

---

## Macro-commande CALC\_ESSAI\_GEOMECA

---

### 1 But

---

Cette macro-commande permet de simuler pour un point matériel différents trajets de chargement caractéristiques d'essais géomécaniques, et de post-traiter les résultats obtenus. L'utilisateur fournit en entrée le comportement, le matériau, ainsi que des listes de paramètres de chargement qui correspondent à plusieurs occurrences d'un même essai. Les essais disponibles sont les suivant :

- essai triaxial monotone drainé
- essai triaxial monotone non drainé
- essai de cisaillement cyclique drainé
- essai triaxial cyclique non drainé

Produit des courbes au format xmgrace et/ou des structures de données `table`.

## Table des Matières

1 But.....	1
2 Syntaxe.....	3
3 Opérandes.....	5
3.1 Opérande MATER .....	5
3.2 Mot-clé COMP_INCR.....	5
3.3 Mot clé CONVERGENCE.....	5
3.4 Mot clé ESSAI_TD.....	5
3.4.1 Opérandes PRES_CONF, EPSI_IMPOSE, NB_INST.....	5
3.4.2 Opérande TABLE_RESU.....	6
3.4.3 Opérande GRAPHIQUE.....	6
3.4.4 Opérande TABLE_REF.....	7
3.5 Mot clé ESSAI_TND.....	7
3.5.1 Opérandes PRES_CONF, EPSI_IMPOSE, NB_INST.....	7
3.5.2 Opérande BIOT_COEF.....	7
3.5.3 Opérande TABLE_RESU.....	8
3.5.4 Opérande GRAPHIQUE.....	8
3.5.5 Opérande TABLE_REF.....	8
3.6 Mot clé ESSAI_CISA_C.....	8
3.6.1 Opérandes PRES_CONF, EPSI_IMPOSE, NB_CYCLE, NB_INST.....	8
3.6.2 Opérande EPSI_ELAS.....	9
3.6.3 Opérande TABLE_RESU.....	9
3.6.4 Opérande GRAPHIQUE.....	11
3.6.5 Opérande TABLE_REF.....	11
3.7 Mot clé ESSAI_TND_C.....	11
3.7.1 Opérandes PRES_CONF, SIGM_IMPOSE, NB_CYCLE, NB_INST.....	11
3.7.2 Opérande BIOT_COEF.....	12
3.7.3 Opérande UN_SUR_K.....	12
3.7.4 Opérande TABLE_RESU.....	12
3.7.5 Opérande GRAPHIQUE.....	14
3.7.6 Opérande TABLE_REF.....	14

## 2 Syntaxe

```
CALC_ESSAI_GEOMECA (
```

```
♦ MATER = mat , [ mater ]  
♦ COMP_INCR = _F( voir le document [U4.51.11] ),  
◇ CONVERGENCE = _F( voir le document [U4.51.03] ),
```

```
# Essai triaxial monotone drainé ( TD )
```

```
♦ | ESSAI_TD = _F (
    ♦ PRES_CONF = l_pconf, [1_R]
    ♦ EPSI_IMPOSE = l_epsimpo, [1_R]
    ◇ NB_INST = / 100, [DEFAULT]
    / nbinst, [I]
    ◇ TABLE_RESU = l_tabres, [1_CO]
    ◇ GRAPHIQUE = / ('P-Q', 'EPS_AXI-Q',
    'EPS_AXI-EPS_VOL'), [DEFAULT]
    / l_typgraph, [1_Kn]
    ◇ TABLE_REF = l_tablef, [1_table ]
),
```

```
# Essai triaxial monotone non drainé ( TND )
```

```
| ESSAI_TND = _F (
    ♦ PRES_CONF = l_pconf, [1_R]
    ♦ EPSI_IMPOSE = l_epsimpo, [1_R]
    ◇ BIOT_COEF = / 1., [DEFAULT]
    / biot, [R]
    ◇ NB_INST = / 100, [DEFAULT]
    / nbinst, [I]
    ◇ TABLE_RESU = l_tabres, [1_CO]
    ◇ GRAPHIQUE = / ('P-Q', 'EPS_AXI-Q',
    'EPS_AXI-PRE_EAU'), [DEFAULT]
    / l_typgraph, [1_Kn]
    ◇ TABLE_REF = l_tablef, [1_table ]
),
```

```
# Essai de cisaillement cyclique drainé ( CISA_C )
```

```
| ESSAI_CISA_C = _F (
    ♦ PRES_CONF = l_pconf, [1_R]
    ♦ EPSI_IMPOSE = l_epsimpo, [1_R]
    ♦ NB_CYCLE = nbcyc, [I]
    ◇ EPSI_ELAS = / 1.E-7 , [DEFAULT]
    / epselas, [R]
    ◇ NB_INST = / 25 , [DEFAULT]
    / nbinst, [I]
    ◇ TABLE_RESU = l_tabres, [1_CO]
    ◇ GRAPHIQUE = / ('EPSXY-SIGXY',
    'EPSXY-G', 'EPSXY-D'), [DEFAULT]
    / l_typgraph, [1_Kn]
    ◇ TABLE_REF = l_tablef, [1_table ]
),
```

# Essai triaxial cyclique non drainé ( TND \_C )

```
|   ESSAI_TND_C = _F (

    ♦ PRES_CONF      = l_pconf,                [l_R]
    ♦ SIGM_IMPOSE    = l_sig impo,            [l_R]
    ♦ NB_CYCLE       = nbcyc,                 [I]
    ♦ UN_SUR_K       = unsurk ,               [R]
    ◇ BIOT_COEF      = / 1.,                  [DEFAULT]
                          / biot,             [R]
    ◇ NB_INST        = / 25 ,                  [DEFAULT]
                          / nbinst,           [I]
    ◇ TABLE_RESU    = l_tabres,               [l_CO]
    ◇ GRAPHIQUE      = / (' SIG_AXI-PRE_EAU ', 'P-Q',
                          'NCYCL-DSIGM'),      [DEFAULT]
                          / l_typgraph,        [l_Kn]
    ◇ TABLE_REF     = l_table f,             [l_table ]

    ),

◇   INFO = / 1 ,                               [DEFAULT]
          / 2, );
```

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérande MATER

◆ MATER = mat, [mater]

Ce mot-clé permet de renseigner le nom du matériau défini par `DEFI_MATERIAU` [U4.43.01], où sont fournis les paramètres nécessaires au comportement choisi.

### 3.2 Mot-clé COMP\_INCR

La syntaxe de ce mot clé est décrite dans le document [U4.51.11].

Dans le cadre de cette macro-commande, l'utilisation de l'opérande `RELATION` du mot-clé `COMP_INCR` est bornée aux lois élasto-plastiques de sol suivantes :

- 'CAM\_CLAY'
- 'CJS'
- 'DRUCK\_PRAGER'
- 'DRUCK\_PRAG\_N\_A'
- 'HUJEUX'

### 3.3 Mot clé CONVERGENCE

La syntaxe de ce mot-clé est décrite dans le document [U4.51.03]. Il permet de modifier les valeurs par défaut des paramètres de convergence.

### 3.4 Mot clé ESSAI\_TD

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai triaxial drainé pour lesquelles on fait varier les paramètres de chargement (pression de confinement et déformation axiale imposée), de post-traiter les résultats obtenus et de les écrire sous forme de graphiques (au format `xmgrace`) et/ou de tables.

#### 3.4.1 Opérandes PRES\_CONF, EPSI\_IMPOSE, NB\_INST

◆ PRES\_CONF = l\_pconf, [l\_R]  
◆ EPSI\_IMPOSE = l\_eps i mpo, [l\_R]  
◇ NB\_INST = / 100, [DEFAULT]  
/ nbinst, [I]

L'opérande `PRES_CONF` permet de définir la liste des pressions de confinement qui seront maintenues au cours de chaque essai. De même l'opérande `EPSI_IMPOSE` permet de définir la liste des valeurs finales du chargement de compression ( rampe de déformation axiale imposée).

Pour cet essai, on fait correspondre à chaque pression de confinement une valeur finale pour la rampe de déformation axiale (voir figure 3.4.1-a ) : les listes `PRES_CONF` et `EPSI_IMPOSE` doivent donc avoir même cardinal. C e cardinal correspond au nombre de simulations qui seront exécutées sous ce mot-clé facteur.

Les contraintes et les déformations étant comptées négativement en compression, les valeurs renseignées pour `PRES_CONF` et `EPSI_IMPOSE` doivent être strictement négatives.

L'opérande `NB_INST` permet de définir la discrétisation temporelle du chargement (voir figure 3.4.1-a ) , avec une valeur par défaut de 100 pas de chargement au cours de la rampe.

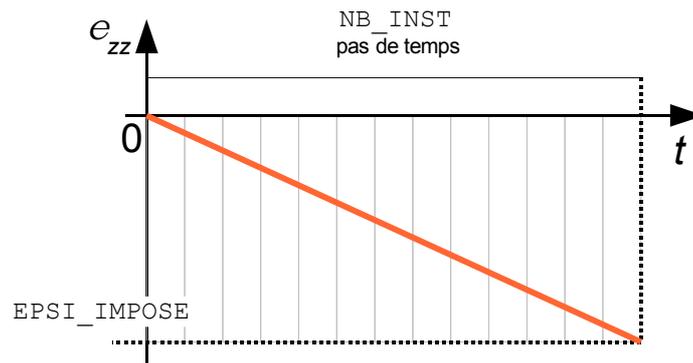


Figure 3.4.1-a: discrétisation et allure du chargement pour les mots-clés ESSAI\_TD et ESSAI\_TND

### 3.4.2 Opérande TABLE\_RESU

◇ TABLE\_RESU = l\_tabres , [l\_CO ]

Cet opérande facultatif permet de donner la liste des noms des concepts produits par la macro-commande qui seront alors de type [table] . Chaque table produite contient les résultats bruts et post-traités d'une simulation d'essai : la liste TABLE\_RESU doit donc avoir même cardinal que les listes PRES\_CONF et EPSI\_IMPOSE .

Le titre de chaque table produite est complété par la macro-commande, il comprend :

- le nom du mot-clé facteur (ici ESSAI\_TD ) et son numéro d'occurrence ( celui-ci étant répétable )
- le couple de valeurs (PRES\_CONF, EPSI\_IMPOSE) caractérisant le chargement de l'essai

Exemple :

```
TABRES1 =CO('TRES1')
TABRES2 =CO('TRES2')
TABRES3 =CO('TRES3')

CALC _ESSAI_GEOMECA (
  ...
  ESSAI_TD = _F( PRES_CONF = (-1.0E4 , -1.5E4 , -2.0E4 ) ,
                EPSI_IMPOSE = (-1.0E-2, -1.0E-2, -1.0E-2) ,
                TABLE_RESU = ( TABRES1, TABRES2, TABRES3 ) , ) ,
  ...
);
```

TABRES1 , TABRES 2 , et TABRES 3 sont successivement remplies selon l'ordre des listes PRES\_CONF et EPSI\_IMPOSE , le tableau ci-dessous précise les résultats d'essais contenus dans chaque table.

EPSI_IMPOSE ®	-1.0E-2	-1.0E-2	-1.0E-2
PRES_CONF			
-1.0E4	TABRES1		
-1.5E4		TABRES2	
-2.0E4			TABRES3

### 3.4.3 Opérande GRAPHIQUE

◇ GRAPHIQUE = / ('P-Q', 'EPS\_AXI-Q', 'EPS\_AXI-EPS\_VOL'), [DEFAULT]  
/ l\_typgraph, [l\_Kn]

Cet opérateur permet de préciser les types des graphiques produits par la macro-commande. Ces graphiques récapitulent les résultats des simulations exécutées sous le mot-clé facteur courant. La valeur par défaut est la liste de tous les types de graphiques disponibles pour le mot-clé facteur, mais il est possible d'en exclure certains en renseignant une liste ne contenant que les types souhaités parmi ceux qui figurent dans la liste de valeurs par défaut. Les fichiers contenant ces graphiques sont écrits au format xmgrace dans un même répertoire spécifié par l'utilisateur (type `repe` en résultat dans `astk`), et sont nommés de la manière suivante :

```
' nom du mot-clé facteur ' _ ' numéro d'occurrence ' _ ' type de graphique ' .dat
```

Par exemple :

```
ESSAI_TD = ( _F ( ... GRAPHIQUE = ( ' P-Q ', ' EPS_AXI-Q ' ), ... ),  
            _F ( ... GRAPHIQUE = ( ' P-Q ' ), ... ), ) ,
```

produit les fichiers suivants :

```
Essai_TD_1_P-Q.dat, Essai_TD_1_EPS_AXI-Q.dat , Essai_TD_2_P-Q.dat ...
```

### 3.4.4 Opérateur TABLE\_REF

```
◇ TABLE_REF = l_tabref, [l_table]
```

Cet opérateur permet de renseigner des courbes de référence (par exemple, expérimentales) tabulées et stockées sous forme de tables, afin de les superposer aux courbes issues des simulations exécutées sous le mot-clé facteur courant. Ces courbes de référence sont alors incluses dans les fichiers produits par le mot-clé GRAPHIQUE .

Chaque table contenue dans la liste TABLE\_REF doit être créée au préalable à l'aide de l'opérateur CREA\_TABLE [U4.33.02], et formatée de la manière suivante :

```
tabref = CREA_TABLE (  
    LISTE=( _F(PARA='TYPE' , LISTE_K=[typgraph,]),  
           _F(PARA='LEGENDE' , LISTE_K=[malegend,]),  
           _F(PARA='ABSCISSE' , LISTE_R=l_abc),  
           _F(PARA='ORDONNEE' , LISTE_R=l_ordo),),);
```

avec :

- `typgraph` une chaîne de caractères dont la valeur appartient obligatoirement à la liste de valeurs par défaut du mot-clé GRAPHIQUE. Cette valeur permet d'identifier le type de graphique (et donc le fichier) auquel la courbe de référence doit être ajoutée.
- `malegend` une chaîne de caractères qui contient la légende associée à la courbe de référence
- `l_abc` et `l_ordo` sont des listes python de réels contenant respectivement les abscisses et les ordonnées des points de la courbe de référence. Ces listes doivent donc avoir même cardinal

## 3.5 Mot clé ESSAI\_TND

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai triaxial non drainé (on suppose la saturation totale) pour lesquelles on fait varier les paramètres de chargement (pression de confinement et déformation axiale imposée), de post-traiter les résultats obtenus et de les écrire sous forme de graphiques (au format xmgrace) et/ou de tables.

### 3.5.1 Opérateurs PRES\_CONF, EPSI\_IMPOSE, NB\_INST

```
◆ PRES_CONF = l_pconf, [l_R]  
◆ EPSI_IMPOSE = l_epsimpo, [l_R]  
◇ NB_INST = / 100, [DEFAULT]  
/ nbinst, [I]
```

Ces opérandes ont la même signification que pour le mot-clé facteur ESSAI\_TD (§ 3.4.1 ).

### 3.5.2 Opérande BIOT\_COEF

◇ BIOT\_COEF = / 1. [DEFAULT]  
/ biot [R]

Valeur du coefficient de Biot.

### 3.5.3 Opérande TABLE\_RESU

◇ TABLE\_RESU = l\_tabres , [l\_CO]

Cet opérande a la même signification que pour le mot-clé facteur ESSAI\_TD (§ 3.4.2 ).

### 3.5.4 Opérande GRAPHIQUE

◇ GRAPHIQUE = / ('P-Q', 'EPS\_AXI-Q', 'EPS\_AXI-PRE\_EAU'), [DEFAULT]  
/ l\_typgraph, [l\_Kn]

Cet opérande a la même signification que pour le mot-clé facteur ESSAI\_TD (§ 3.4.3 ), seule la liste des valeurs par défaut (et donc des types de graphique disponibles) diffère.

### 3.5.5 Opérande TABLE\_REF

◇ TABLE\_REF = l\_tabref, [l\_table]

Cet opérande a la même signification que pour le mot-clé facteur ESSAI\_TD (§ 3.4.4 ).

## 3.6 Mot clé ESSAI\_CISA\_C

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai de cisaillement cyclique drainé pour lesquelles on fait varier les paramètres de chargement (pression de confinement, amplitude de déformation de cisaillement et nombre de cycles), de post-traiter les résultats obtenus et de les écrire sous forme de graphiques (au format xmgrace) et/ou de tables.

### 3.6.1 Opérandes PRES\_CONF, EPSI\_IMPOSE, NB\_CYCLE, NB\_INST

◆ PRES\_CONF = l\_pconf, [l\_R]  
◆ EPSI\_IMPOSE = l\_epsimpo, [l\_R]  
◆ NB\_CYCLE = nbcyc, [I]  
◇ NB\_INST = / 25, [DEFAULT]  
/ nbinst, [I]

Ces opérandes permettent de définir le chargement de chacune des simulations à exécuter sous le mot-clé facteur courant, ainsi que sa discrétisation. Leur signification est résumée à la figure 3.6.1-a et détaillée ci-dessous :

- PRES\_CONF permet de définir la liste des pressions de confinement (strictement négatives) qui seront maintenues au cours de chaque essai.
- EPSI\_IMPOSE permet de définir la liste des amplitudes (strictement positives) de déformation de cisaillement du chargement cyclique imposé.
- NB\_CYCLE correspond au nombre de cycles, fixé pour toutes les simulations.
- NB\_INST permet de définir la discrétisation temporelle du chargement, et correspond au nombre de pas de chargement par quart de cycle

Pour chaque pression de confinement PRES\_CONF, on effectue autant de simulations qu'il y a d'éléments dans la liste EPSI\_IMPOSE. Contrairement aux essais TD et TND (voir respectivement §5

et §7), ces listes ne sont pas en bijection et il y a au total  $\text{card}(\text{PRES\_CONF}) \cdot \text{card}(\text{EPSI\_IMPOSE})$  simulations exécutées.

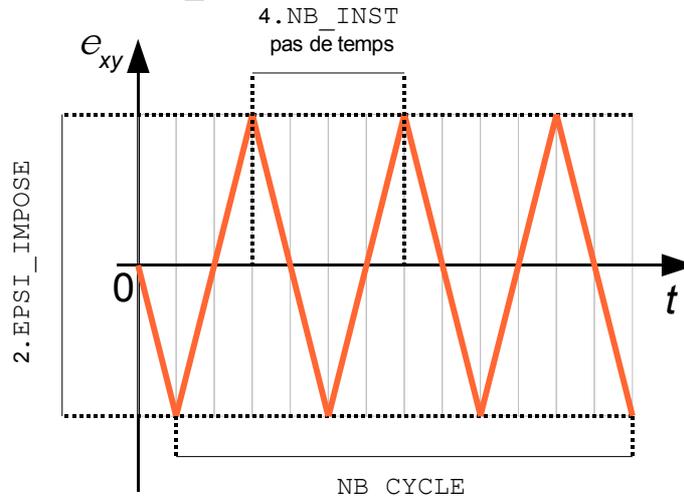


Figure 3.6.1-a: discrétisation et allure du chargement pour le mot-clé `ESSAI_CISA_C`, pour 3 cycles

### 3.6.2 Opérande `EPSI_ELAS`

```
◇ EPSI_ELAS = / 1.E-7, [DEFAULT]
/ epselas, [R]
```

Pour chaque pression de confinement, le module de cisaillement sécant maximal (c'est à dire du matériau sain) est déterminé en simulant une rampe de déformation de cisaillement imposée dont la valeur finale est `EPSI_ELAS`. Cette valeur doit être telle que le matériau reste dans son domaine d'élasticité (linéaire ou non, selon la relation de comportement utilisée). `EPSI_ELAS` vaut  $1.E-7$  par défaut, et toute valeur renseignée par l'utilisateur doit lui être inférieure. Si la valeur renseignée ne permet pas de rester dans le domaine d'élasticité, le code s'arrête en erreur fatale.

### 3.6.3 Opérande `TABLE_RESU`

```
◇ TABLE_RESU = l_tabres , [l_CO]
```

Cet opérande facultatif permet de donner la liste des noms des concepts produits par la macro-commande qui seront alors de type `[table]`. La taille de cette liste doit vérifier :

$$\text{card}(\text{TABLE\_RESU}) = \text{card}(\text{PRES\_CONF}) + 1$$

En effet, chaque table produite regroupe les résultats bruts de toutes les simulations exécutées pour une même pression de confinement (`PRES_CONF`), dans laquelle chaque simulation correspond à un paquet de colonnes contiguës dont les titres sont tous indexés par le même entier (indice de la valeur considérée dans la liste `EPSI_IMPOSE`). Une table supplémentaire récapitulant les post-traitements réalisés à l'issue de toutes les simulations est également produite. Cette table contient pour chaque pression de confinement (`PRES_CONF`) les valeurs du module de cisaillement sécant normalisé  $G/G_{max}$  et du taux d'amortissement  $D$  en vis-à-vis des amplitudes de déformation imposées (`EPSI_IMPOSE`). Cette table correspond au nom de concept donné en dernière position dans la liste `TABLE_RESU`. Des extraits de ces tables sont présentés dans l'exemple ci-dessous.

Exemple :

```
TABRES1=CO('TRES1')
TABRES2=CO('TRES2')
TAB BILA=CO('T BILA')
```

```

CALC_ESSAI_GEOMECA (
...
  ESSAI_CISA_C = _F( PRES_CONF = (-1.0E5 , -2.05E5, ),
                    EPSI_IMPOSE = ( 1.0E-5, 5.0E-5, 1.0E-4, 1.0E-3 ) ,
                    NB_CYCLE = 3,
                    TABLE_RESU = ( TABRES1, TABRES2, TAB BILA ) , ) ,
...
);

```

Le tableau ci-dessous précise pour cet exemple les résultats de simulations contenus dans les tables TABRES1 et TABRES2 , ainsi que l'ordre dans lequel ces tables sont remplies.

EPsi_IMPOSE ®	1.0E-5	5.0E-5	1.0E-4	1.0E-3
PRES_CONF =				
-1.0E5	TABRES1	TABRES1	TABRES1	TABRES1
-2.05E5	TABRES2	TABRES2	TABRES2	TABRES2

On présente ci-dessous un extrait de la table TABRES1 contenant les résultats bruts des simulations exécutées pour la première valeur de PRES\_CONF ( TABRES2 étant construite de la même manière, pour la seconde valeur de PRES\_CONF ).

```

#-----
#
#
#Resultats bruts : ESSAI_CISA_C numero 1 / PRES_CONF = -1.000000E+05
#
EPsi_IMPOSE_1 INST_1 EPS_XY_1 SIG_XY_1 EPsi_IMPOSE_2 INST_2 EPS_XY_2 SIG_XY_2 ...
1.00000E-05 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 5.00000E-05 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 ...
4.00000E-01 -4.00000E-07 -7.58633E+01 - 4.00000E-01 -2.00000E-06 -3.79317E+02 ...
8.00000E-01 -8.00000E-07 -1.51727E+02 - 8.00000E-01 -4.00000E-06 -7.19696E+02 ...
1.20000E+00 -1.20000E-06 -2.27590E+02 - 1.20000E+00 -6.00000E-06 -1.05778E+03 ...
1.60000E+00 -1.60000E-06 -3.03453E+02 - 1.60000E+00 -8.00000E-06 -1.39554E+03 ...
2.00000E+00 -2.00000E-06 -3.79317E+02 - 2.00000E+00 -1.00000E-05 -1.73297E+03 ...
2.40000E+00 -2.40000E-06 -4.49001E+02 - 2.40000E+00 -1.20000E-05 -2.07008E+03 ...
2.80000E+00 -2.80000E-06 -5.16693E+02 - 2.80000E+00 -1.40000E-05 -2.40685E+03 ...
3.20000E+00 -3.20000E-06 -5.84374E+02 - 3.20000E+00 -1.60000E-05 -2.74328E+03 ...
3.60000E+00 -3.60000E-06 -6.52041E+02 - 3.60000E+00 -1.80000E-05 -3.07937E+03 ...
4.00000E+00 -4.00000E-06 -7.19696E+02 - 4.00000E+00 -2.00000E-05 -3.41512E+03 ...
4.40000E+00 -4.40000E-06 -7.87338E+02 - 4.40000E+00 -2.20000E-05 -3.75052E+03 ...
4.80000E+00 -4.80000E-06 -8.54966E+02 - 4.80000E+00 -2.40000E-05 -4.08454E+03 ...
5.20000E+00 -5.20000E-06 -9.22582E+02 - 5.20000E+00 -2.60000E-05 -4.40512E+03 ...
5.60000E+00 -5.60000E-06 -9.90185E+02 - 5.60000E+00 -2.80000E-05 -4.71365E+03 ...
6.00000E+00 -6.00000E-06 -1.05778E+03 - 6.00000E+00 -3.00000E-05 -5.01024E+03 ...
6.40000E+00 -6.40000E-06 -1.12535E+03 - 6.40000E+00 -3.20000E-05 -5.29602E+03 ...
6.80000E+00 -6.80000E-06 -1.19292E+03 - 6.80000E+00 -3.40000E-05 -5.57200E+03 ...
7.20000E+00 -7.20000E-06 -1.26047E+03 - 7.20000E+00 -3.60000E-05 -5.83838E+03 ...
7.60000E+00 -7.60000E-06 -1.32801E+03 - 7.60000E+00 -3.80000E-05 -6.09653E+03 ...
8.00000E+00 -8.00000E-06 -1.39553E+03 - 8.00000E+00 -4.00000E-05 -6.34707E+03 ...
8.40000E+00 -8.40000E-06 -1.46304E+03 - 8.40000E+00 -4.20000E-05 -6.59055E+03 ...
8.80000E+00 -8.80000E-06 -1.53054E+03 - 8.80000E+00 -4.40000E-05 -6.82744E+03 ...
9.20000E+00 -9.20000E-06 -1.59803E+03 - 9.20000E+00 -4.60000E-05 -7.05818E+03 ...
9.60000E+00 -9.60000E-06 -1.66550E+03 - 9.60000E+00 -4.80000E-05 -7.28316E+03 ...
1.00000E+01 -1.00000E-05 -1.73296E+03 - 1.00000E+01 -5.00000E-05 -7.50271E+03 ...
1.04000E+01 -9.60000E-06 -1.65710E+03 - 1.04000E+01 -4.80000E-05 -7.12340E+03 ...
1.08000E+01 -9.20000E-06 -1.58123E+03 - 1.08000E+01 -4.60000E-05 -6.74408E+03 ...
1.12000E+01 -8.80000E-06 -1.50537E+03 - 1.12000E+01 -4.40000E-05 -6.40166E+03 ...
1.16000E+01 -8.40000E-06 -1.42951E+03 - 1.16000E+01 -4.20000E-05 -6.06333E+03 ...
1.20000E+01 -8.00000E-06 -1.35364E+03 - 1.20000E+01 -4.00000E-05 -5.72517E+03 ...
1.24000E+01 -7.60000E-06 -1.27778E+03 - 1.24000E+01 -3.80000E-05 -5.38716E+03 ...
1.28000E+01 -7.20000E-06 -1.20192E+03 - 1.28000E+01 -3.60000E-05 -5.04931E+03 ...
1.32000E+01 -6.80000E-06 -1.12605E+03 - 1.32000E+01 -3.40000E-05 -4.71162E+03 ...
1.36000E+01 -6.40000E-06 -1.05019E+03 - 1.36000E+01 -3.20000E-05 -4.37409E+03 ...
1.40000E+01 -6.00000E-06 -9.74325E+02 - 1.40000E+01 -3.00000E-05 -4.03672E+03 ...
1.44000E+01 -5.60000E-06 -9.02660E+02 - 1.44000E+01 -2.80000E-05 -3.69951E+03 ...
1.48000E+01 -5.20000E-06 -8.34957E+02 - 1.48000E+01 -2.60000E-05 -3.36246E+03 ...
1.52000E+01 -4.80000E-06 -7.67260E+02 - 1.52000E+01 -2.40000E-05 -3.02558E+03 ...
1.56000E+01 -4.40000E-06 -6.99570E+02 - 1.56000E+01 -2.20000E-05 -2.68889E+03 ...
1.60000E+01 -4.00000E-06 -6.31886E+02 - 1.60000E+01 -2.00000E-05 -2.35236E+03 ...
1.64000E+01 -3.60000E-06 -5.64209E+02 - 1.64000E+01 -1.80000E-05 -2.01599E+03 ...
1.68000E+01 -3.20000E-06 -4.96537E+02 - 1.68000E+01 -1.60000E-05 -1.67980E+03 ...
1.72000E+01 -2.80000E-06 -4.28873E+02 - 1.72000E+01 -1.40000E-05 -1.34377E+03 ...
1.76000E+01 -2.40000E-06 -3.61214E+02 - 1.76000E+01 -1.20000E-05 -1.00789E+03 ...
1.80000E+01 -2.00000E-06 -2.93562E+02 - 1.80000E+01 -1.00000E-05 -6.72187E+02 ...
1.84000E+01 -1.60000E-06 -2.25916E+02 - 1.84000E+01 -8.00000E-06 -3.36652E+02 ...

```

Ci dessous, on présente également le contenu de la table supplémentaire TABBILA , récapitulant les post-traitements (  $G/G_{max}$  et  $D$  ) réalisés à l'issue de toutes les simulations. Chaque paquet de colonnes contiguës dont les titres sont indexés par le même entier (indice de la valeur considérée dans la liste PRES\_CONF ) correspond aux post-traitements réalisés pour une même pression de confinement.

```
#-----#
#
#Resultats globaux : ESSAI_CISA_C numero 1
#
PRES_CONF 1  EPSI_IMPOSE 1  G_SUR  GMAX 1  DAMPING 1  PRES_CONF 2  EPSI_IMPOSE 2  G_SUR  GMAX 2  DAMPING 2
-1.00000E+05  1.00000E-05  9.13742E-01  5.96577E-03  -2.05000E+05  1.00000E-05  9.42753E-01  5.33399E-03
-          5.00000E-05  7.91603E-01  2.53274E-02  -          5.00000E-05  8.85544E-01  8.53707E-03
-          1.00000E-04  6.23819E-01  5.40243E-02  -          1.00000E-04  7.48746E-01  3.51910E-02
-          1.00000E-03  1.85414E-01  1.28612E-01  -          1.00000E-03  2.50446E-01  1.17804E-01
#
```

### 3.6.4 Opérande GRAPHIQUE

◇ GRAPHIQUE = / ( 'EPSXY-SIGXY', 'EPSXY-G', 'EPSXY-D' ), [DEFAULT]  
/ l\_typgraph, [l\_Kn]

Cet opérande a la même signification que pour le mot-clé facteur ESSAI\_TD (§ 3.4.3 ), seule la liste des valeurs par défaut (et donc des types de graphique disponibles) diffère.

Remarque : Les courbes 'EPSXY-G' et 'EPSXY-D' ont bien pour abscisse  $\epsilon_y$  et non  $\gamma = 2 \epsilon_y$

### 3.6.5 Opérande TABLE\_REF

◇ TABLE\_REF = l\_tabref, [l\_table]

Cet opérande a la même signification que pour le mot-clé facteur ESSAI\_TD (§3.4.4).

## 3.7 Mot clé ESSAI\_TND\_C

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai triaxial non drainé (on suppose la saturation totale) cyclique pour lesquelles on fait varier les paramètres de chargement (pression de confinement, amplitude de contrainte effective axiale imposée, et nombre de cycles), de post-traiter les résultats obtenus et de les écrire sous forme de graphiques (au format xmgrace) et/ou de tables.

### 3.7.1 Opérandes PRES\_CONF, SIGM\_IMPOSE, NB\_CYCLE, NB\_INST

◆ PRES\_CONF = l\_pconf, [l\_R]  
◆ SIGM\_IMPOSE = l\_sigimpo, [l\_R]  
◆ NB\_CYCLE = nbcyc, [I]  
◇ NB\_INST = / 25, [DEFAULT]  
/ nbinst, [I]

Ces opérandes permettent de définir le chargement de chacune des simulations à exécuter sous le mot-clé facteur courant, ainsi que sa discrétisation. Leur signification est résumée à la figure 3.7.1-a et détaillée ci-dessous :

- PRES\_CONF permet de définir la liste des pressions de confinement (strictement négatives) qui seront maintenues au cours de chaque essai.
- SIGM\_IMPOSE permet de définir la liste des amplitudes (strictement positives) de contrainte effective axiale du chargement cyclique imposé (avec PRES\_CONF la contrainte moyenne).
- NB\_CYCLE correspond au nombre de cycles, fixé pour toutes les simulations.
- NB\_INST permet de définir la discrétisation temporelle du chargement, et correspond au nombre de pas de chargement par quart de cycle

Pour chaque pression de confinement `PRES_CONF`, on effectue autant de simulations qu'il y a d'éléments dans la liste `SIGM_IMPOSE`. Contrairement aux essais TD et TND (voir respectivement §5 et §7), ces listes ne sont pas en bijection et il y a au total  $\text{card}(\text{PRES\_CONF}) \cdot \text{card}(\text{SIGM\_IMPOSE})$  simulations exécutées.

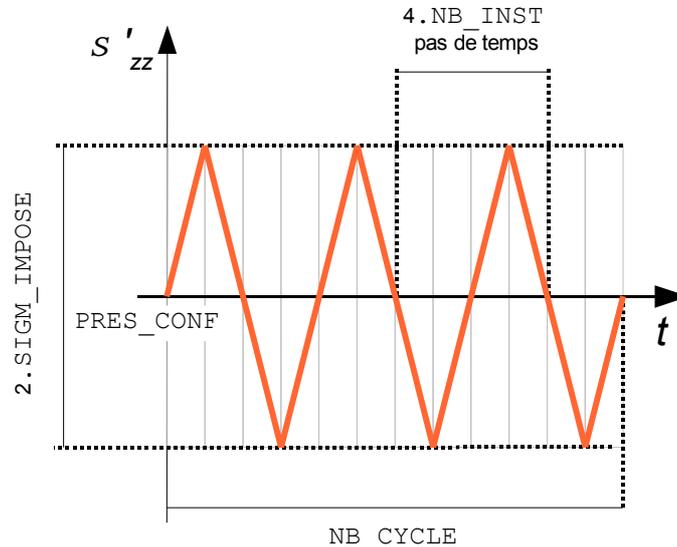


Figure 3.7.1-a: discrétisation et allure du chargement pour le mot-clé `ESSAI_TND_C`, pour 3 cycles

### 3.7.2 Opérande BIOT\_COEF

◇ `BIOT_COEF = / 1.` [DEFAULT]  
/ `biot` [R]

Valeur du coefficient de Biot.

### 3.7.3 Opérande UN\_SUR\_K

◆ `UN_SUR_K = unsurk` [R]

Valeur de l'inverse du module de compressibilité de l'eau.

### 3.7.4 Opérande TABLE\_RESU

◇ `TABLE_RESU = l_tabres ,` [l\_CO]

Cet opérande facultatif permet de donner la liste des noms des concepts produits par la macrocommande qui seront alors de type `[table]`. La taille de cette liste doit vérifier :

$$\text{card}(\text{TABLE\_RESU}) = \text{card}(\text{PRES\_CONF}) + 1$$

En effet, chaque table produite regroupe les résultats bruts de toutes les simulations exécutées pour une même pression de confinement (`PRES_CONF`), dans laquelle chaque simulation correspond à un paquet de colonnes contiguës dont les titres sont tous indexés par le même entier (indice de la valeur considérée dans la liste `SIGM_IMPOSE`). Une table supplémentaire récapitulant les post-traitements réalisés à l'issue de toutes les simulations est également produite. Cette table contient pour chaque pression de confinement (`PRES_CONF`) le nombre de cycles au bout duquel le critère de liquéfaction du sol a été atteint, en vis-à-vis des amplitudes de contrainte effective imposée (`SIGM_IMPOSE`). Le critère de liquéfaction est considéré comme atteint si  $r_u \geq 0.8$ , avec :

$$r_u = \left| \frac{u}{P_0} \right|$$

$u$  désignant la pression interstitielle et  $P_0$  la pression de confinement. Cette table correspond au nom de concept donné en dernière position dans la liste TABLE\_RESU. Des extraits de ces tables sont présentés dans l'exemple ci-dessous.

Exemple :

```
TABRES1=CO('TRES1')
TABRES2=CO('TRES2')
TABRES3=CO('TRES3')
TABBILA=CO('TBILA')

CALC_ESSAI_GEOMECA(
...
  ESSAI_TND_C = _F( PRES_CONF = (-3.E4,-3.25E4,-3.5E4),,
    SIGM_IMPOSE = (1.E4,1.1E4,1.2E4,1.3E4,1.6E4),,
    NB_CYCLE = 25,
    UN_SUR_K = 1.E-12,
    TABLE_RESU = (TABRES1,TABRES2,TABRES3,TABBILA),,
...
);
```

Le tableau ci-dessous précise pour cet exemple les résultats de simulations contenus dans les tables TABRES1, TABRES2 et TABRES3, ainsi que l'ordre dans lequel ces tables sont remplies.

SIGM_IMPOSE <sup>®</sup>	1.E4	1.1E4	1.2E4	1.3E4	1.6E4
PRES_CONF <sup>-</sup>					
-3.E4	TABRES1	TABRES1	TABRES1	TABRES1	TABRES1
-3.25E4	TABRES2	TABRES2	TABRES2	TABRES2	TABRES2
-3.5E4	TABRES3	TABRES3	TABRES3	TABRES3	TABRES3

On présente ci-dessous un extrait de la table TABRES2 contenant les résultats bruts des simulations exécutées pour la deuxième valeur de PRES\_CONF.

```
#
#-----
#
#Resultats bruts : ESSAI_TND_C numero 1 / PRES_CONF = -3.250000E+04
#
SIGM_IMPOSE_1 INST_1 EPS_AXI_1 EPS_LAT_1 ... PRE_EAU_1 SIGM_IMPOSE_2 INST_2 ...
1.00000E+04 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 ... -0.00000E+00 1.10000E+04 0.00000E+00 ...
- 4.00000E-01 2.37788E-06 -1.18887E-06 ... -1.33316E+02 - 4.00000E-01 ...
- 8.00000E-01 5.27009E-06 -2.63491E-06 ... -2.66632E+02 - 8.00000E-01 ...
1.20000E+00 8.17434E-06 -4.08697E-06 ... -3.99948E+02 - 1.20000E+00 ...
1.60000E+00 1.10910E-05 -5.54522E-06 ... -5.33263E+02 - 1.60000E+00 ...
2.00000E+00 1.40203E-05 -7.00984E-06 ... -6.66579E+02 - 2.00000E+00 ...
2.40000E+00 1.69628E-05 -8.48101E-06 ... -7.99895E+02 - 2.40000E+00 ...
2.80000E+00 1.99187E-05 -9.95886E-06 ... -9.33211E+02 - 2.80000E+00 ...
3.20000E+00 2.30002E-05 -1.14996E-05 ... -1.06631E+03 - 3.20000E+00 ...
3.60000E+00 2.65689E-05 -1.32839E-05 ... -1.19796E+03 - 3.60000E+00 ...
4.00000E+00 3.06705E-05 -1.53346E-05 ... -1.32706E+03 - 4.00000E+00 ...
4.40000E+00 3.53282E-05 -1.76634E-05 ... -1.45247E+03 - 4.40000E+00 ...
4.80000E+00 4.05684E-05 -2.02834E-05 ... -1.57305E+03 - 4.80000E+00 ...
5.20000E+00 4.64193E-05 -2.32088E-05 ... -1.68756E+03 - 5.20000E+00 ...
5.60000E+00 5.29170E-05 -2.64576E-05 ... -1.79469E+03 - 5.60000E+00 ...
6.00000E+00 6.01011E-05 -3.00496E-05 ... -1.89303E+03 - 6.00000E+00 ...
6.40000E+00 6.80160E-05 -3.40070E-05 ... -1.98113E+03 - 6.40000E+00 ...
6.80000E+00 7.67173E-05 -3.83576E-05 ... -2.05731E+03 - 6.80000E+00 ...
7.20000E+00 8.62682E-05 -4.31330E-05 ... -2.11975E+03 - 7.20000E+00 ...
7.60000E+00 9.67455E-05 -4.83717E-05 ... -2.16636E+03 - 7.60000E+00 ...
8.00000E+00 1.08244E-04 -5.41211E-05 ... -2.19469E+03 - 8.00000E+00 ...
8.40000E+00 1.20878E-04 -6.04380E-05 ... -2.20193E+03 - 8.40000E+00 ...
8.80000E+00 1.34791E-04 -6.73947E-05 ... -2.18477E+03 - 8.80000E+00 ...
9.20000E+00 1.50170E-04 -7.50842E-05 ... -2.13899E+03 - 9.20000E+00 ...
9.60000E+00 1.67253E-04 -8.36253E-05 ... -2.05939E+03 - 9.60000E+00 ...
1.00000E+01 1.86360E-04 -9.31790E-05 ... -1.93918E+03 - 1.00000E+01 ...
1.04000E+01 1.84117E-04 -9.20575E-05 ... -1.80586E+03 - 1.04000E+01 ...
1.08000E+01 1.81336E-04 -9.06674E-05 ... -1.67255E+03 - 1.08000E+01 ...
1.12000E+01 1.78318E-04 -8.91580E-05 ... -1.53923E+03 - 1.12000E+01 ...
```

```

-      1.16000E+01  1.75296E-04 -8.76474E-05  ... -1.40592E+03  -      1.16000E+01  ...
-      1.20000E+01  1.72272E-04 -8.61353E-05  ... -1.27260E+03  -      1.20000E+01  ...
-      1.24000E+01  1.69244E-04 -8.46217E-05  ... -1.13928E+03  -      1.24000E+01  ...
-      1.28000E+01  1.66214E-04 -8.31066E-05  ... -1.00597E+03  -      1.28000E+01  ...
-      1.32000E+01  1.63181E-04 -8.15900E-05  ... -8.72652E+02  -      1.32000E+01  ...
-      1.36000E+01  1.60145E-04 -8.00719E-05  ... -7.39335E+02  -      1.36000E+01  ...
-      1.40000E+01  1.57105E-04 -7.85523E-05  ... -6.06019E+02  -      1.40000E+01  ...
-      1.44000E+01  1.54063E-04 -7.70311E-05  ... -4.72703E+02  -      1.44000E+01  ...
-      1.48000E+01  1.51017E-04 -7.55085E-05  ... -3.39387E+02  -      1.48000E+01  ...
-      1.52000E+01  1.47969E-04 -7.39842E-05  ... -2.06071E+02  -      1.52000E+01  ...
-      1.56000E+01  1.44857E-04 -7.24283E-05  ... -7.26273E+01  -      1.56000E+01  ...
...      ...      ...      ...      ...      ...

```

Ci dessous, on présente également le contenu de la table supplémentaire TABBILA, récapitulant les post-traitements (nombre de cycles à la liquéfaction) réalisés à l'issue de toutes les simulations. Chaque paquet de colonnes contiguës dont les titres sont indexés par le même entier (indice de la valeur considérée dans la liste PRES\_CONF) correspond aux post-traitements réalisés pour une même pression de confinement.

```

#-----
#
#
#Resultats globaux : ESSAI_TND_C numero 1
#
PRES_CONF_1  NCYCL_1      SIGM_IMPOSE_1  PRES_CONF_2  NCYCL_2      SIGM_IMPOSE_2  PRES_CONF_3  NCYCL_3      SIGM_IMPOSE_3
-3.00000E+04  1.10000E+01  1.00000E+04  -3.25000E+04  1.50000E+01  1.00000E+04  -3.50000E+04  2.10000E+01  1.00000E+04
-      7.00000E+00  1.10000E+04  -      1.10000E+01  1.10000E+04  -      1.50000E+01  1.10000E+04
-      6.00000E+00  1.20000E+04  -      8.00000E+00  1.20000E+04  -      1.10000E+01  1.20000E+04
-      4.00000E+00  1.30000E+04  -      6.00000E+00  1.30000E+04  -      8.00000E+00  1.30000E+04
-      3.00000E+00  1.60000E+04  -      3.00000E+00  1.60000E+04  -      4.00000E+00  1.60000E+04
#

```

### 3.7.5 Opérande GRAPHIQUE

◇ GRAPHIQUE = / ('NCYCL-DSIGM', 'P-Q', 'SIG\_AXI-PRE\_EAU', ), [DEFAULT]  
/ l\_typgraph, [l\_Kn]

Cet opérande a la même signification que pour le mot-clé facteur ESSAI\_TD (§ 3.4.3 ), seule la liste des valeurs par défaut (et donc des types de graphique disponibles) diffère.

### 3.7.6 Opérande TABLE\_REF

◇ TABLE\_REF = l\_tabref, [l\_table]

Cet opérande a la même signification que pour le mot-clé facteur ESSAI\_TD (§3.4.4).