=115	x= 6.83	y= 14.97	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=116	x= 7.92	y= 15.17	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=117	x= 9.00	y= 15.37	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=118	x= 10.08	y= 15.57	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=119	x= 11.17	y= 15.77	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=120	x= 12.25	y= 15.97	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=121	x= 13.33	y= 16.17	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=122	x= 2.75	y= 15.58	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=123	x= 3.79	y= 15.78	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=124	x= 4.83	y= 15.98	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=125	x= 5.88	y= 16.18	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=126	x= 6.92	y= 16.38	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=127	x= 7.96	y= 16.58	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=128	x= 9.00	y= 16.78	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=129	x= 10.04	y= 16.98	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=130	x= 11.08	y= 17.18	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=131	x= 12.13	y= 17.38	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=132	x= 13.17	y= 17.58	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=133	x= 3.00	y= 17.00	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=134	x= 4.00	y= 17.20	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=135	x= 5.00	y= 17.40	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=136	x= 6.00	y= 17.60	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=137	x= 7.00	y= 17.80	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=138	x= 8.00	y= 18.00	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=139	x= 9.00	y= 18.20	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=140	x= 10.00	y= 18.40	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00
Nd=141	x= 11.00	y= 18.60	HhcX= 0	valh= 0.00	valqsp= 0.00

Nd=142

x= 12.00

y= 18.80

Hhcx= 0

valh= 0.00

valqsp= 0.00

Nd=143

x= 13.00

y= 19.00

Hhcx= 0

valh= 0.00

valqsp= 0.00

elt= 1 Nd1= 1 Nd2= 2 Nd3= 3 Nd4= 14 Nd5= 25 Nd6= 24 Nd7= 23 Nd8= 12 Nd9= 13
 elt= 2 Nd1= 3 Nd2= 4 Nd3= 5 Nd4= 16 Nd5= 27 Nd6= 26 Nd7= 25 Nd8= 14 Nd9= 15
 elt= 3 Nd1= 5 Nd2= 6 Nd3= 7 Nd4= 18 Nd5= 29 Nd6= 28 Nd7= 27 Nd8= 16 Nd9= 17
 elt= 4 Nd1= 7 Nd2= 8 Nd3= 9 Nd4= 20 Nd5= 31 Nd6= 30 Nd7= 29 Nd8= 18 Nd9= 19
 elt= 5 Nd1= 9 Nd2= 10 Nd3= 11 Nd4= 22 Nd5= 33 Nd6= 32 Nd7= 31 Nd8= 20 Nd9= 21
 elt= 6 Nd1= 23 Nd2= 24 Nd3= 25 Nd4= 36 Nd5= 47 Nd6= 46 Nd7= 45 Nd8= 34 Nd9= 35
 elt= 7 Nd1= 25 Nd2= 26 Nd3= 27 Nd4= 38 Nd5= 49 Nd6= 48 Nd7= 47 Nd8= 36 Nd9= 37
 elt= 8 Nd1= 27 Nd2= 28 Nd3= 29 Nd4= 40 Nd5= 51 Nd6= 50 Nd7= 49 Nd8= 38 Nd9= 39
 elt= 9 Nd1= 29 Nd2= 30 Nd3= 31 Nd4= 42 Nd5= 53 Nd6= 52 Nd7= 51 Nd8= 40 Nd9= 41
 elt= 10 Nd1= 31 Nd2= 32 Nd3= 33 Nd4= 44 Nd5= 55 Nd6= 54 Nd7= 53 Nd8= 42 Nd9= 43
 elt= 11 Nd1= 45 Nd2= 46 Nd3= 47 Nd4= 58 Nd5= 69 Nd6= 68 Nd7= 67 Nd8= 56 Nd9= 57
 elt= 12 Nd1= 47 Nd2= 48 Nd3= 49 Nd4= 60 Nd5= 71 Nd6= 70 Nd7= 69 Nd8= 58 Nd9= 59
 elt= 13 Nd1= 49 Nd2= 50 Nd3= 51 Nd4= 62 Nd5= 73 Nd6= 72 Nd7= 71 Nd8= 60 Nd9= 61
 elt= 14 Nd1= 51 Nd2= 52 Nd3= 53 Nd4= 64 Nd5= 75 Nd6= 74 Nd7= 73 Nd8= 62 Nd9= 63
 elt= 15 Nd1= 53 Nd2= 54 Nd3= 55 Nd4= 66 Nd5= 77 Nd6= 76 Nd7= 75 Nd8= 64 Nd9= 65
 elt= 16 Nd1= 67 Nd2= 68 Nd3= 69 Nd4= 80 Nd5= 91 Nd6= 90 Nd7= 89 Nd8= 78 Nd9= 79
 elt= 17 Nd1= 69 Nd2= 70 Nd3= 71 Nd4= 82 Nd5= 93 Nd6= 92 Nd7= 91 Nd8= 80 Nd9= 81
 elt= 18 Nd1= 71 Nd2= 72 Nd3= 73 Nd4= 84 Nd5= 95 Nd6= 94 Nd7= 93 Nd8= 82 Nd9= 83
 elt= 19 Nd1= 73 Nd2= 74 Nd3= 75 Nd4= 86 Nd5= 97 Nd6= 96 Nd7= 95 Nd8= 84 Nd9= 85
 elt= 20 Nd1= 75 Nd2= 76 Nd3= 77 Nd4= 88 Nd5= 99 Nd6= 98 Nd7= 97 Nd8= 86 Nd9= 87
 elt= 21 Nd1= 89 Nd2= 90 Nd3= 91 Nd4=102 Nd5=113 Nd6=112 Nd7=111 Nd8=100 Nd9=101
 elt= 22 Nd1= 91 Nd2= 92 Nd3= 93 Nd4=104 Nd5=115 Nd6=114 Nd7=113 Nd8=102 Nd9=103
 elt= 23 Nd1= 93 Nd2= 94 Nd3= 95 Nd4=106 Nd5=117 Nd6=116 Nd7=115 Nd8=104 Nd9=105

elt=24 Nd1= 95 Nd2= 96 Nd3= 97 Nd4=108 Nd5=119 Nd6=118 Nd7=117 Nd8=106 Nd9=107
elt=25 Nd1= 97 Nd2= 98 Nd3= 99 Nd4=110 Nd5=121 Nd6=120 Nd7=119 Nd8=108 Nd9=109
elt=26 Nd1=111 Nd2=112 Nd3=113 Nd4=124 Nd5=135 Nd6=134 Nd7=133 Nd8=122 Nd9=123
elt=27 Nd1=113 Nd2=114 Nd3=115 Nd4=126 Nd5=137 Nd6=136 Nd7=135 Nd8=124 Nd9=125
elt=28 Nd1=115 Nd2=116 Nd3=117 Nd4=128 Nd5=139 Nd6=138 Nd7=137 Nd8=126 Nd9=127
elt=29 Nd1=117 Nd2=118 Nd3=119 Nd4=130 Nd5=141 Nd6=140 Nd7=139 Nd8=128 Nd9=129
elt=30 Nd1=119 Nd2=120 Nd3=121 Nd4=132 Nd5=143 Nd6=142 Nd7=141 Nd8=130 Nd9=131

EXEMPLE 2

A travers cet exemple, on l'illustre, l'utilisation conjuguée des programmes P1 et Maillage.

Il y est simulé, le cas de l'écoulement à travers un barrage en terre sur fondation perméable(voir fig.5.2). Les valeurs de perméabilités assignées aux différentes sont des données pertinentes s'inscrivant dans cette mouvance.En effet le barrage étant homogène, a un massif constitué de bon matériau(entendu au sens d'étanchéité). Le matériau de fondation a une perméabilité relativement faible.

L'estimation des infiltrations à travers ce type de barrage(fondation perméable) est fondamentale. En effet, il permet de prévoir les ^{systemes} de drainage adéquat et aussi de renforcer l'étanchéité nécessaire.

Ils affichent d'abord les données provenant du programme Maillage, ensuite les débits, transitant aux noeuds correspondants, et les charges, calculés.

On peut consulter les résultats obtenus, en annexe 1.

On peut juger le programme valable dans la mesure où, initialement il a, pour un exemple typique, donné les mêmes résultats que le programme 'FEM 200' (voir référence 6).

SCHEMA DU DOMAINE

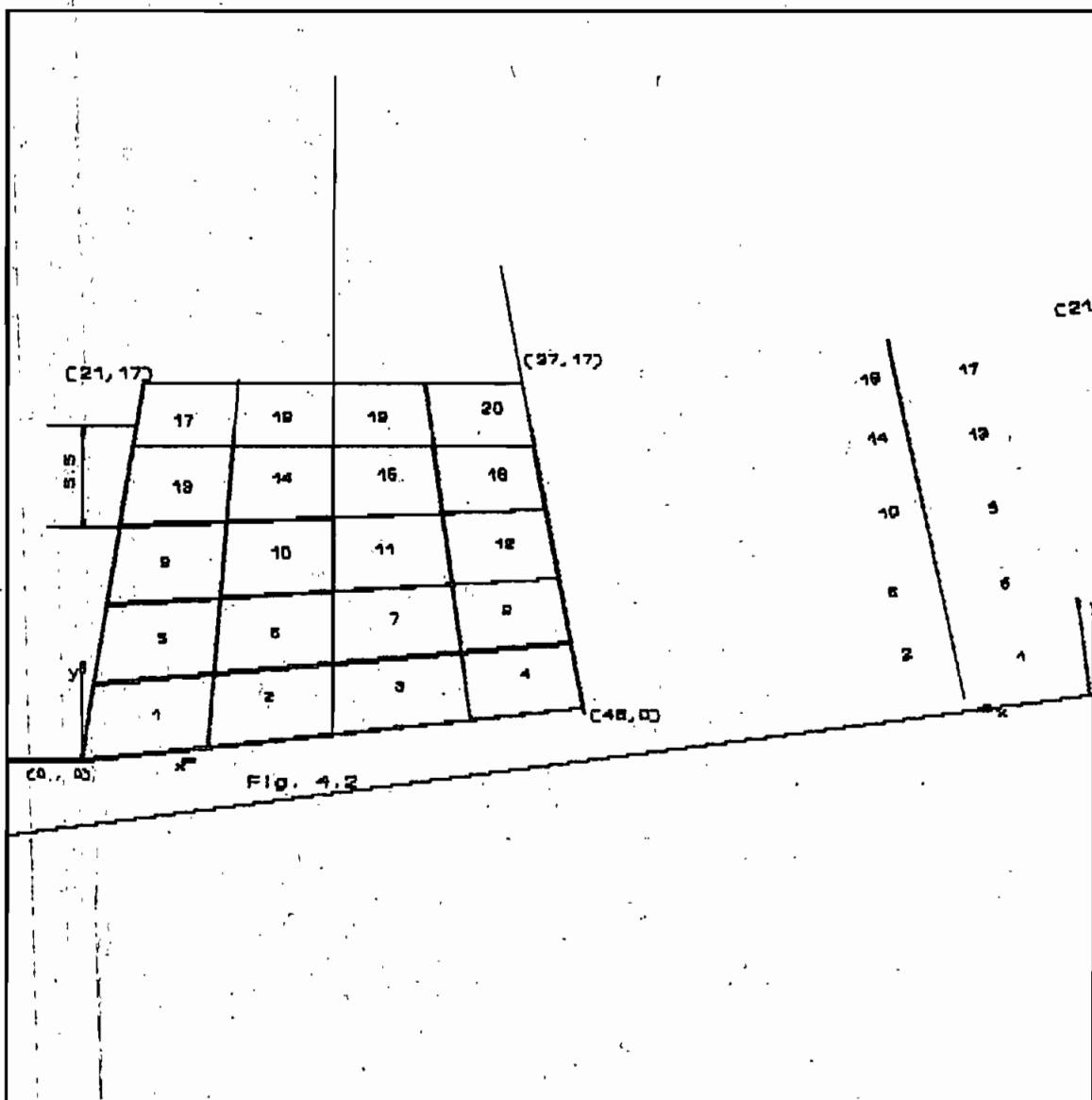


fig.5.2 barrage sur fondation perméable

EXEMPLE 3

Il prend en considération l'une des formes de barrage de terre les plus courantes (pour les raisons tantôt explicitées): barrage zoné. C'est un exemple de barrage type tiré d'un livre d'hydraulique (Theory of hydraulic models de Selim Yalin). Il présente quatre zones dont un noyau de perméabilité relativement plus faible.

Les résultats obtenus, apparaissant en annexe 2, proviennent de l'exécution des deux programmes, suivant la même présentation que l'exemple 2.

PROGRAMME DE DISCRETISATION

```
Program Maillage_PfeDiagne;
Uses crt,Printer;

const
    max=399;

type
    Chaine =string[80];
    rat=record
        nd,hhcx:integer;
        x,y,
        valh,
        valqsp:real;
    end;

    alpha=record
        classperm:integer;
        k:array[1..6] of real;
    end;

    element=record
        type1mt,
        class:integer;
        ald:real;
        noeud:array[1..27] of integer;
    end;
```

```

    puis = Record
        xxn: Array[1..3] of real;
        hhcx:integer;
        valh,valqsp:real;
        end;

    rat1=record
        x,y:real;
        nd:integer
        end;

    recfil=file of rat1;
var puifile:file of puis;
    recpuis :puis;elt:element;
    loce : file of element;
    Fiche_alpha : file of alpha;
    permeabilite:alpha;
        name,nom,filename:string[4];
    coord:rat;
err,gd,ddc,nlx,nly,nbtelt,nbtnd,ter:integer;
    nbreperm, icc,i,t4,k,cont,j,seekpos,Tec,TTT:integer;
    corg:file of rat;dx,dy:real;
    tranfer,fichtac:recfil;
    Table:array[0..max] of integer; a:char;
    Ham,Hav:real;tac,interm1:rat1;
    fin, Nat,B1:boolean;
    x,y:real;
(N+)

```

```
Procedure Recherche(var tic:integer);
```

```
  Begin
```

```
    For j:=0 to cont Do
```

```
      begin
```

```
        IF Table[j] = tic then
```

```
          begin
```

```
            seekpos:=j;
```

```
          end;
```

```
        end;
```

```
      end;
```

```
Procedure repetition(kt,t4:integer);
```

```
  begin
```

```
    Recherche(kt);
```

```
    seek(fichtac,seekpos);
```

```
    Read(fichtac,interm1);
```

```
    With interm1 do
```

```
      begin
```

```
        x:=x+dx;
```

```
        y:=y+dy;
```

```
        nd:=t4; seek(fichtac,ter-1); read(fichtac,tac);
```

```
        write(fichtac,interm1);
```

```
      end;
```

```
    end;
```

```
Procedure Reprise(t1,t2,t3:integer);
```

```
  begin
```

```
    Recherche(t1);
```



```

    seek(fichtac, seekpos);
    Read(fichtac, interm1);
    With interm1 do
        begin
            dx:=x;
            dy:=y;
            Recherche(t2);
            seek(fichtac, seekpos);
            Read(fichtac, interm1);
            dx:=(dx-x)/(2*t3);
            dy:=(dy-y)/(2*t3);
        end;
    end;
Function Find(var fp:recfil; m1:integer):integer;
var
    tcc:rat1;
begin
    m1:=m1-1;
    seek(0,
read(fp, tcc);
    Find:=tcc.nd;
end;
Procedure Qsrad(var fp:recfil; count:integer);
    Procedure QS(l,r:integer);
var m,n,s:integer;
    Rx,Ry,Rz:Rat1;

```

```

Begin
  m:=1;
  n:=r;
  s:= (1+r) div 2;
  seek(fp,s-1);
  read(fp,Rx);
Repeat
  While Find(fp,m)<Rx.nd Do
  begin m:=m+1; end;
  While Rx.nd < Find(fp,n) Do
  begin n:=n-1; end;
  If m<=n then
  begin
  seek(fp,m-1);Read(fp,Ry);
  seek(fp,n-1);Read(fp,Rz);
  seek(fp,n-1);write(fp,Ry);
  seek(fp,m-1);write(fp,Rz);
  m := m+1;n := n-1;
  end;
Until m > n;
  If 1<n then QS(1,n);
  If 1<r then QS(m,r);
  end;
begin
  QS(1,count);
end;

```

```
{----- CENTRE UN MESSAGE  
-----}
```

```
Procedure Bip;
```

```
Begin
```

```
sound (440);
```

```
Delay (500);
```

```
Nosound;
```

```
End;
```

```
PROCEDURE CentreMessage ( toc:CHaine; line:integer;  
tac1:boolean);
```

```
VAR i, j, x3, y3 : integer;
```

```
BEGIN
```

```
x3 := WhereX;
```

```
y3 := WhereY;
```

```
i := (80 - length (toc)) DIV 2;
```

```
IF i <= 0 THEN exit;
```

```
IF tac1
```

```
THEN
```

```
BEGIN
```

```
TEXTBACKGROUND (white);
```

```
TEXTCOLOR (BLACK);
```

```
END;
```

```
IF line > 25
```

```
THEN
```

```

        BEGIN
        Bip;
        line := 25;
    END;
    Gotoxy(1,line);
    IF line = 25
    THEN write (' ':i,toc,' ':(80-i-length(toc)))
    ELSE write(' ':i,toc,' ':(80-i-length(toc)));normvideo;
    IF line = 25 THEN GotoXY (x3,y3);

END;

PROCEDURE ZERO;
    begin
    with coord do
        begin
            Hhcx:=0;
            valh:=0;
            valqsp:=0;
        end;
    end;

Procedure saisie ;

    begin

```

```

clrscr;
Assign(loce, 'A: '+name+' conn.pfe');
rewrite(loce);
fin:=false;
clrscr;
centremessage('saisie de classes de permeabilite',2,true);
gotoxy(36,4);write('Element ');
gotoxy(20,6);write('classe?');
Icc:=1; i:=1;
Repeat
  If Icc<nly+1 then
    With elt do
      begin
        Gd:=(icc-1)*2*(2*nlx+1)+1;
        ddc:=Gd;
        For k:=1 to nlx do
          begin
            typelmt:=49;
            ald:=0;
            gotoxy(44,4);
            write(I:4);
            gotoxy(29,6); write(' ':15);gotoxy(29,6);
            read(class);
            noeud[1]:=ddc;
            noeud[2]:=ddc+1;
            noeud[3]:=ddc+2;

```

```

    noeud[4]:=noeud[3]+(2*n1x+1);
    noeud[5]:=noeud[4]+(2*n1x+1);
    noeud[6]:=noeud[5]-1;
    noeud[7]:=noeud[6]-1;
    noeud[8]:=noeud[7]-(2*n1x+1);
    noeud[9]:=noeud[8]+1;

    write(loce,elt);

    i:=i+1;ddc:=ddc+2;

    end;

    icc:=icc+1;

end

else

    fin:=true;

until fin;

{ close(loce);}

end; {saisie}

```

PROCEDURE permeability ;

var i,j,posY:integer;

posi:array[1..30] of integer;

BEGIN

clrscr;

Assign(fiche_alpha,'A:'+nom + 'perm.pfe');

rewrite(fiche_alpha);

With Permeabilite Do

```

Begin
    clrscr;
    centremessage( '  DONNER LE NOMBRE DE CLASSE
DE PERMEABILITE : ',2,true);
    read(nbreperm);
    Clrscr;
    Write('  SAISIE DE ',nbreperm,' CLASSES DE
PERMEABILITE ');

FOR I:=1 TO 4 DO WRITELN;
Write('N° ');Posi[1]:=WhereX+1;
Write('CLASSE ');Posi[2]:=WhereX+1;
Write('K1 ');Posi[3]:=WhereX+1;
Write('K2 ');Posi[4]:=WhereX+1;
Write('K3 ');Posi[5]:=WhereX+1;
Write('K4 ');Posi[6]:=WhereX+1;
Write('K5 ');Posi[7]:=WhereX+1;
Write('K6');Posi[8]:=WhereX+1;Writeln;
FOR I:=1 TO 79 DO WRITE('-');
Writeln; Writeln;
FOR I:=1 TO Nbreperm DO
    Begin
        PosY:=whereY;
        Write( I );GOTOXY(Posi[1],PosY);
        Read(Classperm);
        GOTOXY(Posi[2],PosY);
        For j:=1 to 6 do

```

```

                Begin
                    Read(K[J]);
                    GotoXY(posi[J+2],PosY);
                End;
                Write(Fiche_alpha,permeabilite);
                Writeln;
            End;
        End;
        Writeln;
        Writeln;
        Close(fiche_alpha);
    end;

```

```

BEGIN

```

```

    clrscr;

```

```

        centremessage('Entrer le nom du fichier de coordonnées, 4
caractères au plus ',12,TRUE);

```

```

        Readln(filename);

```

```

        Assign(Corg,'a:quicoor.pfe');

```

```

        Rewrite(corg);Gotoxy(1,13);clreol;

```

```

        centremessage('Entrer le nom du fichier des elements

```



```

(connectivités), 4 caracteres au plus',12,TRUE);
    Readln(name);Gotoxy(1,13);clreol;
    centremessage('Entrer le nom du fichier de permeabilite, 4
caracteres au plus ',12,true);
    readln(nom);
    For i := 0 to max DO table[i] := 0 ;
        clrscr;
        Assign(fichtac,'a:Tempo.dat');
        Rewrite(fichtac);
        centremessage(' Entrer le nombre d"elements dans la
direction x:',12,true); ;
        Read(nlx);
        Gotoxy(1,13);clreol;
        centremessage(' Enter le nombre d"elements dans la
direction y:',12,true);
        Read(nly);
        Gotoxy(1,13);clreol;
        centremessage(' Entrer la hauteur amont de l"eau:
',12,true);
        Read(Ham);
        Gotoxy(1,13);clreol;
        centremessage('Entrer la hauteur aval de
l"eau:',12,true);
        Read(Hav);
        nbtnd:=(2*nlx+1)*(2*nly+1);
        With tac DO

```

begin

clrscr;

writeln(' noeud1 ');

writeln(' ----- ');

write(' x=');

readln(x);

write(' y=');

readln(y);

nd:=1;

write(fichtac,tac);

table[0]:=1;

clrscr;

writeln(' noeud',2*nlx+1);

writeln(' ----- ');

write(' x=');

readln(x);

write(' y=');

readln(y);

nd:=2*nlx+1;

write(fichtac,tac);

table[1]:=2*nlx+1;

clrscr;

write(' noeud', (2*nly*(2*nlx+1)+1));

writeln(' ----- ');

write(' x=');

readln(x);

```

writeln;
write(' y=');
readln(y);
nd:=(2*nly*(2*nlx+1)+1);
write(fichtac,tac);
table[2]:=(2*nly*(2*nlx+1)+1);
clrscr;
write('      noeud',nbtnd );
writeln('      -----');
write('      x=');
readln(x);
writeln;
write('      y=');
read(y);
nd:=nbtnd;
write(fichtac,tac);
table[3]:=nbtnd;
cont:=4;ter:=4;
End; reprise(2*nlx+1,1,nlx);
For i:=2 to 2 * nlx do
begin
repetition((i-1),i);
table[i+2]:=i;
cont := cont + 1;ter:=ter+1;
end;
tec := cont;

```

```

Reprise(nbtnd, (2*nlx+1),nly);
FOR i := 1 TO (2 * nly - 1) DO
  Begin
    Repetition((2 * nlx + 1) * i, (2 * nlx + 1) *
(i+1));
    Table[Tec - 1 + i] := (2 * nlx + 1) * (i + 1);
    Cont := Cont + 1; ter:=ter+1;
  End;

Tec := Cont;
Reprise (nbtnd, (2 * nly * (2 * nlx+1) + 1),nlx);
FOR i := 1 TO 2 * nlx -1 DO
  Begin
    Repetition ((2 * nly * (2 * nlx + 1) + i),
(2 * nly * (2 * nlx + 1) + i + 1));
    Table [Tec -1 + i] := (2 * nly * (2 * nlx + 1 )
+ i + 1);
    Cont := Cont + 1;ter:=ter+1;
  End;

Tec := Cont;
Reprise (2 * nly * (2 * nlx + 1 )+1 ,1,nly );
FOR i := 1 TO 2 * nly - 1 DO
  Begin
    Repetition ((2 * nlx + 1) * (i -1) + 1,i * (2 *

```

```

        Hhcx:=-1;
        valh:=Hav;
        valqsp:=0;
    end
    else
        zero ;err:=1;end
    else
        zero;
nd:=interm1.nd;
x:=interm1.X;
y:=interm1.y;
write(corg,coord);
i:=i+1;
if err=1 then
    begin
        i := 1;
        err:=0;
    end;
end;

clrscr;

centremessage('verifier l''imprimante',8,true);
centremessage('appuyer sur une touche quelconque pour
continuer',17,true);
repeat until keypressed;
    assign(puifile,'A:'+filename+'coord.pfe');
    rewrite(puifile);

```

```

seek(corg,0);

while not eof(corg) do
with recpuis do
begin
    read(corg,coord);
    xxn[1]:=coord.x;
    xxn[2] :=coord.y ;
    xxn[3] :=0;
    hhcx := coord.hhcx;
    valh := coord.valh;
    valqsp:= coord.valqsp;
    write(puifile,recpuis);

end;

permeability;

saisie;

seek(puifile ,0);

while not eof(puifile) do begin
    read(puifile,recpuis);
    with recpuis do
    begin

writeln(1st,' X= ':4,xxn[1]:5:2,'      Y= ':4,xxn[2]:5:2,'      Hhcx=
':6,Hhcx:2,
          '      valh= ':6,valh:5:2,'      valqsp=
':8,valqsp:5:2);

```

```

                                writeln(1st);($repeat until keypressed;
a:=readkey;*)
                                end; end;                                writeln(1st);writeln(1st);

                                seek(loce ,0);
                                while not eof(loce) do begin
                                    read(loce,elt);
                                    with elt do
                                        begin
write(1st,' Type= ':5,typelmt:3,' Classe= ':4,Class:3,' Ald=
':4,Ald:3:1);
                                for i := 1 to 9 do
                                    write(1st,'Nd',i:2,' = ',Noeud[i],' ');
                                    writeln(1st);writeln(1st);($repeat until
keypressed; a:=readkey;*)
                                end; end;
                                close(fichtac);
                                close(corg);close(puifile); close(loce);

(N-}
end.

```

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'étude effectuée permet de traiter des barrages de forme très variée. Elle permet de calculer les potentiels aux différents noeuds du domaine considéré et d'évaluer les infiltrations y transitant. L'établissement de la discrétisation automatique introduit des facilités réelles et procure une précision satisfaisante à la résolution par éléments finis. Le programme de maillage qui, en plus intègre la génération automatique des conditions limites peut être adapté à d'autres méthodes telles celle des différences finies.

Dans le calcul des potentiels à l'intérieur du barrage, on n'a pas tenu compte de la surface de suintement; toutefois, le programme pourrait de ce point de vue constituer une excellente approximation. Le programme P1, initialement a eu à donner les mêmes résultats que le programme 'FEM 200' (voir référence 6); ce qui lui procure une certaine fiabilité.

Aussi il importe de souligner que l'étude menée n'a pas intégré la troisième dimension dans les barrages. Il a été, en effet, considéré que le barrage avait des propriétés uniformes suivant cette direction.

Par ailleurs autant la dimension réduite des éléments du domaine considéré, participe de la précision de calcul, autant elle requiert une taille de mémoire plus importante; un compromis s'impose.

Aussi l'optimisation du temps de calcul pourrait être envisagée dans le cadre de l'amélioration du programme. De même compléter l'étude par une génération automatique de la surface libre serait souhaitable. En effet il s'agira de considérer un maillage fixe et d'éliminer progressivement les noeuds supérieurs après chaque itération suivant les deux conditions limites qui s'appliquent sur la surface libre, notamment:

- La surface libre est à la pression atmosphérique
- la surface libre est une ligne de courant (donc on y appliquerait l'équation de continuité).

BIBLIOGRAPHIE

1. Gouri DHATT et TOUZO: Une présentation de la méthode des éléments finis
2. G. de MARSILY: Hydrologie qualitative
Masson-1981
3. O.C. ZIENKIEWICZ: La methode des éléments des éléments finis appliquée à l'art de l'ingénieur
4. Peter GROGONO : LA programmation en pascal,
Addison-Wesley-Europe
5. M. BONNET: Methodologie des modèles de simulation en hydrogéologie.
6. Ametepe NENONENE: Logiciel pour simuler par la méthode l'écoulement en milieu poreux saturé. Juin 88 -EPT.
- 7 J.C.BERNARD
R. GUARDO
J. LAVOIE
P. SAVARD : Informatique 1- EPM - Septembre 88.
- 8 A.L.MAR: Technique des éléments frontières appliquée aux écoulements en milieu poreux.
Université sherbrooke. Juin 86
9. G.A.R. SOUMA : Notes de cours . Hydrogéologie
EPT . 1988

ANNEXE

ANNEXE 1

.....
 :
 : DONNEES :
 :
 :

Donnees generales

Nbr total de noeuds : 99
 Nbr total d'elements : 20
 Nbre de classes de permeabilite : 2

Permeabilite

CLASSE	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6
1	1.0000000000E-04		0.0000000000E+00		0.0000000000E+00	1.
2	1.0000000000E-08		0.0000000000E+00		0.0000000000E+00	1.

Connectivite

Elt nx	Type	Classe	ALD	Nd1	Nd2	Nd3	Nd4	Nd5	Nd6	Nd7	Nd8	Nd9
1	49	1	0.0000	1	2	3	12	21	20	19	10	11
2	49	1	0.0000	3	4	5	14	23	22	21	12	13
3	49	1	0.0000	5	6	7	16	25	24	23	14	15
4	49	1	0.0000	7	8	9	18	27	26	25	16	17
5	49	1	0.0000	19	20	21	30	39	38	37	28	29
6	49	1	0.0000	21	22	23	32	41	40	39	30	31
7	49	1	0.0000	23	24	25	34	43	42	41	32	33
8	49	1	0.0000	25	26	27	36	45	44	43	34	35
9	49	2	0.0000	37	38	39	48	57	56	55	46	47
10	49	2	0.0000	39	40	41	50	59	58	57	48	49
11	49	2	0.0000	41	42	43	52	61	60	59	50	51
12	49	2	0.0000	43	44	45	54	63	62	61	52	53
13	49	2	0.0000	55	56	57	66	75	74	73	64	65
14	49	2	0.0000	57	58	59	68	77	76	75	66	67
15	49	2	0.0000	59	60	61	70	79	78	77	68	69
16	49	2	0.0000	61	62	63	72	81	80	79	70	71
17	49	2	0.0000	73	74	75	84	93	92	91	82	83
18	49	2	0.0000	75	76	77	86	95	94	93	84	85
19	49	2	0.0000	77	78	79	88	97	96	95	86	87
20	49	2	0.0000	79	80	81	90	99	98	97	88	89

Coordonnees et conditions aux limites

Noeud nx	Xcoord	Ycoord	Zcoord	Hhcx	valh	Debit
1	0.00	0.00	0.00	-1	15.50	0.00
2	0.00	6.00	0.00	0	0.00	0.00
3	0.00	12.00	0.00	0	0.00	0.00
4	0.00	18.00	0.00	0	0.00	0.00
5	0.00	24.00	0.00	0	0.00	0.00
6	0.00	30.00	0.00	0	0.00	0.00

7	0.00	36.00	0.00	0	0.00	0.00
8	0.00	42.00	0.00	0	0.00	0.00
9	0.00	48.00	0.00	0	0.00	0.00
10	2.10	1.70	0.00	-1	15.50	0.00
11	2.17	7.10	0.00	0	0.00	0.00
12	2.25	12.50	0.00	0	0.00	0.00
13	2.32	17.90	0.00	0	0.00	0.00
14	2.40	23.30	0.00	0	0.00	0.00
15	2.47	28.70	0.00	0	0.00	0.00
16	2.55	34.10	0.00	0	0.00	0.00
17	2.62	39.50	0.00	0	0.00	0.00
18	2.70	44.90	0.00	0	0.00	0.00
19	4.20	3.40	0.00	-1	15.50	0.00
20	4.35	8.20	0.00	0	0.00	0.00
21	4.50	13.00	0.00	0	0.00	0.00
22	4.65	17.80	0.00	0	0.00	0.00
23	4.80	22.60	0.00	0	0.00	0.00
24	4.95	27.40	0.00	0	0.00	0.00
25	5.10	32.20	0.00	0	0.00	0.00
26	5.25	37.00	0.00	0	0.00	0.00
27	5.40	41.80	0.00	0	0.00	0.00
28	6.30	5.10	0.00	-1	15.50	0.00
29	6.52	9.30	0.00	0	0.00	0.00
30	6.75	13.50	0.00	0	0.00	0.00
31	6.97	17.70	0.00	0	0.00	0.00
32	7.20	21.90	0.00	0	0.00	0.00
33	7.42	26.10	0.00	0	0.00	0.00
34	7.65	30.30	0.00	0	0.00	0.00
35	7.87	34.50	0.00	0	0.00	0.00
36	8.10	38.70	0.00	0	0.00	0.00
37	8.40	6.80	0.00	-1	15.50	0.00
38	8.70	10.40	0.00	0	0.00	0.00
39	9.00	14.00	0.00	0	0.00	0.00
40	9.30	17.60	0.00	0	0.00	0.00
41	9.60	21.20	0.00	0	0.00	0.00
42	9.90	24.80	0.00	0	0.00	0.00
43	10.20	28.40	0.00	0	0.00	0.00
44	10.50	32.00	0.00	0	0.00	0.00
45	10.80	35.60	0.00	0	0.00	0.00
46	10.50	8.50	0.00	-1	15.50	0.00
47	10.87	11.50	0.00	0	0.00	0.00
48	11.25	14.50	0.00	0	0.00	0.00
49	11.62	17.50	0.00	0	0.00	0.00
50	12.00	20.50	0.00	0	0.00	0.00
51	12.37	23.50	0.00	0	0.00	0.00
52	12.75	26.50	0.00	0	0.00	0.00
53	13.12	29.50	0.00	0	0.00	0.00
54	13.50	32.50	0.00	0	0.00	0.00
55	12.60	10.20	0.00	-1	15.50	0.00
56	13.05	12.60	0.00	0	0.00	0.00
57	13.50	15.00	0.00	0	0.00	0.00
58	13.95	17.40	0.00	0	0.00	0.00

59	14.40	19.80	0.00	0	0.00	0.00
60	14.85	22.20	0.00	0	0.00	0.00
61	15.30	24.60	0.00	0	0.00	0.00
62	15.75	27.00	0.00	0	0.00	0.00
63	16.20	29.40	0.00	0	0.00	0.00
64	14.70	11.90	0.00	-1	15.50	0.00
65	15.22	13.70	0.00	0	0.00	0.00
66	15.75	15.50	0.00	0	0.00	0.00
67	16.27	17.30	0.00	0	0.00	0.00
68	16.80	19.10	0.00	0	0.00	0.00
69	17.32	20.90	0.00	0	0.00	0.00
70	17.85	22.70	0.00	0	0.00	0.00
71	18.37	24.50	0.00	0	0.00	0.00
72	18.90	26.30	0.00	0	0.00	0.00
73	16.80	13.60	0.00	-1	15.50	0.00
74	17.40	14.80	0.00	0	0.00	0.00
75	18.00	16.00	0.00	0	0.00	0.00
76	18.60	17.20	0.00	0	0.00	0.00
77	19.20	18.40	0.00	0	0.00	0.00
78	19.80	19.60	0.00	0	0.00	0.00
79	20.40	20.80	0.00	0	0.00	0.00
80	21.00	22.00	0.00	0	0.00	0.00
81	21.60	23.20	0.00	0	0.00	0.00
82	18.90	15.30	0.00	-1	15.50	0.00
83	19.57	15.90	0.00	0	0.00	0.00
84	20.25	16.50	0.00	0	0.00	0.00
85	20.92	17.10	0.00	0	0.00	0.00
86	21.60	17.70	0.00	0	0.00	0.00
87	22.27	18.30	0.00	0	0.00	0.00
88	22.95	18.90	0.00	0	0.00	0.00
89	23.62	19.50	0.00	0	0.00	0.00
90	24.30	20.10	0.00	0	0.00	0.00
91	21.00	17.00	0.00	0	0.00	0.00
92	21.75	17.00	0.00	0	0.00	0.00
93	22.50	17.00	0.00	0	0.00	0.00
94	23.25	17.00	0.00	0	0.00	0.00
95	24.00	17.00	0.00	0	0.00	0.00
96	24.75	17.00	0.00	0	0.00	0.00
97	25.50	17.00	0.00	0	0.00	0.00
98	26.25	17.00	0.00	0	0.00	0.00
99	27.00	17.00	0.00	0	0.00	0.00

: RESULTATS CALCULES :

Variable Nx Debit calcule Charge calculee

89	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
88	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
97	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
98	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
99	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
90	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
81	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01

80	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
79	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
87	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
86	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
95	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
96	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
78	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
77	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
85	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
84	0.0000000000E+00	1.5499999998E+01
93	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
94	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
76	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
75	0.0000000000E+00	1.5499999999E+01
83	0.0000000000E+00	1.5499999999E+01
82	6.5052130349E-17	1.5500000000E+01
91	0.0000000000E+00	1.5499999998E+01
92	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
74	0.0000000000E+00	1.5500000000E+01
73	1.7455654977E-17	1.5500000000E+01
71	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
70	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
72	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
63	0.0000000000E+00	1.5499999994E+01
62	0.0000000000E+00	1.5499999994E+01
61	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
69	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
68	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
60	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
59	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
67	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
66	0.0000000000E+00	1.5499999998E+01
58	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
57	0.0000000000E+00	1.5499999998E+01
65	0.0000000000E+00	1.5499999999E+01
64	2.4069288229E-17	1.5500000000E+01
56	0.0000000000E+00	1.5499999999E+01
55	1.0516761073E-17	1.5500000000E+01
53	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
52	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
54	0.0000000000E+00	1.5499999994E+01
45	0.0000000000E+00	1.5499999994E+01
44	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
43	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
51	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
50	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
42	0.0000000000E+00	1.5499999995E+01
41	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
49	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
48	0.0000000000E+00	1.5499999998E+01
40	0.0000000000E+00	1.5499999996E+01
39	0.0000000000E+00	1.5499999997E+01
47	0.0000000000E+00	1.5499999999E+01
46	2.4502969098E-17	1.5500000000E+01
38	0.0000000000E+00	1.5499999998E+01
37	1.1368683772E-13	1.5500000000E+01
35	0.0000000000E	

		+00	1.5499999995E+01
34	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
36	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
27	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
26	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
25	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
33	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
32	0.0000000000E+00		1.5499999996E+01
24	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
23	0.0000000000E+00		1.5499999996E+01
31	0.0000000000E+00		1.5499999996E+01
30	0.0000000000E+00		1.5499999997E+01
22	0.0000000000E+00		1.5499999996E+01
21	0.0000000000E+00		1.5499999998E+01
29	0.0000000000E+00		1.5499999999E+01
28	9.7699626167E-14		1.5500000000E+01
20	0.0000000000E+00		1.5499999999E+01
19	3.1974423109E-14		1.5500000000E+01
17	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
16	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
18	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
9	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
8	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
7	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
15	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
14	0.0000000000E+00		1.5499999996E+01
6	0.0000000000E+00		1.5499999995E+01
5	0.0000000000E+00		1.5499999996E+01
13	0.0000000000E+00		1.5499999997E+01
12	0.0000000000E+00		1.5499999998E+01
4	0.0000000000E+00		1.5499999997E+01
3	0.0000000000E+00		1.5499999998E+01
11	0.0000000000E+00		1.5499999999E+01
10	2.6645352591E-14		1.5500000000E+01
2	0.0000000000E+00		1.5499999999E+01
1	-8.8817841970E-15		1.5500000000E+01

Somme des debits sortants = -8.8817841970E-15
 Somme des debits entrants = 2.7014783639E-13
 Somme des debits = 2.6126605220E-13


```

.....
:   DONNEES   :
:.....

```

Donnees generales

```

-----
Nbr total de noeuds      : 81
Nbr total d'elements     : 16
Nbre de classes de permeabilite : 4

```

Permeabilite

```

-----
CLASSE      K 1      K 2      K 3      K 4      K 5      K 6
-----
1      1.0000000000E-04      0.0000000000E+00      0.0000000000E+00      1.
2      2.0000000000E-04      0.0000000000E+00      0.0000000000E+00      2.
3      4.0000000000E-05      0.0000000000E+00      0.0000000000E+00      4.
4      1.4000000000E-04      0.0000000000E+00      0.0000000000E+00      1.

```

Connectivite

```

-----
Elt nx  Type  Classe  ALD      Nd1  Nd2  Nd3  Nd4  Nd5  Nd6  Nd7  Nd8  Nd9
-----
1      49    1      0.0000      1    2    3    12   21   20   19   10   11
2      49    1      0.0000      3    4    5    14   23   22   21   12   13
3      49    1      0.0000      5    6    7    16   25   24   23   14   15
4      49    1      0.0000      7    8    9    18   27   26   25   16   17
5      49    1      0.0000     19   20   21   30   39   38   37   28   29
6      49    1      0.0000     21   22   23   32   41   40   39   30   31
7      49    1      0.0000     23   24   25   34   43   42   41   32   33
8      49    1      0.0000     25   26   27   36   45   44   43   34   35
9      49    2      0.0000     37   38   39   48   57   56   55   46   47
10     49    3      0.0000     39   40   41   50   59   58   57   48   49
11     49    4      0.0000     41   42   43   52   61   60   59   50   51
12     49    4      0.0000     43   44   45   54   63   62   61   52   53
13     49    2      0.0000     55   56   57   66   75   74   73   64   65
14     49    3      0.0000     57   58   59   68   77   76   75   66   67
15     49    4      0.0000     59   60   61   70   79   78   77   68   69
16     49    4      0.0000     61   62   63   72   81   80   79   70   71

```

Coordonnees et conditions aux limites

```

-----
Noeud nx  Xcoord  Ycoord  Zcoord  Hhcx  valh  Debit
-----
1          0.00    0.00    0.00   -1    33.00    0.00
2          2.50    0.00    0.00    0     0.00    0.00
3          5.00    0.00    0.00    0     0.00    0.00
4          7.50    0.00    0.00    0     0.00    0.00
5

```

	10.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00
6	12.50	0.00	0.00	0	0.00	0.00
7	15.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00
8	17.50	0.00	0.00	0	0.00	0.00
9	20.00	0.00	0.00	-1	13.00	0.00
10	1.00	4.38	0.00	-1	33.00	0.00
11	3.25	4.38	0.00	0	0.00	0.00
12	5.50	4.38	0.00	0	0.00	0.00
13	7.75	4.38	0.00	0	0.00	0.00
14	10.00	4.38	0.00	0	0.00	0.00
15	12.25	4.38	0.00	0	0.00	0.00
16	14.50	4.38	0.00	0	0.00	0.00
17	16.75	4.38	0.00	0	0.00	0.00
18	19.00	4.38	0.00	-1	13.00	0.00
19	2.00	8.75	0.00	-1	33.00	0.00
20	4.00	8.75	0.00	0	0.00	0.00
21	6.00	8.75	0.00	0	0.00	0.00
22	8.00	8.75	0.00	0	0.00	0.00
23	10.00	8.75	0.00	0	0.00	0.00
24	12.00	8.75	0.00	0	0.00	0.00
25	14.00	8.75	0.00	0	0.00	0.00
26	16.00	8.75	0.00	0	0.00	0.00
27	18.00	8.75	0.00	-1	13.00	0.00
28	3.00	13.13	0.00	-1	33.00	0.00
29	4.75	13.13	0.00	0	0.00	0.00
30	6.50	13.13	0.00	0	0.00	0.00
31	8.25	13.13	0.00	0	0.00	0.00
32	10.00	13.13	0.00	0	0.00	0.00
33	11.75	13.13	0.00	0	0.00	0.00
34	13.50	13.13	0.00	0	0.00	0.00
35	15.25	13.13	0.00	0	0.00	0.00
36	17.00	13.13	0.00	0	0.00	0.00
37	4.00	17.50	0.00	-1	33.00	0.00
38	5.50	17.50	0.00	0	0.00	0.00
39	7.00	17.50	0.00	0	0.00	0.00
40	8.50	17.50	0.00	0	0.00	0.00
41	10.00	17.50	0.00	0	0.00	0.00
42	11.50	17.50	0.00	0	0.00	0.00
43	13.00	17.50	0.00	0	0.00	0.00
44	14.50	17.50	0.00	0	0.00	0.00
45	16.00	17.50	0.00	0	0.00	0.00
46	5.00	21.88	0.00	-1	33.00	0.00
47	6.25	21.88	0.00	0	0.00	0.00
48	7.50	21.88	0.00	0	0.00	0.00
49	8.75	21.88	0.00	0	0.00	0.00
50	10.00	21.88	0.00	0	0.00	0.00
51	11.25	21.88	0.00	0	0.00	0.00
52	12.50	21.88	0.00	0	0.00	0.00
53	13.75	21.88	0.00	0	0.00	0.00
54	15.00	21.88	0.00	0	0.00	0.00
55	6.00	26.25	0.00	-1	33.00	0.00
56	7.00	26.25	0.00	0	0.00	0.00
57	8.00	26.25	0.00	0	0.00	0.00
58	9.00	26.25	0.00	0	0.00	0.00

59	10.00	26.25	0.00	0	0.00	0.00
60	11.00	26.25	0.00	0	0.00	0.00
61	12.00	26.25	0.00	0	0.00	0.00
62	13.00	26.25	0.00	0	0.00	0.00
63	14.00	26.25	0.00	0	0.00	0.00
64	7.00	30.63	0.00	-1	33.00	0.00
65	7.75	30.63	0.00	0	0.00	0.00
66	8.50	30.63	0.00	0	0.00	0.00
67	9.25	30.63	0.00	0	0.00	0.00
68	10.00	30.63	0.00	0	0.00	0.00
69	10.75	30.63	0.00	0	0.00	0.00
70	11.50	30.63	0.00	0	0.00	0.00
71	12.25	30.63	0.00	0	0.00	0.00
72	13.00	30.63	0.00	0	0.00	0.00
73	8.00	35.00	0.00	0	0.00	0.00
74	8.50	35.00	0.00	0	0.00	0.00
75	9.00	35.00	0.00	0	0.00	0.00
76	9.50	35.00	0.00	0	0.00	0.00
77	10.00	35.00	0.00	0	0.00	0.00
78	10.50	35.00	0.00	0	0.00	0.00
79	11.00	35.00	0.00	0	0.00	0.00
80	11.50	35.00	0.00	0	0.00	0.00
81	12.00	35.00	0.00	0	0.00	0.00

: RESULTATS CALCULES :

Variable Nx	Debit calcule	Charge calculee
71	0.0000000000E+00	3.2252546095E+01
70	0.0000000000E+00	3.2288736873E+01
79	0.0000000000E+00	3.2528955800E+01
80	0.0000000000E+00	3.2515378478E+01
81	0.0000000000E+00	3.2501061306E+01
72	0.0000000000E+00	3.2231795466E+01
63	0.0000000000E+00	3.1423945204E+01
62	0.0000000000E+00	3.1524164385E+01
61	0.0000000000E+00	3.1614110072E+01
69	0.0000000000E+00	3.2336340344E+01
68	0.0000000000E+00	3.2394423511E+01
77	0.0000000000E+00	3.2574570923E+01
78	0.0000000000E+00	3.2548538260E+01
60	0.0000000000E+00	3.1724174112E+01
59	0.0000000000E+00	3.1857831932E+01
67	0.0000000000E+00	3.2632131670E+01
66	0.0000000000E+00	3.2879310103E+01
75	0.0000000000E+00	3.2741653682E+01
76	0.0000000000E+00	3.2655496148E+01
58	0.0000000000E+00	3.2293569122E+01
57	0.0000000000E+00	3.2769271837E+01
65	0.0000000000E+00	3.2931783978E+01
64	1.0188326339E-04	3.3000000000E+01
73	0.0000000000E+00	3.2763346286E+01

74	0.0000000000E+00	3.2763201615E+01
56	0.0000000000E+00	3.2897394184E+01
55	5.6683511868E-05	3.3000000000E+01
53	0.0000000000E+00	3.0341071273E+01
52	0.0000000000E+00	3.0496738699E+01
54	0.0000000000E+00	3.0251659312E+01
45	0.0000000000E+00	2.7932955601E+01
44	0.0000000000E+00	2.8516479377E+01
43	0.0000000000E+00	2.8915689038E+01
51	0.0000000000E+00	3.0683885531E+01
50	0.0000000000E+00	3.0893693028E+01
42	0.0000000000E+00	2.9332358654E+01
41	0.0000000000E+00	2.9757878586E+01
49	0.0000000000E+00	3.1747852207E+01
48	0.0000000000E+00	3.2623740954E+01
40	0.0000000000E+00	3.0643537618E+01
39	0.0000000000E+00	3.1839707137E+01
47	0.0000000000E+00	3.2785381920E+01
46	2.4176817064E-04	3.3000000000E+01
38	0.0000000000E+00	3.2421986763E+01
37	1.8234408649E-04	3.3000000000E+01
35	0.0000000000E+00	2.4771301821E+01
34	0.0000000000E+00	2.5742273628E+01
36	0.0000000000E+00	2.4340309247E+01
27	-8.4848500316E-04	1.3000000000E+01
26	0.0000000000E+00	1.8425714273E+01
25	0.0000000000E+00	2.1586474158E+01
33	0.0000000000E+00	2.6866225907E+01
32	0.0000000000E+00	2.8076977731E+01
24	0.0000000000E+00	2.4011422479E+01
23	0.0000000000E+00	2.6033911037E+01
31	0.0000000000E+00	2.9295882061E+01
30	0.0000000000E+00	3.0492387138E+01
22	0.0000000000E+00	2.7897256139E+01
21	0.0000000000E+00	2.9687695923E+01
29	0.0000000000E+00	3.1742412110E+01
28	4.3450472594E-04	3.3000000000E+01
20	0.0000000000E+00	3.1353770795E+01
19	2.6572581697E-04	3.3000000000E+01
17	0.0000000000E+00	1.6158540094E+01
16	0.0000000000E+00	1.9372386490E+01
18	-8.9531067432E-04	1.3000000000E+01
9	-1.1354782984E-04	1.3000000000E+01
8	0.0000000000E+00	1.5688185348E+01
7	0.0000000000E+00	1.8519460154E+01
15	0.0000000000E+00	2.2209726185E+01
14	0.0000000000E+00	2.4755418218E+01
6	0.0000000000E+00	2.1523321256E+01
5	0.0000000000E+00	2.4345172510E+01
13	0.0000000000E+00	2.7059911908E+01

12	0.0000000000E+00	2.9171851145E+01
4	0.0000000000E+00	2.6927096785E+01
3	0.0000000000E+00	2.9268527787E+01
11	0.0000000000E+00	3.1137561619E+01
10	4.8566798450E-04	3.3000000000E+01
2	0.0000000000E+00	3.1341495137E+01
1	8.8765950259E-05	3.3000000000E+01

Somme des debits sortants = -1.8573435073E-03

Somme des debits entrants = 1.8573435101E-03

Somme des debits = 2.7480240306E-12

ANNEXE3 _ EXTRAIT DE P1

```

program P1_EPT(input,output);
uses crt,printer;
  type
    inter1=array[1..30] of integer;
    typecoord=array[1..227] of real;
    typemat=array[1..27,1..27] of real;
    typeelt=(elt23,elt36,elt48,elt49);
    inter=array [1..27] of real;
    Element=RECORD
      Type1mt,
      Classe:integer;
      Ald:real;
      noeud :array[1..27] of integer;
    end;
    Rat=Record
      xxn:array[1..3] of real;
      Hhcx:integer;
      Valh:real;
      valqsp:real;
    end;
    Equation=Record
      coefx:inter;
      coeff:real;
      place:integer;
      numero:integer;
      long:integer;
      cxx:integer;
      lhh:real;
      debp:real;
    end;
    Solution = Record
      vari:integer;
      solq:real;
      solh:real;
    end;
    Alpha=RECORD
      Classperm:integer;
      K:Array[1..6] of real;
    End;

var err2: BOOLEAN;
    Radical :ARRAY [1..3] OF STRING[4];
    idi,idr:array[1..100] of integer;
    elt:element;
    coord:rat;
    nbpt,nbtelt,n,dimb,pel,e,nbtnd,i,j,k,kp,ip,np:integer;
    fek,fn,fnds,fndt,fndu:inter;
    nbreperm,dimcek,nbnd,dimelt,nbelt,ind,ntn,nte:integer;
    somdbneg,somdbpos,total,qs,deter:real;
    gek,perm,bb,so,a,t,c,b:typemat;

```

```

xn,yn,zn: typecoord;
Ficheq: File of Equation;
LOCE: File of element;
CORG: file of rat;
Fiche_alpha: file of alpha;
Equax: Equation;
fichsol: File of solution;
Valsol: solution;
permeabilite: alpha;
posi, hhcxx, cek, vek, Veg: inter1;
valqspp, fegd, valhh, feg: inter;
geg: array[1..30, 1..30] of real;
Option1, option2, option3, option4: integer;
grt: char;
{N+}
{$I b:\NENOSUIT.PAS}
procedure FN23(var fn, fnds: inter; s: real);
var
  a: real;
begin
  a := s*s;

  fn[1] := 0.5*(a-s);
  fn[2] := 1.0-a;
  fn[3] := 0.5*(a+s);

  fnds[1] := s-0.5;
  fnds[2] := -s-s;
  fnds[3] := s+0.5;
end;

procedure FN36(var fn, fnds, fndt: inter; al, bl, cl: real);
var
  a, b, c: real;
  as, at, bs, bt, cs, ct: real;
begin
  a := al*bl*2;
  b := bl*cl*2;
  c := cl*al*2;
  as := bl+bl;
  at := al+al;
  bs := -as;
  bt := cl+cl-at;
  ct := -at;

  fn[1] := al-c-a;
  fn[2] := a+a;
  fn[3] := bl-a-b;
  fn[4] := b+b;
  fn[5] := cl-b-c;
  fn[6] := c+c;

  fnds[1] := 1-cs-as;
  fnds[2] := as+as;
  fnds[3] := 0;

```

```

fnds[1]:=-0.5*tm-ds-as;
fnds[2]:=as+as;
fnds[3]:=0.5*tm-as-bs;
fnds[4]:=bs+bs;
fnds[5]:=0.5*tp-bs-cc;
fnds[6]:=cc+cc;
fnds[7]:=-0.5*tp-cc-ds;
fnds[8]:=ds+ds;
fndt[1]:=-0.5*sm-dt-at;
fndt[2]:=at+at;
fndt[3]:=-0.5*sp-at-bt;
fndt[4]:=bt+bt;
fndt[5]:=0.5*sp-bt-tt;
fndt[6]:=tt+tt;
fndt[7]:=0.5*sm-tt-dt;
fndt[8]:=dt+dt;
end;

```

```

procedure FN49(var fn,fnds,fndt:inter; s,t:real);

```

```

var

```

```

a,b,sqm,sqp,sq,tqm,tqp,tq:real;
dsqm,dsqp,dsq,dtqm,dtqp,dtq:real;

```

```

begin

```

```

a:=s*s;
b:=t*t;
sqm:=0.5*(a-s);
sqp:=0.5*(a+s);
sq:=1-a;
tqm:=0.5*(b-t);
tqp:=0.5*(b+t);
tq:=1-b;
dsqm:=s-0.5;
dsqp:=s+0.5;
dsq:=-s-s;
dtqm:=t-0.5;
dtqp:=t+0.5;
dtq:=-t-t;

```

```

fn[1]:=sqm*tqm;
fn[2]:=sq*tqm;
fn[3]:=sqp*tqm;
fn[4]:=sqp*tq;
fn[5]:=sqp*tqp;
fn[6]:=sq*tqp;
fn[7]:=sqm*tqp;
fn[8]:=sqm*tq;
fn[9]:=sq*tq;

```

```

fnds[1]:=dsqm*tqm;
fnds[2]:=dsq*tqm;
fnds[3]:=dsqp*tqm;
fnds[4]:=dsqp*tq;
fnds[5]:=dsqp*tqp;
fnds[6]:=dsq*tqp;

```



```

fnds[4]:=bs+bs;
fnds[5]:=-1-bs-cs;
fnds[6]:=cs+cs;

fndt[1]:=0;
fndt[2]:=at+at;
fndt[3]:=1-at-bt;
fndt[4]:=bt+bt;
fndt[5]:=-1-bt-ct;
fndt[6]:=ct+ct;
end;
procedure FN48(var fn,fnds,fndt:inter; s,t:real);
var i1 :integer;
a,b,c,d:real;
cs,ct,sm,sp,tm,tp,sq,tq:real;
as,at,bs,bt,cc,tt,ds,dt:real;
fndu:inter;
begin
cs:=0.5*s;
ct:=0.5*t;
sm:=0.5-cs;
sp:=0.5+cs;
tm:=0.5-ct;
tp:=0.5+ct;
sq:=0.5-s*cs;
tq:=0.5-t*ct;
a:=sq*tm;
b:=sp*tq;
c:=sq*tp;
d:=sm*tq;
as:=-s*tm;
at:=-0.5*sq;
bs:=0.5*tq;
bt:=-t*sp;
cc:=-s*tp;
tt:=0.5*sq;
ds:=-0.5*tq;
dt:=-t*sm;

for i1:=1 to 8 do
begin
fn[i1]:=0;
fnds[i1]:=0;
fndt[i1]:=0;
fndu[i1]:=0;
end;
fn[1]:=sm*tm-d-a;
fn[2]:=a+a;
fn[3]:=sp*tm-a-b;
fn[4]:=b+b;
fn[5]:=sp*tp-b-c;
fn[6]:=c+c;
fn[7]:=sm*tp-c-d;
fn[8]:=d+d;

```

```

fnds[7]:=dsqm*tqp;
fnds[8]:=dsqm*tq;
fnds[9]:=dsq*tq;

fndt[1]:=sqm*dtqm;
fndt[2]:=sq*dtqm;
fndt[3]:=sqp*dtqm;
fndt[4]:=sqp*dtq;
fndt[5]:=sqp*dtqp;
fndt[6]:=sq*dtqp;
fndt[7]:=sqm*dtqp;
fndt[8]:=sqm*dtq;
fndt[9]:=sq*dtq;
end;

```

```

procedure FN410(var fn,fnds,fndt,fndu:inter; a1,b1,c1,d1:real);

```

```

var

```

```

    a2,b2,c2,d2:real;

```

```

begin

```

```

    a2:=a1+a1;

```

```

    b2:=b1+b1;

```

```

    c2:=c1+c1;

```

```

    d2:=d1+d1;

```

```

    fn[1]:=a1*(a2-1);

```

```

    fn[2]:=a2*b2;

```

```

    fn[3]:=b1*(b2-1);

```

```

    fn[4]:=b2*c2;

```

```

    fn[5]:=c1*(c2-1);

```

```

    fn[6]:=c2*a2;

```

```

    fn[7]:=a2*d2;

```

```

    fn[8]:=b2*d2;

```

```

    fn[9]:=c2*d2;

```

```

    fn[10]:=d1*(d2-1);

```

```

    fnds[1]:=a2+a2-1;

```

```

    fnds[2]:=b2+b2;

```

```

    fnds[3]:=0;

```

```

    fnds[4]:=0;

```

```

    fnds[5]:=0;

```

```

    fnds[6]:=c2+c2;

```

```

    fnds[7]:=d2+d2-a2-a2;

```

```

    fnds[8]:=-b2-b2;

```

```

    fnds[9]:=-c2-c2;

```

```

    fnds[10]:=-d2-d2+1;

```

```

    fndt[1]:=0;

```

```

    fndt[2]:=a2+a2;

```

```

    fndt[3]:=b2+b2-1;

```

```

    fndt[4]:=c2+c2;

```

```

    fndt[5]:=0;

```

```

    fndt[6]:=0;

```

```

    fndt[7]:=-a2-a2;

```

```

    fndt[8]:=d2+d2-b2-b2;

```

```

    fndt[9]:=-c2-c2;
    fndt[10]:=-d2-d2+1;

    fndu[1]:=0;
    fndu[2]:=0;
    fndu[3]:=0;
    fndu[4]:=b2+b2;
    fndu[5]:=c2+c2-1;
    fndu[6]:=a2+a2;
    fndu[7]:=-a2-a2;
    fndu[8]:=-b2-b2;
    fndu[9]:=d2+d2-c2-c2;
    fndu[10]:=-d2-d2+1;
end;

    { # SOUS PROGRAMME FAISANT LE CHOIX           # }
    { # DU NOMBRE DE NOEUD ET DE LA DIMENSION   # }
    { # DE L'ELEMENT SUIVANT LE TYPE DE L'ELEMENT # }

```

Procedure CHOIX2 ;

```

BEGIN
  Case Elt.typelmt of
    23 : begin
      dimelt:=1;
      nbnd:=3;
    end;
    36 : begin
      dimelt:=2 ;
      nbnd:=6;
    end;
    48 : begin
      dimelt:=2 ;
      nbnd:=8;
    end;
    49 : begin
      dimelt:=2 ;
      nbnd:=9;
    end;
    410: begin
      dimelt:=3 ;
      nbnd:=10;
    end;
  end;
END;

    { # CALCUL DU VECTEUR 'VEK' CORRESPONDANT AU # }
    { # NUMERO DU NOEUD                          # }

```

Procedure VECVEK;

```

VAR i:integer;
BEGIN
  CHOIX2;
  WITH Elt do
  For i:=1 to nbnd do
    vek[i]:=noeud[i];

```

END;

{ * CALCUL DES CODES ATTRIBUES AUX NOEUDS * }

Procedure VECTIDI;

Var i, j:integer;

BEGIN

For i:=1 to nbtnd do

begin

idi[i]:=0;

idr[i]:=0;

end;

ASSIGN(loce,'b:'+radical[1]+'conn.pfe');

RESET(loce);

WITH elt do

begin

Writeln('nbelt= par size of ==',nbelt);repeat until
keypressed;

for i:=1 to nbtelt do

begin

k:=i-1;

SEEK(loce,k);

READ(loce,elt);

CHOIX2;

for j:=1 to nbnd do

idi[noeud[j]]:=idi[noeud[j]]+1;

end;

end;

CLOSE(loce);

For i:=1 to nbtnd do

idr[i]:=idi[i];

END;

{ * CALCUL DES CODES ATTRIBUES AUX NOEUDS * }

Procedure VECTCEK;

BEGIN

CHOIX2;

For n:=1 to nbnd do

begin

if idi[vek[n]]=1

then

cek[n]:=1

else

begin

if idi[vek[n]]=idr[vek[n]]

then

begin

cek[n]:=idi[vek[n]];

idr[vek[n]]:=idr[vek[n]]-2;

end

else

begin

if idr[vek[n]]=0

```

        then
            cek[n]:=0
        else
            begin
                cek[n]:=-1;
                idr[vek[n]]:=idr[vek[n]]-1;
            end;
        end;
    end;
end;
END;

}
{ # LECTURE SUR FICHER 'ficheq' APRES ELIMINATION #
}
{ # D'UNE VARIABLE QUI APPARAÎT POUR LA DERNIERE FOIS #
}
{ #          DANS LA MATRICE DE TRAVAIL          #
}

procedure ENREG(var equax:equation);
    var
        equaxi:equation;
        l:integer;

    BEGIN
        with equax do
            begin
                if e=1
                then
                    begin
                        ASSIGN(ficheq,'NENO.EQT');
                        REWRITE(ficheq);
                        write(ficheq,equax);
                        CLOSE(ficheq);
                    end
                else
                    begin
                        ASSIGN(ficheq,'NENO.EQT');
                        RESET(ficheq);
                        while not eof(ficheq) do
                            read(ficheq,equaxi);
                            write(ficheq,equax);
                        CLOSE(ficheq);
                    end;
                for l:=1 to dimb do
                    coefx[l]:=0;
                coeff:=0;
                numero:=0;
                place:=0;
                long:=0;
            end;
        END;
    END;

```

```

END;

{ # INVERSION ET CALCUL DU DETERMINANT DES MATRICES # }
{ # UTILISE POUR LE CALCUL DU TENSEUR METRIQUE      # }
{ #      CONTRAVARIANT ET SON DETERMINANT          # }

procedure INVERMATRI(var a,b:typemat;var ind,n:integer;var
deter:real);

label 1,2,3,4,6,7;

var
  i,j,l,k,m: integer;
  r,tb,signe: real;
  a1:array[1..6,1..6] of real;
begin
  ind:=0;
  deter:=1;
  signe:=1;
  for i:=1 to n do
    for j:=1 to n do
      begin
        a1[i,j]:=a[i,j];
        a1[i,n+j]:=0;
        b[i,j]:=0;
      end;
    for i:=1 to n do
      a1[i,n+i]:=1 ;

  for k:=1 to n-1 do
    6:begin
      begin
        if abs(a1[k,k])=0
          then goto 1
          else
            deter:=deter*a1[k,k];
            for i:=k+1 to n do
              begin
                r:=a1[i,k]/a1[k,k];
                for j:=k+1 to 2*n do
                  a1[i,j]:=a1[i,j]-r*a1[k,j];
                end
              end;
            goto 2;

    1:begin
      m:=k+1;
      4 : if abs(a1[m,k])=0
          then
            begin
              m:=m+1;
              if m=n+1
                then goto 3

```

```

{ # RECHERCHE DES EQUATIONS DANS LE FICHIER # }
{ # 'ficheq' POUR LE CALCUL DES INCONNUES DU # }
{ # PROBLEME # }

```

```

Procedure RECHERCHE(Var equax:equation;var np:integer);

```

```

var kk:integer;

```

```

BEGIN

```

```

kk:=np-1;

```

```

ASSIGN(ficheq,'NENO.EQT');

```

```

RESET(ficheq);

```

```

SEEK(ficheq, kk);

```

```

Read(ficheq, equax);

```

```

CLOSE(ficheq);

```

```

END;

```

```

{ # LECTURE SUR FICHIER 'fichsol' DES RESULTATS # }
{ # CALCUL # }

```

```

Procedure RESULTAT(Var valsol:solution);

```

```

VAR

```

```

valsoli:solution;

```

```

BEGIN

```

```

with valsol do

```

```

begin

```

```

if Np=nbtnd

```

```

THEN

```

```

begin

```

```

ASSIGN(fichsol,'NENO.SVL');

```

```

REWRITE(fichsol);

```

```

with valsol do

```

```

write(fichsol,valsol);

```

```

CLOSE(fichsol);

```

```

end

```

```

ELSE

```

```

begin

```

```

ASSIGN(fichsol,'NENO.SVL');

```

```

RESET(fichsol);

```

```

while not eof(fichsol) do

```

```

read(fichsol,valsoli);

```

```

write(fichsol,valsol);

```

```

CLOSE(fichsol);

```

```

end;

```

```

vari:=0;

```

```

solh:=0;

```

```

solq:=0;

```

```

end;

```

```

writeln ('vérifier l'imprimante ');

```

```

repeat until keypressed ;clrscr;

```

```

                else goto 4 ;
            end
        else
            l:=2*n;
            for j:=k to 1 do
                begin
                    r:=a1[k,j];
                    a1[k,j]:=a1[m,j];
                    a1[m,j]:=r;
                end;
            goto 6;
        end;
2 : end;

begin
    if abs(a1[n,n])=0
        then goto 3
        else
            deter:=deter*a1[n,n];
            for j:=n downto 1 do
                for i:=n downto 1 do
                    begin
                        tb:=0;
                        for k:=n downto i+1 do
                            tb:=tb-b[k,j]*a1[i,k];
                        b[i,j]:=(tb+a1[i,n+j])/a1[i,i];
                    end;
                end;
            goto 7;
        3:ind:=ind+1;exit;
7:end;

```

{ # CALCUL DES ELEMENTS DE LA BASE COVARIANTE # }

```

procedure jacob(var x:typecoord;var fnds,fn dt,fn du:inter;var
jp:inter;

```

```

    var nbnd:integer);

```

```

var
    i:integer;

```

```

begin
    for i:=1 to 3 do
        jp[i]:=0;
    for i:=1 to nbnd do
        begin
            jp[1]:=x[i]*fnds[i]+jp[1];
            jp[2]:=x[i]*fn dt[i]+jp[2];
            jp[3]:=x[i]*fn du[i]+jp[3];
        end;
    end;
end;

```

{ # CALCUL DU TENSEUR METRIQUE COVARIANT # }


```

procedure MATRIG(var js,g:typemat; var dimg:integer);
  var
    i,j:integer;
    som,som1,som2,som3:real;

  begin
    for i:=1 to dimg do
      begin
        som:=0;
        for j:=1 to 3 do
          som:=som+js[j,i]*js[j,i];
        g[i,i]:=som;
        end;
        som1:=0;
        som2:=0;
        som3:=0;

        for i:=1 to 3 do
          begin
            som1:=som1+js[i,1]*js[i,2];
            som2:=som2+js[i,1]*js[i,3];
            som3:=som3+js[i,2]*js[i,3];
            end;
            g[1,2]:=som1;
            g[2,1]:=som1;
            g[1,3]:=som2;
            g[3,1]:=som2;
            g[3,2]:=som3;
            g[2,3]:=som3;
          end;

          { # CALCUL LE PRODUIT DE DEUX MATRICE # }

procedure PRODAB(var a,b,c:typemat;var nbla,nbcb,nblb:integer);
  var
    k,i,j:integer;
    prod:real;
    ind2:integer;

  begin
    ind2:=0;
    for i:=1 to nbla do
      begin
        for j:=1 to nbcb do
          begin
            prod:=0;
            for k:=1 to nblb do
              prod:=prod+a[i,k]*b[k,j];
              c[i,j]:=prod;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  { # ~~~~~~# }

```

```

{ # CALCUL LA MATRICE DES GRADIENTS 'B ' # }
{ # ~~~~~ # }
{ # ~~~~~ # }

procedure MATRIB(var c,b:typemat; var fnds,fn dt,fn du:inter;
var dimc,dim b:integer);

var
  k,j:integer;

begin
  for k:=1 to dimc do
    for j:=1 to dim b do

b[k,j]:=c[k,1]*fnds[j]+c[k,2]*fn dt[j]+c[k,3]*fn du[j];
    end;

{ # TRANSPOSITION DES MATRICES UTILISE POUR # }
{ # LA TRASPOSITION DES MATRICE DES GRADIENTS # }

procedure TRANSP0(var an,at:typemat; var diml,dimc:integer);

var
  i,j:integer;

begin
  for i:=1 to diml do
    for j:=1 to dimc do
      at[j,i]:=an[i,j];
    end;

{ # CALCUL LA SOMME DE DEUX MATRICES UTILISE POUR # }
{ # LA SOMMATION DES MATRICES ELEMENTAIRES SUR LES # }
{ # POINTS DE GAUSS D'UN ELEMENT # }

procedure somatri(var ann,bnn,css:typemat; var
diml,dimc:integer);

var
  i,j:integer;

begin
  for i:=1 to diml do
    for j:=1 to dimc do
      css[i,j]:=ann[i,j]+bnn[i,j];
    end;

{ # CALCUL TOUS LES ELEMENTS DE LA BASE COVARIANTE # }

procedure JACOB1(var js:typemat; var xn,yn,zn:typecoord;
var fnds,fn dt,fn du:inter; var nbnd:integer);
var
  i:integer;

```

```

      jpp: inter;

PROCEDURE OPT1;
begin
  gotoxy(4,4);
  writeln('                OPTION-1
            ');
  writeln;
  writeln('          1 - Creation de nouvelles donnees
            ');
  writeln;
  writeln('          2 - Modification ou  Creation de certains
fichiers  ');
  writeln;
  writeln('          3 - Execution
            ');
  writeln;
  writeln('                Faites votre choix
            ');
  gotoxy(13,13);
  readln(option1);
  clrscr;
end;

```

```

PROCEDURE OPT2;
BEGIN
  gotoxy(4,4);
  writeln('                OPTION-2
            ');
  writeln;
  writeln('          21 - Fichier des classes de permeabilite
            ');
  writeln;
  writeln('          22 - Fichier des connectivites
            ');
  writeln;
  writeln('          23 - Fichier des coordonnees
            ');
  writeln;
  writeln('                Faites votre choix
            ');
  gotoXY(13,13);
  readln(option2);
  clrscr;

```

```

  gotoxy(4,5);
  writeln('                OPTION-3
            ');
  writeln;
  writeln('          31 - Modification
            ');
  writeln;
  writeln('          32 - Creation
            ');

```

```
GotoXY(13,13);
readln(option3);
```

```
end;
```

```
PROCEDURE OPT4;
```

```
begin
  clrscr;
  gotoxy(4,6);
  writeln('
');
  writeln('
');
  writeln('
');
  writeln('
');
  writeln('
');
  GotoXY(13,13);
  readln(option4);
  clrscr;
end;
```

OPTION-4

41 - impression des resultats sur ecran

42 - Impression sur imprimante

```
BEGIN
```

```
  Clrscr;
  OPT1;
  While option1 <> 3 do
    Repeat
      if option1 = 2
        then
          OPT2;
```

PROCEDURE SAISIE_ET_CONTROLE_DE_DONNEES;

```
VAR i,j,k,l,direct,max,cont:integer;err1:Boolean;
Lettre, Racc:char;Posi:Array[1..8] of integer;
posis,Posit:array[1..30] of integer;
dre:char;
```

```
PROCEDURE CARCONTROLE (VAR ccc:char);
```

```
  BEGIN
```

```
    WHILE NOT (ccc IN ['Y','O','N']) DO
```

```
      BEGIN
```

```
        Write('Lettre invalide autre choix');
        ccc := Upcase (Readkey);
        Gotoxy(1,whereY);clreol;
```

```

        Gotoxy(1,whereY);
    END;
    Writeln;
END;

BEGIN
    Clrscr;
    Writeln('Voulez - vous utiliser un fichier existant      Y /O
/N ');
    Racc := Upcase (Readkey);
    CARCONTROLE (Racc);
    CASE Racc OF
        'N' : BEGIN
            Write('CREATION D" UN NOUVEAU FICHER ');
            CASE Icar OF
                1: Writeln('CONNECTIVITES');
                2: Writeln('DE COORDONNEES');
                3: Writeln('DE CLASSES DE PERMEABILITE');
            END;
            Write('NOM DU FICHER 4 CARACTERES AU PLUS ');
            Readln(Radical[Icar]);
            CASE Icar OF
                1: BEGIN
                    writeln('creation de b:',radical [1]
+'conn.pfe');
                    ASSIGN (LOCE,'B:' + Radical [1] +
+'conn.pfe');
                    writeln('B:' + Radical [1] + 'conn.pfe');
                    repeat until keypressed;
                    dre := readkey; writeln('assign accorde');
                    REWRITE(LOCE); writeln('rewrite accorde');
                    SAISIE1;
                END;
                2: BEGIN
                    ASSIGN (CORG,'B:' + Radical [2] +
+'COoR.pfe');
                    REWRITE(CORG);
                    SAISIE2;
                END;
                3: BEGIN
                    ASSIGN (FICHE_ALPHA,'B:' + Radical [3] +
+'PERM.pfe');
                    REWRITE(FICHE_ALPHA);
                    SAISIE3;
                END;
            END;
        end;
        'Y','O': BEGIN
            Write('NOM DU FICHER A UTILISER 4 CARACTERES
AU PLUS ');
            Readln(Radical[Icar]);
            {$I-}
            Repeat
                err1 := FALSE; err2 := TRUE;
            CASE Icar OF

```

```

1: BEGIN
  writeln('ook');
  ASSIGN (LOCE,'B:' + Radical [Icar] +
'conn.pfe');

  writeln('assign accorde');
  RESET(LOCE);cont:=0;

  writeln('reset assign accorde');
  while not(eof(loce)) DO
  begin
    read(loce,ELT);
    cont := cont+1;
  end;
END;
2: BEGIN
  ASSIGN (CORG,'B:' + Radical [Icar] +
'COOR.pfe');

  RESET(CORG); cont:=0;
  while not(eof(corg)) DO
  begin
    read(corg,coord);
    cont := cont+1;
  end;
END;
3: BEGIN
  ASSIGN (FICHE_ALPHA,'B:' + Radical
[Icar] + 'PERM.pfe');

  RESET(FICHE_ALPHA);
  cont:=0;
  while not(eof(fiche_alpha)) DO
  begin
    read(fiche_alpha,permeabilite);
    cont := cont+1;
  end;
END;
END;
if IORESULT <> 0 THEN err1 := false ;
IF err1 THEN
begin
  writeln('c'est ici le probleme');
  Writeln('CE FICHIER N" EXISTE PAS ');
  Write ('ENTRER UN NOUVEAU NOM OU "?"
POUR SORTIR ');

  Readln(Radical[Icar]);
end;
IF Radical [Icar] = '?' THEN
Begin
  err1 := FALSE ; err2 := FALSE;
END;
GOTOXY(1,WhereY-2);clreol;
GOTOXY(1,WhereY-3);
UNTIL err1 = FALSE;
{$I+}
IF ERR2 THEN

```

```

CASE Icar OF
  1: BEGIN
      NBTELT := cont ;
      {Writeln('taille = ', sizeof(loce), ' =
',nbtelt,' cont= ',cont);
      repeat until keypressed; }
      CLOSE (LOCE);
      END;
  2: BEGIN
      NBTND := cont;
      {Writeln('taille = ', sizeof(corg), ' =
',nbtnd,' cont= ',cont);
      repeat until keypressed; }
      CLOSE (CORG);
      END;
  3: BEGIN
      nbreperm := cont;
      {Writeln('taille = ', sizeof(fiche_alpha), '
= ',nbreperm,' cont= ',cont);
      repeat until keypressed;}
      CLOSE (FICHE_ALPHA);
      END;
      END ELSE EXIT;
      END;(*IF NOT ERR2 THEN EXIT;*)
      end;IF NOT ERR2 THEN EXIT;
      end;
BEGIN
Case option1 of
  1: begin
      test(3);
      test(1);
      test(2);
      end;
  2: begin
      Case option2 of
        21:BEGIN test(3);END;
        22: test(1);
        23:BEGIN test(2);END;
      end;
      end;
      end;
      { for cont:= 1 TO 3 DO Writeln(radical[cont]);repeat until
      keypressed;}
END;

```