



# Manuel de reference du solveur

| Ref: CESAR-MU(Reference)-v6.2.5-FR

Référence : U.v62 référence du solveur\_sources6.2.43.docx

Rédaction : IFSTTAR

Historiques des versions de ce document :

2<sup>e</sup> édition, août 2007 : retour de corrections après traduction en langue anglaise,  
et compléments du chapitre 5.

3<sup>e</sup> édition, février 2012 : mise à jour version 5.

A partir d'avril 2013, les versions de ce document se rapporte à une version des sources identifiée par son numéro. 2013 se termine par la version sourcesI57

2014 : versions 5.1.58 à 5.1.65

2015 : versions 5.1.66 à 5.1.84

2016 : version 6.0.0 à 6.0.4

6.0.1 : modification de DEFLNG pour sortir les ddl des elements de la famille 10

6.0.2 : correction calcul des reactions (REA + IREA=3) et adaptation aux barres frottantes

6.0.3 : integration de la famille 27 - elements de contact en diffusion CDxx (éléments qui assurent la continuité de la température dans un calcul DTNL entre les faces d'un bloc d'interface)

6.0.4 : integration de la famille 28 - elements de structure en diffusion (simplifient la connexion entre calculs diffusion et mecanique sur le meme maillage s'il contient des poutres ou des coques)

6.0.5-6.0.7 : corrections de bugs

6.0.8 : introduction de modèles d'endommagement (voir documentation spécifique manuel théorique)  
+ introduction de la loi de comportement de N. Gilleron (IMOD=10000/NELAS=24)

6.0.9 : introduction de l'option CRM (calcul en référentiel mobile, thèse JB Payeur)

6.0.10 : introduction des lois ICINT=16/17 pour les barres frottantes (issues du projet Newtun)

6.0.11-14 : corrections ou remises en forme du code

6.0.15 : gestion du numéro des ddl en plus pour éviter l'ambiguite barre frottante / poutre

6.0.16 : branchement de PRC dans TCNL

6.0.20 : option DEC

6.0.21 : correction de PRC dans TCNL

6.0.22 : modif de l'option DEC

6.0.23 : correction HSM

6.0.24 : option TLX pour TCNL

6.2.1 : lois d'écrouissage spécifique pour le Cam Clay

6.2.12 : éléments de joints (famille 16)

6.2.18 : familles 27/28

6.2.35 : modifications aux options DEC et PRS

6.2.36-6.2.43 : corrections de bugs / sous option SG de l'option FSR

Copyright : UGE / IFSTTAR (LCPC) 1986 – 2020

# Table des matières

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction                                                      | 1  |
| 1.1. Environnement du solveur CESAR                                  | 1  |
| 1.2. Contenu et utilisation du présent document                      | 1  |
| 1.3. Organisation des données                                        | 2  |
| 1.4. Notations                                                       | 5  |
| 2. Données utilitaires                                               | 1  |
| 2.1. Liste des modules utilitaires                                   | 1  |
| 2.2. Données des modules utilitaires                                 | 1  |
| TEST / EXEC                                                          | 2  |
| Module ILIG                                                          | 3  |
| Module COMT                                                          | 4  |
| Module IMPR                                                          | 5  |
| Module DDBG                                                          | 8  |
| Module EXPO                                                          | 9  |
| Module FDBG                                                          | 10 |
| Module GEFI                                                          | 11 |
| Module STOP                                                          | 12 |
| 3. Données du modèle                                                 | 1  |
| 3.1. Liste des modules de définition du modèle                       | 1  |
| 3.2. Données des modules de définition du modèle                     | 1  |
| Module COOR                                                          | 2  |
| Module ELEM                                                          | 3  |
| Famille 01                                                           | 8  |
| 01.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments        | 8  |
| 01.2 Caractéristiques mécaniques : modèles classiques (IMOD<10000)   | 10 |
| 01.3 Caractéristiques mécaniques : modèles à composantes (MOD=10000) | 21 |
| Partie élastique du modèle                                           | 21 |
| Modèles élastoplastiques                                             | 25 |
| Modèles d'endommagement                                              | 36 |
| Famille 02                                                           | 39 |
| 02.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments        | 39 |
| 02.2 Caractéristiques mécaniques : modèles classiques (IMOD<10000)   | 41 |
| 02.3 Caractéristiques mécaniques: modèles à composantes (IMOD=10000) | 49 |
| Partie élastique du modèle                                           | 49 |
| Modèles élastoplastiques                                             | 54 |
| Modèles d'endommagement                                              | 67 |
| Famille 03                                                           | 70 |

|             |     |
|-------------|-----|
| Famille 04  | 72  |
| Famille 05  | 76  |
| Famille 06  | 80  |
| Famille 07  | 83  |
| Famille 08  | 85  |
| Famille 09  | 87  |
| Famille 10  | 88  |
| Famille 11  | 90  |
| Famille 16  | 92  |
| Famille 21  | 95  |
| Famille 22  | 99  |
| Famille 23  | 103 |
| Famille 24  | 105 |
| Famille 25  | 107 |
| Famille 27  | 108 |
| Famille 28  | 109 |
| Famille 41  | 110 |
| Famille 42  | 112 |
| Famille 45  | 114 |
| Famille 46  | 120 |
| Famille 435 | 126 |
| Module COND | 131 |
| Module CHAR | 139 |

---

|                      |   |
|----------------------|---|
| 4. Données du calcul | 1 |
|----------------------|---|

---

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 4.1. Liste des modules de calcul        | 1  |
| 4.2. Données pour les modules de calcul | 2  |
| Module AXIF                             | 3  |
| Module CSLI                             | 5  |
| Module CSNL                             | 7  |
| Module DTLI                             | 9  |
| Module DTNL                             | 11 |
| Module DYNl                             | 13 |
| Module FLAM                             | 15 |
| Module LIGC                             | 17 |
| Module LINC                             | 18 |
| Module LINE                             | 19 |
| Module LINH                             | 20 |
| Module MCNL                             | 21 |
| Module MEXO                             | 25 |
| Module MODE                             | 27 |
| Module MPLI                             | 29 |
| Module MPNL                             | 31 |
| Module NAPP                             | 33 |
| Module NSAT                             | 36 |
| Module SSTR                             | 38 |
| Module SUMO                             | 40 |
| Module SURF                             | 43 |
| Module TACT                             | 44 |
| Module TCNL                             | 46 |
| Module TEXO                             | 48 |

---

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 5. Données des options de calcul | 1  |
| 5.1. Liste des options           | 1  |
| 5.2. Données des options         | 3  |
| Option ACC                       | 4  |
| Option ACT                       | 5  |
| Option AMO                       | 6  |
| Option ARC                       | 7  |
| Option CFT                       | 8  |
| Option CMA                       | 10 |
| Option CR1                       | 11 |
| Option CR2                       | 12 |
| Option CRG                       | 13 |
| Option CRM                       | 14 |
| Option DPL                       | 15 |
| Option DTO                       | 16 |
| Option ECM                       | 17 |
| Option EFN                       | 18 |
| Option ENL                       | 19 |
| Option FLU                       | 20 |
| Option FSC                       | 21 |
| Option FSR                       | 22 |
| Option GAU                       | 24 |
| Option HEC                       | 25 |
| Option HPE                       | 26 |
| Option INA                       | 27 |
| Option INC                       | 28 |
| Option INH                       | 29 |
| Option INI                       | 31 |
| Option INP                       | 35 |
| Option INT                       | 39 |
| Option INU                       | 40 |
| Option ITG                       | 41 |
| Option ITN                       | 42 |
| Option ITR                       | 43 |
| Option LIM                       | 44 |
| Option MNA                       | 46 |
| Option MUL                       | 47 |
| Option NAP                       | 48 |
| Option NDP                       | 52 |
| Option PAR                       | 53 |
| Option PCD                       | 54 |
| Option PRC                       | 55 |
| Option PRS                       | 56 |
| Option PTX                       | 58 |
| Option QAB                       | 60 |
| Option REA                       | 61 |
| Option RMX                       | 63 |
| Option RTP                       | 64 |
| Option SFC                       | 65 |
| Option SRE                       | 66 |
| Option STH                       | 67 |

---

|            |    |
|------------|----|
| Option STK | 68 |
| Option STP | 70 |
| Option STT | 71 |
| Option STU | 72 |
| Option SUI | 73 |
| Option TIM | 74 |
| Option TRV | 75 |
| Option TXO | 76 |

# 1. Introduction

## 1.1. Environnement du solveur CESAR

Le solveur **CESAR** fait partie du progiciel **CESAR-LCPC** qui comporte également l'interface graphique **CLEO** (pré- et post-processeur CLEO2D et CLEO3D) et des programmes utilitaires. Tous ces programmes communiquent entre eux par l'intermédiaire d'une base de données.

**CESAR** est un code de calcul très général fondé sur la méthode des éléments finis. Il permet de modéliser un grand nombre de problèmes du génie civil (calcul par phases de construction, hydrogéologie, thermique, mécanique des sols et des roches, calcul de structures, etc). Pour fonctionner il utilise les fichiers de la base de données, et en particulier le **fichier jeu de données**, que le présent Manuel de référence a pour but de décrire.

La préparation du maillage (création du **fichier de maillage**) est assurée par les options de pré-traitement de **CLEO** qui peut également réaliser le fichier jeu de données déjà cité ci-dessus. L'utilisateur veillera à bien distinguer ce dernier fichier (qui est formaté, donc lisible à l'aide d'un éditeur de texte), du fichier de maillage (écrit en binaire pour des questions de précision et de gain d'espace disque).

L'interprétation des résultats et la réalisation de documents graphiques sont assurées par les options de post-traitement de l'interface graphique **CLEO**, à partir de la base de données alimentée par **CESAR** (utilisation en particulier du **fichier de résultats**).

## 1.2. Contenu et utilisation du présent document

### 1.2.1. Contenu

Ce manuel décrit dans le détail les données à fournir à chacun des modules du solveur **CESAR**. À ce titre, il est bien le manuel de référence pour la constitution des jeux de données.

L'organisation de ce manuel est calquée sur celle des données organisées en modules et options (comme précisé au paragraphe 1.3) :

- partie 1 : Introduction (présente partie).
- partie 2 : Description des données des modules utilitaires.
- partie 3 : Description des données des modules de définition du modèle.
- partie 4 : Description des données des modules de calcul.
- partie 5 : Description des données des options des modules de calcul.

Les parties 2, 3 et 4 sont composées d'autant de chapitres qu'il y a de modules dans le solveur. La partie 5 est composée d'autant de chapitres qu'il y a d'options dans les modules de calcul. Le regroupement des options en fin de manuel évite les répétitions car la plupart des options sont communes à plusieurs modules de calcul.

### 1.2.2. Utilisation

Un parcours rapide de cette annexe peut constituer une bonne introduction à l'utilisation du solveur lui-même. Il permettra à l'utilisateur débutant de se familiariser avec la logique qui sous-tend la gestion des données d'un calcul et le fonctionnement général du solveur : tel mot-clé déclenche telle fonction.

Un utilisateur averti se servira de cette annexe :

pour modifier ou compléter rapidement sous éditeur de texte un jeu de données créé par les options de pré-traitement de **CLEO**, en vue par exemple de l'étude de variantes;

pour préparer les données d'un module d'exécution lorsque celles-ci sont en grand nombre et jugées fastidieuses à générer avec **CLEO** (par exemple: description des variations dans le temps des chargements extérieurs pour les modules transitoires);

pour s'assurer, en fonction du numéro de version du solveur **CESAR** dont il dispose, de la possibilité de résolution de son problème.

### 1.2.3. Respect des indications

Si l'utilisateur génère ou modifie un jeu de données à l'aide d'un éditeur de textes, il doit scrupuleusement respecter les indications fournies dans cette annexe, à savoir :

l'ordre et la hiérarchie des données;

le format indiqué en face de chaque donnée;

les conventions de mise en données.

## 1.3. Organisation des données

Le solveur CESAR est constitué d'un assemblage de modules correspondant à des fonctions bien déterminées. Chaque module est caractérisé par un mot-clé de quatre lettres rappelant la fonction qu'il remplit (exemple : **CHAR** = module permettant de définir les chargements imposés).

Comme indiqué dans un paragraphe précédent, il existe trois catégories de modules :

### a) les modules utilitaires

Ils permettent de réaliser des opérations utilitaires :

Exemples :

**COMT** : Impression de commentaires dans la liste des résultats.

### b) les modules de définition du modèle

Ils permettent de définir le modèle considéré.

Exemples :

**COOR** : Module de définition des coordonnées des nœuds.

**ELEM** : Module de définition des éléments considérés dans le modèle.

**COND** : Module de définition des conditions aux limites sur l'inconnue principale.



### c) les modules de calcul

Ils permettent l'exécution du calcul proprement dit, et ainsi la résolution d'un problème déterminé, en utilisant les informations collectées par les modules de définition du modèle.

Exemples :

**LINE** : Module de résolution d'un problème linéaire.

**MCNL** : Module de résolution d'un problème de mécanique en comportement non linéaire.

**SUMO** : Module de recherche de la réponse à une sollicitation dynamique par superposition modale.

L'utilisateur contrôle l'exécution séquentielle de ces différents modules à l'aide de son jeu de données. A l'image du solveur, ce jeu de données sera constitué d'un certain nombre de sous-ensembles contenant les informations nécessaires à l'exécution d'un module déterminé. On y trouvera ainsi successivement :

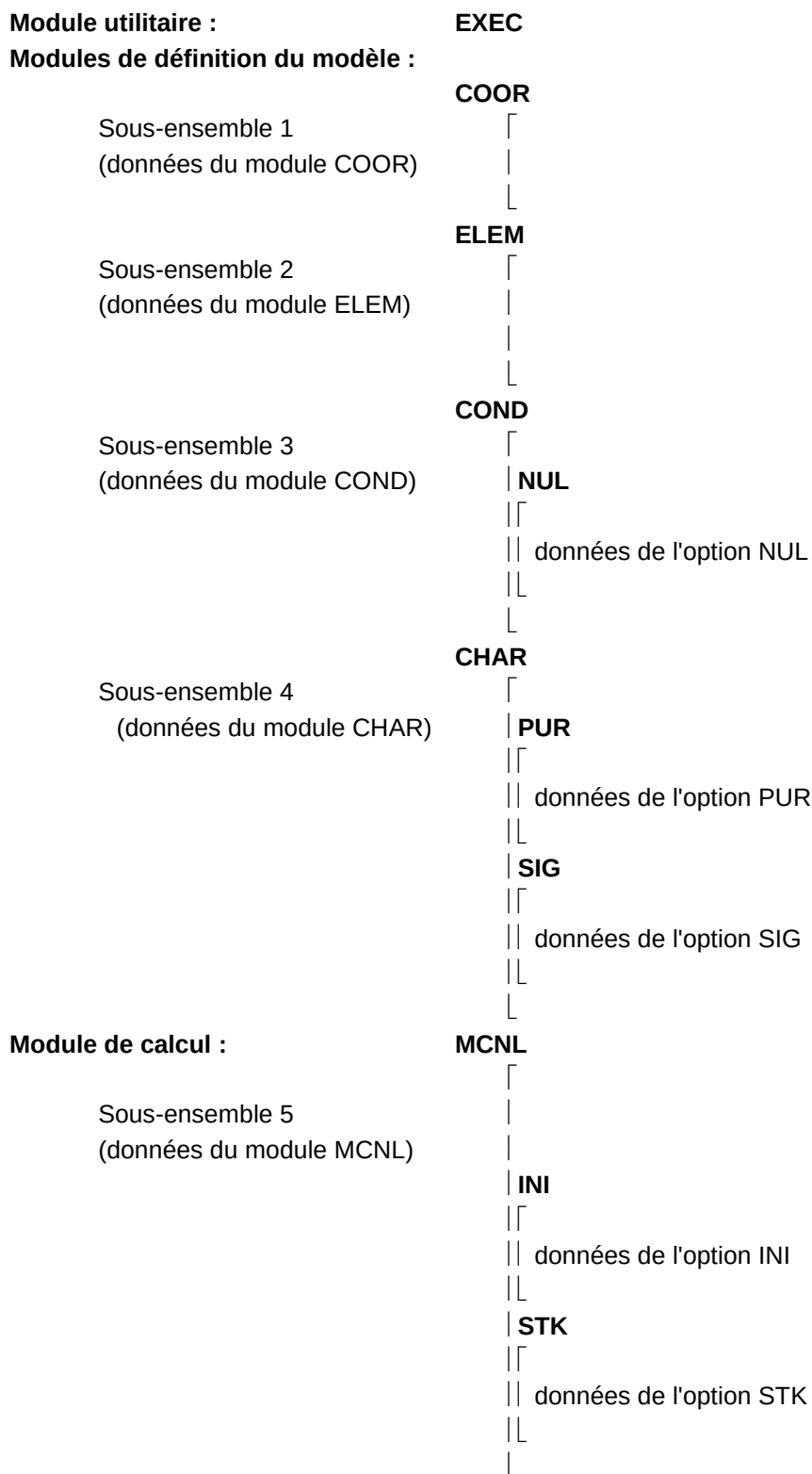
un mot-clé définissant le module à exécuter.

des données nécessaires à l'exécution du module considéré.

Les données d'un module peuvent être structurées en options, caractérisées par un mot-clé de trois lettres. L'utilisation et le fonctionnement de ces options sont analogues à ceux des modules (un mot-clé, suivi des données relatives à l'option).

L'exemple fourni page suivante est une schématisation de l'organisation générale des données.

Exemple :



## 1.4. Notations

### 1.4.1. Les ordres

On désigne par « ordre » soit la donnée de variables numériques, soit la vérification d'une condition « Si... ».

Pour l'identifier par rapport au reste du texte, chaque ordre est précédé d'un « repère » qui peut être : \*, \*\*, \*\*\*, etc.

### 1.4.2. Hiérarchie des repères

Il arrive que des ordres ne soient à prendre en compte que sous certaines conditions. Les différents repères précisent alors le niveau de conditions de chaque ordre en suivant la hiérarchie suivante :

|     |                                                |
|-----|------------------------------------------------|
| *   | ordre obligatoire (soumis à aucune condition); |
| **  | ordre soumis à une condition;                  |
| *** | ordre soumis à deux conditions;                |
|     | etc.                                           |
|     |                                                |

Pour illustrer ce propos, voici un extrait des données du module **ELEM** :

#### Extrait des données du module **ELEM**

```

* Si IMOD = 1 :

** RO, YOUNG, POISS                                (d)

    RO   : Masse volumique.
    YOUNG : Module d'Young.
    POISS : Coefficient de Poisson.

** Si INAT = 3 (Contrainte plane) :

*** EP                                            (d)

    EP   : Epaisseur de la structure.
```

Les ordres de même niveau de conditions sont affectés du même repère.

Ainsi, la valeur de EP n'est à fournir que si :

- 1) IMOD a été donné égal à 1 ;
- 2) INAT a été donné égal à 3.

### 1.4.3. Les données

Comme indiqué au paragraphe 1.3, il existe deux types de données :

- les mots-clés correspondant aux noms de modules ou aux noms d'options;
- les données nécessaires à l'exécution de ces modules ou de ces options.

Les mots-clés correspondant aux noms de modules ou aux noms d'options doivent obligatoirement figurer dans le fichier « jeu de données » sous forme de variables caractères, codés en majuscules à partir de la colonne 1. Ils sont repérés dans le mode d'emploi par l'indication :  
(mot-clé).

Les données nécessaires à l'exécution des modules ou des options peuvent se trouver dans différents fichiers. Dans le mode d'emploi de CESAR, la citation de ces données est suivie de l'une des quatre indications suivantes :

a) données suivies de l'indication : (d)

Ces données doivent obligatoirement se trouver dans le fichier « jeu de données ». Toutes ces données sont en format libre, à l'exception des noms de fichiers qui doivent être écrits à partir de la colonne 1. Si une ligne doit comporter plusieurs données, celles-ci seront séparées soit par un blanc (caractère d'espacement), soit par une virgule.

b) données suivies de l'indication : (f)  
et présentées sur fond bleu ciel

Ces données doivent obligatoirement se trouver dans un fichier de données annexe et écrites en binaire.  
Seul le nom de ce fichier figure dans le « jeu de données ».

c) données suivies de l'indication : (d si MIF = 0 ;  
f si MIF = 1)

Selon la valeur d'un indicateur de fichier fourni au préalable (noté ici MIF), ces données peuvent être fournies en format libre dans le fichier « jeu de données » (dans ce cas, MIF = 0), ou en binaire dans un fichier dont l'utilisateur fournit le nom dans la suite du « jeu de données ».

d) données suivies de l'indication : (d si MIF = 0 ;  
m si MIF = 1)

Si MIF = 0 , l'utilisateur se trouve dans la situation décrite en b) : il fournira la liste des données concernées en format libre dans le fichier « jeu de données ».

Si MIF = 1, cela signifie que les données concernées se trouvent sur le fichier de maillage et qu'elles ont donc été générées à l'aide des options de pré-traitement de **CLEO**. Ce fichier étant ouvert automatiquement par le code de calcul **CESAR**, il n'a pas à être déclaré par l'utilisateur.

Pour résumer les indications données dans ce paragraphe, on se rappellera que :

|          |            |                                   |
|----------|------------|-----------------------------------|
| <b>d</b> | désigne le | <b>fichier « jeu de données »</b> |
| <b>m</b> | désigne le | <b>fichier de maillage</b>        |
| <b>f</b> | désigne un | <b>fichier binaire</b>            |

### 1.4.4. Entrée des données

Pour présenter l'entrée des données, prenons comme exemple le module **COOR**. Considérons l'extrait suivant du paragraphe présentant les données à fournir pour l'exécution de ce module :

Extrait du module **COOR** :

| Module <b>COOR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Définition des coordonnées des nœuds.<br>(COORdonnées)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                    |
| <p><b>DESCRIPTION</b></p> <p>Ce module permet de définir les coordonnées des nœuds du maillage. L'ordre d'introduction de ces données est lié de façon naturelle à la numérotation des nœuds du maillage. Ainsi <b>COOR</b> fait connaître au solveur <b>CESAR</b> la numérotation des nœuds dans la mesure où le numéro d'un nœud est le rang que ce nœud occupe dans le tableau des coordonnées.</p> |                                    |
| <p><b>DONNÉES DU MODULE COOR</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |
| <p>1 - Ligne d'en tête</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                    |
| * COOR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | (mot-clé)                          |
| * M, M1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | (d)                                |
| <p>M : Indice d'impression;<br/>           = 0 Aucune impression;<br/>           = 1 Impression des paramètres :<br/>               - nombre de nœuds du maillage,<br/>               - dimension du problème;<br/>           = 2 Impression de M = 1, plus :<br/>               - coordonnées des nœuds.</p>                                                                                          |                                    |
| <p>M1 : Indicateur du fichier sur lequel sont lues les coordonnées des nœuds;<br/>           = 0 Si lecture dans le jeu de données;<br/>           = 1 Si lecture dans le fichier de maillage (en général créé par les options de pré-traitement de <b>CLEO</b>).</p>                                                                                                                                  |                                    |
| <p>2 - Lecture des coordonnées des nœuds</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                    |
| * NNT , NDIM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | (d si M1 = 0 ;)<br>(m si M1 = 1 .) |
| <p>NNT : Nombre de nœuds total du maillage.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                    |
| <p>NDIM : Dimension du problème;<br/>           = 2 Modélisation bidimensionnelle;<br/>           = 3 Modélisation tridimensionnelle.</p>                                                                                                                                                                                                                                                              |                                    |
| * ((VCORG(I,J), I= 1,NDIM), J= 1,NNT)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | (d si M1 = 0 ;)<br>(m si M1 = 1 .) |
| <p>VCORG : Tableau indiquant les coordonnées de tous les nœuds.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |

**Exemple 1.1 :**

\* NNT, NDIM

(d si M1 = 0 ;  
m si M1 = 1 .)

Cette ligne indique qu'il faut fournir les deux variables numériques NNT et NDIM :

NNT : Nombre de nœuds du maillage.

NDIM : Dimension du problème.

**Exemple 1.2 :**

\* ((VCORG(I,J), I=1, NDIM), J=1, NNT)

(d si M1 = 0 ;  
m si M1 = 1 .)

Cette ligne indique qu'il faut fournir les coordonnées de chaque nœud. La notation utilisée ici s'inspire du langage FORTRAN : elle indique que les composantes de la matrice des coordonnées des nœuds (dimension NDIM \* NNT) doivent être définies selon l'ordre suivant :

Exemple avec : NDIM = 2, NNT = 3

VCORG (1, 1) : Coordonnée suivant X du nœud 1  
VCORG (2, 1) : Y 1

VCORG (1, 2) : Coordonnée suivant X du nœud 2  
VCORG (2, 2) : Y 2

VCORG (1, 3) : Coordonnée suivant X du nœud 2  
VCORG (2, 3) : Y 2

Le maillage utilisé pour illustrer cet exemple comporte 2 éléments de poutre plans.

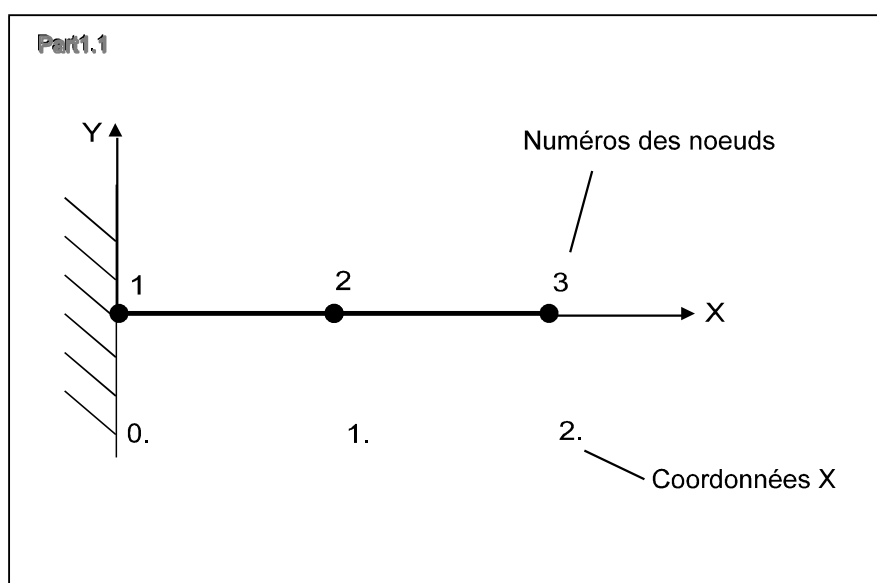


Figure 1.1

Les données permettant l'exécution du module **COOR** peuvent être ainsi dans cet exemple :

|                        |                                           |
|------------------------|-------------------------------------------|
| COOR                   | Mot-clé définissant le module à exécuter. |
| 2, 0                   | Valeur des données M et M1.               |
| 3, 2                   | Valeur des données NNT et NDIM.           |
| 0., 0., 1., 0., 2., 0. | Valeurs de VCORG (coordonnées des nœuds). |

#### Remarques concernant la donnée M1 :

- L'exemple de la figure 1.1 est traité ci-dessus avec la donnée M1 mise à 0. S'il est donné à M1 la valeur particulière 1, les données du module COOR sont alors les suivantes :

```
COOR
2, 1
```

Dans ce cas, les variables NNT, NDIM et la matrice des coordonnées sont lues sur le fichier de maillage.

- Une donnée M1 est également définie dans le module ELEM : elle doit avoir la même valeur que dans le module COOR.

#### Remarques concernant les séparateurs :

- Séparateur décimal :

Le langage de programmation utilisé par le progiciel **CESAR-LCPC** impose le point (.) comme séparateur décimal des nombres réels (convention anglo-saxonne). Cette convention est aussi utilisée dans la documentation d'utilisation.

- Séparateur entre nombres :

Le séparateur virgule (,) est utilisé entre les différentes données pour éviter toute ambiguïté de lecture. Le format libre utilisé en lecture par solveur **CESAR** admet également un (ou plusieurs) séparateur(s) blanc(s).

### 1.4.5. Compatibilité ascendante des données

À quelques exceptions près, la structure des données respecte la compatibilité ascendante des données entre les anciennes versions 3.x et les versions 4.x du solveur **CESAR**.

La compatibilité ascendante est respectée entre les versions 4.x, 5.0, 6.x .

## 2. Données utilitaires

### 2.1. Liste des modules utilitaires

**Tableau 2.1 - Module utilitaire obligatoire**

| Nom         | Fonction                                   |
|-------------|--------------------------------------------|
| TEST / EXEC | Choix du mode de passage du solveur CESAR. |

**Tableau 2.2 – Modules facultatifs d'utilisation courante**

| Nom  | Fonction                                                                          |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ILIG | Impression des lignes du jeu de données dans le fichier de listage des résultats. |
| COMT | Impression de commentaires dans le fichier de listage des résultats.              |
| IMPR | Définition des impressions souhaitées dans le fichier de listage des résultats.   |

**Tableau 2.3 – Modules facultatifs d'utilisation particulière**

| Nom  | Fonction                                                                                |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| DDBG | Pilotage d'impressions complémentaires et d'initialisations spécifiques pour débogage.  |
| EXPO | Impression du maillage et des résultats au format GMSH.                                 |
| FDBG | Arrêt des impressions complémentaires et des initialisations spécifiques pour débogage. |
| GEFI | Gestion ou contrôle du fichier de résultats.                                            |
| STOP | Arrêt du déroulement de l'exécution du solveur CESAR.                                   |

### 2.2. Données des modules utilitaires

Dans la suite de ce chapitre, les données des modules utilitaires sont décrites en suivant leur ordre d'affichage dans les tableaux ci-dessus.



## TEST / EXEC

Choix du mode de passage du solveur CESAR.

---

### DESCRIPTION

La première ligne du jeu de données du solveur **CESAR** doit obligatoirement contenir l'un des deux mots-clés **TEST** ou **EXEC**.

La présence du mot-clé **TEST** permet de n'effectuer qu'une vérification de la cohérence des données (passage en mode « test »).

La présence du mot-clé **EXEC** permet l'exécution effective du calcul demandé (passage en mode « exécution »).

### LIGNE DE DONNÉES

\* Si passage en mode "test" :

\*\* TEST (mot-clé)

\* Si passage en mode "exécution" :

\*\* EXEC (mot-clé)

**Fin des données relatives au mode de passage du solveur CESAR.**

### SUITE DU JEU DE DONNÉES DU SOLVEUR CESAR

Le jeu de données du solveur CESAR doit ensuite contenir les données relatives aux modules de définition du modèle retenus pour le présent calcul, en respectant l'ordre du tableau 3.I. Les données de ces modules sont décrites dans la 3<sup>e</sup> partie du présent manuel.

Pour finir, le jeu de données du solveur CESAR doit contenir les données du module de calcul retenu. La liste complète des modules de calcul disponibles ainsi que la description des données correspondantes sont fournies dans la 4<sup>e</sup> partie du présent manuel.

Les autres modules utilitaires décrits dans la suite de la présente partie peuvent s'intercaler entre les données des modules de définition du modèle et avant les données du module de calcul.

**Module ILIG**

**Impression des lignes du jeu de données dans le fichier de listage des résultats.  
(Impression LIGnes)**

---

---

**DESCRIPTION**

Ce module utilitaire assure l'impression de l'ensemble des lignes du jeu de données fournies par l'utilisateur, sur le fichier de listage des résultats du solveur CESAR (« listing » : etude\_calcul.list).

L'emploi du module utilitaire ILIG est facultatif, mais en cas d'utilisation les données correspondantes doivent obligatoirement se trouver derrière le mot-clé TEST / EXEC.

**DONNÉES DU MODULE ILIG**

\* ILIG

(mot-clé)

**Fin des données du module ILIG.**

**Module COMT**

**Impression de commentaires dans le fichier de listage des résultats.  
(COMmenTaires)**

---

---

**DESCRIPTION**

Ce module utilitaire permet d'insérer des commentaires dans le fichier de listage des résultats (« listing » : `etude_calcul.list`) créé lors de l'exécution du solveur **CESAR**. Ces commentaires suivront les impressions générées par les modules précédents.

L'emploi de ce module est facultatif et COMT peut être exécuté à tout moment : il suffit d'introduire ses données avant ou après les données de n'importe quel autre module.

**DONNÉES DU MODULE COMT**

\* COMT (mot-clé)

\* Un ensemble de lignes de commentaires se terminant par une seule ligne blanche.

**Fin des données du module COMT.**

**Module IMPR****Définition des impressions souhaitées dans le fichier de listage des résultats.  
(IMPRession)**

---

---

**DESCRIPTION**

L'emploi du module utilitaire IMPR est facultatif, mais en cas d'utilisation les données correspondantes doivent obligatoirement se trouver avant les données du module de calcul.

**DONNÉES DU MODULE IMPR**

\* IMPR (mot-clé)

\* IIP, IRC (d)

IIP : Indicateur d'impression de la valeur des inconnues principales ;  
= 0 Aucune impression de la valeur des inconnues principales.  
= 1 Impression partielle.  
= 2 Impression en tous les noeuds.

IRC : Indicateur d'impression des résultats complémentaires ;  
= 0 Aucune impression.  
= 1 Impression partielle.  
= 2 Impression pour tous les éléments.

\* Si IIP = 1, donnée de :

\*\*A)

\*\*\* IGENP (d)

IGENP : Indicateur permettant de définir le procédé utilisé pour la génération des numéros de noeuds pour lesquels on veut avoir impression des inconnues principales ;

= 1 Les numéros sont définis par pas de progression.

Donnée de ID, IF, IPAS avec :

ID : Premier numéro à générer.

IF : Dernier numéro à générer.

IPAS : Pas de progression entre ID et IF.

= 2 Les numéros sont définis par la liste de noeuds.

Donnée de NN, (NUM(I), I=1, NN) avec :

NN : Nombre de numéros de noeuds à définir.

NUM : Liste de ces NN numéros.

= 3 Les numéros sont définis par groupe d'éléments.

Donnée de NG, NUG(I), I = 1, NG) avec :

NG : Nombre de numéros de groupe d'éléments.

NUG : Liste de ces NG numéros.

\*\*\* Si IGENP = 1, donnée de :

\*\*\*\* ID, IF, IPAS (d)

\*\*\* Si IGENP = 2, donnée de :

\*\*\*\* NN, (NUM(I), I=1, NN) (d)

\*\*\* Si IGENP = 3, donnée de :

\*\*\*\* NG, (NUG(I), I = 1, NG) (d)

\*\* Retour en A), si l'on veut générer d'autres numéros de noeuds.

\*\* Sinon, terminer la séquence par 0.

\* Si IRC = 1, donnée de :

\*\*B)

\*\*\* IGENC (d)

IGENC : Indicateur permettant de définir le procédé utilisé pour la génération des numéros d'éléments pour lesquels on veut avoir impression des résultats complémentaires ;

= 1 Les numéros sont définis par pas de progression.

Donnée de ID, IF, IPAS avec :

ID : Premier numéro à générer.

IF : Dernier numéro à générer.

IPAS : Pas de progression entre ID et IF.

= 2 Les numéros sont définis par liste d'éléments.

Donnée de NE, (NUE(I), I=1,NE) avec :

NE : Nombre de numéros d'éléments à définir.

NUE : Liste de ces NE numéros.

= 3 Les numéros sont définis par groupe d'éléments.

Donnée de NG, (NUG(I), I = 1, NG) avec :

NG : Nombre de numéros de groupe d'élément.

NUG : Liste de ces NG numéros.

\*\*\* Si IGENC = 1, donnée de :

\*\*\*\* ID, IF, IPAS (d)

\*\*\*\* Si IGENC = 2, donnée de :

\*\*\*\* NE, (NUE(I), I=1,NE) (d)

\*\*\* Si IGENC = 3, donnée de :

\*\*\*\* NG, NUG(I), I = 1,NG) (d)

\*\* Retour en B), si l'on veut générer d'autres numéros d'éléments.

\*\* Sinon, terminer la séquence par 0.

**Fin des données du module IMPR.**

**Module DDBG****Pilotage d'impressions complémentaires et d'initialisations spécifiques pour débogage.  
(Début DéBoGage)****DESCRIPTION**

Le module utilitaire DDBG est d'un emploi très particulier, en liaison avec les équipes de support technique du solveur CESAR.

L'emploi de ce module est facultatif et DDBG peut être exécuté à tout moment : il suffit d'introduire ses données avant ou après les données de n'importe quel autre module.

Concernant l'indicateur MDBG, seules les valeurs les plus courantes sont décrites ci-après.

**DONNÉES DU MODULE DDBG**

- \* DDBG (mot-clé)
- \* MDBG, IDBG (d)
- MDBG : Indicateur d'impressions complémentaires pour débogage ;
  - = 0 Pas d'impressions complémentaires.
  - = 1 Détails des réservations d'espace (impressions produites également pour MDBG > 1 dans certains cas).
  - > 10 Diagonale de la matrice de rigidité globale.
  - > 11 Triangle supérieur de la matrice de rigidité (et triangle inférieur si non symétrique).
  - > 12 Matrices de rigidité élémentaires
- IDBG : Indicateur d'initialisation des tableaux à des valeurs « grandes » susceptibles de provoquer des débordements en cas d'utilisation directe des données correspondantes ;
  - = 0 Pas d'initialisation ;
  - = 1 Initialisation
  - = 2 Réduction de l'espace mémoire alloué au solveur de manière à forcer l'utilisation du stockage sur disque des matrices (depuis la version 4.0, cette fonctionnalité peut également être déclenchée en jouant sur le contenu du fichier des tailles de tableaux TCESAR).

**Fin des données du module DDBG.**

**Module EXPO****EXPOrtation du maillage et des résultats dans un autre format que le format natif (rsv4)**

---

**DESCRIPTION**

L'emploi de ce module est facultatif.

Il vise à permettre à l'utilisateur d'exploiter ses résultats avec d'autres outils que Peg2D/Peg3D ou CLEO2D/CLEO3D.

Pour le moment, la seule option disponible est le format GMSH (mais on pourrait envisager de mettre les résultats sous un format exploitable par d'autres logiciels).

Le module EXPO doit être introduit dans le fichier de données avant ELEM.

Le mot-clé EXPO est suivi d'un indicateur entier (0= pas d'exportation, 1 = création d'un fichier étude\_model.msh).

**DONNÉES DU MODULE EXPO**

\* EXPO (mot-clé)

\* IEXPO (d)

IEXPO : Indicateur du format souhaité pour l'exportation  
= 0 Pas d'exportation ;  
= 1 exportation au format GMSH

**Fin des données du module EXPO**



**Module FDBG**

**Arrêt des impressions complémentaires et des initialisations  
spécifiques pour débogage.  
(Fin DéBoGage)**

---

**DESCRIPTION**

L'emploi de ce module est facultatif, mais se fait après utilisation du module DDBG. Le module FDBG peut être exécuté à tout moment : il suffit d'introduire ses données après les données de n'importe quel autre module.

**DONNÉES DU MODULE FDBG**

\* FDBG

(mot-clé)

**Fin des données du module FDBG.**

**Module GEFI****Gestion ou contrôle du fichier de résultats.  
(GEstion Fichier)****DESCRIPTION**

Le module utilitaire GEFI peut remplir deux fonctionnalités distinctes :

d'une part il donne la possibilité d'exploiter les résultats fournis par le solveur **CESAR** version 4 avec les anciens post-processeurs **PEG2D** et **PEG3D** (version 3.x),

d'autre part il permet un contrôle du contenu du fichier de résultats à accès direct (extension .rsv4).

L'emploi du module GEFI est facultatif, mais les données permettant de l'activer doivent être placées avant les données du module de calcul.

**DONNÉES DU MODULE GEFI**

\* GEFI (mot-clé)

\* IPRESU, IVERFC (d)

IPRESU : Indicateur de création d'un fichier de résultats binaire conforme à la version 3.4 (extension .resu) en plus du fichier spécifique à la version 4.x (extension .rsv4) ;  
 = 0 Pas de création du fichier .resu ;  
 = 1 Création du fichier .resu .

IVERFC : Indicateur du niveau de vérification du fichier de résultats spécifique à la version 4.x (extension .rsv4).  
 = 0 Pas de vérification ;  
 = 1 Création d'un fichier ASCII complet (de nom "etude\_modele.cfor") conforme au fichier .rsv4 en plus de celui-ci. **Attention**, ce fichier ASCII .cfor est 2 à 3 fois plus gros que le fichier .rsv4 ;  
 = 2 Affichage dans l'écran associé au déroulement du calcul et dans le listing (fichier .list) des types d'en-têtes présents dans le fichier .rsv4 et des numéros d'enregistrement correspondants ;  
 = 3 : indicateur 1 + indicateur 2 .

**Fin des données du module GEFI.**

**Module STOP****Arrêt du déroulement de l'exécution du solveur CESAR.**

---

**DESCRIPTION**

Le fonctionnement normal du solveur CESAR est de s'arrêter à l'issue du processus de calcul enclenché par les données fournies par l'utilisateur. Un arrêt prématuré peut éventuellement se produire en cas de détection de non convergence dans les calculs itératifs. Ces deux types d'arrêt sont gérés automatiquement par le solveur.

Le module STOP provoque l'arrêt du déroulement de l'exécution du solveur CESAR après avoir préalablement fermé tous les fichiers en cours d'utilisation.

L'emploi de ce module est facultatif, et STOP peut être exécuté à tout moment : il suffit d'introduire le mot-clé correspondant avant ou après les données de n'importe quel autre module.

**DONNÉES DU MODULE STOP**

\* STOP

(mot-clé)

**Fin des données du module STOP.**

## 3. Données du modèle

### 3.1. Liste des modules de définition du modèle

Tableau 3.1 - Modules de définition du modèle

| Nom  | Fonction                                                         | Caractéristiques                    |
|------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| COOR | Définition des coordonnées des noeuds.                           | Obligatoire                         |
| ELEM | Définition des éléments et des caractéristiques des groupes.     | Obligatoire, structuré en familles. |
| COND | Définition des conditions aux limites sur l'inconnue principale. | Facultatif, structuré en options    |
| CHAR | Définition des chargements.                                      | Facultatif, structuré en options.   |

### 3.2. Données des modules de définition du modèle

Dans la suite de ce chapitre, les données des modules de définition du modèle sont décrites en suivant leur ordre d'affichage dans le tableau ci-dessus.

**Module COOR****Définition des coordonnées des noeuds.  
(COORDonnées)****DESCRIPTION**

Ce module permet de définir les coordonnées des noeuds du maillage.

Les coordonnées des noeuds et la numérotation des éléments figurent obligatoirement dans le même fichier : la valeur de l'indicateur M1 doit donc être la même dans les modules **COOR** et **ELEM**.

**DONNÉES DU MODULE COOR****1 - Ligne d'en-tête**

```
* COOR                                     (mot-clé)

* M, M1                                     (d)

M      : Indice d'impression;
        = 0 Aucune impression;
        = 1 Impression des paramètres :
            - nombre de noeuds du maillage,
            - dimension du problème;
        = 2 Impression de M = 1, plus :
            - coordonnées des noeuds.

M1     : Indicateur du fichier sur lequel sont lues les coordonnées des
        noeuds;
        = 0 Si lecture dans le jeu de données;
        = 1 Si lecture dans le fichier de maillage (en général créé
            par les options de pré-traitement de CLEO).
```

**2 – Lectures de coordonnées des noeuds**

```
* NNT , NDIM                               (d si M1 = 0 ;)
                                           (m si M1 = 1 .)

NNT     : Nombre de noeuds total du maillage.

NDIM    : Dimension du problème;
        = 2 Modélisation bidimensionnelle;
        = 3 Modélisation tridimensionnelle.

* ((VCORG(I,J),I= 1,NDIM), J= 1,NNT)       (d si M1 = 0 ;)
                                           (m si M1 = 1 .)

VCORG   : Tableau indiquant les coordonnées de tous les noeuds.
```

**Fin des données du module COOR.**

**Module ELEM****Définition des éléments.  
(ELEMents)****DESCRIPTION**

Ce module effectue la lecture de toutes les données caractérisant les éléments du maillage (numérotation, type), puis les données liées aux groupes d'éléments (caractéristiques physiques, caractéristiques géométriques, etc.).

L'organisation générale des données du module **ELEM** est la suivante :

Lignes d'en-tête :

|                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------|
| <p>ELEM</p> <p>Données relatives aux lectures et aux impressions.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------|

Données relatives à l'ensemble des éléments :

|                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------|
| <p>Numérotation.</p> <p>Types d'élément.</p> <p>Indicateurs de groupe.</p> |
|----------------------------------------------------------------------------|

Données des caractéristiques des NGRPE groupes d'éléments  
(NGRPE = nombre de groupes) :

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Titre caractérisant le groupe 1 (nom, indicateur d'activité, indicateur de couleur).</p> <p>Si le groupe 1 est actif, lignes de propriétés des éléments de ce groupe.<br/>(indicateur(s) de modèle, caractéristiques physiques et géométriques).</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>Titre caractérisant le groupe i.</p> <p>Si le groupe i est actif, lignes de propriétés des éléments de ce groupe.</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>Titre caractérisant le groupe NGRPE.</p> <p>Si le groupe NGRPE est actif, lignes de propriétés des éléments de ce groupe.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## DONNÉES DU MODULE ELEM

## 1 – Lignes d'en-tête

\* ELEM (mot-clé)

\* M, M1 (d)

M : Indice d'impression ;  
 = 0 Aucune impression.  
 = 1 Impression de :  
     - paramètres généraux.  
     - lignes de propriétés.  
 = 2 Impression de M = 1 plus :  
     - numérotation des éléments.

M1 : Indicateur du fichier sur lequel sont lus le pointeur de numérotation, la numérotation, le type et le pointeur de groupe des éléments. Sa valeur doit être la même que dans le module COOR. Pour mémoire :  
 = 0 Si lecture dans le jeu de données.  
 = 1 Si lecture dans le fichier de maillage (en général créé par les options de pré-traitement de **CLEO**).

## 2 – Données relatives à l'ensemble des éléments

\* NELT, NGRPE (d si M1 = 0 ;  
 m si M1 = 1 .)

NELT : Nombre total d'éléments.

NGRPE : Nombre de groupes d'éléments.

\* (PNUMEL (I), I=1, NELT+1) (d si M1 = 0 ;  
 m si M1 = 1 .)

PNUMEL : Pointeur de numérotation des éléments.

\* (NUMEL (I), I = 1, J) (d si M1 = 0 ;  
 m si M1 = 1 .)

NUMEL : Numérotation des éléments (matrice de connexion).

J : = PNUMEL (NELT + 1) - 1.

\* (TYPE (I), I = 1, NELT) (d si M1 = 0 ;  
 m si M1 = 1 .)

TYPE : Type de chaque élément (Voir le tableau ELEM.I).

\* (GROUPE (I), I=1, NELT) (d si M1 = 0 ;  
 m si M1 = 1 .)

GROUPE(I) : Indicateur du groupe auquel appartient l'élément numéro I.

### 3 – Données des caractéristiques des groupes d'éléments

#### Rappel sur la notion de groupe :

Tous les éléments d'un **groupe** doivent appartenir à la même **famille**. Pour un modèle donné, il y a au moins un groupe d'éléments par famille.

Supposons que le modèle comprenne par exemple trois groupes d'éléments :

- Groupe 1 : Eléments bidimensionnels (famille 01)
- Groupe 2 : Eléments de poutre plans (famille 03)
- Groupe 3 : Eléments bidimensionnels (famille 01).

Dans ce cas, les données à fournir pour le groupe 1 sont définies dans la rubrique **Famille 01**, celles du groupe 2 dans la rubrique **Famille 03** et celles du groupe 3 à nouveau par la rubrique **Famille 01**.

#### Suite des données du module ELEM :

La liste des familles disponibles dans la version standard du solveur **CESAR** est indiquée page suivante. Les rubriques du module **ELEM** sont ensuite présentées suivant l'ordre croissant des numéros de famille.

#### Remarque sur la compatibilité des données entre versions 3.x et 4.x :

A partir de la version 4.0 du solveur **CESAR**, la donnée d'un titre de 80 caractères en version 3.x (TITRE) pour caractériser le groupe considéré est remplacée par une ligne de données contenant le nom (NOMG) et les indicateurs d'activité (ACTI) et de couleur (IGCOL) du groupe. La valeur de ACTI conditionne ensuite la présence des lignes de propriétés des éléments du groupe considéré.

ATTENTION : NOMG, ACTI et IGCOL doivent être sur la même ligne de données.

La modification du format des données (NOMG, ACTI et IGCOL) et la dépendance des lignes de propriété ne créent pas véritablement d'incompatibilité par rapport à la donnée de TITRE, compte tenu des dispositions adoptées :

- L'ancien TITRE se voit ramené à 40 caractères pour constituer le nouveau NOMG du groupe considéré. La compatibilité est totale si TITRE ne comportait aucun caractère A, a, I ou i au delà de la colonne 40 de la ligne de données.
- L'indicateur d'activité ACTI est une donnée de 1 caractère prenant la valeur A ou a si le groupe est actif, et la valeur I ou i s'il est inactif. Si ACTI n'est pas défini (aucun caractère A, a, I ou i entre les colonnes 41 et 80 de la ligne de données), le groupe est considéré comme actif ; cela entraîne la présence des lignes de propriétés dans la suite du jeu de données (situation habituelle avec les versions 3.x).
- L'indicateur de couleur sert essentiellement à faciliter les représentations graphiques. Affecté à chaque groupe à l'aide des options de pré-traitement de **CLEO**, IGCOL ne joue aucun rôle dans le déroulement des calculs par le solveur **CESAR**, mais il est ensuite utilisé par les options de post-traitement de **CLEO**. Si IGCOL n'est pas défini, le groupe considéré se voit affecté de l'indicateur de couleur n°1.



Tableau ELEM.1 : Liste des familles

| Nature    | Famille | Type              | Description                                                                                                                                                                    |
|-----------|---------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mécanique | 01      | MBxx              | Éléments isoparamétriques bidimensionnels de type déplacement.                                                                                                                 |
|           | 02      | MTxx              | Éléments isoparamétriques tridimensionnels de type déplacement.                                                                                                                |
|           | 03      | PBxx              | Élément de poutre bidimensionnel.                                                                                                                                              |
|           | 04      | -<br>PTxx<br>PMxx | Élément de poutre tridimensionnel :<br>- de type Timoshenko<br>- de type multifibre                                                                                            |
|           | 05      | -<br>COxx<br>CMxx | Éléments de coque :<br>- de type Love-Kirchhoff ou Mindlin<br>- de type multicouche                                                                                            |
|           | 06      | FDxx              | Éléments de contact (2D, 3D).                                                                                                                                                  |
|           | 07      | BBxx              | Éléments de barre bidimensionnels.                                                                                                                                             |
|           | 08      | BTxx              | Éléments de barre tridimensionnels.                                                                                                                                            |
|           | 16      | EJxx              | Éléments de joint                                                                                                                                                              |
|           | 435     | KRxx              | Éléments de barre 2/3D avec frottement.                                                                                                                                        |
|           | 11      | AXxx              | Éléments isoparamétriques axisymétriques de type déplacement pour le calcul des structures à géométrie de révolution soumises à un chargement quelconque.                      |
| Diffusion | 21      | DBxx              | Éléments isoparamétriques bidimensionnels de type diffusion.                                                                                                                   |
|           | 22      | DTxx              | Éléments isoparamétriques tridimensionnels de type diffusion.                                                                                                                  |
|           | 23      | EBxx              | Éléments d'échange bidimensionnels.                                                                                                                                            |
|           | 24      | ETxx              | Éléments d'échange tridimensionnels.                                                                                                                                           |
|           | 25      | SBxx              | Éléments discontinus pour la recherche d'une surface libre (problèmes plans).                                                                                                  |
|           | 27      | CDxx              | Éléments d'interface pour calculs en diffusion                                                                                                                                 |
|           | 28      | SDxx              | Éléments « de structure » (inactifs)                                                                                                                                           |
|           | 25      | SBxx              | Éléments discontinus pour la recherche d'une surface libre (problèmes plans).                                                                                                  |
| Couplage  | 41      | CBxx              | Éléments isoparamétriques bidimensionnels à trois degrés de liberté par noeud (deux déplacements, charge hydraulique) pour les problèmes de consolidation.                     |
|           | 42      | CTxx              | Éléments isoparamétriques tridimensionnels à quatre degrés de liberté par noeud (trois déplacements, charge hydraulique) pour les problèmes de consolidation.                  |
|           | 45      | OBxx              | Éléments isoparamétriques bidimensionnels à quatre ddl par noeud (2 déplacements, pression de pore, température) pour les problèmes thermo-mécaniques dans les milieux poreux. |
|           | 46      | OTxx              | Éléments isoparamétriques tridimensionnels à cinq ddl par noeud (3 déplacements, pression de pore, température) pour les problèmes thermo-mécaniques dans les milieux poreux.  |

|       |          |              |                                                                                                                                                                 |
|-------|----------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Autre | 09<br>10 | RLxx<br>SPxx | Relations linéaires.<br>Éléments « spéciaux » ou « utilisateur » permettant l'introduction de pénalisation particulière (amortissement, masse, rigidité, etc.). |
|-------|----------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## Famille 01

## Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments MBxx

## 01.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

- \* NOMG, ACTI, IGCOL (d)
- NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).
- ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.
- IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.
- \* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.
- \* Si le groupe est actif :
- \*\* IMOD, INAT (d)
- IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;
- = 1 Élasticité linéaire isotrope.
  - = 2 Élasticité linéaire orthotrope.
  - = 5 Comportement du béton au jeune âge.
  - = 10 à 50 Élastoplasticité :
    - = 10 Mohr-Coulomb sans écrouissage.
    - = 11 Von Mises sans écrouissage.
    - = 12 Von Mises avec écrouissage.
    - = 13 Drucker-Prager sans écrouissage.
    - = 14 Drucker-Prager avec écrouissage.
    - = 15 Critère parabolique.
    - = 16 Vermeer.
    - = 17 Nova.
    - = 18 Cam Clay modifié.
    - = 19 Prévost-Hoeg.
    - = 20 Critère orienté.
 Attention à la signification de ce critère en déformation axisymétrique ou en contrainte plane !
  - = 24 Hoek-Brown (déformation plane).
  - = 34 Modèle Mélanie (déformation plane).
  - = 37 Mohr-Coulomb sans écrouissage, élasticité orthotrope.
  - = 40 Tresca anisotrope (ce critère n'a de sens qu'en déformation plane : donner INAT = 1).
  - = 43 Matériau renforcé, modèle de de Buhan - Sudret : une phase matrice élasto-plastique (modèle de Drucker-Prager sans écrouissage) et une ou deux phases de renforcements unidirectionnels élastiques

parfaitement plastiques (modèle de von Mises),  
déformation plane ou déformation axisymétrique.  
= 47 Willam-Warnke standard (3 paramètres), sans/avec  
écrouissage.  
= 48 Willam-Warnke modifié (4 paramètres), sans/avec  
écrouissage.  
= 66 Elasticité linéaire isotrope avec amortissement de  
Rayleigh (DYNI,LINC).  
= 88 Elasticité avec dilatance isotrope.  
= 10000 lois de comportement "à composantes".

INAT : Indicateur de la nature du problème étudié ;  
= 1 Déformation plane.  
= 2 Déformation axisymétrique.  
= 3 Contrainte plane.

## 01.2 Caractéristiques mécaniques : modèles classiques (IMOD<10000)

\*\* Si IMOD = 1 (élasticité linéaire isotrope) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 2 (élasticité linéaire orthotrope) :

\*\*\* RO, E1, E2, P1, P2, G2, TETA (d)

RO : Masse volumique.  
E1 : Module d'Young dans la direction 1.  
E2 : Module d'Young dans la direction 2.  
P1 : Coefficient de Poisson direction 1.  
P2 : Coefficient de Poisson direction 2.  
G2 : Module de cisaillement.  
TETA : Angle entre l'axe OX et la direction 1.

\*\* Si IMOD = 5 (comportement du béton au jeune âge) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, DILAT, RETRA, SEUIL, HYD (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
DILAT : Coefficient de dilatation thermique.  
RETRA : Retrait endogène final du béton.  
SEUIL : Seuil du matériau durci.  
HYD : Degré d'hydratation.  
= 0. pour un matériau chimiquement actif ;  
≠ 0. pour un matériau chimiquement inactif, dont le degré d'hydratation est fixé à la valeur HYD (le groupe correspondant doit être déclaré inactif avec l'option INA lors du calcul TEXO).

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 10 (Mohr-Coulomb sans écrouissage) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
C : Cohésion.  
PHI : Angle de frottement interne (critère).  
PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 11 (Von Mises sans écrouissage) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, K (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
K : Résistance en cisaillement simple.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 12 (Von Mises avec écrouissage) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, K, H (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
K : Résistance en cisaillement simple.  
H : Pente de la droite d'essai uniaxial.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 13 (Drucker-Prager sans écrouissage) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 14 (Drucker-Prager avec écrouissage) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI, XHI (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 XHI : Paramètre d'écrouissage.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 15 (Critère parabolique) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, RC, RT (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 RC : Résistance en compression simple.  
 RT : Résistance en traction simple.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 16 (Vermeer) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, EPSO, PHICV, PHIP, BETA, EPSCO, PO (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 EPSO : Déformation volumique élastique initiale.  
 PHICV : Angle de frottement à l'état critique.  
 PHIP : Angle de frottement au pic.  
 BETA : Paramètre du modèle.  
 EPSCO : Paramètre du modèle.  
 PO : Pression de référence.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 17 (Nova) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, BO, LO, M, L, D, MM, MU, PCO (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 BO : Pente initiale de déchargement.  
 LO : Pente initiale de contrainte-déformation.  
 M : Paramètre du modèle.  
 L : Paramètre du modèle.  
 D : Paramètre du modèle (dilatance).  
 MM : Pente de la droite Q/P (état critique).  
 MU : Paramètre du modèle.  
 PCO : Paramètre définissant la surface de charge initiale.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 18 (Cam Clay modifié) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, ALOE, AKOE, AMC, OED, PCO (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 ALOE : Pente de la courbe de consolidation vierge.  
 AKOE : Pente des courbes charge-décharge.  
 AMC : Pente de la courbe d'état critique.  
 OED : Indice des vides initial.  
 PCO : Pression de préconsolidation initiale.



\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 19 (Prévost-Hoeg) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, AO, BO (d)

RO : Masse volumique.

YOUNG : Module d'YOUNG.

POISS : Coefficient de Poisson.

AO : Paramètre du modèle.

BO : Paramètre du modèle.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 20 (Critère orienté) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI, ALPHA (d)

RO : Masse volumique.

YOUNG : Module Young.

POISS : Coefficient de Poisson.

C : Cohésion.

PHI : Angle de frottement interne (critère).

PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).

ALPHA : Angle par rapport à l'axe OX.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 24 (Hoek-Brown) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, SU, S, M (d)

RO : Masse volumique.

YOUNG : Module Young.

POISS : Coefficient de Poisson.

SU : Contrainte à la rupture de la roche saine (compression).

S : Coefficient de fracturation.

M : Paramètre de forme.

\*\* Si IMOD = 34 (Modèle Mélanie) :

\*\*\* RO, E1, E2, P1, P2, G2, TETA, ALPHA, OED, SIVO, SIPO, CPSC, CPNC, JTA, TOLC (d)

RO : Masse volumique.  
 E1 : Module d'Young dans la direction 1.  
 E2 : Module d'Young dans la direction 2.  
 P1 : Coefficient de Poisson direction 1.  
 P2 : Coefficient de Poisson direction 2.  
 G2 : Module de Cisaillement.  
 TETA : Angle entre l'axe OX et la direction 1.  
 ALPHA : Pente de la courbe de consolidation isotrope.  
 OED : Indice des vides initial.  
 SIVO : Contrainte verticale effective initiale.  
 SIPO : Pression de préconsolidation.  
 CPSC : Coefficient de pression des terres au repos du sol surconsolidé.  
 CPNC : Coefficient de pression des terres au repos du sol normalement consolidé.  
 JTA : Indice de normalité.  
 TOLC : Tolérance sur le critère de plasticité.

\*\* Si IMOD = 37 (Mohr-Coulomb sans écrouissage, élasticité orthotrope) :

\*\*\* RO, E1, E2, P1, P2, G2, TETA, C, PHI, PSI (d)

RO : Masse volumique.  
 E1 : Module d'Young dans la direction 1.  
 E2 : Module d'Young dans la direction 2.  
 P1 : Coefficient de Poisson direction 1.  
 P2 : Coefficient de Poisson direction 2.  
 G2 : Module de Cisaillement.  
 TETA : Angle entre l'axe OX et la direction 1.  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 40 (Tresca anisotrope) :

\*\*\* RO, E1, E2, P1, P2, G2, TETA, A1, B1, A2, B2 (d)

RO : Masse volumique.  
 E1 : Module d'Young dans la direction 1.  
 E2 : Module d'Young dans la direction 2.  
 P1 : Coefficient de Poisson direction 1.  
 P2 : Coefficient de Poisson direction 2.

G2 : Module de Cisaillement.  
TETA : Angle entre l'axe OX et la direction 1.  
A1, B1 : Coefficients pour une variation linéaire de la cohésion en compression en fonction de la direction 2  
( $C_c = a_1 x_2 + b_1$ ).  
A2, B2 : Coefficients pour une variation linéaire de la cohésion en extension en fonction de la direction 2  
( $C_e = a_2 x_2 + b_2$ ).

\*\* Si IMOD = 43 (Matériau renforcé, modèle de de Buhan et Sudret) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI, NRENF,

TYP1, K1, SA1, S1, ETA1, X1, Y1, FV1,

TYP2, K2, SA2, S2, ETA2, X2, Y2, FV2 (d)

RO : Masse volumique de la phase matrice.

YOUNG : Module d'Young de la phase matrice.

POISS : Coefficient de Poisson de la phase matrice.

C : Cohésion de la phase matrice.

PHI : Angle de frottement interne (critère) de la phase matrice.

PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique) de la phase matrice.

NRENF : Nombre de phases de renforcement (valeur : 0, 1 ou 2).

TYP1 : Type de la phase de renforcement n°1 ;

= 0 Renforcement homogène,

= 1 Renforcement radial,

= 2 Renforcement divergent cylindrique,

= 3 Renforcement divergent sphérique.

K1 : Module d'Young du matériau constituant les inclusions de la phase 1.

SA1 : Section d'une inclusion de la phase 1.

S1 : Contrainte limite en traction simple du matériau constituant les inclusions de la phase 1.

ETA1 : Rapport limite en compression/limite en traction des inclusions de la phase 1.

X1, Y1, FV1 : voir définitions selon conditions.

TYP2, K2, SA2, S2, ETA2, X2, Y2, FV2 : données de la phase de renforcement n°2 ; définitions analogues à celles de la phase 1.

\*\*\* Si NRENF = 0 :

Voir remarque ci-dessous.

\*\*\* Si NRENF = 1 ou 2 :

\*\*\*\* Si INAT = 1 (Déformation plane), les données X1, Y1, FV1 ont la signification suivante :

\*\*\*\*\* Si TYP1 = 0 (renforcement homogène) :

X1 : Angle de la direction des inclusions de la phase 1 avec l'axe horizontal (en degrés).

Y1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).

FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1.

\*\*\*\*\* Si TYP1 = 1 (renforcement radial) :

X1, Y1 : Coordonnées du point de convergence des inclusions de la phase 1.

FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1 à une distance unité du point de convergence des inclusions (la fraction volumique varie en  $1/r$ , où  $r$  est la distance au point (X1,Y1)).

\*\*\*\* Si INAT = 2 (Calcul axisymétrique), les données X1, Y1, FV1 ont la signification suivante :

\*\*\*\*\* Si TYP1 = 0 (renforcement homogène) :

X1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 Y1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1.

\*\*\*\*\* Si TYP1 = 1 (renforcement radial) :

X1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 Y1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1 à une distance unité de l'axe de symétrie (la fraction volumique varie en  $1/r$ ).

\*\*\*\*\* Si TYP1 = 2 (renforcement divergent cylindrique) :

X1 : Angle de la direction de renforcement de la phase 1 avec l'axe de symétrie Oz (en degrés).  
 Y1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1 à une distance unité de l'axe de symétrie (la fraction volumique varie en  $1/r$ ).

\*\*\*\*\* Si TYP1 = 3 (renforcement divergent sphérique) :

X1 : Coordonnée z du point de convergence des inclusions (nécessairement situé sur l'axe de symétrie).  
 Y1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1 à une distance unité du point de convergence des inclusions (la fraction volumique varie en  $1/r^2$ , où r est la distance au point de convergence des inclusions ( $r=0$ ,  $z=X1$ )).

\*\*\* Si NRENF = 2 :

La structure des données de la phase de renforcement 2 est identique à celle de la phase 1.

#### Remarque :

Quelle que soit la valeur de NRENF, les 23 paramètres du modèle de comportement doivent être écrits dans le jeu de données. S'il n'y a qu'une phase de renforcement (NRENF=1), il suffit d'affecter des valeurs quelconques (ou nulles) aux 8 dernières paramètres. S'il n'y a pas de renforcement (NRENF=0), cette affectation quelconque portera sur les 16 derniers paramètres.

\*\* Si IMOD = 47 (Willam-Warnke standard, 3 paramètres) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, FC, FT, FBC, A0, B0, KAPPA (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 FC : Résistance en compression.  
 FT : Résistance en traction.  
 FBC : Résistance en compression biaxiale.  
 A0 : Limite d'élasticité initiale par rapport aux résistances du matériau.  
 B0 : Limite d'élasticité finale par rapport aux résistances du matériau.  
 KAPPA : Facteur exponentiel d'écrouissage.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 48 (Willam-Warnke modifié, 4 paramètres) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, FC, FT, FBC, SIG1, SIG2, SIG3, A0, B0, KAPPA (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 FC : Résistance en compression.  
 FT : Résistance en traction.  
 FBC : Résistance en compression biaxiale.  
 SIG1, SIG2, SIG3 :  
     Etat de contraintes triaxiales de ruine.  
 A0 : Limite d'élasticité initiale par rapport aux résistances du matériau.  
 B0 : Limite d'élasticité finale par rapport aux résistances du matériau.  
 KAPPA : Facteur exponentiel d'écrouissage.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 66 (élasticité linéaire isotrope avec amortissement de Rayleigh - modules DYN1, LINC) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, A, B (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.

A : Coefficient de Rayleigh relatif à la matrice de rigidité.  
B : Coefficient de Rayleigh relatif à la matrice de masse.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 88 (élasticité avec dilatance isotrope) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, CKA, CKB, CKC (d)

RO : Masse volumique.

YOUNG : Module d'Young.

POISS : Coefficient de Poisson.

CKA : Coefficient Ka affecté au cisaillement.

CKB : Coefficient Kb affecté à la variation de volume.

CKC : Coefficient Kc affecté au troisième invariant.

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

## 01.3 Caractéristiques mécaniques : modèles à composantes (MOD=10000)

\*\* Si IMOD = 10000 (modèles de comportement à composantes :

### Définition de la masse volumique (facultatif)

\*\*\* **RHO** (mot-clé facultatif) RO (d)  
RO : Masse volumique.

Note : Si le mot-clé RHO est absent, la masse volumique est prise nulle.

## Partie élastique du modèle

### Partie élastique de la loi de comportement (obligatoire)

\*\*\* **ELAS** (mot-clé obligatoire), IELAS, (VPEL(I), I=1, NCEL(IELAS)) (d)  
IELAS : Indicateur du type de modèle pour la loi élastique.  
NCEL(IELAS) : Nombre de paramètres pour la loi élastique associée à la valeur de l'indicateur IELAS.  
VPEL : Vecteur des paramètres à fournir pour la loi élastique choisie.

\*\*\* Si IELAS= 0 (élasticité linéaire isotrope)  
NCEL(IELAS) = 2  
VPEL(1..2) = YOUNG, POISS  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.

\*\*\* Si IELAS= 1 (élasticité lin. isot. avec modules linéaires en z)  
NCEL(IELAS) = 4  
VPEL(1..4) = YOUNGZ, POISSZ, DELTAYG, DELTAP  
YOUNGZ : Module d'Young pour y=0.  
POISSZ : Coefficient de Poisson pour y=0.  
DELTAYG : Gradient du module d'Young suivant la verticale (ascendante).  
NB important : Pour représenter une augmentation de raideur lorsque la profondeur augmente (c'est-à-dire lorsque z diminue), il faut donner une valeur négative au gradient du module : DELTAYG <0.  
DELTAP : Gradient du coefficient de Poisson suivant la verticale (ascendante).

\*\*\* Si IELAS= 2 (élasticité linéaire isotrope transverse)  
NCEL(IELAS) = 6  
VPEL(1..6) = E1, E2, P1, P2, G, TETA  
E1 : Module d'Young dans le plan isotrope 1.  
E2 : Module d'Young dans la direction de l'axe de symétrie 2.



P1 : Coefficient de Poisson direction 1.  
 P2 : Coefficient de Poisson direction 2.  
 G2 : Module de cisaillement.  
 TETA : Angle entre l'axe OX et le plan d'isotropie.

\*\*\* Si IELAS= 3 (élasticité non linéaire type Cam Clay)

(G=cte ET  $K = p (1+e_0)/\kappa$ )  
 NCEL(IELAS) = 4  
 VP(1..4) = G,EZERO,KAPPA,KMIN  
 G : Module de cisaillement.  
 EZERO : Indice des vides initial.  
 KAPPA : Pente de la courbe de compression isotrope surconsolidée.  
 KMIN : Valeur minimale du module de compression.

\*\*\* Si IELAS= 4 (élasticité non linéaire type Fahey et Carter)

NCEL(IELAS) = 8  
 VP(1..8) = N,NUZ,F,G,C,PREF,COH,PHI  
 N : Exposant de p dans  $G_0$ .  
 NUZ : Coefficient de Poisson initial.  
 F : Paramètre empirique sans dimension.  
 G : Paramètre empirique sans dimension.  
 C : Paramètre empirique sans dimension.  
 PREF : Pression de référence.  
 COH : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement.

\*\*\* Si IELAS= 5 (élasticité non linéaire type Hardening Soil Model)

NCEL(IELAS) = 6  
 VP(1..6) = EURREF, NUUR,C,PHI,M,PREF  
 EURREF : Module de dechargement rechargement.  
 NUUR : Coefficient de Poisson.  
 C : Cohesion.  
 PHI : Angle de frottement interne.  
 M : Exposant pour le calcul de Eur.  
 PREF : Pression de référence.

\*\*\* Si IELAS= 6 (élasticité non linéaire type Duncan,  
 avec (S1-S3)RUPT DONNE PAR HOEK ET BROWN)

NCEL(IELAS) = 10  
 VP(1..10) = SIGC, S, M, ALPHA, KMIN, C, PREF, N, NUZ, RF  
 SIGC : Contrainte a rupture de la roche saine.  
 S : Coefficient de fracturation.  
 M : Paramètre de forme.  
 ALPHA : Exposant.  
 KMIN : Module de compression minimum.  
 C : Coefficient module de compression.  
 PREF : Pression de référence.  
 N : Exposant variation de  $K_t$  avec la pression.

NUZ : Coefficient de Poisson sous contrainte isotrope.  
 RF : Facteur de reduction de G à la rupture.

\*\*\* Si IELAS= 7 (élasticité non linéaire type Fahey et Carter modifiée :  $G_t = G \exp(-q/\alpha)$ ,  $\nu = \text{cte}$ ,  $G = \max(G_{\min}, G_0 (p/p_a)^{**n})$ )

NCEL(IELAS) = 6  
 VPEL(1..6) = GZERO, PA, N, GMIN, ALPHA, NU  
 GZERO : Valeur de référence du module de cisaillement.  
 PA : Pression de référence.  
 N : Exposant de la contrainte moyenne dans G.  
 GMIN : Valeur minimale de G en isotrope.  
 ALPHA : Paramètre de décroissance de G avec q.  
 NU : Coefficient de Poisson.

\*\*\* Si IELAS= 8 (élasticité linéaire avec module d'Young en  $z^{**\alpha}$  et coefficient de Poisson constant)

NCEL(IELAS) = 5  
 VPEL(1..5) = YOUNG, K, H, ALPHA, POISS  
 YOUNGZ : Module d'Young de référence.  
 K : Coefficient de la puissance.  
 H : Altitude de référence.  
 ALPHA : Exposant de la puissance de  $\langle h-z \rangle$ .  
 POISS : Coefficient de Poisson.

\*\*\* Si IELAS= 9 (élasticité milieu fracturé en chevrons coniques)

Attention : modèle a utiliser uniquement en axisymétrique  
 NCEL(IELAS) = 6  
 VPEL(1..6) = E1, E2, P1, P2, G, ALPHA  
 E1 : Module d'Young de la roche intacte.  
 E2 : Module d'Young dans la direction 2 perpendiculaire aux fractures.  
 P1 : coefficient de Poisson de la roche intacte.  
 P2 : Coefficient de Poisson dans la direction 2.  
 G2 : Module de cisaillement.  
 ALPHA : Angle entre la radiale  $r$  et le plan tangent aux chevrons.

\*\*\* Si IELAS= 10 (élasticité milieu fracturé en chevrons coniques)

Attention : modèle a utiliser uniquement en axisymétrique  
 NCEL(IELAS) = 6  
 VPEL(1..6) = YOUNG, POISS, KN, KT, D, ALPHA  
 YOUNG : Module d'Young de la roche intacte.  
 POISS : Coefficient de Poisson de la roche intacte.  
 KN : Raideur normale des fractures (contrainte par unité de longueur).  
 KT : Raideur tangentielle des fractures (contrainte par unité de longueur).  
 D : Distance entre deux fractures.  
 ALPHA : Angle entre la radiale  $r$  et le plan tangent aux chevrons.

```

*** Si IELAS= 11 (élasticité milieu fracturé en chevrons non coniques)
    A renseigner.

*** Si IELAS= 14 (élasticité linéaire orthotrope)
    NCEL(IELAS) = 8
    VP(1..8) = YOUNGB, YOUNGH, YOUNGN, NUBH, NUHN, NUBN, GBH, TETA
    YOUNGB, YOUNGH, YOUNGN      : Modules de Young dans les directions b,
                                h, n.
    NUBH, NUHN, NUBN : Coefficients de Poisson.
    GBH      : Module de cisaillement dans le plan bh.
    TETA     : Angle entre l'axe horizontal et la direction b.

*** Si IELAS= 15 (modèle élastique de Zucchini pour la maçonnerie)
    NCEL(IELAS) = 8
    VP(1..8) = YOUNG1, POISS1, YOUNGM, POISSM, DL, DH, DT, TETA
    YOUNG1 : Module d'Young de la roche intacte.
    POISS1 : Coefficient de Poisson de la roche intacte.
    YOUNGM : Module d'Young du mortier.
    POISSM : Coefficient de Poisson du mortier.
    DL, DH, DT : longueur, épaisseur des briques et épaisseur des
                joints.
    TETA     : Angle entre l'axe horizontal et la direction b.

*** Si IELAS= 16 (élasticité orthotrope pour une voute elliptique)
    NCEL(IELAS) = 12
    VP(1..12) = YOUNG1, YOUNG2, YOUNG3, POISS12, POISS23, POISS13, G12,
                XC, YC, A, B, BETA
    YOUNG1, YOUNG2, YOUNG3 : Modules de Young dans les directions 1, 2, 3.
    POISS12, POISS23, POISS13 : Coefficients de Poisson.
    G12      : module de cisaillement dans le plan 12.
    XC, YC   : Coordonnées de l'axe de la galerie.
    A, B     : demi-grand axe et demi-petit axe de l'ellipse.
    BETA     : Angle entre l'axe horizontal et le grand axe.

*** Si IELAS= 17 (modèle élastique de Zucchini pour une voute elliptique en
maçonnerie)
    NCEL(IELAS) = 12
    VP(1..12) = YOUNGB, POISSB, YOUNGM, POISSM, DL, DH, DT, XC, YC, A, B,
                BETA
    YOUNGB : Module d'Young des briques.
    POISSB : Coefficient de Poisson des briques.
    YOUNGM : Module d'Young du mortier.
    POISSM : Coefficient de Poisson du mortier.
    DL, DH, DT : longueur, épaisseur des briques et épaisseur des
                joints.
    XC, YC : Coordonnées de l'axe de la galerie.
    A, B : demi-grand axe et demi-petit axe de l'ellipse.
    BETA : Angle entre l'axe horizontal et le grand axe.

```

```

*** Si IELAS= 24 (modèle anisotrope non linéaire de Gilleron)
    NCEL(IELAS) = 12
    VPEL(1..12) = GREF, A, R, Gmin/G0 , XSI, BETA, NU0, GUR/G0, NUURN,
                  M/MISO, TETA
    Gref : valeur de référence du module de cisaillement
    A : paramètre de croissance du module avec la contrainte moyenne
    R : exposant de croissance du module avec la contrainte moyenne
    Gmin/G0 : paramètre limitant le module de cisaillement
    XSI : facteur de forme pour la décroissance de raideur avec la contrainte
          déviatorique
    BETA : paramètre pour la décroissance de raideur avec la contrainte
          déviatorique
    nu0 : coefficient de Poisson de référence
    Gur/G0 : paramètre pour le mécanisme de déchargement/rechargement
    nu_ur : coefficient de Poisson pour le déchargement/rechargement
    n : rapport du module horizontal sur le module vertical
    m/miso : paramètre anisotrope pour le module de cisaillement vertical
    TETA : angle entre l'horizontale et le plan d'isotropie

```

## Modèles élastoplastiques

### Premier mécanisme plastique (facultatif)

#### Critère du premier mécanisme

```

*** CRT (mot-clé facultatif), ICRT, (VPC(I),I=1,NCRT(ICRT))          (d)
    ICRT : Indicateur de la fonction servant de critère de plasticité.
    NCRT(ICRT) : Nombre de paramètres pour le critère associé à la valeur
                  de l'indicateur ICRT.
    VPC : Vecteur des paramètres à fournir pour le critère choisi.

*** Si ICRT= 1 (Tresca)
    f=(SIG1-SIG3) - 2C
    NCRT(ICRT) = 1
    VPC(1) = C
    C      : Cohésion.

*** Si ICRT= 2 (von Mises)
    f= sqrt(J2)-k
    NCRT(ICRT) = 1
    VPC(1) = K
    K      : Résistance en cisaillement simple.

*** Si ICRT= 3 (Coulomb)
    f=S1-S3-(S1+S3)sin(phi)
    NCRT(ICRT) = 1
    VPC(1) = PHI
    PHI     : Angle de frottement interne.

```

```

*** Si ICRT= 4 (Mohr-Coulomb)
    f=S1-S3-(S1+S3) sin(phi)-2ccos(phi))
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..2) = C, PHI
    C          : Cohésion.
    PHI        : Angle de frottement interne.

*** Si ICRT= 5 (Drucker Prager)
    f=sqrt(j2)+alfa*J1-k ;
    alfa=tan(phi)/sqrt(9+12(tan phi)**2); k=3c/sqrt(9+12(tan phi)**2))
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..2) = C, PHI
    C          : Cohésion.
    PHI        : Angle de frottement interne.

*** Si ICRT= 6 (Cam-Clay modifié)
    f=q**2 + M**2 p (p-pc) ;
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..2) = M, PC
    M          : Pente de la ligne d'état critique.
    PC         : Pression de préconsolidation initiale.

*** Si ICRT= 7 (Critère parabolique)
    f= J2 + (RC-RT) * I1/3 6 RC*RT/3 ;
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..2) = RC,RT
    RC         : Résistance en compression simple.
    RT         : Résistance en traction simple.

*** Si ICRT= 11 (Critère orienté)
    NCRT(ICRT) = 3
    VPC(1..3) = C, PHI, ALPHA
    C          : Cohésion.
    PHI        : Angle de frottement interne.
    ALPHA      : Angle entre l'axe horizontal et la normale au plan.

*** Si ICRT= 12 (Fractures en chevrons coniques)
    Attention : utiliser ce critère en axisymétrique seulement
    NCRT(ICRT) = 3
    VPC(1..3) = C, PHI, ALPHA
    C          : Cohésion.
    PHI        : Angle de frottement interne.
    ALPHA      : Angle entre er et le plan tangent aux chevrons.

*** Si ICRT= 14 (Hoek-Brown généralisé)
    f = (s1-s3)-sig_c[m (s3/sig_c)+s]^alpha
    NCRT(ICRT) = 4
    VPC(1..4) = SIGC, S, M, ALPHA
    SIGC       : Contrainte à la rupture de la roche saine.
    S          : Coefficient de fracturation.
    M          : Paramètre de forme.
    ALPHA      : Exposant.

```

```

*** Si ICRT= 15 (Mohr-Coulomb avec c et phi linéaires en z)
    c = c0 + z DC ; PHI = PHI0 + z DPHI
    NCRT(ICRT) = 4
    VPC(1..4) = C0,DC,PHI0,DPHI
    C0      : Cohésion dans le plan z=0.
    DC      : gradient de cohésion dans la direction verticale.
    PHI0    : Angle de frottement dans le plan z=0.
    DPHI    : Gradient de phi dans la direction verticale.

*** Si ICRT= 16 (Menetrey-Willam - voir référence théorique)
    F=F=-M Pc rho sqrt(2)+ Q g(theta) - theta : angle de Lode
    NCRT(ICRT) = 4
    VPC(1..4) = C, PHI, GAMMA, N
    C      : Cohésion.
    PHI    : Angle de frottement interne.

*** Si ICRT= 19 (Cam-Clay ovoïde)
    NCRT(ICRT) = 4
    VPC(1..4) = M, PC, DELTAP, ALPHA
    M      : Pente de la ligne d'état critique.
    PC     : Pression de préconsolidation initiale.
    DELTAP : Traction isotrope maximale.
    ALPHA  : Paramètre de forme (>=0.5 et < 1).

*** Si ICRT= 22 (Hill)
    NCRT(ICRT) = 8
    VPC(1..8) = SXX, SYX, SZZ, SXY, SYZ, SXZ, SREF, PSI

*** Si ICRT= 23 (Hill modifié)
    NCRT(ICRT) = 8
    VPC(1..8) = SXX, SYX, SZZ, S45, SYZ, SXZ, SREF, PSI

*** Si ICRT= 24 (Critère du modèle HiSS de Shao et Desai)
    NCRT(ICRT) = 6
    VPC(1..6) = GAMMA, BETA, N, R, ALFAZ, PA

*** Si ICRT= 25 (von Mises pour ecrouissage cinématique non linéaire)
    NCRT(ICRT) = 1
    VPC(1) = K
    K      : Résistance en cisaillement simple.

*** Si ICRT= 26 (Critère du modèle S-CLAY1)
    voir documentation théorique
    NCRT(ICRT) = 3
    VPC(1..3) = M, PC, K0
    M      : Pente de la ligne d'état critique.
    PC     : Pression de préconsolidation initiale.
    K0     : .

*** Si ICRT= 27 (Drucker Prager pour ecrouissage cinématique non linéaire)
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..4) = C, PHI
    C      : Cohésion.

```

```

    PHI      : Angle de frottement interne.

*** Si ICRT= 28 (Hill Lourenço)
    NCRT(ICRT) = 5
    VPC(1..5) = S11, S22, BETA, S12, PSI

*** Si ICRT= 29 (Hill Lourenço variante)
    NCRT(ICRT) = 8
    VPC(1..8) = S11, S22, S33, BETA, S12, S23, S13, PSI

*** Si ICRT= 30 (critère du modèle HiSS variante)
    f= J2D -1/3 eta gamma p^2 [1-(p/pc)^m] ; eta = 1/(1-beta S) ;
    S=(27)^1/2 J3D/(2J2D);p=-tr(sigma)/3+R;J2D=1/2s:s ; J3D=1/3tr(s^3)
    NCRT(ICRT) = 5
    VPC(1..5) = GAMMA, M, PC, R, BETA
    GAMMA    : Pente initiale q = eta gamma p
    M        : Exposant (>0)
    PC       : Pression de préconsolidation.
    R        : Limite en traction isotrope.
    BETA     : Parametre troisieme invariant (0 =< BETA < 1).

*** Si ICRT= 31 (Critère du Hardening Soil Model)
    NCRT(ICRT) = 8
    VPC(1..8) = C, PHI, PSI, M, PREF, RF, EURREF, E50REF
    C        : Cohésion.
    PHI      : Angle de frottement interne.
    PSI      : Angle de dilatance.
    M        : Exposant (>0).
    PREF     : Pression de référence.
    RF       : Rf.
    EURREF   : Module de déchargement de référence.
    E50REF   : Module de chargement de référence.

```

### Potentiel du premier mécanisme (facultatif)

La loi d'écoulement peut être associée, auquel cas il n'y a pas de données supplémentaires à fournir pour définir l'évolution des déformations plastiques. Si la loi est non associée, on se place dans le formalisme familier de l'élastoplasticité, et l'évolution des déformations plastiques est définie par la donnée d'un potentiel plastique. Ce choix fait intervenir un nouveau mot-clé (POT), et un indicateur entier spécifique appelé IPOT.

```

*** Si ICRT>0

**** POT (mot-clé facultatif), IPOT, (VPP(I),I=1,NCRT(IPOT))          (d)

    IPOT : Indicateur de la fonction servant de critère de plasticité.

    NCRT(IPOT) : Nombre de paramètres pour le critère associé à la valeur
                de l'indicateur IPOT.

    VPP : Vecteur des paramètres à fournir pour le critère choisi.
    Notes :
    - Si aucun potentiel n'est fourni dans les données, la loi d'écoulement
      est supposée associée, sauf pour le modèle ICRT=31, pour lequel

```

la loi d'écoulement n'est pas associée, mais déterminée par le modèle HSM sans choix à faire par l'utilisateur.

- Une fois que la fonction utilisée comme potentiel définie par la donnée de l'indicateur IPOT, les paramètres à fournir sont les mêmes qu'au paragraphe 2.3.1
- On peut a priori adopter n'importe laquelle des fonctions précédentes comme potentiel, avec deux restrictions :
  - \* IPOT ne peut pas prendre la valeur 31.
  - \* d'autre part, il n'est pas permis d'utiliser une fonction "non régulière" (IPOT=1, 3, 4, 14 ou 15) si la fonction choisie comme critère est régulière.

De manière générale, l'utilisateur doit s'assurer de la pertinence de la combinaison critère/potentiel qu'il utilise.

### Loi d'écrouissage du premier mécanisme (facultatif)

Pour un certain nombre de critères, il est possible (dans certains cas, fortement conseillé, et même parfois obligatoire) de définir une loi d'écrouissage décrivant l'évolution du domaine élastique. Dans certains cas, plusieurs lois d'écrouissage sont disponibles.

Les critères pour lesquels une ou plusieurs lois d'écrouissage sont disponibles sont indiqués dans le tableau de la section 2.1. Le choix de la loi d'écrouissage repose sur l'utilisation d'un nouveau mot-clé ECR, qui permet de définir un indicateur entier IECR, et de fournir les données nécessaires.

Note importante : un certain nombre de modèles permettent de prendre en compte un radoucissement (écrouissage négatif). Ce type de modèle pose des problèmes théoriques (perte d'ellipticité) qui entraînent une dépendance des résultats au maillage. Ces aspects ne sont pas pris en compte dans le cadre de la programmation proposée, et l'utilisateur est amené à contrôler l'influence du maillage sur les résultats qu'il obtient.

```

*** Si ICRT= 2 (von Mises)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))           (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage linéaire du modele IMOD = 12)
      NCEC(IECR) = 1
      VPE(1) = H
      H          : Pente de la droite d'essai uniaxial.

**** Si IECR= 2 (écrouissage de la loi de Prevost-Hoeg - IMOD = 19)
      NCEC(IECR) = 2
      VPE(1..2) = A, B
      A          : Paramètre du modèle.
      B          : Paramètre du modèle.

**** Si IECR= 3 (écrouissage de la loi de Prevost-Hoeg - variante)
      NCEC(IECR) = 2
      VPE(1..2) = A, B
      A          : Paramètre du modèle.
      B          : Paramètre du modèle.

*** Si ICRT= 5 (Drucker Prager)

```



```

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR)) (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage négatif a module constant dk= -H dlambda)
NCEC(IECR) = 1
VPE(1) = H
H      : Module d'écrouissage.
Note : ce modèle permet de reproduire le modèle IMOD=14 a condition de
       prendre  $H = \mu / (1 + \mu)$  où  $\mu$  est le module de cisaillement

**** Si IECR= 3 (écrouissage volumique variable)
NCEC(IECR) = 3
VPE(1..3) = HMAX, HRES, XMAX
HMAX      : Coefficient sans dimension définissant la résistance de pic.
HRES      : Coefficient sans dimension définissant la résistance
           résiduelle.
XMAX      : Paramètre définissant la position du pic de résistance.

**** Si IECR= 4 (écrouissage volumique variable)
NCEC(IECR) = 5
VPE(1..5) = C, HMAX, HMIN, ESPMAX, BETA
Note : il faut vérifier  $2 \cdot HMAX < C \cdot EPSM$ 
C        : Pente initiale de la courbe h-epsilon.
HMAX      : Valeur maximale du coefficient h.
HFIN      : Valeur résiduelle du coefficient h.
EPSMAX    : Paramètre définissant la position du maximum sur la courbe h-
           epsilon.
BETA      : Paramètre contrôlant la forme de la partie radoucissante.

*** Si ICRT= 6 (Cam Clay modifié)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR)) (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique)
NCEC(IECR) = 3
VPE(1..3) = LAMBDA, KAPPA, EZERO
LAMBDA    : Pente de la courbe de premiere consolidation.
KAPPA     : Pente de la courbe charge-décharge.
EZERO     : Indice des vides initial.

**** Si IECR= 3 (écrouissage volumique et déviatorique)
NCEC(IECR) = 4
VPE(1..4) = LAMBDA, KAPPA, EZERO, BETA
LAMBDA    : Pente de la courbe de premiere consolidation.
KAPPA     : Pente de la courbe charge-décharge.
EZERO     : Indice des vides initial.
BETA      : Coefficient de la déformation déviatorique dans la loi
           d'écrouissage.

*** Si ICRT= 19 (Cam Clay ovoïde - Egg Cam Clay)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR)) (d)

```

```

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique du Cam Clay)
    NCEC(IECR) = 3
    VPE(1..3) = LAMBDA, KAPPA, EZERO
    LAMBDA : Pente de la courbe de premiere consolidation.
    KAPPA  : Pente de la courbe charge-décharge.
    EZERO  : Indice des vides initial.

**** Si IECR= 2 (écrouissage volumique du côté compression seulement)
    NCEC(IECR) = 4
    VPE(1..4) = LAMBDA, KAPPA, EZERO, BETA
    LAMBDA : Pente de la courbe de premiere consolidation.
    KAPPA  : Pente de la courbe charge-décharge.
    EZERO  : Indice des vides initial.

*** Si ICRT= 24 (Critère du modèle HiSS de Shao et Desai)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))          (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique)
    NCEC(IECR) = 1
    VPE(1) = LAMBDA
    LAMBDA : Coefficient de la déformation volumique.

**** Si IECR= 2 (écrouissage volumique et deviatorique)
    NCEC(IECR) = 2
    VPE(1..2) = LAMBDA, MU
    LAMBDA : Coefficient de la déformation volumique.
    MU      : Coefficient de la déformation déviatorique.

*** Si ICRT= 25 (Modèle d'écrouissage cinématique non linéaire de Prager avec
critère de von Mises)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))          (d)

**** Si IECR= 1 (loi de Chaboche :  $dX = 2/3 C \text{ de } sp - D X \text{ dxi}$ )
    NCEC(IECR) = 2
    VPE(1..2) = C, D
    C          : Paramètre de la loi d'évolution de X.
    D          : Deuxième paramètre de la loi d'évolution de X.

*** Si ICRT= 26 (Critère du modèle S-Clay 1)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))          (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique et deviatorique)
    NCEC(IECR) = 4
    VPE(1..4) = LAMBDA, KAPPA, EZERO, MU
    LAMBDA : Premier coefficient pour la loi d'évolution de pm.
    KAPPA  : Deuxieme coefficient pour la loi d'évolution de pm.
    EZERO  : Indice des vides initial.

```

MU : Coefficient de la loi d'évolution du paramètre alpha.

\*\*\* Si ICRT= 27 (Modèle d'écrouissage cinématique non linéaire de Prager avec critère de Drucker Prager)

\*\*\*\* **ECR** (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR)) (d)

\*\*\*\* Si IECR= 1 (loi de Chaboche :  $dX = \frac{2}{3} C \text{ de} \text{sp} - D X \text{ dxi}$ )

NCEC(IECR) = 2

VPE(1..2) = C, D

C : Paramètre de la loi d'évolution de X.

D : Deuxième paramètre de la loi d'évolution de X.

\*\*\* Si ICRT= 30 (Critère du modèle HiSS modifié)

\*\*\*\* **ECR** (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR)) (d)

\*\*\*\* Si IECR= 1 (écrouissage volumique et déviatorique)

NCEC(IECR) = 2

VPE(1..2) = LAMBDA, MU

LAMBDA : Coefficient de la déformation volumique.

MU : Coefficient de la déformation déviatorique.

Attention : La programmation semble incomplète (terme MU mal pris en compte)

\*\*\* Si ICRT= 31 (Critère du Hardening Soil Model)

\*\*\*\* **ECR** 1 (d)

IECR= 1 correspond à la loi d'écrouissage du modèle original. Il n'y a pas de paramètre supplémentaire à fournir.

**Deuxième mécanisme plastique (facultatif)**

Cette possibilité permet de combiner des surfaces de charges ouvertes sur l'axe des compressions isotropes (critère de Drucker Prager ou critère parabolique par exemple) avec une surface qui sert de "cap" en compression (par exemple celle du Cam-Clay modifié). On peut aussi utiliser cette possibilité pour représenter la contribution d'un réseau de fractures (orienté) à la résistance globale d'un massif supposé isotrope.

De manière générale, cette fonctionnalité est réservée à des utilisateurs avertis.

La structure des données à fournir est identique à celle des données du premier mécanisme de plasticité en remplaçant les mots-clés CRT, POT et ECR par CRT2, POT2 et ECR2 respectivement.

**Prise en compte d'inclusions de renforcement (facultatif)**

La structure des lois de comportement à composantes permet de prendre en compte de manière simplifiée la présence d'inclusions de renforcement, en adoptant l'approche multiphasique proposée par de Buhan et Sudret, dans sa version simplifiée : on suppose que le déplacement moyen des inclusions est égal au déplacement moyen du milieu qui les entoure (modèle multiphasique "adhérent"). Le traitement est analogue à celui de la loi IMOD=43 (pour un comportement de type Drucker Prager sans écrouissage).

Du point de vue de la mise en données, on indique la présence d'une famille de renforcement par le mot-clé RINF. Les deux lignes suivantes décrivent le comportement des inclusions et la géométrie du dispositif de renforcement (pour pouvoir prendre en compte un renforcement par boulonnage radial autour d'une galerie par exemple).

```
*** RINF (mot-clé facultatif) (d)

*** Si le mot-clé RINF est présent, lecture de :

**** ICOMP, (VPRC(I), I=1,NCRF(ICOMP)) (d)

      ICOMP : Indicateur de la loi de comportement pour la phase
              renforcement.

      NCRF(ICOMP) : Nombre de paramètres pour la loi de comportement.

      VPRC : Vecteur des paramètres de la loi de comportement.
```

**Données relatives au comportement des inclusions.**

```
**** Si ICOMP = 1 (élasticité linéaire)
      NCRF(ICOMP) = 2
      VPRC(1..2) = K, SA
      K : Module d'Young du matériau constitutif des inclusions.
      SA : Aire de la section d'une inclusion.

**** Si ICOMP = 2 (élasticité linéaire + plasticité parfaite)
      NCRF(ICOMP) = 4
      VPRC(1..4) = K, SA, S, ETA
      K : Module d'Young du matériau constitutif des inclusions.
      SA : Aire de la section d'une inclusion.
      S : Contrainte limite en traction du matériau constitutif.
      ETA : Rapport limite en compression / limite en traction.

**** Si ICOMP = 3 (élasticité linéaire + rupture fragile)
      NCRF(ICOMP) = 4
      VPRC(1..4) = K, SA, S, ETA
      K : Module d'Young du matériau constitutif des inclusions.
      SA : Aire de la section d'une inclusion.
```

S : Contrainte limite en traction du matériau constitutif.  
 ETA : Rapport limite en compression / limite en traction.

\*\*\*\* Si ICOMP = 4 (élasticité linéaire + rupture fragile)  
 NCRF(ICOMP) = 6  
 VPRC(1..6) = K, SA, S, ETA, DPMT, DPMC  
 K : Module d'Young du matériau constitutif des inclusions.  
 SA : Aire de la section d'une inclusion.  
 S : Contrainte limite en traction du matériau constitutif.  
 ETA : Rapport limite en compression / limite en traction.  
 DPMT : Déformation plastique maximale en traction.  
 DPMC : Déformation plastique maximale en compression.

### Données relatives à la géométrie du dispositif de renforcement.

Ces données dépendent du type de calcul : en déformation plane, on peut prendre en compte un renforcement homogène (inclusions toutes parallèles) ou un renforcement radial (toutes les inclusions convergent vers un point du plan dont on donne les coordonnées) ; en déformation axisymétrique, on peut prendre en compte deux autres dispositions : sphérique (on donne la coordonnée z du point de convergence) ou divergent à symétrie de révolution.

Le renforcement n'est pas programmé dans le cadre des contraintes planes.

\*\*\* Si le mot-clé **RENF** est présent, lecture de :

\*\*\*\* IGEOM, (VPRG(I), I=1,NCRG(ICOMP)) (d)  
 IGEOM : Indicateur de la disposition géométrique des inclusions.  
 NCRG(IGEOM) : Nombre de paramètres pour la disposition géométrique.  
 VPRG : Vecteur des paramètres géométriques.

### Cas d'un calcul en déformation plane.

\*\*\*\* Si INAT = 1 et IGEOM = 1 (renforcement homogène)  
 NCRG(IGEOM) = 2  
 VPRG(1..2) = ALPHA, FV  
 ALPHA : Angle entre l'axe Ox et la direction des inclusions.  
 FV : Fraction volumique des inclusions.

\*\*\*\* Si INAT = 1 et IGEOM = 2 (renforcement radial)  
 NCRG(IGEOM) = 3  
 VPRG(1..3) = X, Y, FV  
 X : Abscisse du point de convergence des inclusions.  
 Y : Ordonnées du point de convergence des inclusions.  
 FV : Fraction volumique des inclusions.

### Cas d'un calcul axisymétrique.

\*\*\*\* Si INAT = 2 et IGEOM = 1 (renforcement homogène)  
 NCRG(IGEOM) = 1  
 VPRG(1) = FV  
 FV : Fraction volumique des inclusions.

```
**** Si INAT = 2 et IGEOM = 2 (renforcement radial)
      NCRG(IGEOM) = 1
      VPRG(1) = FV
      FV          : Fraction volumique des inclusions à distance unité de l'axe.

**** Si INAT = 2 et IGEOM = 3 (renforcement divergent cylindrique)
      NCRG(IGEOM) = 2
      VPRG(1..2) = ALPHA, FV
      ALPHA       : Fraction volumique des inclusions.
      FV          : Fraction volumique des inclusions à distance unité de l'axe.

**** Si INAT = 2 et IGEOM = 4 (renforcement sphérique)
      NCRG(IGEOM) = 2
      VPRG(1) = Z, FV
      Z          : Coordonnée du point de convergence sur l'axe de symétrie
      FV          : Fraction volumique des inclusions à distance unité de l'axe.
```

### Calcul en condition non drainée (facultatif)

```
*** NDR (mot-clé facultatif) (d)

*** Si le mot-clé RENF est présent, lecture de :

**** KW, N (d)
      KW      : Module de compression de l'eau.
      N       : Porosité.
```

### Epaisseur (calcul en contraintes planes)

```
*** Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

**** EP (d)
      EP      : Epaisseur de la structure.
```

## Modèles d'endommagement

On rappelle que les modèles d'endommagement ne se combinent pas avec les mécanismes de plasticité. L'emploi d'un mot clé CRT (qui définit un critère de plasticité) est donc exclusif de l'emploi du mot-clé ENDO pour introduire un modèle d'endommagement

### Définition du modèle d'endommagement

```
*** ENDO (mot-clé facultatif), IENDO, (VPC(I),I=1,NPENDO(IENDO))    (d)

IENDO : Indicateur du modèle d'endommagement.

NPENDO(IENDO) : Nombre de paramètres pour le modèle associé à la valeur
                de l'indicateur IENDO.

VPC : Vecteur des paramètres à fournir pour le critère choisi.
```

\*\*\* Si IENDO= 6 (Mazars)

```
NPENDO(IENDO) = 5
VPC(1..5)= EPSD0, AT, BT, AC, BC
EPSD0 : déformation définissant le seuil d'endommagement initial
AT, BT : paramètres de la loi d'endommagement en traction
AC, BC : paramètres de la loi d'endommagement en compression
```

\*\*\* Si IENDO= 7 (Oliver)

```
NPENDO(IENDO) = 3
VPC(1..3)= SIGMAT, GF, SIGMAC
SIGMAT : contrainte limite en traction
GF : énergie de fracturation
SIGMAC : contrainte limite en compression
```

\*\*\* Si IENDO= 9 (Mazars revisité avec régularisation)

```
NPENDO(IENDO) = 5
VPC(1..5) = EPSD0, SIGMAT, GF, AC, BC
EPSD0 : déformation définissant le seuil d'endommagement initial
SIGMAT : contrainte limite en traction
GF : énergie de fracturation
AC, BC : paramètres de la loi d'endommagement en compression
```

\*\*\* Si IENDO= 10 (Faria)

```
NPENDO(IENDO) = 5
VPC(1..5) = SIGMAT, SIGMAC, Ac, BC, GF
SIGMAT : contrainte limite en traction
SIGMAC : contrainte limite en compression
AC, BC : paramètres de la loi d'endommagement en compression
GF : énergie de fracturation
```

\*\*\* Si IENDO= 22 (Modèle de Zucchini)

Ce modèle doit être utilisé avec un des modèles élastiques décrivant les composantes de la maçonnerie, IELAS=15 ou IELAS=17 dans le cas d'une voute elliptique.

```

NPENDO(IENDO) = 10
VPC(1..10) = SIGMAT_B, GF_B, SIGMAT_M, GF_M, SIGMAS_B, GF2_B, SIGMAS_M,
             GF2_M, SIGMAC_B, SIGMAC_M
SIGMAT_B : contrainte limite en traction des briques
GF_B : énergie de fracturation en mode I des briques
SIGMAT_M : contrainte limite en traction du mortier
GF_M : énergie de fracturation en mode I du mortier
SIGMAS_B : contrainte limite en cisaillement des briques
GF2_B : énergie de fracturation en mode II des briques
SIGMAS_M : contrainte limite en cisaillement du mortier
GF2_M : énergie de fracturation en mode II du mortier
SIGMAC_B : contrainte limite en compression des briques
SIGMAC_M : contrainte limite en compression du mortier

```

\*\*\* Si IENDO= 24 (Zucchini+Mazars)

Ce modèle doit être utilisé avec un des modèles élastiques décrivant les composantes de la maçonnerie, IELAS=15 ou IELAS=17 dans le cas d'une voute elliptique.

```

NPENDO(IENDO) = 10
VPC(1..10) = SIGMAT_B, GF_B, SIGMAT_M, GF_M, EPSDO_B, EPSDO_M, AC_B,
             BC_B, AC_M, BC_M
SIGMAT_B : contrainte limite en traction des briques
GF_B : énergie de fracturation en mode I des briques
SIGMAT_M : contrainte limite en traction du mortier
GF_M : énergie de fracturation en mode I du mortier
EPSDO_B : déformation définissant le seuil d'endommagement initial pour
          les briques
EPSDO_M : déformation définissant le seuil d'endommagement initial pour
          le mortier
AC_B, BC_B : paramètres de la loi d'endommagement en compression pour
            les briques
AC_M, BC_M : paramètres de la loi d'endommagement en compression pour
            le mortier

```

\*\*\* Si IENDO= 26 (Zucchini+Oliver)

Ce modèle doit être utilisé avec un des modèles élastiques décrivant les composantes de la maçonnerie, IELAS=15 ou IELAS=17 dans le cas d'une voute elliptique.

```

NPENDO(IENDO) = 6
VPC(1..6) = SIGMAT_B, GF_B, SIGMAT_M, GF_M, SIGMAC_B, SIGMAC_M
SIGMAT_B : contrainte limite en traction des briques
GF_B : énergie de fracturation en mode I des briques
SIGMAT_M : contrainte limite en traction du mortier
GF_M : énergie de fracturation en mode I du mortier
SIGMAC_B : contrainte limite en compression des briques
SIGMAC_M : contrainte limite en compression du mortier

```



**Epaisseur (calcul en contraintes planes)**

\*\*\* Si INAT = 3 (Contrainte plane) donnée de :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 01**

## Famille 02

## Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments MTxx

## 02.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;

= 1 Elasticité linéaire isotrope.

= 2 Elasticité linéaire orthotrope.

= 5 Comportement du béton au jeune âge.

= 10 à 50 Élastoplasticité :

= 10 Mohr-Coulomb sans écrouissage.

= 11 Von Mises sans écrouissage.

= 12 Von Mises avec écrouissage.

= 13 Drucker-Prager sans écrouissage.

= 14 Drucker-Prager avec écrouissage.

= 15 Critère parabolique.

= 16 Vermeer.

= 17 Nova.

= 18 Cam Clay modifié.

= 19 Prévost et Hoeg.

= 20 Critère orienté.

= 24 Hoek-Brown.

= 43 Matériau renforcé, modèle de de Buhan - Sudret : une phase matrice élasto-plastique (modèle de Drucker-Prager sans écrouissage) et une ou deux phases de renforcements unidirectionnels élastiques parfaitement plastiques (modèle de von Mises), déformation plane ou déformation axisymétrique.

= 47 Willam-Warnke standard (3 paramètres), sans/avec écrouissage.

= 48 Willam-Warnke modifié (4 paramètres), sans/avec  
écrouissage.  
= 66 Elasticité linéaire isotrope avec amortissement de  
Rayleigh (DYN1,LINC).  
= 88 Elasticité avec dilatance isotrope.  
= 10000 lois de comportement "à composantes".

## 02.2 Caractéristiques mécaniques : modèles classiques (IMOD<10000)

\*\* Si IMOD = 1 (élasticité linéaire isotrope) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.

\*\* Si IMOD = 2 (élasticité linéaire orthotrope) :

\*\*\* RO, E1, E2, P1, P2, G2, TETA, PHI (d)

RO : Masse volumique.  
E1 : Module d'Young dans le plan d'orthotropie.  
E2 : Module d'Young dans la direction de l'axe d'orthotropie.  
P1 : Coefficient de Poisson dans le plan d'orthotropie.  
P2 : Coefficient de Poisson dans la direction de l'axe d'orthotropie.  
G2 : Module de cisaillement.  
TETA : Angle en degrés décimaux entre l'axe OX et l'axe OX1.  
PHI : Angle en degrés décimaux entre l'axe OX1 et l'axe d'orthotropie.

\*\* Si IMOD = 5 (comportement du béton au jeune âge) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, DILAT, RETRA, SEUIL, HYD (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
DILAT : Coefficient de dilatation thermique.  
RETRA : Retrait endogène final du béton.  
SEUIL : Seuil du matériau durci.  
HYD : Degré d'hydratation.  
= 0. pour un matériau chimiquement actif ;  
≠ 0. pour un matériau chimiquement inactif, dont le degré d'hydratation est fixé à la valeur HYD (le groupe correspondant doit être déclaré inactif avec l'option INA lors du calcul TEXO).

\*\* Si IMOD = 10 (Mohr-Coulomb sans écoulement) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).

\*\* Si IMOD = 11 (Von Mises sans écoulement) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, K (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 K : Résistance en cisaillement simple.

\*\* Si IMOD = 12 (Von Mises avec écoulement) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, K, H (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 K : Résistance en cisaillement simple.  
 H : Pente de la droite d'essai uniaxial.

\*\* Si IMOD = 13 (Drucker-Prager sans écoulement) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère)  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).

\*\* Si IMOD= 14 (Drucker-Prager avec écoulement) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI, XHI (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 XHI : Paramètre d'écoulement.

\*\* Si IMOD = 15 (Critère parabolique) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, RC, RT (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 RC : Résistance en compression simple.  
 RT : Résistance en traction simple.

\*\* Si IMOD = 16 (Vermeer) :

\*\*\*RO, YOUNG, POISS, EPSO, PHICV, PHIP, BETA, EPSCO, PO (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 EPSO : Déformation volumique élastique initiale.  
 PHICV : Angle de frottement à l'état critique.  
 PHIP : Angle de frottement au pic.  
 BETA : Paramètre du modèle.  
 EPSCO : Paramètre du modèle.  
 PO : Pression de référence.

\*\* Si IMOD = 17 (Nova) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, BO, LO, M, L, D, MM, MU, PCO (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 BO : Pente initiale de déchargement.  
 LO : Pente initiale de contrainte-déformation.  
 M : Paramètre du modèle.  
 L : Paramètre du modèle.  
 D : Paramètre du modèle (dilatance).  
 MM : Pente de la droite Q/P (état critique).  
 MU : Paramètre du modèle.  
 PCO : Paramètre définissant la surface de charge initiale.

\*\* Si IMOD = 18 (Cam Clay modifié) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, ALOE, AKOE, AMC, OED, PCO (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 ALOE : Pente de la courbe de consolidation vierge.  
 AKOE : Pente des courbes charge-décharge.  
 AMC : Pente de la courbe d'état critique.  
 OED : Indice des vides initial.  
 PCO : Pression de préconsolidation initiale.

\*\* Si IMOD = 19 (Prévost et Hoeg) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, AO, BO (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 AO : Paramètre du modèle.  
 BO : Paramètre du modèle.

\*\* Si IMOD = 20 (Critère orienté) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI, U1, U2, U3 (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 U1, U2, U3 : Coordonnées du vecteur u normal au plan de discontinuité, dans le repère Ox, Oy, Oz du maillage (directions 1, 2 et 3).

\*\* Si IMOD = 24 (Hoek-Brown) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, SU, S, M (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 SU : Contrainte à la rupture de la roche saine (compression).  
 S : Coefficient de fracturation.  
 M : Paramètre de forme.

\*\* Si IMOD = 43 (Matériau renforcé, modèle de de Buhan et Sudret) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI, NRENF,  
 TYP1, K1, SA1, S1, ETA1, X1, Y1, Z1, A1, B1, C1, FV1,  
 TYP2, K2, SA2, S2, ETA2, X2, Y2, Z2, A2, B2, C2, FV2 (d)

RO : Masse volumique de la phase matrice.  
 YOUNG : Module d'Young de la phase matrice.  
 POISS : Coefficient de Poisson de la phase matrice.  
 C : Cohésion de la phase matrice.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère) de la phase matrice.  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique) de la phase matrice.  
 NRENF : Nombre de phases de renforcement (valeur : 0, 1 ou 2).  
 TYP1 : Type de la phase de renforcement n°1 ;  
       = 0 Renforcement homogène,  
       = 1 Renforcement radial,

= 2 Renforcement divergent cylindrique,  
 = 3 Renforcement divergent sphérique.

K1 : Module d'Young du matériau constituant les inclusions de la phase 1.  
 SA1 : Section d'une inclusion de la phase 1.  
 S1 : Contrainte limite en traction simple du matériau constituant les inclusions de la phase 1.  
 ETA1 : Rapport limite en compression/limite en traction des inclusions de la phase 1.  
 X1, Y1, Z1, A1, B1, C1, FV1 : voir définitions selon la valeur de TYP1.  
 TYP2, K2, SA2, S2, ETA2, X2, Y2, Z2, A2, B2, C2, FV2 : données de la phase de renforcement n°2 ; définitions analogues à celles de la phase 1.

\*\*\* Si NRENF = 0 :  
 Voir remarque ci-dessous.

\*\*\* Si NRENF = 1 ou 2 :

\*\*\*\* Si TYP1 = 0 (renforcement homogène) :

X1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 Y1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 Z1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 A1 : Angle (dans l'intervalle  $[-90^\circ, 90^\circ]$ ) entre la projection de la direction de renforcement de la phase 1 sur le plan  $z = 0$  et l'axe des x (longitude).  
 B1 : Angle (dans l'intervalle  $[-90^\circ, 90^\circ]$ ) entre la direction de renforcement de la phase 1 et l'horizontale (latitude) (Un vecteur unitaire de la direction de renforcement est donc :  $\cos A1 \cos B1, \sin A1 \cos B1, \sin B1$ ).  
 C1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1.

\*\*\*\* Si TYP1 = 1 (renforcement radial) :

X1, Y1, Z1 : Coordonnées d'un point de l'axe de symétrie de révolution.  
 A1 : Angle (dans l'intervalle  $[-90^\circ, 90^\circ]$ ) entre la projection de l'axe de symétrie sur le plan  $z = 0$  et l'axe des x (longitude).  
 B1 : Angle (dans l'intervalle  $[-90^\circ, 90^\circ]$ ) entre la direction de l'axe de symétrie et l'horizontale (latitude) (Un vecteur unitaire de l'axe de symétrie est donc :  $\cos A1 \cos B1, \sin A1 \cos B1, \sin B1$ ).  
 C1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1 à une distance unité de l'axe de symétrie (la fraction volumique varie en  $1/r$ , où  $r$  est la distance à l'axe de symétrie).



\*\*\* Si TYP1 = 2 (renforcement divergent cylindrique) :

X1, Y1, Z1 : Coordonnées d'un point de l'axe de symétrie de révolution.  
 A1 : Angle (dans l'intervalle  $[-90^\circ, 90^\circ]$ ) entre la projection de l'axe de symétrie sur le plan  $z = 0$  et l'axe des  $x$  (longitude).  
 B1 : Angle (dans l'intervalle  $[-90^\circ, 90^\circ]$ ) entre la direction de l'axe de symétrie et l'horizontale (latitude)  
 (Un vecteur unitaire de l'axe de symétrie est donc :  $\cos A1 \cos B1, \sin A1 \cos B1, \sin B1$ ).  
 C1 : Angle entre la direction de renforcement de la phase 1 et l'axe de symétrie dans un plan méridien.  
 FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1 à une distance unité de l'axe de symétrie (la fraction volumique varie en  $1/r$ , où  $r$  est la distance à l'axe de symétrie).

\*\*\* Si TYP1 = 3 (renforcement divergent sphérique) :

X1, Y1, Z1 : Coordonnées du point de convergence des inclusions de la phase 1.  
 A1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 B1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 C1 : Inutilisé (donner une valeur = 0.).  
 FV1 : Fraction volumique des inclusions de la phase 1 à une distance unité du point de convergence (la fraction volumique varie en  $1/r^2$ , où  $r$  est la distance au point de convergence des inclusions (X1, Y1, Z1)).

\*\*\* Si NRENF = 2 :

La structure des données de la phase de renforcement 2 est identique à celle de la phase 1.

#### Remarque :

Quelle que soit la valeur de NRENF, les 31 paramètres du modèle de comportement doivent être écrits dans le jeu de données. S'il n'y a qu'une phase de renforcement (NRENF=1), il suffit d'affecter des valeurs quelconques (ou nulles) aux 12 dernières paramètres. S'il n'y a pas de renforcement (NRENF=0), cette affectation quelconque portera sur les 24 derniers paramètres.

\*\* Si IMOD = 47 (Willam-Warnke standard, 3 paramètres) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, FC, FT, FBC, A0, B0, KAPPA (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 FC : Résistance en compression.  
 FT : Résistance en traction.  
 FBC : Résistance en compression biaxiale.  
 A0 : Limite d'élasticité initiale par rapport aux résistances du matériau.  
 B0 : Limite d'élasticité finale par rapport aux résistances du matériau.  
 KAPPA : Facteur exponentiel d'écrouissage.

\*\* Si IMOD = 48 (Willam-Warnke modifié, 4 paramètres) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, FC, FT, FBC, SIG1, SIG2, SIG3,

A0, B0, KAPPA (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 FC : Résistance en compression.  
 FT : Résistance en traction.  
 FBC : Résistance en compression biaxiale.  
 SIG1, SIG2, SIG3 : Etat de contraintes triaxiales de ruine.  
 A0 : Limite d'élasticité initiale par rapport aux résistances du matériau.  
 B0 : Limite d'élasticité finale par rapport aux résistances du matériau.  
 KAPPA : Facteur exponentiel d'écrouissage.

\*\* Si IMOD = 66 (élasticité linéaire isotrope avec amortissement de Rayleigh - modules DYN1, LINC) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, A, B (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young.  
 POISS : Coefficient de Poisson.  
 A : Coefficient de Rayleigh relatif à la matrice de rigidité.  
 B : Coefficient de Rayleigh relatif à la matrice de masse.

\*\* Si IMOD = 88 (Elasticité avec dilatance isotrope) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, CKA, CKB, CKC (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
CKA : Coefficient Ka affecté au cisaillement.  
CKB : Coefficient Kb affecté à la variation de volume.  
CKC : Coefficient Kc affecté au troisième invariant.

## 02.3 Caractéristiques mécaniques: modèles à composantes (IMOD=10000)

\*\* Si IMOD = 10000 (modèles de comportement à composantes) :

### Définition de la masse volumique (facultatif)

\*\*\* **RHO** (mot-clé facultatif) RO (d)  
RO : Masse volumique.

Note : Si le mot-clé RHO est absent, la masse volumique est prise nulle.

## Partie élastique du modèle

### Partie élastique de la loi de comportement (obligatoire)

\*\*\* **ELAS** (mot-clé obligatoire), IELAS, (VPEL(I), I=1, NCEL(IELAS)) (d)  
IELAS : Indicateur du type de modèle pour la loi élastique.  
NCEL(IELAS) : Nombre de paramètres pour la loi élastique associée à la valeur de l'indicateur IELAS.  
VPEL : Vecteur des paramètres à fournir pour la loi élastique choisie.

\*\*\* Si IELAS= 0 (élasticité linéaire isotrope)  
NCEL(IELAS) = 2  
VPEL(1..2) = YOUNG, POISS  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.

\*\*\* Si IELAS= 1 (élasticité lin. isot. avec modules linéaires en z)  
NCEL(IELAS) = 4  
VPEL(1..4) = YOUNGZ, POISSZ, DELTAYG, DELTAP  
YOUNGZ : Module d'Young pour y=0.  
POISSZ : Coefficient de Poisson pour y=0.  
DELTAYG: Gradient du module d'Young suivant la verticale (ascendante).  
NB important : Pour représenter une augmentation de raideur lorsque la profondeur augmente (c'est-à-dire lorsque z diminue), il faut donner une valeur négative au gradient du module : DELTAYG <0.  
DELTAP : Gradient du coefficient de Poisson d'Young suivant la verticale (ascendante).

```
*** Si IELAS= 2 (élasticité linéaire isotrope transverse)
    NCEL(IELAS) = 7
    VPSEL(1..7) = E1, E2, P1, P2, G, TETA, PHI
    E1      : Module d'Young dans la direction 1.
    E2      : Module d'Young dans la direction 2.
    P1      : Coefficient de Poisson direction 1.
    P2      : Coefficient de Poisson direction 2.
    G2      : Module de cisaillement.
    TETA     : Angle entre OX et Ox.
    PHI     : Angle entre Ox et le plan d'isotropie.

*** Si IELAS= 3 (élasticité non linéaire type Cam Clay)
    (G=cte ET  $K = p (1+eo)/kappa$ )
    NCEL(IELAS) = 4
    VPSEL(1..4) = G,EZERO,KAPPA,KMIN
    G        : Module de cisaillement.
    EZERO    : Indice des vides initial.
    KAPPA    : Pente de la courbe de compression isotrope surconsolidée.
    KMIN     : Valeur minimale du module de compression.

*** Si IELAS= 4 (élasticité non linéaire type Fahey et Carter)
    NCEL(IELAS) = 8
    VPSEL(1..8) = N,NUZ,F,G,C,PREF,COH,PHI
    N        : Exposant de p dans Go.
    NUZ      : Coefficient de Poisson initial.
    F        : Paramètre empirique sans dimension.
    G        : Paramètre empirique sans dimension.
    C        : Paramètre empirique sans dimension.
    PREF     : Pression de référence.
    COH      : Cohésion.
    PHI      : Angle de frottement.

*** Si IELAS= 5 (élasticité non linéaire type Hardening Soil Model)
    NCEL(IELAS) = 6
    VPSEL(1..6) = EURREF, NUUR,C,PHI,M,PREF
    EURREF   : Module de dechargement rechargement.
    POISS    : Coefficient de Poisson.
    C        : Cohesion.
    PHI      : Angle de frottement interne.
    M        : Exposant pour le calcul de Eur.
    PREF     : Pression de référence.
```

```

*** Si IELAS= 6 (élasticité non linéaire type Duncan,
    avec (S1-S3)RUPT DONNE PAR HOEK ET BROWN)
    NCEL(IELAS) = 10
    VPEL(1..10) = SIGC, S, M, ALPHA, KMIN, C, PREF, N, NUZ, RF
    SIGC      : Contrainte a rupture de la roche saine.
    S         : Coefficient de fracturation.
    M         : Paramètre de forme.
    ALPHA     : Exposant.
    KMIN      : Module de compression minimum.
    C         : Coefficient module de compression.
    PREF      : Pression de référence.
    N         : Exposant variation de Kt avec la pression.
    NUZ       : Coefficient de Poisson sous contrainte isotrope.
    RF        : Facteur de reduction de G à la rupture.

*** Si IELAS= 7 (élasticité non linéaire type Fahey et Carter modifiée :  $G_t = G \exp(-\alpha * q)$ ,  $\nu = \text{cte}$ ,  $G = \max(G_{\min}, G_0 (p/p_a)^{**n})$ )
    NCEL(IELAS) = 6
    VPEL(1..6) = GZERO, PA, N, GMIN, ALPHA, NU
    GZERO     : Valeur de référence du module de cisaillement.
    PA        : Pression de référence.
    N         : Exposant de la contrainte moyenne dans G.
    GMIN      : Valeur minimale de G en isotrope.
    ALPHA     : Paramètre de décroissance de G avec q.
    NU        : Coefficient de Poisson.

*** Si IELAS= 8 (élasticité linéaire avec
    module d'Young en  $z^{**\alpha}$  et coefficient de Poisson constant)
    NCEL(IELAS) = 5
    VPEL(1..5) = YOUNG, K, H, ALPHA, POISS
    YOUNG     : Module d'Young de référence.
    K         : Coefficient de la puissance.
    H         : Altitude de référence.
    ALPHA     : Exposant de la puissance de <h-z>.
    POISS     : Coefficient de Poisson.

*** Si IELAS= 9 (élasticité milieu fracturé en chevrons coniques)
    Attention : modèle a utiliser uniquement en axisymétrique
    NCEL(IELAS) = 11
    VPEL(1..11) = E1, E2, P1, P2, G2, X, Y, Z, A, B, C
    E1        : Module d'Young de la roche intacte.
    E2        : Module d'Young dans la direction 2 perpendiculaire aux
                fractures.
    P1        : coefficient de Poisson de la roche intacte.
    P2        : Coefficient de Poisson dans la direction 2.
    G2        : Module de cisaillement.
    X, Y, Z   : Coordonnées d'un point de l'axe de la galerie.
    A         : Premier angle définissant la direction de l'axe.
    B         : Deuxième angle définissant la direction de l'axe.
    C         : Angle entre la radiale  $r$  et le plan tangent aux chevrons (sens
                positif : celui de l'axe).

```

\*\*\* Si IELAS= 10 (élasticité milieu fracturé en chevrons coniques)  
 Attention : modèle a utiliser uniquement en axisymétrique  
 NCEL(IELAS) = 11  
 VP(1..11) = YOUNG, POISS, KN, KT, D, X, Y, Z, A, B, C  
 YOUNG : Module d'Young de la roche intacte.  
 POISS : Coefficient de Poisson de la roche intacte.  
 KN : Raideur normale des fractures (contrainte par unité de longueur).  
 KT : Raideur tangentielle des fractures (contrainte par unité de longueur).  
 D : Distance entre deux fractures.  
 X, Y, Z : Coordonnées d'un point de l'axe de la galerie.  
 A : Premier angle définissant la direction de l'axe.  
 B : Deuxième angle définissant la direction de l'axe.  
 C : Angle entre la radiale  $r$  et le plan tangent aux chevrons (sens positif : celui de l'axe).

\*\*\* Si IELAS= 11 (élasticité milieu fracturé en chevrons non coniques)  
 A renseigner.

\*\*\* Si IELAS= 14 (élasticité linéaire orthotrope)  
 NCEL(IELAS) = 12  
 VP(1..12) = YOUNGB, YOUNGH, YOUNGN, NUBH, NUHN, NUBN, GBH, GHN, GBN, PHI, TETA, PSI  
 YOUNGB, YOUNGH, YOUNGN : Modules de Young dans les directions b, h, n.  
 NUBH, NUHN, NUBN : Coefficients de Poisson.  
 GBH, GHN, GBN : Module de cisaillement dans les plans correspondants.  
 PHI, TETA, PSI : Angles d'Euler définissant le passage du repère global au repère (eb, eh, en).

\*\*\* Si IELAS= 15 (modèle élastique de Zucchini pour la maçonnerie)  
 NCEL(IELAS) = 10  
 VP(1..10) = YOUNG1, POISS1, YOUNGM, POISSM, DL, DH, DT, PHI, TETA, PSI  
 YOUNG1 : Module d'Young de la roche intacte.  
 POISS1 : Coefficient de Poisson de la roche intacte.  
 YOUNGM : Module d'Young du mortier.  
 POISSM : Coefficient de Poisson du mortier.  
 DL, DH, DT : longueur, épaisseur des briques et épaisseur des joints.  
 PHI, TETA, PSI : Angles d'Euler définissant le passage du repère global au repère (eb, eh, en).

\*\*\* Si IELAS= 16 (élasticité orthotrope pour une voute elliptique)

NCEL(IELAS) = 18

VPPEL(1..18) = YOUNG1, YOUNG2, YOUNG3, POISS12, POISS23, POISS13, G12, G23, G13, XC, YC, ZC, A, B, GAMMA, OMEGA, BETA

YOUNG1, YOUNG2, YOUNG3 : Modules de Young dans les directions 1, 2, 3.

POISS12, POISS23, POISS13 : Coefficients de Poisson.

G12, G23, G13 : modules de cisaillement dans les plans 12, 23, 13.

XC, YC, ZC : Coordonnées de l'axe de la galerie.

A, B : demi-grand axe et demi-petit axe de l'ellipse.

GAMMA, OMEGA : angles définissant la direction de l'axe de la galerie

BETA : Angle entre l'axe horizontal et le grand axe.

\*\*\* Si IELAS= 17 (modèle élastique de Zucchini pour une voute elliptique en maçonnerie)

NCEL(IELAS) = 15

VPPEL(1..15) = YOUNGB, POISSB, YOUNGM, POISSM, DL, DH, DT, XC, YC, ZC, A, B, GAMMA, OMEGA, BETA

YOUNGB : Module d'Young des briques.

POISSB : Coefficient de Poisson des briques.

YOUNGM : Module d'Young du mortier.

POISSM : Coefficient de Poisson du mortier.

DL, DH, DT : longueur, épaisseur des briques et épaisseur des joints.

XC, YC, ZC : Coordonnées de l'axe de la galerie.

A, B : demi-grand axe et demi-petit axe de l'ellipse.

GAMMA, OMEGA : angles définissant la direction de l'axe de la galerie

BETA : Angle entre l'axe horizontal et le grand axe.

\*\*\* Si IELAS= 24 (modèle anisotrope non linéaire de Gilleron)

NCEL(IELAS) = 13

VPPEL(1..13) = GREF, A, R, Gmin/G0, XSI, BETA, NU0, GUR/G0, NUURN, M/MISO, TETA, PHI

Gref : valeur de référence du module de cisaillement

A : paramètre de croissance du module avec la contrainte moyenne

R : exposant de croissance du module avec la contrainte moyenne

Gmin/G0 : paramètre limitant le module de cisaillement

XSI : facteur de forme pour la décroissance de raideur avec la contrainte déviatorique

BETA : paramètre pour la décroissance de raideur avec la contrainte déviatorique

nu0 : coefficient de Poisson de référence

Gur/G0 : paramètre pour le mécanisme de déchargement/rechargement

nu\_ur : coefficient de Poisson pour le déchargement/rechargement

n : rapport du module horizontal sur le module vertical

m/miso : paramètre anisotrope pour le module de cisaillement vertical

TETA : angle entre le premier axe du repère global OX et l'axe Ox

PHI :  $\phi$  angle entre l'axe Ox du plan horizontal et le plan isotrope



## Modèles élastoplastiques

### Premier mécanisme plastique (facultatif)

#### Critère du premier mécanisme

```

*** CRT (mot-clé facultatif), ICRT, (VPC(I),I=1,NCRT(ICRT))          (d)

    ICRT : Indicateur de la fonction servant de critère de plasticité.
    NCRT(ICRT) : Nombre de paramètres pour le critère associé à la valeur
                  de l'indicateur ICRT.
    VPC : Vecteur des paramètres à fournir pour le critère choisi.

*** Si ICRT= 1 (Tresca)
    f=(SIG1-SIG3) - 2C
    NCRT(ICRT) = 1
    VPC(1) = C
    C      : Cohésion.

*** Si ICRT= 2 (von Mises)
    f= sqrt(J2)-k
    NCRT(ICRT) = 1
    VPC(1) = K
    K      : Résistance en cisaillement simple.

*** Si ICRT= 3 (Coulomb)
    f=S1-S3-(S1+S3)sin(phi)
    NCRT(ICRT) = 1
    VPC(1) = PHI
    PHI     : Angle de frottement interne.

*** Si ICRT= 4 (Mohr-Coulomb)
    f=S1-S3-(S1+S3)sin(phi)-2ccos(phi)
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..2) = C, PHI
    C      : Cohésion.
    PHI     : Angle de frottement interne.

*** Si ICRT= 5 (Drucker Prager)
    f=sqrt(j2)+alfa*J1-k ;
    alfa=tan(phi)/sqrt(9+12(tan phi)**2); k=3c/sqrt(9+12(tan phi)**2)
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..2) = C, PHI
    C      : Cohésion.
    PHI     : Angle de frottement interne.

*** Si ICRT= 6 (Cam-Clay modifié)
    f=q**2 + M**2 p (p-pc) ;
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..2) = M, PC
    M      : Pente de la ligne d'état critique.
    PC     : Pression de préconsolidation initiale.

```

```

*** Si ICRT= 7 (Critère parabolique)
    f= J2 + (RC-RT) * I1/3 6 RC*RT/3 ;
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..2) = RC, RT
    RC      : Résistance en compression simple.
    RT      : Résistance en traction simple.

*** Si ICRT= 11 (Critère orienté)
    NCRT(ICRT) = 5
    VPC(1..5) = C, PHI, NX, NY, NZ
    C        : Cohésion.
    PHI      : Angle de frottement interne.
    NX, NY, NZ : Cosinus directeurs de la normale au plan.

*** Si ICRT= 12 (Fractures en chevrons coniques)
    NCRT(ICRT) = 8
    VPC(1..8) = C, PHI, X, Y, Z, A, B, C
    C        : Cohésion.
    PHI      : Angle de frottement interne.
    ALPHA    : Angle entre er et le plan tangent aux chevrons.
    X, Y, Z : Coordonnées d'un point de l'axe de la galerie.
    A        : Premier angle définissant la direction de l'axe.
    B        : Deuxième angle définissant la direction de l'axe.
    C        : Angle entre la radiale er et le plan tangent aux chevrons (sens
               positif : celui de l'axe).

*** Si ICRT= 14 (Hoek-Brown généralisé)
    f = (s1-s3)-sig_c[m (s3/sig_c)+s]^alpha
    NCRT(ICRT) = 4
    VPC(1..4) = SIGC, S, M, ALPHA
    SIGC      : Contrainte à la rupture de la roche saine.
    S         : Coefficient de fracturation.
    M         : Paramètre de forme.
    ALPHA     : Exposant.

*** Si ICRT= 15 (Mohr-Coulomb avec c et phi linéaires en z)
    c = c0 + z DC ; PHI = PHI0 + z DPHI
    NCRT(ICRT) = 4
    VPC(1..4) = C0,DC,PHI0,DPHI
    C0        : Cohésion dans le plan z=0.
    DC        : gradient de cohésion dans la direction verticale.
    PHI0      : Angle de frottement dans le plan z=0.
    DPHI      : Gradient de phi dans la direction verticale.

*** Si ICRT= 16 (Menetrey-Willam - voir référence théorique)
    F=F=-M Pc rho sqr(2)+ Q g(theta) - theta : angle de Lode
    NCRT(ICRT) = 4
    VPC(1..4) = C, PHI, GAMMA, N
    C         : Cohésion.
    PHI       : Angle de frottement interne.

```

```

*** Si ICRT= 19 (Cam-Clay ovoïde)
    NCRT(ICRT) = 4
    VPC(1..4) = M, PC, DELTAP, ALPHA
    M          : Pente de la ligne d'état critique.
    PC          : Pression de préconsolidation initiale.
    DELTAP      : Traction isotrope maximale.
    ALPHA       : Paramètre de forme ( $\geq 0.5$  et  $< 1$ ).

*** Si ICRT= 22 (Hill)
    NCRT(ICRT) = 10
    VPC(1..10) = SXX, SYX, SZZ, SXY, SYZ, SXZ, SREF, PSI, TETA, PHI

*** Si ICRT= 23 (Hill modifié)
    NCRT(ICRT) = 10
    VPC(1..10) = SXX, SYX, SZZ, S45, SYZ, SXZ, SREF, PSI, TETA, PHI

*** Si ICRT= 24 (Critère du modèle HiSS de Shao et Desai)
    NCRT(ICRT) = 6
    VPC(1..6) = GAMMA, BETA, N, R, ALFAZ, PA

*** Si ICRT= 25 (von Mises pour ecrouissage cinématique non linéaire)
    NCRT(ICRT) = 1
    VPC(1) = K
    K          : Résistance en cisaillement simple.

*** Si ICRT= 26 (Critère du modèle S-CLAY1)
    voir documentation théorique
    NCRT(ICRT) = 3
    VPC(1..3) = M, PC, K0
    M          : Pente de la ligne d'état critique.
    PC          : Pression de préconsolidation initiale.
    K0          : ..

*** Si ICRT= 27 (Drucker Prager pour ecrouissage cinématique non linéaire)
    NCRT(ICRT) = 2
    VPC(1..4) = C, PHI
    C          : Cohésion.
    PHI        : Angle de frottement interne.

*** Si ICRT= 28 (Hill Lourenço)
    NCRT(ICRT) = 7
    VPC(1..7) = S11, S22, BETA, S12, PSI, TETA, PHI

*** Si ICRT= 29 (Hill Lourenço variante)
    NCRT(ICRT) = 10
    VPC(1..10) = S11, S22, S33, BETA, S12, S23, S13, PSI, TETA, PHI

```

```

*** Si ICRT= 30 (critère du modèle HiSS variante)
    f= J2D -1/3 eta gamma p^2 [1-(p/pc)^m] ; eta = 1/(1-beta S) ;
    S=(27)^1/2 J3D/(2J2D);p=-tr(sigma)/3+R;J2D=1/2s:s ; J3D=1/3tr(s^3)
    NCRT(ICRT) = 5
    VPC(1..5) = GAMMA, M, PC, R, BETA
    GAMMA : Pente initiale q = eta gamma p
    M      : Exposant (>0)
    PC     : Pression de préconsolidation.
    R      : Limite en traction isotrope.
    BETA   : Parametre troisieme invariant (0 =< BETA < 1).

*** Si ICRT= 31 (Critère du Hardening Soil Model)
    NCRT(ICRT) = 8
    VPC(1..8) = C, PHI, PSI, M, PREF, RF, EURREF, E50REF
    C      : Cohésion.
    PHI    : Angle de frottement interne.
    PSI    : Angle de dilataance.
    M      : Exposant (>0).
    PREF   : Pression de référence.
    RF     : Rf.
    EURREF : Module de déchargement de référence.
    E50REF : Module de chargement de référence.

```

### Potentiel du premier mécanisme (facultatif)

La loi d'écoulement peut être associée, auquel cas il n'y a pas de données supplémentaires à fournir pour définir l'évolution des déformations plastiques. Si la loi est non associée, on se place dans le formalisme familier de l'élastoplasticité, et l'évolution des déformations plastiques est définie par la donnée d'un potentiel plastique. Ce choix fait intervenir un nouveau mot-clé (POT), et un indicateur entier spécifique appelé IPOT.

```

*** Si ICRT>0

**** POT (mot-clé facultatif), IPOT, (VPP(I),I=1,NCRT(IPOT))          (d)

    IPOT : Indicateur de la fonction servant de critère de plasticité.

    NCRT(IPOT) : Nombre de paramètres pour le critère associé à la valeur
                de l'indicateur IPOT.

    VPP : Vecteur des paramètres à fournir pour le critère choisi.
    Notes :
    - Si aucun potentiel n'est fourni dans les données, la loi d'écoulement
      est supposée associée, sauf pour le modèle ICRT=31, pour lequel
      la loi d'écoulement n'est pas associée, mais déterminée par le
      modèle HSM sans choix à faire par l'utilisateur.
    - Une fois que la fonction utilisée comme potentiel définie par la donnée
      de l'indicateur IPOT, les paramètres à fournir sont les mêmes
      qu'au paragraphe 2.3.1
    - On peut a priori adopter n'importe laquelle des fonctions précédentes
      comme potentiel, avec deux restrictions :
      * IPOT ne peut pas prendre la valeur 31.

```

\* d'autre part, il n'est pas permis d'utiliser une fonction "non régulière" (IPOT=1, 3, 4, 14 ou 15) si la fonction choisie comme critère est régulière.

De manière générale, l'utilisateur doit s'assurer de la pertinence de la combinaison critère/potentiel qu'il utilise.

### Loi d'écrouissage du premier mécanisme (facultatif)

Pour un certain nombre de critères, il est possible (dans certains cas, fortement conseillé, et même parfois obligatoire) de définir une loi d'écrouissage décrivant l'évolution du domaine élastique. Dans certains cas, plusieurs lois d'écrouissage sont disponibles.

Les critères pour lesquels une ou plusieurs lois d'écrouissage sont disponibles sont indiqués dans le tableau de la section 2.1. Le choix de la loi d'écrouissage repose sur l'utilisation d'un nouveau mot-clé ECR, qui permet de définir un indicateur entier IECR, et de fournir les données nécessaires.

Note importante : un certain nombre de modèles permettent de prendre en compte un radoucissement (écrouissage négatif). Ce type de modèle pose des problèmes théoriques (perte d'ellipticité) qui entraînent une dépendance des résultats au maillage. Ces aspects ne sont pas pris en compte dans le cadre de la programmation proposée, et l'utilisateur est amené à contrôler l'influence du maillage sur les résultats qu'il obtient.

```
*** Si ICRT= 2 (von Mises)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))           (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage linéaire du modele IMOD = 12)
      NCEC(IECR) = 1
      VPE(1) = H
      H          : Pente de la droite d'essai uniaxial.

**** Si IECR= 2 (écrouissage de la loi de Prevost-Hoeg - IMOD = 19)
      NCEC(IECR) = 2
      VPE(1..2) = A, B
      A          : Paramètre du modèle.
      B          : Paramètre du modèle.

**** Si IECR= 3 (écrouissage de la loi de Prevost-Hoeg - variante)
      NCEC(IECR) = 2
      VPE(1..2) = A, B
      A          : Paramètre du modèle.
      B          : Paramètre du modèle.

*** Si ICRT= 5 (Drucker Prager)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))           (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage négatif a module constant dk= -H dlambda)
      NCEC(IECR) = 1
      VPE(1) = H
      H          : Module d'écrouissage.
      Note : ce modèle permet de reproduire le modèle IMOD=14 a condition de
             prendre  $H = \mu / (1 + \mu)$  où  $\mu$  est le module de cisaillement
```

```

**** Si IECR= 3 (écrouissage volumique variable)
NCEC(IECR) = 3
VPE(1..3) = HMAX, HRES, XMAX
HMAX      : Coefficient sans dimension définissant la résistance de pic.
HRES      : Coefficient sans dimension définissant la résistance
            résiduelle.
XMAX      : Paramètre définissant la position du pic de résistance.

**** Si IECR= 4 (écrouissage volumique variable)
NCEC(IECR) = 5
VPE(1..5) = C, HMAX, HMIN, ESPMAX, BETA
Note : il faut vérifier  $2 \text{ HMAX} < C * \text{EPSM}$ 
C         : Pente initiale de la courbe h-epsilon.
HMAX      : Valeur maximale du coefficient h.
HFIN      : Valeur résiduelle du coefficient h.
EPSMAX    : Paramètre définissant la position du maximum sur la courbe h-
            epsilon.
BETA      : Paramètre contrôlant la forme de la partie radoucissante.

*** Si ICRT= 6 (Cam Clay modifié)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))          (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique)
NCEC(IECR) = 3
VPE(1..3) = LAMBDA, KAPPA, EZERO
LAMBDA    : Pente de la courbe de première consolidation.
KAPPA     : Pente de la courbe charge-décharge.
EZERO     : Indice des vides initial.

**** Si IECR= 3 (écrouissage volumique et déviatorique)
NCEC(IECR) = 4
VPE(1..4) = LAMBDA, KAPPA, EZERO, BETA
LAMBDA    : Pente de la courbe de première consolidation.
KAPPA     : Pente de la courbe charge-décharge.
EZERO     : Indice des vides initial.
BETA      : Coefficient de la déformation déviatorique dans la loi
            d'écrouissage.

**** Si IECR= 6 (écrouissage volumique avec pression de preconsolidation
variant avec la profondeur)
NCEC(IECR) = 5
VPE(1..5) = PCZ, DPC, LAMBDA, KAPPA, EZERO
PCZ, DPC  : Paramètres pour le calcul de la pression de preconsolidation
            avec la profondeur ( $PC = PCZ + Z \text{ DPC}$  ; prendre DPC négatif)
LAMBDA    : Pente de la courbe de première consolidation.
KAPPA     : Pente de la courbe charge-décharge.
EZERO     : Indice des vides initial.

```

```

**** Si IECR= 7 (écrouissage volumique avec prise en compte d'un rapport de
préconsolidation)
    NCEC(IECR) = 4
    VPE(1..4) = OCR, LAMBDA, KAPPA, EZERO
    OCR : rapport de préconsolidation
    LAMBDA : Pente de la courbe de premiere consolidation.
    KAPPA : Pente de la courbe charge-décharge.
    EZERO : Indice des vides initial.

*** Si ICRT= 19 (Cam Clay ovoide - Egg Cam Clay)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR)) (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique du Cam Clay)
    NCEC(IECR) = 3
    VPE(1..3) = LAMBDA, KAPPA, EZERO
    LAMBDA : Pente de la courbe de premiere consolidation.
    KAPPA : Pente de la courbe charge-décharge.
    EZERO : Indice des vides initial.

**** Si IECR= 2 (écrouissage volumique du côté compression seulement)
    NCEC(IECR) = 4
    VPE(1..4) = LAMBDA, KAPPA, EZERO, BETA
    LAMBDA : Pente de la courbe de premiere consolidation.
    KAPPA : Pente de la courbe charge-décharge.
    EZERO : Indice des vides initial.

*** Si ICRT= 24 (Critère du modèle HiSS de Shao et Desai)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR)) (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique)
    NCEC(IECR) = 1
    VPE(1) = LAMBDA
    LAMBDA : Coefficient de la déformation volumique.

**** Si IECR= 2 (écrouissage volumique et deviatorique)
    NCEC(IECR) = 2
    VPE(1..2) = LAMBDA, MU
    LAMBDA : Coefficient de la déformation volumique.
    MU : Coefficient de la déformation déviatorique.

```

```

*** Si ICRT= 25 (Modèle d'écrouissage cinématique non linéaire de Prager avec
critère de von Mises)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))          (d)

**** Si IECR= 1 (loi de Chaboche :  $dX = 2/3 C \text{ de } sp - D X \text{ dxi}$ )
      NCEC(IECR) = 2
      VPE(1..2) = C, D
      C          : Paramètre de la loi d'évolution de X.
      D          : Deuxième paramètre de la loi d'évolution de X.

*** Si ICRT= 26 (Critère du modèle S-Clay 1)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))          (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique et deviatorique)
      NCEC(IECR) = 4
      VPE(1..4) = LAMBDA, KAPPA, EZERO, MU
      LAMBDA : Premier coefficient pour la loi d'évolution de pm.
      KAPPA  : Deuxieme coefficient pour la loi d'évolution de pm.
      EZERO  : Indice des vides initial.
      MU     : Coefficient de la loi d'évolution du paramètre alpha.

*** Si ICRT= 27 (Modèle d'écrouissage cinématique non linéaire de Prager avec
critère de Drucker Prager)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))          (d)

**** Si IECR= 1 (loi de Chaboche :  $dX = 2/3 C \text{ de } sp - D X \text{ dxi}$ )
      NCEC(IECR) = 2
      VPE(1..2) = C, D
      C          : Paramètre de la loi d'évolution de X.
      D          : Deuxième paramètre de la loi d'évolution de X.

*** Si ICRT= 30 (Critère du modèle HiSS modifié)

**** ECR (mot-clé facultatif), IECR, (VPE(I),I=1,NCEC(IECR))          (d)

**** Si IECR= 1 (écrouissage volumique et deviatorique)
      NCEC(IECR) = 1
      VPE(1..1) = A
      A : coefficient de epsilon_volumique_plastique dans l'exponentielle

      NCEC(IECR) = 2
      VPE(1..2) = LAMBDA, MU
      LAMBDA : Coefficient de la déformation volumique.
      MU     : Coefficient de la déformation déviatorique.
      Attention : La programmation semble incomplète (terme MU mal pris en
                  compte)

```



\*\*\* Si ICRT= 31 (Critère du Hardening Soil Model)

\*\*\*\* **ECR** 1 (d)

IECR= 1 correspond à la loi d'écrouissage du modèle original. Il n'y a pas de paramètre supplémentaire à fournir.

### **Deuxième mécanisme plastique (facultatif)**

Cette possibilité permet de combiner des surfaces de charges ouvertes sur l'axe des compressions isotropes (critère de Drucker Prager ou critère parabolique par exemple) avec une surface qui sert de "cap" en compression (par exemple celle du Cam-Clay modifié). On peut aussi utiliser cette possibilité pour représenter la contribution d'un réseau de fractures (orienté) à la résistance globale d'un massif supposé isotrope.

De manière générale, cette fonctionnalité est réservée à des utilisateurs avertis.

La structure des données à fournir est identique à celle des données du premier mécanisme de plasticité en remplaçant les mots-clés CRT, POT et ECR par CRT2, POT2 et ECR2 respectivement.

**Prise en compte d'inclusions de renforcement (facultatif)**

La structure des lois de comportement à composantes permet de prendre en compte de manière simplifiée la présence d'inclusions de renforcement, en adoptant l'approche multiphasique proposée par de Buhan et Sudret, dans sa version simplifiée : on suppose que le déplacement moyen des inclusions est égal au déplacement moyen du milieu qui les entoure (modèle multiphasique "adhérent"). Le traitement est analogue à celui de la loi IMOD=43 (pour un comportement de type Drucker Prager sans écrouissage).

Du point de vue de la mise en données, on indique la présence d'une famille de renforcement par le mot-clé **RENF**. Les deux lignes suivantes décrivent le comportement des inclusions et la géométrie du dispositif de renforcement (pour pouvoir prendre en compte un renforcement par boulonnage radial autour d'une galerie par exemple).

```
*** RENF (mot-clé facultatif) (d)

*** Si le mot-clé RENF est présent, lecture de :

**** ICOMP, (VPRC(I), I=1,NCRF(ICOMP)) (d)

      ICOMP : Indicateur de la loi de comportement pour la phase
              renforcement.

      NCRF(ICOMP) : Nombre de paramètres pour la loi de comportement.

      VPRC : Vecteur des paramètres de la loi de comportement.
```

**Données relatives au comportement des inclusions.**

```
**** Si ICOMP = 1 (élasticité linéaire)
      NCRF(ICOMP) = 2
      VPRC(1..2) = K, SA
      K : Module d'Young du matériau constitutif des inclusions.
      SA : Aire de la section d'une inclusion.

**** Si ICOMP = 2 (élasticité linéaire + plasticité parfaite)
      NCRF(ICOMP) = 4
      VPRC(1..4) = K, SA, S, ETA
      K : Module d'Young du matériau constitutif des inclusions.
      SA : Aire de la section d'une inclusion.
      S : Contrainte limite en traction du matériau constitutif.
      ETA : Rapport limite en compression / limite en traction.

**** Si ICOMP = 3 (élasticité linéaire + rupture fragile)
      NCRF(ICOMP) = 4
      VPRC(1..4) = K, SA, S, ETA
      K : Module d'Young du matériau constitutif des inclusions.
      SA : Aire de la section d'une inclusion.
      S : Contrainte limite en traction du matériau constitutif.
      ETA : Rapport limite en compression / limite en traction.
```

```

**** Si ICOMP = 4 (élasticité linéaire + rupture fragile)
    NCRF(ICOMP) = 6
    VPRC(1..6) = K, SA, S, ETA
    K      : Module d'Young du matériau constitutif des inclusions.
    SA     : Aire de la section d'une inclusion.
    S      : Contrainte limite en traction du matériau constitutif.
    ETA    : Rapport limite en compression / limite en traction.
    DPMT   : Déformation plastique maximale en traction.
    DPMC   : Déformation plastique maximale en compression.

```

### Données relatives à la géométrie du dispositif de renforcement.

Ces données dépendent du type de calcul : en déformation plane, on peut prendre en compte un renforcement homogène (inclusions toutes parallèles) ou un renforcement radial (toutes les inclusions convergent vers un point du plan dont on donne les coordonnées) ; en déformation axisymétrique, on peut prendre en compte deux autres dispositions : sphérique (on donne la coordonnée  $z$  du point de convergence) ou divergent à symétrie de révolution.

Le renforcement n'est pas programmé dans le cadre des contraintes planes.

```

*** Si le mot-clé RENF est présent, lecture de :

**** IGEOM, (VPRG(I), I=1,NCRG(ICOMP)) (d)
    IGEOM : Indicateur de la disposition géométrique des inclusions.
    NCRG(IGEOM) : Nombre de paramètres pour la disposition géométrique.
    VPRG   : Vecteur des paramètres géométriques.

```

### Cas d'un calcul axisymétrique.

```

**** Si IGEOM = 1 (renforcement homogène)
    NCRG(IGEOM) = 3
    VPRG(1..3) = ALPHA, BETA, FV
    ALPHA  : Angle entre OX et la projection de la direction des inclusions
              sur  $z=0$ 
    BETA   : Angle entre le plan horizontal et la direction des inclusions
    FV     : Fraction volumique des inclusions.

**** Si IGEOM = 2 (renforcement radial)
    NCRG(IGEOM) = 6
    VPRG(1..6) = X, Y, Z, ALPHA, BETA, FV
    X, Y, Z : Coordonnées d'un point de l'axe de révolution
    ALPHA  : Angle entre OX et la projection de la direction des inclusions
              sur  $z=0$ 
    BETA   : Angle entre le plan horizontal et la direction des inclusions
    FV     : Fraction volumique des inclusions à distance unité de l'axe.

**** Si IGEOM = 3 (renforcement divergent cylindrique)
    NCRG(IGEOM) = 7
    VPRG(1..7) = X, Y, Z, ALPHA, BETA, GAMMA, FV
    X, Y, Z : Coordonnées d'un point de l'axe de révolution
    ALPHA  : Angle entre OX et la projection de la direction des inclusions
              sur  $z=0$ 
    BETA   : Angle entre le plan horizontal et la direction des inclusions

```

GAMMA : Angle entre les inclusions et la direction de l'axe  
FV : Fraction volumique des inclusions à distance unité de l'axe.

\*\*\*\* Si IGEOM = 4 (renforcement sphérique)

NCRG(IGEOM) = 4

VPRG(1..4) = X, Y, Z, FV

X, Y, Z : Coordonnées du point de convergence

FV : Fraction volumique des inclusions à distance unité du point de convergence.

**Calcul en condition non drainée (facultatif)**

\*\*\* **NDR** (mot-clé facultatif) (d)

\*\*\* Si le mot-clé **NDR** est présent, lecture de :

\*\*\*\* KW, N (d)

    KW : Module de compression de l'eau.

    N : Porosité.

## Modèles d'endommagement

On rappelle que les modèles d'endommagement ne se combinent pas avec les mécanismes de plasticité. L'emploi d'un mot clé CRT (qui définit un critère de plasticité) est donc exclusif de l'emploi du mot-clé ENDO pour introduire un modèle d'endommagement

### Définition du modèle d'endommagement

```

*** ENDO (mot-clé facultatif), IENDO, (VPC(I),I=1,NPENDO(IENDO))    (d)

IENDO : Indicateur du modèle d'endommagement.

NPENDO(IENDO) : Nombre de paramètres pour le modèle associé à la valeur
                de l'indicateur IENDO.

VPC : Vecteur des paramètres à fournir pour le critère choisi.

*** Si IENDO= 6 (Mazars)
    NPENDO(IENDO) = 5
    VPC(1..5)= EPSD0, AT, BT, AC, BC
    EPSD0 : déformation définissant le seuil d'endommagement initial
    AT, BT : paramètres de la loi d'endommagement en traction
    AC, BC : paramètres de la loi d'endommagement en compression

*** Si IENDO= 7 (Oliver)
    NPENDO(IENDO) = 3
    VPC(1..3)= SIGMAT, GF, SIGMAC
    SIGMAT : contrainte limite en traction
    GF : énergie de fracturation
    SIGMAC : contrainte limite en compression

*** Si IENDO= 9 (Mazars revisité avec régularisation)
    NPENDO(IENDO) = 5
    VPC(1..5) = EPSD0, SIGMAT, GF, AC, BC
    EPSD0 : déformation définissant le seuil d'endommagement initial
    SIGMAT : contrainte limite en traction
    GF : énergie de fracturation
    AC, BC : paramètres de la loi d'endommagement en compression

*** Si IENDO= 10 (Faria)
    NPENDO(IENDO) = 5
    VPC(1..5) = SIGMAT, SIGMAC, AC, BC, GF
    SIGMAT : contrainte limite en traction
    SIGMAC : contrainte limite en compression
    AC, BC : paramètres de la loi d'endommagement en compression
    GF : énergie de fracturation

```

```

*** Si IENDO= 22 (Modèle de Zucchini)
    Ce modèle doit être utilisé avec un des modèles élastiques décrivant les
        composantes de la maçonnerie, IELAS=15 ou IELAS=17 dans le cas
        d'une voute elliptique.
    NPENDO(IENDO) = 10
    VPC(1..10) = SIGMAT_B, GF_B, SIGMAT_M, GF_M, SIGMAS_B, GF2_B, SIGMAS_M,
        GF2_M, SIGMAC_B, SIGMAC_M
    SIGMAT_B : contrainte limite en traction des briques
    GF_B : énergie de fracturation en mode I des briques
    SIGMAT_M : contrainte limite en traction du mortier
    GF_M : énergie de fracturation en mode I du mortier
    SIGMAS_B : contrainte limite en cisaillement des briques
    GF2_B : énergie de fracturation en mode II des briques
    SIGMAS_M : contrainte limite en cisaillement du mortier
    GF2_M : énergie de fracturation en mode II du mortier
    SIGMAC_B : contrainte limite en compression des briques
    SIGMAC_M : contrainte limite en compression du mortier

*** Si IENDO= 24 (Zucchini+Mazars)
    Ce modèle doit être utilisé avec un des modèles élastiques décrivant les
        composantes de la maçonnerie, IELAS=15 ou IELAS=17 dans le cas
        d'une voute elliptique.
    NPENDO(IENDO) = 10
    VPC(1..10) = SIGMAT_B, GF_B, SIGMAT_M, GF_M, EPSDO_B, EPSDO_M, AC_B,
        BC_B, AC_M, BC_M
    SIGMAT_B : contrainte limite en traction des briques
    GF_B : énergie de fracturation en mode I des briques
    SIGMAT_M : contrainte limite en traction du mortier
    GF_M : énergie de fracturation en mode I du mortier
    EPSDO_B : déformation définissant le seuil d'endommagement initial pour
        les briques
    EPSDO_M : déformation définissant le seuil d'endommagement initial pour
        le mortier
    AC_B, BC_B : paramètres de la loi d'endommagement en compression pour
        les briques
    AC_M, BC_M : paramètres de la loi d'endommagement en compression pour
        le mortier

*** Si IENDO= 26 (Zucchini+Oliver)
    Ce modèle doit être utilisé avec un des modèles élastiques décrivant les
        composantes de la maçonnerie, IELAS=15 ou IELAS=17 dans le cas
        d'une voute elliptique.
    NPENDO(IENDO) = 6
    VPC(1..6) = SIGMAT_B, GF_B, SIGMAT_M, GF_M, SIGMAC_B, SIGMAC_M
    SIGMAT_B : contrainte limite en traction des briques
    GF_B : énergie de fracturation en mode I des briques
    SIGMAT_M : contrainte limite en traction du mortier
    GF_M : énergie de fracturation en mode I du mortier
    SIGMAC_B : contrainte limite en compression des briques
    SIGMAC_M : contrainte limite en compression du mortier

```

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 02**



## Famille 03

## Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments PBxx

## 03.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80) ;  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;  
= 1 Elasticité linéaire.  
= 2 Elasticité linéaire avec fluage.

= 12 Elasticité linéaire (modèle de poutre « sans cisaillement » de Batoz et Dhatt).

= 13 Elasticité linéaire (modèle de poutre « mixte » PML de Batoz et Dhatt). Non implanté pour les éléments à 3 nœuds.

= 14 Elasticité linéaire (modèle de poutre « mixte » PMQ de Batoz et Dhatt). Non implanté pour les éléments à 3 nœuds.

= 15 Elasticité linéaire (modèle de poutre à deux nœuds de Bathe ou de Owen et Hinton, intégration complète).

= 16 Elasticité linéaire (modèle de poutre à deux nœuds de Bathe ou de Owen et Hinton).

= 17 Elasticité linéaire.

= 18 Elasticité linéaire.

Pour les éléments à 3 nœuds, les modèles suivants correspondent à la superposition de deux éléments à deux nœuds (avec le modèle  $IMOD2 = IMOD - 100$ ).

= 101 Elasticité linéaire.

= 112 Elasticité linéaire.

= 113 Elasticité linéaire.

= 114 Elasticité linéaire.

= 115 Elasticité linéaire.

= 116 Elasticité linéaire.

### 03.2 Caractéristiques mécaniques des éléments du groupe actif

```
** Si IMOD =1 ou IMOD >= 12

*** RO, YOUNG, POISS                                (d)

    RO      : Masse volumique.
              = 0. Si calculs en statique avec chargements indépendants du
              poids volumique.
    YOUNG   : Module d'Young.
    POISS   : Coefficient de Poisson.

** Si IMOD = 2

*** RO, YOUNG, POISS, YOUNGREF                       (d)

    RO      : Masse volumique.
              = 0. Si calculs en statique avec chargements indépendants du
              poids volumique.
    YOUNG   : Module d'Young actuel.
    POISS   : Coefficient de Poisson.
    YOUNGREF : Module d'Young initial avant fluage.
```

### 03.3 Caractéristiques géométriques des éléments du groupe actif

```
** S, SR, VIN, YG                                    (d)

    S       : Aire de la section droite.
    SR      : Section réduite au cisaillement.
    VIN     : Valeur du moment d'inertie principal de la section, dans les
              axes locaux de l'élément (voir description de l'élément).
    YG      : Ordonnée de l'axe des centres de gravité de la section, dans
              les axes locaux de l'élément.
```

### Fin des données du groupe d'éléments de la famille 03

## Famille 04

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments PTxx

#### 04.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;  
 = 1 Poutre standard.  
 = 5 Poutre multifibres.

#### 04.2 Groupe d'éléments de poutre standard actif

\*\* Si IMOD = 1, 12, 13, 14, 15, 16, 101, 113, 114, 115 ou 116 (Poutre standard, élasticité linéaire) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS (d)

RO : Masse volumique ;  
 = 0. Si calculs en statique avec chargements indépendants du poids volumique.

YOUNG : Module d'Young.

POISS : Coefficient de Poisson.

\*\*\* S, S2, S3, VI1, VI2, VI3, YG, ZG, YC, ZC, (V(i), i=1,3) (d)

S : Aire de la section droite.

S2, S3 : Sections réduites au cisaillement.

VI1 : Moment d'inertie de torsion.

VI2, VI3 : Moments d'inertie principaux par rapport aux axes x2 et x3.

YG, ZG : Coordonnées, dans les axes locaux (x2, x3), de l'axe des centres de gravité des sections de l'élément.

YC, ZC : Coordonnées, dans les axes locaux (x2, x3), de l'axe des centres de torsion des sections de l'élément.

V : Vecteur direction du premier axe d'inertie (x2).

\*\* Si IMOD = 2 (Poutre standard, élasticité linéaire avec fluage) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, YOUNGREF (d)

RO : Masse volumique ;  
= 0. Si calculs en statique avec chargements indépendants du poids volumique.

YOUNG : Module d'Young actuel.

POISS : Coefficient de Poisson.

YOUNGREF : Module d'Young de référence (avant fluage).

\*\*\* S, S2, S3, VI1, VI2, VI3, YG, ZG, YC, ZC, (V(i), i=1,3) (d)

S : Aire de la section droite.

S2, S3 : Sections réduites au cisaillement.

VI1 : Moment d'inertie de torsion.

VI2, VI3 : Moments d'inertie principaux par rapport aux axes x2 et x3.

YG, ZG : Coordonnées, dans les axes locaux (x2, x3), de l'axe des centres de gravité des sections de l'élément.

YC, ZC : Coordonnées, dans les axes locaux (x2, x3), de l'axe des centres de torsion des sections de l'élément.

V : Vecteur direction du premier axe d'inertie (x2).

#### 04.3 Groupe d'éléments de poutre multifibres actif

\*\* Si IMOD = 5 (Poutres multifibres) :

\*\*\* NFIBR (d)

NFIBR : Nombre de fibres pour les éléments du groupe de poutres.

\*\*\* NLOI (d)

NLOI : Nombre de lois de comportement différentes pour décrire le comportement de l'ensemble des fibres.

\*\*\* Pour chacune des NLOI lois de comportement :

\*\*\*\* IMODF (d)

IMODF : Indicateur du type de modèle mécanique correspondant ;  
= 1 Elasticité linéaire isotrope.  
= 11 Von Mises sans écrouissage.  
= 12 Von Mises avec écrouissage.  
= 15 Critère parabolique.  
= 47 Willam-Warnke standard (3 paramètres), sans/avec écrouissage.  
= 48 Willam-Warnke modifié (4 paramètres), sans/avec écrouissage.

\*\*\*\* Si IMODF = 1 (élasticité linéaire isotrope) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.

\*\*\*\* Si IMODF = 11 (Von Mises sans écrouissage) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, K (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
K : Résistance en cisaillement simple.

\*\*\*\* Si IMODF = 12 (Von Mises avec écrouissage) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, K, H (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
K : Résistance en cisaillement simple.  
H : Pente de la droite d'essai uniaxial.

\*\*\*\* Si IMODF = 15 (Critère parabolique) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, RC, RT (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
RC : Résistance en compression simple.  
RT : Résistance en traction simple.

\*\*\*\* Si IMODF = 47 (Willam-Warnke standard, 3 paramètres) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, FC, FT, FBC, A0, B0, KAPPA (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
FC : Résistance en compression.  
FT : Résistance en traction.  
FBC : Résistance en compression biaxiale.  
A0 : Limite d'élasticité initiale par rapport aux résistances du matériau.  
B0 : Limite d'élasticité finale par rapport aux résistances du matériau.  
KAPPA : Facteur exponentiel d'écrouissage.

\*\*\*\* Si IMODF = 48 (Willam-Warnke modifié, 4 paramètres) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, FC, FT, FBC, SIG1, SIG2, SIG3,  
A0, B0, KAPPA (d)

RO : Masse volumique.

YOUNG : Module d'Young.

POISS : Coefficient de Poisson.

FC : Résistance en compression.

FT : Résistance en traction.

FBC : Résistance en compression biaxiale.

SIG1, SIG2, SIG3 : Etat de contraintes triaxiales de ruine.

A0 : Limite d'élasticité initiale par rapport aux résistances du matériau.

B0 : Limite d'élasticité finale par rapport aux résistances du matériau.

KAPPA : Facteur exponentiel d'écrouissage.

\*\*\* YC, ZC, VITORS (d)

YC,ZC : Coordonnées, dans les axes locaux (x2, x3), de l'axe des centres de torsion des sections de l'élément.

VITORS : Moment d'inertie de torsion.  
= 0 si le moment est calculé.

\*\*\* Pour chacune des NFIBR fibres :

\*\*\*\* SF, X2, X3, ILOI (d)

SF : Aire de la section de la fibre.

X2, X3 : Coordonnées du centre de la fibre dans le repère local.

ILOI : Numéro local (rang) de la loi de comportement dans la liste définie ci-dessus par la boucle de NLOI valeurs.

\*\*\* (V(i), i=1,3) (d)

V : Vecteur direction du premier axe d'inertie (x2).

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 04**

## Famille 05

## Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments COxx

## 05.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

- \* NOMG, ACTI, IGCOL (d)
- NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).
- ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.
- IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.
- \* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.
- \* Si le groupe est actif :
- \*\* IMOD, IMP, NNELG (d)
- IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;  
= 1 Coque standard  
= 2 Coque multicouche
- IMP : Indicateur précisant le type des résultats en contraintes désirés ;  
= 11 Impression des contraintes calculées au centre de l'élément (exprimées dans le repère local) :  
 $(\theta_{xx}, \theta_{yy}, \theta_{xy})_{sup}, \theta_{xz}, \theta_{yz}, (\theta_{xx}, \theta_{yy}, \theta_{xy})_{inf}$   
avec  $( )_{sup}$  : contraintes en « face » supérieure.  
 $( )_{inf}$  : Contraintes en « face » inférieure.  
= 12 Impression des contraintes généralisées calculées au centre de l'élément (exprimées dans le repère local) :  
 $N_{xx}, N_{yy}, N_{xy}, N_{xz}, N_{yz}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}$   
= 13 Impression des contraintes principale calculées au centre de l'élément :  
 $(\theta_1, \theta_2, \theta)_{sup}, \theta_{xz}, \theta_{yz}, (\theta_1, \theta_2, \theta)_{inf}$   
avec  $\theta_1, \theta_2$  : contraintes principales ( $\theta_1 > \theta_2$ ) .  
 $\theta$  : angle entre le premier vecteur du repère local et la direction de  $\theta_1$  .  
= 14 Impression de 11 + 12.  
= 21 ) Les sorties 21, 22, 23, 24 sont de même nature  
= 22 ) que les sorties 11, 12, 13, 14 mais les résultats  
= 23 ) sont donnés dans ce cas aux noeuds sommets de  
= 24 ) chaque élément du groupe.
- NNELG : Nombre maximum de noeuds d'un élément du groupe.

## 05.2 Groupe d'éléments de coque standard actif

\*\* Si IMOD = 1 (Coques standard, élasticité linéaire) :

```
*** RO, YOUNG, POISS                                     (d)

RO      : Masse volumique.
          = 0. Si calculs en statique avec chargements indépendants du
          poids volumique.
YOUNG   : Module d'Young.
POISS   : Coefficient de Poisson.

*** (EP(I), I=1, NNELG)                                   (d)

EP(I)   : Epaisseur des éléments du groupe au niveau du noeud I.
```

## 05.3 Groupe d'éléments de coque multicouches actif

\*\* Si IMOD = 2 (Coques multicouches) :

```
*** NCOU                                                  (d)

NCOU    : Nombre de couches pour les éléments du groupe de coques ;

*** NLOI                                                  (d)

NLOI    : Nombre de lois de comportement différentes pour décrire le
          comportement de l'ensemble des couches;

*** Pour chacune des NLOI lois de comportement :

**** IMODC                                               (d)

IMODC   : Indicateur du type de modèle mécanique correspondant;
          = 1 Elasticité linéaire isotrope.
          = 11 Von Mises sans écrouissage.
          = 12 Von Mises avec écrouissage.
          = 15 Critère parabolique.
          = 47 Willam-Warnke      standard      (3      paramètres),
              sans/avec écrouissage.
          = 48 Willam-Warnke      modifié       (4      paramètres),
              sans/avec écrouissage.
```



\*\*\*\* Si IMODC = 1 (élasticité linéaire isotrope) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.

\*\*\*\* Si IMODC = 11 (Von Mises sans écrouissage) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, K (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
K : Résistance en cisaillement simple.

\*\*\*\* Si IMODC = 12 (Von Mises avec écrouissage) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, K, H (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
K : Résistance en cisaillement simple.  
H : Pente de la droite d'essai uniaxial.

\*\*\*\* Si IMODC = 15 (Critère parabolique) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, RC, RT (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
RC : Résistance en compression simple.  
RT : Résistance en traction simple.

\*\*\*\* Si IMODC = 47 (Willam-Warnke standard, 3 paramètres) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, FC, FT, FBC, A0, B0, KAPPA (d)

RO : Masse volumique.  
YOUNG : Module d'Young.  
POISS : Coefficient de Poisson.  
FC : Résistance en compression.  
FT : Résistance en traction.  
FBC : Résistance en compression biaxiale.  
A0 : Limite d'élasticité initiale par rapport aux résistances du matériau.  
B0 : Limite d'élasticité finale par rapport aux résistances du matériau.  
KAPPA : Facteur exponentiel d'écrouissage.

\*\*\*\* Si IMODC = 48 (Willam-Warnke modifié, 4 paramètres) :

\*\*\*\*\* RO, YOUNG, POISS, FC, FT, FBC, SIG1, SIG2, SIG3,  
A0, B0, KAPPA (d)

RO : Masse volumique.

YOUNG : Module d'Young.

POISS : Coefficient de Poisson.

FC : Résistance en compression.

FT : Résistance en traction.

FBC : Résistance en compression biaxiale.

SIG1, SIG2, SIG3

: Etat de contraintes triaxiales de ruine.

A0 : Limite d'élasticité initiale par rapport aux résistances du matériau.

B0 : Limite d'élasticité finale par rapport aux résistances du matériau.

KAPPA : Facteur exponentiel d'écrouissage.

\*\*\* (ILOI(I), I=1, NCOU) (d)

ILOI(I) : Numéro local (rang) de la loi de comportement dans la liste définie ci-dessus par la boucle de NLOI valeurs, pour la couche I.

\*\*\* (EP(I), I=1, NCOU) (d)

EP(I) : Epaisseur de la couche I.

\*\*\* (Exc(I), I=1, NCOU) (d)

Exc(I) : Excentricité de la couche I.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 05**

## Famille 06

## Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments FDxx

## 06.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD, INAT, ITAC (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;  
= 1 Loi de comportement de type « adhérence ».  
= 2 Loi de comportement de type « frottement de Coulomb ».  
= 3 Loi de comportement de type « glissement parfait ».

INAT : Indicateur de la nature du problème étudié ;  
= 0 Problème tridimensionnel.  
= 1 Calcul en déformation plane.  
= 2 Calcul en déformation axisymétrique.  
= 3 Calcul en contrainte plane.

ITAC : Indicateur de contact initial (ou d'ouverture initiale) des éléments du groupe ;  
= 1 Si les éléments du groupe sont initialement en contact.  
= 0 Si les éléments du groupe ne sont pas initialement en contact (existence d'une ouverture initiale, comme par exemple dans le problème de Hertz).

## 06.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif

\*\* Si IMOD = 1 (adhérence) :

\*\*\* COERI (d)

COERI : Coefficient de rigidité du « matériau fictif » de contact.

\*\*\* Si INAT = 3 :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 2 (frottement de Coulomb) :

\*\*\* COERI, RT, C, PHI, PSI (d)

COERI : Coefficient de rigidité du « matériau fictif » de contact.

RT : Résistance à la traction.

C : Cohésion.

PHI : Angle de frottement (en degrés).

PSI : Angle de dilatance (en degrés) (en général PSI = 0.).

\*\*\* Si INAT = 3 :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 3 (glissement parfait) :

\*\*\* COERI, RT (d)

COERI : Coefficient de rigidité du « matériau fictif » de contact.

RT : Résistance à la traction.

\*\*\* Si INAT = 3 :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

\*\* Si IMOD = 4 (frottement de Coulomb - algorithme alternatif) :

\*\*\* COERI, RT, C, PHI, PSI, CNV (d)

COERI : Coefficient de rigidité du « matériau fictif » de contact.

RT : Résistance à la traction.

C : Cohésion.

PHI : Angle de frottement (en degrés).

PSI : Angle de dilatance (en degrés) (en général PSI = 0.).

CNV : Coefficient de convergence (il est fortement recommandé de donner à ce coefficient la valeur 1. ; en 2D, on peut retrouver les résultats obtenus pour IMOD=2 en prenant CNV=0.5).

\*\*\* Si INAT = 3 :

\*\*\*\* EP (d)

EP : Epaisseur de la structure.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 06**

**Famille 07****Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments BBxx****07.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments**

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;  
 = 1 : élasticité linéaire ;  
 = 4 : élasticité linéaire + plasticité parfaite  
 = 5 : élasticité linéaire + rupture fragile  
 = 6 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + rupture fragile  
 = 7 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + perte de raideur  
 = 14 : élasticité bilinéaire + plasticité parfaite

**07.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif**

\*\* Si IMOD=1 : élasticité linéaire

\*\*\* YOUNG, S (d)

YOUNG : Module d'Young.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=4 : élasticité linéaire + plasticité parfaite

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, S (d)

YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.  
 FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=5 : élasticité linéaire + rupture fragile

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, S (d)

YOUNG : Module d'Young.

FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.

FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.

S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=6 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + rupture fragile

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, EPSMAX, EPSMIN, S (d)

YOUNG : Module d'Young.

FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.

FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.

EPSMAX : Déformation plastique maximale a la rupture (traction).

EPSMIN : Déformation plastique maximale a la rupture (compression).

S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=7 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + perte de raideur

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, EREF, S (d)

YOUNG : Module d'Young.

FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.

FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.

EREF : Module d'Young a l'etape de calcul précédente.

S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=14 : élasticité bilinéaire + plasticité parfaite

\*\*\* YOUNG, YOUNG2, EPSTS, EPSTL, EPSCS, EPSCS, EPSCS, S (d)

YOUNG : Module d'Young initial.

YOUNG2 : Module d'Young secondaire.

EPSTS : Déformation seuil définissant la transition entre les deux valeurs du module en traction.

EPSTL : Déformation pour laquelle on atteint le régime plastique en traction.

EPSCS : Déformation seuil définissant la transition entre les deux valeurs du module en compression.

EPSCS : Déformation pour laquelle on atteint le régime plastique en compression.

S : Section de la barre.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 07**

## Famille 08

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments BTxx

#### 08.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;  
 = 1 : élasticité linéaire ;  
 = 4 : élasticité linéaire + plasticité parfaite  
 = 5 : élasticité linéaire + rupture fragile  
 = 6 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + rupture fragile  
 = 7 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + perte de raideur  
 = 14 : élasticité bilinéaire + plasticité parfaite

#### 08.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif

\*\* Si IMOD=1 : élasticité linéaire

\*\*\* YOUNG, S (d)

YOUNG : Module d'Young.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=4 : élasticité linéaire + plasticité parfaite

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, S (d)

YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.



FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=5 : élasticité linéaire + rupture fragile

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, S (d)  
 YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.  
 FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=6 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + rupture fragile

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, EPSMAX, EPSMIN, S (d)  
 YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.  
 FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 EPSMAX : Déformation plastique maximale a la rupture (traction).  
 EPSMIN : Déformation plastique maximale a la rupture (compression).  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=7 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + perte de raideur

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, EREF, S (d)  
 YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.  
 FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 EREF : Module d'Young a l'etape de calcul précédente.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=14 : élasticité bilinéaire + plasticité parfaite

\*\*\* YOUNG, YOUNG2, EPSTS, EPSTL, EPSCS, EPSCL, S (d)  
 YOUNG : Module d'Young initial.  
 YOUNG2 : Module d'Young initial secondaire.  
 EPSTS : Déformation seuil définissant la transition entre les deux valeurs du module en traction.  
 EPSTL : Déformation pour laquelle on atteint le régime plastique en traction.  
 EPSCS : Déformation seuil définissant la transition entre les deux valeurs du module en compression.  
 EPSCL : Déformation pour laquelle on atteint le régime plastique en compression.  
 S : Section de la barre.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 08**

**Famille 09****Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments RLxx****09.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments**

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* (IDL(I), I=1, N09) (d)

IDL : Numéro « local » de chacun des degrés de liberté intervenant dans la relation linéaire  
(1  $\leq$  IDL(I)  $\leq$  6).

N09 : Nombre de paramètres intervenant dans la relation linéaire  
(égal au nombre de noeuds déclarés dans la numérotation de la relation).

**09.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif**

\*\* (C (I), I=1,N09) (d)

C : Coefficients de la relation linéaire.

\*\* P (d)

P : Facteur de pénalisation servant à imposer la relation linéaire  
(de l'ordre de  $10^5$  fois la rigidité des éléments de volume auxquels appartiennent les noeuds concernés).

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 09**

## Famille 10

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments SPxy

#### 10.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* MFICH (d)

MFICH : Indicateur du fichier sur lequel est lue la matrice élémentaire.  
 = 0 Si lecture dans le jeu de données.  
 = 1 Si lecture sur fichier.

\*\* Si MFICH = 1 :

\*\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier sur lequel est lue la matrice élémentaire.

## 10.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif

\*\* (RE(I), I=1, N10)

(d si MFICH = 0 ;

f si MFICH = 1 .)

RE : Valeur de chacun des termes de cette matrice élémentaire. Ces termes sont rangés par colonnes descendantes.

N10 : Nombre de termes de la partie inférieure de la matrice élémentaire.

$$N10 = \frac{N1 * (N1 + 1)}{2}$$

avec N1 = x \* NNSP

x = nombre de degrés de liberté par noeud des éléments du groupe considéré.

NNSP = nombre de noeuds d'un élément du groupe considéré.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 10**

## Famille 11

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments AXxx

#### 11.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

- \* NOMG, ACTI, IGCOL (d)
- NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).
- ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.
- IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.
- \* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.
- \* Si le groupe est actif :
- \*\* IMOD (d)
- IMOD : Indicateur du type de modèle des éléments du groupe ;  
 = 1 Elasticité linéaire isotrope.
- \*\* NHAR, ISYM (d)
- NHAR : Numéro d'ordre de l'harmonique considérée, si utilisation avec un module de calcul autre que **AXIF**;  
 = 99 Si utilisation avec le module de calcul **AXIF**.
- ISYM : Indicateur de symétrie ou d'antisymétrie de l'harmonique ;  
 = -1 Si antisymétrique (  $U_r \sin(NHAR)\theta$ ,  
                                   (  $U_z \sin(NHAR)\theta$ ,  
                                   (  $U_\theta \cos(NHAR)\theta$ .  
 = 0 Si NHAR = 0 .  
 = 1 Si symétrique (  $U_r \cos(NHAR)\theta$ ,  
                                                                                   (  $U_z \cos(NHAR)\theta$ ,  
                                                                                   (  $U_\theta \sin(NHAR)\theta$ .  
 ou utilisation avec le module de calcul **AXIF**.

**11.2 Caractéristiques mécaniques des éléments du groupe actif**

\*\* Si IMOD = 1 :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS (d)

RO : Masse volumique.

YOUNG : Module d'Young.

POISS : Coefficient de Poisson.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 11**

## Famille 16

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments EJxx

La famille 16 vise à simplifier le traitement du contact (frottement-décollement) pris en compte par les éléments de la famille 06 et les modules TACT et TCNL. En particulier, les éléments de la famille 16 sont destinés à fonctionner avec le module MCNL.

Les éléments de joint fonctionnent comme des éléments habituels : on donne un indicateur entier IMOD qui définit le modèle de comportement choisi (et un indicateur INAT en 2D), suivis d'une suite de paramètres qui dépendent du modèle.

On n'a pas introduit jusqu'ici la notion d'ouverture initiale pour les éléments de joint. Elle pourrait cependant être utile. D'autre part, il est commode de conserver la structure des données des modèles existants pour la famille 06 des éléments de contact. On conserve donc le troisième indicateur ITAC des éléments de contact, bien qu'il soit sans effet pour le moment.

On propose donc :

- d'une part, de reproduire la mise en données des modèles de la famille 06, IMOD=1, 2 et 3 (le modèle IMOD=4, qui correspond à une implémentation différente du frottement de Coulomb, n'a pas été conservé),
- et, d'autre part, d'ajouter un certain nombre de modèles spécifiques aux éléments de joint.

Pour les modèles IMOD=1, 2 ou 3, la principale différence avec les éléments de la famille 06 réside dans le choix du module fictif du matériau de joint, qui doit être pris égal à environ 100 fois le module du moins raide des deux matériaux en contact.

#### 16.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

- \* NOMG, ACTI, IGCOL (d)
- NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).
- ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.
- IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.
- \* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.
- \* Si le groupe est actif :
- \*\* IMOD, INAT, ITAC (d)
- IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;  
 = 1 Comportement de type « adhérence ».  
 = 2 Comportement de type « frottement de Coulomb ».  
 = 3 Comportement de type « glissement parfait ».

= 101Elasticité linéaire.

= 110Comportement élastique parfaitement plastique avec limite en traction.

INAT : Indicateur de la nature du problème étudié ;

= 0 Problème tridimensionnel.

= 1 Calcul en déformation plane.

= 2 Calcul en déformation axisymétrique.

**NB : les éléments de joint ne fonctionnent pas en contrainte plane.**

ITAC : Indicateur d'ouverture initiale des éléments du groupe ;

**NB : l'indicateur d'ouverture initiale est pour le moment inopérant pour les éléments de joint.**

## 16.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif

\*\* Si IMOD = 1 (adhérence) :

\*\*\* COERI (d)

COERI : Coefficient de rigidité du « matériau fictif » de contact.

\*\* Si IMOD = 2 (frottement de Coulomb) :

\*\*\* COERI, RT, C, PHI, PSI (d)

COERI : Coefficient de rigidité du « matériau fictif » de contact.

RT : Résistance à la traction.

C : Cohésion.

PHI : Angle de frottement (en degrés).

PSI : Angle de dilatace (en degrés) (en général PSI = 0.).

\*\* Si IMOD = 3 (glissement parfait) :

\*\*\* COERI, RT (d)

COERI : Coefficient de rigidité du « matériau fictif » de contact.

RT : Résistance à la traction.

**NB : les modèles IMOD=1, 2, 3 correspondent aux modèles de la famille 06 ; les données ont la même structure, mais le traitement numérique est différent et il ne faut pas attendre les mêmes résultats avec les deux familles.**

**Le coefficient de rigidité COERI est homogène à une contrainte (contrairement aux raideurs à fournir pour les modèles IMOD=101 et 110). Pour les éléments de joint, on recommande de prendre**



*pour ce coefficient une valeur de l'ordre de 100 fois le plus petit des modules des deux solides en contact.*

\*\* Si IMOD = 101 (élasticité linéaire):

\*\*\* KNN, KTT

KNN, KTT : raideurs normale, tangentielle et transverse du joint.

**NB : Les raideurs n'ont pas la dimension d'un module d'élasticité, mais d'une force par unité de longueur. On pourra prendre par exemple le produit du plus grand des modules d'Young des solides en contact multiplié par l'ordre de grandeur de la taille des éléments de joint.**

\*\* Si IMOD = 110 (élasticité linéaire + plasticité parfaite avec critère de Mohr Coulomb + limite en traction):

\*\*\* KNN, KTT, RT, C, PHI, PSI

KNN, KTT: raideurs normale, tangentielle et transverse du joint.

**NB : Les raideurs n'ont pas la dimension d'un module d'élasticité, mais d'une force par unité de longueur. On pourra prendre par exemple le produit du plus grand des modules d'Young des solides en contact multiplié par l'ordre de grandeur de la taille des éléments de joint.**

RT : valeur maximale de la contrainte normale (= résistance en traction)

C : Cohésion du joint

PHI : angle de frottement (en degrés)

PSI : angle de dilatance (en degrés) (en général PSI = 0.).

**NB2 : C et RT sont homogènes à des contraintes.**

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 16**

## Famille 21

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments DBxx

#### 21.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

- \* NOMG, ACTI, IGCOL (d)
- NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).
- ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.
- IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.
- \* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.
- \* Si le groupe est actif :
- \*\* IMOD, INAT (d)
- IMOD : Indicateur du modèle matériel des éléments du groupe ;  
 = 1 Conduction de chaleur (modules **DTLI**, **DTNL** et **TEXO**).  
 = 2 Ecoulement en milieu poreux (modules **DTLI** et **DTNL**).  
 = 3 Modèle non linéaire général ; donnée de courbes point par point (module **DTNL**).  
 = 4 Ecoulement en milieu poreux non saturé ; utilisation de courbes préprogrammées (module **NSAT**).  
 = 5 Calcul de nappe aquifère (module **NAPP**).  
 = 40 Ecoulement en milieu poreux non saturé ; donnée de courbes point par point (module **NSAT**).  
 = 43 Ecoulement en milieu poreux non saturé ; modèle de van Genuchten et Gardner  
 = 44 Ecoulement en milieu poreux non saturé ; modèle de van Genuchten et Gardner (implémentation avec discrétisation point par point comme pour IMOD=40).
- INAT : Indicateur du type de géométrie.  
 = 1 Problème plan.  
 = 2 Problème axisymétrique.

#### Remarques :

Les calculs de nappe aquifère (IMOD = 5) ne sont traités qu'avec des modèles plans : donner INAT = 1.  
 Les données relatives à la définition des différentes couches de l'aquifère (cotes, tenseur des perméabilités) sont fournies dans le module **NAPP**.

## 21.2 Caractéristiques physiques des éléments du groupe actif

\*\* Si IMOD = 1 (conduction de chaleur) :

\*\*\* AKX, AKY, AKXY, CC (d)

AKX     )  
 AKY     ) Coefficients du tenseur de conductivité  
 AKXY    )  
 CC       : Capacité calorifique.  
           = 0. Si calcul en régime permanent.

\*\* Si IMOD = 2 (écoulement en milieu poreux) :

\*\*\* AKX, AKY, AKXY, CE (d)

AKX     )  
 AKY     ) Coefficients du tenseur de perméabilité.  
 AKXY    )  
 CE       : Coefficient d'emmagasinement.  
           = 0. Si calcul en régime permanent.

\*\* Si IMOD = 3 (modèle non linéaire général pour **DTNL**) :

\*\*\* AKX, AKY, AKXY, CE (d)

AKX     )  
 AKY     ) Coefficients du tenseur des perméabilités ou  
 AKXY    ) des conductivités.  
 CE       : Coefficient d'emmagasinement, quand  $Cr = 1$ .

\*\*\* NC, ((VCOURB(J, I), J = 1, 3), I = 1, NC) (d)

NC       : Nombre ( $\geq 4$ ) de triplets de valeurs définissant les courbes  $Kr = f(\theta)$  et  $Cr = g(\theta)$ .  
 VCOURB : Abscisses et ordonnées de ces courbes ;  
           VCOURB(1, I) = valeur du paramètre  $\theta$ ,  
           VCOURB(2, I) = valeur de la conductivité relative  $Kr$  correspondante,  
           VCOURB(3, I) = valeur du coefficient d'emmagasinement relatif  $Cr(\theta)$  correspondant.

Remarque :

Les valeurs VCOURB(1, i) doivent être décrites dans l'ordre croissant.

\*\* Si IMOD = 4 (modèle pour **NSAT** avec courbes préprogrammées) :

\*\*\* AKXS, AKYS, AKXYS, CE (d)

AKXS )  
 AKYS ) Coefficients du tenseur des perméabilités à  
 AKXYS ) saturation  
 CE : Porosité efficace.

\*\*\* A, B, C, D, CER, CES, Po (d)

A, B : Coefficients de la loi de perméabilité relative dans le domaine non saturé :  
 $K_r = A / (A + (-P/P_o)^{**B})$ , si  $P = \text{pression} < 0$ .  
 C, D : Coefficients de la loi de teneur en eau relative dans le domaine non saturé :  
 $\theta_r = C / (C + (-P/P_o)^{**D})$ , si  $P = \text{pression} < 0$ .  
 CER : Coefficient d'emmagasinement résiduel dans le domaine non-saturé.  
 CES : Coefficient d'emmagasinement dans le domaine saturé.  
 Po : Pression de référence.

\*\* Si IMOD = 40 (modèle pour **NSAT** avec courbes point par point) :

\*\*\* AKXS, AKYS, AKXYS, CE (d)

AKXS )  
 AKYS ) Coefficient du tenseur des perméabilités à  
 AKXYS ) saturation.  
 CE : Porosité efficace.

\*\*\* NC, (VCOURB (J, I), J = 1, 3), I = 1, NC) (d)

NC : Nombre ( $\geq 4$ ) de triplets de valeurs définissant les courbes  $K_r = f(P)$ ,  $\theta_r = g(P)$  dans le domaine non saturé ( $P \leq 0$ ).  
 VCOURB : Abscisses et ordonnées de ces courbes ;  
 VCOURB(1, I) = valeur de la pression P,  
 VCOURB(2, I) = valeur de la perméabilité relative  $K_r$  correspondante,  
 VCOURB(3, I) = valeur de la teneur en eau relative  $\theta_r$  correspondante.

\*\*\* CES (d)

CES : Coefficient d'emmagasinement dans le domaine saturé.

Remarque : Les valeurs des pressions  $P(i)$  données dans le tableau VCOURB(1,i) doivent être négatives ou nulle (domaine non saturé). De plus, elles doivent être décrites dans l'ordre algébriquement croissant. En particulier, le dernier triplet ( $i = NC$ ) doit être égal à :

$P(NC) = 0$ . rangé dans VCOURB(1,NC)  
 $K_r(NC) = 1$ . rangé dans VCOURB(2,NC)  
 $\theta_r(NC) = 1$ . rangé dans VCOURB(3,NC)

**\*\* Si IMOD = 43 ou 44 (modèle de van Genuchten et Gardner pour **NSAT**)**

IMOD = 43 : utilisation directe des fonctions analytiques

IMOD = 44 : traitement avec discrétisation des fonctions de perméabilité et de saturation en courbes point par point) :

Les valeurs IMOD=43 et IMOD=44 correspondent à deux implémentations numériques des mêmes modèles de teneur en eau et de perméabilité relative. Le cas IMOD=43 correspond à un traitement analytique des équations du modèle : il peut être peu performant lorsque les paramètres retenus rendent les variations de  $\theta$  et de  $k$  très abruptes. Le cas IMOD=44 repose sur l'utilisation de courbes splines (comme pour IMOD=40), et s'avère plutôt plus performant d'un point de vue numérique.

pour la teneur en eau (modèle de van Genuchten) :

si  $\psi > 0$  (cas saturé) :  $\theta = \theta_s$

si  $\psi < 0$  (cas non saturé) :  $\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha x)^n]^m}$

pour la perméabilité (modèle de Gardner) :

si  $\psi < 0$  (cas non saturé) :  $k_r = \frac{1}{1 + (\alpha x)^N}$

avec  $x = -\psi/p^\circ$ .

**\*\*\* AKXS, AKYS, AKXYS, TETAS, TETAR, ALPHA, N, M, A, NN, PZERO (d)**

AKXS )

AKYS ) Coefficient du tenseur des perméabilités à

AKXYS ) saturation.

TETAS : teneur en eau volumique a saturation

TETAR : teneur en eau volumique residuelle

ALPHA : coefficient dans la loi de saturation

N, M : exposants dans la loi de saturation

A : coefficient dans la loi de perméabilité

NN : exposant dans la loi de perméabilité

PZERO : pression de référence

**\*\* Si IMOD = 5 (modèle pour **NAPP**) :**

**\*\*\* Pas de données à fournir dans le module **ELEM**.**

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 21**

## Famille 22

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments DTxx

#### 22.1 Indications générale caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle matériel des éléments du groupe ;  
 = 1 Conduction de chaleur (modules **DTLI**, **DTNL** et **TEXO**).  
 = 2 Ecoulement en milieu poreux (modules **DTLI** et **DTNL**).  
 = 3 Modèle non linéaire général ; données de courbes point par point (module **DTNL**).  
 = 4 Ecoulement en milieu poreux non saturé ; utilisation de courbes préprogrammées (module **NSAT**).  
 = 40 Ecoulement en milieu poreux non saturé ; données de courbes point par point (module **NSAT**).  
 = 43 Ecoulement en milieu poreux non saturé ; modèle de van Genuchten et Gardner  
 = 44 Ecoulement en milieu poreux non saturé ; modèle de van Genuchten et Gardner (implémentation avec discrétisation point par point comme pour IMOD=40).

#### 22.2 Caractéristiques physiques des éléments du groupe actif

\*\* Si IMOD = 1 (conduction de chaleur) :

\*\*\* AKX, AKY, AKZ, AKXY, AKYZ, AKXZ, CC (d)

AKX, AKY, AKZ, AKXY, AKYZ, AKXZ : Coefficients du tenseur de conductivité.

CC : Capacité calorifique.  
 = 0. Si calcul en régime permanent.

\*\* Si IMOD = 2 (écoulement en milieu poreux) :

\*\*\* AKX, AKY, AKZ, AKXY, AKYZ, AKXZ, CE (d)

AKX, AKY, AKZ, AKXY, AKYZ, AKXZ : Coefficients du tenseur des perméabilités.

CE : Coefficient d'emmagasinement.  
= 0. Si calcul en régime permanent.

\*\* Si IMOD = 3 (modèle non linéaire général pour **DTNL**) :

\*\*\* AKX, AKY, AKZ, AKXY, AKYZ, AKXZ, CE (d)

AKX, AKY, AKZ, AKXY, AKYZ, AKXZ : Coefficients du tenseur des conductivités ou perméabilités.

CE : Coefficient d'emmagasinement, quand  $C_r = 1$ .

\*\*\* NC, ((VCOURB(J,I), J = 1, 3), I = 1, NC) (d)

NC : Nombre ( $\geq 4$ ) de triplets de valeurs définissant les courbes  $K_r = f(\theta)$  et  $C_r = g(\theta)$ .

VCOURB : Abscisses et ordonnées de ces courbes ;

VCOURB(1, I) = valeur du paramètre  $\theta$ ,

VCOURB(2, I) = valeur de la conductivité relative  $K_r$  correspondante,

VCOURB(3, I) = valeur du coefficient d'emmagasinement relatif  $C_r(0)$  correspondant.

Remarque :

Les valeurs VCOURB(1,i) doivent être décrites dans l'ordre croissant.

\*\* Si IMOD = 4 (modèle pour **NSAT** avec courbes préprogrammées) :

\*\*\* AKXS, AKYS, AKZS, AKVYS, AKYZS, AKZXS, CE (d)

AKXS, AKYS, AKZS, AKVYS, AKYZS, AKZXS : Coefficients du tenseur des perméabilités à saturation.

CE : Porosité efficace.

\*\*\* A, B, C, D, CER, CES, Po (d)

A, B : Coefficients de la loi de perméabilité relative dans le domaine non saturé :

$K_r = A / (A + (-P/Po)**B)$ , si  $P = \text{pression} < 0$ .

C, D : Coefficients de la loi de teneur en eau relative dans le domaine non saturé :

$\theta_r = C / (C + (-P/Po)**D)$ , si  $P = \text{pression} < 0$ .

CER : Coefficient d'emmagasinement résiduel dans le domaine non saturé.

CES : Coefficient d'emmagasinement dans le domaine saturé.  
 Po : Pression de référence

\*\* Si IMOD = 40 (modèle pour **NSAT** avec courbes point par point) :

\*\*\* AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS, CE (d)

AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS : Coefficients du tenseur de perméabilités à saturation.

CE : Porosité efficace.

\*\*\* NC, (VCOURB (J, I), J = 1, 3), I = 1, NC) (d)

NC : Nombre ( $\geq 4$ ) de triplets de valeurs définissant les courbes  $K_r = f(P)$ ,  $\theta_r = g(P)$  dans le domaine non saturé ( $P \leq 0$ ).

VCOURB : Abscisses et ordonnées de ces courbes ;

VCOURB(1, I) = valeur de la pression P,

VCOURB(2, I) = valeur de la perméabilité relative  $K_r$  correspondante,

VCOURB(3, I) = valeur de la teneur en eau relative  $\theta_r$  correspondante.

\*\*\* CES (d)

CES : Coefficient d'emmagasinement dans le domaine saturé.

Remarque :

Les valeurs des pressions  $P(i)$  données dans le tableau VCOURB(1,i) doivent être négatives ou nulle (domaine non saturé). De plus, elles doivent être décrites dans l'ordre algébriquement croissant. En particulier, le dernier triplet ( $i = NC$ ) doit être égal à :

$P(NC) = 0$ . rangé dans VCOURB(1,NC)

$K_r(NC) = 1$ . rangé dans VCOURB(2,NC)

$\theta_r(NC) = 1$ . rangé dans VCOURB(3,NC)

\*\* Si IMOD = 43 ou 44 (modèle de van Genuchten et Gardner pour **NSAT**)

IMOD = 43 : utilisation directe des fonctions analytiques

IMOD = 44 : traitement avec discrétisation des fonctions de perméabilité et de saturation en courbes point par point) :

Les valeurs IMOD=43 et IMOD=44 correspondent à deux implémentations numériques des mêmes modèles de teneur en eau et de perméabilité relative. Le cas IMOD=43 correspond à un traitement analytique des équations du modèle : il peut être peu performant lorsque les paramètres retenus rendent les variations de  $\theta$  et de  $k$  très abruptes. Le cas IMOD=44 repose sur l'utilisation de courbes splines (comme pour IMOD=40), et s'avère plutôt plus performant d'un point de vue numérique.



pour la teneur en eau (modèle de van Genuchten) :

$$\begin{aligned} \text{si } \psi > 0 \text{ (cas saturé) : } & \theta = \theta_s \\ \text{si } \psi < 0 \text{ (cas non saturé) : } & \theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha x)^n]^m} \end{aligned}$$

pour la perméabilité (modèle de Gardner) :

$$\text{si } \psi < 0 \text{ (cas non saturé) : } \quad k_r = \frac{1}{1 + (\alpha x)^N}$$

avec  $x = -\psi/p^\circ$ .

```
*** AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS, TETAS, TETAR,
    ALPHA, N, M, A, NN, PZERO                                     (d)
    AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS : Coefficients du tenseur de
        perméabilités à saturation.
    TETAS : teneur en eau volumique a saturation
    TETAR : teneur en eau volumique residuelle
    ALPHA : coefficient dans la loi de saturation
    N, M : exposants dans la loi de saturation
    A : coefficient dans la loi de perméabilité
    NN : exposant dans la loi de perméabilité
    PZERO : pression de référence
```

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 22**

## Famille 23

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments EBxx

#### 23.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

- \* NOMG, ACTI, IGCOL (d)
- NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).
- ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.
- IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.
- \* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.
- \* Si le groupe est actif :
- \*\* IMOD, INAT (d)
- IMOD : Indicateur du type de modèle matériel des éléments du groupe ;  
 = 1 Conduction de chaleur (modules **DTLI**, **DTNL** et **TEXO**).  
 = 2 Ecoulement en milieu poreux (modules **DTLI** et **DTNL**).  
 = 3 Modèle non linéaire général (module **DTNL**).
- INAT : Indicateur du type de géométrie ;  
 = 1 Problème plan.  
 = 2 Problème axisymétrique.

#### 23.2 Caractéristiques physiques des éléments du groupe

- \*\* Si IMOD = 1 ou 2 (conduction de chaleur ou écoulement en milieu poreux) :
- \*\*\* ECH (d)
- ECH : Coefficient d'échange.

\* Si IMOD = 3 (modèle non linéaire général pour **DTNL**) : (d)

\*\* ECH (d)

ECH : Coefficient d'échange, quand  $h_r = 1$ .

\*\* NC, (VECH (J,I), J = 1,2), I = 1,NC) (d)

NC : Nombre ( $\geq 2$ ) de couples de valeurs définissant la courbe  $h_r = f(\theta)$ .

VECH : Abscisses et ordonnées de la courbe  $h_r = f(\theta)$

VECH(1,I) = valeur du paramètre  $\theta$ .

VECH(2,I) = valeur du coefficient d'échange relatif  $h_r$  correspondant.

Remarque :

Les valeurs VECH(1, i) doivent être décrites dans l'ordre croissant.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 23.**

## Famille 24

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments ETxx

#### 24.1 Indications générales caractérisant le groupe

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle matériel des éléments du groupe.  
 = 1 Conduction de chaleur (modules **DTLI**, **DTNL** et **TEXO**).  
 = 2 Ecoulement en milieu poreux (modules **DTLI** et **DTNL**).  
 = 3 Modèle non linéaire général (module **DTNL**).

#### 24.2 Caractéristiques physiques des éléments du groupe actif

\*\* Si IMOD = 1 ou 2 (conduction de chaleur  
 ou écoulement en milieu poreux) :

\*\* ECH (d)

ECH : Coefficient d'échange.

\* Si IMOD = 3 (modèle non linéaire général pour **DTNL**) : (d)

\*\* ECH (d)

ECH : Coefficient d'échange, quand  $h_r = 1$ .

\*\* NC, (VECH (J,I), J = 1,2), I = 1,NC) (d)

NC : Nombre ( $\geq 2$ ) de couples de valeurs définissant la courbe  $h_r = f(\theta)$ .

VECH : Abscisses et ordonnées de la courbe  $h_r = f(\theta)$

VECH(1,I) = valeur du paramètre  $\theta$ .

VECH(2,I) = valeur du coefficient d'échange relatif  $h_r$  correspondant.

Remarque :

Les valeurs VECH(1, i) doivent être décrites dans l'ordre croissant.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 24**

**Famille 25****Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments SBxx****25.1 Indications générales caractérisant le groupe**

- \* NOMG, ACTI, IGCOL (d)
- NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).
- ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.
- IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.
- \* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.
- \* Si le groupe est actif :
- \*\* IMOD, INAT (d)
- IMOD : Indicateur du type de modèle matériel des éléments du groupe ;  
= 1 Si le groupe d'éléments n'est pas traversé par la surface libre. Attention : être sûr de cette condition !  
= 2 Sinon.
- INAT : Indicateur du type de géométrie ;  
= 1 Calcul plan.  
= 2 Calcul axisymétrique (disponible avec les éléments SBT3 uniquement).

**25.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif**

- \*\* AKXS, AKYS, AKXYS (d)
- Coefficients du tenseur des perméabilités à saturation.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 25**

**Famille 27****Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments CDxx**

Ces éléments sont destinés à remplacer des éléments de contact (famille 06) ou de joint (famille 16) dans le maillage pour des calculs d'hydraulique ou de thermique. Selon qu'ils sont actifs ou inactifs, ils représentent un pont thermique parfait ou un joint parfaitement perméable, ou une surface parfaitement non conductrice de chaleur ou parfaitement imperméable.

**27.1 Indications générales caractérisant le groupe**

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD, INAT (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle matériel des éléments du groupe ;  
= 1 conductivité ou perméabilité

INAT : Indicateur du type de géométrie ;  
= 1 Calcul plan.  
= 2 Calcul axisymétrique.

**27.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif**

\*\* si IMOD = 1 :

\*\*\* R (d)

R : conductivité ou perméabilité - pour le moment, il est recommandé d'éviter des valeurs finies et de prendre une valeur élevée (attention cependant une valeur trop grande conduit à un problème mal conditionné).

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 27**

**Famille 28****Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments SDxx**

---

Ces éléments sont destinés à remplacer des éléments de structure dans le maillage pour des calculs avec des modules qui ne gèrent pas les barres/poutres/coque (par exemple les modules de calcul en diffusion).

**28.1 Indications générales caractérisant le groupe**

\* NOMG

(d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1) .

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 28**



**Famille 41****Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments CBxx****41.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments**

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
 = A ou a si le groupe considéré est actif.  
 = I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD, INAT (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle matériel des éléments du groupe ;

INAT : Indicateur du type de géométrie ;  
 = 1 Déformation plane.  
 = 2 Déformation axisymétrique.

**41.2 Caractéristiques physiques des éléments du groupe actif pour IMOD < 10000**

\* Si IMOD < 10000, on donne successivement les paramètres mécaniques, puis les paramètres hydrauliques. Pour les paramètres mécaniques, on donnera exactement la même séquence de valeurs que pour les éléments de la famille 01.

\*\* Donnée des paramètres mécaniques

Voir format des données pour la famille 01.

\*\* Données des paramètres hydrauliques

ROW, POR, CW, AKXS, AKYS, AKXYS (d)

ROW : Poids volumique du fluide interstitiel.

POR : Porosité du matériau.

CW : Compressibilité du fluide interstitiel.

AKXS )

AKYS } Coefficients du tenseur des perméabilités à saturation.

AKXYS )

Exemple : pour le modèle de Mohr Coulomb, en déformation plane, on donnera la séquence suivante :

```
IMOD(=10), INAT(=1), RHO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI, ROW, POR, CW, AKXS,
AKYS, AKXYS
```

Le poids volumique RHO à fournir est le poids volumique du sol saturé.

### 41.3 Caractéristiques physiques des éléments du groupe actif pour IMOD = 10000

\* Si IMOD = 10000, on donne successivement les paramètres mécaniques, au format spécifique de la loi IMOD=10000, puis les paramètres hydrauliques, précédés du mot clé de quatre lettres 'HYDR'.

\*\* Donnée des paramètres mécaniques

Voir format des données pour la famille 01, avec IMOD=10000.

\*\* Données des paramètres hydrauliques

```
'HYDR' IPERM, ROW, POR, CW, AKXS, AKYS, AKXYS (d)
  IPERM : Indicateur de loi de perméabilité
          =1 pour une perméabilité homogène et constante (seule
              possibilité pour le moment).
  ROW   : Poids volumique du fluide interstitiel.
  POR   : Porosité du matériau.
  CW    : Compressibilité du fluide interstitiel.
  AKXS, AKYS, AKXYS : Coefficients du tenseur des perméabilités à
                      saturation.
```

Exemple : pour le modèle de Mohr Coulomb, en déformation plane, on donnera la séquence suivante (dans le cas associé où PSI=PHI) :

```
IMOD(=10000), INAT(=1)
'RHO' RHO
'ELAS'IELAS (=0 élasticité linéaire isotrope) YOUNG, POISS
'CRT' ICRIT (=4 pour Mohr-Coulomb) C, PHI
'HYDR'IPERM (=1 pour une perméabilité homogène) ROW, POR, CW, AKXS,
AKYS, AKXYS
```

Le poids volumique RHO à fournir est le poids volumique du sol saturé.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 41**

**Famille 42****Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments CTxx****42.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments**

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle matériel des éléments du groupe

**42.2 Caractéristiques physiques des éléments du groupe actif pour IMOD < 10000**

\* Si IMOD < 10000, on donne successivement les paramètres mécaniques, puis les paramètres hydrauliques. Pour les paramètres mécaniques, on donnera exactement la même séquence de valeurs que pour les éléments de la famille 02.

\*\* Donnée des paramètres mécaniques

Voir format des données pour la famille 02.

\*\* Données des paramètres hydrauliques

ROW, POR, CW, AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS (d)

ROW : Poids volumique du fluide interstitiel.

POR : Porosité du matériau.

CW : Compressibilité du fluide interstitiel.

AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS :  
Coefficients du tenseur des perméabilités à saturation.

Exemple : pour le modèle de Mohr Coulomb, en déformation plane, on donnera la séquence suivante :

IMOD(=10), RHO, YOUNG, POISS, C, PHI, PSI, ROW, POR, CW, AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS

Le poids volumique RHO à fournir est le poids volumique du sol saturé.

### 42.3 Caractéristiques physiques des éléments du groupe actif pour IMOD = 10000

\* Si IMOD = 10000, on donne successivement les paramètres mécaniques, au format spécifique de la loi IMOD=10000, puis les paramètres hydrauliques, précédés du mot clé de quatre lettres 'HYDR'.

\*\* Donnée des paramètres mécaniques

Voir format des données pour la famille 02, avec IMOD=10000.

\*\* Données des paramètres hydrauliques

'HYDR' IPERM, ROW, POR, CW, AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS (d)

IPERM : Indicateur de loi de perméabilité

=1 pour une perméabilité homogène et constante (seule possibilité pour le moment).

ROW : Poids volumique du fluide interstitiel.

POR : Porosité du matériau.

CW : Compressibilité du fluide interstitiel.

AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS :

Coefficients du tenseur des perméabilités à saturation.

Exemple : pour le modèle de Mohr Coulomb, en déformation plane, on donnera la séquence suivante (dans le cas associé où PSI=PHI) :

IMOD(=10000)

'RHO' RHO

'ELAS' IELAS (=0 élasticité linéaire isotrope) YOUNG, POISS

'CRT' ICRT (=4 pour Mohr-Coulomb) C, PHI

'HYDR' IPERM (=1 pour une perméabilité homogène) ROW, POR, CW, AKXS, AKYS, AKZS, AKXYS, AKYZS, AKZXS

Le poids volumique RHO à fournir est le poids volumique du sol saturé.

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 42**

## Famille 45

### Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments OBxx

#### 45.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD, INAT (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe.  
= 1 Thermo-poro-élasticité linéaire isotrope.  
= 2 Thermo-poro-élasticité linéaire orthotrope de révolution.  
de 10 à 50 : Thermo-poro-élastoplasticité et hypothèse d'un tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p$  où  $\beta$  est un scalaire.  
= 10 Mohr-Coulomb.  
= 11 Von Mises sans écrouissage.  
= 12 Von Mises avec écrouissage.  
= 13 Drucker-Prager sans écrouissage.  
= 14 Drucker-Prager avec écrouissage.  
= 15 Critère parabolique.  
= 16 Vermeer.  
= 17 Nova.  
= 18 Cam Clay modifié.  
= 19 Prévost et Hoeg.  
= 20 Critère orienté.

INAT : Nature du problème étudié.  
= 1 Déformation plane.  
= 2 Déformation axisymétrique.

## 45.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif

\*\* Si IMOD = 1 (Thermo-poro-élasticité linéaire isotrope) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS, ROF, PHI, M, Kx, Ky, Kxy b,Ce0, kx, ky, kxy, a0,3\*Am,  
T0 (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young drainé.  
 POISS : Coefficient de Poisson drainé.  
 ROF : Masse volumique du fluide.  
 PHI : Porosité.  
 M : Module d'incompressibilité de Biot.  
 Kx : Coefficient de perméabilité suivant Ox.  
 Ky : Coefficient de perméabilité suivant Oy.  
 Kxy : Coefficient de perméabilité suivant Oxy.  
 b : Coefficient de Biot.  
 Ce0 : Chaleur volumique à déformations constantes drainées  
 kx : Coefficient de conductivité thermique suivant Ox.  
 ky : Coefficient de conductivité thermique suivant Oy.  
 kxy : Coefficient de conductivité thermique suivant Oxy.  
 a0 : Coefficient thermoélastique de compressibilité à déformation volumique nulle et en condition drainée du matériau.  
 3\*Am : Coefficient de dilatation à déformation volumique nulle en condition drainée.  
 T0 : Température de référence.

\*\* Si IMOD = 2 (Thermo-poro-élasticité linéaire orthotrope derévolution) :

\*\*\* RO, E1, E2, P1, P2, G2, TETA, ROF, PHI, M, Kx, Ky, Kxy, b1, b2, Ce0, kx, ky, kxy, a01, a02, 3\*Am, T0 (d)

RO : Masse volumique.  
 E1 : Module d'Young drainé dans la direction 1.  
 E2 : Module d'Young drainé dans la direction 2.  
 P1 : Coef. de Poisson drainé dans la direction 1.  
 P2 : Coef. de Poisson drainé dans la direction 2.  
 G2 : Module de cisaillement.  
 TETA : Angle entre l'axe Ox et la direction 1.  
 ROF : Masse volumique du fluide.  
 PHI : Porosité.  
 M : Module d'incompressibilité de Biot.  
 Kx : Coefficient de perméabilité suivant Ox.  
 Ky : Coefficient de perméabilité suivant Oy.  
 Kxy : Coefficient de perméabilité suivant Oxy.  
 b1 : Coefficient de Biot dans la direction 1.  
 b2 : Coefficient de Biot dans la direction 2.  
 Ce0 : Chaleur volumique à déformations constantes drainées.  
 kx : Coefficient de conductivité thermique suivant Ox.  
 ky : Coefficient de conductivité thermique suivant Oy.  
 kxy : Coefficient de conductivité thermique suivant Oxy.  
 a01 : Coefficient thermoélastique de compressibilité à déformation volumique nulle et en condition drainée du matériau dans la direction 1.  
 a02 : Coefficient thermoélastique de compressibilité à déformation volumique nulle et en condition drainée du matériau dans la direction 2.  
 3\*Am : Coefficient de dilatation à déformation volumique nulle en condition drainée.  
 T0 : Température de référence.

\*\* Si IMOD = 10 (Mohr-Coulomb) :

\*\*\* (V(I), I=1,17), C, PHI, PSI, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p$ .

\*\* Si IMOD = 11 (Von Mises sans écrouissage) :

\*\*\* (V(I),I=1,17), K, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 K : Résistance en cisaillement simple.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_l$ .

\*\* Si IMOD = 12 (Von Mises avec écrouissage) :

\*\*\* (V(I),I=1,17), K, H, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 K : Résistance en cisaillement simple.  
 H : Pente de la droite d'essai uniaxial.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_l$ .

\*\* Si IMOD = 13 (Drucker-Prager sans écrouissage) :

\*\*\* (V(I),I=1,17), C, PHI, PSI, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_l$ .

\*\* Si IMOD = 14 (Drucker-Prager avec écrouissage) :

\*\*\* (V(I),I=1,17), C, PHI, PSI, XHI, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermoporoélastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 XHI : Paramètre d'écrouissage.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_l$ .



\*\* Si IMOD = 15 (Critère parabolique) :

\*\*\* (V(I), I=1,17), RC, RT, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermoporoélastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 RC : Résistance en compression simple.  
 RT : Résistance en traction simple.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 16 (Vermeer) :

\*\*\* (V(I), I=1,17), EPS0, PHICV, PHIP, B0, EPSC0, P0, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermoporoélastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 EPS0 : Déformation volumique élastique initiale.  
 PHICV : Angle de frottement à l'état critique.  
 PHIP : Angle de frottement au pic.  
 B0 : Paramètre du modèle.  
 EPSC0 : Paramètre du modèle.  
 P0 : Pression de référence.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 17 (Nova) :

\*\*\* (V(I), I=1,17), B0, L0, M, L, D, MM, MU, PCO, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 B0 : Pente initiale de déchargement.  
 L0 : Pente initiale contrainte-déformation.  
 M : Paramètre du modèle.  
 L : Paramètre du modèle.  
 D : Paramètre du modèle.  
 MM : Pente de la droite Q/P.  
 MU : Paramètre du modèle.  
 PCO : Paramètre définissant la surface de charge initiale.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 18 (Cam Clay modifié) :

\*\*\* (V(I),I=1,17), ALOE, AKOE, AMC, OED, PCO, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 ALOE : Pente de la courbe de consolidation vierge.  
 AKOE : Pente des courbes charge-décharge.  
 AMC : Pente de la courbe d'état critique.  
 OED : Indice des vides initial.  
 PCO : Pression de préconsolidation initiale.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 19 (Prévost et Hoeg) :

\*\*\* (V(I),I=1,17), A0, B0, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 A0 : Paramètre du modèle.  
 B0 : Paramètre du modèle.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 20 (Critère orienté) :

\*\*\* (V(I),I=1,17), C, PHI, PSI, ALPHA, BETA (d)

V : Tableaux des 17 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 ALPHA : Angle par rapport à l'axe Ox.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 45**

## Famille 46

## Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments 0Txx

## 46.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe.

= 1 Thermo-poro-élasticité linéaire isotrope.

= 2 Thermo-poro-élasticité linéaire orthotrope de révolution.

de 10 à 50 : Thermo-poro-élastoplasticité et hypothèse d'un tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p \mathbf{1}$  où  $\beta$  est un scalaire.

= 11 Von Mises sans écrouissage.

= 12 Von Mises avec écrouissage.

= 13 Drucker-Prager sans écrouissage.

= 14 Drucker-Prager avec écrouissage.

= 15 Critère parabolique.

= 16 Vermeer.

= 17 Nova.

= 18 Cam Clay modifié.

= 19 Prévost et Hoeg.

= 41 Critère orienté.

## 46.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif

\*\* Si  $IMOD = 1$  (Thermo-poro-élasticité linéaire isotrope) :

\*\*\* RO, YOUNG, POISS,  
 ROF, PHI,  
 M, Kx, Ky, Kz, Kxy, Kyz, Kxz, b,  
 Ce0, kx, ky, kz, kxy, kyz, kxz, a0,  
 3\*Am, T0 (d)

RO : Masse volumique.  
 YOUNG : Module d'Young drainé.  
 POISS : Coefficient de Poisson drainé.  
 ROF : Masse volumique du fluide.  
 PHI : Porosité.  
 M : Module d'incompressibilité (M) de Biot.  
 Kx : Coefficient de perméabilité suivant Ox.  
 Ky : Coefficient de perméabilité suivant Oy.  
 Kz : Coefficient de perméabilité suivant Oz.  
 Kxy : Coefficient de perméabilité suivant Oxy.  
 Kyz : Coefficient de perméabilité suivant Oyz.  
 Kxz : Coefficient de perméabilité suivant Oxz.  
 b : Coefficient de Biot.  
 Ce0 : Chaleur volumique à déformations constantes drainées.  
 kx : Coefficient de conductivité thermique suivant Ox.  
 ky : Coefficient de conductivité thermique suivant Oy.  
 kz : Coefficient de conductivité thermique suivant Oz.  
 kxy : Coefficient de conductivité thermique suivant Oxy.  
 kyz : Coefficient de conductivité thermique suivant Oyz.  
 kxz : Coefficient de conductivité thermique suivant Oxz.  
 a0 : Coefficient thermoélastique de compressibilité à déformation volumique nulle et en condition drainée du matériau.  
 3\*Am : Coefficient de dilatation à déformation volumique nulle en condition drainée.  
 T0 : Température de référence.

\*\* Si IMOD = 2 (Thermo-poro-élasticité linéaire orthotrope de révolution) :

\*\*\* RO, E1, E2, P1, P2, G2, TETA, PSI, ROF, PHI, M, Kx, Ky, Kz, Kxy, Kyz, Kxz, b1, b2, Ce0, kx, ky, kz, kxy, kyz, kxz, a01, a02, 3\*Am, T0 (d)

RO : Masse volumique.  
 E1 : Module d'Young drainé dans la direction 1.  
 E2 : Module d'Young drainé dans la direction 2.  
 P1 : Coef. de Poisson drainé dans la direction 1.  
 P2 : Coef. de Poisson drainé dans la direction 2.  
 G2 : Module de cisaillement.  
 TETA : Angle entre l'axe Ox et l'axe Ox'.  
 PSI : Angle entre l'axe Ox' et la direction 1.  
 ROF : Masse volumique du fluide.  
 PHI : Porosité.  
 M : Module d'incompressibilité de Biot.  
 Kx : Coefficient de perméabilité suivant Ox.  
 Ky : Coefficient de perméabilité suivant Oy.  
 Kz : Coefficient de perméabilité suivant Oz.  
 Kxy : Coefficient de perméabilité suivant Oxy.  
 Kyz : Coefficient de perméabilité suivant Oyz.  
 Kxz : Coefficient de perméabilité suivant Oxz.  
 b1 : Coefficient de Biot dans la direction 1.  
 b2 : Coefficient de Biot dans la direction 2.  
 Ce0 : Chaleur volumique à déformations constantes drainées.  
 kx : Coefficient de conductivité thermique suivant Ox.  
 ky : Coefficient de conductivité thermique suivant Oy.  
 kz : Coefficient de conductivité thermique suivant Oz.  
 kxy : Coefficient de conductivité thermique suivant Oxy.  
 kyz : Coefficient de conductivité thermique suivant Oyz.  
 kxz : Coefficient de conductivité thermique suivant Oxz.  
 a01 : Coefficient thermoélastique de compressibilité à déformation volumique nulle et en condition drainée du matériau dans la direction 1.  
 a02 : Coefficient thermoélastique de compressibilité à déformation volumique nulle et en condition drainée du matériau dans la direction 2.  
 3\*Am : Coefficient de dilatation à déformation volumique nulle en condition drainée.  
 T0 : Température de référence.

\*\* Si IMOD = 11 (Von Mises sans écrouissage) :

\*\*\* (V(I),I=1,23), K, BETA (d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 K : Résistance en cisaillement simple.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_l$ .

\*\* Si IMOD = 12 (Von Mises avec écrouissage) :

\*\*\* (V(I),I=1,23), K, H, BETA (d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD = 1).  
 K : Résistance en cisaillement simple.  
 H : Pente de la droite d'essai uniaxial.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_l$ .

\*\* Si IMOD = 13 (Drucker-Prager sans écrouissage) :

\*\*\* (V(I),I=1,23), C, PHI, PSI, BETA (d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir MOD=1).  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_l$ .

\*\* Si IMOD = 14 (Drucker-Prager avec écrouissage) :

\*\*\* (V(I),I=1,23), C, PHI, PSI, XHI, BETA (d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermoporoélastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 C : Cohésion.  
 PHI : Angle de frottement interne (critère).  
 PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).  
 XHI : Paramètre d'écrouissage.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_l$ .

\*\* Si IMOD = 15 (Critère parabolique) :

\*\*\* (V(I), I=1,23), RC, RT, BETA (d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermoporoélastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 C : Cohésion.  
 RC : Résistance en compression simple.  
 RT : Résistance en traction simple.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 16 (Vermeer) :

\*\*\* (V(I), I=1,23),

EPS0, PHICV, PHIP, B0, EPSC0, P0, BETA (d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermoporoélastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 EPS0 : Déformation volumique élastique initiale.  
 PHICV : Angle de frottement à l'état critique.  
 PHIP : Angle de frottement au pic.  
 B0 : Paramètre du modèle.  
 EPSC0 : Paramètre du modèle.  
 P0 : Pression de référence.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 17 (Nova) :

\*\*\* (V(I), I=1,23),

B0, L0, M, L, D, MM, MU, PCO, BETA (d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).  
 B0 : Pente initiale de déchargement.  
 L0 : Pente initiale contrainte-déformation.  
 M : Paramètre du modèle.  
 L : Paramètre du modèle.  
 D : Paramètre du modèle.  
 MM : Pente de la droite Q/P.  
 MU : Paramètre du modèle.  
 PCO : Paramètre définissant la surface de charge initiale.  
 BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 18 (Cam Clay modifié) :

\*\*\* (V(I), I=1,23),

ALOE, AKOE, AMC, OED, PCO, BETA (d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).

ALOE : Pente de la courbe de consolidation vierge.

AKOE : Pente des courbes charge-décharge.

AMC : Pente de la courbe d'état critique.

OED : Indice des vides initial.

PCO : Pression de préconsolidation initiale.

BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 19 (Prévost et Hoeg) :

\*\*\* (V(I), I=1,23), A0, B0, BETA

(d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).

A0 : Paramètre du modèle.

B0 : Paramètre du modèle.

BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

\*\* Si IMOD = 41 (Critère orienté) :

\*\*\* (V(I), I=1,23), C, PHI, PSI, U1, U2, U3, BETA

(d)

V : Tableaux des 22 caractéristiques thermo-poro-élastiques isotropes (voir IMOD=1).

C : Cohésion.

PHI : Angle de frottement interne (critère).

PSI : Angle de dilatance (potentiel plastique).

U1, U2, U3 : Coordonnées du vecteur u normal au plan de discontinuité, dans le repère Ox, Oy, Oz du maillage (directions 1, 2 et 3).

BETA : Coefficient du tenseur des contraintes effectives plastiques  $\sigma + \beta p_1$ .

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 46**



**Famille 435****Donnée des caractéristiques d'un groupe d'éléments KRdn**

Les éléments KRdn sont des éléments unidimensionnels qui fonctionnent en traction/compression (pas de rigidité de flexion) et comportent un modèle de frottement pour décrire l'interaction entre la barre et le milieu environnant. L'indice d est égal à B pour un calcul bidimensionnel et à T pour un calcul tridimensionnel. n est le nombre de nœuds. Le code KRB3 correspond donc à un élément bidimensionnel à 3 nœuds.

**435.1 Indications générales caractérisant le groupe d'éléments**

\* NOMG, ACTI, IGCOL (d)

NOMG : Nom du groupe considéré (40 caractères à partir de la colonne 1).

ACTI : Indicateur d'activité du groupe considéré (un caractère entre les colonnes 41 et 80);  
= A ou a si le groupe considéré est actif.  
= I ou i si le groupe est inactif.

IGCOL Indicateur de couleur affectée au groupe considéré.

\* Si le groupe est inactif, fin des données du groupe.

\* Si le groupe est actif :

**435.2 Caractéristiques des éléments du groupe actif décrivant le comportement de la barre**

\*\* IMOD (d)

IMOD : Indicateur du type de modèle mécanique utilisé pour les éléments du groupe ;  
= 1 Elasticité linéaire ;  
= 4 Elasticité linéaire + plasticité parfaite ;  
= 5 Elasticité linéaire + rupture fragile ;  
= 6 Elasticité linéaire+ plasticité parfaite + rupture fragile ;  
= 7 Elasticité linéaire + plasticité parfaite + perte de raideur;  
= 14 Elasticité bilinéaire + plasticité parfaite ;

\*\* Si IMOD=1 : élasticité linéaire

\*\*\* YOUNG, S (d)

YOUNG : Module d'Young.

S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=4 : élasticité linéaire + plasticité parfaite

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, S (d)

YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.  
 FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=5 : élasticité linéaire + rupture fragile

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, S (d)

YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.  
 FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=6 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + rupture fragile

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, EPSMAX, EPSMIN, S (d)

YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.  
 FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 EPSMAX : Déformation plastique maximale a la rupture (traction).  
 EPSMIN : Déformation plastique maximale a la rupture (compression).  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=7 : élasticité linéaire + plasticité parfaite + perte de raideur

\*\*\* YOUNG, FMAX, FMIN, EREF, S (d)

YOUNG : Module d'Young.  
 FMAX : Valeur limite de l'effort normal en traction.  
 FMIN : Valeur limite de l'effort normal en compression.  
 EREF : Module d'Young a l'etape de calcul précédente.  
 S : Section de la barre.

\*\* Si IMOD=14 : élasticité bilinéaire + plasticité parfaite

\*\*\* YOUNG, YOUNG2, EPSTS, EPSTL, EPSCS, EPSCL, S (d)

YOUNG : Module d'Young initial.  
 YOUNG2 : Module d'Young initial secondaire.  
 EPSTS : Déformation seuil définissant la transition entre les deux valeurs du module en traction.  
 EPSTL : Déformation pour laquelle on atteint le régime plastique en traction.  
 EPSCS : Déformation seuil définissant la transition entre les deux valeurs du module en compression.  
 EPSCL : Déformation pour laquelle on atteint le régime plastique en compression.  
 S : Section de la barre.

### 435.3 Caractéristiques des éléments du groupe actif décrivant l'interaction entre la barre et le milieu qui l'environne

```

** ICINT (d)

    ICINT : Indicateur du modèle mécanique utilisé pour l'interaction entre
            la barre et le milieu qui l'entoure ;
            = 1 : élasticité linéaire ;
            = 4 : élasticité linéaire + plasticité parfaite
            = 14 : élasticité bilinéaire + plasticité parfaite
            = 15 : élasticité parabolique + plasticité parfaite
            = 16 : élast bilinéaire + plasticité parfaite  Newtun 1
            = 17 : élast bilinéaire + plasticité parfaite  Newtun 2

** Si ICINT = 1 (élasticité linéaire)

*** CI
    CI : coefficient d'interaction

** Si ICINT = 4 (élasticité linéaire + plasticité parfaite)

*** CI, IMAX
    CI : coefficient d'interaction
    IMAX : Valeur maximale de la force linéique d interaction

** Si ICINT = 14 (élasticité bilinéaire + plasticité parfaite)

*** CI1, CI2, I1, I2
    CI1 : coefficient d'interaction initial [Pa] ;
    CI2 : coefficient d'interaction secondaire [Pa] ;
    I1 : Valeur de la force d'interaction marquant la transition entre les
          deux coefficients d'interaction [N/m] ;
    I2 : Valeur maximale de la force d'interaction [N/m].

** Si ICINT = 15 (élasticité parabolique + plasticité parfaite)

*** CI, DREF, IMAX
    CI : coefficient d'interaction initial [Pa] ;
    DREF : Valeur du déplacement relatif pour laquelle on atteint la force
            maximale [m] ;
    IMAX : Valeur maximale de la force d'interaction [N/m].

** Si ICINT = 16 (élast. bilinéaire + plasticité parfaite Newtun 1)

*** A,B, c1, c2, c3, c4, c5, c6

```

A [Pa/m], B [Pa] : paramètres décrivant la variation linéaire de  $p_c$  avec  $z$  ;  
c1, c2, c3, c4, c5, c6 : paramètres du modèle Newton 1

\*\* Si ICINT = 17 (élast. bilinéaire + plasticité parfaite Newton 2)

\*\*\* A, B, d, alpha, tau0, uref, u0, beta, R  
A [Pa/m], B [Pa] : paramètres décrivant la variation linéaire de  $p_c$  avec  $z$  ;  
d diamètre de l'inclusion  
alpha, tau0 : paramètres de la variation de la contrainte de cisaillement maxi en fonction de  $p_c$   
uref, u0 : paramètres décrivant le glissement pour lequel se produit l'arrachement  
beta rapport entre la contrainte de cisaillement pour laquelle se produit le changement de raideur et la contrainte maximale  
R rapport de la raideur initiale sur la raideur secondaire

**Fin des données du groupe d'éléments de la famille 435**

**Fin des données du module ELEM.**

**Module COND****Définition des conditions aux limites sur l'inconnue principale.  
(CONDitionsaux limites)****DONNÉES DU MODULE COND****1 - Lignes d'en-tête**

\* COND (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression.  
 = 0 Aucune impression.  
 = 1 Impression de :  
     - nombre de degrés de liberté total ;  
     - nombre de conditions aux limites nulles;  
     - nombre de conditions aux limites non nulles ;  
     - nombre de conditions aux limites total ;  
     - nombre d'équations.  
 = 2 Impression de M=1, plus :  
     - conditions aux limites sur l'inconnue principale.

**2 - Donnée des conditions aux limites**

L'introduction des données définissant les conditions aux limites est structurée en options annoncées chacune par l'un des mots-clé de trois lettres suivants :

**DDL** : Définition par numéro d'équation des degrés de liberté imposés.  
**IMP** : Définition par noeud des degrés de liberté dont la valeur est imposée non nulle.  
**NUL** : Définition par noeud des degrés de liberté dont la valeur est imposée nulle.  
**REP** : Définition des changements de repères.

**Option DDL****Définition par numéro d'équation des degrés de liberté imposés.****DESCRIPTION**

L'option **DDL** est d'un usage peu fréquent. Elle permet principalement de réutiliser des données préparées avec CESAR-LCPC version 2 .

**DONNÉES DE L'OPTION DDL**

- \* NCLT, NCLNN, NCR (d)
  - NCLT : Nombre de conditions aux limites total.
  - NCLNN : Nombre de conditions aux limites non nulles.
  - NCR : Nombre de changements de repères.
- \* Si NCLT <> 0, donnée de :
  - \*\* (NEQ (I), I = 1, NCLT) (d)
    - NEQ : Numéro d'équation de chaque degré de liberté dont on impose la valeur.
  - \*\* (UIMP(I), I = 1, NCLT) (d)
    - UIMP : Valeur de tous les degrés de liberté pour lesquels on a imposé des conditions aux limites.
- \* Si NCR <> 0, donnée de :
  - \*\* (KCR(I), I = 1, NCR) (d)
    - KCR : Numéros des noeuds pour lesquels on effectue un changement de repère.
  - \*\* ((ANG(I,J), I = 1, NCR), J = 1, K) (d)
    - ANG : Angles en degrés décimaux permettant de définir les changements de repère.
    - K : = 1 Si problème bidimensionnel.  
= 2 Si problème tridimensionnel.

**Fin des données de l'option DDL**

**Option IMP****Définition par nœud des degrés de liberté dont la valeur est imposée non nulle****DESCRIPTION**

L'option **IMP** permet d'imposer des degrés de liberté à des valeurs non nulles.

Les données se présentent comme suit :

- A) Définition d'un ensemble de NP numéros de nœuds pour lesquels on impose au degré de liberté numéro IL d'avoir une valeur non nulle.
- B) Donnée de IL (Ex. : IL = 3 si l'on veut imposer une valeur non nulle au degré de liberté numéro 3 des nœuds précédemment définis).
- C) Donnée des valeurs du degré de liberté numéro IL pour les NP nœuds précédemment définis.
- D) Retour en A) si l'on veut effectuer d'autres générations.

Remarque :

On ne peut traiter qu'un seul type de degré de liberté à la fois par passage en A) .

**DONNÉES DE L'OPTION IMP**

\*A)

\*\* IGEN (d)

IGEN : Indicateur permettant de définir le procédé utilisé pour la génération d'un ensemble de numéros de noeuds ;

= 1 Si les numéros sont définis par la donnée de ID, IF, IPAS.

ID : Premier numéro à générer.

IF : Dernier numéro à générer.

IPAS : Pas de progression entre ID et IF.

= 2 Si les numéros sont définis par la donnée de NP, (NUM(I), I=1,NP)

NP : Nombre de numéros de noeuds à définir.

NUM : Liste de ces NP numéros.

\*\* Si IGEN = 1, donnée de :

\*\*\* ID, IF, IPAS (d)

\*\* Si IGEN = 2, donnée de :

\*\*\* NP, (NUM(I), I=1,NP) (d)



\*\* IL (d)

IL : Numéro du degré de liberté des noeuds de l'ensemble précédemment défini pour lesquels on impose une valeur non nulle.

\*\* (UIMP(I), I=1,NP) (d)

UIMP(I) : Valeur du degré de liberté numéro IL du Iième noeud de l'ensemble précédemment généré.

NP : Nombre de noeuds précédemment générés.

\* Retour en A, si l'on veut effectuer d'autres générations.

\* Terminer la séquence par un 0 .

**Fin des données de l'option IMP**

**Option NUL**

**Définition par nœud des degrés de liberté dont la valeur est imposée nulle**

**DESCRIPTION**

L'option **NUL** permet d'imposer des degrés de liberté à une valeur nulle.

Les données se présentent comme suit :

- A) Définition d'un ensemble de numéros de nœuds ayant le même type de conditions aux limites (Exemple : nœuds ayant les degrés de liberté numéro 1 et 3 imposés nuls).
- B) Définition pour l'ensemble de nœuds précédemment défini des degrés de liberté imposés à zéro par la donnée d'un vecteur IDL.
- C) Retour en A) si l'on veut générer d'autres conditions aux limites.

**DONNÉES DE L'OPTION NUL**

\*A)

\*\* IGEN

(d)

IGEN : Indicateur permettant de définir le procédé utilisé pour la génération d'un ensemble de numéros de noeuds ;

= 1 Si les numéros sont définis par la donnée de ID, IF, IPAS.

ID : Premier numéro à générer.

IF : Dernier numéro à générer.

IPAS : Pas de progression entre ID et IF.

= 2 Si les numéros sont définis par la donnée de NP, (NUM(I), I = 1, NP)

NP : Nombre de numéros de noeuds à définir.

NUM : Liste de ces NP numéros.

\*\* Si IGEN = 1, donnée de :

\*\*\* ID, IF, IPAS

(d)

\*\* Si IGEN = 2, donnée de :

\*\*\* NP, (NUM(I), I = 1, NP)

(d)

**\*\* (IDL(I), I = 1, NDLN)** (d)

**IDL** : Vecteur permettant de définir les degrés de liberté que l'on veut imposer nuls pour l'ensemble de noeuds précédemment défini.

IDL(I) = 1 si le degré de liberté numéro I de tous les noeuds précédemment définis est imposé nul.

IDL(I) = 0 si le degré de liberté numéro I reste libre.

**NDLN** : Nombre maximum de degrés de liberté par noeud (fixé par les types de familles d'éléments présentes dans le maillage).

\* Retour en A), si l'on veut générer d'autres conditions aux limites.

\* Terminer la séquence par un 0.

**Fin des données de l'option NUL**

**Option REP****Définition des changements de repère****DESCRIPTION**

Voir l'exemple de mise en données fourni ci-après.

**DONNÉES DE L'OPTION REP**

```

* REP (mot-clé)

* NCR (d)
    NCR      : Nombre de changements de repère.

* (KCR(I), I=1, NCR) (d)
    KCR      : Numéros des noeuds pour lesquels on désire effectuer un
               changement de repère.

* Si problème bidimensionnel :

** NR (d)
    NR       : Nombre d'angles différents permettant de définir les NCR
               changements de repère.

** (A(I), I = 1, NR) (d)
    A        : Angles en degrés décimaux permettant de définir les changements
               de repère.

* Si problème tridimensionnel :

** NR (d)
    NR       : Nombre de couples d'angles permettant de définir les NCR
               changements de repère.

** (A(I), I=1, NR), (B(I), I=1, NR) (d)
    A,B      : Angles en degrés décimaux permettant de définir les changements
               de repère.

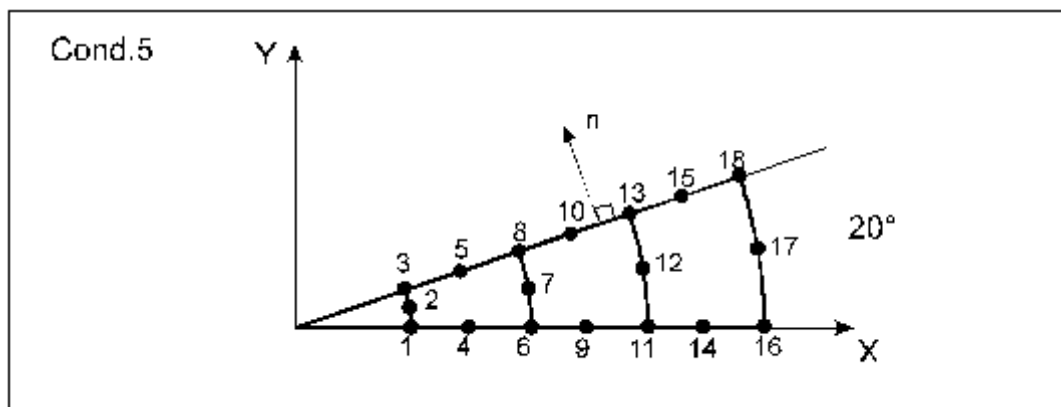
* (JCR(I), I=1, NCR) (d)
    JCR(I)   : Numéro de l'angle ou du couple d'angles définissant le
               changement de repère au noeud KCR(I).

```

**Fin des données de l'option REP**

**Exemple COND. 1 : données du module COND**

Les déplacements dans la direction  $n$  sont nuls.



Les données du module **COND** peuvent être pour le cas de figure ci-dessus :

|                                                 |                     |
|-------------------------------------------------|---------------------|
| COND                                            | Mot-clé du module   |
| 2                                               | M                   |
| REP                                             | Mot-clé de l'option |
| 7                                               | NCR                 |
| 3, 5, 8, 10, 13, 15, 18                         | KCR                 |
| 1                                               | NR                  |
| 20.                                             | A                   |
| 7*1                                             | JCR                 |
| NUL                                             | Mot-clé de l'option |
| 2                                               | IGEN                |
| 14                                              | NP                  |
| 1, 4, 6, 9, 11, 14, 16, 3, 5, 8, 10, 13, 15, 18 | NUM                 |
| 0, 1                                            | IDL                 |

**Fin des données du module COND.**

## Module CHAR

### Définition des chargements. (CHARgements)

#### DESCRIPTION

##### 1 – Structures des donnees

Chaque appel au module **CHAR** définit un cas de chargement. Un cas de chargement peut être lui-même constitué de la superposition de plusieurs options de chargements, par exemple une pression uniforme et le poids volumique. Ainsi, la structure du jeu de données ci-dessous définit deux cas de chargement, constitués chacun d'eux de deux options de chargement :

```
CHAR ]
'   ]
POI  ] Option de chargement |
'   ] de poids volumique   | Données du 1er cas de chargement.
'   ]
PUR  ] Option de chargement |
'   ] de pression          |
'   ] uniformément         |
'   ] répartie             ]

CHAR ]
SIG  ] Option de chargement |
'   ] de contraintes        | Données du 2e cas de chargement.
'   ]
SOL  ] Option de chargement |
'   ] de sollicitations     |
'   ] nodales               |
'   ]
```

La liste complète des options de chargement est fournie plus loin, au début du paragraphe "DONNÉES DU MODULE CHAR".

##### 2 - Chargements avec le module AXIF

Pour la définition des chargements utilisés dans un calcul avec **AXIF**, consulter également le livret du Didacticiel consacré à ce module.

##### 3 - Chargements avec les modules de couplage : CSLI, MPLI et MPNL

Les problèmes de consolidation des sols sont traités par les familles 41 et 42 associées au module **CSLI**. Les problèmes de thermo-mécanique des milieux poreux sont traités par les familles 45 et 46 associées aux modules **MPLI** et **MPNL**. Dans les deux cas, il s'agit de problèmes de couplage entre mécanique et diffusion. Pour la partie « mécanique » du chargement, toutes les options de chargement en mécanique peuvent être utilisées, à l'exception des options **ONU** et **OUR** réservées à la famille 11.

Pour la partie « diffusion » du chargement, les options de chargement **FNU**, **FUR** et **SOL** peuvent être utilisées avec **CSLI**, les options **FNU**, **FNS**, **FUR**, **FUS** et **SOL** avec **MPLI** et **MPNL**.

## DONNÉES DU MODULE CHAR

### 1 - Lignes d'en-tête

```

* CHAR                                     (Mot-clé)

* M                                       (d)

M      : Indice d'impression.
      = 0 Aucune impression.
      = 1 Impression des options de chargement utilisés.
      = 2 Impression de M = 1 et des types de génération utilisées
          pour définir les options de chargement.
      = 3 Impression de M = 2 et du vecteur global de sollicitation
          obtenu après passage dans ce module.
      = 4 Impression de M = 3 et des forces nodales élémentaires
          correspondant aux chargements dépendant des éléments.

```

### 2 - Lecture des options de chargement

Les données définissant un cas de chargement sont structurées en options. Chaque option est activée par un mot-clé de trois lettres.

Les options sont tout d'abord présentées ci-dessous en suivant le domaine d'application de la famille d'éléments finis utilisée (mécanique, diffusion ou couplage mécanique-diffusion), ce qui peut amener certaines répétitions. Les données des options sont ensuite détaillées plus loin en suivant leur ordre alphabétique.

#### Mécanique :

```

CNU      : Cisaillement non uniforme.

CUR      : Cisaillement uniformément réparti.

DEC      : Forces de déconfinement (tous types d'éléments).

EFD      : Chargement d'effet différé dans les éléments de massif.

EXC      : Forces de déconfinement pour éléments de massif (tous types
          d'éléments).

FOS      : Forces de surface quelconques.

LAM      : Forces de déconfinement pour éléments de massif.

ONU      : Cisaillement orthoradial non uniforme.

OUR      : Cisaillement orthoradial uniformément réparti.

PHS      : Pression hydrostatique.

PNU      : Pression non uniformément répartie.

POI      : Poids volumique.

PUR      : Pression uniformément répartie.

SIG      : Initialisation des contraintes et/ou prise en compte de l'effet
          des contraintes initiales.

SOL      : Sollicitations nodales.

```

**WTB** : Prise en compte de l'effet des mouvements de la nappe sur la déformation d'une couche de sol.

#### Diffusion :

**DVU** : Débit volumique uniforme par groupe d'éléments.

**ECH** : Flux associé à une condition d'échange linéaire.

**FNU** : Flux non uniforme.

**FUR** : Flux uniformément réparti.

**SOL** : Sollicitations nodales.

#### Couplage mécanique - diffusion :

**CNU** : Cisaillement non uniforme (partie mécanique).

**CUR** : Cisaillement uniformément réparti (partie mécanique).

**EFD** : Chargement d'effet différé (partie mécanique).

**FNS** : Flux non uniforme secondaire (partie diffusion thermique).

**FNU** : Flux non uniforme primaire (partie diffusion hydraulique).

**FOS** : Forces de surface quelconques (partie mécanique).

**FUR** : Flux uniformément réparti primaire (partie diffusion hydraulique).

**FUS** : Flux uniformément réparti secondaire (partie diffusion thermique).

**LAM** : Forces de déconfinement pour éléments de massif (partie mécanique).

**PHS** : Pression hydrostatique (partie mécanique).

**PNU** : Pression non uniformément répartie (partie mécanique).

**POI** : Poids volumique (partie mécanique).

**PUR** : Pression uniformément répartie (partie mécanique).

**SIG** : Initialisation des contraintes et/ou prise en compte de l'effet des contraintes initiales (partie mécanique).

**SOL** : Sollicitations nodales (parties mécanique et diffusion).



**Option CNU****Cisaillement non uniforme****EXPLICATION :**

L'option de chargement **CNU** est réservée aux modèles bidimensionnels (maillage 2D) en mécanique.

**DONNEES DE L'OPTION CNU**

\* CNU (Mot-clé)

\* NF, NMF (d)

NF : Nombre de facettes soumises à un cisaillement non uniforme.

NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.

\* ((NFP(I,J), I=1,NMF), J=1, NF) (d)

NFP : Numérotation des facettes.

\* ((CSVAR(I,J), I=1,NMF), J=1,NF) (d)

CSVAR : Valeurs du cisaillement relevées pour chaque facette dans l'ordre de sa numérotation. Si un élément a un nombre de noeuds inférieur à NMF, compléter par des 0.

**Fin des données de l'option CNU.**

**Option CUR****Cisaillement uniformément réparti****EXPLICATION :**

L'option de chargement **CUR** est réservée aux modèles bidimensionnels (maillage 2D) en mécanique.

**DONNEES DE L'OPTION CUR**

- \* CUR (Mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à un cisaillement uniformément réparti.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* CS (d)
  - CS : Valeur du cisaillement uniformément réparti.

**Fin des données de l'option CUR**

## Option DEC

## Calcul de forces de déconfinement.

## DESCRIPTION

**DEC** est une option du module CHAR.

Pour les calculs mécaniques, elle permet de calculer des forces nodales équivalentes à une excavation. Par opposition à l'option classique LAM, elle fonctionne avec les familles d'éléments « de structure » (poutre, barre, coque, relations linéaires). Elle repose sur la relecture d'un fichier de reprise binaire constitué au cours d'une phase de calcul précédente.

## DONNÉES DE L'OPTION DEC

```

* DEC                                                    (mot-clé)

* NF, NMF                                                    (d)
  NF, NMF : Couple d'entiers définissant le nombre de nœuds soumis au
             chargement.

** si NF≠ 0 et NMF≠ 0 :
*** mise en donnée classique (similaire à l'option LAM) :
  NF : Nombre de facettes soumises à des forces de surface.
  NMF : Nombre maximum de nœuds par facette pour l'ensemble des NF
        facettes.
*** (NFP(I,J), I = 1, NMF), J = 1, NF)                    (d)
  NFP : Numérotation des facettes.

*** mise en données alternative : on peut aussi donner pour NF et NMF deux
entiers dont le produit donne le nombre de nœuds à lire
** (NFP(I), I = 1, NMF*NMF)                                (d)
  NFP : liste des nœuds à prendre en compte

** si NF = NMF = 0
Dans ce cas, le solveur calcule la liste des nœuds chargés, qui sont tous
les nœuds sur le bord des groupes dont on donne la liste ensuite.

* NG, (KG(I), I = 1, NG)                                    (d)
  KG : Liste, au signe près, des numéros de ces groupes :
    = Numéro du groupe affecté du signe +, si celui-ci fait partie des
      matériaux restants.
    = Numéro du groupe affecté du signe -, si celui-ci fait partie de la
      zone excavée.
Nota : La donnée de ces signes permet d'orienter les forces de déconfinement.
Nota 2 : si NF=NMF=0, tous les groupes donnés dans la liste doivent être des
groupes excavés, donc donnés avec un numéro négatif.

```

- \* M1 (d)
- M1 : Indicateur relatif aux forces de volume :
- = 0 Si le calcul du chargement ne prend pas en compte les forces de pesanteur
- = 1 Si le calcul du chargement doit prendre en compte la contribution des forces de pesanteur
- \*\* Si M1 = 1:
- (PV(I), I = 1, NG) (d)
- poids volumique à prendre en compte pour chacun des groupes concernés par le chargement
- \* NOMF (d)
- NOMF : Nom du fichier de stockage (reprise) de CESAR issu d'un calcul précédent, et servant de base au calcul des forces de déconfinement.
- \* Si l'on souhaite redéfinir la densité massique de forces à distance (direction et intensité des forces de pesanteur) :
- \*\* VA : mot-clé de deux lettres signalant la redéfinition des forces à distance.
- \*\* VX, VY, VZ : composantes du vecteur définissant la direction des forces à distance ; les forces volumiques sont données par le produit du vecteur (VX,VY,VZ) par les poids volumiques PV(I).

**Fin des données de l'option DEC**

**Option DVU****Débit volumique uniforme par groupe d'éléments****EXPLICATION :**

L'option de chargement **DVU** est réservée aux éléments de massif traitant des problèmes de diffusion.

Cette option de chargement ne fonctionnant qu'avec les éléments de massif, ne donner dans la liste des numéros de groupe KG que des numéros de groupe d'éléments appartenant à ce type, ou donner un débit volumique nul au groupe d'éléments I d'un type autre que massif ( $DV(I) = 0.$ ).

**DONNEES DE L'OPTION DVU**

```
* DVU                                                    (mot-clé)

* NG, (KG(I), DV(I), I = 1, NG)                        (d)
  NG      : Nombre de groupes d'éléments où l'on impose des débits
            volumiques.
  KG      : Numéros de ces groupes.
  DV      : Débit volumique imposé.
            DV(I) = valeur imposée dans le groupe d'éléments KG(I).
```

**Fin des données de l'option DVU**

## Option ECH

### Flux associé à une condition d'échange linéaire

---

#### EXPLICATION :

L'option de chargement **ECH** est réservée aux éléments d'échange utilisés dans les problèmes de diffusion.

#### DONNEES DE L'OPTION ECH

\* ECH (mot-clé)

\* NG, (KG(I), TETAE(I), I = 1, NG) (d)

NG : Nombre de groupes d'éléments d'échange à comportement linéaire  
contenus dans le maillage.

KG : Tableau contenant les numéros de ces groupes.

TETAE : Tableau contenant les valeurs de la température extérieure, en  
bordure de ces groupes.

**Fin des données de l'option ECH**

## Option EFD

## Chargement d'effet différé dans les éléments de massif

## DESCRIPTION

L'option de chargement **EFD** est réservée aux familles d'éléments de massif utilisées dans les problèmes de mécanique.

## DONNEES DE L'OPTION EFD

- \* EFD (mot-clé)
- \* M1 (d)
  - M1 : Indicateur de données de l'état de contraintes initial ;
    - = 0 Si l'état initial est de type géostatique « simple » ; il est alors généré à partir de la donnée du poids volumique des différentes couches de sol et de leur cote.
    - = 1 Si l'état initial est lu à partir des résultats du dernier chargement (module **LINE**) ou du dernier incrément (modules **MCNL**, **TACT**, **TCNL**) d'un précédent calcul **CESAR**.
- \* Si M1 = 0, donnée de :
- \*\* NC (d)
  - NC : Nombre de couches de terrain intervenant dans la définition de l'état de contraintes initial.
- \*\* Pour chacune des NC couches décrites par ordre croissant de leur cote, donnée de :
- \*\*\* HSUP, PV, CPL1, CPL2 (d)
  - HSUP : Cote dans le système d'axes utilisateur de la limite supérieure de la couche considérée. Pour la couche la plus élevée, on peut donner HSUP plus grand que la limite supérieure du modèle pour tenir compte d'un éventuel recouvrement.
  - PV : Poids volumique de la couche considérée.
  - CPL1 : Coefficient de poussée latérale selon OX.
  - CPL2 : Coefficient de poussée latérale selon OZ pour les calculs en déformation plane, ou selon OY pour les calculs tridimensionnels.  
(valeur inopérante en symétrie de révolution : donner une valeur quelconque).

\*\* NGA (d)  
 NGA : Nombre de groupes dans lesquels on annule les contraintes d'origine géostatique.  
 = 0 Sinon.

\*\* Si NGA > 0 :

\*\*\* (KGA(I), = 1, NGA) (d)  
 KGA : Liste de ces groupes.

\* Si M1 = 1, donnée de :

\*\* NOMFI (d)  
 NOMFI : Nom du fichier de résultats de **CESAR** contenant l'état de contraintes initial.

\* NOMFA (d)  
 NOMFA : Nom du fichier de résultats de **CESAR** contenant l'état de contraintes actuel.

\* NG (d)  
 NG : Nombre de groupes avec effet différé.

\* Pour chacun de ces NG groupes, donnée de :

\*\* IG, YOUNGI, POISSI (d)  
 IG : Numéro du groupe considéré.  
 YOUNGI : Valeur instantanée du module d'Young de ce groupe (avant effet différé).  
 POISSI : Valeur instantanée du coefficient de Poisson.

## Remarque :

Les valeurs des caractéristiques à long terme sont celles fournies dans les données des groupes d'éléments (mot-clé **ELEM**).

## Fin des données de l'option EFD



## Option EXC

### Forces de déconfinement (procédure alternative à LAM)

#### DESCRIPTION

L'option de chargement **EXC** modélise les forces de déconfinement dans un problème de mécanique. Elle est en principe utilisable avec tous les types d'éléments (alors que l'option LAM par exemple ne concerne que les éléments de massif). L'option **EXC** repose sur des fichiers de stockage externes spécifiques ; l'utilisateur est invité à utiliser plutôt l'option **DEC**.

#### DONNEES DE L'OPTION EXC

- \* EXC (mot-clé)
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à des forces de surface.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
- \* (NFP(I,J), I = 1, NMF), J = 1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
- \* NG, (KG(I), I = 1, NG) (d)
  - NG : Nombre de groupes intervenant dans le calcul des forces de surface (toute facette doit faire partie d'au moins un groupe de la liste suivante).
  - KG : Liste, au signe près, des numéros de ces groupes :
    - = Numéro du groupe affecté du signe +, si celui-ci fait partie des matériaux restants.
    - = Numéro du groupe affecté du signe -, si celui-ci fait partie de la zone excavée.

Nota : La donnée de ces signes permet d'orienter les forces de déconfinement.
- \* NOMF (d)
  - NOMF : Nom du fichier **CESAR** servant au calcul des forces nodales (généré lors d'un calcul antérieur avec le module MCNL en utilisant l'option REA).

#### Notes importantes :

Contrairement à l'option LAM, l'option EXC fait la somme des contributions des différents groupes donnés dans la liste KG : si on donne les deux groupes figurant de part et d'autre d'une surface donnée (avec des signes différents), il faut affecter le chargement résultant d'un coefficient 0,5 (à cause de l'action et de la réaction).

#### Fin des données de l'option EXC

**Option FNS****Flux non uniforme secondaire****EXPLICATION :**

L'option de chargement **FNS** est réservée au calcul du flux secondaire dans les problèmes de couplage mécanique-diffusion.

**DONNEES DE L'OPTION FNS**

- \* FNS (Mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à un flux non uniforme secondaire.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* ((FL(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - FL : Valeurs du flux non uniforme secondaire, relevées pour chaque facette dans l'ordre de sa numérotation.
  - Si un élément a un nombre de noeuds inférieur à NMF, compléter par des 0.

**Fin des données de l'option FNS**

**Option FNU****Flux non uniforme****EXPLICATION :**

L'option de chargement **FNU** est réservée aux problèmes de diffusion. Cette option peut également être utilisée pour calculer le flux primaire dans les problèmes de couplage mécanique-diffusion.

**DONNEES DE L'OPTION FNU**

\* FNU (Mot-clé)

\* NF, NMF (d)

NF : Nombre de facettes soumises à un flux non uniforme.

NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.

\* ((NFP(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)

NFP : Numérotation des facettes.

\* ((FL(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)

FL : Valeurs du flux non uniforme, relevées pour chaque facette dans l'ordre de sa numérotation.

Si un élément a un nombre de noeuds inférieur à NMF, compléter par des 0.

**Fin des données de l'option FNU**

## Option FOS

## Forces de surface quelconques

## EXPLICATION :

L'option de chargement **FOS** est réservée aux modèles en mécanique et à la partie mécanique des problèmes de couplage mécanique-diffusion. Avec la version actuelle du code de calcul, les forces de surface quelconques ne peuvent être appliquées que sur les éléments de massif (2D, 3D) ou sur les éléments de coque.

## DONNEES DE L'OPTION FOS

- \* FOS (Mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à des forces de surface.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* (((FS(I,J,K), I=1, NDIM), J=1, NMF), K=1, NF) (d)
  - FS : Valeurs des forces de surface, relevées pour chaque facette dans l'ordre de sa numérotation, à raison de NDIM composantes par noeud.
  - Si un élément comporte un nombre de noeuds inférieur à NMF, compléter par des 0.
  - NDIM = 2 : problème plan ou axisymétrique;  
= 3 : problème tridimensionnel.

## Fin des données de l'option FOS

**Option FUR****Flux uniformément réparti****EXPLICATION :**

L'option de chargement **FUR** est réservée aux problèmes de diffusion. Cette option de chargement peut également être utilisée pour calculer le flux primaire dans les problèmes de couplage mécanique-diffusion.

**DONNEES DE L'OPTION FUR**

- \* FUR (Mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à un flux uniformément réparti.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* FL (d)
  - FL : Valeur du flux uniformément réparti.

**Fin des données de l'option FUR.**

**Option FUS****Flux uniformément réparti secondaire**

---

**EXPLICATION :**

L'option de chargement **FUS** est réservée au calcul du flux secondaire dans les problèmes de couplage mécanique-diffusion.

**DONNEES DE L'OPTION FUS**

- \* FUS (Mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à un flux uniformément réparti secondaire.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* FL (d)
  - FL : Valeur du flux uniformément réparti secondaire.

**Fin des données de l'option FUS.**

## Option LAM

## Forces de déconfinement pour éléments de massif

## EXPLICATION :

L'option de chargement **LAM** est réservée aux modèles en mécanique. Elle modélise un chargement de type « forces d'excavation », à partir des valeurs des contraintes aux nœuds. Elle ne gère que les éléments de massif (familles 01 et 02).

## DONNEES DE L'OPTION LAM

- \* LAM (Mot-clé)
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à des forces de surface.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
- \* (NFP(I,J), I = 1, NMF), J = 1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
- \* NG, (KG(I), I = 1, NG) (d)
  - NG : Nombre de groupes intervenant dans le calcul des forces de surface (toute facette doit faire partie d'au moins un groupe de la liste suivante).
  - KG : Liste, au signe près, des numéros de ces groupes :
    - = Numéro du groupe affecté du signe +, si celui-ci fait partie des matériaux restants.
    - = Numéro du groupe affecté du signe -, si celui-ci fait partie de la zone excavée.

Nota : La donnée de ces signes permet d'orienter les forces de déconfinement.
- \* M1 (d)
  - M1 : Indicateur de données des contraintes servant à générer les forces de déconfinement :
    - = 0 Si on génère des contraintes de type géostatique "simple", à partir de la description de couches horizontales, caractérisées par leur poids volumique, leur cote supérieure et les coefficients de poussée horizontaux.
    - = 1 Si elles sont lues à partir des résultats du dernier chargement (module **LINE**) ou du dernier incrément (modules **MCNL**, **TACT**, **TCNL**) d'un précédent calcul **CESAR**.
- \* Si M1 = 0, donnée de :
- \*\* NC (d)

NC : Nombre de couches de sol.

\*\* A)

\*\*\* Pour chacune des NC couches, donnée de :

\*\*\*\* HSUP, PV, CPL1, CPL2 (d)

HSUP : Cote dans le système d'axes utilisateur de la limite supérieure de la couche.

Ces couches doivent être décrites de bas en haut (de la cote la plus basse, vers la cote la plus haute). Pour la couche la plus élevée, on peut donner HSUP plus grand que la limite supérieure du modèle pour tenir compte d'un éventuel recouvrement.

PV : Poids volumique de la couche.

CPL1 : Coefficient de poussée latérale selon OX.

CPL2 : Coefficient de poussée latérale selon OZ pour les calculs en déformation plane ou selon OY pour les calculs tridimensionnels (ce paramètre intervient dans les calculs élastoplastiques ; toutefois il est inopérant en symétrie de révolution : donner dans ce cas une valeur quelconque).

\*\*Retour en A) s'il reste à décrire des couches.

\*\* NGA (d)

NGA : = si on annule les contraintes d'origine géostatique dans certains groupes d'éléments seulement, NGA est égal au nombre de groupes dans lesquels on procède à cette annulation.  
= 0 si on n'annule ces contraintes dans aucun groupe.  
= -1 si on annule les contraintes dans tous les groupes.

\*\* Si  $NGA > 0$  :

\*\*\* (KGA(I), = 1, NGA) (d)

KGA : Liste de ces groupes.

Remarque :

Lorsque  $M1 = 0$ , l'option **LAM** inclut l'opération d'initialisation des contraintes dans les groupes autres que ceux figurant dans KGA.

\* Si  $M1 = 1$ , donnée de :

\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier de résultats de **CESAR** contenant l'état de contraintes servant à générer les forces de déconfinement.



\* Si le calcul des forces de déconfinement fait intervenir un champ de pression dû à la présence d'un fluide, donnée de :

\*\* FD (mot-clé)

FD : Mot-clé de 2 lettres signalant la présence d'un fluide.

\*\* VERTIX, VERTIY, VERTIZ (d)

VERTIX, VERTIY, VERTIZ : Composantes dans les axes de coordonnées globales, du vecteur unitaire dirigé suivant la verticale ascendante du lieu géographique considéré.

\*\* PW (d)

PW : Poids volumique du fluide interstitiel.

\*\* MFD (d)

MFD : Indicateur de données du champ de charge hydraulique.  
 = 0 Si ce dernier est lu dans le jeu de données.  
 = 1 Si il est lu à partir des résultats du dernier chargement (module **LINE**) d'un précédent calcul **CESAR**.  
 = 2 Si la charge est uniforme.

\*\* Si MFD = 0, donnée de :

\*\*\* (VH(I), = 1, NNT) (d)

VH : Tableau des valeurs nodales de la charge hydraulique.

NNT : Nombre de nœuds total du maillage.

\*\* Si MFD = 1, donnée de :

\*\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier de résultats de **CESAR** contenant le champ de charge hydraulique.

\*\* Si MFD = 2, donnée de :

\*\*\* H0 (d)

H0 : Valeur de la charge pour l'ensemble du maillage.

## Fin des données de l'option LAM

**Option ONU****Cisaillement orthoradial non uniforme****EXPLICATION :**

L'option de chargement **ONU** est réservée aux modèles en mécanique utilisant les éléments de la famille 11.

**DONNEES DE L'OPTION ONU**

\* ONU (Mot-clé)

\* NF, NMF (d)

NF : Nombre de facettes soumises à un cisaillement orthoradial non uniforme.

NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.

\* ((NFP(I, J), I = 1, NMF), J = 1, NF) (d)

NFP : Numérotation des facettes.

\* ((CS (I, J), I = 1, NMF), J = 1, NF) (d)

CS : Valeurs du cisaillement orthoradial non uniforme, relevées pour chaque facette dans l'ordre de sa numérotation.

Si un élément a un nombre de noeuds inférieur à NMF, compléter par des 0.

**Fin des données de l'option ONU**

**Option OUR****Cisaillement orthoradial uniformément réparti****EXPLICATION :**

L'option de chargement **OUR** est réservée aux modèles en mécanique utilisant les éléments de la famille 11.

**DONNEES DE L'OPTION OUR**

- \* OUR (Mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à un cisaillement orthoradial uniformément réparti.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I, J), I = 1, NMF), J = 1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* CS (d)
  - CS : Valeur du cisaillement orthoradial uniformément réparti.

**Fin des données de l'option OUR**

**Option PHS****Pression hydrostatique****EXPLICATION :**

L'option de chargement **PHS** est réservée aux modèles en mécanique.

**DONNEES DE L'OPTION PHS:**

- \* PHS (mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à une pression hydrostatique.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I,J), I = NMF), J = 1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* H, PVF, VX, VY, VZ (d)
  - H : Cote de la surface libre du fluide.
  - PVF : Poids volumique du fluide.
  - VX,VY,VZ : Composantes dans le repère global du maillage, du vecteur unitaire orienté suivant la verticale ascendante du lieu géographique considéré.  
(Pour un problème 2D, faire VZ = 0.).

**Fin des données de l'option PHS**

## Option PNC

## Pression non coïncidente

## EXPLICATION :

L'option de chargement PNC est réservée aux modèles tridimensionnels en mécanique. Elle permet d'appliquer une pression sur une surface horizontale située à une cote donnée par l'utilisateur. L'intérêt de cette option réside dans le fait que la surface soumise au chargement ne coïncide pas forcément avec un ensemble de facettes d'éléments du maillage. Elle permet donc de déplacer une charge sur une surface maillée de manière quelconque sans restriction sur la forme et la taille des éléments.

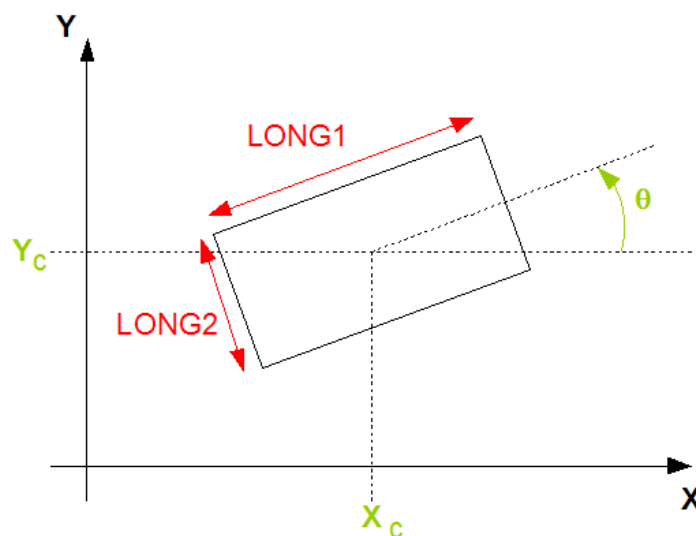
La surface soumise à la pression est un rectangle du plan  $z=ZP$ , défini par la donnée de :

- les coordonnées de son centre ( $X_c$ ,  $Y_c$ )
- ses dimensions  $LONG1$ ,  $LONG2$
- un angle  $\theta$  qui définit l'orientation des côtés de longueur  $LONG1$ .

L'option permet d'appliquer simultanément la pression sur plusieurs rectangles de même forme (mêmes valeurs de  $LONG1$  et  $LONG2$ ), mais centrés et orientés différemment (valeurs de  $X_c$ ,  $Y_c$  et  $\theta$  différentes). On note NC le nombre de rectangles chargés.

D'autre part, dans le cadre d'un calcul dynamique, on peut déplacer les NC chargements de pression d'un pas de temps à l'autre. En notant NT le nombre de pas de temps, on définit NT ensembles de NC chargements définis chacun par un triplet  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $\theta$ .

Cette fonctionnalité est inopérante pour les calculs en statique : on prendra  $NT=1$ .



**DONNEES DE L'OPTION PNC :**

\* PNC (Mot-clé)

\* ZP, P, LONG1, LONG2, NC, NT (d)

ZP : Altitude dans le plan du maillage de la surface chargée

P : Valeur de la pression appliquée

LONG1 : Longueur du premier côté de chaque zone chargée

LONG2 : Longueur du deuxième côté de chaque zone chargée

NC : nombre de zones chargées (à chaque pas de temps)

NT : Nombre de pas de temps.

\* ((XC(I,J), YC(I,J), THETA(I,J), J=1, NC), I=1, NT) (d)

NB : on lit les NC triplets du premier pas de temps, ensuite ceux du deuxième pas de temps, etc.

**Fin des données de l'option PNC**

**Option PNU****Pression non uniforme****EXPLICATION :**

L'option de chargement PNU est réservée aux modèles en mécanique.

**DONNEES DE L'OPTION PNU:**

- \* PNU (Mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à une pression non uniforme.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* ((PVAR(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - PVAR : Valeurs de la pression non uniforme, relevées pour chaque facette dans l'ordre de sa numérotation.
  - Si un élément à un nombre de noeuds inférieur à NMF, compléter par des 0.

**Fin des données de l'option PNU**

## Option POI

### Poids volumique

#### DESCRIPTION :

L'option de chargement est **POI** réservée aux modèles en mécanique.

Il existe une option standard correspondant à la donnée du mot-clé **POI** seul et qui consiste à appliquer à tous les éléments du maillage des forces de volume correspondant aux poids volumiques  $PV (= \rho g)$  calculés à partir des masses volumiques  $RO (g)$  définies par groupe dans le module **ELEM**. Le vecteur accélération de la pesanteur  $g$ , de module égal à 1., dans ce cas est considéré comme parallèle mais de sens opposé à l'axe  $y$  pour un problème bidimensionnel, et parallèle mais de sens opposé à l'axe  $z$  pour un problème tridimensionnel.

Si cette option standard se révèle insuffisante pour définir un chargement dû à des forces volumiques, l'utilisateur a la possibilité de redéfinir globalement le vecteur accélération  $g$ , et aussi de restreindre la prise en compte du poids volumique à certains groupes d'éléments. Cette deuxième possibilité n'est pas fonctionnelle pour les calculs avec les modules MPLI, MPNL.

**Attention** : les données pour la version 4 de l'option POI ne sont pas compatibles avec celles des précédentes versions 3.x.

#### DONNEES DE L'OPTION POI:

\* POI (mot-clé)

\* Si l'option standard est retenue, fin des données de l'option **POI**.

\* Si on redéfinit le vecteur accélération (notation  $g$  dans le Manuel d'utilisation) et les groupes d'éléments pour lesquels le poids est pris en compte :

\*\* NDIRFV (d)

NDIRFV : Nombre de directions pour lesquelles on redéfinit l'accélération pour un ensemble de groupes d'éléments donné.

\*\* Pour chacune des NDIRFV directions :

\*\*\* NG, (NUMG(I), I=1,NG), (V(I), I=1,NDIM) (d)

NG : Nombre de groupes d'éléments concernés.

NUMG : Numéros de ces groupes.

V : Vecteur accélération.

NDIM : Dimension de l'espace;  
= 2 pour un problème 2D.  
= 3 pour un problème 3D.

**Fin des données de l'option POI**



**Option PUR****Pression uniformément répartie****EXPLICATION :**

L'option de chargement **PUR** est réservée aux modèles en mécanique.

**DONNEES DE L'OPTION PUR:**

- \* PUR (Mot-clé)
  
- \* NF, NMF (d)
  - NF : Nombre de facettes soumises à une pression uniformément répartie.
  - NMF : Nombre maximum de noeuds par facette pour l'ensemble des NF facettes.
  
- \* ((NFP(I,J), I=1, NMF), J=1, NF) (d)
  - NFP : Numérotation des facettes.
  
- \* P (d)
  - P : Valeur de la pression uniformément répartie.

**Fin des données de l'option PUR**

## Option SIG

## Initialisation et chargement dû à un état de contraintes (mécanique)

## DESCRIPTION

L'option de chargement **SIG** est réservée aux éléments de volume 2D et 3D (familles 01 et 02) utilisés dans les modèles en mécanique. Cette option de chargement permet la combinaison des actions suivantes :

- A) Initialisation de l'état de contraintes;
- B) Prise en compte dans le chargement de l'effet des contraintes initiales.

## DONNEES DE L'OPTION SIG:

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * SIG      | (Mot-clé)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| * M1, ICAL | (d)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| M1         | : Indicateur des données des contraintes initiales relatif à l'ensemble des éléments de volume ;<br>= 0 Si les contraintes initiales sont calculées par l'option IOPT ci-dessous.<br>= 1 Si elles sont lues à partir des résultats du dernier chargement (module <b>LINE</b> ) ou du dernier incrément (modules <b>MCNL</b> , <b>TACT</b> , <b>TCNL</b> ) d'un précédent calcul <b>CESAR</b> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ICAL       | : Indicateur d'initialisation et/ou de mise en chargement des contraintes initiales.<br>= 0 Si on initialise les contraintes sans prendre en compte le chargement correspondant.<br>= 1 Si on initialise les contraintes et si on prend en compte le chargement correspondant (chargement effectif pour les éléments de volume uniquement).<br>= 2 Si on n'initialise pas les contraintes et si on prend en compte le chargement de contraintes (chargement effectif pour les éléments de volume uniquement). ATTENTION à la signification de cette option toujours en service dans le solveur <b>CESAR</b> , mais rendue indisponible avec l'interface graphique homme-machine <b>CLEO</b> . |

\* Si  $M1 = 0$ , donnée de :

\*\* IOPT (d)

IOPT : Indicateur permettant de définir le procédé utilisé pour la génération des contraintes initiales.

- = 1 Si on génère des contraintes initiales constantes dans certains groupes d'éléments de volume.
- = 2 Si on génère des contraintes initiales correspondant à un chargement thermique ou équivalent à partir d'un vecteur de température et d'un coefficient de dilatation donné par groupe d'éléments de volume concerné.
- = 3 Si on génère des contraintes d'origine géostatique, correspondant à l'effet du poids de couches de terrain supposées horizontales.
- = 4 Si on génère des contraintes de type "pression isotrope" dues à la présence d'un fluide interstitiel.

\*\* Si IOPT = 1 (contraintes initiales constantes) :

\*\*\* NG, (IGR(I), I=1, NG), (SIGMA(I), I=1, NCONT) (d)

NG : Nombre de groupes d'éléments de volume où l'on génère des contraintes initiales constantes.

IGR : Numéros de ces groupes.

SIGMA : Composantes du tenseur des contraintes pour ces groupes d'éléments :

SX, SY, SXY, SZZ pour modèle 2D plan (NCONT=4) ;

SR, SZ, SRZ, ST pour modèle axisymétrique (NCONT=4) ;

SX, SY, SZ, SXY, SYZ, SZX pour modèle 3D (NCONT=6) .

\*\* Si IOPT = 2 (chargement thermique ou équivalent) :

\*\*\* M2 (d)

M2 : Indicateur des données du vecteur température ou accroissement de température aux noeuds.

= 0 Si ce vecteur est lu dans le jeu de données.

= 1 S'il est lu sur fichier.

\*\*\* Si  $M2 = 0$ , donnée de :

\*\*\*\* (VT(I), I=1, NNT) (d)

VT : Vecteur des températures ou des accroissements de température aux noeuds.

NNT : Nombre de noeuds total du maillage.

\*\*\* Si M2 = 1 , donnée de :

\*\*\*\* NOMF2 (d)

NOMF2 : Nom du fichier contenant le vecteur température ou accroissement de température. Ce fichier est généralement créé par l'option **STK** d'un précédent calcul en diffusion.

\*\*\*\* (VT(I), I=1, NNT) (f)

VT : Vecteur des températures ou des accroissements de température aux noeuds.

NNT : Nombre de noeuds total du maillage.

\*\*\* TZ (d)

TZ : Température initiale (donner TZ=0 si VT représente un accroissement de température).

\*\*\* (CDIL(I), I=1, NGRPE) (d)

CDIL : Vecteur contenant le coefficient de dilatation linéaire de chacun des groupes d'éléments.

NGRPE : Nombre total de groupes d'éléments du maillage (défini dans le module **ELEM**).

\*\* Si IOPT = 3 (contraintes d'origine géostatique) :

\*\*\* NC (d)

NC : Nombre de couches de terrain intervenant dans la définition des contraintes initiales.

\*\*\* Pour chacune des NC couches, donnée de :

\*\*\*\* HSUP, PV, CPL1, CPL2 (d)

HSUP : Cote dans le système d'axes utilisateur de la limite supérieure de la couche.

Ces couches doivent être décrites de bas en haut (de la cote la plus basse vers la cote la plus haute) (pour la couche la plus élevée, on peut donner HSUP plus grand que la limite supérieure du modèle pour tenir compte d'un éventuel recouvrement).

PV : Poids volumique de la couche.

CPL1 : Coefficient de poussée latérale selon OX.

CPL2 : Coefficient de poussée latérale selon OZ pour les calculs en déformation plane ou selon OY pour les calculs tridimensionnels (valeur inopérante en symétrie de révolution : donner une valeur quelconque).

\*\*\* NG0 (d)

NG0 : Nombre de groupes d'éléments où l'on annule les contraintes initiales d'origine géostatique.

\*\*\* Si NG0 <> 0, donnée de :

\*\*\*\* (NUMG(I), I=1, NG0) (d)

NUMG : Numéros des groupes d'éléments où l'on annule les contraintes initiales d'origine géostatique.

\*\* Si IOPT = 4 (contraintes de type « pression isotrope ») :

\*\*\* VERTIX, VERTIY, VERTIZ (d)

VERTIX, VERTIY, VERTIZ : Composantes du vecteur unitaire orienté suivant la verticale ascendante du lieu géographique considéré.

\*\*\* M3 (d)

M3 : Indicateur des données du vecteur des charges hydrauliques initiales :

- = 0 Si celui-ci est fourni dans le jeu de données courant.
- = 1 Si la charge hydraulique initiale est lue sur fichier.
- = 2 Si la charge hydraulique initiale est uniforme.
- = 3 Si la charge initiale est définie par un niveau phréatique général.

\*\*\* Si M3 = 0, donnée de :

\*\*\*\* (H1(I), I = 1, NNT) (d)

H1 : Vecteur des charges hydrauliques nodales initiales.

NNT : Nombre de noeuds total du maillage.

\*\*\* Si M3 = 1, donnée de :

\*\*\*\* NOMF3 (d)

NOMF3 : Nom du fichier sur lequel est lue la charge hydraulique initiale.

Ce fichier est généralement créé par l'option **STK** d'un précédent calcul en diffusion.

\*\*\*\* (H1(I), I = 1, NNT) (f)

H1 : Vecteur des charges hydrauliques initiales.

NNT : Nombre de noeuds total du maillage.

\*\*\* Si M3 = 2, donnée de :

\*\*\*\* H1 (d)

H1 : Valeur initiale de la charge hydraulique.

\*\*\* (PVF1(I), I = 1, NGRPE) (d)

PVF1 : Poids volumique de fluide à prendre en compte dans chaque groupe pour le calcul du champ de pression initial.

NGRPE : Nombre total de groupes d'éléments du maillage.

\*\*\* si M3=3, donnée de

\*\*\*\* si NDIM=3, donnée de

INAP : indicateur de la géométrie de la nappe  
 = 1 si la nappe varie dans la direction Ox  
 = 2 si la nappe varie dans la direction Oy

\*\*\*\* NNAP, (XNAP(I), YNAP(I), I=1, NNAP)

NNAP : Nombre de points qui définissent le niveau phréatique général  
 (XNAP(I), YNAP(I), I=1, NNAP) : coordonnées de ces points

\*\*\* M4 (d)

M4 : Indicateur des données du vecteur des charges hydrauliques actuelles :  
 = 0 Si celui-ci est fourni dans le jeu de données courant.  
 = 1 Si la charge hydraulique actuelle est lue sur fichier.  
 = 2 Si la charge hydraulique actuelle est uniforme.  
 = 3 Si la charge initiale est définie par un niveau phréatique général.

\*\*\* Si M4 = 0, donnée de :

\*\*\*\* (H2(I), I = 1, NNT) (d)

H2 : Vecteur des charges hydrauliques actuelles.

NNT : Nombre de noeuds total du maillage.

\*\*\* Si M4 = 1, donnée de :

\*\*\*\* NOMF4 (d)

NOMF4 : Nom du fichier sur lequel sont lues les charges hydrauliques actuelles.

Ce fichier est généralement créé par l'option **STK** d'un précédent calcul en diffusion.

\*\*\*\* (H2(I), I = 1, NNT) (f)

H2 : Vecteur des charges hydrauliques actuelles.

NNT : Nombre de noeuds total du maillage.

\*\*\* Si M4 = 2, donnée de :

\*\*\*\* H2 (d)

H2 : Valeur actuelle de la charge hydraulique.

\*\*\* (PVF2(I), I = 1, NGRPE) (d)

PVF2 : Poids volumique du fluide à prendre en compte dans chaque groupe pour le calcul du champ de pression actuel.

NGRPE : Nombre total de groupes d'éléments du maillage.

\*\*\* si M4=3, donnée de

\*\*\*\* si NDIM=3, donnée de

INAP : indicateur de la géométrie de la nappe  
           = 1 si la nappe varie dans la direction Ox  
           = 2 si la nappe varie dans la direction Oy

\*\*\*\* NNAP, (XNAP(I), YNAP(I), I=1, NNAP)

NNAP : Nombre de points qui définissent le niveau phréatique général

(XNAP(I), YNAP(I), I=1, NNAP) : coordonnées de ces points

\* Si M1 = 1, donnée de :

\*\* NOMF1 (d)

NOMF1 : Nom du fichier de résultats de **CESAR** sur lequel sont lues les contraintes initiales.

**Fin des données de l'option SIG**

## Option SOL

## Sollicitations nodales (mécanique ou diffusion)

## DESCRIPTION

L'option de chargement **SOL** peut être utilisée pour tout type de problèmes (mécanique, diffusion, couplage). La sollicitation nodale (ou sollicitation concentrée) correspond à une force ponctuelle dans un problème de mécanique, à un débit ponctuel dans un problème de diffusion.

## DONNÉES DE L'OPTION SOL:

```
* SOL (Mot-clé)

* M1 (d)

M1      : Indicateur des données permettant l'initialisation du vecteur
          des sollicitations concentrées appliquées;
          = 0 Si ces données sont lues dans le jeu de données.
          = 1 Si le vecteur des sollicitations concentrées est lu sur
              fichier.

* Si M1 = 0 :
```

Les sollicitations concentrées sont définies comme suit :

- a) Définition d'un ensemble de NP numéros de noeuds pour lesquels on imposera une sollicitation suivant le paramètre numéro IL (voir figure 1 du module **COND**).
- b) Donnée de IL (exemple : IL = 3 si l'on veut imposer des moments aux noeuds des éléments de poutre plans).
- c) Donnée des valeurs des sollicitations concentrées suivant le paramètre IL aux NP noeuds précédemment définis.
- d) Retour en a) si l'on veut effectuer d'autres générations.

```
** A)
```

```
*** IGEN (d)

IGEN      : Indicateur permettant de définir le procédé pour la génération
          d'un ensemble de numéros de noeuds ;
          = 1 Si les numéros sont définis par la donnée de ID, IF, IPAS.
              ID   : Premier numéro à générer.
              IF   : Dernier numéro à générer.
              IPAS : Pas de progression entre ID et IF.
          = 2 Si les numéros sont définis par la donnée de NP, (NUM(I),
              I=1,NP).
              NP   : Nombre de numéros de noeuds à définir.
              NUM  : Liste de ces NP numéros.
```

```
*** Si IGEN = 1, donnée de :
```



```

**** ID, IF, IPAS (d)

*** Si IGEN = 2, donnée de :

**** NP, (NUM(I), I=1,NP) (d)

*** IL (d)
    IL : Numéro du degré de liberté suivant lequel on veut imposer des
        sollicitations concentrées pour les noeuds précédemment
        définis.

*** (F(I), I = 1,NP) (d)
    F(I) : Valeur de la sollicitation imposée suivant le degré de liberté
        IL pour le Iième noeud précédemment défini.

** Retour en A) si l'on veut générer d'autres sollicitations concentrées.

** Terminer la séquence par un 0 .

* Si M1 = 1, donnée de :

** NOMF (d)
    NOMF : Nom du fichier sur lequel sont lues les sollicitations
        concentrées.

** (F(I), I = 1,NDLT) (f)
    F : Vecteur contenant les sollicitations imposées sur chaque
        degré de liberté.

    NDLT : Nombre de degrés de liberté total.

```

**Fin des données de l'option SOL.**

## Option WTB

### Modélisation de mouvements de la nappe

#### DESCRIPTION

**WTB** est une option des modules MCNL et CSNL.

L'option de chargement **WTB** est destinée à être utilisée par les modules de calcul en mécanique. Elle définit un chargement permettant :

- d'initialiser les contraintes effectives dans un massif dans lequel règne un champ de charge hydraulique connu (par exemple déterminé par un calcul préliminaire avec DTLI ou NSAT) ;
- ou de calculer les déformations résultant d'une variation du niveau de la nappe, ou plus précisément de la différence entre un champ de charge hydraulique final et un état initial.

Elle peut être utilisée pour le module de calcul couplé mécanique-diffusion avec le module **CSNL** dans le cas où les variations du niveau de la nappe sont stationnaires (prises en compte instantanément au premier pas de temps, la nappe étant ensuite supposée fixe ; lorsque la nappe varie au cours du calcul, utiliser les options NAP/MNA).

#### DONNÉES DE L'OPTION WTB :

- \* WTB (Mot-clé)
- \* M3 (d)
- M3 : Indicateur indiquant l'origine du champ de charge hydraulique initial;
  - = -1 si l'option est utilisée pour initialiser les contraintes effectives.
  - = 0 Si la charge initiale est lue dans le jeu de données.
  - = 1 Si la charge initiale est lue dans un fichier binaire (au format des fichiers de stockage de DTLI)
  - = 2 Si la charge initiale est uniforme.
  - = 3 Si la charge initiale est définie par un niveau phréatique général.
- \* si M3>=0

#### Définition du champ de charge hydraulique initial

- \* si M3=0, donnée de
  - \*\* (VHI(I), I=1,NNT) (d)
  - lecture dans le jeu de données de la valeur initiale de la charge aux noeuds du maillage (NNT : nombre de noeuds du maillage)
- \* si M3=1, donnée de
  - \*\* NOMF3 (d)

NOMF3 : Nom du fichier sur lequel sont lues les charges nodales initiales. Ce fichier est au format des fichiers de stockage de DTLI. Il contient une table de réels double précision (VHI(I), I=1,NNT).

\*\* (VHI(I), I=1,NNT) (f)

VHI : Vecteur des charges nodales initiales.

NNT : Nombre de noeuds du maillage.

\* si M3=2, lecture dans le jeu de données de la valeur unique de la charge pour tous les nœuds du maillage

\*\* XH : valeur uniforme de la charge initiale

\* si M3=3, donnée de

\*\* si NDIM=3, donnée de

INAP : indicateur de la géométrie de la nappe

= 1 si la nappe varie dans la direction Ox

= 2 si la nappe varie dans la direction Oy

\*\* NNAP, (XNAP(I),YNAP(I),I=1,NNAP)

NNAP : Nombre de points qui définissent le niveau phréatique général

(XNAP(I),YNAP(I),I=1,NNAP): coordonnées de ces points

\* M4 (d)

M4 : Indicateur indiquant l'origine du champ de charge hydraulique final;

= 0 Si la charge finale est lue dans le jeu de données.

= 1 Si la charge finale est lue dans un fichier binaire (au format des fichiers de stockage de DTLI)

= 2 Si la charge finale est uniforme.

= 3 Si la charge finale est définie par un niveau phréatique général.

### Définition du champ de charge hydraulique final

\* si M4=0, donnée de

\*\* (VHF(I), I=1,NNT) (d)

lecture dans le jeu de données de la valeur finale de la charge aux noeuds du maillage (NNT : nombre de noeuds du maillage)

\* si M4=1, donnée de

\*\* NOMF4 (d)

NOMF4 : Nom du fichier sur lequel sont lues les charges nodales finales. Ce fichier est au format des fichiers de stockage de DTLI. Il contient une table de réels double précision (VHF(I), I=1,NNT) .

\*\* (VHF(I), I=1,NNT) (f)

VHF : Vecteur des charges nodales finales.  
NNT : Nombre de noeuds du maillage.

\* si M4=2, lecture dans le jeu de données de la valeur unique de la charge pour tous les nœuds du maillage

\*\* XF : valeur uniforme de la charge finale

\* si M4=3, donnée de

\*\* si NDIM=3, donnée de

INAP : indicateur de la géométrie de la nappe  
= 1 si la nappe varie dans la direction Ox  
= 2 si la nappe varie dans la direction Oy

\*\* NNAP, (XNAP(I),YNAP(I),I=1,NNAP)

NNAP : Nombre de points qui définissent le niveau phréatique général  
(XNAP(I),YNAP(I),I=1,NNAP): coordonnées de ces points

#### Définition des groupes chargés et des poids volumiques : donnée de

\* NGRC, (KGRC(I), I=1,NGRC) (d)

NGRC : nombre de groupes chargés  
KGRC(I) : liste des numéros de ces groupes

\* (PVSEC(I), I=1,NGRC) (d)

valeurs des poids volumiques secs pour les groupes chargés (dans l'ordre où on les a donnés dans la liste précédente)

\* (PVSAT(I), I=1,NGRC) (d)

valeurs des poids volumiques saturés pour les groupes chargés (dans l'ordre où on les a donnés dans la liste précédente)

\* PVOLF (d)

poids volumique du fluide (identique pour tout le maillage)

**Fin des données de l'option WTB.**

**Fin des données du module CHAR.**

## 4. Données du calcul

### 4.1. Liste des modules de calcul

Les modules de calcul sont présentés dans cette partie en suivant l'ordre alphabétique du mot-clé les désignant. L'appel à un seul de ces modules est en général requis lors d'un calcul. La classification dans les tableaux ci-après est faite suivant le type de problème.

TABLEAU 4.I : MÉCANIQUE

| Nom         | Fonction                                                                                                                              |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | <b>Statique</b>                                                                                                                       |
| <b>AXIF</b> | Calcul d'une structure élastique axisymétrique (géométrie de révolution) soumise à un chargement quelconque.                          |
| <b>LINE</b> | Résolution d'un problème linéaire.                                                                                                    |
| <b>MCNL</b> | Résolution d'un problème de mécanique à comportement non linéaire.                                                                    |
| <b>MEXO</b> | Évolution des contraintes dans le béton au jeune âge.                                                                                 |
| <b>TACT</b> | Résolution d'un problème de contact entre solides élastiques.                                                                         |
| <b>TCNL</b> | Résolution d'un problème de contact entre solides élastoplastiques.                                                                   |
|             | <b>Dynamique</b>                                                                                                                      |
| <b>DYNI</b> | Recherche de la réponse à une sollicitation dynamique par intégration directe.                                                        |
| <b>FLAM</b> | Résolution d'un problème de flambement linéaire.                                                                                      |
| <b>LINC</b> | Recherche de la réponse à une sollicitation harmonique avec amortissement (résolution d'un problème linéaire en variables complexes). |
| <b>LINH</b> | Recherche de la réponse à une sollicitation harmonique sans amortissement.                                                            |
| <b>MODE</b> | Recherche de modes propres : valeurs et vecteurs propres.                                                                             |
| <b>SUMO</b> | Recherche de la réponse à une sollicitation dynamique par superposition modale.                                                       |

TABLEAU 4.II : MÉCANIQUE ou DIFFUSION

| Nom         | Fonction                                                                                                                     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LIGC</b> | Résolution d'un problème linéaire par la méthode du gradient conjugué avec préconditionnement, associée à un stockage morse. |
| (LINE)      | Résolution d'un problème linéaire.                                                                                           |

|             |                                                        |
|-------------|--------------------------------------------------------|
| <b>SSTR</b> | Calcul de la matrice de rigidité d'une sous-structure. |
|-------------|--------------------------------------------------------|

TABLEAU 4.III : DIFFUSION

| Nom         | Fonction                                                                            |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|             | <b>Régime permanent</b>                                                             |
| (LINE)      | Résolution d'un problème linéaire.                                                  |
| <b>SURF</b> | Résolution d'un problème d'écoulement plan en milieux poreux avec surfaces libres.  |
|             | <b>Régime permanent</b>                                                             |
| DTLI        | Résolution d'un problème de diffusion transitoire linéaire par intégration directe. |
| DTNL        | Résolution d'un problème de diffusion transitoire non linéaire.                     |
| NAPP        | Calcul de nappe aquifère multicouche.                                               |
| NSAT        | Résolution d'un problème d'écoulement en milieux poreux non saturés.                |
| TEXO        | Évolution de la température dans le béton au jeune âge.                             |

TABLEAU 4.IV : ANALYSE COUPLEE HYDRO-MECANIQUE ou THERMO-PORO-MECANIQUE

| Nom         | Fonction                                                                                                              |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CSLI</b> | Résolution d'un problème de consolidation de matériaux élastiques linéaires saturés.                                  |
| <b>CSNL</b> | Résolution d'un problème de consolidation de matériaux saturés.                                                       |
| <b>MPLI</b> | Résolution d'un problème d'évolution linéaire en milieux poreux avec couplage thermique (thermo-poro-élasticité).     |
| <b>MPNL</b> | Résolution d'un problème d'évolution non linéaire en milieux poreux avec couplage thermique (thermo-poro-plasticité). |

## 4.2. Données pour les modules de calcul

Dans la suite de ce chapitre, on décrit les données à fournir pour chacun des modules de calcul. Selon les cas, ces données ont une influence sur la nature du calcul effectué, sur les algorithmes de résolution et leur paramétrage, ou sur les résultats écrits dans les fichiers de sortie (.list et .rsv4).



**Module AXIF****Calcul d'une structure élastique axisymétrique (géométrie de révolution) soumise à un chargement quelconque.  
(AXIsymétrique Fourier)****1 - Lignes d'en-tête**

\* AXIF (mot-clé)

\* M (d)

M : Indicateur d'impression ;  
       = 0 Impression des résultats dans les différents plans méridiens définis par l'utilisateur.  
       = 1 Impression de M = 0, plus impression des résultats de chaque harmonique.

**2 - Paramètres généraux**

\* NORDRE (d)

NORDRE : Ordre de la plus grande des harmoniques utilisées.

\* NPLAN (d)

NPLAN : Nombre de plans méridiens pour lesquels on désire l'impression des résultats.

\* Si NPLAN  $\neq$  0, lecture de :

\*\* (ANGL(I), I = 1, NPLAN) (d)

ANGL(I) : Angle en degrés décimaux du I<sup>ème</sup> plan méridien.

\* IREP (d)

IREP : Indicateur de reprise ;  
       = 0 Nouveau calcul.  
       = 1 Le calcul a déjà été effectué, et l'on désire calculer les déplacements et les contraintes pour des plans méridiens supplémentaires.

\* Si IREP = 0 :

\*\* ISTK (d)

ISTK : Indicateur de stockage pour reprise ultérieure;  
       = 0 Si l'on n'envisage pas de reprise ultérieure.  
       = 1 Si l'on envisage une reprise ultérieure.

\*\* Si ISTK = 1, lecture de :

\*\*\* NOMFS (d)

NOMFS : Nom du fichier de stockage pour une reprise ultérieure.

\*\* Pour chaque module **CHAR** introduit, donner :

\*\*\* MICD (d)

MICD : Indicateur de lecture des données ;  
 = 0 Lecture des composantes de  $g^i(\theta)$  sur la base fonctionnelle  
 ( $\cos n\theta$ ,  $\sin n\theta$ ,  $n = 0, \dots, \text{NORDRE}$ ).  
 = 1 Donnée de  $g^i(\theta)$  sous forme discrétisée.

\*\*\* Si MICD = 0 :

\*\*\*\* A(0), (A(n), B(n), n=1,NORDRE) (d)

A(0) : Composante constante de  $g^i(\theta)$ .

A(n), B(n) : Composantes de  $g^i(\theta)$  sur ( $\cos n\theta$ ,  $\sin n\theta$ )

\*\*\* Si MICD = 1 :

\*\*\*\* NTETA (d)

NTETA : Nombre de points de discrétisation de  $g^i(\theta)$ .

Attention, NTETA doit être égal à l'une des valeurs suivantes :  
 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256.  
 De plus, il faut impérativement que  $\text{NTETA} \geq 2 \cdot \text{NORDRE}$ .

\*\*\*\* (G(n), n = 1, NTETA) (d)

G(n) =  $g_i((n-1) / \text{NTETA} * 360)$

\* Si IREP = 1, lecture de :

\*\* NOMFR (d)

NOMFR : Nom du fichier de reprise.

**Fin des données du module AXIF.**

## Module CSLI

Résolution d'un problème de consolidation élastique linéaire.  
(ConSolidation Linéaire)

## 1 - Lignes d'en-tête

```

* CSLI                                     (mot-clé)

* M                                       (d)

M      : Indice d'impression.
      = 0 Impression de :
          nombre de pas de temps.
      = 1 Impression de M = 0 plus :
          fonctions portant sur le paramètre (si l'option LIM est
          utilisée),
          fonctions de chargement (si l'option CFT est utilisée).
      = 2 Impression de la solution à chaque pas de temps.
      = 4 Impression des contraintes, gradients et flux (vitesses)
          à chaque pas de temps.

```

## Remarques :

Pour obtenir des combinaisons des possibilités définies ci-dessus, donner à M une valeur égale à la somme des options retenues. Exemple : Pour l'impression de la solution et des résultats complémentaires, donner : M = 6 (= 2 + 4).

L'action de l'indice d'impression M se combine avec celle du module **IMPR**. Si en particulier le mot-clé **IMPR** est omis du jeu de données, les options d'impressions correspondant à M = 2 ou M = 4 sont inopérantes.

```

* VX,VY,VZ                               (d)

VX,VY,VZ : Composantes dans le repère ayant servi à définir le maillage,
          du vecteur unitaire dirigé suivant la verticale ascendante du
          lieu géographique (faire

VX=VY=VZ=0, si l'on ne s'intéresse qu'aux variations de
pression par rapport à l'état initial).

```

## 2 - Définition des pas de temps

```

* NPAS1                                   (d)

NPAS1 = NPAS + 1
      avec NPAS : nombre de pas de temps sur lequel on étudie le
                  problème.

* T0 , (DT(I), I=1,NPAS)                 (d)

T0      : Origine du temps.

DT(I)   : Valeur du I ème pas de temps.

```

### 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **CSLI** est structurée en options annoncées par les mots-clé de 3 lettres suivants :

|            |                                                                                                          |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CFT</b> | : Donnée des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans le module <b>CHAR</b> .           |
| <b>INC</b> | : Prise en compte du saut de déplacements et de pression lors d'une charge instantanée du milieu poreux. |
| <b>INH</b> | : Initialisation des valeurs nodales de la charge hydraulique au temps $T_0$ .                           |
| <b>INU</b> | : Initialisation des déplacements nodaux au temps $T_0$ .                                                |
| <b>LIM</b> | : Définition de conditions aux limites sur l'inconnue principale variables avec le temps .               |
| <b>SRE</b> | : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.                                          |
| <b>STK</b> | : Stockage des résultats du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.                      |

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du module CSLI.**

**Module CSNL****Résolution d'un problème de consolidation non linéaire.**

Ce module permet de résoudre les problèmes de consolidation dans les sols saturés ou quasi-saturés (degré de saturation supérieur à 80%), pour un comportement élastoplastique. Il fonctionne avec les éléments des familles 41 ou 42. La contribution en chargements de la partie diffusion peut être prise en compte par les options de chargement FNU, FUR et SOL. Par contre, il ne faut utiliser pas les options de chargement DVU et ECH. Le module fournit comme résultat principal les valeurs nodales de la charge hydraulique (ou de la pression interstitielle) et des déplacements, et comme résultats complémentaires les valeurs des contraintes, du gradient et du flux. Pour l'impression des résultats, se reporter à la description du module de gestion des données **IMPR**. Pour leur exploitation graphique, se reporter à la description de l'option **SRE**.

**1 - Lignes d'en-tête**

```
* CSNL                                     (mot-clé)
* M                                         (d)

M      : Indice d'impression ;
        = 0 Impression de la solution.
        = 1 Impression de M=0 plus description du processus itératif
           de convergence.
```

**2 - Paramètres de la résolution**

```
* NITER, TOL                               (d)

NITER  : Nombre maximum d'itérations de plasticité pour chaque incrément

TOL    : Tolérance relative sur la convergence. On choisira
         classiquement :  $10^{-3} \leq TOL \leq 10^{-2}$ .
```

**3 - Définition des pas de temps**

```
* NPAS1                                     (d)

NPAS1  : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème + 1 :
         NPAS1 = NPAS + 1.

* T0, (DT(I), I=1, NPAS)
```

```
T0      : Origine du temps.

DT(I)   : Valeur du I ème pas de temps.
```

Avec ces données, le programme calculera la solution aux instants successifs :

```
t0 = T0 (condition initiale)
t1 = t0 + DT(1)
t2 = t1 + DT(2)
```

$$\begin{aligned}
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 t_i &= t_{i-1} + DT(I) \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 t_{NPAS} &= t_{NPAS-1} + DT(NPAS)
 \end{aligned}$$

#### 4 - Autres données

L'introduction des autres données du module **CSNL** est structurée en options annoncées par les mots-clé de trois lettres suivants :

|            |                                                                                                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACT</b> | : Activation progressive des groupes d'éléments.                                                                                |
| <b>CFT</b> | : Donnée des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans le module <b>CHAR</b> .                                  |
| <b>INH</b> | : Initialisation des valeurs nodales de la charge au temps T0.                                                                  |
| <b>INP</b> | : Initialisation de la charge hydraulique par imposition des pressions interstitielles et désignation des groupes imperméables. |
| <b>INU</b> | : Initialisation des valeurs nodales des déplacements au temps T0.                                                              |
| <b>LIM</b> | : Définition des conditions limites sur les inconnues variables dans le temps.                                                  |
| <b>MNA</b> | : Redéfinition des chargements nodaux en cas de mouvement transitoire de la surface libre au cours du calcul.                   |
| <b>MUL</b> | : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.                                               |
| <b>NAP</b> | : Mouvement de la surface libre à l'équilibre distinguant les parties sèches et saturées du massif.                             |
| <b>MUL</b> | : Utilisation du solveur externe PARDISO.                                                                                       |
| <b>SRE</b> | : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.                                                                 |
| <b>STK</b> | : Stockage des résultats (déplacements et charge hydraulique) du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.        |
| <b>STH</b> | : Stockage de la charge hydraulique du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.                                  |
| <b>STU</b> | : Stockage des déplacements du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.                                          |

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

Fin des données du module **CSNL**.

## Module DTLI

## Résolution d'un problème de diffusion transitoire linéaire par intégration directe. (Diffusion Transitoire Linéaire)

## 1 - Lignes d'en tête

```

* DTLI                                     (mot-clé)

* M                                         (d)

M      : Indice d'impression ;
      = 0 Impression de :
          - nombre de pas de temps.
      = 1 Impression de M = 0 plus :
          - fonctions portant sur le paramètre (si l'option
            LIM est utilisée),
          - fonctions de chargement (si l'option CFT est
            utilisée),
          - inertie (thermique) de la structure.
      = 2 Impression de la solution à chaque pas de temps.
      = 4 Impression des gradients à chaque pas de temps.
      = 8 Impression des flux à chaque pas de temps.

```

## Remarques :

Pour obtenir des combinaisons des possibilités définies ci-dessus, donner à M une valeur égale à la somme des options retenues. Exemple : pour impression de la solution et des flux donner M = 10 (= 2+8).

L'action de l'indice d'impression M se combine avec celle du module **IMPR**. Si en particulier le mot-clé **IMPR** est omis du jeu de données, les options d'impression correspondant à M = 2, 4 ou 8 sont inopérantes.

## 2 - Définition des pas de temps

\* NPAS1 (d)

NPAS1 = NPAS + 1

avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème.

\* T0, (DT(I), I = 1, NPAS) (d)

T0 : Origine du temps.

DT(I) : Valeur du Ième pas de temps.

## 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **DTLI** est structurée en options annoncées chacune par l'un des mots-clé de 3 lettres suivants :

**CFT** : Données des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans le module **CHAR**.

**INI** : Initialisation du champ de paramètres au temps T0.

**LIM** : Définition de conditions limites sur l'inconnue principale variables avec le temps.

**SRE** : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.

**STK** : Stockage des résultats du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du module DTLI**



## Module DTNL

Résolution d'un problème de diffusion transitoire non linéaire.  
(Diffusion Transitoire Non Linéaire)

## 1 - Lignes d'en-tête

\* DTNL (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression ;  
 = 0 Impression de :  
     - nombre de pas de temps,  
 = 1 Impression de M=0 plus :  
     - fonctions portant sur le paramètre (si l'option **LIM** est utilisée).  
     - fonctions de chargement (si l'option **CFT** est utilisée).  
 = 2 Impression de la solution à chaque pas de temps.  
 = 4 Impression des gradients à chaque pas de temps.  
 = 8 Impression des flux à chaque pas de temps.

## Remarques :

Pour obtenir des combinaisons des possibilités définies ci-dessus, donner à M une valeur égale à la somme des options retenues. Exemple : pour l'impression de la solution et des flux, donner : M = 10 (= 2 + 8) .

L'action de l'indice d'impression M se combine avec celle du module **IMPR**. Si en particulier le mot-clé **IMPR** est omis du jeu de données, les options d'impression correspondant à M = 2, 4 ou 8 sont inopérantes.

\* METHOD (1 lettre)

METHOD : Indicateur du type de méthode utilisée pour la résolution du problème ;  
 = P pour méthode du point fixe.  
 = N pour méthode de Newton.

\* NITER , TOL (d)

NITER : Nombre maximum d'itérations autorisées.  
 TOL : Précision souhaitée sur la valeur du paramètre .

\* NENL (d)

NENL : Nombre de groupes d'éléments d'échange, non linéaires, uniquement.

## 2 -Définition des pas de temps

\* NPAS1 (d)

NPAS1 = NPAS + 1  
 avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème.

\* T0 , (DT(I), I=1, NPAS) (d)

T0 : Origine du temps .

DT(I) : Valeur du Ième pas de temps .

## 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **DTNL** est structurée en options annoncées par les mots-clé de 3 lettres suivants :

**CFT** : Donnée des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans le module **CHAR**.

**ENL** : Donnée des fonctions du temps relatives aux variations du paramètre extérieur le long des groupes d'éléments d'échange non linéaires.

**INI** : Initialisation des valeurs nodales du paramètre au temps T0.

**LIM** : Définition de conditions aux limites sur l'inconnue principale variables avec le temps.

**MUL** : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.

**PAR** : Utilisation du solveur externe PARDISO.

**SRE** : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.

**STK** : Stockage des résultats du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

## Fin des données du module DTNL

## Module DYNl

## Recherche de la réponse à une sollicitation dynamique par intégration directe. (DYNamlque)

## 1 - Lignes d'en-tête

\* DYNl (mot-clé)

\* MID, MIR (d)

MID : Indice d'impression relatif aux données

- = 0 Impression de :
  - NPASl (voir ci-dessous).
  - nombre de pas de temps (NPAS = NPASl-1).
  - valeur du temps initial (T0).
  - valeur du pas de temps (DT).
  - valeurs des coefficients de Rayleigh, si le problème comporte de l'amortissement (cf. option **AMO**).
  - masse de la structure.
  - valeur du coefficient de pénalisation utilisé dans la prise en compte des conditions aux limites.
- = 1 Impression des données précédentes plus :
  - fonctions de déplacement si l'option **LIM** est utilisée.
  - fonctions de chargement si l'option **CFT** est utilisée.

MIR : Indice d'impression des résultats.

- = 0 Impression des déplacements, à chacun des pas de temps.
- = 1 Impression des déplacements et des vitesses, à chacun des pas de temps.
- = 2 Impression des déplacements, vitesses et accélérations, à chacun des pas de temps.

## Remarque :

L'action de l'indice d'impression MIR se combine avec celle du module **IMPR**. Si en particulier le mot-clé **IMPR** est omis du jeu de données, les options d'impression correspondant à MIR = 0, 1 ou 2 sont inopérantes.

## 2 - Définition des pas de temps

\* NPAS1 (d)

NPAS1 = NPAS + 1

avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème.

\* T0, DT (d)

T0 : Valeur du temps initial.

DT : Valeur du pas de temps.

## 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **DYNI** est structurée en options annoncées chacune par l'un des mots-clé de trois lettres suivants :

**AMO** : Prise en compte d'une matrice d'amortissement.

**CFT** : Donnée des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans le module **CHAR**.

**INI** : Initialisation des déplacement et des vitesses au temps T0.

**LIM** : Définition de conditions aux limites sur l'inconnue principale (déplacements) variables avec le temps.

**MUL** : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.

**SRE** : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.

**STK** : Stockage des résultats du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du module DYNI**

**Module FLAM****Résolution d'un problème de flambement linéaire.  
(FLAMbement)****1 - Ligne d'en tête**

\* FLAM (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression.  
 = 0 Impression de la valeur propre ;  
 = 1 Idem 0 + Impression des vecteurs propres (selon IMPR) ;  
 = 2 Idem 1 + Impression du suivi des valeurs propres pendant les itérations de la méthode de JACOBI.

**2 - Donnée des paramètres généraux**

\* VD (d)

VD : Valeur du « shift » permettant de centrer la recherche sur les modes dont les valeurs proches sont les plus proches de VD. Pour la recherche du ou des premiers modes, faire VD = 0.

\* NVALP (d)

NVALP : Nombre de modes propres désirés.

\* NSE (d)

NSE : Dimension du sous-espace utilisé pour déterminer les NVALP modes propres.  
 Si NSE = 0, NSE est pris par défaut égal à :  

$$NSE = \text{MIN} (NVALP + 8 , 2 \times NVALP).$$
 Pour la recherche du seul premier mode, faire :  

$$NSE = NVALP = 1.$$

\* TOL (d)

TOL : Précision relative souhaitée pour les valeurs propres.  
 Si TOL = 0. , TOL est pris par défaut égal à  $10^{-5}$ .

\* NITER (d)

NITER : Nombre maximum autorisé d'itérations de sous-espace.  
 Si NITER = 0, NITER est pris par défaut égal à 15.

\* IVERIF

(d)

IVERIF : Indicateur permettant de vérifier que le nombre de valeurs propres trouvées est égal au nombre de valeurs propres existant dans l'intervalle considéré ;  
= 0 Si l'on ne veut pas faire cette vérification.  
= 1 Si on veut la faire.

Si  $VD = 0$ . on recherche ainsi le nombre de valeurs propres inférieures ou égales à la valeur maximale des NVALP valeurs propres trouvées.

Si  $VD \neq 0$ . le programme recherche le nombre de valeurs propres comprises dans l'intervalle  $[VD - A, VD + A]$  avec :  
 $A = \text{Max}_I (|VALP(I) - VD|)$   
pour  $I = 1$  à NVALP.

### 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **FLAM** est structurée en options annoncées chacune par l'un des mots-clés de trois lettres suivants :

**MUL** : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

### Fin des données du module FLAM

**Module LIGC****Résolution d'un problème linéaire par la méthode du gradient conjugué.  
(Linéaire Gradient Conjugué)****1 - Lignes d'en-tête**

```

* LIGC                                     (mot-clé)

* M                                     (d)

M      : Indice d'impression ;
        = 0 Impression de la solution.
        = 1 Impression de M = 0, de la progression de la convergence,
          et des réactions.
        = 2 Impression de M=1, et affichage (écran, fichier de suivi)
          du numéro de l'itération et de la norme du résidu (valeur
          du rapport  $\|r_n\|_p / \|r_0\|_p$  )

```

**2 - Donnée des paramètres généraux**

```

* EPS                                     (d)

EPS      : Tolérance de convergence (voir description).

```

**3 - Autres données**

L'introduction des autres données du module **LIGC** est structurée en option annoncée par le mot-clé de 3 lettres suivant :

```

PCD      : Préconditionnement du système linéaire.

```

Pour les données relatives à cette option, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du module LIGC**

**Module LINC**

**Recherche de la réponse à une sollicitation harmonique avec amortissement (résolution d'un problème linéaire en variables complexes).  
(LINéaire Complexe)**

---

**1 - Ligne d'en tête**

\* LINC (mot-clé)

**2 - Donnée des paramètres généraux**

\* OMEGA (d)

OMEGA : Pulsation de la sollicitation.

\* A, B (d)

A, B : Coefficients permettant de calculer une matrice d'amortissement de type Rayleigh définie par :  

$$C_R = A * K + B * M$$

A : Coefficient de Rayleigh relatif à la matrice de rigidité.

B : Coefficient de Rayleigh relatif à la matrice de masse.

**Fin des données du module LINC**



**Module LINE****Résolution d'un problème linéaire en élasticité ou diffusion.  
(LINEaire)****1 - Lignes d'en-tête**

```
* LINE                                     (mot-clé)

* M                                       (d)

M      : Indice d'impression ;
        = 0 Impression de la solution.
        = 1 Impression de M = 0 et des réactions.
```

**2 - Donnée des paramètres généraux**

```
* IRG, ISG                               (d)

IRG      : Indicateur de reprise ;
          = 0 Nouveau calcul.
          = 1 Reprise sur fichiers (matrice de rigidité triangulée et
          diagonale).

ISG      : Indicateur de stockage ;
          = 0 Calcul sans stockages.
          = 1 Calcul avec stockages sur fichiers (matrice de rigidité
          triangulée et diagonale) pour reprise ultérieure.

* Si IRG = 1 ou ISG = 1, lecture de :

** NOMFD                               (d)

NOMFD    : Nom du fichier contenant la diagonale de la matrice triangulée.

** NOMFS                               (d)

NOMFS    : Nom du fichier contenant la partie supérieure de la matrice
          triangulée.
```

**3 - Autres données**

L'introduction des autres données du module **LINE** est structurée en option annoncée par le mot-clé de 3 lettres suivant :

```
MUL      : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du
          système linéaire.
```

Pour les données relatives à cette option, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du module LINE**

**Module LINH**

**Recherche de la réponse à une sollicitation harmonique sans amortissement.  
(LINéaire Harmonique)**

---

---

**1 - Lignes d'en tête**

\* LINH (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression.  
= 0 Impression de la solution.  
= 1 Impression M = 0 et des réactions.

**2 - Donnée des paramètres généraux**

\* OMEGA (d)

OMEGA : Pulsation de la sollicitation.

**Fin des données du module LINH**

**Module MCNL**

**Résolution d'un problème mécanique à comportement non linéaire.**  
**(Mécanique, Comportement Non Linéaire)**

**1 - Ligne d'en tête**

\* MCNL (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression ;

- = 0 Impression de la solution.
- = 1 Impression de M=0 plus description du processus itératif de convergence.
- = 2 Affichage à l'écran (dans la fenêtre d'exécution du solveur CESAR) du résidu à chaque itération.

**2 - Donnée des paramètres généraux**

\* NINCR, NITER, TOL (d)

NINCR : Nombre d'incréments de chargement.

NITER : Nombre maximum d'itérations par incrément.

TOL : Tolérance relative sur la convergence. On choisira classiquement :  $10^{-3} \leq \text{TOL} \leq 10^{-2}$ .

\* IMET (d)

IMET : Choix de la méthode de résolution ;

- = 1 Méthode des contraintes initiales.
- = 2 Méthode de rigidité tangente.
- = 3 Méthode des contraintes initiales (expérimental).
- = 11 Méthode des contraintes initiales couplée avec la méthode line search.
- = 12 Méthode des contraintes initiales couplée avec la méthode sécante.
- = 13 Méthode des contraintes initiales couplée avec la méthode D-F-P modifiée.
- = 21 Méthode des contraintes initiales couplée avec une méthode d'incrément automatique du chargement.
- = 22 Méthode des contraintes initiales couplée avec une méthode d'incrément automatique du chargement et la méthode line search.
- = 23 Méthode des contraintes initiales couplée avec une méthode d'incrément automatique du chargement et la méthode sécante.

\* Si NCHAR > 0 :

NCHAR : Nombre de cas de charges (= nombre de mots-clé **CHAR** utilisés dans le jeu de données).

\*\* ((VFT(I,J), I = 1, NINCR), J=1, NCHAR) (d)

VFT : Vecteur définissant pour chaque cas de charge l'évolution du chargement au cours du calcul.

VFT(I,J) = coefficient multiplicateur du chargement J, appliqué entre le premier incrément de ce calcul et l'incrément I.

\* Si NCLNZ > 0 :

NCLNZ : Indicateur d'existence de condition(s) aux limites non nulle(s) (>0 si l'option **DDL** ou **IMP** du module **COND** est présente dans le jeu de données).

\*\* ((VCT(I,J), I = 1, NINCR), J=1, NCOND) (d)

VCT : Vecteur définissant pour chaque cas de condition aux limites l'évolution des déplacements imposés au cours du calcul.

VCT(I,J) = coefficient multiplicateur du champ de déplacements imposés J, appliqué entre le premier incrément de ce calcul et l'incrément I.

NCOND : Nombre de cas de conditions aux limites (= nombre de mots-clé **COND** utilisés dans le jeu de données).

### 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **MCNL** est structurée en options annoncées par les mots-clé de trois lettres suivants :

|            |                                                                                                 |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACT</b> | : Activation progressive des groupes d'éléments.                                                |
| <b>ARC</b> | : Redéfinition des paramètres de la méthode d'arc constant.                                     |
| <b>CMA</b> | : Stockage des contraintes de la phase matrice du modèle de de Buhan et Sudret.                 |
| <b>CR1</b> | : Stockage des contraintes de la phase de renforcement 1 du modèle de de Buhan et Sudret.       |
| <b>CR2</b> | : Stockage des contraintes de la phase de renforcement 2 du modèle de de Buhan et Sudret.       |
| <b>CRG</b> | : Stockage des contraintes globales des phases de renforcement du modèle de de Buhan et Sudret. |
| <b>CRM</b> | : Calcul en référentiel mobile.                                                                 |
| <b>DPL</b> | : Stockage du tenseur des déformations plastiques sur le fichier de résultats.                  |
| <b>DTO</b> | : Stockage du tenseur des déformations totales sur le fichier de résultats.                     |
| <b>FSC</b> | : Recherche d'une charge limite.                                                                |
| <b>FSR</b> | : Recherche d'un facteur de sécurité sur les résistance (c-phi réduction).                      |
| <b>GAU</b> | : Impression des résultats complémentaires aux points d'intégration.                            |
| <b>HPE</b> | : Post-traitement de calculs d'homogénéisation périodique                                       |
| <b>INI</b> | : Initialisation d'un calcul par lecture sur un fichier de reprise.                             |
| <b>ITC</b> | : Redéfinition du type d'intégration pour les contraintes.                                      |
| <b>ITG</b> | : Redéfinition du type d'intégration pour la rigidité.                                          |
| <b>MUL</b> | : Utilisation du solveur multifrontal pour la résolution du système linéaire.                   |
| <b>PAR</b> | : Utilisation du solveur externe PARDISO.                                                       |
| <b>NDP</b> | : Annulation des déplacements au moment de la lecture sur le fichier de reprise.                |
| <b>PRC</b> | : Modélisation de la précontrainte dans des éléments de barre.                                  |
| <b>PRS</b> | : Sortie des suppressions interstitielles (calcul non drainé).                                  |
| <b>REA</b> | : calcul de réaction nodales.                                                                   |
| <b>REB</b> | : Redémarrage d'un calcul non linéaire non convergé.                                            |
| <b>SFC</b> | : Sorties en fonction du chargement.                                                            |
| <b>SRE</b> | : Stockage des résultats pour exploitation graphique.                                           |

**STK** : Stockage sur fichier des résultats du dernier incrément pour reprise de calcul ultérieure.

**TRV** : Calcul d'un travail virtuel.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du module MCNL**

## Module MEXO

## Évolution des contraintes dans le béton au jeune âge.

## 1 - Ligne d'en tête

\* MEXO (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression;  
 = 0 Impression du nombre de pas de temps.  
 = 1 Impression de M = 0 plus :  
   - fonctions portant sur le paramètre  
     (si l'option **LIM** est utilisée),  
   - fonctions de chargement  
     (si l'option **CFT** est utilisée).  
 = 2 Impression de la solution à chaque pas de temps.  
 = 4 Impression des contraintes à chaque pas de temps.

## Remarques :

Pour obtenir des combinaisons des possibilités définies ci-dessus, donner à M une valeur égale à la somme des options retenues.

Pour M > 1, affichage à l'écran (dans la fenêtre d'exécution du solveur CESAR) du résidu à chaque itération.

\* NPAS1

NPAS1 = NPAS + 1  
 avec NPAS : Nombre de pas de temps du calcul MEXO.

## Remarques :

Le pas de calcul correspondant à l'instant initial (y compris en cas de reprise de calcul **MEXO**) doit obligatoirement être retenu.

NPAS est dépendant du nombre de pas de temps du calcul **TEXO** et des paramètres des options de chaînage **SRE<sub>TEXO</sub>-TXO<sub>MEXO</sub>** ou **PTX<sub>TEXO</sub>-PTX<sub>MEXO</sub>**.

## 2 - Autres données

L'introduction des autres données du module **MEXO** est structurée en options annoncées par l'un des mots-clé de 3 lettres suivants :

|            |                                                                                                                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CFT</b> | : Définition des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans le module <b>CHAR</b> .                                                  |
| <b>EFN</b> | : Calcul en section plane.                                                                                                                          |
| <b>INI</b> | : Initialisation des champs de déplacements et de contraintes et reprise de calcul <b>MEXO</b> .                                                    |
| <b>LIM</b> | : Définition de conditions aux limites sur l'inconnue principale variables avec le temps.                                                           |
| <b>MUL</b> | : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.                                                                   |
| <b>PTX</b> | : Lecture des champs de température et de degré d'hydratation sur le fichier spécifique créé par l'option de même nom lors du calcul <b>TEXO</b> .  |
| <b>SRE</b> | : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.                                                                                     |
| <b>STK</b> | : Stockage des résultats du dernier pas de temps pour reprise de calcul <b>MEXO</b> ultérieure.                                                     |
| <b>TXO</b> | : Lecture des champs de température et de degré d'hydratation sur le fichier de résultats créé par l'option <b>SRE</b> lors du calcul <b>TEXO</b> . |

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

Remarque :

Les options **PTX** et **TXO** sont exclusives, mais il faut obligatoirement la présence de l'une des deux.

**Fin des données du module MEXO**



**Module MODE****Recherche de modes propres (Valeurs et vecteurs propres).  
(MODEs propres)****1 - Lignes d'en tête**

```

* MODE                                     (mot-clé)

* M                                       (d)

M      : Indice d'impression.
        = 0 Impression des valeurs propres.
        = 1 Idem 0 + Impression des vecteurs propres (selon IMPR) ;
        = 2 Idem 1 + Impression de la masse totale + suivi des valeurs
              propres pendant les itérations de la méthode de JACOBI.

```

**2 - Données des paramètres généraux**

```

* INDIC                                     (d)

INDIC  : Indicateur permettant de déterminer le type de calcul à
        effectuer ;
        = 1 Recherche du nombre de valeurs propres inférieures à une
              valeur donnée VD.
        = 2 Recherche de valeurs propres proches d'une valeur donnée
              (VD) et des vecteurs propres correspondants.

* VD                                       (d)

VD      : Valeur prenant la signification suivante :

Si INDIC = 1 le calcul donnera le nombre de valeurs propres inférieures
à VD.

Si INDIC = 2 les valeurs propres calculées seront les plus proches de
VD. Pour la recherche des premiers modes, faire VD = 0.

* Si INDIC = 1, il n'y a pas d'autres données à fournir

* Si INDIC = 2, donnée de :

** NVALP                                     (d)

NVALP   : Nombre de modes propres désirés.

** NSE                                       (d)

NSE      : Dimension du sous-espace utilisé pour déterminer les NVALP
              modes propres.

Si NSE = 0, NSE est pris par défaut égal à :

```

$$NSE = \text{MIN} (NVALP + 8 , 2 \times NVALP) .$$

\*\* TOL (d)

TOL : Précision relative souhaitée pour les valeurs propres.  
Si TOL = 0. , TOL est pris par défaut égal à  $10^{-5}$ .

\*\* NITER (d)

NITER : Nombre maximum autorisé d'itérations de sous-espace.  
Si NITER = 0, NITER est pris par défaut égal à 15.

\*\* IVERIF (d)

IVERIF : Indicateur permettant de vérifier que le nombre de valeurs propres trouvées est égal au nombre de valeurs propres existant dans l'intervalle considéré ;  
= 0 Si l'on ne veut pas faire cette vérification.  
= 1 Si on veut la faire.

Si VD = 0. : on recherche ainsi le nombre de valeurs propres inférieures ou égales à la valeur maximale des NVALP valeurs propres trouvées.

Si VD  $\neq$  0. : le programme recherche le nombre de valeurs propres comprises dans l'intervalle  $[VD - A , VD + A]$  avec :  $A = \text{Max}_I (|VALP(I) - VD|)$  pour I = 1 à NVALP.

\*\* ISV (d)

ISV : Indicateur de stockage relatif aux valeurs et vecteurs propres ;  
= 0 Aucun stockage.  
= 1 Stockage des valeurs et vecteurs propres sur fichier pour une utilisation éventuelle dans le module **SUMO**.

\*\* Si ISV = 1, lecture de :

\*\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier de stockage des valeurs et vecteurs propres.

### 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **MODE** est structurée en options annoncées chacune par l'un des mots-clés de trois lettres suivants :

**MUL** : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

### Fin des données du module **MODE**

**Module MPLI**

**Résolution d'un problème d'évolution linéaire en milieu poreux  
avec couplage thermique.  
(Milieu Poreux Linéaire)**

---

**1 - Lignes d'en-tête**

```

* MPLI                                     (mot-clé)

* M                                         (d)

M      : Indice d'impression;
      = 0 Impression de:
          1) Nombre et valeurs des pas de temps.
      = 1 Impression supplémentaire de:
          2) Fonctions de chargement,
          3) Fonctions des paramètres imposés.

```

**2 - Définition des pas de temps**

```

* NPAS1                                     (d)

NPAS1  = NPAS + 1
        avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le
                    problème.

* T0, (DT(I), I=1,NPAS)                     (d)

T0      : Origine du temps.

DT(I)   : Valeur du Ième pas de temps.

```

**Remarque :**

Le module **MPLI** permet de prendre en compte des chargements discontinus dans le temps. Il en résulte, en général, une discontinuité de la solution dans le temps. Une telle discontinuité, au lème pas de temps, est prise en compte par le module **MPLI** en faisant simplement  $DT(I)=0$ .

### 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **MPLI** est structurée en options annoncées par les mots-clé de 3 lettres suivants :

|            |                                                                                                                                             |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CFT</b> | : Données des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans <b>CHAR</b> .                                                       |
| <b>INP</b> | : Initialisation de la pression au temps T0.                                                                                                |
| <b>INT</b> | : Initialisation de la température au temps T0.                                                                                             |
| <b>INU</b> | : Initialisation des déplacements au temps T0.                                                                                              |
| <b>LIM</b> | : Données des fonctions du temps relatives aux conditions aux limites (en déplacement, pression et température) définies dans <b>COND</b> . |
| <b>SRE</b> | : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.                                                                             |
| <b>STP</b> | : Stockage des pressions sur fichier en vue d'une initialisation (option <b>INP</b> ) lors d'un calcul ultérieur.                           |
| <b>STT</b> | : Stockage des températures sur fichier en vue d'une initialisation (option <b>INT</b> ) lors d'un calcul ultérieur.                        |
| <b>STU</b> | : Stockage des déplacements sur fichier en vue d'une initialisation (option <b>INU</b> ) lors d'un calcul ultérieur.                        |

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

### Fin des données du module MPLI

**Module MPNL****Résolution d'un problème d'évolution non linéaire en milieu poreux avec couplage thermique.  
(Milieu Poreux Non Linéaire)****1 - Ligne d'en tête**

\* MPNL (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression;  
 = 0 Impression de:  
     1) Nombre et valeurs des pas de temps.  
 = 1 Impression supplémentaire de:  
     2) Fonctions de chargement,  
     3) Fonctions des paramètres imposés.  
 = 2 Affichage à l'écran (dans la fenêtre d'exécution du solveur CESAR) du résidu à chaque itération.

**2 - Définition des caractéristiques de l'algorithme et des pas de temps**

\* NITER, TOL (d)

NITER : Nombre maximum d'itération par pas de temps.

TOL : Tolérance relative sur la convergence. On pourra choisir  $10^{-4} < \text{TOL} < 10^{-2}$ .

\* IMET (d)

IMET : Choix de la méthode de résolution;  
 = 0 Méthode des contraintes initiales : schéma semi-implicite;  
 = 1 Méthode des contraintes initiales : schéma implicite.

\* NPAS1 (d)

NPAS1 = NPAS + 1  
 avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème.

\* T0, (DT(I), I=1,NPAS) (d)

T0 : Origine du temps.

DT(I) : Valeur du Ième pas de temps.

Remarque :

Le module **MPNL** permet de prendre en compte des chargements discontinus dans le temps. Il en résulte, en général, une discontinuité de la solution dans le temps. Une telle discontinuité, au  $i$  ème pas de temps, est prise en compte par le module **MPNL** en faisant simplement  $DT(i)=0$ .

### 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **MPNL** est structurée en options annoncées par les mots-clé de 3 lettres suivants:

|            |                                                                                                                                                                            |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CFT</b> | : Données des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans <b>CHAR</b> .                                                                                      |
| <b>DPL</b> | : Stockage du tenseur des déformations plastiques sur le fichier de résultats.                                                                                             |
| <b>DTO</b> | : Stockage du tenseur des déformations totales sur le fichier de résultats.                                                                                                |
| <b>INI</b> | : Initialisation complète, au temps $T_0$ , des valeurs nodales principales et secondaires à partir des résultats d'un calcul antérieur stockés avec l'option <b>STK</b> . |
| <b>INP</b> | : Initialisation de la pression au temps $T_0$ .                                                                                                                           |
| <b>INT</b> | : Initialisation de la température au temps $T_0$ .                                                                                                                        |
| <b>INU</b> | : Initialisation des déplacements au temps $T_0$ .                                                                                                                         |
| <b>LIM</b> | : Données des fonctions du temps relatives aux conditions aux limites ( en déplacement, pression et température) définies dans <b>COND</b> .                               |
| <b>SRE</b> | : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.                                                                                                            |
| <b>STK</b> | : Stockage des résultats pour une reprise de calcul ultérieure avec l'option <b>INI</b> .                                                                                  |
| <b>STP</b> | : Stockage des pressions sur fichier en vue d'une initialisation (option <b>INP</b> ) lors d'un calcul ultérieur.                                                          |
| <b>STT</b> | : Stockage des températures sur fichier en vue d'une initialisation (option <b>INT</b> ) lors d'un calcul ultérieur.                                                       |
| <b>STU</b> | : Stockage des déplacements sur fichier en vue d'une initialisation (option <b>INU</b> ) lors d'un calcul ultérieur.                                                       |

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du module MPNL**

## Module NAPP

Calcul de nappe aquifère en régime permanent ou transitoire.  
(NAPPe aquifère)

## 1 - Lignes d'en-tête

```

* NAPP                                     (mot-clé)

* M                                         (d)

M      : Indice d' impression ;
      = 0 Impression de :
          - nombre de couches de l'aquifère,
          - caractéristiques physiques des couches,
          - nombre de pas de temps.
      = 1 Impression de M=0 , plus :
          - cotes aux noeuds du maillage des NC couches,
          - fonctions de variation des conditions aux limites (si
            l'option LIM est utilisée),
          - fonctions de chargement (si l'option CFT est utilisée)
          .
      = 2 Impression de la solution à chaque pas de temps.
      = 4 aImpression des gradients à chaque pas de temps.
      = 8 Impression des vitesses à chaque pas de temps.

```

Remarque :

Pour obtenir des combinaisons des possibilités définies ci-dessus, donner à M une valeur égale à la somme des options retenues. Exemple : pour impression de la solution et des vitesses, donner M = 10 (= 2 + 8) .

## 2 - Données des caractéristiques géométriques des couches

```

* NC                                         (d)

NC      : Nombre de couches de l'aquifère.

A) * Pour chacune des couches de l'aquifère, donnée de :

** MSUB                                     (d)

MSUB    : Indicateur de type de données ;
      = 0 Donnée en chaque noeud de la limite inférieure de la
          couche .
      = 1 Si la limite inférieure de la couche est un plan défini
          par sa normale et un point lui appartenant .
      = 2 Si cette limite est un plan donné par son équation de la
          forme :  $Z = (A * X) + (B * Y) + C$  .
      = 3 Si les cotes sont lues sur fichier.

```

\*\* Si MSUB = 0, donnée de :

\*\*\* (Z(I), I=1, NNT) (d)

Z : Tableau des cotes inférieures de la couche considérée.

NNT : Nombre de noeuds du maillage .

\*\* Si MSUB = 1 , donnée de :

\*\*\* XN, YN, ZN, X1, Y1, Z1 (d)

XN, YN, ZN : Composantes de la normale au plan .

X1, Y1, Z1 : Coordonnées d'un point du plan .

\*\* Si MSUB = 2 , donnée de :

\*\*\* A, B, C (d)

A, B, C : Coefficients de l'équation :

$Z = (A * X) + (B * Y) + C$  .

\*\* Si MSUB = 3, donnée de :

\*\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier sur lequel on lit le tableau Z.

\*\*\* (Z(I), I = 1, NNT) (f)

Z : Tableau des cotes inférieures de la couche considérée  
(en double-précision).

NNT : Nombre de noeuds du maillage .

\*\* Retour en A) s'il reste une ou plusieurs couches à décrire.

### 3 - Données des caractéristiques physiques des couches

\* Pour chaque groupe d'éléments ,

\*\* Pour chacune des couches de l'aquifère , donnée de :

\*\*\* AKX, AKY, AKXY, POR (d)

AKX ) Coefficients du tenseur des perméabilités

AKY ) horizontales de la couche considérée .

AKXY )

POR : Porosité de la couche .



#### 4 - Paramètres généraux

\* NITER , TOL (d)

NITER : Nombre maximum d'itérations autorisées .

TOL : Précision souhaitée sur la valeur de la charge

\* NPAS1 (d)

NPAS1 = NPAS + 1

avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème.

\* T0, (DT(I), I=1, NPAS) (d)

T0 : Origine du temps .

DT(I) : Valeur du Ième pas de temps .

#### 5 - Autres données

L'introduction des autres données du module **NAPP** est structurée en options annoncées par les mots-clé de 3 lettres suivants :

**CFT** : Donnée des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans le module **CHAR**.

**INI** : Initialisation des valeurs nodales du paramètre (charge hydraulique) au temps T0.

**LIM** : Définition de conditions aux limites sur l'inconnue principale (charge) variables avec le temps.

**SRE** : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.

**STK** : Stockage des résultats du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

#### Fin des données du module NAPP

## Module NSAT

## Résolution d'un problème d'écoulement en milieu poreux non saturé. (Non SATuré)

## 1 - Lignes d'en-tête

\* NSAT (mot clé)

\* M (d)

M : indice d'impression ;  
 = 0 Impression de :  
     - nombre de pas de temps.  
 = 1 Impression de M = 0 plus :  
     - fonctions portant sur le paramètre  
       (si l'option **LIM** est utilisée) ;  
     - fonctions de chargement (si l'option **CFT** est  
       utilisée)  
 = 2 Impression de la solution à chaque pas de temps.  
 = 4 Impression des gradients à chaque pas de temps.  
 = 8 Impression des vitesses à chaque pas de temps.

## Remarques :

Pour obtenir des combinaisons des possibilités définies ci-dessus, donner à M une valeur égale à la somme des options retenues. Exemple : pour impression de la solution et des vitesses, donner M = 10 (= 2 + 8). Pour M > 1, affichage à l'écran (dans la fenêtre d'exécution du solveur CESAR) du résidu à chaque itération.

\* VX, VY, VZ (d)

VX, VY, VZ : Composantes dans le repère ayant servi à définir le maillage, du vecteur unitaire orienté suivant la verticale ascendante du lieu géographique considéré.

\* MET1, MET2 (2\*1 lettre)

MET1, MET2 : Indicateurs du type de méthode utilisé pour la résolution du problème ;  
 MET1 = P pour méthode du point fixe.  
       = N pour méthode de Newton.  
 MET2 = H pour résolution à l'aide de la charge hydraulique.

\* NITER, TOL (d)

NITER : Nombre maximum d'itérations autorisées.  
 TOL : Précision souhaitée sur la valeur de la charge hydraulique.

## 2 - Définition des pas de temps

\* NPAS1 (d)

NPAS1 = NPAS + 1

avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème.

\* T0, (DT(I), I = 1, NPAS) (d)

T0 : Origine du temps.

DT(I) : Valeur du Ième pas de temps.

## 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **NSAT** est structurée en options annoncées par les mots-clé de 3 lettres suivants :

**CFT** : Donnée des fonctions du temps relatives aux chargements hydrauliques définis dans le module **CHAR**.

**INI** : Initialisation des valeurs nodales du paramètre (charge hydraulique) au temps T0.

**LIM** : Définition de conditions aux limites sur l'inconnue principale (charge hydraulique) variables avec le temps.

**MUL** : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.

**SRE** : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.

**STK** : Stockage des résultats du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.

**SUI** : Définition de surfaces de suintement.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

## Fin des données du module NSAT

**Module SSTR****Calcul de la matrice de rigidité d'une sous-structure.  
(Sous - STRucture)****1 - Lignes d'en-tête**

```

* SSTR (mot-clé)

* M (d)
    M      : Indicateur d'impression ;
             = 0 Aucune impression.
             = 1 Impression du second membre et de la matrice de sous-
                 structure, ligne par ligne.

* M1 (d)
    M1      : Indicateur de stockage de la matrice de sous-structure;
             = 0 Pas de stockage.
             = 1 Stockage sur fichier de la moitié inférieure de la matrice
                 de sous- structure.

* Si M1 = 1, lecture de :

** NOMF1 (d)
    NOMF1    : Nom du fichier de stockage de la matrice de sous- structure

* M2 (d)
    M2      : Indicateur de stockage du second membre;
             = 0 Pas de stockage.
             = 1 Stockage sur fichier.

* Si M2 = 1, lecture de :

** NOMF2 (d)
    NOMF2    : Nom du fichier de stockage du second membre.

```

**2 - Lecture des paramètres généraux**

```

* INDIC (d)
    INDIC    : Indicateur du type de calcul effectué ;
             = 0 Si la matrice de sous- structure est extraite de la matrice
                 de rigidité K.
             = 1 Si la matrice de sous- structure est extraite de la matrice
                 :  $A * K + B * M$  , où  $M$  est la matrice de masse, et  $(A,B)$ 
                 deux constantes.

* Si INDIC = 1, lecture de :

** A, B (d)

```

A : Coefficient multiplicateur de la matrice de rigidité.  
 B : Coefficient multiplicateur de la matrice de masse.

### 3 - Lecture des degrés de liberté de la sous-structure

\* A)

\*\* IGEN (d)

IGEN : Indicateur permettant de définir le procédé utilisé pour la génération d'un ensemble de numéros de noeuds ;  
 = 1 Si les numéros sont définis par la donnée de ID, IF, IPAS.  
     ID : Numéro du premier noeud à générer.  
     IF : Numéro du dernier noeud à générer.  
     IPAS : Pas de progression entre ID et IF.  
 = 2 Si les numéros sont définis par la donnée de NP, (NUM(I), I = 1, NP).  
     NP : Nombre de numéros de noeuds à définir.  
     NUM : Liste de ces numéros.

\*\* Si IGEN = 1, donnée de :

\*\*\* ID, IF, IPAS (d)

\*\* Si IGEN = 2, donnée de :

\*\*\* NP, (NUM(I), I = 1, NP) (d)

\*\* (IDL(I), I = 1, IDLE) (d)

IDL : Vecteur permettant de définir les degrés de liberté qui appartiennent à la sous-structure, pour l'ensemble des noeuds générés précédemment;  
 IDL(I) = 1 Si les degrés de liberté numéro I des noeuds précédemment générés font partie de la sous-structure.  
 IDL(I) = 0 S'ils n'en font pas partie.  
 IDLE : Nombre maximum de degrés de liberté par noeud pour le maillage considéré.

\* Retour en A) si l'on désire générer d'autre degrés de liberté appartenant à la sous-structure.

\* Terminer la séquence par un 0.

### Fin des données du module SSTR

## Module SUMO

## Recherche de la réponse à une sollicitation dynamique par superposition modale. (SUPERposition MODale)

## 1 - Ligne d'en tête

```

* SUMO (mot-clé)

* M (d)

M : Indice d'impression.
  = 0 Impression de :
    - spectre de réponse (s'il est donné).
    - pourcentages d'amortissement critique(s'ils sont
      donnés.
    - intervalle de temps.
    - modes propres retenus.
    - résultats.
  = 1 Impression de M = 0 plus :
    - fonctions du temps fournies en données.
    - vitesses et déplacements initiaux.
  = 2 Impression de M = 1 plus :
    - pourcentages de participation modale.

* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier sur lequel ont été stockés les modes propres
      calculés à l'aide du module MODE.

```

## 2 - Donnée des paramètres généraux

```

* (KMODE (I), I = 1, NVALP) (d)

KMODE : Vecteur indiquant les modes propres retenus pour la
        superposition;
        Si KMODE(I) = 1, le mode I est retenu.
        Si KMODE(I) = 0, le mode I n'est pas retenu.

NVALP : Nombre de modes propres calculés à l'aide du module MODE (cette
        valeur est lue sur le fichier de résultats créé par le module
        d'exécution MODE).

* IPROB (d)

IPROB : Indicateur permettant de déterminer le type de calcul à
        effectuer;
        = 1 Calcul spectral suivant la racine carrée de la somme des
          carrés (méthode SRSS).
        = 2 Calcul de la réponse complète.
        = 3 Calcul spectral avec combinaison quadratique complète
          (méthode CQC).

```

\* Si IPROB = 1 ou 3 :

\*\* ISPEC (d)

ISPEC : Indicateur permettant de déterminer si le spectre de réponse à la sollicitation est donné ;  
 = 0 Calcul du spectre de réponse en déplacement à partir de la valeur de la sollicitation à chaque pas de temps.  
 = 1 Donnée du spectre de réponse en déplacement.  
 = 2 Donnée du spectre de réponse en accélération.

\*\* Si ISPEC = 0, donnée de :

\*\*\* NPAS1 (d)

NPAS1 = NPAS + 1

avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème.

\*\*\* T0, DT (d)

T0 : Valeur du temps initial.

DT : Valeur du pas de temps.

\*\* Si ISPEC = 1 ou 2, donnée de :

\*\*\* (SPEC (I), I = 1, NMODE) (d)

SPEC(I) : Valeur du spectre de réponse correspondant au Ième mode retenu.

NMODE : Nombre de modes propres retenus à l'aide du tableau KMODE. (= nombre de 1 dans ce tableau,  $NMODE \leq NVALP$ )

\* Si IPROB = 2 :

\*\*\* NPAS1 (d)

NPAS1 : Nombre de pas de temps + 1.

\*\*\* T0, DT (d)

T0 : Valeur du temps initial.

DT : Valeur du pas de temps.

### 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **SUMO** est structurée en "Options" annoncées chacune par l'un des mots-clé de trois lettres suivants :

- AMO** : Définition des pourcentages d'amortissement critique associés à chaque mode.
- CFT** : Donnée des fonctions du temps relatives aux chargements définis dans le module **CHAR**.
- INI** : Initialisation des déplacements et des vitesses à des valeurs non nulles.
- SRE** : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

Remarques:

Les options **CFT**, **INI** sont inopérantes si IPROB = 1 ou 3 et ISPEC = 1 ou 2 .

L'option **SRE** est inopérante si IPROB = 1 ou 3 .

Si IPROB = 1 ou 3, les contraintes ne sont calculées que si leur impression est spécifiée par un module de gestion des données **IMPR**.

**Fin des données du module SUMO**



**Module SURF****Résolution d'un problème d'écoulement en milieu poreux avec surface libre dans le cas stationnaire. (SURFace libre)****1 - Ligne d'en-tête**

\* SURF (mot-clé)

**2 - Paramètres généraux**

\* POIDS (d)

POIDS : Poids volumique du fluide (POIDS =  $\rho g$ ).

\* VERTIX, VERTIY, VERTIZ (d)

VERTIX, VERTIY, VERTIZ : Composantes dans le repère ayant servi à définir le maillage, du vecteur unitaire vertical ascendant. (Faire VERTIZ = 0.).

\* NITER, TOL (d)

NITER : Nombre maximum d'itérations autorisées.

TOL : Précision souhaitée sur la valeur de la charge hydraulique.

**Remarques :**

Le processus itératif s'interrompt lorsque :

$$\text{Max } |h_i^{(n)} - h_i^{(n-1)}| < \text{TOL}$$

avec  $i$  : numéro de noeud du maillage,  
 $n$  : numéro d'itération ;

ou :  $n = \text{NITER}$ .

La convergence est supposée atteinte lorsqu'en tout noeud du maillage, la différence de charge hydraulique entre deux itérations successives est devenue inférieure à TOL.

**3 - Autres données**

L'introduction des autres données du module **SURF** est structurée en options annoncées par l'un des mots-clés de trois lettres suivants :

**STK** : Stockage sur fichier du vecteur de charges nodales en vue d'un calcul ultérieur en mécanique.

**SUI** : Définition des surfaces de suintement.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du module SURF**

**Module TACT****Résolution d'un problème de contact entre solides élastiques.  
(conTACT)****1 - Lignes d'en-tête**

\* TACT (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression ;

- = 0 Impression de la solution à la fin du calcul.
- = 1 Impression des étapes éventuelles de chargement et impression de la solution pour chaque incrément de chargement.
- = 2 Impression de M = 1 plus description du processus itératif de convergence, et affichage à l'écran (dans la fenêtre d'exécution du solveur CESAR) du résidu à chaque itération.
- = 3 Impression de M = 2 pour chaque sous-incrément de chargement.

**2 - Paramètres généraux**

\* NINCR, NITER, TOL (d)

NINCR : Nombre d'incréments de chargement.

NITER : Nombre maximum d'itérations par incrément.

TOL : Tolérance relative sur la convergence  
(on choisira classiquement  $TOL = 10^{-2}$  ou  $10^{-3}$ ).

\* IAUTO, KNP, KND, KNF (d)

IAUTO : Choix de la méthode de résolution ;

- = 0 Incrémentation manuelle du chargement.

KNP : Critère de non interpénétration ;

- = 1 Si on vérifie ce critère.
- = 0 Dans le cas contraire.

KND : Critère de décollement ;

- = 1 Si on vérifie ce critère.
- = 0 Dans le cas contraire.

KNF : Critère de frottement (loi de Coulomb) ;

- = 1 Si on vérifie ce critère.
- = 0 Dans le cas contraire.

### 3 - Définition des fonctions de chargement

\* Si NCHAR > 0 :

NCHAR : Nombre de cas de charges (= nombre de mots-clé **CHAR** utilisés dans le jeu de données).

\*\* ((VFT (I, J), I = 1, NINCR), J = 1, NCHAR) (d)

VFT : Vecteur définissant pour chaque cas de charge les coefficients multiplicateurs pour les différents incréments de chargement.

### 4 - Autres données

L'introduction des autres données du module **TACT** est structurée en options annoncées par les mots-clé de trois lettres suivants :

**INI** : Initialisation d'un calcul par lecture sur un fichier de reprise.

**NDP** : Annulation des déplacement au moment de la lecture sur le fichier de reprise.

**STK** : Stockage sur fichier des résultats du dernier incrément pour reprise de calcul ultérieure.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

### Fin des données du module TACT

**Module TCNL****Résolution d'un problème de contact entre solides à comportement non linéaire. (conTaCt entre solides Non Linéaire)****1 - Lignes d'en-tête**

\* TCNL (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression ;  
 = 0 Impression de la solution à la fin du calcul.  
 = 1 Impression des étapes éventuelles de chargement et impression de la solution pour chaque incrément de chargement.  
 = 2 Impression de M = 1 plus description du processus itératif de convergence, et affichage à l'écran (dans la fenêtre d'exécution du solveur CESAR) du résidu à chaque itération.  
 = 3 Impression de M = 2 pour chaque sous-incrément de chargement.

**2 - Paramètre généraux**

\* NINCR, NITER, TOL (d)

NINCR : Nombre d'incréments de chargement.

NITER : Nombre maximum d'itérations par incrément.

TOL : Tolérance relative sur la convergence  
 (on choisira classiquement  $TOL = 10^{-2}$   
 ou  $TOL = 10^{-3}$ ).

\* IAUTO, KNP, KND, KNF (d)

IAUTO : Choix de la méthode de résolution ;  
 = 0 Incrémentation manuelle du chargement.

KNP : Critère de non interpénétration ;  
 = 1 Si on vérifie ce critère.  
 = 0 Dans le cas contraire.

KND : Critère de décollement ;  
 = 1 Si on vérifie ce critère.  
 = 0 Dans le cas contraire.

KNF : Critère de frottement (loi de Coulomb) ;  
 = 1 Si on vérifie ce critère.  
 = 0 Dans le cas contraire.

### 3 - Définition des fractions de chargement

\* Si NCHAR > 0 :

NCHAR : Nombre de cas de charges (= nombre de mots-clé **CHAR** utilisés dans le jeu de données).

\*\* ((VFT(I,J), I = 1, NINCR), J=1, NCHAR) (d)

VFT : Vecteur définissant pour chaque cas de charge l'évolution du chargement au cours du calcul.

VFT(I,J) = coefficient multiplicateur du chargement J, appliqué entre l'instant initial de ce calcul et l'incrément I.

Remarque :

La fraction de charge appliquée entre les incréments i-1 et i vaut :  $VFT(i, j) - VFT(i-1, j)$ .

### 4 - Autres données

L'introduction des autres données du module **TCNL** est structurée en options annoncées par les mots-clé de trois lettres suivants :

**ACC** : Redéfinition du coefficient d'accélération par défaut.

**DPL** : Stockage du tenseur des déformations plastiques sur le fichier de résultats.

**DTO** : Stockage du tenseur des déformations totales sur le fichier de résultats.

**INI** : Initialisation d'un calcul par lecture sur un fichier de reprise.

**MUL** : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.

**NDP** : Annulation des déplacements au moment de la lecture sur le fichier de reprise.

**PRC** : Modélisation de la précontrainte dans les éléments de barre

**STK** : Stockage sur fichier des résultats du dernier incrément pour reprise de calcul ultérieure.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

**Fin des données du Module TCNL**

## Module TEXO

**Calcul du champ de température se développant dans une pièce  
en béton en cours de prise.  
(Température EXOthermique)**

## 1 - Ligne d'en tête

\* TEXO (mot-clé)

\* M (d)

M : Indice d'impression;  
 = 0 Impression du nombre de pas de temps.  
 = 1 Impression de M = 0 plus :  
   - fonctions portant sur le paramètre  
     (si l'option **LIM** est utilisée),  
   - fonctions de chargement  
     (si l'option **CFT** est utilisée).  
 = 2 Impression de la solution à chaque pas de temps.  
 = 4 Impression des gradients à chaque pas de temps.  
 = 8 Impression des flux thermiques à chaque pas de temps.

## Remarques :

Pour obtenir des combinaisons des possibilités définies ci-dessus, donner à M une valeur égale à la somme des options retenues. Exemple : pour l'impression de la solution et des vitesses, donner : M = 10 (= option 2 + option 8).

Ces impressions restent de plus sujettes à l'utilisation du module de gestion de données **IMPR**. En particulier si celui-ci n'est omis, les options 2, 4, 8 sont inopérantes.

Quelle que soit la valeur de M, affichage à l'écran (dans la fenêtre d'exécution du solveur CESAR) du résidu à chaque itération.

\* NITER, TOL (d)

NITER : Nombre maximum d'itérations autorisé par pas de temps (valeur conseillée = 10).

TOL : Précision souhaitée sur la solution. Les itérations prennent fin lorsque  $:\theta_j^{i+1}$

$$\sup_{j=1, \text{NNT}} |\theta_j^{i+1} - \theta_j^i| \leq \text{TOL}$$

où  $:\theta_j^k$  = valeur de la solution au noeud j à l'itération k.

## 2 - Définition des pas de temps

- \* NPAS1 (d)
- NPAS1 = NPAS + 1  
avec NPAS : Nombre de pas de temps sur lequel on étudie le problème.
- \* T0, (DT(I), = 1, NPAS) (d)
- T0 : Origine du temps.
- DT(I) : Valeur du Ième pas de temps.

## 3 - Autres données

L'introduction des autres données du module **TEXO** est structurée en « options » annoncées par l'un des mots-clé de 3 lettres suivants :

- CFT** : Donnée des fonctions du temps relatives aux chargements thermiques définis dans le module **CHAR**.
- INA** : Déclaration de groupes d'éléments inactifs.
- INI** : Initialisation du champ de température et reprise de calcul **TEXO**.
- LIM** : Définition de conditions aux limites sur l'inconnue principale variables avec le temps.
- MUL** : Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.
- PTX** : Stockage dans un fichier spécifique des résultats en vue d'un calcul **MEXO** ultérieur.  
ATTENTION : l'option PTX doit être utilisée à la place de l'option SRE quand les numéros des nœuds des éléments de volume ne coïncident pas dans les deux maillages.
- QAB** : Donnée des résultats de l'essai QAB.
- SRE** : Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique, et/ou en vue d'un calcul **MEXO** ultérieur.  
ATTENTION : cette option n'est valable pour un chaînage **TEXO-MEXO** que si les numéros des nœuds des éléments de volume coïncident dans les deux maillages.
- STK** : Stockage des résultats du dernier pas de temps pour une reprise de calcul **TEXO** ultérieure.

Pour les données relatives à ces options, se reporter à la partie 5.

## Fin des données du module TEXO

## 5. Données des options de calcul

Les options (des modules) de calcul sont présentés dans cette partie en suivant l'ordre alphabétique du mot clé les désignant. Les options relèvent de catégories distinctes :

- celles qui fournissent des données supplémentaires, par exemple pour spécifier un état initial au début du calcul (INI, INH, INP, etc.), l'évolution des conditions aux limites (LIM), ou d'autres paramètres physiques et/ou géométriques (AMO, SUI);
- celles qui modifient la définition du calcul à effectuer (par exemple : ACT, FSC);
- celles qui conditionnent l'utilisation d'un algorithme de résolution plutôt qu'un autre (MUL, PAR);
- celles qui conditionnent des sorties spécifiques sous des formats variés en vue de l'exploitation des résultats par CLEO (options DPL, DTO, CR1, CR2, CMA, etc.) ou avec d'autres outils (GAU, SFC) ou en vue de réutiliser une partie des résultats comme donnée de départ d'un autre modèle (STK, STP, REA, ...).

### 5.1. Liste des options

| Nom | Fonction                                                                                           | Modules de calcul correspondants                                  |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| ACC | Redéfinition du coefficient d'accélération par défaut                                              | TACT, TCNL                                                        |
| ACT | Activation progressive de groupes d'éléments (pour la modélisation des remblais).                  | MCNL.                                                             |
| AMO | Prise en compte d'un amortissement.                                                                | DYNI, SUMO.                                                       |
| ARC | Redéfinition des paramètres de la méthode d'arc constant.                                          | MCNL.                                                             |
| CFT | Définition des fonctions du temps relatives aux chargements.                                       | DYNI, SUMO, DTLI, DTNL, NAPP, NSAT, TEXO, MEXO, CSLI, MPLI, MPNL. |
| CMA | Stockage des contraintes de la phase matrice du modèle de de Buhan et Sudret.                      | si IMOD=43 dans ELEM : MCNL                                       |
| CR1 | Stockage des contraintes de la phase de renforcement 1 du modèle de de Buhan et Sudret.            | si IMOD=43 dans ELEM : MCNL                                       |
| CR2 | Stockage des contraintes de la phase de renforcement 2 du modèle de de Buhan et Sudret.            | si IMOD=43 dans ELEM : MCNL                                       |
| CRG | Stockage des contraintes globales dans les phases de renforcement du modèle de de Buhan et Sudret. | si IMOD=43 dans ELEM : MCNL                                       |
| CRM | Calcul en Référentiel Mobile                                                                       | MCNL                                                              |
| DPL | Stockage du tenseur des déformations plastiques sur le fichier de résultats.                       | MCNL, MPNL, TCNL                                                  |



|            |                                                                                                                               |                                                                         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>DTO</b> | Stockage du tenseur des déformations totales sur le fichier de résultats.                                                     | MCNL, MPNL.                                                             |
| <b>ECM</b> | Endommagement dans les composants de la maçonnerie.                                                                           | MCNL.                                                                   |
| <b>EFN</b> | Calcul en section plane.                                                                                                      | MEXO.                                                                   |
| <b>ENL</b> | Donnée des fonctions du temps relatives aux variations du paramètre extérieur le long des éléments d'échange non linéaires.   | DTNL.                                                                   |
| <b>FLU</b> | Prise en compte du fluage dans un calcul de consolidation                                                                     | CSNL                                                                    |
| <b>FSC</b> | Calcul de facteurs de sécurité sur les chargements (calcul automatique de charge limite).                                     | MCNL.                                                                   |
| <b>FSR</b> | Calcul de facteurs de sécurité sur les résistances (calcul de $\phi$ réduction).                                              | MCNL.                                                                   |
| <b>GAU</b> | Sortie de résultats complémentaires aux points d'intégration.                                                                 | MCNL.                                                                   |
| <b>HEC</b> | Variables non linéaires locales                                                                                               | MCNL.                                                                   |
| <b>HPE</b> | Calcul d'intégrales des contraintes et des déformations.                                                                      | MCNL.                                                                   |
| <b>INA</b> | Déclaration des groupes d'éléments inactifs.                                                                                  | TEXO.                                                                   |
| <b>INC</b> | Prise en compte du saut de déplacements et de pression lors d'une charge instantanée du milieu poreux.                        | CSLI.                                                                   |
| <b>INH</b> | Initialisation des valeurs nodales de la charge hydraulique au temps T0.                                                      | CSLI.                                                                   |
| <b>INI</b> | Initialisation de champ(s) de paramètres à l'incrément n°1 ou au temps T0.<br>(reprise : voir option STK du calcul antérieur) | MCNL, TACT, TCNL, DYNl, SUMO, DTLI, DTNL, NAPP, NSAT, TEXO, MEXO, MPNL. |
| <b>INP</b> | Initialisation de la pression au temps T0.<br>(reprise : voir option STP du calcul antérieur)                                 | MPLI, MPNL.                                                             |
| <b>INT</b> | Initialisation de la température au temps T0.<br>(reprise : voir option STT du calcul antérieur)                              | MPLI, MPNL.                                                             |
| <b>INU</b> | Initialisation des déplacements nodaux au temps T0.<br>(reprise : voir option STU du calcul antérieur)                        | CSLI, MPLI, MPNL.                                                       |
| <b>ITG</b> | Redéfinition du type d'intégration par défaut                                                                                 | ALKA, BFEU, MCNL, MEXO, TACT, TCNL                                      |
| <b>ITN</b> | Redéfinition du type d'intégration par défaut                                                                                 | MPLI, MPNL.                                                             |
| <b>ITR</b> | Redéfinition du type d'intégration par défaut                                                                                 | MPLI, MPNL.                                                             |
| <b>LIM</b> | Définition de conditions aux limites variables avec le temps.                                                                 | DYNl, DTLI, DTNL, NAPP, NSAT, TEXO, MEXO, CSLI, MPLI, MPNL.             |
| <b>MNA</b> | Changement des chargements volumiques pour une surface libre en régime transitoire                                            | CSNL.                                                                   |
| <b>MUL</b> | Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.                                               | CSNL, DTNL, DYNl, FLAM, LINE, MCNL, MODE, NSAT, TCNL, TEXO, MEXO        |
| <b>NAP</b> | Gestion de la surface libre à l'état d'équilibre.                                                                             | CSNL.                                                                   |

|            |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                               |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NDP</b> | Annulation des déplacements au moment de la lecture sur le fichier de reprise.                                                                                                                                      | MCNL, TACT, TCNL.                                                             |
| <b>PAR</b> | Utilisation d'un solveur externe parallèle.                                                                                                                                                                         | DTNL, LINE, LIGC, MCNL.                                                       |
| <b>PCD</b> | Préconditionnement du système linéaire.                                                                                                                                                                             | LIGC.                                                                         |
| <b>PRC</b> | Modélisation de la précontrainte dans les éléments de barre                                                                                                                                                         | MCNL, TCNL.                                                                   |
| <b>PTX</b> | Écriture ou lecture des champs de température et de degré d'hydratation sur un fichier spécifique quand les numéros des nœuds des éléments de volume ne coïncident pas dans les maillages des calculs TEXO et MEXO. | TEXO, MEXO.                                                                   |
| <b>QAB</b> | Donnée des résultats de l'essai Q A B.                                                                                                                                                                              | TEXO.                                                                         |
| <b>REA</b> | Calcul de réactions nodales.                                                                                                                                                                                        | MCNL.                                                                         |
| <b>REB</b> | Redémarrage d'un calcul non linéaire non convergé.                                                                                                                                                                  | MCNL.                                                                         |
| <b>RMX</b> | Recherche des pics de valeurs en dynamique.                                                                                                                                                                         | DYNI, SUMO, DYNL                                                              |
| <b>RTP</b> | Stockage de résultats en certains nœuds pour une liste de pas de temps                                                                                                                                              | DYNI                                                                          |
| <b>SFC</b> | Stockage d'un ddl en fonction du chargement.                                                                                                                                                                        | MCNL.                                                                         |
| <b>SRE</b> | Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.                                                                                                                                                       | DYNI, SUMO, DTLI, DTNL, NAPP, NSAT, TEXO, MEXO, CSLI, MPLI, MPNL.             |
| <b>STH</b> | Stockage de la charge hydraulique du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure                                                                                                                         | CSNL.                                                                         |
| <b>STK</b> | Stockage des résultats pour reprise de calcul.<br>(reprise : voir option INI du calcul ultérieur)                                                                                                                   | DYNI, MCNL, TACT, TCNL, DTLI, DTNL, NAPP, NSAT, SURF, TEXO, MEXO, CSLI, MPNL. |
| <b>STP</b> | Stockage des pressions sur fichier.<br>(reprise : voir option INP du calcul ultérieur)                                                                                                                              | MPLI, MPNL.                                                                   |
| <b>STT</b> | Stockage des températures sur fichier.<br>(reprise : voir option INT du calcul ultérieur)                                                                                                                           | MPLI, MPNL.                                                                   |
| <b>STU</b> | Stockage des déplacements sur fichier.<br>(reprise : voir option INU du calcul ultérieur)                                                                                                                           | MPLI, MPNL.                                                                   |
| <b>SUI</b> | Définition des surfaces de suintement.                                                                                                                                                                              | NSAT, SURF.                                                                   |
| <b>TXO</b> | Lecture des champs de température et de degré d'hydratation sur le fichier de résultats du calcul TEXO.                                                                                                             | MEXO.                                                                         |

## 5.2. Données des options

On donne ci-dessous les données relatives aux options de calcul.

**Option ACC****Redéfinition du coefficient d'accélération par défaut.**

---

**DESCRIPTION**

**ACC** est une option des modules **TACT** et **TCNL**.

Cette option permet de redéfinir le coefficient multiplicateur des corrections de contraintes pour les points en glissement (valeur par défaut 0,5 pour limiter les oscillations dans certaines configurations).

Sur des exemples simples (cf. jeu de données « bila2 »), le processus itératif converge plus rapidement vers la même solution avec un coefficient égal à 1.

**DONNÉES DE L'OPTION ACC :**

\* ACC (mot-clé)

\* CFREIN (d)

CFREIN : Coefficient multiplicateur (compris entre 0 et 1).

**Fin des données de l'option ACC**

**Option ACT****Activation progressive des groupes d'éléments.**

---

**DESCRIPTION**

**ACT** est une option du module de calcul **MCNL**.

Elle permet d'activer la rigidité des groupes d'éléments à différents "incréments" d'un calcul, ce qui permet de simuler les étapes de construction d'un remblai par exemple. Lorsqu'un groupe d'éléments est activé à un incrément donné, on recommence l'assemblage en prenant en compte sa contribution à la rigidité globale.

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

```
* ACT                                                    (mot-clé)

* (KACTIV(I) , I=1,NGRPE)                                (d)
   NGRPE   : Nombre de groupes d'éléments du maillage.
   KACTIV(I) : Numéro de l'incrément à partir duquel le groupe I est activé.
```

**Fin des données de l'option ACT**

## Option AMO

### Prise en compte d'un amortissement.

#### DESCRIPTION

**AMO** est une option des modules de calcul **DYNI** et **SUMO**.

Pour le module **DYNI**, l'option **AMO** permet d'ajouter aux éléments spéciaux de type « amortisseur » (famille 10, éléments SpxA), une matrice d'amortissement,  $C_R$ , de type Rayleigh, définie par :

$$C_R = A * K + B * M$$

avec :  $K$  = Matrice de rigidité de la structure,  
 $M$  = Matrice de masse de la structure.  
 $A, B$  = Deux coefficients à définir.

Si cette option est omise, il ne sera tenu compte dans la résolution du problème d'aucun amortissement, même s'il a été défini dans le maillage des éléments spéciaux de type « amortisseurs ».

Pour le module **SUMO**, l'option **AMO** introduit des pourcentages d'amortissement critique associés à chacun des modes retenus.

#### DONNÉES POUR LE MODULE DYNI :

```
* AMO (mot-clé)
* A, B (d)
  A      : Coefficient de Rayleigh relatif à la matrice de rigidité.
  B      : Coefficient de Rayleigh relatif à la matrice de masse.
```

#### DONNÉES POUR LE MODULE SUMO :

```
* AMO (mot-clé)
* (XI (I), I = 1, NMODE) (d)
  XI      : Pourcentage d'amortissement critique associé au Ième mode
           retenu.
  NMODE   : Nombre de modes retenus (= nombre de 1 dans le tableau KMODE
           défini dans les données précédentes de SUMO).
```

**Fin des données de l'option AMO**

## Option ARC

### Redéfinition des paramètres de la méthode d'arc constant.

---

#### DESCRIPTION

**ARC** est une option du module de calcul **MCNL**.

L'option **ARC** permet de redéfinir les valeurs des paramètres d'arc constant **IBRID** et **COEF**, qui valent par défaut 1 et 400.

Cette option n'a d'effets que si  $IMET \geq 20$ .

#### DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :

|         |                                                                                |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------|
| * ARC   | (mot-clé)                                                                      |
| * IBRID | (d)                                                                            |
| IBRID   | = 0 Si la longueur d'arc est constante.<br>= 1 Si la longueur d'arc évolue.    |
| * COEF  | (d)                                                                            |
| COEF    | : Coefficient d'initialisation de la longueur d'arc<br>(cf. manuel théorique). |

**Fin des données de l'option ARC**

## Option CFT

### Définition des fonctions du temps relatives aux chargements.

#### DESCRIPTION

**CFT** est une option des modules de calcul **CSLI**, **CSNL**, **DTLI**, **DTNL**, **DYNI**, **MEXO**, **MPLI**, **MPNL**, **NAPP**, **NSAT**, **SUMO** et **TEXO**.

Omettre l'option **CFT** si le jeu de données ne comporte pas de chargement, ou si celui-ci est constant dans le temps (voir remarque 1).

Sinon, pour chacun des **NCHAR** chargements *i*, introduits dans le module **CHAR**, on lit dans l'option **CFT** une fonction du temps  $f_i(t)$  telle que le chargement global à l'instant *t*, soit défini par :

$$\text{Chargement}(t) = \sum_{i=1}^{\text{NCHAR}} \text{Chargement}(i) \times f_i(t)$$

**NCHAR** est le nombre de mots-clé **CHAR** présent dans le jeu de données.

#### Remarques :

Par défaut, les fonctions  $f_i(t)$  sont initialisées à la valeur 1.

Une fonctionnalité analogue existe également pour les modules **MCNL**, **TACT** et **TCNL**, mais elle n'est pas réalisée avec une option (mot-clé de 3 lettres).

#### DONNÉES POUR LES MODULES DYNI, SUMO :

```
* CFT (mot-clé)

* M2 (d)
    M2      : Indicateur de lecture des fonctions du temps définissant le
               chargement.
               = 0 Si lecture dans le présent jeu de données.
               = 1 Si lecture sur fichier.

* Si M2 = 1, lecture de

** NOMF (d)
    NOMF    : Nom du fichier de lecture du tableau FT.

* ((FT(J,I), J=1, NPAS1), I=1, NCHAR) (d si M2 = 0 ;
                                         f si M2 = 1 .)

    FT(J+1,I): Valeur de la Ième fonction de chargement au pas de temps n°
               J.

    NPAS1    : Nombre total de pas de temps + 1 (= NPAS + 1).

    NCHAR    : Voir Description ci dessus.
```

**DONNÉES POUR LES MODULES CSLI, CSNL, DTLI, DTNL, MEXO, MPLI, MPNL, NAPP, NSAT, TEXO :**

\* CFT (mot-clé)

\* ((FT(J,I), J=1, NPAS1), I=1, NCHAR) (d)

FT(J+1,I): Valeur de la Ième fonction de chargement au pas de temps n° J.

NPAS1 : Nombre de pas de temps + 1 (= NPAS + 1).

NCHAR : Voir Description ci dessus.

**Fin des données de l'option CFT**

Exemple : NCHAR = 2 , NPAS = 3

Lecture de :  $f_1(t_0)$ ,  $f_1(t_1)$ ,  $f_1(t_2)$ ,  $f_1(t_3)$   
 $f_2(t_0)$ ,  $f_2(t_1)$ ,  $f_2(t_2)$ ,  $f_2(t_3)$



**Option CMA**

**Stockage des contraintes de la phase matrice du modèle de de Buhan et Sudret.**

---

**DESCRIPTION**

**CMA** est une option de post-traitement du module de calcul **MCNL**.

L'option **CMA** ne peut être utilisée valablement qu'en présence du modèle de de Buhan et Sudret (IMOD=43) dans les données du module **ELEM**.

Cette option permet le stockage dans les fichiers de résultats (.resu et .rsv4) du tenseur des contraintes dans la phase matrice (contraintes au sens classique diminuées des contraintes dans la ou les phases de renforcement).

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

\* CMA

(mot-clé)

**Fin des données de l'option CMA.**

**Option CR1****Stockage des contraintes dans la phase de renforcement n°1 du modèle de de Buhan et Sudret.**

---

**DESCRIPTION**

**CR1** est une option de post-traitement du module de calcul **MCNL**.

L'option **CR1** ne peut être utilisée valablement qu'en présence du modèle de de Buhan et Sudret (IMOD=43) dans les données du module **ELEM**.

Cette option permet le stockage dans les fichiers de résultats (.resu et .rsv4) du tenseur des contraintes dans la phase de renforcement n°1. Ces contraintes apparaissent à l'affichage comme des contraintes monoaxiales parallèles à la direction du renforcement n°1 (ceci constitue une vérification de la justesse des données, en particulier pour un calcul 3D).

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

\* CR1

(mot-clé)

**Fin des données de l'option CR1.**

**Option CR2**

**Stockage des contraintes dans la phase de renforcement n°2 du modèle de de Buhan et Sudret.**

---

**DESCRIPTION**

**CR2** est une option de post-traitement du module de calcul **MCNL**.

L'option **CR2** ne peut être utilisée valablement qu'en présence du modèle de de Buhan et Sudret (IMOD=43) dans les données du module **ELEM**.

Cette option permet le stockage dans les fichiers de résultats (.resu et .rsv4) du tenseur des contraintes dans la phase de renforcement n°2. Ces contraintes apparaissent à l'affichage comme des contraintes monoaxiales parallèles à la direction du renforcement n°2.

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

\* CR2

(mot-clé)

**Fin des données de l'option CR2.**

**Option CRG**

**Stockage des contraintes globales dans les phases de renforcement du modèle de de Buhan et Sudret.**

---

**DESCRIPTION**

**CRG** est une option de post-traitement du module de calcul **MCNL**.

L'option **CRG** ne peut être utilisée valablement qu'en présence du modèle de de Buhan et Sudret (IMOD=43) dans les données du module **ELEM**.

Cette option permet le stockage dans les fichiers de résultats (.resu et .rsv4) du tenseur des contraintes globales dans l'ensemble des phases de renforcement. S'il n'y a qu'une direction de renforcement, cette option équivaut à CR1.

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

\* CRG

(mot-clé)

**Fin des données de l'option CRG.**

## Option CRM

### Calcul en Référentiel Mobile

---

#### DESCRIPTION

**CRM** est une option du module de calcul **MCNL**.

L'option **CRM** propose de faire un calcul dans un référentiel mobile, à vitesse uniforme suivant la direction  $x$  du repère global. Le principe du calcul, qui consiste à modifier la matrice de rigidité pour tenir compte du mouvement du référentiel, est exposé dans la thèse de JB Payeur (Modélisation du comportement d'un remblai renforcé sous chargement ferroviaire de type TGV, thèse Univ Paris Est, 2015).

\* CRM (mot-clé)

\* VX : vitesse de déplacement (le long de l'axe  $x$ ) (d)

Fin des données de l'option CRM

**Option DPL**

**Stockage du tenseur des déformations plastiques sur le fichier de résultats.**

---

**DESCRIPTION**

**DPL** est une option de post-traitement des modules de calcul **MCNL**, **MPNL** et **TCNL**.

Cette option permet le stockage dans le fichier de résultats du tenseur des déformations plastiques, à la suite du tenseur des contraintes (même structure et même taille)

**DONNÉES POUR LES MODULES MCNL, MPNL ET TCNL :**

\* DPL

(mot-clé)

**Fin des données de l'option DPL**

**Option DTO**

**Stockage du tenseur des déformations totales sur le fichier de résultats.**

---

**DESCRIPTION**

**DTO** est une option de post-traitement des modules de calcul **MCNL** et **MPNL**.

Cette option permet le stockage dans le fichier de résultats du tenseur des déformations totales, à la suite du tenseur des contraintes (même structure et même taille). Cette option peut se cumuler avec l'option **DPL**, mais attention à la taille du fichier de résultats.

Remarque : Dans une zone restée dans le domaine élastique, l'option **DTO** stocke les déformations élastiques.

**DONNÉES POUR LES MODULES MCNL ET MPNL :**

\* DTO

(mot-clé)

**Fin des données de l'option DTO**

## Option ECM

**Stockage des variables d'endommagement par composantes pour les modèles de maçonnerie sur le fichier de résultats.**

---

### DESCRIPTION

**ECM** est une option du module **MCNL**.

CESAR propose un ensemble de modèle d'endommagement. Pour les plus simples d'entre eux, les variables d'endommagement sont automatiquement écrites dans le fichier de résultats binaire (rsv4). Il y a aussi un ensemble de modèles dédiés à la maçonnerie, pour lesquels on calcule plusieurs variables associées à des composants de la maçonnerie (blocs, joints). On peut les inclure dans le fichier de résultats à l'aide de l'option ECM.

### DONNEES POUR LE MODULE MCNL:

\* ECM (keyword)

**Fin des données de l'option ECM**



**Option EFN****Calcul en section plane.**

---

**DESCRIPTION**

**EFN** est une option du module de calcul **MEXO**.

L'option **EFN** permet de calculer l'état de déformation dans la direction normale au maillage de façon à ce que le torseur des efforts extérieurs imposé dans cette direction soit nul.

L'option **EFN** n'est utilisable qu'avec les maillages bidimensionnels.

**DONNÉES POUR LE MODULE MEXO :**

\* EFN

(mot-clé)

**Fin des données de l'option EFN**

**Option ENL**

**Donnée des fonctions du temps relatives aux variations du paramètre extérieur le long des éléments d'échange non linéaires.**

**DESCRIPTION :**

**ENL** est une option du module de calcul **DTNL**.

Omettre l'option **ENL** si le problème ne comporte pas de condition d'échange non linéaire ( $NENL = 0$ ).

Sinon, découper l'ensemble des contours soumis à des conditions d'échange non linéaires, en  $NENL$  portions sur lesquelles le paramètre extérieur varie de façon uniforme à chaque pas de temps. Comme indiqué au paragraphe **DONNÉES**, préciser alors pour chacune de ces parties de frontière :

- la liste des numéros de groupes la constituant ;
- la valeur du paramètre extérieur à chaque pas de temps.

**DONNÉES POUR LE MODULE DTNL :**

```
* ENL                                     (mot-clé)

* A) Pour chacun des NENL groupes d'éléments d'échange non linéaires,
    donnée de :

** (IG, EXT(I), I = 1, NPAS1)                (d)
    IG      : Numéro du groupe d'éléments d'échange non linéaire considéré.
    EXT(I)  : Valeur initiale et à chaque pas de temps du paramètre extérieur
              en bordure du groupe IG.
    NPAS1   : Nombre de pas de temps + 1 (=NPAS + 1).

* Retour en A) s'il reste des groupes d'échange non linéaire à
  considérer.
```

**Fin des données de l'option ENL**

## Option FLU

### Prise en compte du fluage dans un calcul de consolidation.

#### DESCRIPTION

**FLU** est une option du module de calcul **CSNL**.

L'option **FLU** permet de modéliser le fluage de couches de sol dans un calcul en consolidation.

La loi de fluage est décrite dans le cahier de développement de CSNL (partie III-Fluage).

#### DONNÉES POUR LE MODULE CSNL :

- \* FLU (mot-clé)
- \* NGRC, (KGRC(I), I=1,NGRC)  
Nombre de groupes concernés, numéros des groupes
- \* (TC(I), I=1,NGRC)  
Temps de déclenchement du fluage pour chaque groupe concerné, dans le cas des calculs phasés le temps de référence  $t = 0$  est fixé au début de la phase.
- \* (VALPHA(I), I=1,NGRC)  
Exposant alpha du modèle par groupe.
- \* (VEPS0(I), I=1,NGRC)  
Vitesse de déformation de fluage initiale par groupe.
- \* (VMFLU(I), I=1,NGRC)  
Valeur du paramètre M de l'ellipse surface de fluage par groupe.
- \* (VPcFLU(I), I=1,NGRC)  
Valeur du paramètre Pc de l'ellipse surface de fluage par groupe

#### Fin des données de l'option FLU

## Option FSC

### Calcul de facteur de sécurité sur un chargement (recherche automatique de charge limite).

#### DESCRIPTION

**FSC** est une option du module de calcul **MCNL**.

L'option **FSC** permet de calculer le plus grand coefficient  $R$  que l'on peut appliquer à l'un des chargements définis dans le jeu de données courant tout en obtenant la convergence du calcul élastoplastique (pour le nombre d'itérations et la tolérance fournis dans les données du module MCNL).

Elle fournit une indication de la charge limite.

Note : l'utilisation de l'option FSC entraîne la redéfinition des incréments de calcul : le nombre d'incrémentes fournis dans les données du module, et les valeurs du vecteur VFT correspondant aux incréments autres que le premier sont ignorées.

#### DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :

```
* FSC                                     (mot-clé)

* IFC, N, RMIN, RMAX, PREC                (d)
  IFC      : indicateur entier (par défaut prendre IFC=0)
  IFC = 0   : si on fait le nombre maximum d'itérations (paramètre
               NITER des données de MCNL)
  IFC = 1   : si on tente de détecter les non-convergences en cours
               d'analyse (peut permettre d'accélérer le calcul)
  IFC      : Numéro du chargement à optimiser (dans l'ordre des modules CHAR
               définis dans le jeu de données)
  RMIN-RMAX : intervalle de recherche pour le coefficient R
  PREC      : précision souhaitée sur la valeur de R
```

#### Fin des données de l'option FSC

## Option FSR

**Calcul de facteur de sécurité sur les caractéristiques de résistance.  
(c-phi réduction).**

### DESCRIPTION

**FSR** est une option du module de calcul **MCNL**.

L'option **FSR** permet de calculer le plus grand coefficient R par lequel on peut diviser les caractéristiques de résistance (c et  $\tan \phi$ ) des éléments du maillage tout en obtenant la convergence du calcul élastoplastique (pour le nombre d'itérations et la tolérance fournis dans les données du module MCNL).

Elle fournit une indication de la sécurité d'un ouvrage vis-à-vis d'un risque de rupture.

Notes :

1 - l'utilisation de l'option FSR entraîne la redéfinition des incréments de calcul : le nombre d'incréments fournis dans les données du module, et les valeurs du vecteur VFT correspondant aux incréments autres que le premier sont ignorées.

2 - l'optimisation porte sur la résistance de tous les groupes d'éléments de massif (familles 01 ou 02) du maillage correspondant aux modèles suivants :

- Modèle de von Mises sans écrouissage (IMOD=11),
- Modèle de Drucker Prager sans écrouissage (IMOD=13)
- Modèle de Mohr Coulomb sans écrouissage (IMOD=10)
- Modèle de Drucker Prager avec prise en compte d'inclusions de renforcement par l'approche multiphasique de de Buhan et Sudret (IMOD=43), la réduction ne portant que sur les caractéristiques du sol

Et les modèles homologues décrits dans le cadre des modèles à composantes (IMOD=10000).

3 - l'optimisation porte sur la résistance de tous les groupes d'éléments de joint (famille 16) du maillage correspondant au modèle comportement frottant IMOD=2.

Le processus consiste à attribuer aux éléments correspondant des caractéristiques réduites égales à  $c/R$  et  $\tan \phi/R$ . En pratique, on optimise la valeur du coefficient R dans un intervalle défini par l'utilisateur.

A partir de la version 6.2.43, on peut exclure explicitement certains groupes de la procédure de réduction des propriétés de résistance au cisaillement en donnant les numéros de ces groupes (sous option EG).

NB important : dans les versions  $\leq 5.1.73$  on optimise  $1/R$  et on donne l'intervalle sur  $1/R$ .

### DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :

\* FSR (mot-clé)

\* IFC, VMIN, VMAX, PREC (d)

IFC : indicateur entier (par défaut prendre IFC=0)

IFC = 0 si on fait le nombre maximum d'itérations (paramètre NITER des données de MCNL)

IFC = 1 si on tente de détecter les non-convergences en cours  
d'analyse (peut permettre d'accélérer le calcul)

VMIN-VMAX : intervalle de recherche pour le coefficient R

PREC : précision souhaitée sur la valeur de R

\*\* EG (mot-clé optionnel)

\*\* NGE, (LISTGE(I), I=1, NGE)

NGE : nombre de groupes exclus de la procédure de réduction

LISTGE(I), I=1, NGE : liste des numéros des groupes exclus.

### Fin des données de l'option FSR

**Option GAU****Impression des résultats complémentaires aux points d'intégration****DESCRIPTION**

**GAU** est une option de post-traitement du module de calcul **MCNL**.

Cette option permet l'impression dans un fichier texte des contraintes et des déformations plastiques aux points d'intégration de certains éléments du maillage (en vue d'un post-traitement spécifique ou de vérifications).

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

- \* GAU (mot-clé)
- \* NBELM (d)
- \* si NBELM = 0, impression des résultats pour tous les éléments du maillage
- \* si NBELM > 0, donnée de :
  - \*\* (KNELM(I), I=1,NBELM) (d)
  - NBELM : nombre d elements pour lesquels on imprime les résultats
  - (KNELM(I), I=1,NBELM) : liste des numéros de ces éléments
- \* FICGAU (d)
- FICGAU : nom du fichier formaté où l'on écrit les résultats

**Fin des données de l'option GAU**

**Option HEC**

**Stockage sur le fichier de résultats des variables non linéaires locales.**

---

**DESCRIPTION**

**HEC** est une option du module **MCNL**.

CESAR propose différents modèles avec des variables locales non linéaires (des modules d'élasticité dépendant des contraintes, des variables d'écrouissage). Les variables les plus pertinentes (selon le modèles) peuvent être ajoutées au fichier de résultats binaire (rsv4) avec l'option **HEC**.

**DONNEES POUR LE MODULE MCNL**

\* **HEC**

(keyword)

**Fin des données de l'option HEC**



**Option HPE****Post-traitement pour calculs d'homogénéisation périodique**

---

**DESCRIPTION**

**HPE** est une option de post-traitement du module de calcul **MCNL**.

Cette option déclenche le calcul (à la fin de chaque incrément) de l'intégrale et de la moyenne sur le maillage des composantes du tenseur de contraintes, du tenseur de déformation totale et du tenseur de déformation plastique. Les résultats sont imprimés dans la liste de sortie (fichier .list).

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

\* HPE

(mot-clé)

**Fin des données de l'option HPE**

**Option INA****Déclaration des groupes d'éléments inactifs.**

---

**DESCRIPTION**

**INA** est une option du module de calcul **TEXO**.

Omettre l'option **INA** si tous les groupes d'éléments de massif sont actifs.

**DONNÉES POUR LE MODULE TEXO :**

\* INA (mot-clé)

\* NG, (KG(I), I = 1, NG) (d)

NG : Nombre de groupes inactifs.

KG : Liste de ces groupes.

**Fin des données de l'option INA**

**Option INC**

**Prise en compte du saut de déplacements et de pression lors d'une charge instantanée du milieu poreux.**

---

**DESCRIPTION**

**INC** est une option du module de calcul **CSLI**.

Lorsqu'un milieu poreux saturé par un fluide incompressible est soumis à un chargement instantané, il subit un saut de déplacement et de pression correspondant à un comportement non drainé, caractérisé par une déformation volumique nulle. L'option **INC** permet de rendre compte de ce comportement au départ d'un calcul.

Limitation : l'option **INC** n'est utilisable dans la version actuelle que dans le cas d'un fluide déclaré incompressible, et d'un maillage 2D ou 3D constitué d'éléments quadratiques.

**DONNÉES POUR LE MODULE CSLI :**

\* INC

(mot-clé)

**Fin des données de l'option INC**

**Option INH****Initialisation des valeurs nodales de la charge hydraulique au temps T0.****DESCRIPTION**

**INH** est une option des modules de calcul **CSLI** et **CSNL**.

Omettre l'option **INH** si la charge hydraulique initiale est nulle en tout noeud du maillage à l'instant T0 .

**DONNÉES POUR LE MODULE CSLI :**

```

* INH                                                    (mot-clé)

* M2                                                    (d)
    M2      : Indicateur de lecture des valeurs initiales de la charge
              hydraulique ;
              = 0 Lecture dans le jeu de données.
              = 1 Initialisation à une même valeur en tout noeud.
              = 2 Initialisation par groupe.
              = 3 Lecture sur fichier ou reprise de l'option STK d'un
                  précédent calcul CSLI.

* Si M2 = 0 , lecture de :

** (H(I), I=1, NNT)                                     (d)
    H      : Tableau des charges nodales initiales .
    NNT    : Nombre total de noeuds du maillage.

* Si M2 = 1 , lecture de :

** H0                                             (d)
    H0     : Valeur initiale de la charge en tout noeud du maillage.

* Si M2 = 2, lecture de :

** NG, (KG(I), H0(I), I = 1, NG)                   (d)
    NG     : Nombre de groupes d'éléments de massif pour lesquels on
              initialise la valeur de la charge.
    KG     : Liste des numéros de ces groupes.
    H0     : Valeurs initiales associées.

```

\* Si  $M2 = 3$ , lecture de :

\*\* NOMFH (d)

NOMFH : Nom du fichier sur lequel est stocké le tableau H.

\*\* (H(I), I = 1, NNT) (f)

H : Tableau des charges nodales initiales.

NNT : Nombre total de noeuds du maillage.

**Fin des données de l'option INH**

## Option INI

**Initialisation de champ(s) de paramètres en début de calcul (incrément n°1 ou temps T0).**

### DESCRIPTION

**INI** est une option des modules de calcul **CSNL**, **DTLI**, **DTNL**, **DYNI**, **MCNL**, **MEXO**, **MPNL**, **NAPP**, **NSAT**, **SUMO**, **TACT**, **TEXO** et **TCNL**.

Omettre l'option **INI** si le(s) champ(s) de paramètres est(sont) nul(s) à l'incrément n°1 ou au temps T0.

Pour les modules **CSNL**, **MCNL**, **MEXO**, **TACT** et **TCNL**, l'option **INI** permet d'initialiser un calcul (reprise du champ de déplacements et du champ de contraintes) par lecture sur un fichier de reprise créé par l'option **STK** d'un précédent calcul avec le même module.

Pour les modules **DYNI** et **SUMO**, l'option **INI** permet d'initialiser les déplacements et les vitesses au temps T0.

Pour les modules **DTLI**, **DTNL**, **NAPP** et **NSAT**, l'option **INI** permet d'initialiser le champ d'inconnues principales (charge hydraulique, ou température) au temps T0.

Pour le module **TEXO**, l'option **INI** permet d'initialiser le champ de température et d'effectuer une reprise de calcul.

Pour le module **MPNL**, l'option **INI** permet d'effectuer une reprise de calcul complète en initialisant, par lecture sur fichier, les déplacements, pressions, températures, contraintes, flux, déformations anélastiques, porosités anélastiques calculés antérieurement avec le module **MPNL** et stockés avec l'option **STK**.

### DONNÉES POUR LES MODULES CSNL, MCNL, MEXO, MPNL, TACT, TCNL :

\* INI (mot-clé)

\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier de reprise.

### DONNÉES POUR LES MODULES DYNI, SUMO :

\* INI (mot-clé)

\* M2 (d)

M2 : Indicateur de lecture des déplacements initiaux et des vitesses initiales;  
 = 0 Si lecture dans le présent jeu de données.  
 = 1 Si lecture sur fichier.

\* Si M2 = 1, lecture de :

\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier de lecture des tableaux VUI et VVI.

\* (VUI(I), I= 1, NDLT) (d si M2 = 0 ;  
f si M2 = 1 .)

VUI : Vecteur des déplacements initiaux.

NDLT : Nombre total de degrés de liberté de la structure.

\* (VVI(I), I = 1, NDLT) (d si M2 = 0 ;  
f si M2 = 1 .)

VVI : Vecteur des vitesses initiales.

## DONNÉES POUR LES MODULES DTLI, DTNL, NAPP, NSAT :

\* INI (mot-clé)

\* IPERM (d)

IPERM : Indicateur du type d'initialisation du champ de paramètre ;  
= 0 Initialisation à l'aide de l'un des procédés décrits ci-après.  
= 1 Initialisation par un calcul en régime permanent.

\* Pour le module **DTLI** et si IPERM = 1, fin des données relatives à l'option **INI**.

\* Pour le module **DTLI** et si IPERM = 0, ou pour les modules **DTNL**, **NAPP** et **NSAT** (dans le cas IPERM=1, les données suivantes servent alors à initialiser le champ de paramètre pour la première itération) :

\*\* M2 (d)

M2 : Indicateur de lecture du champ de paramètres initial ;  
= 0 Lecture dans le jeu de données.  
= 1 Initialisation à une même valeur en tout noeud.  
= 2 Initialisation par groupe.  
= 3 Lecture sur fichier ou reprise de l'option **STK** d'un précédent calcul en diffusion.

\*\* Si M2 = 0, lecture de :

\*\*\* (VU(I), I = 1, NDLT) (d)

VU : Champ initial des paramètres nodaux.

NDLT : Nombre total de degrés de liberté du maillage.

\*\* Si M2 = 1, lecture de :

\*\*\* VU0 (d)

VU0 : Valeur initiale du champ de paramètres.

\*\* Si M2 = 2, lecture de :

\*\*\* NG, (KG(I), VU0(I), I = 1, NG) (d)

NG : Nombre de groupe d'éléments de massif pour lesquels on initialise la valeur du champ de paramètres.

KG : Liste des numéros de ces groupes.

VU0 : Valeurs initiales associées.

\*\* Si M2 = 3, lecture de :

\*\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier sur lequel on lit le tableau VU défini ci-après.

\*\*\* (VU(I), I = 1, NDLT) (f)

VU : Champ initial des paramètres nodaux.

NDLT : Nombre total de degrés de liberté du maillage.

## DONNÉES POUR LE MODULE TEXO :

\* INI (mot-clé)

\* M2 (d)

M2 : Indicateur de lecture du champ de température initial;  
 = 0 Lecture dans le jeu de données.  
 = 1 Initialisation à une même valeur en tout noeud.  
 = 2 Initialisation par groupe.  
 = 3 Lecture sur fichier ou reprise de l'option **STK** d'un précédent calcul effectué par le module **TEXO**, avec reprise des quantités de chaleur d'hydratation.  
 = 4 Lecture sur fichier ou reprise de l'option **STK** d'un précédent calcul effectué par les modules **DTLI** ou **TEXO**, sans reprise des quantités de chaleurs d'hydratation.

\* Si M2 = 0, donnée de :



\*\* (VU(I), I = 1, NNT) (d)

VU : Tableau des valeurs nodales initiales de la température.

NNT : Nombre total de nœuds du maillage.

\* Si M2 = 1, donnée de :

\*\* VU0 (d)

VU0 : Valeur initiale de la température.

\* Si M2 = 2, donnée de :

\*\* NG, (KG(I), TG(I), I = 1, NG) (d)

NG : Nombre de groupe d'éléments de massif pour lesquels on initialise la température.

KG : Liste des numéros de ces groupes.

TG : Liste des températures de ces groupes.

Remarque : Ces initialisations n'intéressent que les groupes d'éléments de massif. Ceux ne figurant pas dans KG ont leur température initialisée par défaut à la valeur 0.

\* Si M2 = 3 ou M2 = 4, lecture de :

\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier de reprise.

**Fin des données de l'option INI**

## Option INP

### Initialisation de la pression au temps T0.

#### DESCRIPTION

**INP** est une option des modules de calcul **MPLI**, **MPNL** et **CSNL**.

Omettre l'option **INP** si la pression est nulle à l'instant initial T0.

#### DONNÉES POUR LES MODULES **MPLI**, **MPNL** :

```
* INP (mot-clé)

* M4 (d)
  M4      : Indicateur de lecture des pressions initiales;
            = 0 Lecture dans le présent jeu de données;
            = 1 Initialisation à une même valeur en tout noeud;
            = 2 Calcul de la pression en fonction de la cote;
            = 3 Lecture sur fichier ou reprise de l'option STP d'un
              précédent calcul MPLI ou MPNL.

* Si M4 = 0, lecture de :

** (P(I), I=1,NNT) (d)
  P       : Tableau des pressions initiales aux noeuds.
  NNT     : Nombre total de noeuds du maillage.

* Si M4 = 1, lecture de :

** P0 (d)
  P0      : Valeur initiale de la pression en tout noeud du maillage.
```

\* Si M4 =2, lecture de :

\*\* Z0,P0,GP (d)

Z0 : Côte verticale au dessus de laquelle la pression est nulle.

P0 : Pression à la côte Z0.

GP : Gradient vertical de la pression.

La pression P en tout noeud du maillage est :

$P(Z) = 0$  si  $Z > Z0$

$P(Z) = P0$  si  $Z = Z0$

$P(Z) = P0 + GP*(Z-Z0)$  si  $Z < Z0$

Z est la cote du noeud considéré. Pour le noeud i :

Z = VCORG(2,i) pour un modèle bidimensionnel,

= VCORG(3,i) pour un modèle tridimensionnel.

\* Si M4 = 3, lecture de :

\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier sur lequel est lu le tableau des pressions initiales P.

\*\* (P(I), I=1,NNT) (f)

P : Tableau des pressions initiales aux noeuds.

NNT : Nombre total de nœuds du maillage.

## DONNÉES POUR LE MODULE CSNL :

L'inconnue étant la charge hydraulique, la conversion de la pression interstitielle aux noeuds en valeur de charge est effectuée par le programme. Définition des groupes imperméables. Omettre cette option si la pression est nulle en tout nœud du maillage à l'instant T0.

\* INP (mot-clé)

\* M3 (d)

M3 : Indicateur de lecture des valeurs initiales des pressions;

= 1 Initialisation par groupes ;

= 2 initialisation par couches horizontales;

= 3 initialisation des groupes imperméables.

\* Si M3 = 1, lecture de :

\*\* M4, PRESS0 (d)

M4 : Indicateur de lecture des valeurs initiales des pressions;  
= 1 Initialisation dans un premier temps de la pression à la valeur PRESS0 en tous nœuds;

\*\* NG, (KG(I), I=1,NG) (d)

NG : Nombre de groupes.

KG : Tableau contenant les numéros de ces groupes.

\*\* (PRESSB(I), PRESSH(I), YMAX(I), YMIN(I), I=1,NG) (d)

PRESSB : Tableau contenant les pressions à la cote inférieure de chaque groupe.

PRESSH : Tableau contenant les pressions à la cote supérieure de chaque groupe.

YMIN : Tableau contenant les cotes inférieures des groupes.

YMAX : Tableau contenant les cotes supérieures des groupes.

\* Si M3 = 2, lecture de :

\*\* M4, PRESS0 (d)

M4 : Indicateur de lecture des valeurs initiales des pressions;  
= 1 Initialisation dans un premier temps de la pression à la valeur PRESS0 en tous nœuds;

\*\* NC, (KC(I), I=1,NC) (d)

NC : Nombre de couches horizontales.

KC : Tableau contenant les numéros de ces couches Horizontales.

\*\* (PRESSB(I), PRESSH(I), YMAX(I), YMIN(I), I=1,NC) (d)

PRESSB : Tableau contenant les pressions à la cote inférieure

de chaque couche horizontale.

PRESSH : Tableau contenant les pressions à la cote supérieure de chaque couche horizontale.

YMIN : Tableau contenant les cotes inférieures des couches horizontales.

YMAX : Tableau contenant les cotes supérieures des couches horizontales.

\* Si  $M3 = 3$ , lecture de :

\*\* NG, (KG(I), I=1,NG) (d)

NG : Nombre de groupes imperméables.

KG : Tableau contenant les numéros de ces groupes.

**Fin des données de l'option INP.**

**Option INT****Initialisation de la température au temps T0.****DESCRIPTION**

**INT** est une option des modules de calcul **MPLI** et **MPNL**.

Omettre l'option **INT** si la température est nulle à l'instant initial T0.

**DONNÉES POUR LES MODULES MPLI, MPNL :**

```
* INT (mot-clé)

* M5 (d)
    M5      : Indicateur de lecture des températures initiales;
              = 0 Lecture dans le présent jeu de données;
              = 1 Initialisation à une même valeur en tout noeud;
              = 3 Lecture sur fichier ou reprise de l'option STT d'un
                  précédent calcul MPLI ou MPNL.

* Si M5 = 0, lecture de :

** (T(I), I=1,NNT) (d)
    T      : Tableau des températures initiales aux noeuds.
    NNT    : Nombre total de noeuds du maillage.

* Si M5 = 1, lecture de :

** T0 (d)
    T0     : Valeur initiale de la température en tout noeud du maillage.

* Si M5 = 3, lecture de :

** NOME (d)
    NOME   : Nom du fichier sur lequel est lu le tableau des températures
            T.
```

```
** (T(I), I=1,NNT) (f)

    T      : Tableau des températures initiales aux noeuds.
```

**Fin des données de l'option INT.**

## Option INU

### Initialisation des déplacements nodaux au temps T0.

#### DESCRIPTION

**INU** est une option des modules de calcul **CSLI**, **CSNL**, **MPLI** et **MPNL**.

Omettre l'option **INU** si les déplacements nodaux initiaux sont nuls en tout noeud du maillage à l'instant T0 .

Sinon, les déplacements initiaux sont donnés sous la forme :

Ux, Uy            si NDIM=2,  
Ux, Uy, Uz       si NDIM=3.

#### DONNÉES POUR LES MODULES CSLI, MPLI, MPNL :

```
* INU                                                    (mot-clé)

* M3                                                    (d)

  M3      : Indicateur de lecture des valeurs initiales des déplacements ;
            = 0 Lecture dans le jeu de données .
            = 3 Lecture sur fichier, ou reprise de l'option STK d'un
              précédent calcul CSLI, ou reprise de l'option STU d'un
              précédent calcul MPLI ou MPNL.

* Si M3 = 0, lecture de :

** (U(I), I=1, NNT*NDIM)                                (d)

  U       : Tableau des déplacements initiaux imposés.

  NNT*NDIM : Nombre de noeuds du maillage * dimension du problème
            (= nombre de degrés de liberté de type déplacement).

* Si M3 = 3, lecture de :

** NOMFV                                              (d)

  NOMFV   : Nom du fichier sur lequel est stocké le tableau U.

** (U(I), I = 1, NNT*NDIM)                            (f)

  U       : Tableau des déplacements initiaux imposés.
```

#### Fin des données de l'option INU

## Option ITG

### Redéfinition du type d'intégration par défaut.

#### DESCRIPTION

**ITG** est une option des modules de calcul **ALKA**, **BFEU**, **MCNL**, **TACT**, **TCNL** et **MEXO**.

Cette option permet de redéfinir les jeux de points d'intégration utilisés pour les calculs locaux nécessitant une intégration numérique sur les éléments.

Par défaut :

- ALKA, BFEU et MEXO utilisent les points correspondant à une intégration normale.
- MCNL, TACT et TCNL utilisent les points correspondant à une intégration réduite.

Cette option concerne le calcul des matrices de rigidité (ou autre), pas le calcul des quantités locales (contraintes, déformations plastiques etc.).

#### DONNÉES POUR LES MODULES ALKA, BFEU, MCNL, TACT, TCNL et MEXO

\* ITG (mot-clé)

\* ICOD1 (d)

ICOD1 = 1 Intégration normale (option par défaut pour les modules **ALKA**, **BFEU** et **MEXO**) .  
 = 11 Intégration réduite (option par défaut pour les modules **MCNL**, **TACT** et **TCNL**) .

**Fin des données de l'option ITG**



**Option ITN****Redéfinition du type d'intégration par défaut.**

---

**DESCRIPTION**

**ITN** est une option des modules de calcul **MPLI** et **MPNL**.

Cette option permet de forcer l'intégration normale pour les calculs locaux nécessitant une intégration numérique sur les éléments. Par défaut, MPLI utilise les points correspondant à une intégration normale et MPNL ceux qui correspondent à une intégration réduite.

Rq : pour MPNL, l'intégration normale donne des résultats dégradés (voir calcul du résidu...)

**DONNÉES DE L'OPTION ITN**

\* ITN (mot-clé)

**Fin des données de l'option ITN**

**Option ITR****Redéfinition du type d'intégration par défaut.**

---

**DESCRIPTION**

**ITR** est une option des modules de calcul **MPLI** et **MPNL**.

Cette option permet de forcer l'intégration réduite pour les calculs locaux nécessitant une intégration numérique sur les éléments. Par défaut, MPLI utilise les points correspondant à une intégration normale et MPNL ceux qui correspondent à une intégration réduite.

Rq : pour MPNL, l'intégration normale donne des résultats dégradés (voir calcul du résidu...)

**DONNÉES DE L'OPTION ITR**

\* ITR (mot-clé)

**Fin des données de l'option ITR**

## Option LIM

### Définition de conditions limites sur l'inconnue principale variables avec le temps.

#### DESCRIPTION

**LIM** est une option des modules de calcul **CSLI**, **CSNL**, **DTLI**, **DTNL**, **DYNI**, **MPLI**, **MPNL**, **MEXO**, **NAPP**, **NSAT**, **TEXO**.

Omettre l'option **LIM** si la structure ne possède pas de noeuds à paramètre imposé, ou si les paramètres en ces noeuds sont constants dans le temps.

Sinon, lecture pour chacun des modules **COND** déclarés précédemment dans le jeu de données, d'un tableau d'indicateurs **KCOND** et d'une fonction du temps **VCOND**. Le tableau **KCOND** permet de spécifier pour chaque pas de temps, si la structure est soumise aux conditions aux limites déclarées dans le I<sup>ème</sup> module **COND** ( $KCOND(J+1) = 1$ ) ou non, ( $KCOND(J+1) = 0$ ). La fonction **VCOND** permet d'indiquer la valeur du paramètre imposée aux noeuds du I<sup>ème</sup> module **COND**. Ainsi, si un noeud a été imposé à la valeur **UIMP** dans le I<sup>ème</sup> module **COND**, sa valeur au pas de temps **J** sera prise égale à :  $UIMP * VCOND(J + 1)$ , à la condition également que  $KCOND(J + 1) = 1$ .

Remarque : Pour les indices  $(J + 1)$  tels que  $KCOND(J + 1) = 0$ , les valeurs correspondantes de **VCOND** n'interviennent pas dans le calcul et celles-ci peuvent donc être données quelconques.

#### DONNÉES POUR LES MODULES DTLI, DTNL, NAPP, NSAT, TEXO, CSLI, MPLI, MPNL :

```
* LIM (mot-clé)

* Pour chaque module COND déclaré précédemment :

** (KCOND(J), J = 1, NPAS1), (VCOND(J), J = 1, NPAS1) (d)

    KCOND : Tableau d'indicateurs spécifiant si au pas de temps J les
            conditions aux limites déclarées dans le module COND considéré
            sont relaxées ou non :
            KCOND(J+1) = 0 si relaxée au pas de temps J.
                       = 1 sinon .

    VCOND : Tableau des fonctions multiplicatives des conditions aux
            limites.
            VCOND(J+1) = Valeur multiplicative au pas de temps J des
                        conditions aux limites déclarées dans le module COND
                        considéré.

    J = 1 : Pas de temps initial.

    NPAS1 : Nombre total de pas de temps + 1 (= NPAS + 1).
```

**DONNÉES POUR LE MODULE DYN1 :**

\* LIM (mot-clé)

\* M2 (d)

M2 : Indicateur de lecture des tableaux KCOND et VCOND;  
 = 0 Si lecture dans le présent jeu de données.  
 = 1 Si lecture sur fichier.

\* Si M2 = 1, lecture de :

\*\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier de lecture des tableaux KCOND et VCOND.

\* Pour chaque module **COND** déclaré précédemment, lecture de :

\*\* (KCOND (J), J = 1,NPAS1), (VCOND (J), J = 1,NPAS1) (d si M2 = 0 ;  
 f si M2 = 1 .)

KCOND : Tableau d'indicateurs spécifiant si au pas de temps J les conditions aux limites déclarées dans le module **COND** considéré, sont relaxées ou non;  
 KCOND(J+1) = 0 Si relaxées au pas de temps J.  
 = 1 Si non relaxées.

VCOND : Tableau des fonctions de déplacement;  
 VCOND(J+1) : Valeur multiplicative au pas de temps J des conditions aux limites déclarées dans le module **COND** considéré.

J=1 : Indice correspondant à l'origine du temps.

NPAS1 : Nombre total de pas de temps + 1 (= NPAS + 1).

**DONNÉES POUR LE MODULE MEXO :**

\* LIM (mot-clé)

\* ((VCT(IPAS1,ICOND), IPAS1=1,NPAS1), ICOND=1,NCOND) (d)

VCT : Facteur multiplicateur des conditions aux limites.  
 VCT(IPAS1,ICOND) est le facteur multiplicateur des conditions aux limites à la fin du pas de temps IPAS pour le module COND numéro ICOND.

NPAS1 = Nombre total de pas de temps + 1 (= NPAS + 1).

NCOND : Nombre de modules COND définis dans le jeu de données.

**Fin des données de l'option LIM**

**Option MNA****Changement des chargements volumiques pour une surface libre en régime transitoire.****DESCRIPTION**

**MNA** est une option du module **CSNL**, à mettre en œuvre si l'option **NAP** est utilisée.

L'emploi de l'option **NAP** en régime transitoire implique un changement de la surface libre en cours de calcul. Cette option contrôle les chargements volumiques du poids du sol à chaque pas de temps en fonction de la position des nœuds par rapport à la surface libre. Si le nœud est au-dessus, un chargement de type poids sec lui est appliqué, s'il est au-dessous le poids humide déjàugé est pris en compte.

**DONNÉES DE L'OPTION MNA**

\* MNA (mot-clé)

\*\* NGRC, (KGRC(I), I=1,NGRC) (d)

NGRC : Nombre de groupes concernés.

KGRC : Tableau contenant les numéros de ces groupes.

\*\* PVOLS(I), I=1,NGRC (d)

PVOLH(I), I=1,NGRC

PVOLF

PVOLS : Tableau contenant les poids volumiques secs ;

PVOLF : Tableau contenant les poids volumiques humides ;

PVOLF : Poids volumique du fluide.

**Fin des données de l'option MNA**

**Option MUL**

**Utilisation de la méthode multifrontale pour la résolution du système linéaire.**

**DESCRIPTION**

MUL est une option des modules de calcul **CSNL**, **DTNL**, **DYNI**, **FLAM**, **LINE**, **MCNL**, **MODE**, **NSAT**, **TCNL**, **TEXO** et **MEXO**.

Lorsque la méthode multifrontale est utilisée, les calculs se font la plupart du temps tout en mémoire, au contraire du code utilisé avec la méthode classique dite « skyline », cette dernière écrivant quasiment toujours les facteurs sur disque. Il résulte de l'utilisation de l'option **MUL** une taille mémoire nécessaire nettement supérieure aux valeurs habituellement utilisées jusqu'ici. Si cette taille importante devait empêcher la modélisation tout en mémoire sur des machines pourvues d'un faible espace mémoire, il est conseillé d'activer l'option d'écriture de la matrice des facteurs sur fichiers. Il est également possible de jouer sur le choix de l'algorithme de minimisation du remplissage pour déterminer la séquence de permutation optimale et ainsi minimiser la taille mémoire. Toutefois, la dissection emboîtée généralisée donne un meilleur résultat dans la grande majorité des cas, quoique la méthode soit plus lente.

**DONNÉES POUR LES MODULES CSNL, DTNL, DYNI, FLAM, LINE, MCNL, MODE, NSAT, TCNL, TEXO et MEXO:**

```
* MUL                                     (mot-clé)

* IGND, IIO                               (d)

  IGND   : Indicateur donnant le type d'algorithme de renumérotation
           utilisé.
           = 0 Algorithme du degré minimum.
           = 1 Dissection emboîtée généralisée.

  IIO    : Indicateur relatif à l'écriture des facteurs sur fichier.
           = 0 Calcul tout en mémoire.
           = 1 Ecriture des facteurs sur fichier.
```

**Fin des données de l'option MUL**

**Option NAP****Gestion de la surface libre à l'état d'équilibre.****DESCRIPTION**

**NAP** est une option du module de calcul **CSNL**.

Le contrôle de la surface libre est opéré soit par la fixation de celle-ci au temps T0 (cas stationnaire), soit par modification de celle-ci d'un état initial à un état final (cas transitoire). Dans le cas stationnaire, prévoir d'appliquer l'option de chargement WTB pour la modification des chargements volumiques. Dans le cas transitoire, l'option doit être couplée avec l'option MNA contrôlant les chargements volumiques à chaque pas de temps. Omettre cette option si aucun mouvement de nappe n'est prévu en début ou en cours de calcul.

**DONNÉES DE L'OPTION NAP**

\* NAP (mot-clé)

\* M0 (d)

M0 : Indicateur du régime de l'évolution de la surface libre;  
 = 0 Régime stationnaire (initialisation instantanée de la nappe à un état actuel non-modifié au cours du calcul );  
 = 1 régime transitoire (initialisation de la nappe à un état initial puis transition vers un état final ou actuel).

\* Si M0 = 0, lecture de :

\*\* M1 (d)

M1 : Indicateur de lecture du champ de charge hydraulique initial;  
 = -1 Pas de champ de charge initial;  
 = 0 Champ de charge initial lu aux noeuds;  
 = 1 Champ de charge initial lu dans un fichier de stockage ;  
 = 2 Champ de charge initial identique en chaque nœud.

\*\*Si M1 = 0, lecture de :

\*\*\* NNT, (HINI(I), I=1,NNT) (d)

NNT : Nombre de nœuds;

HINI : Tableau contenant les valeurs nodales de la charge initiale.

\*\*Si M1 = 1, lecture de :

\*\*\* NOMF1 : Nom du fichier contenant les charges hydrauliques initiales. Ce fichier est généralement créé par l'option STK d'un calcul de diffusion précédent ou l'option STH d'un calcul couplé précédent.

\*\*Si M1 = 2, lecture de :

\*\*\* HNAP1 : Valeur de la charge initiale en tout nœud.

\*\* M2 (d)

M2 : Indicateur de lecture du champ de charge hydraulique final;  
 = 0 Champ de charge actuel lu aux noeuds;  
 = 1 Champ de charge actuel lu dans un fichier de stockage ;  
 = 2 Champ de charge actuel identique en chaque nœud.

\*\*Si M2 = 0, lecture de :

\*\*\* NNT, (HFIN(I), I=1,NNT) (d)

NNT : Nombre de nœuds;

HFIN : Tableau contenant les valeurs nodales de la charge actuelle.

\*\*Si M2 = 1, lecture de :

\*\*\* NOMF2 : Nom du fichier contenant les charges hydrauliques actuelles. Ce fichier est généralement créé par l'option STK d'un calcul de diffusion annexe.

\*\*Si M2 = 2, lecture de :

\*\*\* HNAP2 : Valeur de la charge actuelle en tout nœud.

\* Si M0 = 1, lecture de :

\*\* M1 (d)

M1 : Indicateur de lecture du champ de charge hydraulique initial;  
 = -1 Pas de champ de charge initial;  
 = 0 Champ de charge initial lu aux noeuds;



= 1 Champ de charge initial lu dans un fichier de  
stockage ;  
= 2 Champ de charge initial identique en chaque nœud.

\*\*Si M1 = 0, lecture de :

\*\*\* NNT, (HINI(I), I=1,NNT) (d)

NNT : Nombre de nœuds;

HINI : Tableau contenant les valeurs nodales de la charge  
initiale.

\*\*Si M1 = 1, lecture de :

\*\*\* NOMF1 : Nom du fichier contenant les charges hydrauliques  
initiales. Ce fichier est généralement créé par  
l'option STK d'un calcul de diffusion précédent ou  
l'option STH d'un calcul couplé précédent.

\*\*Si M1 = 2, lecture de :

\*\*\* HNAP1 : Valeur de la charge initiale en tout nœud.

\*\* M2 (d)

M2 : Indicateur de lecture du champ de charge hydraulique final;  
= 0 Champ de charge actuel lu aux noeuds;  
= 1 Champ de charge actuel lu dans un fichier de  
stockage ;  
= 2 Champ de charge actuel identique en chaque nœud.

\*\*Si M2 = 0, lecture de :

\*\*\* NNT, (HFIN(I), I=1,NNT) (d)

NNT : Nombre de nœuds;

HFIN : Tableau contenant les valeurs nodales de la charge  
actuelle.

\*\*Si M2 = 1, lecture de :

\*\*\* NOMF2 : Nom du fichier contenant les charges hydrauliques  
actuelles. Ce fichier est généralement créé par

l'option STK d'un calcul de diffusion annexe.

\*\*Si M2 = 2, lecture de :

\*\*\* HNAP2 : Valeur de la charge actuelle en tout nœud.

\*\*Si M2 = 3, lecture de :

\*\*\* NOMF3 : Nom du fichier .rsv4 contenant les charges à tous les pas de temps. Ce fichier est généralement le fichier de résultat d'un calcul de diffusion annexe.

\*\*Si M2 = 0, 1 ou 2, lecture de :

\*\*\* NPAS, (VCONDEC(I), I=1,NPAS)

VCONDEC : Tableau contenant les coefficients de pondération entre l'état de charge initial et l'état actuel (ou final). Cette série de coefficients doit être une suite de nombres allant de 0 à 1.

**Fin des données de l'option NAP**

**Option NDP**

**Annulation des déplacements au moment de la lecture sur le fichier de reprise.**

---

**DESCRIPTION**

**NDP** est une option des modules de calcul **MCNL**, **TACT** et **TCNL**.

L'option **NDP** permet :

- de récupérer un état de contraintes initial issu d'un calcul, sans récupérer les déplacements associés ;
- d'obtenir lors d'un calcul par phases, l'incrément de déplacements dû à chaque phase.

L'option **NDP** n'a d'effets que si l'option **INI** figure dans le même jeu de données.

**DONNÉES POUR LES MODULES MCNL, TACT, TCNL :**

\* NDP

(mot-clé)

**Fin des données de l'option NDP**

**Option PAR****Utilisation du solveur externe PARDISO.**

---

**DESCRIPTION**

**PAR** est une option des modules de calcul CSNL, DTNL, LINE, MCNL. Elle permet l'utilisation d'un solveur externe parallèle pour les opérations d'assemblage et de résolution des systèmes linéaires. Elle est incompatible avec l'option MUL.

**DONNÉES POUR LES MODULES CSNL, DTNL, LINE, LIGC, MCNL :**

\* PAR

(mot-clé)

**Fin des données de l'option PAR**

**Option PCD****Préconditionnement du système linéaire.****DESCRIPTION**

**PCD** est une option du module de calcul **LIGC**.

**DONNÉES POUR LE MODULE LIGC :**

```

* PCD (mot-clé)

* IPREC (d)
  IPREC : Indicateur du preconditionnement utilisé ;
          = 1 Preconditionnement par la diagonale ;
          = 2 Preconditionnement par un algorithme de « Choleski
              incomplet » ;
          = 3 Preconditionnement par la méthode SSOR d'Evans.

* Si IPREC = 1 : Il n'y a pas de données supplémentaires à fournir

* Si IPREC = 2 :

** DFACT (d)
  DFACT : Coefficient de reconditionnement de la diagonale.
          Donner une valeur comprise entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}$ .

* Si IPREC = 3 :
  OMEGA : Paramètre de sur-relaxation de la diagonale.
          Donner  $0. \leq \text{OMEGA} \leq 2$ .
```

**Fin des données de l'option PCD**

**Option PRC****Modélisation de la précontrainte dans les éléments de barre.**

---

**DESCRIPTION**

**PRC** est une option des modules de calcul **MCNL** et **TCNL**.

**DONNÉES POUR LES MODULES MCNL ET TCNL :**

- \* PRC (mot-clé)
- \* NNC (d)  
NNC : Nombre de noeuds concernés.
- \* (KPRECO(I), I=1, NNC) (d)  
Liste des numéros de ces noeuds.
- \* (VPRECO(I), I=1, NNC) (d)  
Valeur de la force de précontrainte pour les noeuds de la liste.

Note : l'option PRC fonctionne pour les éléments de barre (pas pour les éléments de poutre) et avec IMET=1.

**Fin des données de l'option PRC**

**Option PRS****Sortie des suppressions interstitielles (calcul non drainé).****DESCRIPTION**

**PRS** est une option du module de calcul **MCNL**.

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

- \* PRS (mot-clé)
  
- \* NOMF (d)
 

Nom du fichier de stockage pour les incréments de charges ou les pressions finales (selon la présence ou nom du mot clé PV).

En l'absence du mot-clé PV, le fichier contient les valeurs nodales de la surpression interstitielle. Si le mot clé PV est présent, on peut reconstituer un champ de charge hydraulique pour initialiser un calcul d'écoulement avec le module DTNL.
  
- \* Si l'on souhaite visualiser des pressions (ou des variations de pression) au lieu de charges hydrauliques, donnée de :
  
- \*\* PV, RHOF (mot-clé)
 

PV : Mot-clé optionnel pour convertir les incréments de charge hydraulique en incréments de pression ou en pressions.

RHOF : poids volumique du fluide (les incréments de charges sont calculés à partir des incréments de pression en les divisant par RHOF)
  
- \*\* Si le mot clé PV est présent et si l'on souhaite calculer un champ de charges hydrauliques en vue d'initialiser un calcul DTNL, on donne un mot-clé supplémentaire IN (pour définition de la charge hydraulique initiale) :
  
- \*\*\* IN (mot-clé)
  
- \*\*\* INDPRS (d)
 

INDPRS : indicateur entier.

INDPRS=1 : charge initiale uniforme égale à HUNI.

INDPRS=2 : charge initiale lue dans un fichier de reprise du module DTNL.
  
- \*\*\* si INDPRS=1 :
  
- \*\*\*\* donnée de la valeur de HUNI (d)

\*\*\* si INDPRS=2 :

\*\*\*\* donnée de NOMFH (d)

NOMFH : nom du fichier de reprise où sont lues les charges hydrauliques initiales (à cumuler avec les variations de charge issues du calcul en cours).

**Fin des données de l'option PRS**



## Option PTX

Écriture ou lecture des champs de température et de degré d'hydratation sur un fichier spécifique quand les numéros des nœuds des éléments de volume ne coïncident pas dans les maillages des calculs TEXO et MEXO.

---

### DESCRIPTION

**PTX** est une option de chaînage des modules de calcul **TEXO** et **MEXO**.

L'option **PTX** est utilisée lorsque les numéros des nœuds des éléments de volume ne coïncident pas entre le maillage **TEXO** et le maillage **MEXO**. Par exemple, ceci est le cas lorsque le maillage **MEXO** contient des éléments de structure (poutres, barres, coques) non modélisés dans le maillage **TEXO**.

Le fonctionnement de cette option de chaînage est le suivant :

Pour le calcul **TEXO**, création d'un fichier à structure spécifique permettant le transfert vers le module **MEXO** des champs de température et de degré d'hydratation, en plus du fichier standard de résultats exploité par **CLEO**. Le fichier créé par l'option **PTX** s'appelle [étude]\_[calcul].prtx. Il est constitué à partir du fichier de résultats standard ([étude]\_[calcul].resu, et son contenu dépend de l'option **SRE**.

Pour le calcul **MEXO**, lecture des champs de température et de degré d'hydratation depuis le fichier .prtx créé par le module **TEXO**.

On peut omettre l'option **PTX** si le maillage **MEXO** est identique au maillage **TEXO** (au typage des éléments près), mais il faut alors obligatoirement utilisé l'option **SRE** lors du calcul **TEXO** et l'option **TXO** lors du calcul **MEXO**.

### DONNÉES POUR LE MODULE TEXO :

\* PTX

(mot-clé)

**DONNÉES POUR LE MODULE MEXO :**

\* PTX (mot-clé)

\* M0 (d)

M0 : Indicateur de sélection des pas de temps stockés lors du calcul avec le module **TEXO**  
 = 0 si on utilise les résultats de tous les pas de temps du calcul **TEXO**. Dans ce cas, le nombre de pas de temps du calcul **MEXO** doit être égal à celui du calcul **TEXO**.  
 = 1 dans le cas contraire. Cette

\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier spécifique créé par l'option **PTX** lors du calcul **TEXO** (suffixe .prtx).

\* Si M0=1 :

\*\* (KPAS(I), I=1, NPAS1) (d)

NPAS1 = NPAS + 1  
 avec NPAS : Nombre de pas de temps du calcul **MEXO**.

KPAS : numéros des pas de stockage des résultats du calcul **TEXO** intervenant dans le calcul **MEXO**.  
 ATTENTION : le pas à l'instant initial a le numéro 0 ; les pas suivants sont les rangs des résultats stockés lors du calcul **TEXO** (voir valeurs 1 du tableau KSRE de l'option SRE du calcul **TEXO**).

**Fin des données de l'option PTX**

**Option QAB****Donnée des résultats de l'essai Q A B.****DESCRIPTION**

**QAB** est une option du module de calcul TEXO.

**DONNÉES POUR LE MODULE TEXO :**

- \* QAB (mot-clé)
- \* NOP, (TEMPS(I), TETA(I), TETAE(I), I=1,NOP) (d)
  - NOP : Nombre de triplets de valeurs temps/températures introduits en données.
  - TEMPS : Valeur du temps au moment de chaque mesure I.
  - TETA : Valeur de la température de l'échantillon au moment de chaque mesure. TETA(1) = température initiale de l'échantillon.
  - TETAE : Valeur de la température à l'extérieur du calorimètre au moment de chaque mesure.
- \* A, B, C, CM (d)
  - A, B, C : Coefficients caractéristiques des déperditions thermiques du calorimètre.
 
$$\text{Puissance perdue} = A / C * (TETA - TETAE) + B / C * (TETA - TETAE)**2$$
 A/C a pour dimension l'inverse d'un temps.  
 B/C a pour dimension l'inverse d'un temps \* température.
  - CM : Capacité calorifique de l'échantillon.
- \* XK (d)
  - XK : Constante de la loi d'Arrhénius (En l'absence d'information sur cette valeur, faire : XK = 5500.)

**Fin des données de l'option QAB**

**Option REA****Calcul de réactions nodales.****DESCRIPTION**

**REA** est une option du module MCNL.

Elle remplit deux fonctions :

- elle permet d'imprimer dans la liste de sortie les valeurs des réactions nodales associées à des degrés de liberté bloqués par les conditions aux limites définies par le module COND ;
- elle permet de stocker sur un fichier externe des données utilisées par l'option EXC du module CHAR pour modéliser des forces de déconfinement.

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

```

* REA                                                    (mot-clé)

* M1                                                    (d)

* Si M1=1, donnée de :

** NOMF                                                    (d)
   NOMF : nom du fichier binaire de stockage des réactions calculées

* Si M1=2 :

** NOMF1                                                    (d)
   NOMF1 : nom du fichier binaire où sont relues les réactions calculées à
           l'étape de calcul précédente

** NOMF2                                                    (d)
   NOMF2 : nom du fichier binaire où sont stockées les réactions calculées
           à la fin du calcul

* Si M1=3, pas d'autre donnée à fournir (les réactions associées aux ddl
imposés sont écrites dans le fichier .list)

```

**Fin des données de l'option REA**

**Option REB****Redémarrage d'un calcul non linéaire non convergé**

---

**DESCRIPTION**

**REB** est une option du module de calcul **MCNL**.

L'option **REB** permet de redémarrer un calcul élastoplastique qui n'a pas convergé.

Le mécanisme est le suivant : dans le cas où l'un des incréments d'un calcul avec MCNL ne converge pas, l'état des variables à l'instant où l'on interrompt le calcul est sauvegardé dans un fichier binaire ad hoc (etude\_calcul.reboot).

L'option doit être utilisée dans un nouveau jeu de données où aucun chargement n'est imposé et où les conditions aux limites sont les mêmes que dans le calcul qui a été interrompu.

**DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :**

\* REB (mot-clé)

\* NOMF (d)

NOMF : nom du fichier binaire de redémarrage généré par le calcul qui n'a pas convergé

**Fin des données de l'option REB**

## Option RMX

### Recherche des pics de valeurs en dynamique

#### DESCRIPTION

**RMX** est une option des modules **DYNI**, **SUMO** et **DYNL**.

Cette option permet la recherche des maxima atteints par les paramètres principaux (déplacements) et les résultats complémentaires (contraintes, efforts, moments) lors d'un calcul en dynamique. L'affichage correspondant est fait sous forme de tableaux dans le fichiers « .list », indiquant les numéros des nœuds et éléments concernés, ainsi que la valeur du temps correspondant.

#### DONNÉES POUR LES MODULES DYNI, SUMO ET DYNL:

```
* RMX (mot-clé)

* IUMX, ICMX (d)
    IUMX   = 1 : Recherche des pics de déplacements
            = 0 sinon.
    IUMX   = 1 : Recherche des pics de contraintes, efforts, moments
            = 0 sinon.

* NGR (d)
    NGR    : Nombre de groupes où l'on effectue la recherche

* (KGR (I), I=1, NGR) (d)
    KGR    : Numéros de groupes où l'on effectue la recherche
```

**Fin des données de l'option RMX**

**Option RTP****Stockage de résultats en certains nœuds pour une liste de pas de temps****DESCRIPTION**

**RMX** est une option du module **DYNI**.

Cette option permet le stockage sur le fichier de résultats « .rsv4 » des paramètres principaux (déplacements ou déplacements et rotations) pour une liste de pas de temps lors d'un calcul en dynamique.

Rq. : une extension aux résultats complémentaires (contraintes, efforts, moments) est prévue et reste à programmer.

**DONNÉES POUR LE MODULE DYNI**

```

* RTP (mot-clé)

* NPRST (d)
  NPRST : Nombre de pas où l'on stocke les paramètres principaux
          (NPRST limité à 1000).

* Si NPRST < NPAS1, donnée de :

** (KPRST(I), I=1, NPRST) (d)
  KPRST : Tableau des numéros des pas de temps concernés.
  NPAS1  : Nombre de pas de temps concernés

* NNRST (d)
  NNRST : Nombre de noeuds où l'on stocke les paramètres principaux
          (NNRST limité à 10)

* (KNRST(I), I=1, NNRST) (d)
  KNRST : Tableau des numéros des noeuds concernés

* IUST, ICST (d)
  IUST = 0 : Pas de stockage des paramètres principaux.
        = 1 : Stockage des déplacements.
        = 2 : Stockage des déplacements et des rotations.
  ICST = 0 : Pas de stockage des résultats complémentaires (seule
          option possible actuellement).
```

**Fin des données de l'option RMX**

## Option SFC

### Sortie en Fonction du Chargement.

---

#### DESCRIPTION

**SFC** est une option de post-traitement du module MCNL.

Elle vise à permettre un dépouillement simplifié des résultats d'un calcul, en fournissant la valeur d'un des ddl d'un des noeuds du maillage, en fonction du coefficient appliqué à l'un des chargements définis dans le module CHAR (pour obtenir par exemple une courbe charge-déplacement).

#### DONNÉES POUR LE MODULE MCNL :

- \* SFC (mot-clé)
- \* NUMNOD, NUMDDL, NUMCHA (d)
  - NUMNOD : Numéro du noeud concerné
  - NUMDDL : Numéro du ddl à relever
  - NUMCHA : Numéro du chargement pilotant le calcul
- \* NOMF2 (d)
  - NOMF2 : Nom du fichier formaté contenant les résultats relevés.

**Fin des données de l'option SFC**



## Option SRE

### Stockage des résultats en vue de leur exploitation graphique.

#### DESCRIPTION

**SRE** est une option des modules de calcul **CSLI**, **CSNL**, **DTLI**, **DTNL**, **DYNI**, **MCNL**, **MPLI**, **MPNL**, **MEXO**, **NAPP**, **NSAT**, **SUMO** et **TEXO**.

L'option **SRE** permet de spécifier :

- les pas de temps pour lesquels on souhaite stocker les résultats de calcul en vue de leur exploitation graphique par les options de post-traitement de **CLEO** ;
- le niveau de stockage désiré.

L'option **SRE** peut être également utilisée lors d'un calcul **TEXO** en vue du chaînage avec un calcul **MEXO**, si les numéros des nœuds des éléments de volume coïncident dans les maillages respectifs. Si ce n'est pas le cas, il faut utiliser l'option de chaînage **PTX**.

Selon la valeur de l'indicateur **ISRC**, sont stockées les valeurs nodales de l'inconnue principale et éventuellement les résultats complémentaires (voir le paragraphe Résultats dans les description du début du chapitre), aux pas de temps spécifiés dans le tableau **KSRE**.

Si l'option **SRE** n'est pas utilisée : par souci d'économie de l'espace disque, il n'est prévu que le stockage du champ d'inconnues principales à chaque pas de temps.

#### DONNÉES POUR LES MODULES CSLI, DTLI, DTNL, DYNI, MPLI, MPNL, MEXO, NAPP, NSAT, SUMO, TEXO :

```
* SRE (mot-clé)
```

```
* (KSRE(I), I = 1, NPAS1) (d)
```

KSRE : Tableau d'indicateurs spécifiant pour chaque pas de temps si l'on désire ou non stocker les résultats ;  
           KSRE (I+1) = 0 Aucun stockage au pas de temps I.  
                       = 1 Stockage au pas de temps I des résultats désignés par l'indicateur ISRC.

I = 1 : Pas de temps initial.

NPAS1 : Nombre total de pas de temps + 1 (= NPAS + 1).

```
* ISRC (d)
```

ISRC : Indicateur du niveau de stockage souhaité ;  
       = 0 Stockage de l'inconnue principale.  
       = 1 Stockage de l'inconnue principale et des résultats complémentaires.  
       = 2 dans le cas du module DYNI uniquement, stockage identique au cas 1 mais incluant les déformations dans les résultats complémentaires.

#### Fin des données de l'option SRE

**Option STH**

**Stockage de la charge hydraulique du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieure.**

---

**DESCRIPTION**

**STH** est une option du module de calcul **CSNL**.

Cette option permet de stocker sur fichiers la charge hydraulique du dernier pas de temps, en vue d'une reprise de calcul **CSNL**.

**DONNÉES POUR LE MODULE CSNL :**

\* STH (mot-clé)

\* NOMFH (d)

NOMFH : Nom du fichier Nom du fichier sur lequel sont stockées les valeurs nodales de la charge hydraulique au dernier pas de temps.

**Fin des données de l'option STH**

## Option STK

### Stockage des résultats pour reprise de calcul ultérieure.

**STK** est une option des modules de calcul **CSLI**, **CSNL**, **DTLI**, **DTNL**, **DYNI**, **MCNL**, **MEXO**, **MPNL**, **NAPP**, **NSAT**, **SURF**, **TACT**, **TCNL** et **TEXO**.

Pour les modules **CSLI** et **CSNL**, l'option **STK** permet de stocker sur fichiers les résultats (déplacements et charge hydraulique) du dernier pas de temps du présent calcul, en vue d'une reprise de calcul **CSLI**. Il est prévu de stocker sur des fichiers indépendants les déplacements et la charge hydraulique. Lors d'une reprise de calcul **CSLI**, ceux-ci pourront être relus grâce aux options **INH** et **INU**.

Pour les modules **DTLI**, **DTNL** et **NSAT**, l'option **STK** permet de stocker sur fichier les résultats de calcul du dernier pas de temps, soit en vue d'une reprise avec l'option **INI** du calcul en diffusion, soit en vue d'un calcul en mécanique prenant en compte un chargement d'origine thermique ou équivalent.

Pour le module **DYNI**, l'option **STK** permet de stocker sur fichier les résultats de calcul du dernier pas de temps (champs de déplacement et de vitesse), en vue d'une reprise du calcul **DYNI**. Lors de la reprise, utiliser pour initialiser le champ de paramètres l'option **INI** avec  $M2 = 1$  en indiquant le nom de fichier donné ci-dessous.

Pour les modules **MCNL**, **TACT** et **TCNL**, l'option **STK** permet de stocker sur fichier les résultats (champ de déplacements et champ de contraintes) du dernier incrément pour une reprise de calcul ultérieure. Lors de la reprise. (avec le même module d'exécution), l'option **INI** doit alors être utilisée.

Pour le module **MEXO**, l'option **STK** permet de stocker sur fichier les résultats de calcul (champ de déplacements et champ de contraintes) du dernier pas de temps en vue d'une reprise du calcul **MEXO**. Lors de la reprise du calcul **MEXO**, utiliser l'option **INI** pour initialiser les champs de paramètres.

Pour le module **MPNL**, l'option **STK** permet de stocker sur fichier les résultats d'un calcul non linéaire (déplacements, pression, température, contraintes, flux, déformations anélastiques, porosité anélastiques etc..) en vue d'une reprise complète de calcul ultérieure. Lors de la reprise avec le module **MPNL**, l'initialisation est effectuée avec l'option **INI**.

Pour le module **NAPP**, l'option **STK** permet de stocker sur fichier les résultats de calcul du dernier pas de temps en vue d'une reprise du calcul **NAPP**. Lors de la reprise du calcul **NAPP**, utiliser l'option **INI** pour initialiser le champ de paramètres.

Pour le module **SURF**, l'option **STK** permet de stocker sur fichier le vecteur de charges nodales obtenu en fin de calcul **SURF**, en vue de modéliser l'effet mécanique du à la présence d'un fluide interstitiel. Lors du calcul en mécanique, cet effet est pris en compte sous forme d'un chargement de contraintes initiales en utilisant l'option **SIG** ( $IOPT = 4$ ) du module **CHAR**.

Pour le module **TEXO**, l'option **STK** permet de stocker sur fichier les résultats de calcul du dernier pas de temps, en vue d'une reprise du calcul **TEXO**. Lors de la reprise du calcul **TEXO**, utiliser pour initialiser le champ de paramètres l'option **INI** avec  $M2 = 3$  ou  $M2 = 4$ , et en indiquant le nom de fichier donné ci-dessous.

**DONNÉES POUR LES MODULES CSLI, DTLI, DTNL, DYNI, MCNL, MEXO, MPNL, NAPP, NSAT, SURF, TACT, TCNL, TEXO :**

\* STK (mot-clé)

\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier de stockage des résultats en vue d'une reprise ultérieure.

**DONNÉES POUR LE MODULE CSLI :**

\* STK (mot-clé)

\* NOMFH (d)

NOMFH : Nom du fichier sur lequel sont stockées les valeurs nodales de la charge hydraulique obtenues au dernier pas de temps.

\* NOMFU (d)

NOMFU : Nom du fichier sur lequel sont stockés les déplacements nodaux obtenus au dernier pas de temps.

**Fin des données de l'option STK**

## Option STP

### Stockage des pressions sur fichier.

---

#### DESCRIPTION

**STP** est une option des modules de calcul **MPLI** et **MPNL**.

L'option **STP** permet de stocker sur fichier les pressions du dernier pas de temps (uniquement), en vue d'une initialisation pour un autre calcul avec les modules **MPLI** ou **MPNL** (reprise avec l'option **INP** du calcul ultérieur).

#### DONNÉES POUR LES MODULES MPLI, MPNL :

\* STP (mot-clé)

\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier sur lequel sont stockés les pressions obtenus  
au dernier pas de temps.

**Fin des données de l'option STP**

**Option STT****Stockage des températures sur fichier.**

---

**DESCRIPTION**

**STT** est une option des modules de calcul **MPLI** et **MPNL**.

L'option **STT** permet de stocker sur fichier les températures du dernier pas de temps (uniquement), en vue d'une initialisation pour un autre calcul avec les modules **MPLI** ou **MPNL** (reprise avec l'option **INT** du calcul ultérieur).

**DONNÉES POUR LES MODULES MPLI, MPNL :**

\* STT (mot-clé)

\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier sur lequel sont stockés les températures obtenus au dernier pas de temps.

**Fin des données de l'option STT**

## Option STU

### Stockage des déplacements sur fichier.

---

#### DESCRIPTION

**STU** est une option des modules de calcul **CSNL**, **MPLI** et **MPNL**.

L'option **STU** permet de stocker sur fichier les déplacements du dernier pas de temps (uniquement), en vue d'une initialisation pour un autre calcul avec **MPLI** ou **MPNL** (reprise avec l'option **INU** du calcul ultérieur).

#### DONNÉES POUR LES MODULES MPLI, MPNL :

\* STU (mot-clé)

\* NOMF (d)

NOMF : Nom du fichier sur lequel sont stockés les déplacements obtenus au dernier pas de temps.

**Fin des données de l'option STU**

## Option SUI

### Définition des surfaces de suintement

---

#### EXPLICATION

**SUI** est une option des modules de calcul **NSAT** et **SURF**.

Omettre l'option **SUI** si le problème ne comporte pas de surface de suintement.

#### DONNÉES POUR LES MODULES NSAT, SURF :

\* SUI (mot-clé)

\* NF, NNF (d)

NF : Nombre de facettes situées sur les surfaces de suintement.

NNF : Nombre maximum de noeuds d'une facette.

\* (KNF(I), I =1, NNF\*NF) (d)

KNF : Tableau contenant la numérotation des facettes de suintement.

#### Fin des données de l'option SUI



**Option TIM****Stockage des résultats du dernier pas de temps pour reprise de calcul ultérieur**

---

**DESCRIPTION :**

Cette option permet de définir une fonction du temps échantillonnée sur des instants qui ne sont pas régulièrement espacés. Elle désactive par conséquent le pas de temps  $dt$  défini dans les données propres du module.

**DONNEES DE L'OPTION TIM :**

\* TIM (mot-clé)

\* (TEMPS(IPAS), IPAS=1, NPAS1) (d)

TEMPS(IPAS): valeur du temps au début du pas de temps IPAS, tel que  
 $DT = TEMPS(IPAS+1) - TEMPS(IPAS)$ .

**Fin des données de l'option TIM**

**Option TRV****Calcul d'un travail virtuel**

---

**DESCRIPTION :**

**TRV** est une option du module **MCNL**.

Cette option permet de calculer le travail virtuel d'un (ou plusieurs) chargement(s) (définis chacun par un module CHAR), éventuellement fictif, dans le champ de déplacement final d'un calcul MCNL. Elle permet par exemple de calculer la variation de volume d'une cavité, si le chargement fictif utilisé pour le calcul est une pression sur son bord.

**DONNEES DE L'OPTION TRV :**

\* TRV (mot-clé)

\* NAUX (d)

NAUX : nombre de chargements dont on veut calculer le travail virtuel

La valeur de NAUX est limitée à 10.

\* NUMCHT(I), I=1..NAUX (d)

NUMCHT : numéros des chargements retenus dans la séquence des modules CHAR figurant dans le jeu de données

**Fin des données de l'option TRV**

## Option TXO

**Lecture des champs de température et de degré d'hydratation sur le fichier de résultats du calcul TEXO.**

### DESCRIPTION

**TXO** est une option du module de calcul **MEXO**.

Utiliser l'option **TXO** si les maillages correspondant aux calculs **TEXO** et **MEXO** ont la même numérotation. Les champs de température et de degré d'hydratation sont lus par **MEXO** sur le fichier de résultats du calcul **TEXO**.

Remarque : Si le maillage **TEXO** comporte des éléments d'échange, ceux-ci peuvent être conservés pour le calcul **MEXO**, en leur affectant un coefficient d'échange nul.

### DONNÉES POUR LE MODULE MEXO :

```
* TXO (mot-clé)
```

```
* M0 (d)
```

```

M0      : Indicateur de sélection des pas de temps stockés lors du calcul
          avec le module TEXO ;
          = 0. si on utilise les résultats de tous les pas de temps du
          calcul TEXO. Dans ce cas, le nombre de pas de temps du
          calcul MEXO doit être égal au nombre de pas de temps du
          calcul TEXO.
          = 1. dans le cas contraire.
```

```
* NOMF (d)
```

```

NOMF    : Nom du fichier de résultats créé par le module TEXO.
```

```
* Si M0=1 :
```

```
** (KPAS (I), I=1, NPAS1) (d)
```

```

NPAS1   = NPAS + 1
          avec NPAS : Nombre de pas de temps du calcul MEXO.
```

```

KPAS    : numéros des pas de stockage des résultats du calcul TEXO
          intervenant dans le calcul MEXO.
          ATTENTION : le pas à l'instant initial a le numéro 0 ; les pas
          suivants sont les rangs des résultats stockés lors du calcul
          TEXO (voir valeurs 1 du tableau KSRE de l'option SRE du calcul
          TEXO).
```

**Fin des données de l'option TXO**





**Université  
Gustave Eiffel**

🌐 [www.cesar-lcpc.com](http://www.cesar-lcpc.com)  
✉ [cesar-lcpc@itech-soft.com](mailto:cesar-lcpc@itech-soft.com)  
☎ +33 (0)1 49 76 12 59

14-20 Boulevard Newton  
Cité Descartes, Champs sur Marne  
F-77447 Marne la Vallée Cedex 2  
[www.ifsttar.fr](http://www.ifsttar.fr)