

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 64.34.34

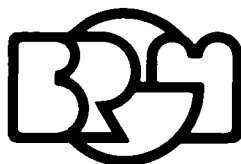
DOCUMENT PUBLIC

APPLICATION DE LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS À L'HYDRODYNAMIQUE SOUTERRAINE

NOTICE ET MODE D'EMPLOI DU RAPPORT MEFISTO

par

Michel RECAN



Département géotechnique

Département eau

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 64.34.34

Rapport du B.R.G.M.

85 SGN 048 EAU-GEG

Février 1985

RESUME

Le présent rapport comprend la description, le mode d'emploi et un jeu d'essai du programme MEFISTO (modèle par éléments finis) dans la version traitant les phénomènes de diffusion (écoulement d'une nappe souterraine, conduction de la chaleur...).

Deux rapports complémentaires présenteront les extensions de ce programme à la simulation :

- 1 - des transferts diffusifs et convectifs (transport d'un polluant ou d'un front thermique dans une nappe en écoulement)
- 2 - de la mécanique des roches (comportement élastique)

L'utilisation de ce code de calcul nécessite un minimum de connaissances sur les méthodes de calcul par éléments finis ; celles-ci pourront être acquises par une lecture approfondie de l'ouvrage de Dhatt et Touzot, qui fournit un programme de base à partir duquel MEFISTO a été conçu. Tous les apports nouveaux par rapport à ce programme sont détaillés dans le présent document.

Le choix de la discrétisation et l'élimination des problèmes de stabilité, convergence... demande une expérience solide qui ne peut être acquise et conservée que par l'utilisation régulière de ces techniques. La mise en oeuvre de MEFISTO devra être réservée aux problèmes difficiles requérant une précision élevée.

Le programme MEFISTO a été mis au point à l'occasion d'études diverses sur contrat ; des compléments, la généralisation du code de calcul, et la préparation du mode d'emploi ont été réalisés sur fonds propres du Ministère de l'Industrie dans le cadre du programme Informatique Hydrogéologique du Département EAU.

Les principales études réalisées à l'aide de MEFISTO sont :

- différents problèmes de stockage d'eau chaude dont celui du pilote de l'Ecole Normale Supérieure (Lyon Gerland),
- la simulation de la gazéification souterraine du charbon (rétro-combustion),
- les transferts de substance dissoute en aval d'un stockage souterrain de gaz naturel,
- pompage par un puits incomplet.

J.P. SAUTY

SOMMAIRE

1	PRESENTATION GENERALE DU PROGRAMME MEFISTO	
1.1	INTRODUCTION	2
1.2	ORGANISATION GENERALE DE MEFISTO	3
1.2.1	BLOCS FONCTIONNELS	3
1.2.2	ENCHAINEMENT DES BLOCS FONCTIONNELS	5
1.2.3	ALLOCATION PSEUDO-DYNAMIQUE	7
1.3	NOTIONS FONDAMENTALES UTILISEES	8
1.3.1	COORDONNEES NODALES ET CONNECTIVITE DES ELEMENTS	9
1.3.2	DEFINITION DES CONSTANTES PHYSIQUES	11
1.3.3	DEFINITION DES TYPES D'ELEMENTS - BIBLIOTHEQUE D'ELEMENTS	15
1.3.4	CONDITIONS AUX LIMITES	19
1.3.5	SOLLICITATIONS	20
1.4	POST-PROCESSEURS	21
1.5	DESCRIPTION DES BLOCS FONCTIONNELS	21
1.5.1	PROGRAMME PRINCIPAL	21
1.5.2	BLOCS FONCTIONNELS DE LECTURE DES DONNEES	23
1.5.3	BLOCS FONCTIONNELS D'EXECUTION	24
1.5.4	BLOCS FONCTIONNELS UTILITAIRES	25
1.5.5	ORDRE LOGIQUE D'APPEL DES BLOCS	25
2	DESCRIPTION DES DONNEES DE MEFISTO	
2.1	CONVENTIONS	28
2.2	DONNEES CORRESPONDANT A CHAQUE BLOC	28
3	LA BIBLIOTHEQUE DF2D	
3.1	DISCRETISATION DE L'EQUATION DE LA DIFFUSIVITE	94
3.1.1	POSITION DU PROBLEME	94
3.1.2	FORMULATION INTEGRALE	98
3.1.2.1	FORME INTEGRALE	98
3.1.2.2	FORME INTEGRALE FAIBLE	99
3.1.3	DISCRETISATION DES FORMES INTEGRALES	100
3.1.3.1	APPROXIMATION DE U PAR ELEMENTS FINIS	101
3.1.3.2	CHOIX DES FONCTIONS DE PONDERATION	104
3.1.3.3	DISCRETISATION DE LA FORME INTEGRALE	104
3.2	LA BIBLIOTHEQUE DF2D	108
3.2.1	MODE D'EMPLOI	108
3.2.2	EXEMPLE D'UTILISATION	115
3.2.2.1	CAS STATIONNAIRE	115
3.2.2.2	CAS TRANSITOIRE	116

ANNEXE A : NUMEROTATION DES NOEUDS, DES ARETES ET DES FACES
D'UN ELEMENT

A.1	LE SEGMENT	152
A.2	LE TRIANGLE	153
A.3	LE QUADRANGLE	153
A.4	LE TETRAEDRE	154
A.5	LE PENTAEDRE	155
A.6	L'HEXAEDRE	156

ANNEXE B : LISTE DES VARIABLES EN COMMON

ANNEXE C : LISTE DES PRINCIPAUX TABLEAUX

CHAPITRE 1

P R E S E N T A T I O N G E N E R A L E D U P R O G R A M M E M E F I S T O

1.1 INTRODUCTION

Le programme MEFISTO est écrit en langage FORTRAN 77. Il peut être utilisé dans différents domaines d'application de la méthode des éléments finis. Le programme décrit ici est une version profondément remaniée d'un programme publié (*). Il inclut des notions telles que la description par numéros de référence (inspirée de MODULEF) ou l'existence de conditions aux limites variables au cours du temps.

MEFISTO est structuré de manière modulaire. Il se compose d'un ensemble de sous-programmes qui effectuent des opérations caractéristiques de la méthode des éléments finis telles que :

- création des tables des coordonnées nodales et connectivité des éléments.
- création des tables contenant des paramètres connus liés à des éléments ou des nœuds (constantes physiques du milieu, propriétés nodales,...).
- création des tables définissant les conditions aux limites.
- construction des matrices et vecteurs élémentaires.
- assemblage d'un vecteur ou d'une matrice élémentaire $\{f\}$, $[k]$ dans un vecteur ou une matrice globale $\{F\}$, $[K]$.

(*) G. DHATT, G. TOUZOT : Une Présentation de la Méthode des Éléments Finis - MALOINE S.A. (1981)

- decomposition et resolution d'un systeme d'equations lineaires.
- impression des variables nodales et des divers resultats additionnels (gradients, reactions,...).

Sa structure modulaire fait de MEFISTO un programme qui n'est pas fixe. Il est tres facile d'ajouter de nouveaux blocs fonctionnels. En fait, certains des blocs fonctionnels existant a l'heure actuelle ont ete developpes au cours d'etudes specifiques diverses pour la realisation desquelles les possibilites du programme ont ete progressivement etendues (blocs 'EGAL', 'MACR', 'CNDV' par exemple).

Le texte fait parfois reference a des noms de variables. On consultera l'annexe B pour avoir la definition de ces variables.

1.2 ORGANISATION GENERALE DE MEFISTO

1.2.1 BLOCS FONCTIONNELS

MEFISTO inclut des blocs fonctionnels specialises dans la lecture, la verification et l'organisation des donnees. L'ensemble des blocs fonctionnels peut etre partitionne en 3 categories :

- Blocs de Lecture des Donnees

Ces blocs sont charges de lire differents types de donnees telles que coordonnees nodales, proprietes elementaires,.... Par exemple :

- le bloc 'DFNO' lit les coordonnees des noeuds, la connectivite des elements, leurs numeros de sous-domaine et cree une structure de donnees NOPO decrivant la topologie du maillage. Apres verifications, il cree la table KDLNC (nombre de degres de liberte - d.l. en abrege - de chaque noeud) et assigne a chaque element du maillage un sous-programme de calcul des matrices elementaires.
- le bloc 'COND' lit les conditions aux limites (d.l. bloques) et cree les tables KNER (numero d'equation de chaque d.l.) et VDIMP (valeurs des d.l. bloques).
- le bloc 'FLMS' cree un fichier contenant toutes les informations pour chaque element ainsi que la table KLD qui decrit le profil de la matrice de rigidite globale.

- Blocs d'Execution

Ces blocs se servent des tables construites par les blocs de lecture des donnees. Par exemple:

- le bloc 'LINM' assemble, puis resoud le systeme d'equations correspondant a un probleme lineaire, la matrice de rigidite globale [K] residant en

memoire centrale.

- le bloc 'TRLC' assemble, puis resoud le systeme d'equations correspondant a un probleme lineaire non stationnaire du 1er ordre.

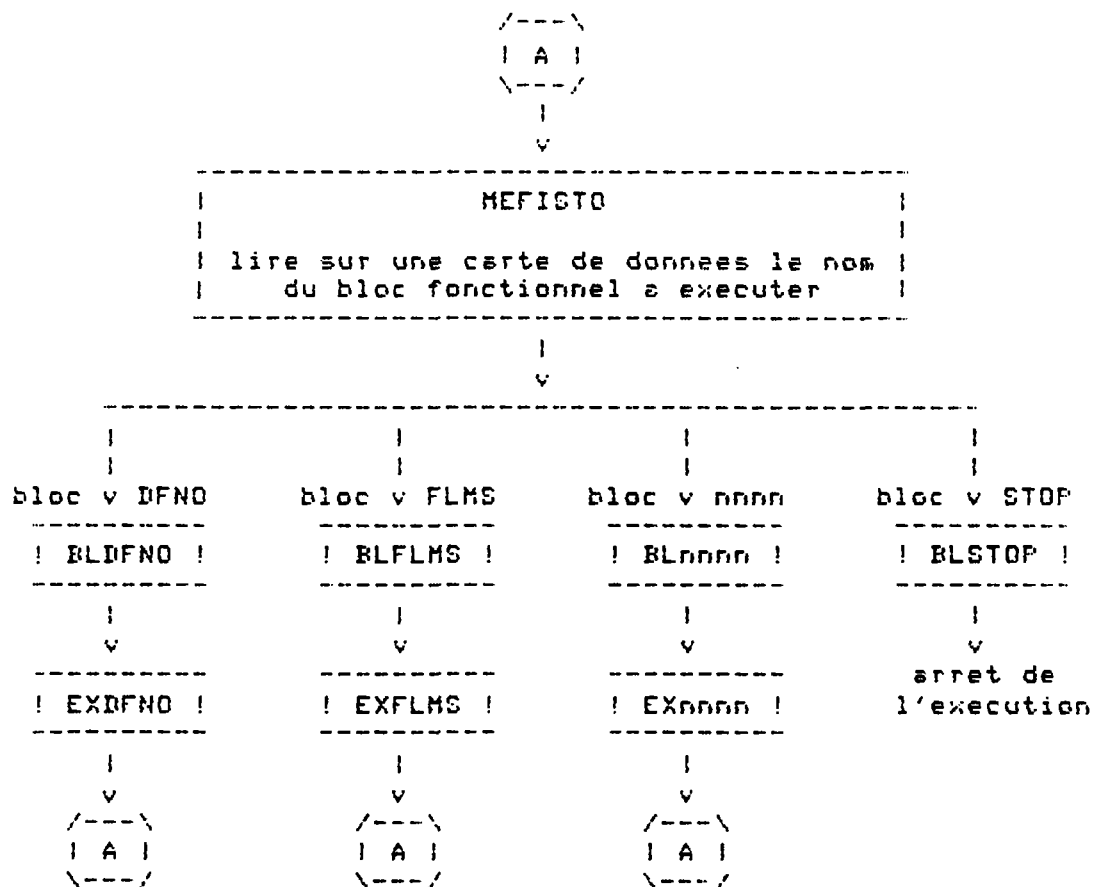
- Blocs Utilitaires

Ces blocs remplissent des fonctions qui ne sont pas directement liees a la methode des elements finis. Par exemple:

- le bloc 'IMAG' imprime l'ensemble des cartes de donnees.
- le bloc 'COMT' permet d'insérer des commentaires.
- le bloc 'OPEN' permet d'assigner des numeros d'unites logiques a des fichiers.

1.2.2 ENCHAINEMENT DES BLOCS FONCTIONNELS

Le programme principal enchainé l'exécution des blocs fonctionnels sous le contrôle de l'utilisateur, en appelant les sous-programmes correspondant a chaque bloc selon le schéma suivant :



Le sous-programme BLnnnn execute les operations preliminaires suivantes du bloc 'nnnn' :

- il definit les numeros logiques des fichiers sur disque utilises par le bloc, en prenant eventuellement des valeurs par defaut.
- il lit des parametres de controle necessaires en particulier pour determiner la taille des tables du bloc.

- il cree les nouvelles tables qui lui sont necessaires en utilisant une technique d'allocation pseudo-dynamique.
- il appelle le sous-programme EXnnnn.

Le sous-programme EXnnnn execute toutes les operations que doit effectuer le bloc fonctionnel 'nnnn', en faisant appel si necessaire a la librairie generale des sous-programmes.

1.2.3 ALLOCATION PSEUDO-DYNAMIQUE

Le langage FORTRAN ne permet pas de definir dynamiquement la dimension des tables en cours d'execution. Pour eviter de changer les dimensions des tables lorsque la nature et la taille du probleme varie, MEFISTO utilise une technique d'allocation pseudo-dynamique.

Un unique tableau KVA, appele tableau de travail ou super-tableau et declare dans le common blanc est partitionne pour stocker tous les tableaux de donnees (coordonnees des noeuds, connectivite des elements, constantes physiques du probleme,...) ainsi que les tableaux globaux (matrice de rigidite, vecteur second membre,...). Chaque tableau est dimensionne a la taille exacte necessaire a chaque probleme en utilisant un ensemble de pointeurs. Les adresses des tableaux de base sont conservees dans le common /LOC/.

La gestion du super-tableau est assurée par un ensemble de sous-programmes directement dérivés de la bibliothèque MODULEF (ADRESS, READRE, DILATE, COMPRE, TROUVE, TUEP, IMATAP). La gestion du super-tableau nécessite des tables de gestion qui sont conservées dans le common /ALLOC/. Chacun des tableaux gérés par ces tables est caractérisé par son nom (sur 4 caractères), son type (entier, réel, ...), sa longueur (en mots entiers), son adresse et son ordre dans le super-tableau.

De cette manière, aucune place n'est inutilisée pour le stockage des données et l'espace maximum est réservé pour stocker les tableaux globaux. Compte tenu de la technique utilisée, il n'est pas possible d'établir des valeurs absolues quant au nombre maximum de nœuds, d'éléments ou de numéros de sous-domaine. Le programme contrôle que l'espace est suffisant pour résoudre le problème et un message d'erreur est imprimé dans le cas contraire. La capacité totale du programme est contrôlée par la dimension du super-tableau KVA dans le common blanc du programme principal et la valeur correspondante de NVA (1ère variable du common /ALLOC/).

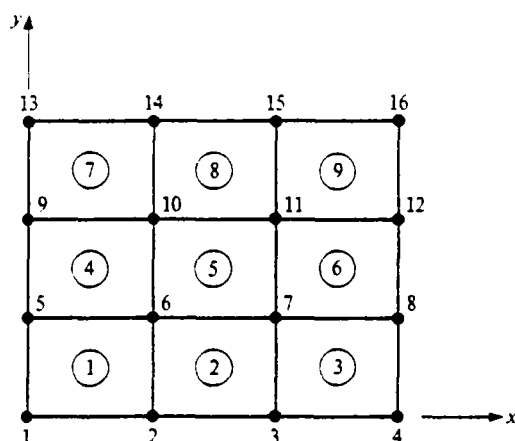
1.3 NOTIONS FONDAMENTALES UTILISEES

Le but de cette section est la présentation des notions utilisées dans MEFISTO telles que numéro de sous-domaine, numéro de référence, bibliothèque d'éléments, ... afin de permettre à l'utilisateur d'exploiter au mieux les ressources du programme. L'accent est mis sur les blocs de lecture des données qui demandent généralement le plus de

preparation.

1.3.1 COORDONNEES NODALES ET CONNECTIVITE DES ELEMENTS

Une fois le maillage établi pour un problème, les cartes de données peuvent être préparées. Considérons par exemple la spécification des coordonnées nodales et des connectivités des éléments pour le domaine bidimensionnel (NDIM=2) rectangulaire suivant pour lequel un maillage de 9 éléments (NELT=9, NNEL=4) et 16 noeuds (NNT=16) a été défini.



Pour décrire le maillage, des valeurs doivent être affectées à chaque VCORG(I,J), I=1,2, J=1..16 (tableau global des coordonnées des noeuds du maillage, I varie de 1 à NDIM et J de 1 à NNT) ainsi qu'à KNE(K), K=1..4 pour chacun des 9 éléments. La table de connectivité d'un élément (KNE) contient la liste des noeuds qui composent l'élément dans la numérotation globale du maillage. L'indice K désigne le numéro du noeud dans la numérotation locale de l'élément. La convention pour le choix du 1er

noeud est quelque peu arbitraire. Le noeud local numero 1 de l'element 3 pourrait etre associe avec le noeud global 3, 4, 7 ou 8. Une fois le premier noeud local choisi, les autres sont definis par la convention adoptee pour chaque type geometrique d'element. Les conventions adoptees dans MEFISTO sont definies dans l'annexe A.

Pour des maillages importants, la preparation des coordonnees nodales et des connectivites elementaires serait penible. C'est pourquoi le programme permet de generer automatiquement une bonne partie des donnees. Une maniere simple de generer les coordonnees des noeuds consiste a donner les coordonnees des extremités d'une ligne et a generer les coordonnees des noeuds internes par interpolation lineaire. Dans le cas du maillage precedent, l'utilisateur peut entrer les coordonnees des noeuds 1 et 4 et generer automatiquement les coordonnees des noeuds 2 et 3. Meme pour ce probleme simple, la preparation des coordonnees des noeuds est reduite de moitie.

Pour ce qui est des elements, il existe generalement un canevas qui permet de generer plusieurs elements a l'aide d'une seule carte. Dans le cas du maillage precedent, les numeros des noeuds de l'element 2 sont ceux de l'element 1 incrementes de 1. Les noeuds de l'element 3 sont ceux de l'element 2 incrementes de 1. Ainsi, il est possible de donner la connectivite des elements 1, 4 et 7 et de generer la connectivite des autres elements en specifiant un increment.

Une autre possibilité consiste à utiliser un pré-processeur qui permet de générer un maillage à partir d'un nombre réduit de directives. C'est pourquoi le bloc 'LCNO' permet de définir le maillage à partir d'une structure de données MODULEF appelée NOP0. Cette structure de données est générée par les mailleurs de la bibliothèque MODULEF. La structure de données NOP0 est composée de 4 tableaux principaux appelés NOP0, NOP2, NOP4 et NOP5 plus éventuellement des tableaux complémentaires (NOP1, NOP3 et tableaux associés décrits par NOP1 qui ne sont pas utilisés par MEFISTO). MEFISTO utilise les tableaux NOP0, NOP2 (qui précisent certaines données de base du maillage telles que le nombre d'éléments, le nombre de nœuds,... et sont stockés dans les communs /NOP0/ et /NOP2/), NOP4 (coordonnées des nœuds) et NOP5 (connectivité et références des éléments). Une description détaillée de ces tableaux est donnée dans l'annexe C. Le bloc 'DFNO', qui permet de définir un maillage par cartes, construit les tableaux NOP0, NOP2, NOP4 et NOP5 de la s.d. NOP0 qui peut ainsi être réutilisée. Par ailleurs, un mailleur bidimensionnel interactif existe au BRGM (*).

1.3.2 DEFINITION DES CONSTANTES PHYSIQUES

Chaque élément possède des propriétés matérielles associées (perméabilité, coefficient d'emmagasinement pour un problème d'hydrogéologie). Dans la plupart des cas,

(*) C.R. LOESNER : GEMA - Un programme interactif pour la génération automatique et interactive de maillages - option GEMA2D (bidimensionnel plan)

Plusieurs elements possedent les memes proprietes physiques et il est inutile de les specifier pour chaque element individuellement. Dans ce cas, un element peut etre 'attache' a un ensemble de constantes par un simple numero et les proprietes peuvent n'etre donnees qu'une fois. Ainsi, a chaque element du maillage est associe un NUMERO DE SOUS-DOMAIN qui va permettre d'affecter un ensemble de caracteristiques physiques a l'element.

En plus de la notion de numero de sous-domaine (numero de materiau), MEFISTO prend en compte la notion de NUMERO DE REFERENCE. Le numero de reference permet de situer l'element par rapport a certaines courbes (en 2D) ou surfaces (en 3D) du domaine caracterisees par l'utilisateur. Ces numeros de reference seront specifiques dans la mesure ou certaines variables et/ou tableaux leur seront associes.

exemple : un milieu continu baigne par un fluide chaud voit sa temperature augmenter. Une modelisation possible de la conduction thermique a travers la surface S du milieu en contact avec le fluide s'exprime par la loi de NEWTON :

$$-k.dT/dn = h(T-T_0) \text{ sur } S$$

k : conductivite thermique du milieu

T : temperature du milieu sur la surface S

T₀ : temperature du fluide exterieur

h : coefficient d'echange entre le fluide et le solide

Affecter a chaque face d'un element baigne par le fluide un numero de reference permet de ne specifier qu'une seule fois le coefficient d'echange h et la temperature du fluide T_0 .

Le numero de reference permet aussi de specifier un ensemble de noeuds qui sont par exemple bloques a une certaine valeur par les conditions aux limites du probleme.

MEFISTO distingue 3 types de constantes physiques :

- les CONSTANTES DE MILIEU definissent les proprietes physiques du milieu qui sont necessaires au calcul des matrices elementaires (perméabilité, coefficient d'échange, tenseur d'élasticité,...).
- les CONSTANTES DE FORCE sont relatives aux sollicitations subies par le milieu et sont necessaires au calcul des seconds membres elementaires (contraintes exterieures appliquees a un element, poids du materiau, quantite d'eau apportee par irrigation, produit $h.T_0$ dans l'exemple precedent,...).
- les PROPRIETES NODALES sont des constantes de milieu et/ou de force qui sont affectees a chaque noeud du maillage. Ce type de constantes est utilise lorsque les proprietes physiques du milieu ne sont pas autorisees a varier de facon discontinue dans le domaine ou bien lorsque les variations des proprietes au sein du domaine

doivent etre decrites de facon plus fine que par la simple donnée d'une valeur constante sur l'element (vitesse de l'eau dans un probleme de pollution, temperature initiale dans un probleme de thermo-elasticite,...).

Les donnees concernant les constantes de milieu et de force apparaissent au plus a 4 niveaux dans un element :

- sur les sommets (tableaux elementaires VPOME et VPOFE)
- sur les aretes (tableaux elementaires VARME et VARFE)
- sur les surfaces (tableaux elementaires VSUME et VSUFE)
- sur les volumes (tableaux elementaires VVOME et VVOFE)

Pour fixer les idees, prenons l'exemple d'un probleme d'ecoulement de nappe plan.

Il n'y a pas de constantes volumiques puisque le probleme est bidimensionnel.

La permeabilite de la nappe et son coefficient d'emmagasinement sont des constantes de milieu surfaciques.

L'apport d'eau provenant d'une irrigation est une constante de force surfacique.

Le flux d'eau penetrant dans la nappe par les frontieres est une constante de force lineique.

ATTENTION : Pour un probleme tridimensionnel, le numero de sous-domaine est le numero de reference du volume. C'est le numero de reference de la surface pour un probleme bidimensionnel.

Dans l'espace R^3 , quelque soit la geometrie de l'element (hexaedre, pentaedre, tetraedre, quadrangle, triangle, segment), les caracteristiques physiques portant sur le sous-domaine (de dimension 3 (hexaedre, pentaedre, tetraedre), de dimension 2 (quadrangle, triangle), de dimension 1 (segment)) sont fournies dans le tableau VVOME.

Dans l'espace R^2 , quelque soit la geometrie de l'element (quadrangle, triangle, segment), les caracteristiques physiques portant sur le sous-domaine (de dimension 2 (quadrangle, triangle), de dimension 1 (segment)) sont fournies dans le tableau VSUME.

1.3.3 DEFINITION DES TYPES D'ELEMENTS - BIBLIOTHEQUE D'ELEMENTS

Le maillage vu precedemment ne faisait intervenir qu'un type d'element (quadrangle a 4 noeuds). Dans des problemes

Plus realistes, on peut avoir a utiliser conjointement plusieurs types d'elements (quadrangle a 4 noeuds et triangle a 3 noeuds par exemple). Dans ce cas, 2 types differents de matrices elementaires doivent etre calcules. C'est pourquoi il faut specifier pour chaque element le sous-programme qui doit etre utilise pour calculer les matrices elementaires, les gradients,....

Les blocs de lecture de MEFISTO fonctionnent independamment du probleme traite. C'est pourquoi le programme doit etre "linke" avec une BIBLIOTHEQUE D'ELEMENTS fonction du type de probleme traite (diffusion, diffusion-convection, elasticite,...)

Une BIBLIOTHEQUE D'ELEMENTS est composee :

- d'un sous-programme principal appele ELEMLB
- d'un ensemble de sous-programmes de nom ELEMnn
- eventuellement de sous-programmes supplementaires

A chaque TYPE D'ELEMENT nn existant dans la bibliotheque est associe un sous-programme de nom ELEMnn. Ce sous-programme est charge d'effectuer certaines operations telles que le calcul de la matrice de rigidite elementaire pour un element de type nn.

Plusieurs modules de MEFISTO appellent la bibliotheque d'elements. L'appel est effectue a travers une sequence FORTRAN du type :

ITPE = nn (type de l'element en cours de traitement

- 2eme variable du common /RGDT/)

ICODE= ii (code de l'operation a effectuer par le

sous-programme ELEMnn - 3eme variable du

common /RGDT/)

CALL ELEMLB(KAUX,VCORE,VDLE,VKE,VFE,VVOME,

‡ VSUME,VARME,VPOME,VVOFE,VSUFE,VARFE,VPOFE,VPRNE)

par laquelle sont transmises toutes les informations
concernant l'element a traiter.

Le sous-programme ELEMLB appelle alors le
sous-programme ELEMnn associe au type de l'element en cours
de traitement. Le sous-programme ELEMnn retourne ensuite
certaines valeurs en fonction de la valeur de ICODE.

Les valeurs possibles de ICODE definies a l'heure
actuelle sont :

ICODE = 0 retour de parametres dans le common /RGDT0/
(ces parametres permettent de verifier la
coherence du maillage)

ICODE = 1 retourne le nombre de d.l. sur chaque noeud
(KAUX) et les coordonnees des noeuds dans
l'element de reference (VCORE) (afin de
calculer de facon automatique les coordonnees
des noeuds non sommets si necessaire)

ICODE = 2 calcul des fonctions d'interpolation et des
coefficients d'integration numeriques

ICODE = 3 matrice de rigidite (VKE)

ICODE = 4 matrice tangente (VKE)

ICODE = 5 matrice masse (VKE)

ICODE = 6 residu [K],{U} (VFE)
 ICODE = 7 sollicitations (second membre) (VFE)
 ICODE = 8 impression des gradients aux points de GAUSS
 ICODE = 9 modification des tableaux de constantes de
 milieu et/ou de force (l'exécution de cette
 option est controlée par la valeur affectée au
 parametre NMODPR dans le bloc 'FLMS')

La definition des types d'elements se fait par numero
 de sous-domaine et par code geometrique (tableau de donnees
 KTYEL(ICGE,NUMSD) dans les blocs 'LCNO' et 'DFNO')

Pour fixer les idees, supposons que le probleme traite
 est du type diffusion et qu'on utilise la blibliotheque
 d'elements DF2D (decrite dans ce rapport).

La bibliotheque DF2D contient a l'heure actuelle 5
 types d'elements qui sont:

- 1 - DF2D_TRIA_2P1D (S-P ELEM01) triangle 3 noeuds
- 2 - DF2D_QUAD_2Q1D (S-P ELEM02) quadrangle 4 noeuds
- 3 - DF2D_TRIA_2P2C (S-P ELEM03) triangle 6 noeuds
- 4 - DF2D_QUAD_2S2C (S-P ELEM04) quadrangle 8 noeuds
- 5 - DF2D_QUAD_2Q2C (S-P ELEM05) quadrangle 9 noeuds

Si le maillage est compose de triangles a 6 noeuds et
 de quadrangles a 8 noeuds, il faudra dans les blocs 'DFNO'
 ou 'LCNO' affecter le type d'element 3 (correspondant au
 sous-programme ELEM03) a l'ensemble des triangles de numeros
 de sous-domaine 1 et le type d'element 4 aux quadrangles.

Pour construire un nouveau type d'element, il faut ecrire un sous-programme de nom ELEMnn qui realise les operations definies precedemment.

1.3.4 CONDITIONS AUX LIMITES

Dans HEFISTO, seules sont assemblees les equations relatives a des degres de libertes non bloques. Cette methode est moins souple que celle consistant a modifier le terme diagonal mais elle permet d'economiser de la place pour le stockage des matrices globales et de reduire le temps de calcul necessaire a la resolution du systeme. L'introduction des conditions aux limites est effectuee par les blocs 'COND' ou 'CNDV'. Pour specifier un ensemble de noeuds affectes de la meme valeur de blocage, il existe 2 possibilites qui peuvent etre combinees :

- donner la liste des numeros des noeuds.
- specifier un ensemble de noeuds a travers leur NUMERO DE REFERENCE commun.

La creation de la TABLE DES NUMEROS DE REFERENCE DES NOEUDS (KREFG) est effectuee dans les blocs 'DFND' ou 'LCND'. Cette table n'existe que si le parametre NREF est superieur a zero. Le numero de reference d'un noeud est determine de la facon suivante :

- si le noeud est un noeud sommet, son numero de reference est celui du sommet correspondant.

- si le noeud est situe sur une arete (ou sur une face en 3D), son numero de reference est celui l'arete (ou de la face correspondante).
- si le noeud est interne (arete en 1D, surface en 2D, volume en 3D), son numero de reference est nul. (Il est cependant possible de forcer le numero de reference d'un noeud interne a une valeur non nulle dans le bloc 'DFNO'. Cependant, cette valeur sera 'oubliee' dans la S.D. NOPO qui sera creee.)

Le bloc 'EGAL' permet de specifier une liste de d.l. qui doivent avoir la meme valeur, cette valeur etant une inconnue du probleme.

1.3.5 SOLLICITATIONS

Il existe deux manieres de definir les sollicitations appliquees au milieu. La premiere consiste a utiliser les constantes de force puis a appeler lors de l'execution le bloc 'SOLR' qui calculera les sollicitations concentrees equivalentes en utilisant la bibliotheque d'elements (ICODE=7). La seconde solution consiste a calculer préalablement ces sollicitations concentrees et a les specifier par l'intermediaire du bloc 'SOLC' (si elles sont constantes) ou 'SLCV' si elles varient au cours du temps pour un probleme transitoire.

1.4 POST-PROCESSEURS

La verification manuelle d'un maillage a partir d'un listing est fastidieuse, sinon impossible des que le nombre de noeuds devient consequent. Cette observation est encore plus vraie pour l'interpretation des resultats. C'est pourquoi il est necessaire de disposer d'outils graphiques. Mis a part le programme de generation automatique de maillages bidimensionnels GEMA2D (qui est en fait un pre-processeur), il existe a l'heure actuelle deux programmes permettant de visualiser le maillage et certains resultats sur un ecran TEKTRONIX ou sur un traceur BENSON. Ces deux programmes (MEFBEN et MEFTEK) utilisent un macro-langage de commande tres simplifie. Une notice d'utilisation de ces programmes paraitra prochainement.

1.5 DESCRIPTION DES BLOCS FONCTIONNELS

1.5.1 PROGRAMME PRINCIPAL

Le programme principal est compose de deux parties :

- La section de controle de l'enchainement des blocs lit une carte de donnees contenant:
 - le nom du bloc fonctionnel a executer : BLOC
 - le niveau d'impression desire : M
 - les numeros de 10 fichiers eventuellement utilises par le bloc : MLUN(10)

Cette section transfere ensuite le controle a l'un des sous-programmes appeles dans la deuxieme section.

- La section d'execution appelle les divers sous-programmes BLLCNO, BLCOND etc..., et retourne au debut de la section de controle

1.5.2 BLOCS FONCTIONNELS DE LECTURE DES DONNEES

Les blocs fonctionnels de MEFISTO destines a la lecture et a l'organisation des donnees sont:

Nom ---	Fonction -----
DFNO	Definition du maillage et de l'interpolation par cartes
LCNO	Definition du maillage et de l'interpolation a partir d'une structure de donnees NQFO
COND	Lecture des conditions aux limites lorsqu'elles sont CONSTANTES au cours du temps
CNIV	Lecture des conditions aux limites lorsqu'elles sont VARIABLES au cours du temps
PRND	Lecture des proprietes nodales
MILI	Lecture des constantes de milieu
FORC	Lecture des constantes de force
FLMS	Creation du fichier des elements
SOLC	Lecture des sollicitations concentrees CONSTANTES
SLCV	Lecture des sollicitations concentrees VARIABLES au cours du temps
PROB	Lecture de caracteristiques du probleme traite (probleme axisymetrique,...)
INIL	Lecture des valeurs initiales des d.l. pour un probleme transitoire
MACR	Definition par cartes de la structure de donnees MCR utilisee pour traiter des problemes avec des maillasses deformables

1.5.3 BLOCS FONCTIONNELS D'EXECUTION

Les blocs fonctionnels d'exécution de MEFISTO sont:

Nom ---	Fonction -----
COLR	Assemblage des vecteurs elementaires correspondant a des sollicitations non concentrees (definies dans le bloc 'FORC')
LINM	Assembler la matrice de rigidite globale, resoudre le systeme d'equations lineaires, imprimer les resultats (solution, gradients, reactions) dans le cas d'un probleme lineaire stationnaire dont la matrice globale reside en memoire centrale
TRLC	Resoudre un probleme lineaire non stationnaire du premier ordre par la methode d'EULER lorsque les conditions aux limites sont CONSTANTES au cours du temps
TRLV	Resoudre un probleme lineaire non stationnaire du premier ordre par la methode d'EULER lorsque les conditions aux limites sont VARIABLES au cours du temps

1.5.4 BLOCS FONCTIONNELS UTILITAIRES

MEFISTO comporte des utilitaires qui permettent d'insérer des commentaires, de définir par leur nom les fichiers nécessaires à l'exécution d'un bloc. Ces blocs sont:

Nom ---	Fonction -----
IMAG	Impression de l'ensemble des cartes de données
COMT	Lecture et impression de commentaires
OPEN	Assignation de numéros d'unités logiques à des fichiers
CLOS	Fermeture de fichiers
TUND	Destruction des tableaux de la structure de données NOFO
TUER	Destruction de tableaux
FONC	Définition de fonctions interprétées. A l'heure actuelle, les blocs CNRV et SLCV peuvent utiliser des fonctions interprétées
DATA	Définition de tableaux

1.5.5 ORDRE LOGIQUE D'APPEL DES BLOCS

L'ordre logique d'appel des blocs pour la résolution d'un problème est résumé ci-dessous, avec les notations suivantes:

- des crochets ([XXXX]) indiquent que l'appel à ce bloc est facultatif ou dépend du problème traité
- si le nom du bloc n'est pas entouré de crochets, l'appel à ce bloc est indispensable

- la notation 'ou' indique un ou exclusif
 [IMAG] (facultatif mais doit etre le 1er)
 [COMT] (peut etre execute a tout moment)
 [OPEN]
 [PROB]
 [FONC]
 [DATA]
 DFNO ou LCNO
 [EGAL]
 COND ou CNDV
 MILI et/ou FORC et/ou PRND
 FLMS
 [TUNO]
 SOLC et/ou SLCV
 [INBL]
 [SOLR]
 LINM ou TRLC ou TRLV
 [CLOS]
 STOP

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DES DONNEES DE MEFISTO

2.1 CONVENTIONS

A chaque bloc fonctionnel de MEFISTO correspond un ensemble de cartes de donnees constitue :

- d'une carte d'en-tete definissant le bloc
- d'une carte de parametres si necessaire
- de cartes additionnelles de donnees si necessaire.

Les CARTES D'EN-TETE presentent le meme format pour tous les blocs :

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
BLOC	1-4	-	A4	nom du bloc a executer
M	5-10	0	I5	parametre controlant le niveau d'impression (0 <= M <= 4)
M1	11-15	MR	I5	numero de l' unite logique de lecture des donnees du bloc
M2	16-20	-	I5	numeros des unites
.	.		.	logiques des
.	.		.	fichiers
.	.		.	utilises
M10	56-60	-	I5	par ce bloc

En general toutes les variables entieres sont lues avec le format I5 et les variables reelles avec le format F10.0

2.2 DONNEES CORRESPONDANT A CHAQUE BLOC

La liste des blocs est donnee par ordre alphabetique, qui ne correspond pas a l'ordre logique d'execution des blocs.

* CLOS *

fermeture de fichiers

*1) une carte d'en-tete 'CLOS'

*2) une carte de numeros d'unite logique a fermer

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
KV	1-80	-	16I5	liste des numeros d'unite logique a fermer TERMINEE PAR UN NUMERO NUL

Remarques:

- 1) La liste KV peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si necessaire.

 * CNIV *

lecture des conditions aux limites VARIABLES

*1) une carte d'en-tete 'CNIV'

*2) une carte de parametres

var. lue	col.	def	format	description
NGCND	1-5	1	I5	nombre de groupes de c.l.
NSPCND	6-10	0	I5	<>0 si les valeurs imposees sont donnees a TOUT instant et pour TOUS les groupes de c.l. par le sous-programme SPCNIV
NDXPG	11-15	1	I5	nombre max. de noeuds associes a un groupe de c.l.

*3) des groupes de conditions aux limites TERMINEES PAR UNE CARTE BLANCHE

**3.1) une carte d'en-tete de groupe de c.l.

IG	1-5	-	I5	numero du groupe de c.l.
ICOD(15)	6-80	0	15I5	pour chaque d.l. (15 d.l. max) 0 si libre 1 si impose et si les varia- tions sont definies par valeurs discretees -1 si impose et si les varia- tions sont donnees par la fonction interpretee numero I (cf bloc 'FONC')

**3.2) une carte des numeros de noeuds et/ou de reference associes
a ce groupe de c.l.

KV	1-80		16I5	liste des numeros de noeuds et/ou de reference TERMINEE PAR UN NUMERO NUL
----	------	--	------	---

****3.3)** un ensemble de cartes donnant les valeurs des d.l. imposes a differents instants SI NSPCND=0 et SI les variations sont definies par des valeurs discrettes

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----

****3.3.1)** une carte d'en-tete

NTEMP	1-5	2	I5	nombre d'instants ou les valeurs des d.l. imposes du groupe sont donnees
-------	-----	---	----	--

****3.3.2)** NTEMP cartes

TIME	1-10	-	F10.0	valeur de l'instant de temps
V	11-80		7F10.0	liste des valeurs imposees aux d.l. de code 1 dans ICDI (et dans le meme ordre)

Remarques:

1) La liste KV peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si necessaire.

2) La liste V peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format (10X,7F10.0) si necessaire.

3) Pour specifier un numero de reference dans la liste KV, on donne le numero de reference precede du signe -. En outre, tous les noeuds associes a un groupe de c.l. doivent avoir le meme nombre de d.l. (contrôle dans le bloc pour detecter certaines erreurs).

ex: pour signifier que les noeuds numeros 1 et 5, ainsi que tous les -- noeuds portant le numero de reference 1 sont associes au groupe de c.l., on donnera la liste KV sous la forme:
 ----1----5---1----0 (le signe '-' indique un blanc)

4) Les variations des d.l. bloques d'un groupe de c.l. doivent etre definies soit par des valeurs discrettes, soit par des fonctions interpretees (il est interdit de melanger les deux types de definition des variations dans un meme groupe de c.l.).

5) Lorsque les variations sont definies par une fonction interpretee, le temps est transmis dans la variable X1 de la fonction. La definition de la fonction NE DOIT PAS utiliser les autres variables possibles (X2 a X9).

Definition du S.F. utilisateur SFCNDU

```

SUBROUTINE SPCNDV(TIME,IG,NRCOD,ICOD,V)
C=====
C          SOUS-PROGRAMME SPCNDV
C          -----
C=====
C BUT : donner par sous-programme les conditions aux limites variables
C --- ce sous-programme est a fournir par l'utilisateur lorsque
C      le bloc 'CNDV' est appele avec NSPCND=1
C
C PARAMETRES D'ENTREE :
C -----
C TIME      : instant auquel sont demandees les c.l.
C IG        : numero du groupe de c.l.
C NRCOD     : nombre de valeurs a donner
C ICODE     : ICODE(I)<>0 indique que le Ieme d.l. des noeuds du groupe
C             est impose
C
C PARAMETRES DE SORTIE :
C -----
C V         : tableau donnant les valeurs imposees des d.l.
C             tels que ICODE(I)<>0
C
C ATTENTION : ne pas modifier les parametres d'entree
C -----
C=====
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,D-Z)
D      DIMENSION ICODE(1),V(NRCOD)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C
2000 FORMAT(/' *** ERREUR, LE SOUS-PROGRAMME 'SPCNDV' DOIT ETRE FOURN
&I PAR L'UTILISATEUR'/)
C-----
      WRITE(MP,2000)
      CALL ABORT('SPCN','DV  ')
      RETURN
      END

```

* COMT *

impression de cartes de commentaires

*1) une carte d'en-tete 'COMT'

*2) des cartes de commentaires (non blanches) TERMINEES PAR UNE CARTE
BLANCHE

Remarque:

1) Ce bloc peut etre execute a tout moment.

 * COND *

lecture des conditions aux limites CONSTANTES.

*1) une carte d'en-tete 'COND'

*2) des groupes de conditions aux limites TERMINEES PAR UNE CARTE BLANCHE

var. lue	col.	def	format	description
----------	------	-----	--------	-------------

**2.1) une carte d'en-tete de groupe de c.l.

IG	1-5	-	I5	numero du groupe de c.l.
ICOD(15)	6-80	0	15I5	Pour chaque d.l. (15 d.l. max) 0 si libre 1 si impose nul 2 si impose non nul

**2.2) une carte des numeros de noeuds et/ou de reference associes a ce groupe de c.l.

KV	1-80		16I5	liste des numeros de noeuds et/ou de reference TERMINEE PAR UN NUMERO NUL
----	------	--	------	---

**2.3) une carte des valeurs imposees non nulles (S'IL EN EXISTE)

V	1-80		BF10.0	liste des valeurs imposees aux d.l. de code 2 dans ICOD (et dans le meme ordre)
---	------	--	--------	---

Remarques:

1) La liste KV peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si necessaire.

2) La liste V peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format BF10.0 si necessaire.

3) Pour specifier un numero de reference dans la liste KV, on donne le numero de reference precede du signe -. En outre, tous les noeuds associes a un groupe de c.l. doivent avoir le meme nombre de d.l. (contrôle dans le bloc pour detecter certaines erreurs).

ex: pour signifier que les noeuds numeros 1 et 5, ainsi que tous les noeuds portant le numero de reference 1 sont associes au groupe de c.l., on donnera dans la liste KV sous la forme:
 ----1-----5----1-----0 (le signe '-' indique un blanc)

 * DATA *

definition de tableaux

*1) une carte d'en-tete 'DATA'

*2) des groupes de cartes de definition de tableaux TERMINEES
 PAR UNE CARTE SUR LAQUELLE ITYP =< 0

*2.1) definition des caracteristiques du tableau

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NOM	2-5	-	A4	nom du tableau (4 caracteres)
ITYP	6-10	0	I5	type du tableau (0<ITYP<8) 1 : INTEGER*4 2 : REAL*4 3 : LOGICAL*4 4 : INTEGER*4 (contenant 4 caracteres par mot) 5 : REAL*8 6 : COMPLEX*8 7 : COMPLEX*16
NB_VAR	11-20	0	I5	nombre de VARIABLES du tableau (le nombre de mots necessaires est calcule par le programme)
NUMREC	21-25	-	I5	numero du l'enregistrement contenant le tableau (cas d'un tableau lu sur fichier binaire)
NUMFIC	26-30	-	I5	numero de l'unite logique support du fichier binaire (presablement declaree dans le bloc OPEN)
FORMAT_LEC	31-80	-	A60	format de lecture des valeurs du tableau (cas d'un tableau defini par cartes)

*2.2) liste des valeurs du tableau selon le format defini dans la
 carte 2.1 si le tableau est defini par cartes (cf. remarques)

Remarques:

-
- 1) Si le 1er caractere non blanc de la variable FORMAT_LEC n'est pas '*' ou une parenthese '(', le tableau est situe sur l'enregistrement NUMREC du fichier BINAIRE NUMFIC. Cet enregistrement est du type solution i.e. il contient:

NREEL,NBX,NRVECT,(DATA(I),I=1,NBX),(TAB(I),I=1,NRVECT)

avec NREEL=1 si les variables des tableaux DATA et TAB tiennent sur
 1 mot (4 bytes)
 =2 si elles tiennent sur 2 mots (8 bytes)

NBX peut etre nul et le tableau adresse NOM est initialise avec le tableau (TAB(I),I=1,NRVECT).

Si NB_VAR=0, le tableau est adresse avec la longueur NRVECT.

Si NB_VAR > NRVECT, les variables de rang superieur a NRVECT sont initialisees a zero.

Si NB_VAR < NRVECT, le tableau est initialise avec les NB_VAR premieres variables du tableau TAB.

- 2) Si le 1er caractere non blanc de la variable FORMAT_LEC est '*', le tableau est lu sur les cartes suivantes en format libre. Si ce caractere est une parenthese, le tableau est lu selon le format specifie par FORMAT_LEC.
- 3) Un tableau de type 4 (contenant des caracteres) ne peut pas etre considere comme un tableau de CHARACTER*4 au sens Fortran car il est stocke dans le super-tableau qui est declare INTEGER*4.
- 4) Les tableaux declares sont initialisees a ZERO (a ' ' pour le type 4).
- 5) Il est fortement conseille de definir les noms de tableaux sous la forme @xxx pour eviter des conflits avec les tableaux series par MEFISTO.

- 6) Exemple : on veut definir un tableau de caracteres de 12 variables (=48 caracteres), un tableau de reals simple precision de 10 variables a lire sur cartes et initialiser le tableau @TMP par la solution obtenue lors d'un calcul precedent.

```

0      0      1      1      2      2      3      3      numeros
0      5      0      5      0      5      0      5      de colonnes
DATA      1
@CAR      4      12      (20A4)
ceci est un tableau de caracteres .....
@R*4      2      10      *      (LECTURE EN FORMAT LIBRE)
1. 2. 3. /
@TMP      2      0      1      31      FICHER BINAIRE
-1

```

Dans cet exemple, la 2eme variable du tableau @CAR contient 'est', les 3 premieres variables de @R#4 contiennent respectivement 1., 2. et 3., et les autres sont nulles. Le tableau @TMP est a lire sur le 1er enregistrement du fichier 31 et sa longueur sera precisee par la variable NBVECT de cet enregistrement.

- 7) Le nombre de mots (1 mot = 4 bytes) nécessaires au stockage d'une variable est:
- | | |
|---|----------------------------------|
| 1 | pour les tableaux de type 1 à 4, |
| 2 | " " " " " 5 et 6, |
| 4 | " " " " " 7. |

 * DFNO *

definition du maillage par cartes

#1) une carte d'en-tete 'DFNO'

M2 : fichier support de la S.D. NOPO creee (facultatif)

*2) un ensemble de 5 cartes de parametres

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
**2.1) carte 2.1				
NOPTIT(20)	1-80	-	20A4	titre de la S.D. NOPO (80 car.)
**2.2) carte 2.2				
NDATE(2)	1-8	-	2A4	date de creation (ex: 10/03/80)
**2.3) carte 2.3				
NOMCRE(6)	1-24	-	6A4	nom du createur (6 car.)
**2.4) carte 2.4				
NINOPO	1-5	1	I5	niveau de la S.D.
**2.5) carte 2.5				
NDIM	1-5	2	I5	nombre de dimensions du probleme (1, 2 ou 3)
NREF	6-10	0	I5	nombre de numeros de reference
NDSD	11-15	1	I5	nombre de sous-domaines
NELT	16-20	1	I5	nombre d'elements
NNT	21-25	1	I5	nombre de noeuds
IMPR	26-30	0	I5	facteur d'impression de la S.D. NOPO creee
NBLC	31-35	0	I5	nombre de ligne courbes sur lesquelles il faut projeter les noeuds (seulement si NDIM=2)

*3) un ensemble de cartes definissant les types d'elements par sous-domaine et geometrie termine par une carte sur laquelle NUMSD<=0

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NUMSD	1-5	-	I5	numero du sous-domaine (=< NDSI)
KTYEL(1, NUMSD)	6-10	0	I5	type d'un element noeud de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(2, NUMSD)	11-15	0	I5	type d'un element segment de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(3, NUMSD)	16-20	0	I5	type d'un element triangle de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(4, NUMSD)	21-25	0	I5	type d'un element quadrangle de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(5, NUMSD)	26-30	0	I5	type d'un element tetraedre de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(6, NUMSD)	31-35	0	I5	type d'un element pentaedre de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(7, NUMSD)	36-40	0	I5	type d'un element hexaedre de numero de sous-domaine NUMSD

*4) une carte donnant les numeros de lignes courbes SI NBLC > 0

(NOLC(I), I=1,NBLC)	1-80	-	16I5	liste des numeros de lignes courbes (NBLC valeurs)
------------------------	------	---	------	---

*5) une carte definissant les facteurs d'echelle

FAC(1)	1-10	1.0	F10.0	facteur d'echelle de sens X
FAC(2)	11-20	1.0	F10.0	facteur d'echelle de sens Y
FAC(3)	21-30	1.0	F10.0	facteur d'echelle de sens Z

*6) des cartes de noeuds TERMINEES PAR UNE CARTE SUR LAQUELLE IN1 <= 0
(chaque carte peut generer plusieurs noeuds)

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
IN1	1-5	-	I5	numero du premier noeud a generer
X1(1)	6-15	0.0	F10.0	coordonnees X de ce noeud
X1(2)	16-25	0.0	F10.0	coordonnees Y de ce noeud
X1(3)	26-35	0.0	F10.0	coordonnees Z de ce noeud
IN2	36-40	IN1	I5	numero du dernier noeud a generer
X2(1)	41-50	0.0	F10.0	coordonnees X de ce noeud
X2(2)	51-60	0.0	F10.0	coordonnees Y de ce noeud
X2(3)	61-70	0.0	F10.0	coordonnees Z de ce noeud
INCR	71-75	1	I5	accroissement de numero de noeud utilise pour la generation automatique
IREF	76-80	0	I5	numero de reference des noeuds generes par la carte

*7) une carte de parametres pour la definition des elements

ICGEO	1-5	3	I5	code geometrique par default des elements
NUMSDO	6-10	1	I5	numero de sous-domaine par default des elements

*8) des groupes de cartes d'elements TERMINEES PAR UNE CARTE SUR LAQUELLE
IEL <= 0 (chaque carte peut generer plusieurs elements)

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
**8.1) carte 8.1				
IEL	1-5	-	I5	numero du premier element a generer
IGEN	6-10	1	I5	nombre d'elements a generer a partir de l'element IEL (incluant le premier)
INCR	11-15	1	I5	accroissement de numero utilise pour la generation automatique
NCGE	16-20	ICGEO	I5	code geometrique des elements generes
NUMSD	21-25	NUMSD0	I5	numero de sous-domaine des elements generes
INDIC	26-30	0	I5	indicateur de niveau de refe- rence des elements generes 0 : aucune reference 1 : seules les aretes sont referencees (NDIM=2 ou 3) 2 : les faces et les aretes sont referencees (NDIM=3)
**8.2) carte 8.2				
KV	6-80	-	(5X,15I5)	liste des numeros des noeuds du 1er element genere (dans un ORDRE COHERENT c.f. annexe A)
**8.3) carte 8.3 (SI INDIC = 1 OU 2)				
NDF	6-80	0	(5X,15I5)	liste des numeros de reference - des aretes si INDIC=1 - des faces puis des aretes si INDIC=2 (dans un ORDRE COHERENT)

Remarques:

-
- 1) La liste NDLC peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si nécessaire (carte 4)
 - 2) La liste KV peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format (5X,15I5) si nécessaire (carte 8.2)
 - 3) La liste NDF peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format (5X,15I5) si nécessaire (carte 8.3)
 - 4) Définition des types d'éléments par sous-domaine et géométrie
 KTYEL(I,J) donne le numéro du sous-programme de calcul des matrices élémentaires à appeler pour un élément de code géométrique I et de numéro de sous-domaine J.
 - 5) Projection des nœuds sur des lignes courbes (NDIM=2 uniquement)
 - s'il existe des lignes courbes, l'équation de ces lignes doit être donnée par la FONCTION FORTRAN FFRONT(I,X,Y).
 - seuls les nœuds situés sur des arêtes peuvent être projetés.
 - un nœud arête sera projeté sur la ligne courbe I si:
 - ses coordonnées ET un numéro de référence ne lui ont pas été affectés explicitement dans les cartes de définition des coordonnées des nœuds.
 - il se trouve sur une arête de numéro de référence I.
 - la distance du nœud sur l'arête droite à la courbe I est inférieure à la moitié de la distance entre les 2 sommets de l'arête.
 - 6) Définition des coordonnées et des numéros de référence des nœuds
 - les coordonnées des nœuds sommets doivent impérativement être fournies.
 - Celles des nœuds 'faces', 'arêtes' ou 'internes' ne doivent être données que si on veut forcer leur position (éléments courbes). Dans le cas contraire, elles seront calculées à partir des coordonnées du nœud dans l'élément de référence par interpolation linéaire (sous-programmes PROJ1, PROJ2, PROJ3).
 - 7) Affectation d'un numéro de référence à un nœud
 - les numéros de référence des nœuds sommets sont explicitement donnés lors de la définition des coordonnées des nœuds (var. IREF).
 - un nœud situé sur une arête (ou sur une face en 3D) aura le numéro de référence de l'arête (ou de la face) correspondante si un numéro non nul ne lui a pas déjà été affecté précédemment.
 - un nœud interne ne peut avoir de numéro de référence que si ce numéro (ainsi donc que ses coordonnées) lui a été explicitement affecté lors de la définition des coordonnées des nœuds.

8) Generation automatique des noeuds (carte 6)

- une carte de noeuds genere les noeuds numero IN1, IN1+INCR, IN1+2*INCR, ..., IN2 (soit $(IN2-IN1)/INCR+1$ noeuds)
les noeuds intermediaires sont equidistants sur le segment IN1-IN2

9) Generation automatique des elements (cartes 8)

- une carte d'elements genere les elements numero IEL, IEL+1, IEL+2, ..., IEL+IGEN-1 (soit IGEN elements)
on passe de la connectivite d'un element a la connectivite de l'element suivant en ajoutant INCR a chaque element de la liste KV

Definition du S.P. utilisateur FFRONT

```

      FUNCTION FFRONT(IREF,X,Y)
C=====C
C          FONCTION FFRONT                      C
C          -----                              C
C=====C
C BUT : donner l'equation des frontieres courbes      C
C ---                                                C
C                                                    C
C PARAMETRES D'ENTREE :                             C
C -----                                          C
C IREF   : numero de reference de la frontiere courbe      C
C X,Y    : coordonnees du point ou il faut evaluer la fonction      C
C=====C
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C
C      2000 FORMAT(/' *** ERREUR, APPEL A 'FFRONT' AVEC IREF=',I5/
C      & 13X,'LA FONCTION FFRONT DOIT ETRE FOURNIE PAR L''UTILISATEUR'/)
C-----C
C      WRITE(MP,2000) IREF
C      CALL ABORT('FFRO','NT ')
C      RETURN
C      END

```

 * EGAL *

lecture des relations d'egalites du type $U1=U2=...=Un$

*1) une carte d'en-tete 'EGAL'

*2) une carte de parametre

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NGEGAL	1-5	1	I5	nombre de groupes de relations d'egalite du type $U1=U2=...=Un$

*3) des groupes de relations d'egalite TERMINEES PAR UNE CARTE BLANCHE

**3.1) une carte d'en-tete de groupe

IG	1-5	-	I5	numero du groupe de relations
INUMDL	6-10	1	I5	numero par defaut du d.l. local des noeuds impliquees dans le groupe

**3.2) une carte des numeros de noeuds et/ou de reference associes a ce groupe de c.l.

KV	1-80	16I5	liste des couples (numero de noeud, numero du d.l. local) TERMINEE PAR UN NUMERO DE NOEUD NUL
----	------	------	--

Remarques:

- 1) La liste KV peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si necessaire.
- 2) On peut, au lieu de donner dans la liste KV un numero de noeud, indiquer un numero de reference. Dans ce cas, le numero de reference doit etre precede du signe -
- 3) Dans la liste KV, le numero local de d.l. pris par defaut est INUMDL
- 4) Tous les d.l. d'un groupe se voient affecter le meme numero d'equation
- 5) Ce bloc doit IMPERATIVEMENT etre appele (si necessaire) AVANT les blocs 'COND' ou 'CNDV'

 * FLMS *

creation du fichier des elements

*1) une carte d'en-tete 'FLMS'

M2 : fichier des elements

Par default M2=MELM=1 et le nom du fichier est :

ELEMENTS.NFR si le probleme est en simple precision

ELEMENTS.NFD si le probleme est en double precision

*2) une carte de parametre

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NMODPR	1-5	2	I5	indice pour la modification des proprietes d'un element (cf remarques)
IMPRLM	6-10	0	I5	facteur d'impression des elements <= 0 : rien = 1 : connectivite = 2 : ' ' + num. ref. = 3 : ' ' + proprietes + coordonnees >= 4 : ' ' + numeros d'equations

Remarques:

Signification du parametre NMODPR

NMODPR < 0 : le bloc remplit le tableau des proprietes elementaires
 a partir des tableaux crees par les blocs MILI, FORC
 et PRND

NMODPR = 1 : lorsque dans la lecture des elements, on trouve un numero
 de sous-domaine non rencontre precedemment, il y a appel
 au sous-programme ELEMLR (code 9) avec le type de
 l'element en cours.

le s.p. ELEM** peut alors modifier le tableau des
 proprietes liees au numero de sous-domaine (milieu et/ou
 force).

ces nouvelles valeurs des proprietes sont reinjectees
 dans le tableau global et seront donc utilisees par
 tous les elements suivants qui possedent le meme numero
 de sous-domaine.

NMODPR = 2 : appel systematique a ELEMUR (code 9) pour tous les elements.
le s.p. ELEM** correspondant peut alors modifier toutes les proprietes, les modifications des tableaux de proprietes n'etant pas reexecutees dans les tableaux globaux correspondants.

ATTENTION : l'option NMODPR=1 est incompatible avec l'existence de
----- particularites dans les proprietes de volume en 3D ou de surface en 2D ou d'arête en 1D (cf blocs MILI et FORC)

 * FONC *

lecture des fonctions (interpretees)

*1) une carte d'en-tete 'FONC'

*2) une carte de parametres

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NRFONC	1-5	1	I5	nombre de fonctions a lire
LIGFON	6-10	1	I5	nombre max. de lignes de 80 caracteres necessaires a la definition d'une fonction interpretee

*3) des groupes de definition de fonctions TERMINEES PAR UNE CARTE SUR
 LAQUELLE IFONC =< 0

**3.1) une carte d'en-tete de definition de fonction

IFONC	1-5	-	I5	numero de la fonction (compris entre 1 et NRFONC)
INDIC	6-10	0	I5	indicateur pour la definition de la fonction 0 si la fonction est inter- pretee 1 si le calcul de la fonc- tion sera effectue par le sous-programme SPFONC

**3.2) SI INDIC = 0, une carte definissant la fonction interpretee

KAUX	1-80	20A4	definition de la fonction interpretee
------	------	------	--

Remarques:

-
- 1) La liste KAUx peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format 20A4 si nécessaire (mais la définition de la fonction interprétée ne doit pas nécessiter plus de LIGFON cartes)
 - 2) La syntaxe de l'expression à évaluer est la syntaxe FORTRAN habituelle avec les restrictions et extensions suivantes:
 - l'expression doit se terminer par le signe '='
 - le signe '=' en fin d'expression ferme automatiquement toutes les parenthèses
(ex: l'expression '(SIN(COS(ABS(TAN(X1=' est correcte)
 - les variables de la fonctions sont X1,X2,...,X9
 - l'exposant d'un nombre est codé par la lettre 'E'
 - l'exposant d'un nombre doit être inférieur à 30
 - la partie entière (i.e. située avant le point décimal mais hors exposant) doit comporter moins de 9 chiffres.
ex: 123.456E-20, 123, 123., 123E1, 123E+1, 123.E0 sont corrects
 - on peut insérer des blancs et utiliser des lettres majuscules et/ou minuscules (les blancs sont comprimés et le texte de la fonction est converti en lettres majuscules)
 - l'évaluation d'une expression du type A**B avec A<0 est possible si la valeur de B est entière
 - 3) Liste des fonctions mathématiques reconnues par l'interpréteur :

nom	code	définition
SQRT(	1	racine carrée
EXP(	2	exponentielle
ALOG(	3	logarithme népérien
ALOG10(	4	logarithme décimal
ABS(	5	valeur absolue
SIN(	6	sinus
COS(	7	cosinus
TAN(	8	tangente
ASIN(	9	arc-sinus
ACOS(	10	arc-cosinus
ATAN(	11	arc-tangente
SINH(	12	sinus hyperbolique
COSH(	13	cosinus hyperbolique
TANH(	14	tangente hyperbolique
HEAVIS(	15	fonction HEAVISIDE
		HEAVIS(X)=0. si X ≤ 0.
		HEAVIS(X)=1. si X > 0.

5) Exemples de definitions de fonctions:

```

HEAVIS(X1**2 - 1)*X3**(1./3.) =

SIN(COS(ABS(TAN(X1+X2) =

SIN(COS(ABS(TAN(X1+X2))))=

1. =                                (fonction constante)

```

- 6) Le texte de la fonction (en particulier les noms de variables X1 a X9) a utiliser sont fonction de l'utilisation ulterieure qui sera faite de la fonction. Par exemple, le bloc CNIV peut utiliser des fonctions interpretees definissant les variations temporelles des d.l. bloques. Le bloc CNIV transmet la valeur du temps dans la variable X1 mais n'initialise pas les variables X2 a X9. La fonction interpretee ne doit donc pas faire reference aux variables X2 a X9 sous peine de resultats imprevisibles.

7) Liste des codes d'erreur de l'interpreteur

```

0 : pas d'erreur detectee
1 : dimension de la pile d'operateurs insuffisante
2 : dimension de la pile d'operandes insuffisante
3 : la partie entiere du nombre est trop grande
4 : exposant trop grand ou trop petit
5 : il n'y a pas de chiffre derriere l'exposant
6 : fonction inconnue
7 : nom de fonction ou de variable incorrect (trop de lettres)
8 : incoherence dans les piles (au moment du depilase)
9 : parenthese fermante sans parenthese ouvrante
10 : operateur incorrect
11 : erreur dans le nom de la variable (X suivi d'un caractere
    autre que 1,2,...,9)

```

- 6) Les fonctions ne sont pas precompilees. En consequence, si l'on prevoit d'utiliser souvent une fonction, il peut etre plus avantageux de la definir dans le sous-programme SPFONC (mais il faudra alors relinker le programme)

Definition du sous-programme utilisateur SPFONC

```

      SUBROUTINE SPFONC(IFONC,X,RESULTAT)
C=====C
C              SOUS-PROGRAMME SPFONC              C
C              -----C
C=====C
C BUT : donner par sous-programme la valeur de la fonction numero IFONCC
C --- ce sous-programme est a fournir par l'utilisateur lorsque C
C      le code de definition d'une fonction vaut 1 dans le bloc 'FONC'C
C                                                    C
C PARAMETRES D'ENTREE : C
C -----C
C IFONC : numero de la fonction C
C X      : Parametres de la fonction (X(1) a X(9)) C
C                                                    C
C PARAMETRES DE SORTIE : C
C -----C
C RESULTAT : =FONC(X) C
C                                                    C
C ATTENTION : NE PAS MODIFIER LES PARAMETRES D'ENTREE DANS LE S.P. C
C -----C
C=====C
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
D      DIMENSION X(*)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C
C      2000 FORMAT(///' *** ERREUR, LE S.P. SPFONC EST A FOURNIR PAR L'UTILISA
C      &TEUR'/)
C-----C
C      WRITE(MP,2000)
C      CALL ABORT('SPFD','NC  ')
C      END

```

 * FORC *

definition des constantes de force

*1) une carte d'en-tete 'FORC'

*2) 1, 2, 3 ou 4 ensembles de cartes decrivant les constantes de force pour les volumes et/ou les surfaces et/ou les aretes et/ou les sommets TERMINEES PAR UNE CARTE BLANCHE

var. lue	col.	def	format	description
INPR	1-5	-	I5	nombre de proprietes par groupe un nombre negatif indique qu'il y a -INPR proprietes par groupe et que ces proprietes seront donnees par le s.f. SPFORC
NOM	7-10	-	A4	type des proprietes decrites VOLUME : volumes (3D) SURF : surfaces (2D ou 3D) ARET : aretes POIN : sommets
NPROPD	11-15	0	I5	nombre de volumes ou surfaces ou aretes ou points a particulariser

*2.2) des cartes de groupes de proprietes TERMINEES PAR UNE CARTE SUR LAQUELLE IGPE = <0

IGPE	1-5	-	I5	numero de reference (ou sous-domaine) decrit ou numero de l'element a particulariser
INUM	6-10	-	I5	= 0 si IGPE est un numero de reference <> 0 si IGPE est le numero de la face ou arete... a particulariser
V	11-80		7F10.0	valeurs successives des INPR proprietes

Remarques:

-
- 1) La liste V peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format (10X,7F10.0) si nécessaire.
 - 2) Si le problème traité est bidimensionnel, il ne peut exister de carte avec NOM = 'VOLU'. Si le problème traité est monodimensionnel, il ne peut exister de carte avec NOM = 'VOLU' ou 'SURF'.
 - 3) Si les constantes affectées à un numéro de référence ne sont pas données, elles sont initialisées à ZERO. Il est par contre OBLIGATOIRE d'annoncer tous les types de propriétés (VOLU, SURF, ARET, POIN) requis par les types d'éléments utilisés.
 - 4) Lorsqu'il existe des particularités, le numéro de référence de la face ou arête ou ... particularisée est forcé à -1 sauf si la face ou arête ou ... possède déjà un numéro de référence non nul. Cette modification n'est pas sauvegardée dans la S.D. NOPO, elle apparaît seulement dans le fichier des éléments créé par le bloc FLMS (cf. sous-programmes XTRCNT et XTRCNO)
 - 5) C.f. exemple dans le bloc 'MILI'

Definition du sous-programme utilisateur SPFORC

```

      SUBROUTINE SPFORC(VPROPE,NPRO,KODTAB,INUM,NUMREF,CORE,KNE,NDIM)
C=====C
C              SOUS-PROGRAMME SPFORC              C
C              -----C
C=====C
C BUT : remplir par sous-programme un tableau elementaire de constantesC
C --- de forceC
C      ce sous-programme est a fournir par l'utilisateur lorsqueC
C      le nombre de proprietes d'un groupe est donne precede duC
C      signe - dans le bloc 'FORC'C
C
C PARAMETRES D'ENTREE :C
C -----C
C NPRO : nombre de proprietes par numero de reference (NVOLF,...)C
C KODTAB : type du tableau VPROPE (1:VOLUMES, 2:FACES, 3:ARETES,C
C              4: POINTS)C
C NUMREF : tableau des numeros de reference (sous-domaine ou surfacesC
C              ou aretes ou points selon KODTAB)C
C INUM : numero de la surface ou de l'arête ou du point a considererC
C CORE : coordonnees des noeuds de l'elementC
C KNE : connectivite de l'elementC
C NDIM : dimension de l'espaceC
C
C PARAMETRES DE SORTIE :C
C -----C
C VPROPE : tableau elementaire a remplir (VOFE,SUFE,ARFE ou POFE)C
C
C EXEMPLE :C
C -----C
C si NDIM=2, KODTAB=3, INUM=3, NUMREF=(0,1,2,1) pour un quadrangleC
C il faut alors donner les NPRO proprietes de la 3eme(=INUM) areteC
C (KODTAB=3) dont le numero de reference est 2(=NUMREF(INUM))C
C dans VPROPE(1):VPROPE(NPRO)C
C Les caracteristiques de l'element en cours de traitement (IEL,NCGE..)C
C sont recuperables a travers le common /RGDT/C
C
C ATTENTION : ne pas modifier les parametres d'entreeC
C -----C
C=====C
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
D      DIMENSION VPROPE(1),NUMREF(1),CORE(1),KNE(1)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C      COMMON/RGDT/IEL,ITPE,ICODE,ITPE1,NUMCOD,NCGE,NUMSD,IDLE,ICE,INEL,
C      & IRFS,IRFA,IRFF,IVOME,ISUME,IARME,IPOME,IVOFE,ISUFE,IARFE,IPOFE,
C      & IPRNE
C
C 2000 FORMAT(/' *** ERREUR, LE SOUS-PROGRAMME 'SPFORC' EST A FOURNIR P
C      &AR L'UTILISATEUR'/)
C-----C
      WRITE(MP,2000)
      CALL ABORT('SPFD','RC ')
      END

```

* IMAG *

impression de l'ensemble des cartes de donnees (du fichier MR)

*1) une carte d'en-tete 'IMAG'

Remarque:

Ce bloc est facultatif mais il doit etre le premier bloc execute.

 * INDL *

initialisation des valeurs des desres de liberte

*1) une carte d'en-tete 'INDL'

M2 : fichier des valeurs initiales si KODIND=-1

M3 : sauvesarde des valeurs des d.l. (facultatif)

*2) une carte de Parametre

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
KODIND	1-5	0	I5	code de definition des d.l. initiaux 2 : les d.l. initiaux sont definis par noeuds et numeros de reference 1 : les d.l. initiaux sont lus sur le fichier M1 en format libre 0 : les d.l. initiaux sont lus sur le fichier M1 en format (8F10.0) -1 : les d.l. initiaux sont lu sur le fichier BINAIRE M2 -2 : les d.l. initiaux sont donnees par le sous- programme SPINDL
XPAS	6-10	0.0	F10.0	instant d'initislisation
NUMREC	11-15	0	I5	numero de l'enregistrement sur le fichier M2 contenant la solution si KODIND = -1

*3a) SI KODIND = 2

**3a.1) une carte des valeurs a affecter par default

(V(I),	1-80	-	BF10.0	liste des NDLN valeurs a
I=1,NDLN)				affecter par default aux d.l.
				des noeuds

**3a.2) des groupes de 3 cartes TERMINEES PAR UNE CARTE SUR LAQUELLE
IG = <0

***3a.2.1) carte 3a.2.1

IG	1-5	-	15	numero du groupe
ICOD	6-80	-	1515	pour chaque d.l. (15 max)
				0 s'il ne faut pas modifier
				sa valeur par default
				1 sinon

***3a.2.2) carte 3a.2.2

KV	1-80		1615	liste des numeros de noeuds
				et/ou de reference TERMINEE
				PAR UN NUMERO NUL

***3a.2.3) carte 3a.2.3

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
V	1-80	-	BF10.0	liste des valeurs initiales
				des d.l. de code 1 dans ICODE
				(et dans le meme ordre)

*3b) SI KODIND = 1

**3b.1) des cartes contenant les NDLT valeurs initiales a lire en
format libre

*3c) SI KODIND = 0

**3c.1) des cartes de valeurs initiales ((NDLT+7)/8 cartes)

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
V	1-80	-	BF10.0	liste des valeurs initiales de
				tous les d.l.

- *3d) SI KODIND = -1, pas de carte supplementaire (mais la variable
 ----- NUMREC doit etre definie ainsi que le fichier M2)
- *3e) SI KODIND = -2, pas de carte supplementaire (mais il faut fournir
 ----- le sous-programme SPINDL)

Remarques:

-
- 1) Les listes V (cartes 3a.1, 3a.2.3, 3c.1) peuvent s'etendre sur des cartes additionnelles de format 8F10.0 si necessaire.
 - 2) La liste KV peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si necessaire.
 - 3) Pour specifier un numero de reference dans la liste KV, on donne le numero de reference precede du signe -. En outre, tous les noeuds associes a un groupe de c.l. doivent avoir le meme nombre de d.l. (contrôle dans le bloc pour detecter certaines erreurs).

 ex: pour signifier que les noeuds numeros 1 et 5, ainsi que tous les
 -- noeuds portant le numero de reference 1 sont associes au groupe
 de c.l., on donnera la liste KV sous la forme:
 ----1----5---1----0 (le signe '-' indique un blanc)
 - 5) Si KODIND=2, la 1ere carte a fournir (carte 3a.1) contient NDLN valeurs (NDLN = nombre max. de d.l. par noeud). Si un noeud ne supporte que IDLN desres de liberte (IDLN < NDLN), ses IDLN d.l. seront initialises a V(1),V(2),...,V(IDLN)
 - 6) Le fichier M2 est binaire et un enregistrement logique contient :
 NREEL,1,NDLT,XPAS,(VSOL(I),I=1,NDLT)
 - 7) Le fichier M3 a la meme structure que le fichier M2

Definition du sous-programme utilisateur SPINDL

```

-----
      SUBROUTINE SPINDL(IN,IREF,VCORE,NDIM,IDN,V)
C=====C
C              SOUS-PROGRAMME SPINDL                      C
C              -----                      C
C=====C
C BUT : donner par sous-programme les degres de liberte initiaux      C
C ---  ce sous-programme est a fournir par l'utilisateur lorsque      C
C       le bloc 'INDL' est appele avec KODIND=-2                      C
C                                     C
C PARAMETRES D'ENTREE :                      C
C -----                      C
C IN      : numero du noeud                      C
C IREF    : numero de reference du noeud          C
C VCORE   : coordonnees du noeud                  C
C NDIM    : dimension de l'espace (= nombre de coordonnees)          C
C IDN     : nombre de d.l. supportees par le noeud          C
C                                     C
C PARAMETRES DE SORTIE :                      C
C -----                      C
C V       : valeurs des d.l. initiaux du noeud dans l'ordre (dans le  C
C           S.F. 'INDL' ne seront considerees que les d.l. dont le    C
C           numero d'equation est >0)                      C
C                                     C
C ATTENTION : NE PAS MODIFIER LES PARAMETRES D'ENTREE DANS LE S.F.    C
C -----                      C
C=====C
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
D      DIMENSION VCORE(1),KNEQ(1),V(1)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C
C      2000 FORMAT(///' *** ERREUR, LE S.P. SPINDL EST A FOURNIR PAR L'UTILISA
C      &TEUR LORSQUE KODIND=-2'//)
C-----C
C      WRITE(MP,2000)
C      CALL ABORT('SPIN','DL ')
C      END

```

 * LCNO *

definition du maillage a partir d'une S.D. NOPO

*1) une carte d'en-tete 'LCNO'

M2 : fichier support de la S.D. NOPO definissant le maillage
 (obligatoire)

M3 : fichier support de la S.D. NOPO eventuellement modifiee
 (facultatif)

*2) une carte de parametres

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
IMPRE	1-5	0	I5	facteur d'impression de la S.D. NOPO (eventuellement modifiee)
NBLC	6-10	0	I5	nombre de ligne courbes sur lesquelles il faut projeter les noeuds (seulement si NDIM=2)
NINOPS	11-15	1	I5	niveau de la S.D. NOPO de sortie

*3) un ensemble de cartes definissant les types d'elements par sous-domaine et geometrie termine par une carte sur laquelle NUMSD<=0

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NUMSD	1-5	-	I5	numero du sous-domaine (=< NDSD)
KTYEL(1, NUMSD)	6-10	0	I5	type d'un element noeud de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(2, NUMSD)	11-15	0	I5	type d'un element segment de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(3, NUMSD)	16-20	0	I5	type d'un element triangle de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(4, NUMSD)	21-25	0	I5	type d'un element quadrangle de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(5, NUMSD)	26-30	0	I5	type d'un element tetraedre de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(6, NUMSD)	31-35	0	I5	type d'un element pentaedre de numero de sous-domaine NUMSD
KTYEL(7, NUMSD)	36-40	0	I5	type d'un element hexaedre de numero de sous-domaine NUMSD

*4) une carte donnant les numeros de lignes courbes SI NBLC > 0

(NOLC(I), I=1,NBLC)	1-80	-	16I5	liste des numeros de lignes courbes (NBLC valeurs)
------------------------	------	---	------	---

Remarques:

-
- 1) La liste NOLC peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format 1615 si nécessaire (carte 4).
 - 2) Definition des types d'elements par sous-domaine et geometrie
 KTYEL(I,J) donne le numero du sous-programme de calcul des matrices elementaires a appeler pour un element de code geometrique I et de numero de sous-domaine J.
 - 3) Projection des noeuds sur des lignes courbes (NDIM=2 uniquement)
 - s'il existe des lignes courbes, l'equation de ces lignes doit etre donnee par la FONCTION FORTRAN FFRONT(I,X,Y).
 - seuls les noeuds situes sur des aretes peuvent etre projetes.
 - un noeud arête sera projete sur la ligne courbe I si:
 - il se trouve sur une arête de numero de reference I.
 - la distance du noeud sur l'arête droite a la courbe I est inferieure a la moitié de la distance entre les 2 sommets de l'arête.
 - 4) Definition des coordonnees et des numeros de reference des noeuds
 - Les coordonnees des noeuds 'faces', 'aretes' ou 'internes' sont calculees a partir des coordonnees du noeud dans l'element de reference par interpolation lineaire (sous-programmes PROJ1, PROJ2, PROJ3) sauf si elles sont deja donnee dans la S.D. NOP0 d'entree (variable NCOPNF du tableau NOP2 esale a 1).
 - 5) Affectation d'un numero de reference a un noeud
 - les numeros de reference des noeuds sommets sont explicitement donnes par la S.D. NOP0 d'entree.
 - un noeud situe sur une arête (ou sur une face en 3D) aura le numero de reference de l'arête (ou de la face) correspondante
 - un noeud interne ne peut avoir de numero de reference.
 - 6) S.D. NOP0 de sortie
 - la S.D. NOP0 de sortie est telle que NCOPNF=1, c'est-a-dire que si le maillage comporte des noeuds non sommets, les coordonnees de ces noeuds sont donnees dans le tableau NOP4.

Definition du S.P. utilisateur FFRONT

```

      FUNCTION FFRONT(IREF,X,Y)
C=====
C                                     FONCTION FFRONT
C                                     -----
C=====
C BUT : donner l'equation des frontieres courbes
C ---
C
C PARAMETRES D'ENTREE :
C -----
C IREF   : numero de reference de la frontiere courbe
C X,Y    : coordonnees du point ou il faut evaluer la fonction
C=====
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C
C      2000 FORMAT(/' *** ERREUR, APPEL A 'FFRONT' AVEC IREF=',I5/
C      & 13X,'LA FONCTION FFRONT DOIT ETRE FOURNIE PAR L'UTILISATEUR'/)
C-----
C      WRITE(MP,2000) IREF
C      CALL ABORT('FFRO','NT  ')
C      RETURN
C      END

```

 * LINM *

assemblage et resolution d'un probleme lineaire en memoire centrale

*1) une carte d'en-tete 'LINM'

M2 : fichier des elements
 Par default M2=MELM=1 et le nom du fichier est :
 ELEMENTS.NFR si probleme est en simple precision
 ELEMENTS.NFD si probleme est en double precision

M3 : fichier de travail
 Par default M3=MRES=2 et le fichier est declare 'SCRATCH'

M4 : fichier contenant la solution (facultatif)

M5 : fichier de sauvegarde des gradients (contraintes)

*2) une carte de parametres

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NRES	1-5	0	I5	indice de calcul des residus de resolution
NGRAD	6-10	0	I5	indice de calcul des gradients dans les elements (fonction elementaire 8)
NRINT	11-15	0	I5	indice de calcul des reactions internes
NREXT	16-20	0	I5	indice de calcul des reactions externes. Si NREXT=2, sont imprimees en outre les reactions dans tous les elements supportant des d.l. bloques.

Remarques:

-
- 1) Le fichier M4 (binsire) contient un enregistrement logique:
`NREEL,1,NDLT,XPAS,(VRES(I),I=1,NDLT)`
 (XPAS (=0.) est une variable bidon destinee a assurer la compati-
 bilite avec le fichier M5 cree par les blocs TRLV et TRLC).
 - 2) La valeur du parametre NIDENT du common /PROB/ est prise en compte
 lors de l'assemblage.
 - 3) Le calcul des gradients est effectue si M5>0 ou NGRAD>0. Ces valeurs
 sont recopiees dans le common /GRAD/MIMPG,MGRAD .
 - 4) Les fichiers M4 et M5 doivent avoir ete declares a l'aide des blocs
 OPEN et OPND.

 * MILI *

definition des Proprietes de milieu

*1) une carte d'en-tete 'MILI'

*2) 1, 2, 3 ou 4 ensembles de cartes decrivant les Proprietes de milieu
 pour les volumes et/ou les surfaces et/ou les aretes et/ou les
 sommets TERMINEES PAR UNE CARTE BLANCHE

var. lue	col.	def	format	description
INPR	1-5	-	I5	nombre de proprietes par groupe un nombre negatif indique qu'il y a -INPR proprietes par groupe et que ces proprietes seront donnees par le s.p. SPMILI
NOM	7-10	-	A4	type des proprietes decrites VOLU : volumes (3D) SURF : surfaces (2D ou 3D) ARET : aretes POIN : sommets
NPROPD	11-15	0	I5	nombre de volumes ou surfaces ou aretes ou points a particulariser

**2.2) des cartes de groupes de proprietes TERMINEES PAR UNE CARTE SUR
 LAQUELLE IGPE = <0

IGPE	1-5	-	I5	numero de reference (ou sous- domaine) decrit ou numero de l'element a par- ticulariser
INUM	6-10	-	I5	= 0 si IGPE est un numero de reference <> 0 si IGPE est le numero de la face ou arete... a particulariser
V	11-80		7F10.0	valeurs successives des INPR proprietes

Remarques:

-
- 1) La liste V peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format (10X,7F10.0) si nécessaire.
 - 2) Si le problème traité est bidimensionnel, il ne peut exister de carte avec NOM = 'VOLU'. Si le problème traité est monodimensionnel, il ne peut exister de carte avec NOM = 'VOLU' ou 'SURF'.
 - 3) Si les constantes affectées à un numéro de référence ne sont pas données, elles sont initialisées à ZERO. Il est cependant OBLIGATOIRE d'annoncer tous les types de propriétés (VOLU, SURF, ARET, POIN) demandés par les types d'éléments utilisés.
 - 4) Lorsqu'il existe des particularités, le numéro de référence de la face ou arête ou ... particularisée est forcé à -1 sauf si la face ou arête ou ... possède déjà un numéro de référence non nul. Cette modification n'est pas sauvegardée dans la S.D. NODD, elle apparaît seulement dans le fichier des éléments créé par le bloc FLMS (cf. sous-programmes XTRCNT et XTRCNO).
 - 5) Exemple : le problème est bidimensionnel et demande deux constantes de milieu surfaciques et une constante de milieu lineique (coefficient d'emmassinement, perméabilité isotrope et un coefficient d'échange sur les arêtes pour simuler un riviére drainant la nappe mais dont le fond serait colmaté par une couche de vase peu perméable). On suppose qu'il existe 2 zones de perméabilités (NDSO=2), 3 numéros de référence (NREF=3), que toutes les arêtes référencées 2 ont un coefficient d'échange non nul ainsi que la 2ème arête de l'élément numéro 12 (qui n'est pas référencée ou qui possède un numéro de référence différent de 2). Enfin les éléments numéro 10 et 11 qui ont un numéro de sous-domaine égal à 1 sont affectés d'une perméabilité différente de celle des autres éléments de la zone 1. Les cartes d'appel du bloc MILI seront : (les signes xxxxxxxx représentent des valeurs numériques à fournir, les commentaires qui sont entre parenthèses ne doivent pas apparaître)

MILI

2	SURF	2	(2 PROP. surfaciques et 2 éléments Partic.)
1		xxxxxxx	xxxxxxx (coeff. zone 1)
2		xxxxxxx	xxxxxxx (coeff. zone 2)
10	1	xxxxxxx	xxxxxxx (on particularise la surface
11	1	xxxxxxx	xxxxxxx des éléments 10 et 11)
0			(fin de définition des constantes surfaciques)
1	ARET	1	(1 PROP. lineique et une arête Particularisée)
2		xxxxxxx	(coeff. des arêtes référencées 2)
12	2	xxxxxxx	(2ème arête de l'élément 12 Particularisée)
0			(fin de définition des constantes lineiques
			(carte blanche : fin des données de MILI)

BLOC suivant

Definition du sous-programme utilisateur SPMILI

```

      SUBROUTINE SPMILI(VPROPE,NPRO,KODTAB,INUM,NUMREF,CORE,KNE,NDIM)
C=====C
C          SOUS-PROGRAMME SPMILI                      C
C          -----C
C-----C
C BUT : remplir par sous-programme un tableau elementaire de constantesC
C --- de milieu C
C      ce sous-programme est a fournir par l'utilisateur lorsque C
C      le nombre de proprietes d'un groupe est donne precede du C
C      signe - dans le bloc 'MILI' C
C C
C PARAMETRES D'ENTREE : C
C -----C
C NPRO : nombre de proprietes par numero de reference (NVOLM,...) C
C KODTAB : type du tableau VPROPE (1:VOLUMES, 2:FACES, 3:ARETES, C
C          4: POINTS) C
C NUMREF : tableau des numeros de reference (sous-domaine ou surfaces C
C          ou aretes ou points selon KODTAB) C
C INUM : numero de la surface ou de l'arete ou du point a considerer C
C CORE : coordonnees des noeuds de l'element C
C KNE : connectivite de l'element C
C NDIM : dimension de l'espace C
C C
C PARAMETRES DE SORTIE : C
C -----C
C VPROPE : tableau elementaire a remplir (VOME,SUME,ARME ou POME) C
C C
C EXEMPLE : C
C -----C
C si NDIM=2, KODTAB=3, INUM=3, NUMREF=(0,1,2,1) pour un quadrangle C
C il faut alors donner les NPRO proprietes de la 3eme(=INUM) arete C
C (KODTAB=3) dont le numero de reference est 2(=NUMREF(INUM)) C
C dans VPROPE(1):VPROPE(NPRO) C
C Les caracteristiques de l'element en cours de traitement (IEL,NCGE...)C
C sont recuperables a travers le common /RGDT/ C
C C
C ATTENTION : ne pas modifier les parametres d'entree C
C -----C
C=====C
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
D      DIMENSION VPROPE(1),NUMREF(1),CORE(1),KNE(1)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C      COMMON/RGDT/IEL,ITPE,ICODE,ITPE1,NUMCOD,NCGE,NUMSD,IDL,ICE,INEL,
C      & IRFS,IRFA,IRFF,IVOME,ISUME,IARME,IPOME,IVOFE,ISUFE,IARFE,IPOFE,
C      & IPRNE
C
C      2000 FORMAT(/' *** ERREUR, LE SOUS-PROGRAMME 'SPMILI' EST A FOURNIR P
C      & AR L'UTILISATEUR'/)
C-----C
C      WRITE(MP,2000)
C      CALL ABORT('SPMI','LI ')
C      END

```

* OPEN *

ouverture et affectation de numeros d' unite logique

des fichiers sequentiels

#1) une carte d'en-tete 'OPEN'

#2) des cartes de definition de fichiers TERMINEES PAR UNE CARTE SUR
LAQUELLE MNUM = 0

var. lue -----	col. -----	def ---	format -----	description -----
MNUM	1-5	-	I5	numero d' unite logique (>20)
STAT	6-10	-	A5	les 5 premieres lettre du 'status' du fichier a ouvrir (OLD,NEW,SCRATCH,UNKNOWN)
FORM	11-15	-	A5	les 5 premieres lettre du qualificateur 'FORM' dans l'ordre Fortran OPEN (FORMATTED ou UNFORMATTED)
LGINI	16-20	0	I5	taille initiale en blocs (de 512 bytes) du fichier
FILNOM	31-80		A50	nom du fichier (50 car. max.)

Remarques:

-
- 1) Le numero d' unite logique affecte a un fichier doit etre superieur a 20 (pour eviter des conflits eventuels avec des fichiers de travail definis par le programme).
 - 2) Le nombre maximum de fichiers que definit l'utilisateur et susceptibles de coexister a un instant donne est 20 (cf common /OPEN/).
 - 3) Seul le premier caractere des variables STAT et FORM est teste.
 - 4) Lorsque le status est 'OLD', LGINI n'a pas de signification.
 - 3) En general, tous les fichiers utilises sont binaires sauf bien sur les fichiers MR, MP et M1 (fichier contenant les donnees d'un bloc).

 * OPND *

ouverture et affectation de numeros d' unite logique

 a des fichiers a acces direct

#1) une carte d'en-tete 'OPND'

#2) des cartes de definition de fichiers TERMINEES PAR UNE CARTE SUR
 LAQUELLE MNUM =<0

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
MNUM	1-5	-	I5	numero d' unite logique (>20)
STAT	6-10	-	A5	les 5 premieres lettre du 'status' du fichier a ouvrir (OLD,NEW,SCRATCH,UNKNOWN)
FORM	11-15	-	A5	les 5 premieres lettre du qualificateur 'FORM' dans l'ordre Fortran OPEN (FORMATTED ou UNFORMATTED)
LGINI	16-20	0	I5	taille initiale en blocs (de 512 bytes) du fichier
ORGAN	21-25	SEQ	A5	les 5 premieres lettres du qualificateur 'ORGANIZATION' dans l'ordre Fortran OPEN (SEQUENTIAL ou RELATIVE)
LGREC	26-30	-	I5	longueur en ('longwords') d'un enregistrement
FILNOM	31-80		A50	nom du fichier (50 car. max.)

Remarques:

- 1) Le numero d' unite logique affecte a un fichier doit etre superieur
 a 20 (pour eviter des conflits eventuels avec des fichiers de travail
 definis par le programme)
- 2) Le nombre maximum de fichiers que definit l'utilisateur et suscep-
 tibles de coexister a un instant donne est 20 (cf common /OPEN/)

- 3) Seul le premier caractere des variables STAT,FORM et ORGAN est teste.
- 4) Lorsque le status est 'OLD', LGINI n'a pas de signification et LGREC possede la valeur du fichier ouvert.
- 5) La valeur de LGREC specifiee a l'ouverture si le fichier est NEW ou SCRATCH doit etre =< 8191 si ORGANIZATION='SEQUENTIAL'
4095 'RELATIVE'
(cf. brochure VAX-11 Fortran user's guide)
- 6) Exemple : creation du fichier DATA.ACD (le signe '_' indique un blanc)

```
___21NEW__UNFO___100SEQ____200____DATA.ACD
```

Le fichier binaire (UNFO) DATA.ACD est a creer (NEW) avec une taille initiale de 100 blocs. Son organisation est sequentielle (SEQ) et un enregistrement ne depasse pas 200 mots (800 bytes).

 * PRND *

definition des Proprietes nodaes

#1) une carte d'en-tete 'PRND'

#2) une carte de Parametres

ver. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NPRN	1-5	-	I5	nombre de proprietes nodaes par noeud
KODPRN	6-10	-	I5	code de definition des proprietes nodaes 2 : les proprietes sont lues sur des fichiers binaires du type 'solution' 1 : les proprietes sont definies par noeuds et numeros de reference 0 : les proprietes sont lues en bloc -1 : les proprietes sont donnees par le sous- programme SPFRND

#3a) SI KODPRN = 1

**3a.1) une carte des valeurs a affecter par default

VALDEF	1-80	-	8F10.0	liste des NPRN valeurs de pro- prietes nodaes a affecter par defaut
--------	------	---	--------	---

**3a.2) des groupes de 2 cartes TERMINEES PAR UNE CARTE SUR LAQUELLE
 IG = <0

***3a.2.1) carte 3a.2.1

IG	1-5	-	I5	numero du groupe de proprietes
VALPRN	6-75	-	7F10.0	liste des NPRN proprietes

***3a.2.2) carte 3a.2.2

KV	1-80		16I5	liste des numeros de noeuds et/ou de reference TERMINEE PAR UN NUMERO NUL
----	------	--	------	---

*3b) SI KODPRN = 0

**3b.1) des cartes de proprietes ((NNT*NPRN+7)/8 cartes)

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
VPRNC	1-80	-	BF10.0	liste des proprietes nodales (noeud 1, puis noeud 2,...)

*3c) SI KODPRN = -1, pas de carte supplementaire (mais il faut fournir
----- le sous-programme SPPRND

*3d) SI KODPRN = 2

**3d.1) une carte des valeurs a affecter par default (idem 3a.1)

VALDEF	1-80	-	BF10.0	liste des NPRN valeurs de proprietes nodales a affecter par default
--------	------	---	--------	---

**3d.2) des cartes de numero de propriete TERMINEES PAR UNE CARTE
SUR LAQUELLE NUMPRN =<0

NUMPRN	1-5	-	I5	numero de la propriete nodale
MFIC	6-10	-	I5	numero de l'unite logique support du fichier solution
NUMDL	11-15	1	I5	numero du d.l. du vecteur solution a extraire

Remarques:

-
- 1) La liste VALDEF peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format 8F10.0 si nécessaire.
 - 2) La liste VALPRN peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format (5X,7F10.0) si nécessaire.
 - 3) La liste KV peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si nécessaire.
 - 4) Pour spécifier un numéro de référence dans la liste KV, on donne le numéro de référence précédé du signe -. En outre, tous les noeuds associés à un groupe de c.l. doivent avoir le même nombre de d.l. (contrôle dans le bloc pour détecter certaines erreurs).

ex: Pour signifier que les noeuds numéros 1 et 5, ainsi que tous les
-- noeuds portant le numéro de référence 1 sont associés au groupe
de c.l., on donnera la liste KV sous la forme:
----1----5---1----0 (le signe '-' indique un blanc)
 - 5) Dans le cas KODPRN=2, les fichiers MFIC doivent avoir été préalablement définis par le bloc OPEN. Ces fichiers sont du type 'solution' et contiennent un enregistrement logique:
NREEL,1,NDLT,XPAS,(USOL(I),I=1,NDLT) (cf LINM)

Restriction : compte tenu des informations contenues sur ces fichiers
- - - - - le nombre de d.l. par noeud doit être constant.

ex: si NPRN=3, si les propriétés nodales 1 et 2 sont les d.l. numéro
-- 1 et 3 sur le fichier 21 et la propriété 3 le d.l. numéro 1 sur
le fichier 22, les 4 cartes suivant les valeurs à affecter par
default seront :
----1----21----1
----2----21----3 (le signe '-' indique un blanc)
----3----22----1
----0

Definition du sous-programme utilisateur SPPRND

```

      SUBROUTINE SPPRND(IN,IREF,VCORE,NDIM,NPRN,VPRNE)
C=====
C      SOUS-PROGRAMME SPPRND
C      -----
C=====
C BUT : donner par sous-programme les proprietes nodales
C ---- ce sous-programme est a fournir par l'utilisateur lorsque
C       le bloc 'PRND' est appele avec KODPRN=-1
C
C PARAMETRES D'ENTREE :
C -----
C IN      : numero du noeud
C IREF    : numero de reference du noeud
C VCORE   : coordonnees du noeud
C NDIM    : dimension de l'espace (= nombre de coordonnees)
C NPRN    : nombre de proprietes nodales a retourner
C
C PARAMETRES DE SORTIE :
C -----
C VPRNE   : proprietes nodales du noeud
C
C ATTENTION : NE PAS MODIFIER LES PARAMETRES D'ENTREE DANS LE S.P.
C -----
C=====
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
D      DIMENSION VCORE(1),VPRNE(1)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C
C      2000 FORMAT(///' *** ERREUR, LE S.P. SPPRND EST A FOURNIR PAR L'UTILISA
C      TEUR LORSQUE KODPRN=-1'//)
C-----
C      WRITE(MP,2000)
C      CALL ABORT('SPFR','ND  ')
C      END

```

 * PROB *

definition des parametres du common /PROB/

#1) une carte d'en-tete 'PROB'

#2) des cartes TERMINEES PAR UNE CARTE BLANCHE

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NOM	2-5	-	A4	nom du parametre du common /PROB/ a modifier MDIA : parametre NMDIAG AXIS : parametre NAXIS IDEN : parametre NIDENT PRM4 : parametre NPARM4 PRM5 : parametre NPARM5
IVAL	6-10	-	I5	nouvelle valeur du parametre

Remarques:

A l'heure actuelle, le common /PROB/ est defini ainsi:

COMMON/PROB/NMDIAG,NAXIS,NIDENT,NPARM4,NPARM5

La definition des 3 premiers parametres du common est la suivante:

NMDIAG : indicateur de matrice masse diagonale

NAXIS : indicateur de probleme axisymetrique en 2D
 radial en 1D

NIDENT : indicateur d'elements a matrices de rigidite identiques

Ces parametres permettent de programmer les elements (s.p. ELEM**) de maniere a ce qu'ils puissent traiter un probleme plan ou axisymetrique, a ce qu'il retournent une matrice masse consistante ou diagonalisee, a eviter des calculs inutiles lors de l'assemblage (bloc LINM).

Les parametres NPARM4 et NPARM5 peuvent etre utilises pour definir des particularites lors de la programmation des elements

Par default, les parametres du common /PROB/ sont initialises a 0
 c'est-a-dire : matrice masse consistante
 probleme plan (ou monodimensionnel)
 les elements ne sont pas tous identiques

 * SLCV *

lecture des sollicitations concentrees VARIABLES

#1) une carte d'en-tete 'SLCV'

#2) une carte de parametres

var. lue	col.	def	format	description
NGSLC	1-5	1	I5	nombre de groupes de sollic.
NSPSLC	6-10	0	I5	<>0 si les sollicitations sont donnees a tout instant et pour tous les groupes de c.l. par le sous-programme SPSLCV
NDXPG	11-15	1	I5	nombre max. de noeuds associes a un groupe de sollicitations

#3) des groupes de sollicitations TERMINEES PAR UNE CARTE BLANCHE

**3.1) une carte d'en-tete de groupe

IG	1-5	-	I5	numero du groupe de sollic.
ICOD(15)	6-80	0	15I5	pour chaque d.l. (15 d.l. max) 0 si non sollicite 1 si sollicite et si les variations sont definies par valeurs discretees -I si sollicite et si les variations sont donnees par la fonction interpretee numero I

**3.2) une carte des numeros de noeuds et/ou de reference associes
a ce groupe de c.l.

KV	1-80		16I5	liste des numeros de noeuds et/ou de reference TERMINEE PAR UN NUMERO NUL
----	------	--	------	---

##3.3) un ensemble de cartes donnant les valeurs des sollicitations a differents instants SI NSPSLC=0 et SI les variations sont definies par des valeurs discrettes

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
NTEMP	1-5	2	I5	nombre d'instants ou les valeurs des sollicitations du groupe sont donnees

***3.3.1) une carte d'en-tete

***3.3.2) NTEMP cartes

TIME	1-10	-	F10.0	valeur de l'instant de temps
V	11-80		7F10.0	liste des sollicitations aux d.l. de code 1 dans ICOD (et dans le meme ordre)

Remarques:

- 1) La liste KV peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si necessaire.
- 2) La liste V peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format (10X,7F10.0) si necessaire.
- 3) Pour specifier un numero de reference dans la liste KV, on donne le numero de reference precede du signe -. En outre, tous les noeuds associes a un groupe de c.l. doivent avoir le meme nombre de d.l. (contrôle dans le bloc pour detecter certaines erreurs).

ex: pour signifier que les noeuds numeros 1 et 5, ainsi que tous les -- noeuds portant le numero de reference 1 sont associes au groupe de c.l., on donnera la liste KV sous la forme:
----1----5---1----0 (le signe '-' indique un blanc)
- 4) Les variations des sollicitations d'un groupe doivent etre definies soit par des valeurs discrettes, soit par des fonctions interpretees (il est interdit de melanger les deux types de definition des variations dans un meme groupe de sollicitations).
- 5) Lorsque les variations sont definies par une fonction interpretee, le temps est transmis dans la variable X1 de la fonction. La definition de la fonction NE DOIT PAS utiliser les autres variables possibles (X2 a X9).

Definition du S.P. utilisateur SPSLCV

```

      SUBROUTINE SPSLCV(TIME,IG,NBCOD,ICOD,V)
C=====C
C              SOUS-PROGRAMME SPSLCV                      C
C              -----                      C
C=====C
C BUT : donner par sous-programme les sollicitations concentrees C
C --- variables                      C
C      ce sous-programme est a fournir par l'utilisateur lorsque C
C      le bloc 'SLCV' est appele avec NSPSLC=-1                C
C
C PARAMETRES D'ENTREE :                      C
C -----                      C
C TIME      : instant auquel sont demandees les sollicitations C
C IG        : numero du groupe de sollicitations                C
C NBCOD     : nombre de sollicitations non nulles                C
C ICOD      : ICOD(I)<>0 indique que le Ieme d.l. des noeuds du groupe C
C              est sollicite                      C
C
C PARAMETRES DE SORTIE :                      C
C -----                      C
C V          : tableau donnant les valeurs des sollicitations aux d.l. C
C              tels que ICOD(I)<>0                      C
C=====C
C      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C      DIMENSION ICOD(1),V(NBCOD)
C
C      COMMON/ES/M,MR,MP
C
C      2000 FORMAT(/' *** ERREUR, LE SOUS-PROGRAMME 'SPSLCV' DOIT ETRE FOURN
C      &I PAR L'UTILISATEUR'/)
C-----C
C      WRITE(MP,2000)
C      CALL ABORT('SPSL','CV ')
C      RETURN
C      END

```

 * SOLC *

lecture des sollicitations concentrees CONSTANTES

*1) une carte d'en-tete 'SOLC'

*2) des groupes de sollicitations TERMINEES PAR UNE CARTE BLANCHE

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----

**2.1) une carte d'en-tete de groupe

IG	1-5	-	I5	numero du groupe de sollicitations
ICOD(15)	6-80	0	15I5	pour chaque d.l. (15 d.l. max) 0 si non sollicite 1 si sollicite

**2.2) une carte des numeros de noeuds et/ou de reference associes a ce groupe de sollicitations

KV	1-80		16I5	liste des numeros de noeuds et/ou de reference TERMINEE PAR UN NUMERO NUL
----	------	--	------	---

**2.3) une carte des valeurs des sollicitations imposees

V	1-80		8F10.0	liste des sollicitations imposees aux d.l. de code 1 dans ICOD (et dans le meme ordre)
---	------	--	--------	--

Remarques:

1) La liste KV peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format 16I5 si necessaire.

2) La liste V peut s'étendre sur des cartes additionnelles de format 8F10.0 si necessaire.

3) Pour specifier un numero de reference dans la liste KV, on donne le numero de reference precede du signe -. En outre, tous les noeuds associes a un groupe de c.l. doivent avoir le meme nombre de d.l. (contrôle dans le bloc pour detecter certaines erreurs).

ex: Pour signifier que les noeuds numeros 1 et 5, ainsi que tous les
 -- noeuds portant le numero de reference 1 sont associes au groupe
 de c.l., on donnera la liste KV sous la forme:
 ----1-----5---1-----0 (le signe '-' indique un blanc)

* SOLR *

assemblage (dans VFG) des sollicitations reparties

*1) une carte d'en-tete 'SOLR'

* STOP *

arret de l'execution

#1) une carte d'en-tete 'STOP'

Remarque:

1) Ce bloc est obligatoire.

 * TRLC *

assemblage et resolution d'un probleme linesire transitoire du 1er ordre

 avec des CONDITIONS AUX LIMITES CONSTANTES

*1) une carte d'en-tete 'TRLC'

M2 : fichier des elements
 par default M2=MELM=1 et le nom du fichier est :
 ELEMENTS.NFR si le probleme est en simple precision
 ELEMENTS.NFD si le probleme est en double precision

M3 : fichier contenant les d.l. initiaux (facultatif)

M4 : fichier contenant la derniere solution (facultatif)

M5 : fichier pour le stockage de la solution a differents instants
 (facultatif)

*2) une carte de parametres

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
IMETH	1-5	-	I5	numero de la methode a utiliser (1, 2 ou 3)
XPAS	6-15	0.0	F10.0	valeur de l'instant de temps initial

*3) des cartes de pas de temps d'integration TERMINEES PAR UNE CARTE SUR
 LAQUELLE DPAS =< 0

DPAS	1-10	0.0	F10.0	valeur du pas de temps
NPAS	11-15	1	I5	nombre de pas de temps identiques
NPAOUT	16-20	0	I5	nombre de pas de temps entre deux sorties de resultats sur le fichier MF
NPATRC	21-25	0	I5	nombre de pas de temps entre deux sauvegardes de la solution sur M5 (si fichier M5 declare)
OMEGA	26-35	1.0	F10.0	coefficient de ponderation implicite-explicite pour la methode d'EULER

Remarques:

- 1) Les valeurs par default de NPAS et OMEGA sont celles de la carte precedente (sauf la 1ere fois)
- 2) OMEGA doit etre choisi >0 car l'algorithme de resolution n'est pas programme pour prendre en compte les avantages eventuels d'une discretisation temporelle explicite.
- 3) Controle des sorties (NPAOUT et NPATRC)
 - si NPAOUT < 0, aucune sortie
 - si NPAOUT = 0 ou NPAOUT >= NPAS, sortie au pas NPAS seulement
 - sinon sortie tous les NPAOUT pas
- 4) Valeurs initiales des degres de liberte
 - si le fichier M3 a ete declare dans la carte d'en-tete de bloc, les valeurs initiales des d.l. sont celles stockees sur M3
 - sinon, si le bloc INDL a ete appele les valeurs initiales des d.l. sont celles definies lors de l'execution du bloc (il n'est pas necessaire de sauvegarder les d.l. sur M2 dans 'INDL' et de declarer ce fichier en M3 dans 'TRLC')
 - sinon, les valeurs des d.l. sont initialisees a ZERO.
- 5) Structure du fichier M3 d'entree

La structure du fichier M3 est identique a la structure du fichier de sortie M2 du bloc 'INDL'
- 6) Structure du fichier de sortie M4

La structure de ce fichier est identique a celle du fichier M3 (ce fichier peut donc servir a initialiser la solution lors d'une reprise ulterieure des calculs)
- 7) Structure du fichier de sortie M5

Ce fichier contient en sortie IM5 enregistrements logiques (la valeur de IM5 est indiquee en fin d'execution du bloc)
Chaque enregistrement contient :
(NREEL,1,NDLT,XPAS,(VRES(I),I=1,NDLT))
- 8) Algorithme utilise et choix du parametre IMETH

Le probleme a resoudre s'ecrit :

$$[K].\{U\} + [C].d\{U\}/dt = \{F0\} + \{F(t)\}$$

[K] : matrice de rigidite globale
 [C] : matrice de masse globale
 {F0} : vecteur des sollicitations constantes (resulte de l'execution des bloc SOLC et/ou SOLR)
 {F(t)} : vecteur des sollicitations variables (bloc SLCV)

On utilise le schéma de discretisation temporelle d'EULER

$$\{[C] + a \cdot dt \cdot [K]\} \cdot \{DU\} = -dt \cdot [K] \cdot \{U(t)\} + dt \cdot \{F_0\} + dt \cdot \{F(t + a \cdot dt)\} \quad (1)$$

$$\text{avec } \{U(t + dt)\} = \{U(t)\} + \{DU\}, \quad a = \Omega \text{EGA}, \quad dt = \text{DPAS}$$

Les d.l. sont partitionnées en: d.l. libres (i)
d.l. bloquées (c)

ce qui induit un partitionnement des matrices et des vecteurs,
par exemple:

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{ii} & K_{ic} \\ K_{ci} & K_{cc} \end{bmatrix} \quad \{U\} = \begin{bmatrix} U_i \\ U_c \end{bmatrix}$$

La première ligne de l'équation (1) donne alors:

$$\begin{aligned} ([C_{ii}] + a \cdot dt \cdot [K_{ii}]) \cdot \{DU_i\} = & - ([C_{ic}] + a \cdot dt \cdot [K_{ic}]) \cdot \{DU_c\} \\ & - dt \cdot [K_{ii}] \cdot \{U_i(t)\} - dt \cdot [K_{ic}] \cdot \{U_c(t)\} \\ & + dt \cdot \{F_{0i}\} + dt \cdot \{F_i(t + a \cdot dt)\} \end{aligned} \quad (2)$$

Puisque les c.l. sont constantes, $\{DU_c\} = \{0\}$ et $\{U_c\} = \{\text{constante}\}$

Puisque le problème est linéaire, $[C]$ et $[K]$ sont constantes

(2) peut alors s'écrire

$$\begin{aligned} ([C_{ii}] + a \cdot dt \cdot [K_{ii}]) \cdot \{DU_i\} = & - dt \cdot [K_{ii}] \cdot \{U_i(t)\} + dt \cdot \{F_i(t + a \cdot dt)\} \\ & - dt \cdot [K_{ic}] \cdot \{U_c\} + dt \cdot \{F_{0i}\} \\ & \text{<----->} \\ & \text{constant} \end{aligned}$$

Les 3 méthodes programmées diffèrent quant à la manière de calculer
les termes $[C_{ii}] + a \cdot dt \cdot [K_{ii}]$, $[K_{ii}] \cdot \{U_i(t)\}$ et $[K_{ic}] \cdot \{U_c\}$

methode 1 (IMETH=1)

à chaque pas de temps:

```

/-> boucle sur les elements
!
!   calcul et assemblage de [Ce] + a.dt.[Ke] par appel aux fonctions
!   elementaires 3 et 5 si dt a change
!
!   calcul et assemblage du residu [Ke].{Ue(t)} par appel a la
!   fonction elementaire 6
!
! --- operations communes aux 3 methodes

```

methode 2 (IMETH=2)

generation préalable du fichier MMAT contenant [Ke] et [Ce]
pour tous les elements

a chaque pas de temps:

```

/-> boucle sur les elements
!
!   lecture sur MMAT de [Ke] et [Ce] et assemblage eventuel
!   de [Cii]+s.dt.[Kii] si dt a change
!
!   multiplication [Ke](lue).{Ue(t)} et assemblage
!
! --- operations communes aux 3 methodes

```

methode 3 (IMETH=3)

calcul et sauvesarde en M.C. de [Cii], [Kii] et [Kic].{Uc}

a chaque pas de temps:

```

calcul eventuel de [Cii]+s.dt.[Kii] si dt a change
multiplication [Kii].{Ui(t)}
operations communes aux 3 methodes

```

La methode 1 est deconseillee.

La methode 3 est plus rapide que la methode 2 car elle ne necessite pas d'E/S sur fichier sequentiel mais elle utilise une place sensiblement plus importante en M.C. (sauvesarde supplementaire de [Cii] (1/2 profil) et [Kii] (1/2 ou 1 profil))

9) Structure du fichier de travail MMAT (sequentiel binaire)

ce fichier est compose de NELT enregistrements logiques contenant chacun :

```
IEL, IDLE, (KLOCE(I), I=1, IDLE), IKE, (VKE(I), I=1, IKE),  
IMDIAG, IME, (VME(I), I=1, IME)
```

la matrice masse elementaire [Ce] = VME est stockee sous la meme forme que la matrice de rigidite [Ke] si NMDIAG (common /PROB/) = 0 (On suppose que le s.p. ELEMLB retourne une matrice masse stockee sous forme symetrique si NMDIAG=0 et sous forme diagonale si NMDIAG<>0). La matrice masse est stockee sous forme diagonale si IMDIAG=NMDIAG<>0

- 10) Le parametre NIDENT du common /PROB/ n'est pas pris en compte (ce qui revient a le supposer nul)

 * TRLV *

assemblage et resolution d'un probleme lineaire transitoire du 1er ordre

 avec des CONDITIONS AUX LIMITES VARIABLES

#1) une carte d'en-tete 'TRLV'

M2 : fichier des elements
 par default M2=MELM=1 et le nom du fichier est :
 ELEMENTS.NFR si le probleme est en simple precision
 ELEMENTS.NFD si le probleme est en double precision

M3 : fichier contenant les d.l. initiaux (facultatif)

M4 : fichier contenant la derniere solution (facultatif)

M5 : fichier pour le stockage de la solution a differents instants
 (facultatif)

#2) une carte de parametres

var. lue	col.	def	format	description
-----	-----	---	-----	-----
IMETH	1-5	-	I5	numero de la methode a utiliser (1 ou 2)
XPAS	6-15	0.0	F10.0	valeur de l'instant de temps initial

#3) des cartes de pas de temps d'integration TERMINEES PAR UNE CARTE SUR
 LAQUELLE DPAS =< 0

DPAS	1-10	0.0	F10.0	valeur du pas de temps
NPAS	11-15	1	I5	nombre de pas de temps identiques
NPAOUT	16-20	0	I5	nombre de pas de temps entre deux sorties de resultats sur le fichier MP
NPATRC	21-25	0	I5	nombre de pas de temps entre deux sauvegardes de la solution sur M5 (si fichier M5 declare)
OMEGA	26-35	1.0	F10.0	coefficient de ponderation implicite-explicite pour la methode d'EULER

Remarques:

-
- 1) Les valeurs par default de NPAS et OMEGA sont celles de la carte precedente (sauf la 1ere fois)
 - 2) OMEGA doit etre choisi >0 car l'algorithme de resolution n'est pas programme pour prendre en compte les avantages eventuels d'une discretisation temporelle explicite.
 - 3) Controle des sorties (NPAOUT et NPATRC)
 - si NPAOUT < 0, aucune sortie
 - si NPAOUT = 0 ou NPAOUT >= NPAS, sortie au pas NPAS seulement
 - sinon sortie tous les NPAOUT pas
 - 4) Valeurs initiales des desres de liberte
 - si le fichier M3 a ete declare dans la carte d'en-tete de bloc, les valeurs initiales des d.l. sont celles stockees sur M3
 - sinon, si le bloc INDL a ete appele les valeurs initiales des d.l. sont celles definies lors de l'execution du bloc (il n'est pas necessaire de sauvegarder les d.l. sur M2 dans 'INDL' et de declarer ce fichier en M3 dans 'TRLC')
 - sinon, les valeurs des d.l. sont initialisees a ZERO.
 - 5) Structure du fichier M3 d'entree

La structure du fichier M3 est identique a la structure du fichier de sortie M2 du bloc 'INDL'
 - 6) Structure du fichier de sortie M4

La structure de ce fichier est identique a celle du fichier M3 (ce fichier peut donc servir a initialiser la solution lors d'une reprise ulterieure des calculs)
 - 7) Structure du fichier de sortie M5

Ce fichier contient en sortie IM5 enregistrements logiques (la valeur de IM5 est indiquee en fin d'execution du bloc)
Chaque enregistrement contient :
(NREEL,1,NDLT,XPAS,(VRES(I),I=1,NDLT))
 - 8) Algorithme utilise et choix du parametre IMETH

Le probleme a resoudre s'ecrit :

$$[K].\{U\} + [C].d\{U\}/dt = \{F0\} + \{F(t)\}$$

[K] : matrice de rigidite globale
 [C] : matrice de masse globale
 {F0} : vecteur des sollicitations constantes (resulte de l'execution des bloc SOLC et/ou SOLR)
 {F(t)} : vecteur des sollicitations variables (bloc SLCV)

On utilise le schéma de discretisation temporelle d'EULER

$$([C] + a \cdot dt \cdot [K]) \cdot \{DU\} = -dt \cdot [K] \cdot \{U(t)\} + dt \cdot \{F_0\} + dt \cdot \{F(t + a \cdot dt)\} \quad (1)$$

avec $\{U(t + dt)\} = \{U(t)\} + \{DU\}$, $a = \Omega \text{EGA}$, $dt = \text{DPAS}$

Les d.l. sont partitionnées en: d.l. libres (i)

d.l. bloquées (c)

ce qui induit un partitionnement des matrices et des vecteurs, par exemple:

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{ii} & K_{ic} \\ K_{ci} & K_{cc} \end{bmatrix} \quad \{U\} = \begin{bmatrix} U_i \\ U_c \end{bmatrix}$$

La première ligne de l'équation (1) donne alors:

$$([C_{ii}] + a \cdot dt \cdot [K_{ii}]) \cdot \{DU_i\} = - ([C_{ic}] + a \cdot dt \cdot [K_{ic}]) \cdot \{DU_c\} - dt \cdot [K_{ii}] \cdot \{U_i(t)\} - dt \cdot [K_{ic}] \cdot \{U_c(t)\} + dt \cdot \{F_{0i}\} + dt \cdot \{F_i(t + a \cdot dt)\} \quad (2)$$

Les 2 méthodes programmées sont analogues aux méthodes 1 et 2 du bloc TRLC. Dans la première méthode, le résidu $[K_c] \cdot \{U(t)\}$ est calculé par appel à la fonction élémentaire 6, les matrices $[C_c]$ et $[K_c]$ sont calculées (si dt a changé ou si le vecteur $\{DU_c\}$ est non nul) par appel aux fonctions élémentaires 3 et 5. Dans la seconde méthode, le fichier des matrices élémentaires MMAT est préalablement généré. Le calcul des différents termes est effectué à partir des matrices élémentaires relues sur ce fichier.

9) Structure du fichier de travail MMAT (séquentiel binaire)

ce fichier est composé de NELT enregistrements logiques contenant chacun :

IEL, IDLE, (KLOC(I), I=1, IDLE), IKE, (VKE(I), I=1, IKE),
IMDIAG, IME, (VME(I), I=1, IME)

la matrice masse élémentaire $[C_c] = VME$ est stockée sous la même forme que la matrice de rigidité $[K_c]$ si NMDIAG (common /PROB/) = 0 (On suppose que le s.p. ELEMLB retourne une matrice masse stockée sous forme symétrique si NMDIAG=0 et sous forme diagonale si NMDIAG<>0). La matrice masse est stockée sous forme diagonale si IMDIAG=NMDIAG<>0

10) Le paramètre NIDENT du common /PROB/ n'est pas pris en compte (ce qui revient à le supposer nul)

* TUEP *

destruction de tableaux (Par appel au S.P. TUEP)

#1) une carte d'en-tete 'TUEP'

#2) une carte des noms de tableaux a detruire

var. lue	col.	def	format	description
IN	1-80	-	16(A4,1X)	liste des noms de tableaux (codes sur 4 caracteres) a detruire TERMINEE PAR UN NOM DE TABLEAU BLANC (= ' ')

Remarques:

- 1) La liste IN peut s'etendre sur des cartes additionnelles de format 16(A4,1X) si necessaire.
- 2) La place liberee n'est pas recuperee (Pas de compression)
- 3) L'utilisation de ce bloc est dangereuse !!!

* TUND *

destruction des tableaux de la S.D. NOPD resident en memoire centrale

*1) une carte d'en-tete 'TUND'

Remarque:

- 1) Ce bloc est facultatif mais ne doit pas etre execute avant le bloc 'FLMS'
- 2) 'TUND' permet de recuperer la place occupee par les tableaux NOP4 et NOP5 de la S.D. NOPD avant les blocs d'execution. Il n'y a cependant pas de compression du super-tableau.

CHAPITRE 3

LA BIBLIOTHEQUE DF 2 D

3.1 DISCRETISATION DE L'EQUATION DE LA DIFFUSIVITE (*)

Nous nous proposons dans cette section de passer brièvement en revue les principales étapes de la discretisation d'une équation aux dérivées partielles (e.d.p.) par la méthode des éléments finis. A cet effet, nous prendrons comme exemple l'équation de la diffusivité parce qu'elle est la forme la plus simple d'e.d.p. dépendant du temps et qu'elle est à la base de la description mathématique de nombreux problèmes en hydrogéologie. L'accent sera mis sur la discretisation spatiale de l'équation qui permet de transformer l'e.d.p. en un système d'équations différentielles ordinaires (e.d.o.) par rapport au temps.

Le mode d'emploi de la bibliothèque DF2D qui permet de résoudre un problème basé sur l'équation de la diffusivité sera présentée dans la section suivante.

3.1.1 POSITION DU PROBLEME

Considérons un système physique caractérisé par un ensemble de variables qui peuvent dépendre des coordonnées d'espace $X=(x,y,z)$ et du temps t . Un modèle mathématique permet d'écrire des relations entre les variables inconnues U du système (charge hydraulique, déplacements, vitesses, ...) et les variables connues (propriétés physiques, conditions aux limites, ...) en utilisant des lois physiques. Ces relations constituent le système d'e.d.p. à

(*) G. DHATT, G. TOUZOT : Une Présentation de la Méthode des Eléments Finis - MALOINE S.A. (1981)

resoudre.

Ces equations ne peuvent en general pas etre resolues directement et il est necessaire de les discretiser, c'est-a-dire de les remplacer par des equations algebriques. On passe alors d'un systeme continu (c'est-a-dire possedant un nombre infini de degres de liberte (d.l.)) a un systeme discret qui possede un nombre de degres de liberte fini. La methode des elements finis est l'une des methodes qui permet de realiser cette discretisation.

Compte tenu de l'exemple choisi ici, nous restreindrons la generalite de la methode au probleme suivant:

evaluer sur un domaine V et sa frontiere S pour $t > t_0$ la fonction $u(x,t)$ qui verifie:

$$c \cdot \partial u / \partial t + \mathcal{L}(u) + f_v = 0 \quad \text{sur } V \quad (1.a)$$

$$\mathcal{C}(u) = f_s \quad \text{sur } S \quad (1.b)$$

avec les conditions initiales:

$$u = u_0 \quad \text{pour } t > t_0$$

ou les operateurs differentiels $\mathcal{L}$ et $\mathcal{C}$ sont lineaires en u et ses derivees et f_s , f_v et c sont independants de u et de ses derivees.

On peut alors ecrire:

$$\mathcal{L}(u) = [\mathcal{L}] \cdot u ; \quad \mathcal{C}(u) = [\mathcal{C}] \cdot u$$

ou $[\mathcal{L}]$ et $[\mathcal{C}]$ sont des matrices d'operateurs differentiels independants de u .

Application a l'equation de la diffusivite

L'équation de la diffusivité en nappe captive s'écrit(*) :

$$S_s \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + \text{div}(V) - Q = 0 \quad (2)$$

$$V = - K \cdot \text{grad} h$$

avec :

h : charge piezométrique

V : vitesse de Darcy

K : tenseur de perméabilité

S_s : coefficient d'emmagasinement spécifique

Q : débit par unité de volume fluide apporté
(ou prélevé s'il est négatif) dans le milieu

Nous supposons pour simplifier que le domaine d'étude est bidimensionnel et que le tenseur de perméabilité est isotrope, soit :

$$K = k \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} ; V_x = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial x} ; V_y = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \quad (3)$$

où k est la perméabilité du milieu.

Pour définir les conditions aux limites, la frontière C du domaine d'étude V est divisée en deux parties S_u et S_f telles que :

$$k \cdot \frac{\partial h}{\partial n} + \alpha \cdot h = f_s \quad \text{sur } S_f \quad (4.a)$$

$$h = H \quad \text{sur } S_u \quad (4.b)$$

où n est la normale EXTERIEURE au domaine V .

La condition sur la frontière S_f est une condition dite

(*) G. de MARSILY : Hydrogéologie Quantitative - MASSON (1981)

de Cauchy si α est non nul. Si α est nul, cette condition est dite de Neuman et f_s est le flux qui penetre dans la nappe par la frontiere S_f .

Par reference a l'equation generale (1):

$$[L] = k \cdot \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right]$$

$$[C] = \left[k \cdot \frac{\partial}{\partial n} + \alpha \right] \text{ sur } S_f ; [C] = 1 \text{ sur } S_u$$

La discretisation spatiale de l'e.d.p. s'effectue en deux etapes:

- formulation integrale : la methode des residus ponderes permet, en utilisant des fonctions de ponderation, de passer d'un systeme d'equations aux derivees partielles a une formulation integrale. L'integration par partie fournit des formulations integrales modifiees qui sont plus faciles a utiliser. Il est parfois possible (dans le cas de l'equation de diffusivite notamment ou en mecanique des solides) d'utiliser la notion de fonctionnelle pour construire directement une formulation integrale en utilisant le principe de stationnarite de la fonctionnelle d'energie par exemple. On peut montrer que cette derniere methode est un cas particulier de la methode des residus ponderes.

- transformation de la forme integrale en un systeme d'equations differentielles ordinaires dans lequel le temps est la variable independante.

3.1.2 FORMULATION INTEGRALE

On appelle residu la quantite $R(u)$ definie par :

$$R(u) = c\partial u/\partial t + L(u) + fv \quad (5)$$

qui s'annule evidemment lorsque u est solution de (1).

3.1.2.1 FORME INTEGRALE

La methode des residus ponderes consiste a rechercher des fonctions u qui annulent la forme integrale:

$$\begin{aligned} W(u) &= \int_V \Psi \cdot R(u) \cdot dV \\ &= \int_V \Psi \cdot (c\partial u/\partial t + L(u) + fv) \cdot dV \end{aligned} \quad (6)$$

Pour toute fonction de ponderation Ψ appartenant a un ensemble de fonctions E_Ψ , u appartenant a l'ensemble E_u des solutions admissibles qui satisfont les conditions aux limites (1.b) et qui sont derivables jusqu'a l'ordre n de l'operateur differentiel.

Toute solution u qui verifie (1.a) et (1.b) verifie egalement (6) quel que soit le choix de Ψ . Par contre la solution u de (6) depend du choix de Ψ . Par exemple si l'ensemble E_Ψ est constitue par toutes les distributions de Dirac $\delta(x)$ sur V , alors les fonctions u qui satisfont (6) satisfont egalement (1.a) puisque le residu R est alors nul en tout point de V . Si l'ensemble E_Ψ est fini comme c'est le cas dans la pratique, la solution u qui satisfait (6) est une solution approximative du probleme car elle ne satisfait pas exactement (1.a) en tout point de V .

3.1.2.2 FORME INTEGRALE FAIBLE

L'integration par parties de (6) fournit des formes integrales dites faibles qui presentent les avantages suivants:

- l'ordre maximum des derivees de u qui apparaissent dans la forme integrale diminue. Les conditions de derivabilite sur u sont donc moins fortes;
- certaines des conditions aux limites qui apparaissent dans la forme faible peuvent etre prises en compte dans la formulation integrale, au lieu d'etre satisfaites identiquement par u.

Application a l'equation de la diffusivite

La forme integrale de l'equation de la diffusivite s'ecrit:

$$W = \int_V \Psi(x,y) \left(Ss \cdot \frac{\partial h}{\partial t} - k \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - k \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} - Q \right) \cdot dV \quad (7)$$

ou h est derivable deux fois et doit satisfaire toutes les conditions aux limites sur Su et Sf alors que les fonctions ne sont soumises a aucune condition.

Integrans par parties le terme qui fait intervenir les derivees par rapport aux coordonnees d'espace; on obtient:

$$W = \int_V \Psi Ss \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \cdot dV + \int_V \left(k \frac{\partial \Psi}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} + k \frac{\partial \Psi}{\partial y} \frac{\partial h}{\partial y} - \Psi \cdot Q \right) \cdot dV$$

$$- \int_{S_u} \Psi \cdot k \cdot \frac{\partial h}{\partial n} \cdot dS - \int_{S_f} \Psi \cdot k \cdot \frac{\partial h}{\partial n} \cdot dS = 0 \quad (8)$$

Les fonctions Ψ et h doivent être dérivables une fois et des termes de contour sur S_u et S_f sont apparus. Ceci permet d'utiliser la condition imposée à h sur S_f

$$k \cdot \partial h / \partial n + \alpha \cdot h = f_s$$

Pour remplacer :

$$\int_{S_f} \Psi k \cdot \partial h / \partial n \cdot dS \quad \text{par} \quad \int_{S_f} \Psi (f_s - \alpha \cdot h) \cdot dS$$

De plus, nous pouvons faire disparaître le terme de contour sur S_u en imposant :

$$\Psi = 0 \quad \text{sur } S_u$$

La forme intégrale faible s'écrit alors :

$$W = \int_{\Omega} S_s \frac{\partial h}{\partial t} \cdot dV + \int_{\Omega} \left(k \frac{\partial \Psi}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} + k \frac{\partial \Psi}{\partial y} \frac{\partial h}{\partial y} - \Psi \cdot Q \right) \cdot dV - \int_{S_f} \Psi \cdot (f_s - \alpha \cdot h) \cdot dS = 0 \quad (9)$$

où u et Ψ doivent satisfaire les conditions aux limites :

$$\begin{aligned} h &= H \quad \text{sur } S_u \\ \Psi &= 0 \quad \text{sur } S_u \end{aligned} \quad (10)$$

3.1.3 DISCRETISATION DES FORMES INTEGRALES

Dans le paragraphe précédent, la résolution de l'é.d.f. (1) a été remplacée par la recherche de fonctions u qui annulent la forme intégrale (6) pour toute fonction Ψ .

Pour construire une solution approchée u , la forme intégrale est discrétisée en deux étapes.

- on choisit une approximation à n paramètres de la fonction u . C'est à ce niveau qu'intervient le concept d'éléments finis. Il faut cependant noter qu'il existe d'autres approximations possibles.

- on choisit ensuite un ensemble de n fonctions de pondération indépendantes $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n$. Le nombre de fonctions de pondération doit être égal au nombre de paramètres de l'approximation. Le choix des fonctions de pondération Ψ_i conduit à différentes méthodes : collocation, Galerkin (que nous utiliserons), moindres carrés.

3.1.3.1 APPROXIMATION DE u PAR ELEMENTS FINIS

La méthode d'approximation par éléments finis qui s'adapte très bien au calcul sur ordinateur consiste à :

- identifier un ensemble de sous-domaines V_e du domaine V appelés éléments qui sont interconnectés par des nœuds. Les n paramètres de l'approximation de la solution exacte u sont les valeurs de u aux n nœuds du maillage ainsi défini. Ces paramètres sont appelés les variables nodales de l'approximation. Ils se confondent avec les degrés de liberté du système discret qui résultera de la discrétisation de la forme intégrale.
- définir une fonction approchée u différente sur chaque sous-domaine V_e qui ne fait intervenir que les variables nodales attachées à des nœuds situés sur V_e et sur sa frontière. Les fonctions

approchées u sur chaque sous-domaine V_e sont construites de manière à être continues sur V_e et elles satisfont des conditions de continuité entre les différents sous-domaines.

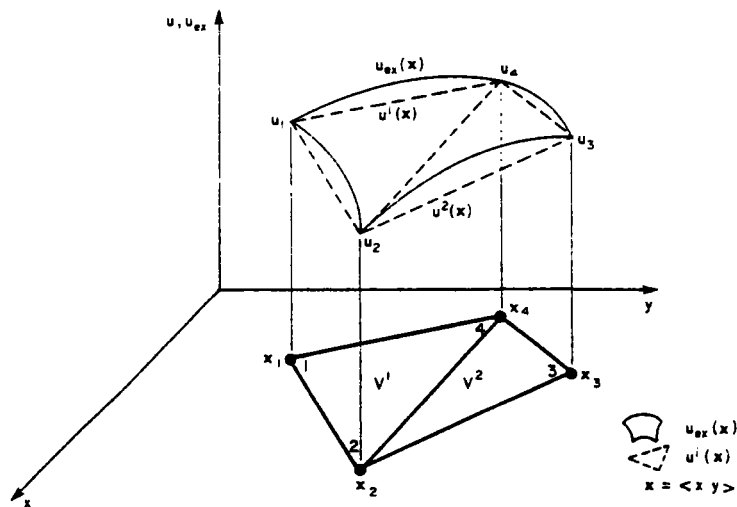
La solution approchée est donc décrite dans chaque élément comme le produit des fonctions de base $N_i(x)$ par les variables nodales $U_i(t)$ de l'élément e , soit :

$$u^e(x,t) = U_i(t) \cdot N_i(x) = \langle N \rangle^e \cdot \langle U \rangle^e \quad (11)$$

où les indices répétés sont sommés sur les nœuds de l'élément. Les fonctions de bases doivent être choisies de telle sorte que la fonction $u(x,t)$ soit continue à travers les frontières des éléments. En fonction de la forme intégrale associée au problème traité, il peut exister d'autres conditions de continuité sur les dérivées de la fonction u . Dans le cas de l'équation de la diffusivité, les dérivées n'ont pas à être continues sur les frontières des éléments; la fonction approchée est alors de classe C^0 .

On notera que les fonctions de base sont indépendantes du temps et que la dépendance temporelle est entièrement décrite par les variables nodales $U_i(t)$ ce qui constitue de fait une séparation locale (élément par élément) des variables. Ce choix ne pose pas de difficultés dans le cas de l'équation de la diffusivité car le caractère parabolique de l'équation assure qu'il n'y aura pas de discontinuité dans la solution.

La figure suivante illustre une approximation lineaire
à deux dimensions.



Sur l'element V^1 la fonction approchée s'écrit:

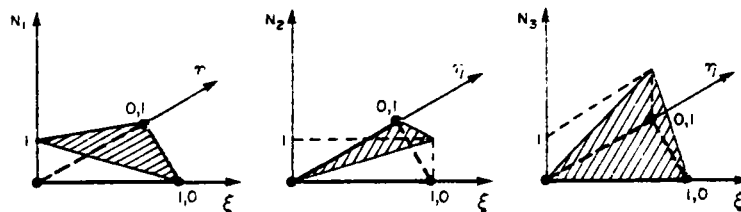
$$u^1(x,t) = N_1^1(x).u_1(t) + N_2^1(x).u_2(t) + N_3^1(x).u_4(t)$$

La fonction N_1^1 est une fonction lineaire en x et y qui prend la valeur 1 en x_1 et la valeur 0 en x_2 et x_4 . Les fonctions de base de l'element V^1 sont nulles en dehors de V^1 .

Sur l'element V^2 la fonction approchée s'écrit:

$$u^2(x,t) = N_1^2(x).u_2(t) + N_2^2(x).u_3(t) + N_3^2(x).u_4(t)$$

A titre d'exemple, la figure suivante montre le graphe des fonctions de base d'un triangle lineaire a 3 noeuds sur l'element de reference.



3.1.3.2 CHOIX DES FONCTIONS DE PONDERATION

Le choix des fonctions de pondération Ψ conduit a differentes methodes. La methode de Galerkin consiste a choisir les fonctions Ψ constituees par l'ensemble des variations δu de la fonction u :

$$\Psi = \delta u = \langle N \rangle \cdot \langle \delta U \rangle \text{ pour tout } \langle \delta U \rangle \quad (12)$$

ou $\langle \delta U \rangle$ sont les variations des variables nodales $\langle U \rangle$.

La forme integrale (1) s'ecrit alors :

$$W = \int_V \delta u \cdot (c \cdot \partial u / \partial t + L(u) + f_v) \cdot dV \quad (13)$$

3.1.3.3 DISCRETISATION DE LA FORME INTEGRALE

Nous utilisons maintenant les resultats qui precedent pour aboutir au systeme d'equations differentielles ordinaires cherche

Remplaçons la forme integrale (1) sur tout le domaine V par une somme d'integrales sur chaque element V_e :

$$W = \sum_e W_e = \sum_e \int_{V_e} \delta u \cdot (c \cdot \partial u / \partial t + L(u) + f v) \cdot dV \quad (14)$$

Pour calculer chaque terme W_e , dit forme integrale elementaire, nous utilisons une approximation par elements finis de u et δu sur chaque element V_e . Comme $\langle N \rangle^e$ est nul en tout point exterieur de V_e , et comme $\langle U_n \rangle^e$ ne fait intervenir que les variables nodales de l'element V_e , chaque terme W_e se calcule a partir des seules variables liees a l'element e . Cette propriete a beaucoup contribue au succes de la methode des elements finis, en raison de la nature repetitive des operations necessaires pour evaluer chaque terme W_e . La forme integrale elementaire W_e devient :

$$W_e = \langle \delta U_n \rangle^e \cdot \left(\int_{V_e} c \cdot \langle N \rangle^e \cdot \langle N \rangle^e \cdot dV \cdot \langle dU_n / dt \rangle^e + \int_{V_e} \langle N \rangle^e \cdot L(\langle N \rangle^e) \cdot dV \cdot \langle U_n \rangle^e + \int_{V_e} \langle N \rangle^e \cdot f v \cdot dV \right) \quad (15)$$

On obtient finalement l'expression matricielle suivante de W_e discretisee, qui est la base de la methode des elements finis :

$$W_e = \langle \delta U_n \rangle^e \cdot ([M] \cdot \langle dU_n / dt \rangle^e + [K] \cdot \langle U_n \rangle^e - \{f\}) \quad (16)$$

ou :

- [K] est la matrice elementaire, independante de $\langle U_n \rangle$ si l'operateur L est lineaire
- [M] est la matrice elementaire de masse
- {f} est le vecteur elementaire des sollicitations
- $\langle U_n \rangle^e$ est le vecteur elementaire des variables nodales

$\{dUn/dt\}^e$ est le vecteur elementaire des derivees temporelles des variables nodaes

$\{SUn\}^e$ est le vecteur elementaire des variations des variables nodaes

La forme integrale globale W se construit par addition des formes elementaires, la somme etant organisee sous la forme matricielle :

$$W = \{SUn\} \cdot ([M] \cdot \{dUn/dt\} + [K] \cdot \{Un\} - \{F\}) \quad (17)$$

ou :

[K] est la matrice globale souvent appelee matrice de rigidite

[M] est la matrice globale de masse

\{F\} est le vecteur global des sollicitations

\{Un\} est le vecteur global de toutes les variables nodaes

\{dUn/dt\} est le vecteur global des derivees temporelles de toutes les variables nodaes

\{SUn\} est le vecteur global des variations des variables nodaes

Le passage a cette etape constitue l'assemblage des elements; il permet de construire les termes de [K] et \{F\} a partir des termes de [k] et \{f\} de chaque element.

Comme W doit etre nul pour tout \{SUn\}, on obtient finalement le systeme d'equations differentielles ordinaires recherche :

$$[M] \cdot \{dUn/dt\} + [K] \cdot \{Un\} = \{F\} \quad (18)$$

Calculons les matrices élémentaires $[k]$ et $[m]$ et le vecteur élémentaire $\{f\}$ pour l'équation de la diffusivité. Pour simplifier les notations, nous laissons de côté l'indice supérieur e affecté aux fonctions de base $\langle N \rangle$ et aux variables nodales $\{U_n\}$.

En appliquant la méthode de Galerkin à la forme intégrale faible (9) de l'équation de la diffusivité et en utilisant une approximation par éléments finis de u et u_t , on obtient:

$$\begin{aligned} W_e = \langle U_n \rangle & \left(\int_{V_e} S_e \langle N \rangle \langle N \rangle dV \{dU_n/dt\} \right. \\ & + \int_{V_e} \left(k \langle \frac{\partial N}{\partial x} \rangle \langle \frac{\partial N}{\partial x} \rangle + k \langle \frac{\partial N}{\partial y} \rangle \langle \frac{\partial N}{\partial y} \rangle \right) dV \{U_n\} \\ & + \int_{S_e^s} \alpha \langle N \rangle \langle N \rangle dS \{U_n\} \\ & \left. - \int_{V_e} Q \langle N \rangle dV - \int_{S_e^s} f_s \langle N \rangle dS \right) \end{aligned}$$

où S_e^s est l'intersection de S_f avec la frontière de l'élément.

On déduit l'expression de $[k]$, $[m]$ et $\{f\}$

$$\begin{aligned} [k] = \int_{V_e} k \langle N \rangle_x \langle N \rangle_x + \langle N \rangle_y \langle N \rangle_y dV \\ + \int_{S_e^s} \alpha \langle N \rangle \langle N \rangle dS \end{aligned}$$

$$[m] = \int_{V_e} S_e \langle N \rangle \langle N \rangle dV$$

$$\{f\} = \int_{V_e} \langle N \rangle Q dV + \int_{S_e^s} \langle N \rangle f_s dS$$

3.2 LA BIBLIOTHEQUE DF2D

3.2.1 MODE D'EMPLOI

La bibliotheque DF2D permet de resoudre l'equation de la diffusivite pour un probleme bidimensionnel plan ou axisymetrique. Elle prend en compte :

- un tenseur de permeabilite anisotrope homogene sur un element,
- un terme de production volumique homogene sur un element (apport par irrigation par exemple)
- des conditions aux limites de Neuman ou Cauchy sur les aretes. Dans ce cas le coefficient d'echange est suppose constant sur l'arete mais le flux varie de facon lineaire ou quadratique selon que l'interpolation est lineaire ou quadratique sur l'arete.

La bibliotheque DF2D permet de traiter des problemes stationnaires ou transitoires. Elle comporte 5 types d'elements isoparametriques (i.e. qui autorisent des geometries courbes lorsque le degre de l'interpolation est superieur a 1).

Comme dans la plupart des codes de calcul generaux, aucun systeme d'unites n'est precise. C'est a l'utilisateur de fournir les proprietes elementaires dans un systeme d'unites coherent.

L'en-tete du sous-programme ELEMLB de la bibliotheque DF2D qui suit precise la maniere de fournir les differentes proprietes elementaires dans les blocs MILI et FORC ainsi que l'affectation des types d'elements dans les blocs (incompatibles) DFNO et LCNO.

PROPRIETES ELEMENTAIRES

=====

---- MILI/SURF (SUME) ---- (7 valeurs)

VSUME(1) : coefficient Roc
 VSUME(2) : coefficient Kxx
 VSUME(3) : coefficient Kxy
 VSUME(4) : coefficient Kyy
 VSUME(5) : nombre de points de gauss pour le calcul de la
 matrice de rigidite et des residus
 VSUME(6) : nombre de points de gauss pour le calcul des
 gradients
 VSUME(7) : nombre de points de gauss pour le calcul de la
 matrice de masse

des valeurs par defaut sont fournies pour VSUME(5),
 VSUME(6) et VSUME(7)

---- FORC/SURF (SUFE) ---- (1 valeur)

SUFE(1) : coefficient G (force de volume constante
 sur l'element)

---- MILI/ARET (ARME) ---- (1 ou 2 valeurs)

cas d'une arête lineaire (elements TRIA_2P1D et QUAD_2Q1D)

 VARME(1) : coefficient d'échasse h (constant sur l'arête)

cas d'une arête quadratique (elements TRIA_2P2C, QUAD_2S2C et _2Q1D)

 VARME(1) : indicateur pour le calcul
 = 1 --> arête droite (integration exacte)
 = 2 --> arête courbe (integration avec 3 P.G.)
 = autre --> pas de calcul
 VARME(2) : coefficient d'échasse h (constant sur l'arête)

```

C
C          ----- FORC/ARET (ARFE) -----   (2 ou 4 valeurs)
C
C cas d'une arête lineaire (elements TRIA_2P1D et QUAD_2Q1D)
C -----
C
C   VARFE(1) : valeur de a au noeud 1   (=a1)
C   VARFE(2) : valeur de a au noeud 2   (=a2)
C
C cas d'une arête quadratique (elements TRIA_2P2C, QUAD_2S2C et _2Q1D)
C -----
C
C   VARFE(1) : indicateur pour le calcul
C               = 1 --> arête droite et a constant (integr. exacte)
C               = 2 --> arête droite et a variable (integr. exacte)
C               = 3 --> arête courbe (integration avec 3 P.G.)
C               = autre --> pas de calcul
C   VARFE(2) : valeur de a au noeud 1   (=a1)
C   VARFE(3) : valeur de a au noeud 3   (=a2)
C   VARFE(4) : valeur de a au noeud 2   (=a3)
C
C
C   1 *<----- a1          1 *<----- a1          ATTENTION:
C   |<-----             |<-----             -----
C   |<-----             |<-----             l'ordre de defi-
C   |<-----             |<-----             nition des ai
C   |<-----             |<-----             n'est pas l'ordre
C   |<-----             |<-----             des noeuds.
C   2 *<-                a2          2 *<----- a3
C
C               (arêtes orientées dans le sens 1 --> 2)
C
C FORMULATION MATRICIELLE : [M].{dT/dt} + [K].{T} = {f}
C =====
C
C   [M] =  $\int_{\Omega} \rho c \cdot N_i \cdot N_j \cdot dV$ 
C   [K] =  $\int_{\Omega} (K_{xx} \cdot N_{j,x} + K_{xy} \cdot N_{j,y}) \cdot N_i \cdot x + (K_{xy} \cdot N_{j,x} + K_{yy} \cdot N_{j,y}) \cdot N_i \cdot y \cdot dV$ 
C         +  $\int_{\Gamma} h \cdot N_i \cdot N_j \cdot dS$ 
C   {f} =  $\int_{\Omega} Q \cdot N_i \cdot dV + \int_{\Gamma} q \cdot N_i \cdot dS$ 
C

```

```

C
C MATRICE OU VECTEUR ELEMENTAIRE CONSTRUIT PAR CES SOUS-PROGRAMMES C
C ===== C
C SELON LA VALEUR DE ICODE : C
C ===== C
C ICODE = 0 retour de parametres dans le common /RGDT0/ C
C ICODE = 1 retourne le nombre de d.l. sur chaque noeud (KAUX) C
C et les coordonnees des noeuds dans l'element de C
C reference (VCORE) C
C ICODE = 2 calcul des fonctions d'interpolation et des C
C coefficients d'integration numeriques C
C ICODE = 3 matrice de rigidite (VKE) C
C ICODE = 4 matrice tangente (VKE)....Pas ecrit.... C
C ICODE = 5 matrice masse (VKE) C
C ICODE = 6 residu [K].{U} (VFE) C
C ICODE = 7 sollicitations (second membre) (VFE) C
C ICODE = 8 impression des gradients aux points de gauss C
C ICODE = 9 modification a leur valeur par defaut des proprietes C
C VSUME(5), VSUME(6) et VSUME(7) si elles sont nulles C
C (cas NMOFR du common /FLMS/ > 0) C
C C
C AUTRES PARAMETRES (COMMON /PROB/) C
C ===== C
C NMDIAG = 0 --> matrice masse pleine symetrique C
C <>0 diagonale (barcentrique) C
C C
C = 0 --> probleme plan C
C NAXIS = 1 axisymetrique (r,z) C
C = 2 axisymetrique (z,r) C
C C
C ELEMENTS PROGRAMMES : C
C ===== C
C ELEM01 : DF2D_TRIA_2P1D code: 21 C
C _DF2D : triangle lineaire C
C : nombre de P.G. pour [K] 1 (/default) ou 4 C
C [M] 1 (/default) ou 4 C
C gradients 1 (/default) ou 4 C
C C
C ELEM02 : DF2D_QUAD_2Q1D code: 22 C
C _DF2D : quadrangle lineaire C
C : nombre de P.G. pour [K] 4=2x2 (/def) ou 1=1x1 C
C [M] 4=2x2 (/def) ou 1=1x1 C
C gradients 4=2x2 (/def) ou 1=1x1 C

```

```

C
C      ELEM03 : DF2D_TRIA_2P2C  code: 23
C      _DF2D : triangle isoparametrique quadratique (6 noeuds)
C      : nombre de P.G. pour [K]      4 (/default) ou 7
C      [M]      4 (/default) ou 7
C      gradients 4 (/default) ou 7
C
C      ELEM04 : DF2D_QUAD_2S2C  code: 24
C      _DF2D : quadrangle isoparametrique quadratique (8 noeuds)
C      : nombre de P.G. pour [K]      4=2x2 (/def) ou 9=3x3
C      [M]      4=2x2 (/def) ou 9=3x3
C      gradients 4=2x2 (/def) ou 9=3x3
C
C      ELEM05 : DF2D_QUAD_2Q2C  code: 25
C      _DF2D : quadrangle isoparametrique quadratique (9 noeuds)
C      : nombre de P.G. pour [K]      4=2x2 (/def) ou 9=3x3
C      [M]      4=2x2 (/def) ou 9=3x3
C      gradients 4=2x2 (/def) ou 9=3x3
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
      SUBROUTINE ELEMLB(KAUX,VCORE,VDLE,VKE,VFE,VVOME,VSUME,VARME,VPOME,
& VVOFE,VSUFE,VARFE,VPOFE,VPRNE)
C=====C
C      SOUS-PROGRAMME ELEMLB
C      -----C
C=====C
D      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION KAUX(*),VCORE(*),VDLE(*),VKE(*),VFE(*),VVOME(*),
& VSUME(*),VARME(*),VPOME(*),VVOFE(*),VSUFE(*),VARFE(*),VPOFE(*),
& VPRNE(*)
C
      COMMON/RGDT/IEL,ITPE
C
      2000 FORMAT(/' *** ERREUR, APPEL A ELEMLB AVEC ITPE=',I5/)
C-----C
      GOTO(10,20,30,40,50),ITPE
      WRITE(MP,2000) ITPE
      CALL ABORT('ELEM','LB  ')
C
      10 CALL ELEM01_DF2D(KAUX,VCORE,VDLE,VKE,VFE,VSUME,VARME,VSUFE,VARFE)
      GOTO 900
      20 CALL ELEM02_DF2D(KAUX,VCORE,VDLE,VKE,VFE,VSUME,VARME,VSUFE,VARFE)
      GOTO 900
      30 CALL ELEM03_DF2D(KAUX,VCORE,VDLE,VKE,VFE,VSUME,VARME,VSUFE,VARFE)
      GOTO 900
      40 CALL ELEM04_DF2D(KAUX,VCORE,VDLE,VKE,VFE,VSUME,VARME,VSUFE,VARFE)
      GOTO 900
      50 CALL ELEM05_DF2D(KAUX,VCORE,VDLE,VKE,VFE,VSUME,VARME,VSUFE,VARFE)
C
      900 RETURN
      END

```

3.2.2 EXEMPLE D'UTILISATION

L'exemple presente est tire d'un rapport BRGM (*).

3.2.2.1 CAS STATIONNAIRE

La nappe comporte 3 zones de transmissivite (fig 1). Les alimentations (positives ou negatives) proviennent des deux lacs et de la riviere. La station de pompage comporte 6 captages auxquels on affecte le meme debit. Le maillage, qui est tres simple, a ete realise de maniere a ce que chacun des captages se trouve a l'emplacement d'un noeud (fig 2 - 5). Il suit assez fidelement le contour du domaine et des zones de transmissivite. Les cartes de definition du maillage sont assez nombreuses parce que la plupart des elements ont des aretes courbes (il faut donc definir les coordonnees des points aretes) et qu'il n'est pas possible d'utiliser les facilites de MEFISTO permettant de definir plusieurs noeuds ou elements a partir d'une seule carte. Par ailleurs, les frontieres du domaine qui ne sont pas sujettes a des conditions aux limites autres que flux nul impose ont aussi ete referencees, ce qui permettrait de modifier facilement les conditions sur ces frontieres pour peu qu'elles soient constantes. Comme chaque captage est situe a l'emplacement d'un noeud, il est alors tres facile d'imposer les debits soutires a partir du bloc 'SOLC'.

(*) D. ROUSSELOT : Informatique hydrogeologique.
Simulation par modele mathematique des ecoulements
bidimensionnels en milieu poreux, 1ere partie - Regime
permanent - Mailles carrees - Programmes FC1, PL1, PT1,
PII1 . Rapport BRGM 72 SGN 401 AME

On trouvera sur les pages suivantes une image de la liste produite par MEFISTO ainsi qu'un trace du maillage et des resultats obtenus a partir du programme MEFBEN.

Afin de ne pas alourdir le fichier d'entree, les donnees du bloc DFND sont fournies dans le fichier PC1.DFN (fig 7) (le parametre M1 de la carte d'appel de ce bloc est egal au numero d' unite logique presablement affecte au fichier PC1.DFN dans le bloc OPEN (fig 6)).

3.2.2.2 CAS TRANSITOIRE

Le cas transitoire a ete traite par M.L. NOYER. Le maillage utilise est identique au precedent mais les valeurs des transmissivites ont ete modifiees. Le niveau de la riviere ainsi que le debit pompe varient au cours du temps. Ces variations sont definies a l'aide des blocs CNDV et SLCV. Comme les valeurs de blocage de certains d.l. sont variables, il faut utiliser le bloc TRLV. La piezometrie initiale a ete presablement calculee a partir de la solution stationnaire correspondant aux conditions aux limites a l'instant $t=0$ (fichier PC1CAL.SOL qui est ouvert dans le bloc OPEN, puis transmis au bloc TRLV par l'intermediaire du parametre M3 de la carte d'en-tete de ce bloc). Les figures 8 -16 presentent le fichier des donnees du programme, les variations temporelles du niveau de la riviere et du debit pompe ainsi que la piezometrie a differents instants.

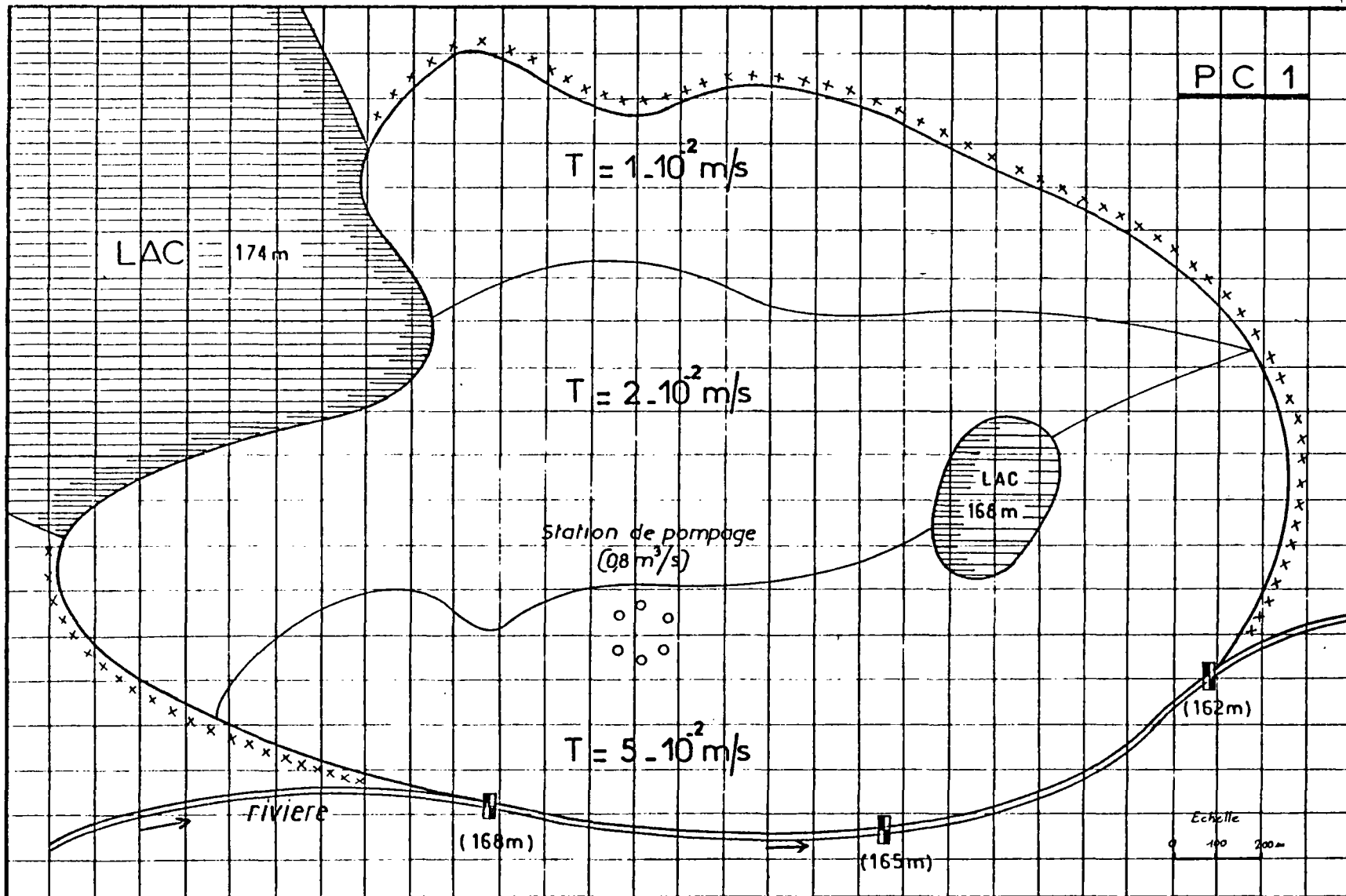


Fig. 1 : (extraite du rapport 72 SGN 401 AME)

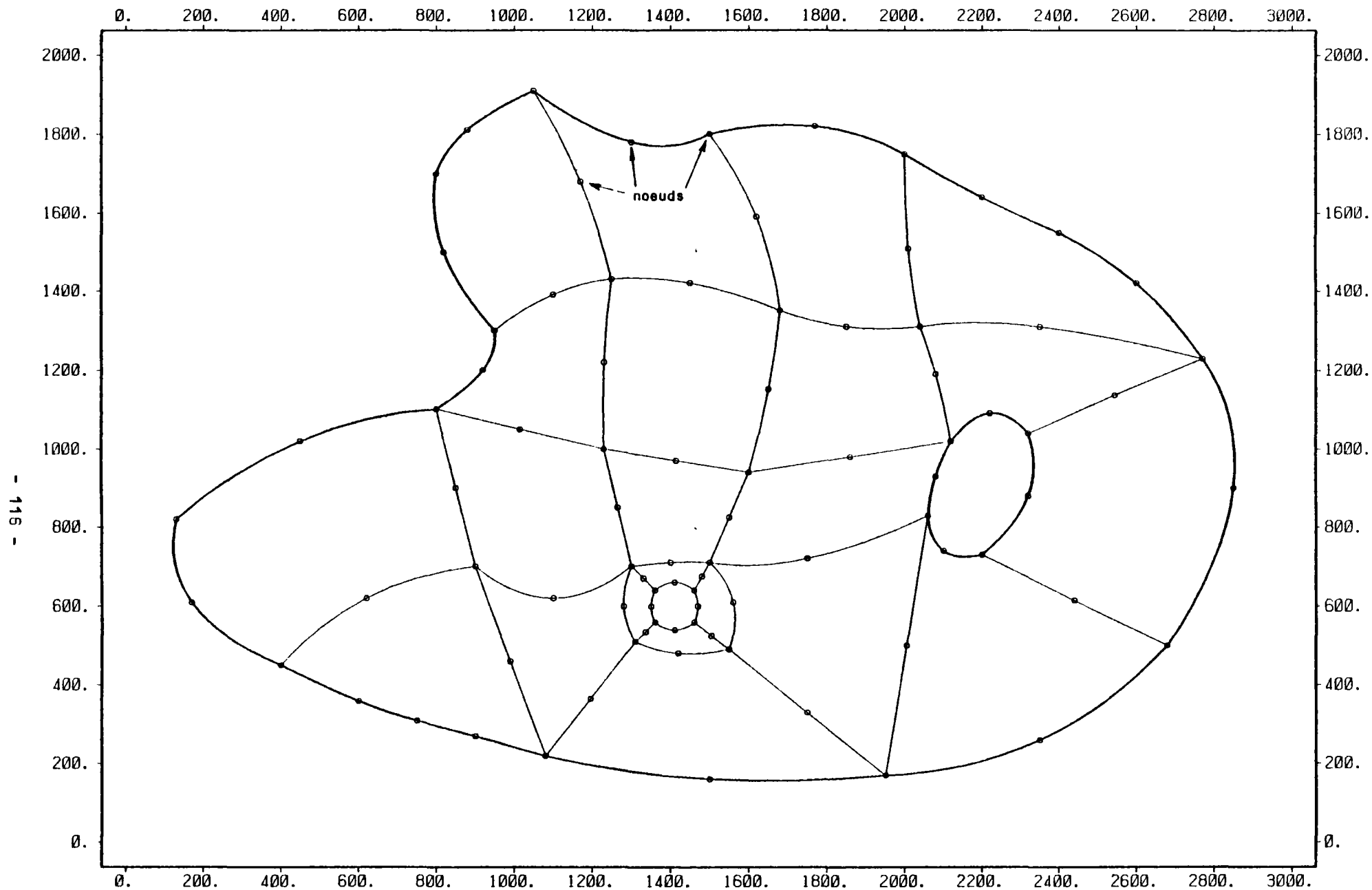


Fig. 2 : Maillage du domaine par éléments finis
isoparamétriques quadratiques

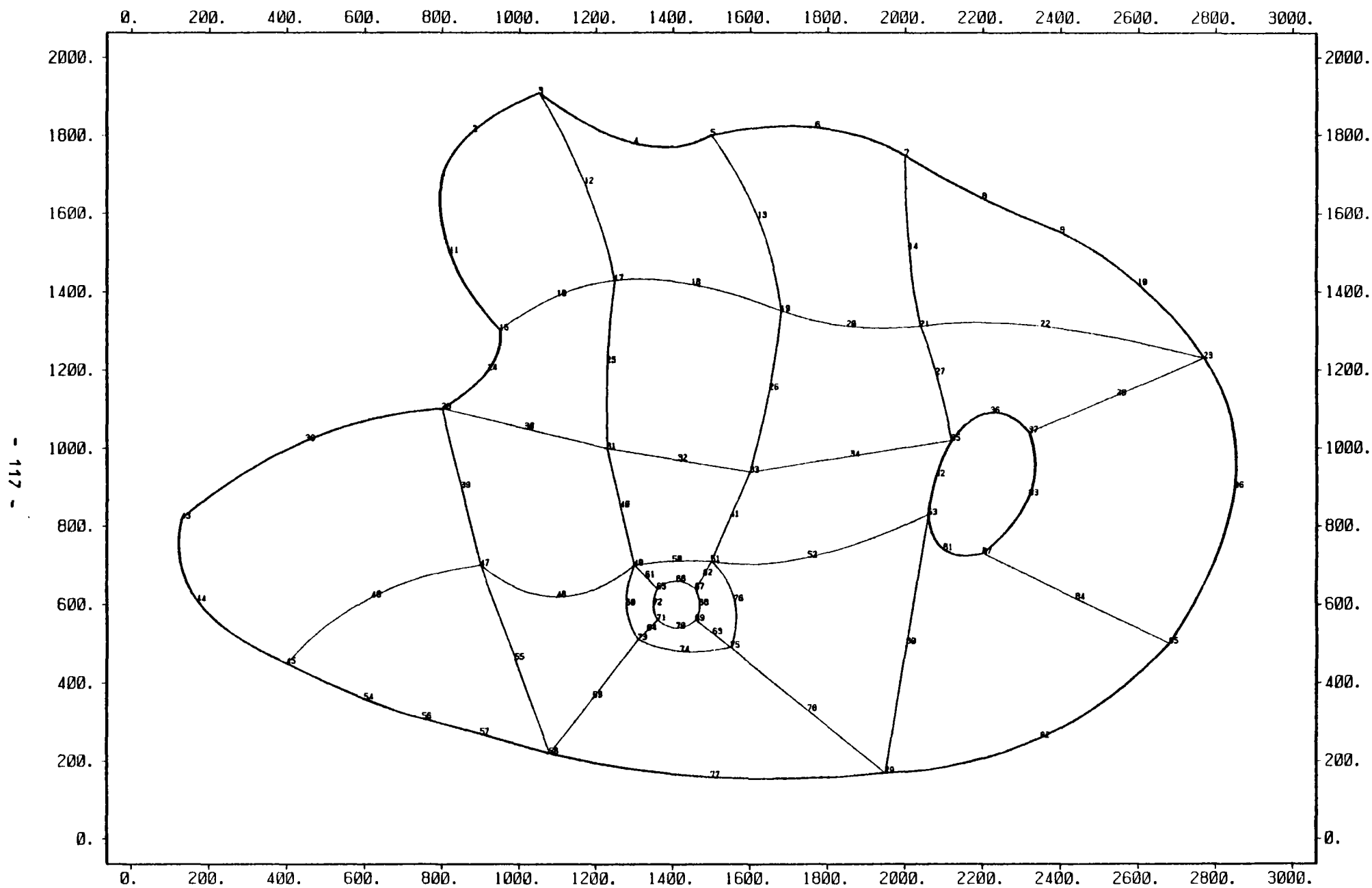


Fig. 3 : Maillage - numéros des noeuds (87 noeuds)

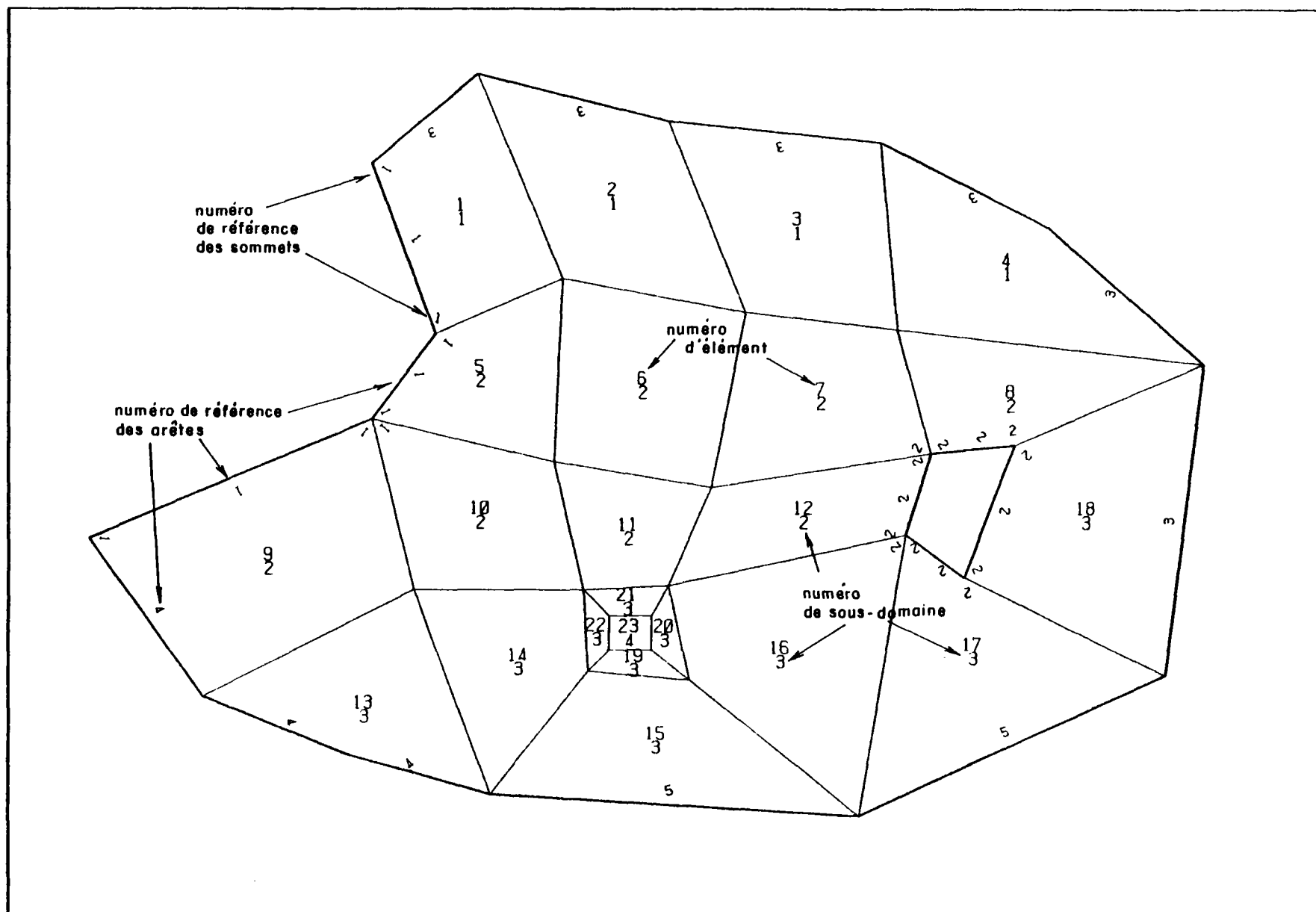


Fig. 4 : Maillage - numéros des éléments - numéros de sous-domaine et de référence (NELT = 23, NDSD = 4, NREF = 5)

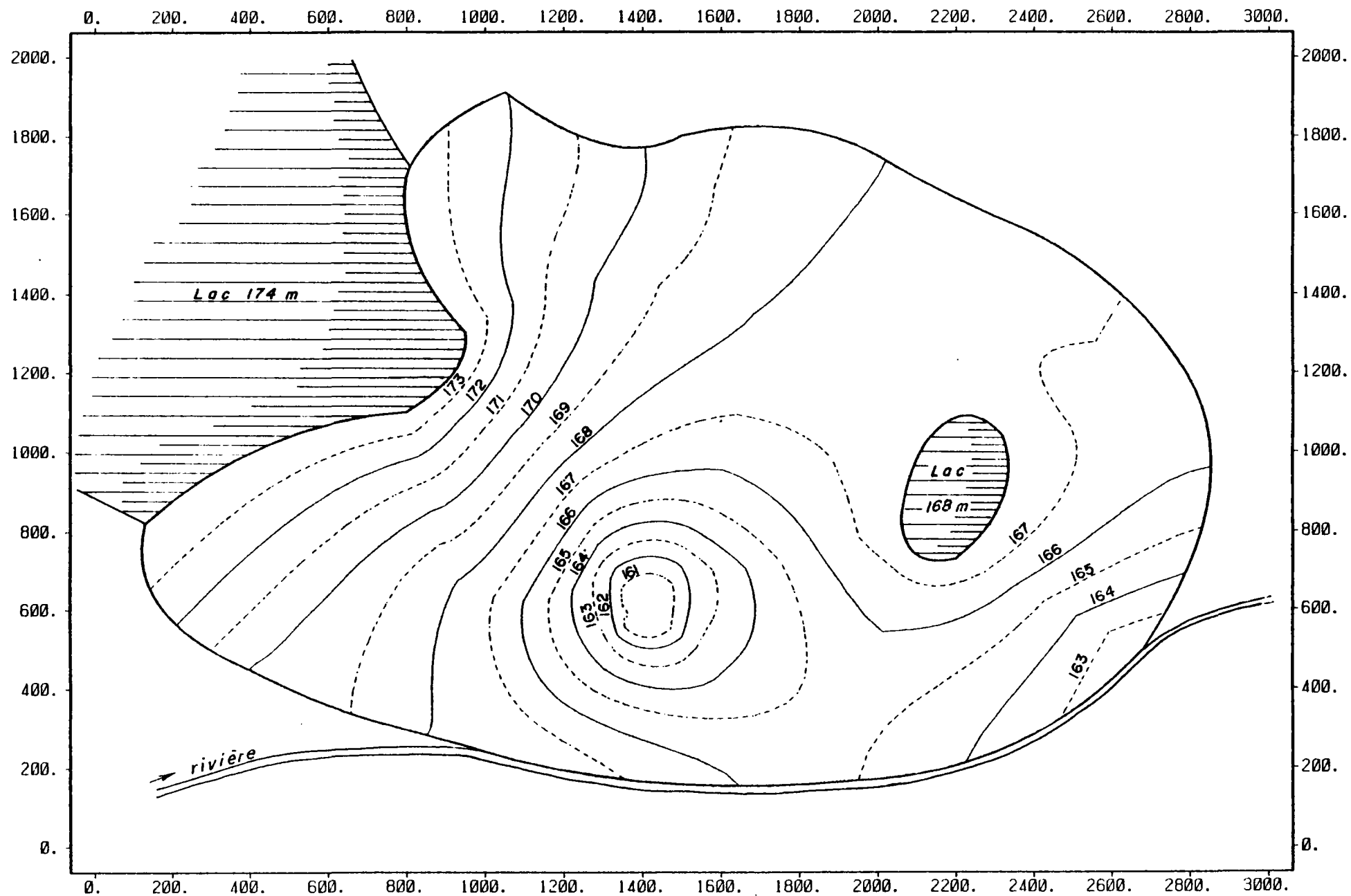


Fig. 5 : Piézométrie calculée (cas permanent)

NUMERO DE CARTE	1	2	3	4	5	6	7	8
1	COMT							
2	SIMULATION PC1							
3	les donnees du maillage (bloc DFNO) sont donnees dans le fichier PC1.DFN							
4	la S.D. NQPO construite par DFNO est sauvegardee sur PC1.NQP							
5	la solution du probleme stationnaire est sauvegardee dans PC1.SOL							
6								
7	OPEN	-1						
8	30OLD	FORM	PC1.DFN					
9	31NEW	UNFO	PC1.NQP					
10	40NEW	UNFO	PC1.SOL					
11	0							
12	DFNO	0	30	31				
13	COMT							
14	CONDITIONS AUX LIMITES							
15	charge imposee (174 m) sur le bord du grand lac (noeuds ref. 1)							
16	charge imposee (168 m) sur le bord du petit lac (noeuds ref. 2)							
17	charge decroissante le long de la riviere							
18								
19	COND	0						
20	1	2						
21	-1							
22	174.0							
23	2	2						
24	-2							
25	168.0							
26	3	2						
27	58							
28	168.0							
29	4	2						
30	77							
31	166.5							
32	5	2						
33	79							
34	165.0							
35	6	2						
36	82							
37	163.5							
38	7	2						
39	85							
40	162.0							

Fig. 6 : Liste produite par MEFISTO pour le cas stationnaire

NUMERO DE CARTE	1	2	3	4	5	6	7	8
41	0							
42	COMT							
43	DEFINITION DES CONSTANTES PHYSIQUES							
44	(il n'y a pas de constantes sur les aretes, ni de force volumique							
45	mais les en-tete de ces cartes doivent apparaitre. Il est ensuite							
46	inutile d'imposer une valeur nulle a ces constantes car MEFIGTO							
47	initialise a 0 les constantes qui n'ont pas ete definies expli-							
48	citemment)							
49	Pour chaque sous-domaine il faut donner:							
50	- coeff. emmag. (valeur sans importance ici puisqu'on etudie un							
51	probleme stationnaire)							
52	- transmissivites Txx, Tyy et Txy (Txx=Tyy et Txy=0 ici)							
53	- nombre de points de Gauss (on impose 9 points ici car certains							
54	elements sont assez distordus) (3 valeurs)							
55								
56	MILI 0							
57	7	SURF	0					
58	1		0.0	0.01	0.01	0.0	9.	9.
59	2		0.0	0.02	0.02	0.0	9.	9.
60	3		0.0	0.05	0.05	0.0	9.	9.
61	4		0.0	0.05	0.05	0.0	9.	9.
62	0							
63	2	ARET	0					
64	0							
65								
66	FORC 0							
67	1	SURF	0					
68	0							
69	4	ARET	0					
70	0							
71								
72	FLMS 0							
73	0	0						
74	COMT							
75	introduction des sollicitations concentrees							
76	on affecte le meme debit a chacun des puits soit 0.8/6=0.1333 m3/s							
77	il est inutile d'appeler SOLR puisqu'il n'y a pas de sollicitations							
78	reparties definies dans FORC. Il aurait ete INDISPENSABLE d'appeler							
79	le bloc SOLR si on avait defini un flux penetrant certaines frontieres							
80	a l'aide de FORC / ARET.							
81								

NUMERO DE CARTE	1	2	3	4	5	6	7	8
	NUMERO DE COLONNE							

		N U M E R O D E C O L O N N E							
		1	2	3	4	5	6	7	8
NUMERO	DE CARTE	1	2	3	4	5	6	7	8
82	SOLC								
83		1	1						
84		65	66	67	69	70	71		
85	-0.1333333								
86	0								
87	LINH	0				40			
88		1	0	0	0				
89	STOP								

		N U M E R O D E C O L O N N E							
		1	2	3	4	5	6	7	8
NUMERO	DE CARTE	1	2	3	4	5	6	7	8

F I N D E S D O N N E E S

COMMENTAIRES

SIMULATION PC1

les donnees du maillage (bloc DFND) sont donnees dans le fichier PC1.DFN

la S.D. NOPO construite par DFND est sauvegardee sur PC1.NOP

la solution du probleme stationnaire est sauvegardee dans PC1.SOL

 * APPEL DU BLOC 'OPEN' (M=-1) (MLUN= 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0) *

OUVERTURE DE FICHIERS SEQUENTIELS

	UNIT	STAT	FORM	SIZE	NOM DU FICHIER
>>>>	30	OLD	FORM	0	PC1.DFN
>>>>	31	NEW	UNFO	0	PC1.NOP
>>>>	40	NEW	UNFO	0	PC1.SOL
>>>>	0			0	

 * APPEL DU BLOC 'DFND' (M= 0) (MLUN= 30 31 0 0 0 0 0 0 0 0) *

DEFINITION DU MAILLAGE PAR CARTES

TABLEAU NOPO DE LA S.D.S. NOPO

TITRE :NAPPE EXEMPLE PC1

DATE :10/05/84

NOMCRE :M. RECAN

NIVEAU : 1

NOMBRE DE DIMENSIONS DU PROBLEME	(NDIM)=	2
NOMBRE DE NUMEROS DE REFERENCE	(NREF)=	5
NOMBRE DE SOUS-DOMAINES	(NDSI)=	4
NOMBRE MAX. D'ELEMENTS	(NELT)=	23
NOMBRE MAX. DE NOEUDS	(NNT)=	87
FACTEUR D'IMPRESSION S.D. NOPO	(IMPR)=	0
NOMBRE DE LIGNES COURBES	(NBLC)=	0
ESPACE DE TRAVAIL EN MOTS REELS	(NVA)=	100000
NOMBRE D'ENTRIERS DANS UN MOT REEL	(NREEL)=	1

DEFINITION DES TYPES D'ELEMENTS

```

*****
*          NUMERO DE CODE ET TYPE DES ELEMENTS PAR SOUS-DOMAIN ET CODE GEOMETRIQUE          *
*****
* SOUS-DOMAIN * NOEUD * SEGMENT * TRIANGLE * QUADRANGLE * TETRAEDRE * PENTAGONE * HEXAGONE *
*****
* 1 * * * * * 24 4 * * * *
* 2 * * * * * 24 4 * * * *
* 3 * * * * * 24 4 * * * *
* 4 * * * * * 24 4 * * * *
*****

```

CARACTERISTIQUES DES 1 TYPES D'ELEMENTS DEFINIS

```

----> TYPE (ITPE): 4 GEOMETRIE: QUADRANGLE NOM: DF2DQUAD2S2C CODE: 24
NR. NOEUDS (INEL): 8 NR. D.L. (IDLE): 8 CODE STOCKAGE K (NSYM): 0
ISEG= 1 ISET= 0 ISEQ= 0 ISET= 0 ISEPE= 0 ISENE= 0
NR. CONSTANTES DE MILIEU NVOLMO= 0 NSURMO= 7 NAREMO= 2 NFOIMO= 0
NR. CONSTANTES DE FORCES NVOLFO= 0 NSURFO= 1 NAREFO= 4 NFOIFO= 0
NR. PROP. MOD. PAR NOEUD NPRMO = 0

```

LECTURE DES COORDONNEES DES NOEUDS

```

FACTEUR D'ECHELLE DES COORDONNEES (FAC)= 0.10000E+03 0.10000E+03 0.00000E+00

```

LECTURE DES ELEMENTS

```

CODE GEOMETRIQUE PAR DEFAUT (ICGEO)= 4
NUMERO DE SOUS-DOMAIN PAR DEFAUT (NUMSDO)= 1

```

```

-----> LA S.D. NOPO A ETE SAUVEGARDEE SUR LE FICHIER 31

```

COMMENTAIRES

CONDITIONS AUX LIMITES

```

charge imposee (174 m) sur le bord du grand lac (noeuds ref. 1)
charge imposee (168 m) sur le bord du petit lac (noeuds ref. 2)
charge decroissante le long de la riviere

```

```
*****
* APPEL DU BLOC 'COND' (M= 0) (MLUN= 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0) *
*****
```

LECTURE DES CONDITIONS AUX LIMITES (NON VARIABLES) =====

CARTES DE CONDITIONS AUX LIMITES

```
>>>> 1 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 0.17400E+03
>>>> 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> -2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 0.16800E+03
>>>> 3 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 58 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 0.16800E+03
>>>> 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 77 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 0.16650E+03
>>>> 5 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 79 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 0.16500E+03
>>>> 6 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 82 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 0.16350E+03
>>>> 7 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 85 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>>>> 0.16200E+03
>>>> 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

```

NOMBRE TOTAL DE NOEUDS (NNT)= 87
NOMBRE TOTAL DE D.L. (NDLT)= 87
NOMBRE D'EQUATIONS A RESOUDRE (NEQ)= 67
NOMBRE TOTAL DE D.L. IMPOSES (NCLT)= 20
NOMBRE DE D.L. IMPOSES NULS (NCLZ)= 0
NOMBRE DE D.L. IMPOSES NON NULS (NCLNZ)= 20
LONGUEUR EN MOTS REELS DU TABLEAU 'DIMP' (LGDIMP)= 20
```

TABLE DES COORDONNEES, NUMEROS DE REFERENCE ET NUMEROS D'EQUATIONS

NOEUD	D.L.	REF.	X	Y	Z	NUMEROS D'EQUATIONS (NEQ)
1	1	1	0.80000E+03	0.17000E+04	0.00000E+00	-1
2	1	3	0.88000E+03	0.18100E+04	0.00000E+00	1
3	1	0	0.10500E+04	0.19100E+04	0.00000E+00	2
4	1	3	0.13000E+04	0.17800E+04	0.00000E+00	3
5	1	0	0.15000E+04	0.18000E+04	0.00000E+00	4
6	1	3	0.17700E+04	0.18200E+04	0.00000E+00	5
7	1	0	0.20000E+04	0.17500E+04	0.00000E+00	6
8	1	3	0.22000E+04	0.16400E+04	0.00000E+00	7

9	1	0	0.24000E+04	0.15500E+04	0.00000E+00	8
10	1	3	0.26000E+04	0.14200E+04	0.00000E+00	9
11	1	1	0.82000E+03	0.15000E+04	0.00000E+00	-2
12	1	0	0.11700E+04	0.16800E+04	0.00000E+00	10
13	1	0	0.16200E+04	0.15700E+04	0.00000E+00	11
14	1	0	0.20100E+04	0.15100E+04	0.00000E+00	12
15	1	1	0.95000E+03	0.13000E+04	0.00000E+00	-3
16	1	0	0.11000E+04	0.13700E+04	0.00000E+00	13
17	1	0	0.12500E+04	0.14300E+04	0.00000E+00	14
18	1	0	0.14500E+04	0.14200E+04	0.00000E+00	15
19	1	0	0.16800E+04	0.13500E+04	0.00000E+00	16
20	1	0	0.18500E+04	0.13100E+04	0.00000E+00	17
21	1	0	0.20400E+04	0.13100E+04	0.00000E+00	18
22	1	0	0.23500E+04	0.13100E+04	0.00000E+00	19
23	1	0	0.27700E+04	0.12300E+04	0.00000E+00	20
24	1	1	0.92000E+03	0.12000E+04	0.00000E+00	-4
25	1	0	0.12300E+04	0.12200E+04	0.00000E+00	21
26	1	0	0.16500E+04	0.11500E+04	0.00000E+00	22
27	1	0	0.20800E+04	0.11900E+04	0.00000E+00	23
28	1	0	0.25450E+04	0.11350E+04	0.00000E+00	24
29	1	1	0.80000E+03	0.11000E+04	0.00000E+00	-5
30	1	0	0.10150E+04	0.10500E+04	0.00000E+00	25
31	1	0	0.12300E+04	0.10000E+04	0.00000E+00	26
32	1	0	0.14150E+04	0.97000E+03	0.00000E+00	27
33	1	0	0.16000E+04	0.94000E+03	0.00000E+00	28
34	1	0	0.18600E+04	0.98000E+03	0.00000E+00	29
35	1	2	0.21200E+04	0.10200E+04	0.00000E+00	-8
36	1	2	0.22200E+04	0.10700E+04	0.00000E+00	-9
37	1	2	0.23200E+04	0.10400E+04	0.00000E+00	-10
38	1	1	0.45000E+03	0.10200E+04	0.00000E+00	-6
39	1	0	0.85000E+03	0.90000E+03	0.00000E+00	30
40	1	0	0.12650E+04	0.85000E+03	0.00000E+00	31
41	1	0	0.15500E+04	0.82500E+03	0.00000E+00	32
42	1	2	0.20800E+04	0.93000E+03	0.00000E+00	-11
43	1	1	0.13000E+03	0.82000E+03	0.00000E+00	-7
44	1	4	0.17000E+03	0.61000E+03	0.00000E+00	33
45	1	0	0.40000E+03	0.45000E+03	0.00000E+00	34
46	1	0	0.62000E+03	0.62000E+03	0.00000E+00	35
47	1	0	0.90000E+03	0.70000E+03	0.00000E+00	36
48	1	0	0.11000E+04	0.62000E+03	0.00000E+00	37
49	1	0	0.13000E+04	0.70000E+03	0.00000E+00	38
50	1	0	0.14000E+04	0.71000E+03	0.00000E+00	39
51	1	0	0.15000E+04	0.71000E+03	0.00000E+00	40
52	1	0	0.17500E+04	0.72000E+03	0.00000E+00	41
53	1	2	0.20600E+04	0.83000E+03	0.00000E+00	-12
54	1	4	0.60000E+03	0.36000E+03	0.00000E+00	42
55	1	0	0.99000E+03	0.46000E+03	0.00000E+00	43
56	1	0	0.75000E+03	0.31000E+03	0.00000E+00	44
57	1	4	0.90000E+03	0.27000E+03	0.00000E+00	45
58	1	0	0.10800E+04	0.22000E+03	0.00000E+00	-16
59	1	0	0.11750E+04	0.36500E+03	0.00000E+00	46
60	1	0	0.12800E+04	0.60000E+03	0.00000E+00	47
61	1	0	0.13300E+04	0.67000E+03	0.00000E+00	48
62	1	0	0.14800E+04	0.67500E+03	0.00000E+00	49
63	1	0	0.15050E+04	0.52500E+03	0.00000E+00	50
64	1	0	0.13350E+04	0.53500E+03	0.00000E+00	51
65	1	0	0.13600E+04	0.64000E+03	0.00000E+00	52
66	1	0	0.14100E+04	0.66000E+03	0.00000E+00	53
67	1	0	0.14600E+04	0.64000E+03	0.00000E+00	54
68	1	0	0.14700E+04	0.60000E+03	0.00000E+00	55
69	1	0	0.14600E+04	0.56000E+03	0.00000E+00	56
70	1	0	0.14100E+04	0.54000E+03	0.00000E+00	57
71	1	0	0.13600E+04	0.56000E+03	0.00000E+00	58

72	1	0	0.13500E+04	0.60000E+03	0.00000E+00	59
73	1	0	0.13100E+04	0.51000E+03	0.00000E+00	60
74	1	0	0.14200E+04	0.48000E+03	0.00000E+00	61
75	1	0	0.15500E+04	0.49000E+03	0.00000E+00	62
76	1	0	0.15600E+04	0.61000E+03	0.00000E+00	63
77	1	5	0.15000E+04	0.16000E+03	0.00000E+00	-17
78	1	0	0.17500E+04	0.33000E+03	0.00000E+00	64
79	1	0	0.19500E+04	0.17000E+03	0.00000E+00	-18
80	1	0	0.20050E+04	0.50000E+03	0.00000E+00	65
81	1	2	0.21000E+04	0.74000E+03	0.00000E+00	-13
82	1	5	0.23500E+04	0.26000E+03	0.00000E+00	-19
83	1	2	0.23200E+04	0.88000E+03	0.00000E+00	-14
84	1	0	0.24400E+04	0.61500E+03	0.00000E+00	66
85	1	0	0.26800E+04	0.50000E+03	0.00000E+00	-20
86	1	3	0.28500E+04	0.90000E+03	0.00000E+00	67
87	1	2	0.22000E+04	0.73000E+03	0.00000E+00	-15

COMMENTAIRES

DEFINITION DES CONSTANTES PHYSIQUES

(il n'y a pas de constantes sur les arêtes, ni de force volumique mais les en-tête de ces cartes doivent apparaître. Il est ensuite inutile d'imposer une valeur nulle à ces constantes car MEFISTO initialise à 0 les constantes qui n'ont pas été définies explicitement)

Pour chaque sous-domaine il faut donner:

- coeff. emmag. (valeur sans importance ici puisqu'on étudie un problème stationnaire)
- transmissivités T_{xx} , T_{yy} et T_{xy} ($T_{xx}=T_{yy}$ et $T_{xy}=0$ ici)
- nombre de points de Gauss (on impose 5 points ici car certains éléments sont assez distordus) (3 valeurs)

```
*****
* APPEL DU BLOC 'MILI' (M= 0) (MLUN= 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0) *
*****
```

LECTURE DES CONSTANTES DE MILIEUX

CARTES DE PROPRIETES

```
>>>>> 7 SURF 0
>>>>> 1 0 0.00000E+00 0.10000E-01 0.10000E-01 0.00000E+00 0.90000E+01 0.90000E+01 0.90000E+01
>>>>> 2 0 0.00000E+00 0.20000E-01 0.20000E-01 0.00000E+00 0.90000E+01 0.90000E+01 0.90000E+01
>>>>> 3 0 0.00000E+00 0.50000E-01 0.50000E-01 0.00000E+00 0.90000E+01 0.90000E+01 0.90000E+01
>>>>> 4 0 0.00000E+00 0.50000E-01 0.50000E-01 0.00000E+00 0.90000E+01 0.90000E+01 0.90000E+01
>>>>> 0 0 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
>>>>> 2 ARET 0
>>>>> 0 0 0.00000E+00 0.00000E+00
>>>>> 0 0
```

DIMENSION DE L'ESPACE

(NDIM)= 2

NOMBRE	PAR VOLUME(3D)	(NVOLM)=	0
DE CONSTANTES	PAR SURFACE(2D)	(NSURM)=	7
DE	PAR ARETE	(NAREM)=	2
MATERIAUX	PAR SOMMET	(NPOIM)=	0

(UN NOMBRE NEGATIF INDIQUE QUE CES CONSTANTES SERONT DONNEES PAR LE SOUS-PROGRAMME 'SPHILI')

 * APPEL DU BLOC 'FORC' (M= 0) (MLUN= 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0) *

LECTURE DES CONSTANTES DE FORCES =====

CARTES DE PROPRIETES

```
>>>> 1 SURF 0
>>>> 0 0 0.00000E+00
>>>> 4 ARET 0
>>>> 0 0 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
>>>> 0 0
```

DIMENSION DE L'ESPACE		(NDIM)=	2
NOMBRE	PAR VOLUME(3D)	(NVOLF)=	0
DE CONSTANTES	PAR SURFACE(2D)	(NSURF)=	1
DE	PAR ARETE	(NAREF)=	4
FORCES	PAR SOMMET	(NPOIF)=	0

(UN NOMBRE NEGATIF INDIQUE QUE CES CONSTANTES SERONT DONNEES PAR LE SOUS-PROGRAMME 'SPFORC')

 * APPEL DU BLOC 'FLMS' (M= 0) (MLUN= 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0) *

CREATION DU FICHIER DES ELEMENTS =====

INDICATEUR DE MODIFICATION DES PROPRIETES	(NMODPR)=	2
FACTEUR D'IMPRESSION DES ELEMENTS	(IMPRLM)=	0

NOMBRE TOTAL D'ELEMENTS	(NELT)=	23
NOMBRE MAX. DE NOEUDS PAR ELEMENT	(NNEL)=	8
INDICE DE PROBLEME NON SYMETRIQUE	(NSYM)=	0
LONGUEUR D'UN TRIANGLE DE KG	(NKG)=	797
LARGEUR DE BANDE MAXIMUM	=	47
LARGEUR DE BANDE MOYENNE	=	11.90

國家社會科學委員會

```

*****
* APPEL DU BLOC 'SOLC'      (M= 0)  (MLUN=  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0) *
*****

```

此表由被调查人填写，调查人不得代填。调查人应认真核对，如有错误，应予以纠正。调查人应认真核对，如有错误，应予以纠正。

```

*****
* APPEL DU BLOC 'LINM'      (M= 0)      (MLUN=  0  0  0  40  0  0  0  0  0  0) *
*****

```

江蘇省南京市政府秘書長 王 明 啟

五、参考文献

- 129 -

PIVOT MINIMUM VALEUR ABSOLUE = 0.13556E-01 EQUATION: 2
 VALEUR ALGEBRIQUE= 0.13556E-01 EQUATION: 2
 DETERMINANT = 0.68035E+00 * 10 ** -70

RESIDU DE RESOLUTION MAX.= 0.25272E-04 EQUATION: 50

SOLUTION

NOEUDS	X	Y	Z	DEGRES DE LIBERTE (* = IMPOSE)
1	0.80000E+03	0.17000E+04	0.00000E+00	0.17400E+03 *
2	0.88000E+03	0.18100E+04	0.00000E+00	0.17320E+03
3	0.10500E+04	0.19100E+04	0.00000E+00	0.17204E+03
4	0.13000E+04	0.17800E+04	0.00000E+00	0.17062E+03
5	0.15000E+04	0.18000E+04	0.00000E+00	0.16943E+03
6	0.17700E+04	0.18200E+04	0.00000E+00	0.16858E+03
7	0.20000E+04	0.17500E+04	0.00000E+00	0.16804E+03
8	0.22000E+04	0.16400E+04	0.00000E+00	0.16768E+03
9	0.24000E+04	0.15500E+04	0.00000E+00	0.16743E+03
10	0.26000E+04	0.14200E+04	0.00000E+00	0.16707E+03
11	0.82000E+03	0.15000E+04	0.00000E+00	0.17400E+03 *
12	0.11700E+04	0.16800E+04	0.00000E+00	0.17134E+03
13	0.16200E+04	0.15900E+04	0.00000E+00	0.16874E+03
14	0.20100E+04	0.15100E+04	0.00000E+00	0.16782E+03
15	0.95000E+03	0.13000E+04	0.00000E+00	0.17400E+03 *
16	0.11000E+04	0.13900E+04	0.00000E+00	0.17161E+03
17	0.12500E+04	0.14300E+04	0.00000E+00	0.17021E+03
18	0.14500E+04	0.14200E+04	0.00000E+00	0.16896E+03
19	0.16800E+04	0.13500E+04	0.00000E+00	0.16802E+03
20	0.18500E+04	0.13100E+04	0.00000E+00	0.16767E+03
21	0.20400E+04	0.13100E+04	0.00000E+00	0.16757E+03
22	0.23500E+04	0.13100E+04	0.00000E+00	0.16731E+03
23	0.27700E+04	0.12300E+04	0.00000E+00	0.16662E+03
24	0.92000E+03	0.12000E+04	0.00000E+00	0.17400E+03 *
25	0.12300E+04	0.12200E+04	0.00000E+00	0.16976E+03
26	0.16500E+04	0.11500E+04	0.00000E+00	0.16732E+03
27	0.20800E+04	0.11900E+04	0.00000E+00	0.16778E+03
28	0.25450E+04	0.11350E+04	0.00000E+00	0.16667E+03
29	0.80000E+03	0.11000E+04	0.00000E+00	0.17400E+03 *
30	0.10150E+04	0.10500E+04	0.00000E+00	0.17069E+03
31	0.12300E+04	0.10000E+04	0.00000E+00	0.16800E+03
32	0.14150E+04	0.97000E+03	0.00000E+00	0.16644E+03
33	0.16000E+04	0.94000E+03	0.00000E+00	0.16590E+03
34	0.18600E+04	0.98000E+03	0.00000E+00	0.16691E+03
35	0.21200E+04	0.10200E+04	0.00000E+00	0.16800E+03 *
36	0.22200E+04	0.10900E+04	0.00000E+00	0.16800E+03 *
37	0.23200E+04	0.10400E+04	0.00000E+00	0.16800E+03 *
38	0.45000E+03	0.10200E+04	0.00000E+00	0.17400E+03 *
39	0.85000E+03	0.90000E+03	0.00000E+00	0.17067E+03
40	0.12650E+04	0.85000E+03	0.00000E+00	0.16569E+03
41	0.15500E+04	0.82500E+03	0.00000E+00	0.16445E+03
42	0.20800E+04	0.93000E+03	0.00000E+00	0.16800E+03 *
43	0.13000E+03	0.82000E+03	0.00000E+00	0.17400E+03 *
44	0.17000E+03	0.61000E+03	0.00000E+00	0.17256E+03
45	0.40000E+03	0.45000E+03	0.00000E+00	0.16998E+03
46	0.62000E+03	0.62000E+03	0.00000E+00	0.16977E+03
47	0.90000E+03	0.70000E+03	0.00000E+00	0.16831E+03
48	0.11000E+04	0.62000E+03	0.00000E+00	0.16596E+03

49	0.13000E+04	0.70000E+03	0.00000E+00	0.16256E+03
50	0.14000E+04	0.71000E+03	0.00000E+00	0.16135E+03
51	0.15000E+04	0.71000E+03	0.00000E+00	0.16201E+03
52	0.17500E+04	0.72000E+03	0.00000E+00	0.16497E+03
53	0.20600E+04	0.83000E+03	0.00000E+00	0.16800E+03 *
54	0.60000E+03	0.36000E+03	0.00000E+00	0.16929E+03
55	0.99000E+03	0.46000E+03	0.00000E+00	0.16735E+03
56	0.75000E+03	0.31000E+03	0.00000E+00	0.16842E+03
57	0.90000E+03	0.27000E+03	0.00000E+00	0.16790E+03
58	0.10800E+04	0.22000E+03	0.00000E+00	0.16800E+03 *
59	0.11950E+04	0.36500E+03	0.00000E+00	0.16604E+03
60	0.12800E+04	0.60000E+03	0.00000E+00	0.16300E+03
61	0.13300E+04	0.67000E+03	0.00000E+00	0.16164E+03
62	0.14800E+04	0.67500E+03	0.00000E+00	0.16122E+03
63	0.15050E+04	0.52500E+03	0.00000E+00	0.16219E+03
64	0.13350E+04	0.53500E+03	0.00000E+00	0.16208E+03
65	0.13600E+04	0.64000E+03	0.00000E+00	0.16040E+03
66	0.14100E+04	0.66000E+03	0.00000E+00	0.16007E+03
67	0.14600E+04	0.64000E+03	0.00000E+00	0.16018E+03
68	0.14700E+04	0.60000E+03	0.00000E+00	0.16076E+03
69	0.14600E+04	0.56000E+03	0.00000E+00	0.16054E+03
70	0.14100E+04	0.54000E+03	0.00000E+00	0.16059E+03
71	0.13600E+04	0.56000E+03	0.00000E+00	0.16075E+03
72	0.13500E+04	0.60000E+03	0.00000E+00	0.16106E+03
73	0.13100E+04	0.51000E+03	0.00000E+00	0.16317E+03
74	0.14200E+04	0.48000E+03	0.00000E+00	0.16253E+03
75	0.15500E+04	0.49000E+03	0.00000E+00	0.16331E+03
76	0.15600E+04	0.61000E+03	0.00000E+00	0.16267E+03
77	0.15000E+04	0.16000E+03	0.00000E+00	0.16650E+03 *
78	0.17500E+04	0.33000E+03	0.00000E+00	0.16510E+03
79	0.19500E+04	0.17000E+03	0.00000E+00	0.16500E+03 *
80	0.20050E+04	0.50000E+03	0.00000E+00	0.16578E+03
81	0.21000E+04	0.74000E+03	0.00000E+00	0.16800E+03 *
82	0.23500E+04	0.26000E+03	0.00000E+00	0.16350E+03 *
83	0.23200E+04	0.88000E+03	0.00000E+00	0.16800E+03 *
84	0.24400E+04	0.61500E+03	0.00000E+00	0.16484E+03
85	0.26800E+04	0.50000E+03	0.00000E+00	0.16200E+03 *
86	0.28500E+04	0.90000E+03	0.00000E+00	0.16566E+03
87	0.22000E+04	0.73000E+03	0.00000E+00	0.16800E+03 *

-----> VECTEUR SOLUTION TOTAL SAUVE SUR LE FICHIER (M4=) 40
 1 enregistrement logique: NREEL,I_UN,NBLT,ZERO,(VRES(I),I=1,NBLT)

 * APPEL DU BLOC 'STOP' (M= 0) (MLUN= 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0) *

FIN DU PROBLEME, 2325 MOTS UTILISES SUR 100000

USERNAME : EAUGROUP3
 NUMERO D'IMPUTATION : MK527
 DATE : 3-JAN-85 10:51:35

M. RECAN

- 132 -

	1	15	17	3	11	16	12	2
	1	0	0	3				
2				1	1			
	3	17	19	5	12	18	13	4
	0	0	0	3				
3				1	1			
	5	19	21	7	13	20	14	6
	0	0	0	3				
4				1	1			
	7	21	23	9	14	22	10	8
	0	0	3	3				
5				2	1			
	15	29	31	17	24	30	25	16
	1	0	0	0				
6				2				
	17	31	33	19	25	32	26	18
7				2				
	19	33	35	21	26	34	27	20
8				2	1			
	21	35	37	23	27	36	28	22
	0	2	0	0				
9				2	1			
	43	45	47	29	44	46	39	38
	4	0	0	1				
10				2				
	29	47	49	31	39	48	40	30
11				2				
	31	49	51	33	40	50	41	32
12				2	1			
	33	51	53	35	41	52	42	34
	0	0	2	0				
13				3	1			
	45	56	58	47	54	57	55	46
	4	4	0	0				
14				3				
	47	58	73	49	55	59	60	48
15				3	1			
	73	58	79	75	59	77	78	74
	0	5	0	0				
16				3				
	75	79	53	51	78	80	52	76
17				3	1			
	53	79	85	87	80	82	84	81
	0	5	0	2				
18				3	1			
	87	85	23	37	84	86	28	83
	0	3	0	2				
19				3				
	71	73	75	69	64	74	63	70
20				3				
	69	75	51	67	63	76	62	68
21				3				
	67	51	49	65	62	50	61	66
22				3				
	65	49	73	71	61	60	64	72
23				4				
	71	69	67	65	70	68	66	72

0

Fig. 7 (suite)

IMAG

COMT

SIMULATION TC1

les donnees du maillage (bloc DFND) sont donnees dans le fichier PC1.DFN

la S.D. NOPO construite par DFND est sauvegardee sur TC1.NOP

la solution du probleme est sauvegardee dans TC1.SOL

la piezometrie initiale a ete realisablement calculee a partir de la solution stationnaire correspondant aux conditions imposees a l'instant $t=0$.

le fichier TC1.DER contiendra la solution au dernier pas de temps, ce qui permettrait de reprendre le calcul ulterieurement.

OPEN -1

30OLD	FORMA	10	PC1.DFN
31NEW	UNFOR	10	TC1.NOP
40NEW	UNFOR	10	TC1.SOL
41OLD	UNFOR	10	PC1CAL.SOL
42NEW	UNFOR	10	TC1DER.SOL

0

DFND 0 30 31

COMT

CONDITIONS AUX LIMITES

charge imposee (174 m) sur le bord du grand lac (noeuds ref. 1)

charge imposee (168 m) sur le bord du petit lac (noeuds ref. 2)

charge decroissante le long de la riviere et variable au cours du temps
temps en jours

CNDV	0	
7	0	10
1	1	
-1		
2		
	0	174.0
	10	174.0
2	1	
-2		
2		
	0	168.0
	10	168.0
3	1	
58		
6		
	0	168.0
	15.208	168.6
	30.417	169.4
	60.833	169.0
	91.250	168.2
	121.667	168.0
4	1	
77		
7		
	0	166.5
	15.208	167.0
	30.417	167.8
	60.833	167.4
	91.250	166.8
	121.667	166.6
	152.083	166.5
5	1	
79		
7		
	0	165.0
	15.208	165.4
	30.417	166.2

Fig. 8 : Donnees pour le calcul transitoire

60.833	165.8
91.250	165.4
121.667	165.2
152.083	165.0
6	1

02

7	0	163.5
15.208		163.9
30.417		164.6
60.833		164.3
91.250		163.9
121.667		163.7
152.083		163.5
7	1	

05

7	0	162.0
15.208		162.4
30.417		163.0
60.833		162.8
91.250		162.4
121.667		162.2
152.083		162.0

0

COMT

DEFINITION DES CONSTANTES PHYSIQUES

(il n'y a pas de constantes sur les aretes, ni de force volumique mais les en-tete de ces cartes doivent apparaitre. Il est ensuite inutile d'imposer une valeur nulle a ces constantes car MEFISTO initialise a 0 les constantes qui n'ont pas ete definies explicitement)

Pour chaque sous-domaine il faut donner:

- coefficient d'emmassinement
- transmissivites Txx, Tyy et Txy (Txx=Tyy et Txy=0 ici)
- nombre de points de Gauss (on impose 9 points ici car certains elements sont assez distordus) (3 valeurs)
- Transmissivites en m2/Jours

MILI	0							
7 SURF	0							
1	0	0.02	1728.0	1728.0	0.0	9.	9.	9.
2	0	0.02	1728.0	1728.0	0.0	9.	9.	9.
3	0	0.05	4320.0	4320.0	0.0	9.	9.	9.
4	0	0.05	4320.0	4320.0	0.0	9.	9.	9.

0

2 ARET	0
--------	---

0

FORC	0
1 SURF	0
4 ARET	0

0

FLMS	0
0	0

COMT

introduction des sollicitations concentrees

on affecte le meme debit a chacun des puits variant de 0 a 0.1m3/s soit 0 a 8640m3/Jour.

il est inutile d'appeler SOLR puisqu'il n'y a pas de sollicitations reparties definies dans FORC. Il aurait ete INDISPENSABLE d'appeler

Fig. 8 (suite)

le bloc SOLR si on avait defini un flux penetrant certaines frontieres
a l'aide de FORC / ARET.

```

SLCV      0
  1      0      6
  1      1
  65     66     67     69     70     71
  10
  167.292    -1728.
  102.500    -3456.
  197.708    -5184.
  212.917    -6912.
  228.125    -8640.
  304.167    -6912.
  319.375    -5184.
  334.583    -3456.
  349.792    -1728.
  365.000      0.
0
TRLV      0      0      41     42     40
  2      0.
  3.802      8      1      1      .5
  3.802     88      4      4      .5
0
STOP

```

Fig. 8 (suite)

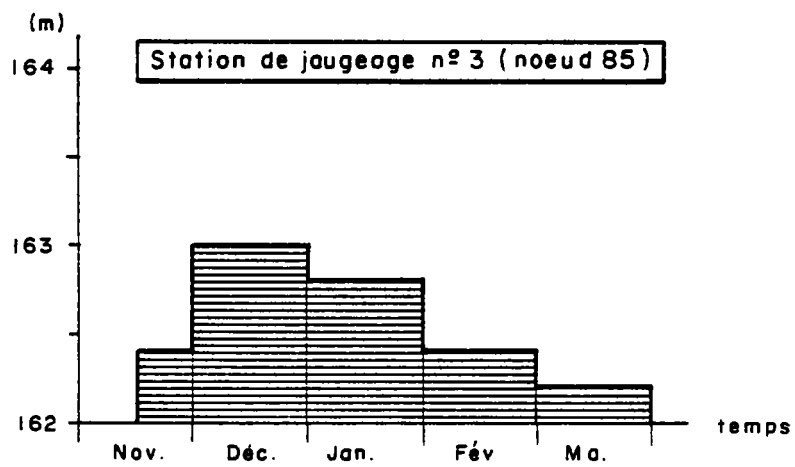
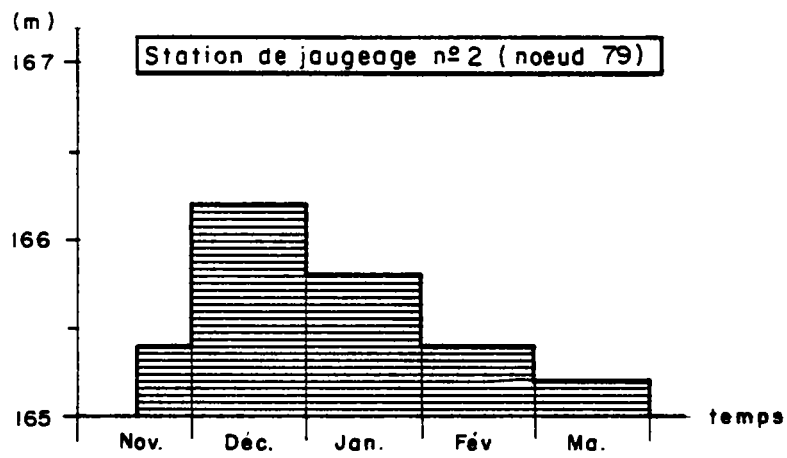
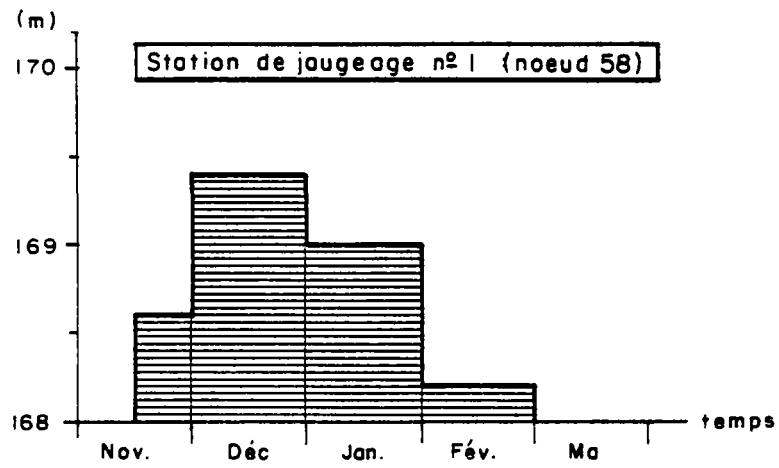


fig. 9 - Variation des niveaux de la rivière

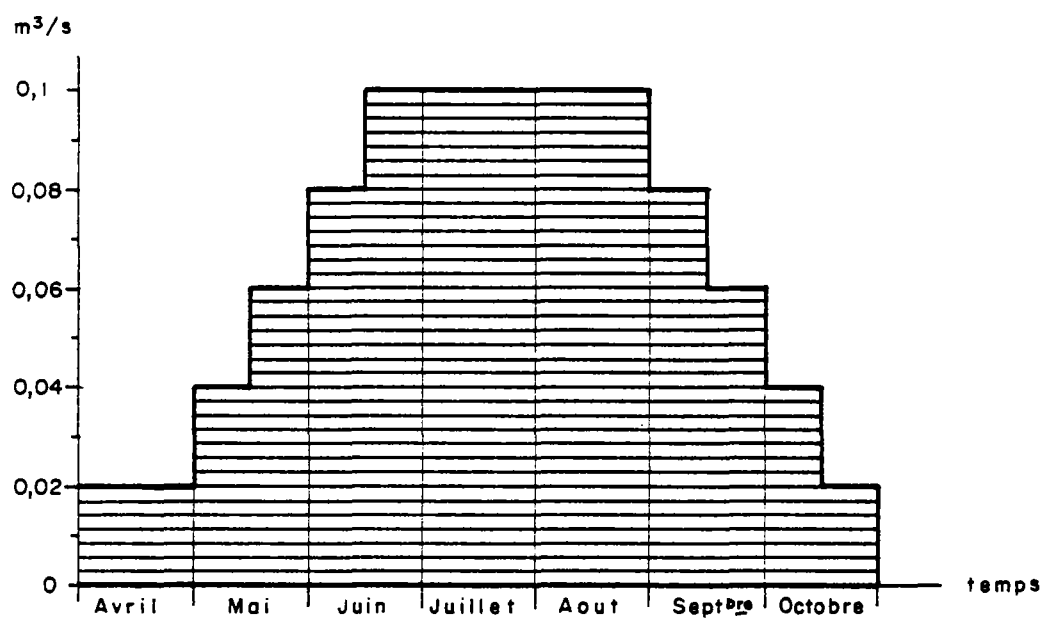


fig. 10 - Variation du débit de pompage à la station
(débit en chacun des 6 puits)

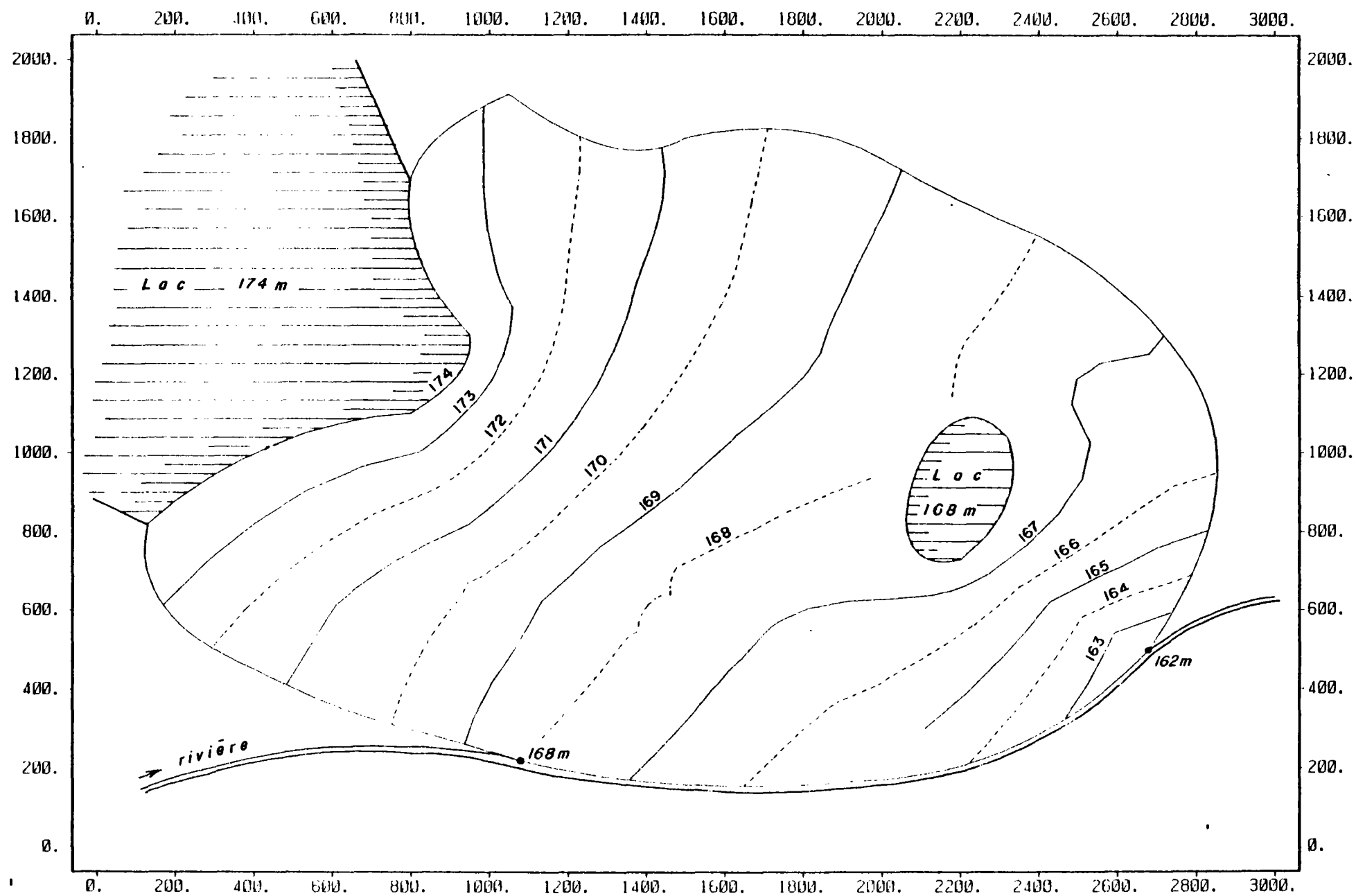


fig.11 - Piézométrie initiale - (début Novembre)

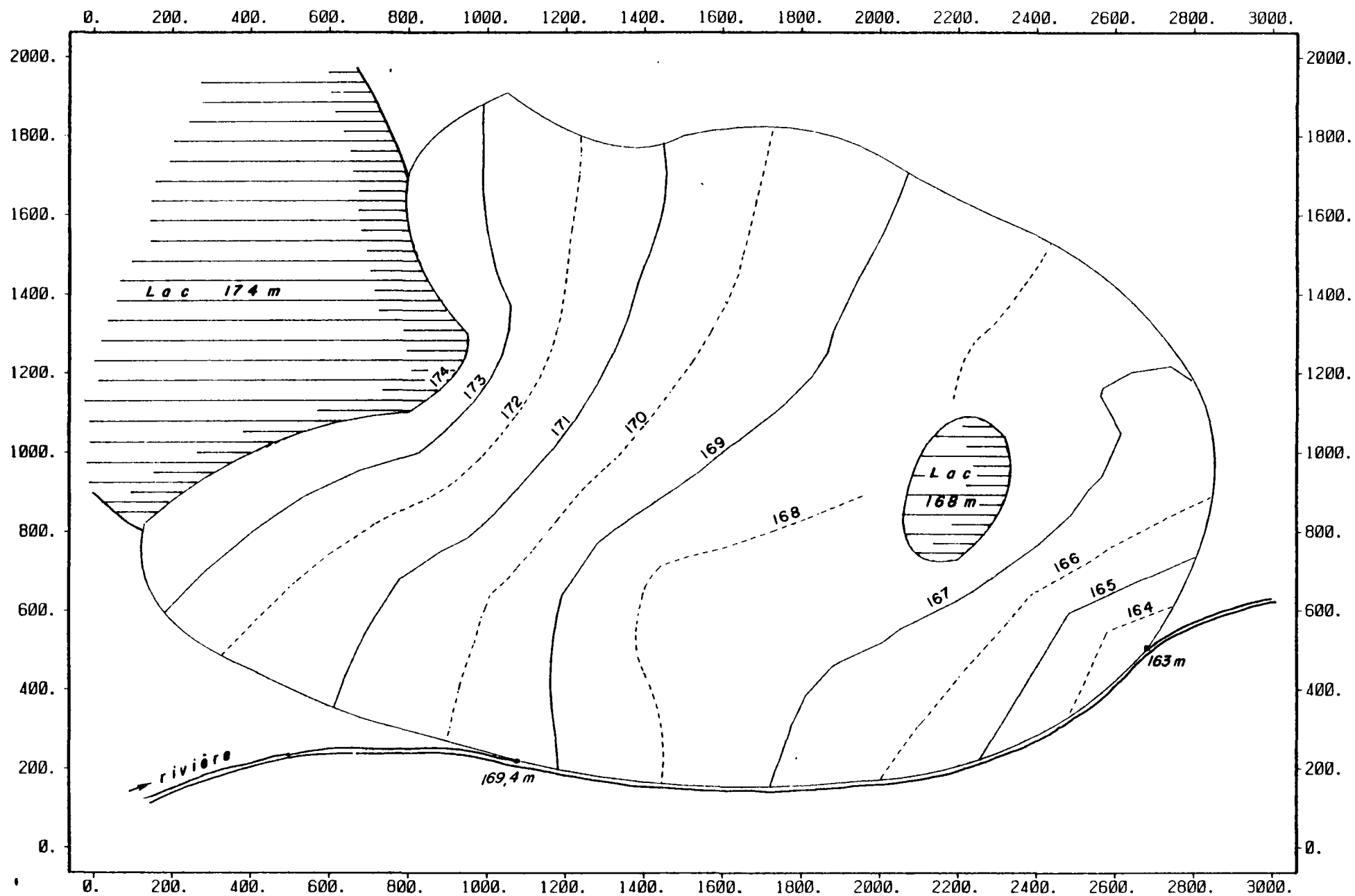


fig.12 - Piézométrie au temps $t = 30.42$ jours (début Décembre - rivière au niveau maximum)

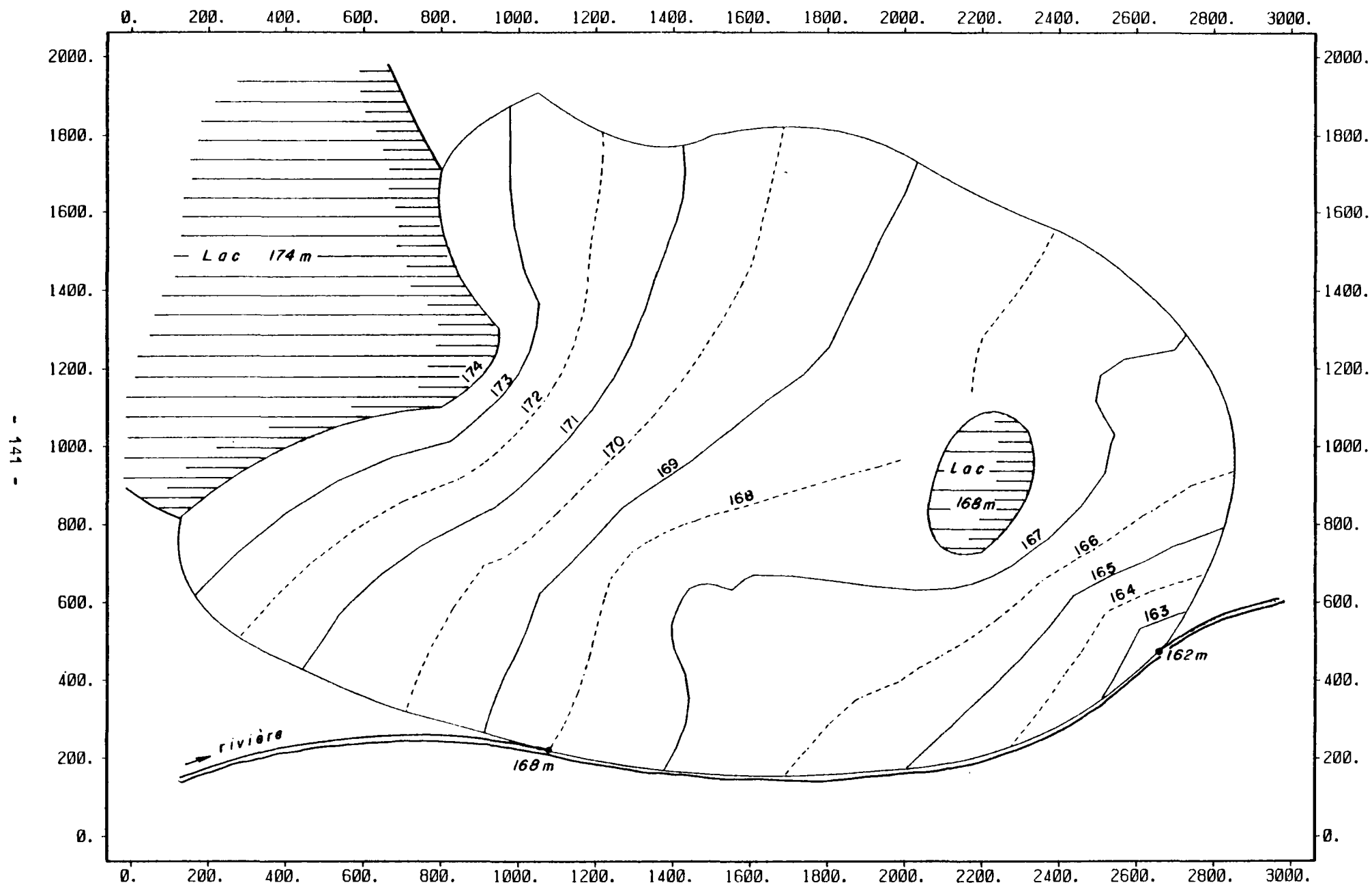


fig. 13 - Piézométrie au temps $t = 121.6$ jours (début Mars - fin de la période de crue)

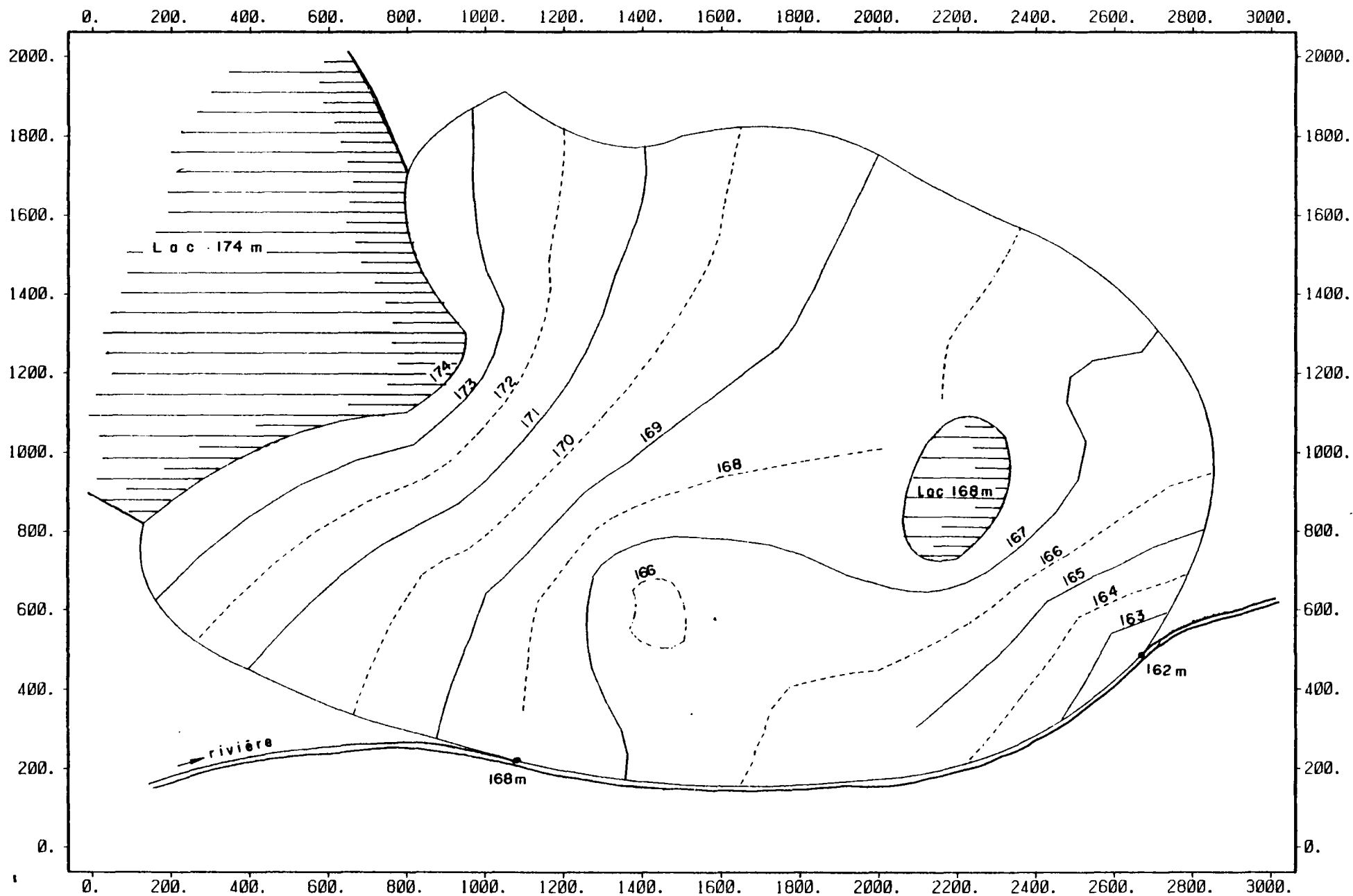


fig.14 - Piézométrie au temps $t = 182.5$ jours (début Mai - Pompage de $0.24 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station)

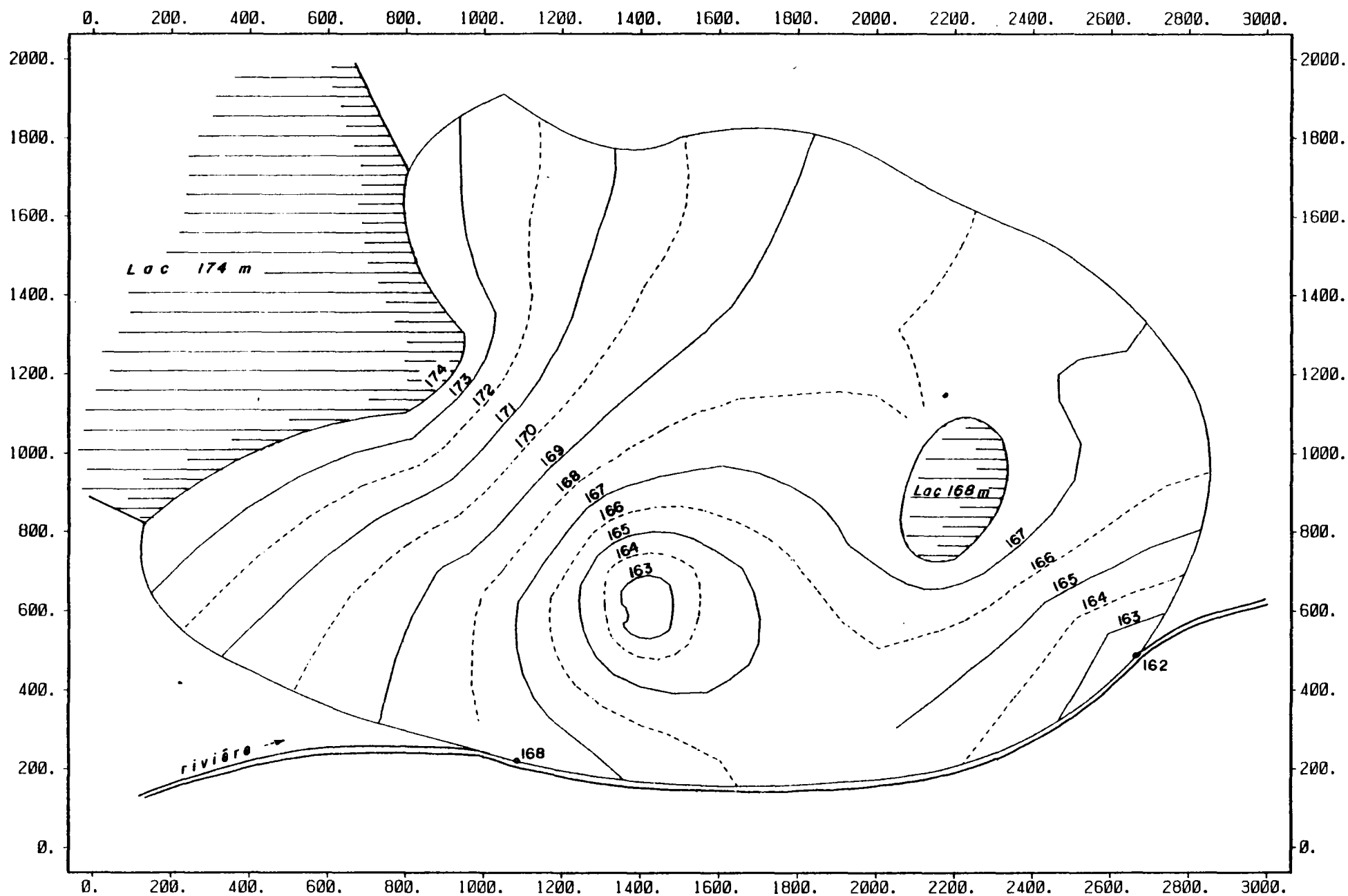


fig.15 - Piézométrie au temps $t = 243,3$ jours (début Juillet - Pompage de $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station)

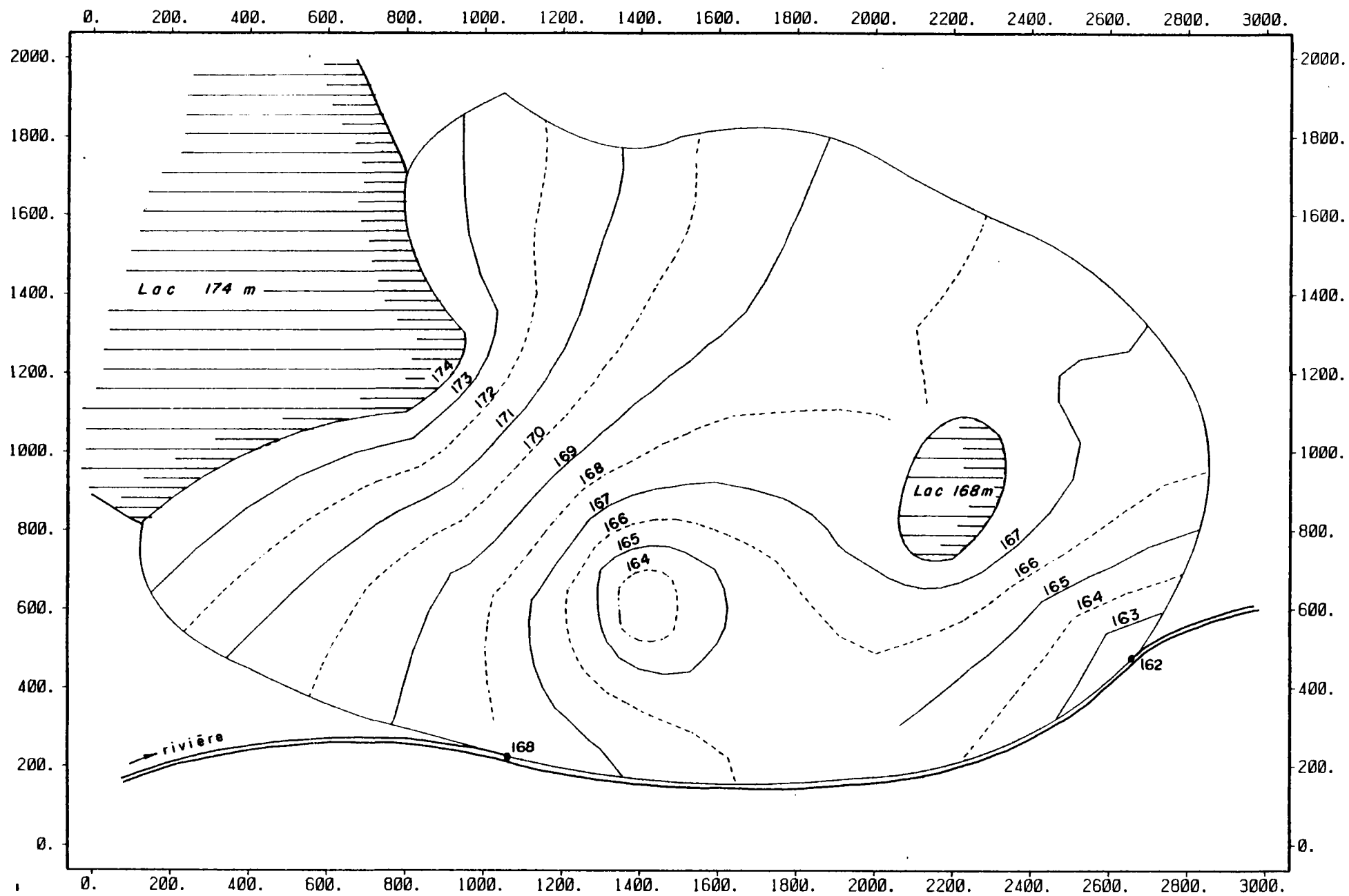


fig.16 - Piézométrie au temps $t = 304.2$ jours - (début Septembre - Pompage de $0.48 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station)

ANNEXE A

NUMEROTATION
DES NOEUDS,
DES ARETES
ET DES FACES
D'UN ELEMENT

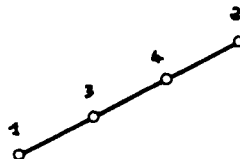
L'ordre de rangement des noeuds de chaque type geometrique d'element doit etre fixe. Il est losique de choisir un ordre suivant la decroissance de la probabilite d'utilisation, c'est-a-dire :

1. les noeuds sommets
2. les noeuds des aretes
3. les noeuds des faces
4. les noeuds internes

On trouvera ci-dessous le rangement pour chaque type geometrique d'element avec la definition des sens des aretes et des faces.

A.1 LE SEGMENT

direction 1 --> 2

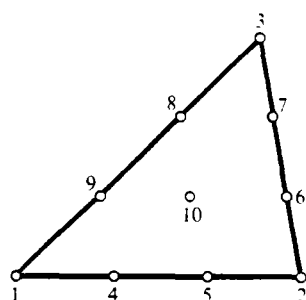


A.2 LE TRIANGLE

arete 1 : 1 --> 2

arete 2 : 2 --> 3

arete 3 : 3 --> 1



(numeration dans le sens direct)

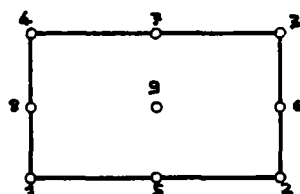
A.3 LE QUADRANGLE

arete 1 : 1 --> 2

arete 2 : 2 --> 3

arete 3 : 3 --> 4

arete 4 : 4 --> 1

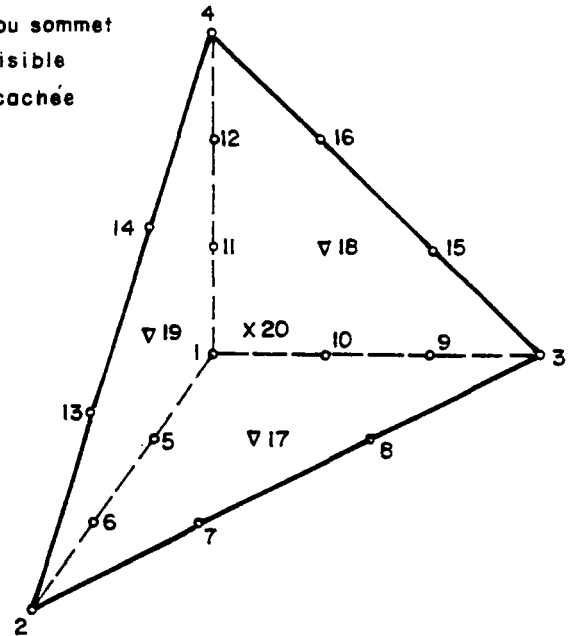


(numeration dans le sens direct)

A.4 LE TETRAEDRE

o noeud arête ou sommet
 x noeud face visible
 ▽ noeud face cachée

arête 1 : 1 --> 2
 arête 2 : 2 --> 3
 arête 3 : 3 --> 1
 arête 4 : 1 --> 4
 arête 5 : 2 --> 4
 arête 6 : 3 --> 4



face 1 : 1 - 3 - 2 ('noeud' 17)
 face 2 : 1 - 4 - 3 ('noeud' 18)
 face 3 : 1 - 2 - 4 ('noeud' 19)
 face 4 : 2 - 3 - 4 ('noeud' 20)

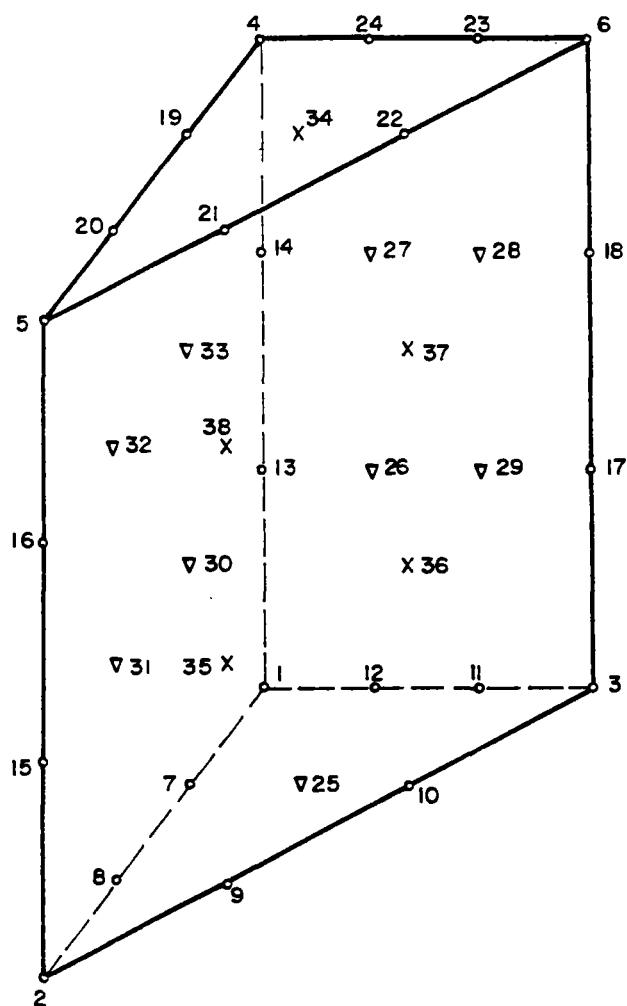
--> --> -->

(le triedre 12, 13, 14 est positif)

(une face, vue de l'extérieur de l'élément,
 est dans le sens direct)

A.5 LE PENTAEDRE

arete 1 : 1 --> 2
 arete 2 : 2 --> 3
 arete 3 : 3 --> 1
 arete 4 : 1 --> 4
 arete 5 : 2 --> 5
 arete 6 : 3 --> 6
 arete 7 : 4 --> 5
 arete 8 : 5 --> 6
 arete 9 : 6 --> 4



face 1 : 1 - 3 - 2 ('noeud' 25)
 face 2 : 1 - 4 - 6 - 3 ('noeuds' 26 a 29)
 face 3 : 1 - 2 - 5 - 4 ('noeuds' 30 a 33)
 face 4 : 4 - 5 - 6 ('noeud' 34)
 face 5 : 2 - 3 - 6 - 5 ('noeuds' 35 a 38)

--> --> -->
 (le triedre 12, 13, 14 est positif)

(une face, vue de l'exterieur de l'element,
 est dans le sens direct)

A.6 L'HEXAEDRE

```

arete 1 : 1 --> 2
arete 2 : 2 --> 3
arete 3 : 3 --> 4
arete 4 : 4 --> 1
arete 5 : 1 --> 5
arete 6 : 2 --> 6
arete 7 : 3 --> 7
arete 8 : 4 --> 8
arete 9 : 5 --> 6
arete 10 : 6 --> 7
arete 11 : 7 --> 8
arete 12 : 8 --> 5

```

```

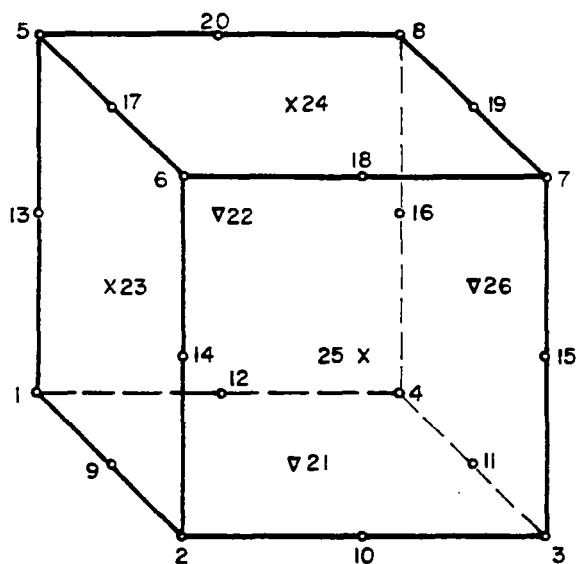
face 1 : 1 - 4 - 3 - 2 ('noeud' 21)
face 2 : 1 - 5 - 8 - 4 ('noeud' 22)
face 3 : 1 - 2 - 6 - 5 ('noeud' 23)
face 4 : 5 - 6 - 7 - 8 ('noeud' 24)
face 5 : 2 - 3 - 7 - 6 ('noeud' 25)
face 6 : 3 - 4 - 7 - 8 ('noeud' 26)

```

--> --> -->

(le triedre 12, 14, 15 est positif)

(une face, vue de l'exterieur de l'element,
est dans le sens direct)



ANNEXE D

L I S T E
D E S
V A R I A B L E S
E N
C O M M U N

```

COMMON /ALLOC/
& NVA,IVA,IVAMAX,NREEL,NOMTAB,
& NTYTAB(200),NTAB(200),IATAB(200),LTAB(200),NPERMU(200)

NVA      : longueur en mots entiers du tableau de travail
          dans le common blanc (KVA)
IVA      : 1ere adresse libre du tableau de travail
          derriere tous les tableaux actifs
IVAMAX   : valeur max. prise par IVA au cours du probleme
NREEL    : nombre d'entiers dans un reel
          1 en simple precision
          2 en double precision (implicite)
NOMTAB   : nombre de tableaux actifs dans le tableau de
          travail (<200)
NTYTAB   : type des tableaux actifs selon le code
          1 : entier (4 bytes)
          2 : reel*4 (4 bytes)
          3 : logique (4 bytes)
          4 : caractere (4 bytes = 4 caracteres)
          5 : real*8 (8 bytes)
          6 : complexe (8 bytes)
          7 : complexe real*8 (16 bytes)
NTAB     : nom des tableaux actifs (sur 4 caracteres)
IATAB    : adresse dans KVA des tableaux actifs
LTAB     : longueur en mots entiers des tableaux actifs
NPERMU   : NPERMU(I) est l'ordre dans les tables de section
          du tableau actif classe en Ieme position selon
          les adresses croissantes du tableau de travail KVA

```

```

COMMON /APPEL/
& ICOND,ISOLC,IINDL,ISLCV,IMILI,IFORC,IPRND,INOPO

ICOND    : = 1 si le bloc 'COND' a ete appele, = 0 sinon
ISOLC    : = 1 si le bloc 'SOLC' a ete appele, = 0 sinon
IINDL    : = 1 si le bloc 'INDL' a ete appele, = 0 sinon
ISLCV    : = 1 si le bloc 'SLCV' a ete appele, = 0 sinon
IMILI    : = 1 si le bloc 'MILI' a ete appele, = 0 sinon
IFORC    : = 1 si le bloc 'FORC' a ete appele, = 0 sinon
IPRND    : = 1 si le bloc 'PRND' a ete appele, = 0 sinon
INOPO    : = 1 si les tableaux NOP4 et NOP5 de la s.d NOP0
          sont en M.C., = 0 sinon

```

```

COMMON /COND/
% NCLT,NCLZ,NCLNZ,NGCND,NSPCND,LGDIMP,LGNDON,
% LGVCND,NCUMUL

NCLT   : nombre total de d.l. imposees
NCLZ   : nombre total de d.l. imposees a zero
NCLNZ  : nombre total de d.l. imposees a une valeur
        non nulle
NGCND  : nombre de groupes de conditions aux limites
NSPCND : = 1 si les valeurs de tous les d.l. bloquees
        sont donnees a tout instant par le
        sous-programme (a fournir) SPCNDV
LGDIMP : dimension du tableau 'DIMP'
LGNDON : dimension du tableau 'NDON'
LGVCND : dimension du tableau 'VCND'
NCUMUL : = 0 si le cumul de la table 'DLNC' n'a pas
        encore ete effectue, = 1 sinon

COMMON /CONST/
% SPECL,ISPECL

SPECL  : valeur reelle particuliere (=1.23456789D31)
ISPECL : valeur entiere particuliere (=2147483648)
        (=valeur max. d'un INTEGER*4)

COMMON /EGAL/
% NGEGL,LGEGL

NGEGL  : nombre de groupes de relations d'egalite
LGEGL  : dimension du tableau 'EGDL'

COMMON /ELEM/
% NTYELM,NNEL,NDLE,NSYM,NDLN,NDLCNT,NDLT,NEQ,NKG,NKE

NTYELM : nombre de types d'elements utilises
NNEL    : nombre maximum de noeuds d'un element
NDLE    : nombre maximum de d.l. d'un element
NSYM    : = 0 si [K] est symetrique
        = 1 si [K] n'est pas symetrique
NDLN    : nombre maximum de d.l. d'un noeud
NDLCNT  : = 0 si tous les noeuds ne supportent pas le meme
        nombre de d.l., = NDLN sinon
NDLT    : nombre total de degres de liberte
NEQ     : nombre d'equations du probleme
NKG     : nombre de termes du triangle superieur
        (ou inferieur) de [K], hors diagonale
NKE     : nombre max. de termes d'une matrice elementaire
        = NDLE*(NDLE+1)/2 si NSYM = 0
        = NDLE*NDLE      si NSYM = 1

```

COMMON /ERMCR/

% IERMCR,NUMLIG,NUMMAC

IERMCR : nombre d'erreurs rencontrees lors de l'execution
 du bloc 'MACR'
NUMLIG : numero de la ligne du maillage en cours de traitement
NUMMAC : numero du macro du maillage en cours de traitement

COMMON /ES/

% M,MR,MP,MLUN(10)

M : indice d'impression lors de l'execution d'un bloc
MR : numero de l' unite logique de lecture
 des donnees (=7)
MP : numero de l' unite logique d'impression
 des resultats (=8)
MLUN : numeros logiques des divers fichiers
 utilises par un bloc

COMMON /EULER/

% OMEGA,XPAS,DPAS,DPASO,NPAS,IPAS

OMEGA : coefficient de ponderation implicite-explicite
 pour la methode d'EULER
XPAS : niveau de sollicitation atteint
 (temps pour un pb transitoire)
DPAS : accroissement de sollicitation (pas de temps
 pour un pb transitoire)
DPASO : accroissement de sollicitation precedent
NPAS : nombre max. de pas de sollicitation
IPAS : numero du pas de sollicitation en cours

COMMON /FILES/

% MELM,MRES,MMAT

MELM : numero logique par default du fichier
 des elements (=1)
MRES : numero logique par default du fichier
 des residus (=2)
MMAT : numero logique par default du fichier
 des matrices elementaires (=3)

COMMON /FONC/

% NBFONC,LGFONC

NBFONC : nombre de fonctions (eventuellement interpretees)
 definies dans le bloc FONC
LGFONC : longueur en mots entiers du tableau FONC


```

COMMON /GRAD/
& MIMPG,MGRAD

MIMPG : facteur d'impression des gradients (ou contraintes)
MGRAD : numero d'unité logique des gradients (ou contraintes)
      (cf bloc LINM)

```

```

COMMON /GROUP/
& IG,IERGRP

IG      : numero du groupe
IERGRP : nombre d'erreurs rencontrees lors de
        l'execution du bloc

```

```

COMMON /LINM/
& NRES,NGRAD,NRINT,NREXT

NRES : indice de calcul des residus de resolution
NGRAD : indice de calcul des gradients dans les elements
NRINT : indice de calcul des reactions internes
NREXT : indice de calcul des reactions externes

```

```

COMMON /LMTRAV/
& JEL,INDIC_LMTRAV(9),XXX(*)

JEL      : numero de l'element en cours de traitement
INDIC_LMTRAV : tableau d'indicateurs utilises par les sous-
              programmes de calcul elementaires
XXX(*) : tableau de travail des sous-programmes de calculs
        elementaires

```

Ce common est utilise par les sous-programmes de calculs
 des vecteurs et matrices elementaires. Les 10 premiers
 indicateurs sont mis a zero par le programme MEFISTO
 lorsqu'un nouvel element est en cours de traitement

COMMON /LOC/

```
%
LCORG,LDLNC,LNEQ,LDIMP,LKGS,LKGD,LKGI,LLD,LFG,LRES,
%
LDLG,LFGO,LDLGO,LPRNG,LVOMG,LSUMG,LARMG,LPOMG,LVDFG,LSUFG,
%
LARFG,LPOFG,LLOCE,LCORE,LINE,LPRNE,LVOME,LSUME,LARME,LPOME,
%
LVQFE,LSUFE,LARFE,LPOFE,LDLE,LKE,LFE,LME,LDLEO,LREFG,
%
LTYEL,LGCND,LVCND,LTPLM,LGSLC,LNDSL,LVSLC,LMGD,LNDCN,LNOF1,
%
LNOF3,LNOF4,LNOF5,LEGAL,LEGDL,LVOMD,LSUMD,LARMD,LPOMD,LVOFD,
%
LSUFD,LARFD,LPOFD,LVOMV,LSUMV,LARMV,LPOMV,LVOFV,LSUFV,LARFV,
%
LPOFV,LHCR3,LHCR4,LHCR5,LHCR6,LHCR7,LHCR8,LHCR9,LHCRA,LFONC,
%
LDFON,L82,L83,L84,L85,L86,L87,L88,L89,L90,
%
L91,L92,L93,L94,L95,L96,L97,L98,L99,L100
```

Le common /LOC/ contient les adresses des principaux tableaux
utilises (c.f. liste des tables de MEFISTO et common /NOHLOC/)

COMMON /MACR/

```
% NOEMAX,NBXINF,EPS
```

NOEMAX : nombre de noeuds max. d'une liste
NBXINF : nombre max. d'infos par macro
EPS : precision pour la comparaison des coordonnees

COMMON /MCR0/

```
% MCRTIT(20),NDATE(2),NOMCRE(6),NOMSD,NIMCR,NETAT,NTACH
```

MCRTIT : titre de la S.D. MCR (80 caracteres)
NDATE : date de creation
NOMCRE : nom du createur
NOMSD : nom de la S.D. (= 'MCR ')
NIMCR : niveau de la S.D.
NETAT : numero d'etat (inutilise)
NTACH : nombre de tableau associes

COMMON /MCR2/

```
% NNTMCR,NPOIBA,NDLM,NBMAC,NTYMCR,LGMCR5,LGMCR6,LGMCR8,
% LGMCR9,LGMCR9
```

NNTMCR : nombre de noeuds generes par la S.D. MCR
NPOIBA : nombre de points de base
NDLM : nombre de lignes du maillage
NBMAC : nombre de macros du maillage
NTYMCR : type des tableaux reels de la S.D. MCR (=2 ou 5)
LGMCR5 : dimension du tableau MCR5
LGMCR6 : dimension du tableau MCR6
LGMCR8 : dimension du tableau MCR8
LGMCR9 : dimension du tableau MCR9
LGMCR9 : dimension du tableau MCR9

```
COMMON /METHOD/
& IMETH
```

IMETH : numero de la methode a utiliser

```
COMMON /NOMLOC/
& NTEL,NOMLXX(NTBL)
```

NTEL : nombre de tableaux principaux series par HEFISTO
 NOMLXX : noms des tableaux principaux series

Ces tableaux sont a l'heure actuelle au nombre de 81 (=NTEL)
 et leurs noms dans le super-tableau sont:

```
CORG , DLNC , NEQ , DIMP , KGS , KGD , KGI , LD , FG ,
RES , DLG , FGO , DLGO , PRNG , VOMG , SUMG , ARMG , POMG ,
VOFG , SUFG , ARFG , POFG , LOCE , CORE , NE , PRNE , VOME ,
SUME , ARME , POME , VOFE , SUFE , ARFE , POFE , BLE , KE ,
FEE , ME , DLEO , REFG , TYEL , GCND , VCND , TPLM , GSLC ,
NDL , VSLC , MGD , NDCN , NOP1 , NOP3 , NOP4 , NOP5 , EGAL ,
CGDL , VOMD , SUMD , ARMD , POMD , VOFD , SUFD , ARFD , POFD ,
VOMV , SUMV , ARMV , POMV , VOFV , SUFV , ARFV , POFV , MCR3 ,
MCR4 , MCR5 , MCR6 , MCR7 , MCR8 , MCR9 , MCRA , FONC , DFON .
```

```
COMMON /NOPO/
& NOPTIT(20),NDATE(2),NOMCRE(6),NOMSD,NINOPO,NETAT,NTACH
```

NOPTIT : titre de la S.D. NOPO (80 caracteres)
 NDATE : date de creation
 NOMCRE : nom du createur
 NOMSD : nom de la S.D. (= 'NOPO')
 NINOPO : niveau de la S.D.
 NETAT : numero d'etat (inutilise)
 NTACH : nombre de tableau associes

```

COMMON /NOP2/
& NDIM,NREF,NDSD,NCOPNP,NELT,NEPO,NSEG,NTRI,NQUA,NTET,
& NPENT,NHEX,NSUP,NEF,NNT,N1,ISET,ISEQ,ISETE,ISEPE,
& ISEHE,NPOINT,NTYCOO,LPGDN,NBEGM,LGNOP5,NTACOO

NDIM      : dimension de l'espace (1, 2 ou 3)
NREF      : nombre de numeros de reference
NDSD      : nombre de numeros de sous-domaine
NCOPNP    : = 1 si noeuds et points coincident partout, =0 sinon
NELT      : nombre d'elements du maillage
NEPO      : nombre d'elements du type : point
NSEG      :                               segment
NTRI      :                               triangle
NQUA      :                               quadrangle
NTET      :                               tetraedre
NPENT     :                               pentaedre
NHEX      :                               hexaedre
NSUP      : nombre de super-elements
NEF       : nombre d'elements frontaliere (references)
NNT       : nombre de noeuds du maillage
N1        : nombre de noeuds sur un segment (extremities exclues)
ISET      : nombre de noeuds internes a chaque triangle
ISEQ      :                               quadrangle
ISETE     :                               tetraedre
ISEPE     :                               pentaedre
ISEHE     :                               hexaedre
NPOINT    : nombre de points du maillage
            (=dimension du tableau NOP4/NDIM)
NTYCOO    : type des valeurs des coordonnees
            (tableau NOP4) (=2 ou 5)
LPGDN     : demi-largeur de bande en noeuds
NBEGM     : nombre d'elements grossiers du maillage
LGNOP5    : dimension du tableau NOP5
NTACOO    : type des axes de reference (inutilise)

```

```

COMMON /OPEN/
& NBUNIT,MUNITS(20)

NBUNIT    : nombre de numeros d'unites logiques actifs
MUNITS    : liste des numeros d'unites logiques actifs

```

```

COMMON /PBGEST/
& LG_SAVCOM,INIGEST,NBPROB,NUMPROB,KIANTB(9),KIANCM(9)

LG_SAVCOM : longueur en mots du tableau ZnCM necessaire a la
sauvegarde des communs des blocs de lecture
INIGEST   : indice d'initialisation
NBPROB    : nombre de problemes a serer
NUMPROB   : numero du probleme en cours de traitement
KIANTB    : adresses des tableaux ZnTB (contenant les adresses
des tableaux d'un probleme) des differents problemes
KIANCM    : adresses des tableaux ZnCM (contenant la sauvegarde
des communs des blocs de lecture d'un probleme)

Ce common est utilise pour serer plusieurs problemes differents

```

```

COMMON /PROB/
& NMDIAG,NAXIS,NIDENT,NPARM4,NPARM5

NMDIAG : indicateur de matrice masse diagonale
NAXIS  : indicateur de probleme radial (1D)
        ou axisymetrique (2D)
NIDENT : = 1 si toutes les matrices [Ke] sont identiques
NPARM4 : indicateur inutilise a l'heure actuelle
NPARM5 : indicateur inutilise a l'heure actuelle

```

```

COMMON /PROJ/
& NBLC

NBLC : nombre de lignes courbes

```

```

COMMON /PROP/
& NVOLM, NSURM, NAREM, NPOIM, NVOLF, NSURF, NAREF, NPOIF, NPRN,
& MFR(4), NGPMAX(4), NVOLMD, NSURMD, NAREMD, NPOIMD,
& NVOLFD, NSURFD, NAREFD, NPOIFD

NVOLM : nombre max. de proprietes de milieu d'un element
      pour les volumes
NSURM : nombre max. de proprietes de milieu d'un element
      pour les surfaces
NAREM : nombre max. de proprietes de milieu d'un element
      pour les aretes
NPOIM : nombre max. de proprietes de milieu d'un element
      pour les sommets
NVOLF : nombre max. de proprietes de force d'un element
      pour les volumes
NSURF : nombre max. de proprietes de force d'un element
      pour les surfaces
NAREF : nombre max. de proprietes de force d'un element
      pour les aretes
NPOIF : nombre max. de proprietes de force d'un element
      pour les sommets
NPRN  : nombre de proprietes nodales (par noeud)
MFR   : nombre max. de volumes (I=1), de surfaces (I=2),
      d'aretes (I=3) et de sommets (I=4) d'un element
      pour tous les types d'elements
NGPMAX : valeur max. des numeros de reference attribue
      aux volumes (I=1), aux surfaces (I=2),
      aux aretes (I=3) et aux sommets (I=4) = nombre
      max. de groupes pour les proprietes elementaires
      lorsqu'elles sont definies par numero de reference
NVOLMD : nombre de volumes particularises ) vis-a-vis
NSURMD : nombre de surfaces particularisees ) des proprietes
NAREMD : nombre d'aretes particularisees ) de
NPOIMD : nombre de sommets particularises ) milieu
NVOLFD : nombre de volumes particularises ) vis-a-vis
NSURFD : nombre de surfaces particularisees ) des constantes
NAREFD : nombre d'aretes particularisees ) de
NPOIFD : nombre de sommets particularises ) force

```

```

COMMON /REF/
& NOFS(8), NOFA(12), NOFF(6)

NOFS : numeros de reference des sommets d'un element
NOFA : numeros de reference des aretes d'un element
NOFF : numeros de reference des faces d'un element

```

COMMON /RGDT/

% IEL,ITPE,ICODE,ISTMA,NUMCOD,NCGE,NUMSD,IDLE,ICE,INEL,
% IRFS,IRFA,IRFF,IVOME,ISUME,IARME,IPOME,IVOFE,ISUFE,
% IARFE,IPOFE,IPRNE

IEL : numero de l'element
ITPE : type de l'element
 (sous-programme ELEMxx correspondant)
ICODE : indice definissant le type de fonction elementaire
 a executer par les sous-programmes ELEMxx
ISTMA : code de stockage de la matrice retournee par ELEMxx
 -1 : diagonale
 0 : symetrique
 1 : non symetrique
NUMCOD : numero de code de l'element
NCGE : code geometrique de l'element
NUMSD : numero de sous-domaine de l'element
IDLE : nombre de degres de liberte de l'element
ICE : nombre de coordonnees de l'element (=INEL*NDIM)
INEL : nombre de noeuds de l'element
IRFS : nombre de sommets de l'element (longueur utile
 du tableau NOFS)
IRFA : nombre d'arêtes de l'element (longueur utile
 du tableau NOFA)
IRFF : nombre de faces de l'element (longueur utile
 du tableau NOFF)
IVOME : nombre de proprietes de milieu volumiques
 de l'element
ISUME : nombre de proprietes de milieu surfaciques
 de l'element
IARME : nombre de proprietes de milieu lineiques
 de l'element
IPOME : nombre de proprietes de milieu ponctuelles
 de l'element
IVOFE : nombre de proprietes de force volumiques
 de l'element
ISUFE : nombre de proprietes de force surfaciques
 de l'element
IARFE : nombre de proprietes de force lineiques
 de l'element
IPOFE : nombre de proprietes de force ponctuelles
 de l'element
IPRNE : nombre de proprietes nodales de l'element
 (=INEL*NPRN)

```

COMMON /RGDT0/
& NCGEO, INELO, IDLEO, NSYMO, IPGO, NOMLMO(3), NCOILO,
& ISEGO, ISETO, ISEGO, ISETEO, ISEPEO, ISEHEO,
& NVOLMO, NSURMO, NAREMO, NPOIMO, NVOLFO, NSURFO, NAREFO,
& NPOIFO, NFRNO

NCGEO : code geometrique selon la convention suivante:
      1 - noeud
      2 - segment
      3 - triangle
      4 - quadrangle
      5 - tetraedre
      6 - pentaedre
      7 - hexaedre

INEL0 : nombre de noeuds
IDLE0 : nombre de d.l.
NSYMO : mode de stockage de la matrice [Ke]
IPGO : nombre de points d'integration (inutilise)
NOMLMO : nom de l'element sur 3 entiers (12 caracteres)
NCOILO : numero de code de l'element
ISEGO : nombre de noeuds sur un segment (arête)
      extremités exclues
ISETO : nombre de noeuds internes a un triangle (NDIM >= 2)
ISEGO : quadrangle (NDIM >= 2)
ISETEO : tetraedre (NDIM >= 3)
ISEPEO : pentaedre (NDIM >= 3)
ISEHEO : hexaedre (NDIM >= 3)
NVOLMO : nombre de proprietés de milieu PAR volume
      (--> NDIM >=3)
NSURMO : nombre de proprietés de milieu PAR surface
      (--> NDIM >=2)
NAREMO : nombre de proprietés de milieu PAR arête
NPOIMO : nombre de proprietés de milieu PAR sommet
NVOLFO : nombre de proprietés de force PAR volume
      (--> NDIM >=3)
NSURFO : nombre de proprietés de force PAR surface
      (--> NDIM >=2)
NAREFO : nombre de proprietés de force PAR arête
NPOIFO : nombre de proprietés de force PAR sommet
NFRNO : nombre de proprietés nodales PAR noeud

```

```

COMMON /SOLC/
& NGSCL, NSPSCL, LGNDL, LGVSLC

NGSCL : nombre de groupes de sollicitations concentrees
      variables
NSPSCL : = 1 si les valeurs de toutes les sollicitations
      concentrees variables sont donnees a tout instant
      par le sous-programme (a fournir) SPSCLV
LGNDL : dimension du tableau NDCL
LGVSLC : dimension du tableau VSLC

```



```

COMMON /TRVL/
& XXX(47)

XXX      : tableau de travail utilise par different blocs


COMMON /TRVPRO/
& NVOLM1,NSURM1,NAREM1,NPOIM1,NVOLF1,NSURF1,NAREF1,
& NPOIF1,NPRN1

NVOLM1 :
NSURM1 :
NAREM1 :   ces variables sont analogues aux variables
NPOIM1 :   NVOLM,NSURM,...,NPOIF,NPRN du common PROP
NVOLF1 :   mais elles sont calculees par le S.P. LETYEL
NSURF1 :   a partir des donnees des types d'elements
NAREF1 :   (fonction elementaire 0 des S.P. ELEMxx)
NPOIF1 :
NPRN1  :


COMMON
& KVA(xxx)

KVA      : tableau de travail de dimension NVA et contenant
           toutes les autres tables

```

ANNEXE C

L I S T E
D E S
P R I N C I P A U X
T A B L E A U X

ordre	nom (nom. FORT.)	dimension	description																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	CORG (VCORG)	NDIM*NNT	Coordonnees globales de tous les noeuds: 1D : < X1, X2, X3, ... > 2D : < X1, Y1, X2, Y2, X3, Y3, ... > 3D : < X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2, X3, Y3, Z3, ... >																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2	DLNC (KDLNC)	NNT+1	Table cumulative du nombre de degres de liberte par noeud KDLNC(I+1) = somme du nombre des d.l. des noeuds 1,2,...,I KDLNC(1) = 0 KDLNC(NNT+1) = NDLT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
3	NEQ (KNEQ)	NDLT	Numero d'equation de chaque d.l. J = KNEQ(I) si J>0 : le d.l. numero I est libre et sa valeur est la Jeme inconnue du systeme si J<0 : le d.l. numero I est bloque et sa valeur est donnee par VDIMP(-J)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
4	DIMP (VDIMP)	NCLT	Liste des valeurs des d.l. bloquees																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
5	KDS (VKDS)	NKG = KLD(NEQ+1)-1	Termes de la matrice de rigidite globale [K], triangle superieur, hors diagonale, stockes par colonnes descendantes et profil																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
6	KGB (VKGB)	NEQ	Termes diagonaux de [K]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
7	KGI (VKGI)	NKG	Termes de [K], triangle inferieur, hors diagonale, stockes par lignes de gauche a droite et ligne de ciel. (ce tableau existe dans le cas ou la matrice de rigidite [K] est non symetrique. Le profil de [K] est toujours suppose symetrique)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
8	LK (KLD)	NEQ+1	Table de localisation du debut de chaque colonne de [K] KLD(NEQ+1)-1 est le nombre de termes du triangle superieur (ou inferieur) de [K] hors diagonale. KLD(1)=1 ; KLD(2)=1 exemple : stockage des tables KDS, KGB et KGI ----- <table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

ordre	nom (nom. FORT.)	dimension	description
10	RES (VRES)	NDLT	Vecteur solution de tous les d.l. ou vecteur des residus et reactions
11	DLC (VDLG)	NEQ	Vecteur solution des d.l. inconnus (libres)
12	FGO (VFGO)	NEQ	Vecteur global des sollicitations (valeurs de reference)
13	DLGO (VDLGO)	NEQ	Vecteur des d.l. inconnus (libres) (valeurs de reference)
14	PRNG (VPRNG)	NPRN*NNNT	Liste de l'ensemble des proprietes nodales VPRNG(I,J) = valeur de la Ieme propriete nodale du noeud J
15	VDMG	NVOLM* NGPMAX(1)	(Liste de l'ensemble des proprietes elementaires (de milieu decrites par numeros de reference pour: (- les volumes (VDMG)
16	SUMG	NSURM* NGPMAX(2)	(- les surfaces (SUMG) (- les aretes (ARMG)
17	ARMG	NAREM* NGPMAX(3)	(- les sommets (POMG) (NGPMAX(I) (calcule dans le programme) est la valeur max. (du numero de reference qui est affecte a un volume (I=1), (une surface (I=2), une arete (I=3) ou un point (I=4)
18	POMG	NPOIM* NGPMAX(4)	((chaque liste a une structure analogue a PRNG. (ex: VDMG(I,J) = valeur de la Ieme propriete elementaire (de milieu volumique des elements de numero de (reference J (pour le volume, i.e. NUMSD en 3D) ((ARMG(I,J) = valeur de la Ieme propriete elementaire (de milieu lineique des aretes referencees J
19	VOFG	NVOLF* NGPMAX(1)	(Liste de l'ensemble des proprietes elementaires (de force decrites par numeros de reference pour: (- les volumes (VOFG)
20	SUFG	NSURF* NGPMAX(2)	(- les surfaces (SUFG) (- les aretes (ARFG)
21	ARFG	NAREF* NGPMAX(3)	(- les sommets (POFG) ((
22	POFG	NPOIF* NGPMAX(4)	((
23	LOCE (KLOCE)	NDLE	Liste des numeros d'equation des d.l. d'un element (tiree de KNEQ)
24	CORE (VCORE)	NNEL*NDIM	Coordonnees des noeuds d'un element (structure analogue a CORQ)
25	NE (KNE)	NNEL	Numeros des noeuds d'un element (connectivite elementaire)
26	PRNE (VPRNE)	NNEL*NPRN	Liste des proprietes nodales des noeuds d'un element (tiree de PRNG) (structure analogue a PRNG)

ordre	nom (nom. FORT.)	dimension	description
27	VOME	NVOLF*MFR(1)	(Liste pour un element de l'ensemble des proprietes (de milieu
28	SUME	NSURF*MFR(2)	(- volumiques (VOME) (- surfaciques (SUME)
29	ARME	NAREF*MFR(3)	(- lineiques (ARME) (- ponctuelles (POME)
30	POME	NPOIF*MFR(4)	(
31	VOFC	NVOLF*MFR(1)	(Liste pour un element de l'ensemble des constantes (de force
32	SUFC	NSURF*MFR(2)	(- volumiques (VOFC) (- surfaciques (SUFC)
33	ARFC	NAREF*MFR(3)	(- lineiques (ARFC) (- ponctuelles (POFC)
34	POFC	NPOIF*MFR(4)	(
35	DLE (VDLE)	NDLE	Valeurs des d.l. d'un element
36	KE (VKE)	NKE	Matrice de rigidite [Ke] elementaire. par colonnes descen- dantes, triangle superieur seulement si NSYM=0 NKE=NDLE*(NDLE+1)/2 si NSYM=0 NKE=NDLE*NDLE si NSYM=1
37	FEE (VFE)	NDLE	Vecteur sollicitation elementaire
38	ME (VME)	NKE	Matrice [Me] elementaire
39	DLE0 (VDLE0)	NDLE	Vecteur des d.l. d'un element
40	REFG (KREFG)	NNT	Numeros de reference des noeuds du maillage
41	TYEL (KTYEL)	NDSB*7	Liste des types d'elements par sous-domaine et code geometrique
44	TPLM (KTPLM)	NTYEL	Liste des types d'elements utilises
48	MGI (VMGI)	NEQ	Termes diagonaux de la matrice de masse globale [M]

ordre	nom (nom. FORT.)	dimension	description
42	GCND (KGCND)	NGCND* (NDLN+6)	(Ces 3 tableaux decrivent les d.l. bloques lorsque leurs (valeurs varient au cours du temps (pb transitoire) (et sont structures de la maniere suivante : ((tableau GCND (((POUR CHAQUE GROUPE DE C.L. IG (1 ≤ IG ≤ NGCND) ((KGCND(1,IG) : nombre de d.l. bloques pour chaque noeud du (groupe (=NECOD) (KGCND(2,IG) : = nombre d'instants auxquels les valeurs de (blocage sont donnees (sauf si elles sont (donnees par un sous-programme) (=NTEMP) (: = -1 si les valeurs de blocage sont donnees (par des fonctions interpretees (KGCND(3,IG) : adresse dans VCND du mot precedant la (definition des instants et des valeurs de (blocage pour le groupe (=IAVCND) (KGCND(4,IG) : numero de l'instant de temps en cours ((utilise en cours d'execution) (KGCND(5,IG) : nombre de noeuds associes a ce groupe ((=NBNASS) (KGCND(6,IG) : adresse dans NDCN du mot precedant la liste (des noeuds associes au groupe (=IANDCN) (KGCND(6+J,IG) = 0 si le d.l. numero J des noeuds du groupe (est libre (= 1 sinon (1 ≤ J ≤ NDLN) (= numero de la fonction interpretee a utili- (ser si NTEMP=-1 ((tableau NDCN : ((POUR CHAQUE GROUPE DE C.L. IG, le sous-tableau (<KNDCN(IANDCN+1) ... KNDCN(IANDCN+NBNASS)> (contient la liste des numeros des noeuds associes (au groupe ((tableau VCND : ((POUR CHAQUE GROUPE DE C.L. IG, le sous-tableau (<VCND(IAVCND+1) ... VCND(IAVCND+NTEMP)> (contient la liste des instants auxquels sont donnees les (valeurs des c.l. (le sous-tableau (<VCND(IAVCND+NTEMP+(J-1)*NECOD+1) ... VCND(IAVCND+NTEMP+ (J*NECOD)> (contient les valeurs de blocage des NECOD d.l. bloques (d'un noeud du groupe a l'instant VCND(IAVCND+J)
45	GSCL (KGSCL)	NGSCL* (NDLN+6)	(Ces 3 tableaux decrivent (les sollicitations concentrees variables. (Leur structure est analogue (a celle des tableaux (GCND, NDCN et VCND. (
46	NDCL (KNDCL)	LGNDCL	(
47	VSCL (KVSCL)	LGVSCL	(
50	NOF1 (KNOF1)	NTACH*22	Ce tableau decrit les tableaux associes a la C.D. NOFO Pour chaque tableau associe I (I ≤ NTACH) KNOF1(1,I) : nom du Ieme tableau associe (4 caracteres) KNOF1(2,I) : adresse dans le super-tableau KVA KNOF1(3,I) : nombre de mots (entiers) du tableau KNOF1(4,I) : type du tableau (1:entier, 2:real*4, 3:logique, 4:caractere, 5:real*8, 6:complexe*8, 7:complexe*16) KNOF1(5,I) a KNOF1(22,I) : commentaire sur le contenu du tableau (18 mots de 4 caracteres)

ordre	nom (nom. FORT.)	dimension	description
51	NOP3 (KNOP3)	NBEGM	KNOP3(I) : adresse relative au debut du tableau NOP5 du premier mot associe au premier element fini de chaque element grossier du maillage
52	NOP4 (VNOP4)	NDIM* NPOINT	Liste des coordonnees des points du maillage (structure analogue a CORG)
53	NOP5 (KNOP5)	LGNOP5	<pre> /---- boucle sur les elements I=1 a NELT ! ! NCGE : numero de code de la geometrie de l'element ! (1:noeud, 2:segment, 3:triangle, 4:quadrangle, ! 5:tetraedre, 6:pentaedre, 7:hexaedre, ! 8:super-element) ! ! NMAE : nombre de mots necessaire au stockage des numeros ! de reference des faces, arêtes et points ! ! NUMSD: numero de sous-domaine ! ! INEL : nombre de noeuds de l'element ! (KNE(J),J=1,INEL) : liste des noeuds de l'element ! ! si NCOPNP = 0 ! ----- ! NPD : nombre de points de l'element ! (NOPDI(J),J=1,NPD) : liste des points de l'element ! ! si NMAE > 0 ! ----- ! INING : indicateur de niveau des informations sur ! les num. ref. des faces, arêtes et sommets ! = 3 : seuls les numeros de reference de ! TOUS LES SOMMETS sont donnees ! = 2 : les numeros de reference de toutes ! les arêtes, puis de tous les sommets ! sont donnees ! = 1 : les numeros de reference de toutes ! les faces, puis de toutes les arêtes, ! puis de tous les sommets sont donnees ! ! /---- boucle de J = 2 a NMAE ! ! ! ! num. ref. des sommets si INING=3 ! ! num. ref. des arêtes et sommets si INING=2 ! ! num. ref. des faces et arêtes et sommets si INING=1 ! ! ! \---- ! ! /---- fin de la boucle sur les elements </pre> Le nombre de mots pour decrirre un element est egal a: $4 + NMAE + INEL + (NCOPNP-1)*(NPD+1)$

ordre	nom (nom. FORT.)	dimension	description
54	EGAL (KEGAL)	NGEGAL*2	(Ces 2 tableaux decrivent les groupes de relations (d'essiltes (bloc EGAL) et sont structures comme suit: (----- (tableau EGAL (----- (POUR CHAQUE GROUPE IG (1 <= IG <= NGEAL) (----- (KEGAL(1,IG) : nombre de d.l. associes au groupe (=INEDL) (KEGAL(2,IG) : adresse dans EGDL du mot precedant la liste (des d.l. associes au groupe (=IAEGDL) (----- (tableau EGDL : (----- (POUR CHAQUE GROUPE C.L. IG, le sous-tableau (<KEGDL(IAEGDL+1) ... KEGDL(IAEGDL+INEDL)> (contient la liste des numeros des d.l. associes au groupe
55	EGDL (KEGDL)	LGEGL	
60	VOFD	3*NVOLFD	(Cet ensemble de 8 tableaux definit les constantes elemen- (taires de force decrites par numeros d'elements pour: (- les volumes (VOFD,VOFV) (- les surfaces (SUFDF,SUFV) (- les aretes (ARFD,ARFV) (- les sommets (POFD,POFV)
61	SUFD	3*NSURFD	
62	ARFD	3*NAREFD	(Pour chaque particularite du type xxx (=VOL ou SUR ou ARE (ou POI) (KxxFD(1,I) : numero de l'element contenant le ieme volume ((ou surface ou arete ou sommet) particulierise ((1 <= I <= NxxFD) (KxxFD(2,I) : numero (dans la numerotation interne de (l'element) de la face ou arete.... (particulierisee (KxxFD(3,I) : adresse dans le tableau xxFV du mot precedant (les valeurs des proprietes pour cette face (ou arete.... (=IAxxFV) (Le sous-tableau <VxxFV(IAxxFV+1) ... VxxFV(IAxxFV+NxxFM)> (contient la liste des proprietes de la ieme particularite
63	POFD	3*NPOIFD	
64	VOFV	NVOLFD* NVOLF	(Pour chaque particularite du type xxx (=VOL ou SUR ou ARE (ou POI) (KxxFD(1,I) : numero de l'element contenant le ieme volume ((ou surface ou arete ou sommet) particulierise ((1 <= I <= NxxFD) (KxxFD(2,I) : numero (dans la numerotation interne de (l'element) de la face ou arete.... (particulierisee (KxxFD(3,I) : adresse dans le tableau xxFV du mot precedant (les valeurs des proprietes pour cette face (ou arete.... (=IAxxFV) (Le sous-tableau <VxxFV(IAxxFV+1) ... VxxFV(IAxxFV+NxxFM)> (contient la liste des proprietes de la ieme particularite
65	SUFV	NSURFD* NSURF	
70	ARFV	NAREFD* NAREF	(Pour chaque particularite du type xxx (=VOL ou SUR ou ARE (ou POI) (KxxFD(1,I) : numero de l'element contenant le ieme volume ((ou surface ou arete ou sommet) particulierise ((1 <= I <= NxxFD) (KxxFD(2,I) : numero (dans la numerotation interne de (l'element) de la face ou arete.... (particulierisee (KxxFD(3,I) : adresse dans le tableau xxFV du mot precedant (les valeurs des proprietes pour cette face (ou arete.... (=IAxxFV) (Le sous-tableau <VxxFV(IAxxFV+1) ... VxxFV(IAxxFV+NxxFM)> (contient la liste des proprietes de la ieme particularite
71	POFV	NPOIFD* NPOIF	
56	VOMD	3*NVOLMD	(Cet ensemble de 8 tableaux definit les proprietes elemen- (taires de milieu decrites par numeros d'elements pour: (- les volumes (VOMD,VOMV) (- les surfaces (SUMD,SUMV) (- les aretes (ARMD,ARMV) (- les sommets (POMD,POMV)
57	SUMD	3*NSURMD	
58	ARMD	3*NAREMD	(Pour chaque particularite du type xxx (=VOL ou SUR ou ARE (ou POI) (KxxMD(1,I) : numero de l'element contenant le ieme volume ((ou surface ou arete ou sommet) particulierise ((1 <= I <= NxxMD) (KxxMD(2,I) : numero (dans la numerotation interne de (l'element) de la face ou arete.... (particulierisee (KxxMD(3,I) : adresse dans le tableau xxMV du mot precedant (les valeurs des proprietes pour cette face (ou arete.... (=IAxxMV) (Le sous-tableau <VxxMV(IAxxMV+1) ... VxxMV(IAxxMV+NxxmM)> (contient la liste des proprietes de la ieme particularite
59	POMD	3*NPOIMD	
64	VOMV	NVOLMD* NVOLM	(Pour chaque particularite du type xxx (=VOL ou SUR ou ARE (ou POI) (KxxMD(1,I) : numero de l'element contenant le ieme volume ((ou surface ou arete ou sommet) particulierise ((1 <= I <= NxxMD) (KxxMD(2,I) : numero (dans la numerotation interne de (l'element) de la face ou arete.... (particulierisee (KxxMD(3,I) : adresse dans le tableau xxMV du mot precedant (les valeurs des proprietes pour cette face (ou arete.... (=IAxxMV) (Le sous-tableau <VxxMV(IAxxMV+1) ... VxxMV(IAxxMV+NxxmM)> (contient la liste des proprietes de la ieme particularite
65	SUMV	NSURMD* NSURM	
66	ARMV	NAREMD* NAREM	(Pour chaque particularite du type xxx (=VOL ou SUR ou ARE (ou POI) (KxxMD(1,I) : numero de l'element contenant le ieme volume ((ou surface ou arete ou sommet) particulierise ((1 <= I <= NxxMD) (KxxMD(2,I) : numero (dans la numerotation interne de (l'element) de la face ou arete.... (particulierisee (KxxMD(3,I) : adresse dans le tableau xxMV du mot precedant (les valeurs des proprietes pour cette face (ou arete.... (=IAxxMV) (Le sous-tableau <VxxMV(IAxxMV+1) ... VxxMV(IAxxMV+NxxmM)> (contient la liste des proprietes de la ieme particularite
67	POMV	NPOIMV* NPOIM	

ordre	nom (nom. FORT.)	dimension	description
00	FONC (KFONC)	LG FONC	(Ces 2 tableaux decrivent les fonctions (eventuellement (interpretees) definies dans le bloc FONC et sont (structures comme suit: ((POUR CHAQUE FONCTION IFONC (1 <= IFONC <= NBFONC) ((si KDFON(IFONC) < 0, le calcul de la fonction est effectue (par le sous-programme utilisateur SPFONC ((si KDFON(IFONC) > 0, ce nombre est l'adresse (entiere) (dans le tableau KFONC du debut de la definition de (la fonction interpretee (la fin de la definition (de la fonction est reperee par le signe '=')
01	DFON (KDFON)	NBFONC	