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
- essai triaxial cyclique drainé alterné
- essai triaxial cyclique drainé non alterné
- essai oedométrique cyclique drainé
- essai de compression isotrope cyclique drainé

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Table des Matières

1 But....1
2 Syntaxe....5
3 Opérandes....10
3.1 Opérande MATER....10
3.2 Mot-clé COMPORTEMENT....10
3.3 Mot clé CONVERGENCE....10
3.3.1 Opérande RESI_GLOB_RELA/RESI_GLOB_MAXI....10
3.3.2 Opérande ITER_GLOB_MAXI....11
3.4 Mot clé ESSAI_TRIA_DR_M_D....11
3.4.1 Convention de signe des entrées et sorties....11
3.4.2 Opérandes PRES_CONF, EPSI_IMPOSE, NB_INST....11
3.4.3 Opérande KZERO....12
3.4.4 Opérande TABLE_RESU....12
3.4.5 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER....13
3.4.6 Opérande NOM_CMP....14
3.4.7 Opérande TABLE_REF....14
3.4.8 Opérandes COULEUR, MARQUEUR, STYLE....14
3.5 Mot clé ESSAI_TRIA_ND_M_D....14
3.5.1 Convention de signe des entrées et sorties....15
3.5.2 Opérandes PRES_CONF, EPSI_IMPOSE, NB_INST....15
3.5.3 Opérande BIOT_COEF....15
3.5.4 Opérande KZERO....15
3.5.5 Opérande TABLE_RESU....15
3.5.6 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER....15
3.5.7 Opérande NOM_CMP....16
3.5.8 Opérande TABLE_REF....16
3.5.9 Opérandes COULEUR, MARQUEUR, STYLE....16
3.6 Mot clé ESSAI_CISA_DR_C_D....16
3.6.1 Convention de signe des entrées et sorties....16
3.6.2 Opérandes PRES_CONF, GAMMA_IMPOSE, NB_CYCLE, NB_INST, TYPE_CHARGE....17
3.6.3 Opérande GAMMA_ELAS....17
3.6.4 Opérande KZERO....18
3.6.5 Opérande TABLE_RESU....18
3.6.6 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER....20
3.6.7 Opérande NOM_CMP....21
3.6.8 Opérande TABLE_REF....21

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.6.9 Opérandes COULEUR_NIV1, MARQUEUR_NIV1, STYLE_NIV1, COULEUR_NIV2, MARQUEUR_NIV2, STYLE_NIV2.....21
3.7 Mot clé ESSAI_TRIA_ND_C_F.....21
3.7.1 Convention de signe des entrées et sorties.....21
3.7.2 Opérandes PRES_CONF, SIGM_IMPOSE, NB_CYCLE, NB_INST, NB_INST_MONO, TYPE_CHARGE.....22
3.7.3 Opérande CRIT_LIQUEFACTION, VALE_CRIT, ARRET_LIQUEFACTION 25
3.7.4 Opérande BIOT_COEF.....26
3.7.5 Opérande KZERO.....26
3.7.6 Opérande UN_SUR_K.....27
3.7.7 Opérande TABLE_RESU.....27
3.7.8 Opérande GRAPHIQUE.....28
3.7.9 Opérande NOM_CMP.....29
3.7.10 Opérande TABLE_REF.....29
3.7.11 Opérandes COULEUR_NIV1, MARQUEUR_NIV1, STYLE_NIV1, COULEUR_NIV2, MARQUEUR_NIV2, STYLE_NIV2.....29
3.8 Mot clé ESSAI_TRIA_DR_C_D.....29
3.8.1 Convention de signe des entrées et sorties.....29
3.8.2 Opérandes PRES_CONF, EPSI_MAXI, EPSI_MINI, NB_CYCLE, NB_INST 30
3.8.3 Opérande EPSI_ELAS.....31
3.8.4 Opérande KZERO.....31
3.8.5 Opérande TABLE_RESU.....31
3.8.6 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER.....33
3.8.7 Opérande NOM_CMP.....34
3.8.8 Opérande TABLE_REF.....34
3.8.9 Opérandes COULEUR_NIV1, MARQUEUR_NIV1, STYLE_NIV1, COULEUR_NIV2, MARQUEUR_NIV2, STYLE_NIV2.....34
3.9 Mot clé ESSAI_TRIA_ND_C_D.....34
3.9.1 Convention de signe des entrées et sorties.....34
3.9.2 Opérandes PRES_CONF, EPSI_MAXI, EPSI_MINI, NB_CYCLE, NB_INST 35
3.9.3 Opérande EPSI_ELAS.....35
3.9.4 Opérande BIOT_COEF.....35
3.9.5 Opérande KZERO.....35
3.9.6 Opérande UN_SUR_K.....35
3.9.7 Opérande RU_MAX.....36
3.9.8 Opérande TABLE_RESU.....36
3.9.9 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER.....36

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.9.10 Opérande NOM_CMP....37
3.9.11 Opérande TABLE_REF....37
3.9.12 Opérandes COULEUR_NIV1, MARQUEUR_NIV1, STYLE_NIV1, COULEUR_NIV2, MARQUEUR_NIV2, STYLE_NIV2....37
3.10 Mot clé ESSAI_OEDO_DR_C_F....37
3.10.1 Convention de signe des entrées et sorties....37
3.10.2 Opérandes PRES_CONF, SIGM_IMPOSE, SIGM_DECH, NB_CYCLE, NB_INST, TYPE_CHARGE....38
3.10.3 Opérande KZERO....39
3.10.4 Opérande TABLE_RESU....39
3.10.5 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER....40
3.10.6 Opérande NOM_CMP....41
3.10.7 Opérande TABLE_REF....41
3.10.8 Opérandes COULEUR, MARQUEUR, STYLE....41
3.11 Mot clé ESSAI_ISOT_DR_C....41
3.11.1 Convention de signe des entrées et sorties....41
3.11.2 Opérandes PRES_CONF, SIGM_IMPOSE, SIGM_DECH, NB_CYCLE, NB_INST, TYPE_CHARGE....41
3.11.3 Opérande TABLE_RESU....41
3.11.4 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER....42
3.11.5 Opérande NOM_CMP....42
3.11.6 Opérande TABLE_REF....42
3.11.7 Opérandes COULEUR, MARQUEUR, STYLE....42

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Syntaxe

La syntaxe des noms d'essai s'écrit comme suit :

$$\text{ESSAI_}\underbrace{XXXX}_{A}_\underbrace{XX}_{B}_\underbrace{X}_{C}_\underbrace{X}_{D}$$

avec A indique le type d'essai :

```
A = |  TRIA    essai triaxial
    |  CISA    essai de cisaillement
    |  OEDO    essai oedométrique
    |  ISOT    essai isotrope
```

et B, C et D les conditions d'essai :

```
B = |  DR      essai drainé
    |  ND      essai non drainé

C = |  M       essai monotone
    |  C       essai cyclique

D = |  D       essai à déformation imposée
    |  F       essai à force imposée
```

```
CALC_ESSAI_GEOMECA(

♦   MATER       = mat ,                                    [mater]
♦   COMPORTEMENT= _F( voir le document [U4.51.11] ),
◊   CONVERGENCE = _F(
       ◊ RESI_GLOB_RELA     = 1.E-6,                       [DEFAUT]
       ◊ | RESI_GLOB_MAX    = resi_maxi,                   [R]
         | RESI_GLOB_RELA   = resi_rela,                   [R]
       ◊ ITER_GLOB_MAXI     = | 10,                     [DEFAUT]
                              | nb_iter,                 [I]
                    ),
```

 # Essai triaxial monotone drainé à déformation imposée :

```
♦   |   ESSAI_TRIA_DR_M_D = _F (
          ♦  PRES_CONF   = l_sigma_conf,                 [l_R]
          ♦  EPSI_IMPOSE = l_epsi_impo,                  [l_R]
          ◊  KZERO       = | 1.,                           [DEFAUT]
                           | kzero,                        [R]
          ◊   NB_INST     = | 100,                        [DEFAUT]
                            | nbinst,                    [I]
          ◊  TABLE_RESU  = l_tabres,                     [l_CO]
          ◊  GRAPHIQUE   = | ('P-Q','EPS_AXI-Q', 'EPS_AXI-EPS_VOL',
                             'P-EPS_VOL'),               [DEFAUT]
                           | l_graphique,                [l_Kn]
         ◊  NOM_CMP     = l_composante,                 [l_Kn]
          ◊  TABLE_REF   = l_tabref,                     [l_table]
          ◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe,                  [Kn]
          ◊  COULEUR     = l_couleur,                    [l_I]
          ◊  MARQUEUR    = l_marqueur,                      [l_I]
          ◊  STYLE       = l_style,                         [l_I]
                               ),
```

 # Essai triaxial monotone non drainé à déformation imposée :

```
   |   ESSAI_TRIA_ND_M_D = _F (
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
        ♦  PRES_CONF    = l_sigma_conf,              [l_R]
        ♦  EPSI_IMPOSE = l_epsi_impo,                [l_R]
        ◊  BIOT_COEF    = | 1.,                        [DEFAUT]
                          | biot,                      [R]
        ◊  KZERO        = | 1.,                        [DEFAUT]
                          | kzero,                     [R]
        ◊  NB_INST      = | 100,                     [DEFAUT]
                          | nbinst,                   [I]
        ◊  TABLE_RESU   = l_tabres,                  [l_CO]
        ◊  GRAPHIQUE    = | ('P-Q','EPS_AXI-Q',
                              'EPS_AXI-PRE_EAU'),    [DEFAUT]
                          | l_graphique,             [l_Kn]
         ◊  NOM_CMP      = l_composante,             [l_Kn]
        ◊  TABLE_REF    = l_tabref,                  [l_table]
        ◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe,                [Kn]
        ◊  COULEUR      = l_couleur,                 [l_I]
        ◊  MARQUEUR     = l_marqueur,                  [l_I]
        ◊  STYLE        = l_style,                     [l_I]
                ),
```

 # Essai de cisaillement cyclique drainé à déformation imposée :

```
|   ESSAI_CISA_DR_C_D = _F (
        ♦  PRES_CONF    = l_sigma_conf,                [l_R]
        ♦  GAMMA_IMPOSE = l_gamma_impo,                [l_R]
        ♦  NB_CYCLE     = nbcyc,                       [I]
        ◊  TYPE_CHARGE  = | 'SINUSOIDAL'   ,             [DEFAUT]
                          | ' TRIANGULAIRE ',
        ◊  GAMMA_ELAS   = | 1.E-7 ,                    [DEFAUT]
                          | gamma_elas,                  [R]
        ◊  KZERO        = | 1.,                        [DEFAUT]
                          | kzero,                     [R]
        ◊  NB_INST      = | 25 ,                         [DEFAUT]
                          | nbinst,                    [I]
        ◊  TABLE_RESU    = l_tabres,                   [l_CO]
        ◊  GRAPHIQUE    = | ('GAMMA-SIG_XY', 'GAMMA-G_SUR_GMAX',
                            'GAMMA-DAMPING',
                            'G_SUR_GMAX-DAMPING'),     [DEFAUT]
                          | l_graph ique ,               [l_Kn]
         ◊  NOM_CMP      = l_composante,               [l_Kn]
        ◊  TABLE_REF     = l_tabref,                   [l_table]
        ◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe,                  [Kn]
        ◊  COULEUR_NIV1  = l_couleur_niv1,             [l_I]
        ◊  MARQUEUR_NIV1 = l_marqueur_niv1,              [l_I]
        ◊  STYLE_NIV1    = l_style_niv1,                 [l_I]
        ◊  COULEUR_NIV2  = l_couleur_niv2,             [l_I]
        ◊  MARQUEUR_NIV2 = l_marqueur_niv2,              [l_I]
        ◊  STYLE_NIV2    = l_style_niv2,                 [l_I]
                            ),
```

 # Essai triaxial cyclique non drainé à force imposée :

```
|   ESSAI_TRIA_ND_C_F = _F (
        ♦  PRES_CONF    = l_sigma_conf,              [l_R]
        ♦  SIGM_IMPOSE = l_sigma_impo,               [l_R]
        ♦  NB_CYCLE     = nbcyc,                     [I]
            ♦  UN_SUR_K      = unsurk,                          [R]
        ♦  CRIT_LIQUEFACTION  = ('RU_MAX', 'EPSI_ABSO_MAX',
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
                              'EPSI_RELA_MAX') ,
          ♦  VALE_CRIT           = l_vale,                  [l_R]
          ◊  ARRET_LIQUEFACTION = | 'OUI'    ,              [DEFAUT]
                                  | ' NON ',
          ◊  TYPE_CHARGE  = | 'SINUSOIDAL'   ,              [DEFAUT]
                            | ' TRIANGULAIRE ',
          ◊  KZERO        = | 1.,                          [DEFAUT]
                            | kzero,                       [R]
          ◊  NB_INST      = | 25 ,                           [DEFAUT]
                            | nbinst,                      [I]
          ◊  NB_INST_MONO = | 400 ,                        [DEFAUT]
                            | nbinst_mono,                 [I]
          ◊  BIOT_COEF    = | 1.,                          [DEFAUT]
                            | biot,                           [R]
          ◊  TABLE_RESU    = l_tabres,                     [l_CO]
          ◊  GRAPHIQUE    = | ('P-Q', 'SIG_AXI-PRE_EAU',
                              'SIG_AXI-RU', 'EPS_AXI-PRE_EAU',
                              'EPS_AXI-Q', 'EPS_AXI-RU',
                              'NCYCL-DSIGM'),              [DEFAUT]
                            | l_graphique,                 [l_Kn]
           ◊  NOM_CMP     = l_composante,                 [l_Kn]
          ◊  TABLE_REF     = l_tabref,                    [l_table]
          ◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe,                   [Kn]
          ◊  COULEUR_NIV1  = l_couleur_niv1,              [l_I]
          ◊  MARQUEUR_NIV1 = l_marqueur_niv1,                [l_I]
          ◊  STYLE_NIV1    = l_style_niv1,                   [l_I]
          ◊  COULEUR_NIV2  = l_couleur_niv2,              [l_I]
          ◊  MARQUEUR_NIV2 = l_marqueur_niv2,                [l_I]
          ◊  STYLE_NIV2    = l_style_niv2,                   [l_I]
                ),
```

 # Essai triaxial cyclique drainé à déformation imposée :

```
|   ESSAI_TRIA_DR_C_D = _F (
          ♦  PRES_CONF   = l_sigma_conf,                  [l_R]
          ♦  EPSI_MAXI   = l_epsi_maxi_impo,              [l_R]
          ♦  EPSI_MINI   = l_epsi_mini_impo,              [l_R]
          ♦  NB_CYCLE    = nbcyc,                         [I]
          ◊  EPSI_ELAS   = | 1.E-7 ,                      [DEFAUT]
                           | epselas,                     [R]
          ◊  TYPE_CHARGE = | 'SINUSOIDAL',                   [DEFAUT]
                           | ' TRIANGULAIRE ',
          ◊  KZERO       = | 1.,                             [DEFAUT]
                           | kzero,                          [R]
          ◊  NB_INST     = | 25 ,                          [DEFAUT]
                           | nbinst,                       [I]
          ◊  TABLE_RESU   = l_tabres,                     [l_CO]
          ◊  GRAPHIQUE    = | ('P-Q','EPS_AXI-Q', 'EPS_VOL-Q',
                              'EPS_AXI-EPS_VOL', 'P-EPS_VOL',
                              'DEPSI-E_SUR_EMAX',
                              'DEPSI-DAMPING'),    [DEFAUT]
                            | l_graphique,                    [l_Kn]
           ◊  NOM_CMP     = l_composante,                 [l_Kn]
          ◊  TABLE_REF     = l_tabref,                    [l_table]
          ◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe,                   [Kn]
          ◊  COULEUR_NIV1  = l_couleur_niv1,              [l_I]
          ◊  MARQUEUR_NIV1 = l_marqueur_niv1,                [l_I]
          ◊  STYLE_NIV1    = l_style_niv1,                   [l_I]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
          ◊  COULEUR_NIV2  = l_couleur_niv2,           [l_I]
          ◊  MARQUEUR_NIV2 = l_marqueur_niv2,             [l_I]
          ◊  STYLE_ NIV2    = l_ style_ niv2 ,            [l_ I ]
                 ),
```

 # Essai triaxial cyclique non drainé à déformation imposée :

```
|   ESSAI_TRIA_ND_C_D = _F (
          ♦  PRES_CONF   = l_sigma_conf,               [l_R]
          ♦  EPSI_MAXI   = l_epsi_maxi_impo,           [l_R]
          ♦  EPSI_MINI   = l_epsi_mini_impo,           [l_R]
          ♦  NB_CYCLE    = nbcyc,                      [I]
          ◊  EPSI_ELAS   = | 1.E-7 ,                   [DEFAUT]
                           | epselas,                  [R]
          ◊  RU_MAX      = | 0.8 ,                     [DEFAUT]
                           | crit_liquefaction ,       [R]
          ◊  TYPE_CHARGE = | 'SINUSOIDAL',                [DEFAUT]
                           | ' TRIANGULAIRE ',
          ◊  KZERO       = | 1.,                          [DEFAUT]
                           | kzero,                       [R]
          ◊  NB_INST     = | 25 ,                      [DEFAUT]
                           | nbinst,                    [I]
          ◊  TABLE_RESU   = l_tabres,                  [l_CO]
          ◊  GRAPHIQUE    = | ('NCYCL-DEPSI', 'DEPSI-RU_MAX',
                              'DEPSI-E_SUR_EMAX', 'DEPSI-DAMPING',
                              'P-Q', 'EPS_AXI-EPS_VOL'
                              'EPS_AXI-Q', 'P-EPS_VOL',
                              'EPS_AXI-PRE_EAU', 'EPS_AXI-RU',
                              'P-PRE_EAU'),            [DEFAUT]
                            | l_graphique,                [l_Kn]
           ◊  NOM_CMP     = l_composante,              [l_Kn]
          ◊  TABLE_REF     = l_tabref,                 [l_table]
          ◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe,                [Kn]
          ◊  COULEUR_NIV1  = l_couleur_niv1,           [l_I]
          ◊  MARQUEUR_NIV1 = l_marqueur_niv1,             [l_I]
          ◊  STYLE_NIV1    = l_style_niv1,                [l_I]
          ◊  COULEUR_NIV2  = l_couleur_niv2,           [l_I]
          ◊  MARQUEUR_NIV2 = l_marqueur_niv2,             [l_I]
          ◊  STYLE_NIV2    = l_style_niv2,                [l_I]
                 ),
```

 # Essai oedom é trique cyclique drainé à force imposée :

```
|   ESSAI_OEDO_DR_C_F = _F (
          ♦  PRES_CONF   = l_sigma_conf,               [l_R]
          ♦  SIGM_IMPOSE = l_sigma_impo,               [l_R]
          ♦  SIGM_DECH   = l_sigma_décharge,           [l_R]
          ◊  TYPE_CHARGE = | 'SINUSOIDAL',                [DEFAUT]
                           | ' TRIANGULAIRE ',
          ◊  KZERO       = | 1.,                          [DEFAUT]
                           | kzero,                       [R]
          ◊  NB_INST     = | 25 ,                      [DEFAUT]
                           | nbinst,                    [I]
          ◊  TABLE_RESU   = l_tabres,                  [l_CO]
          ◊  GRAPHIQUE    = | ('P-EPS_VOL',
                              'SIG_AXI-EPS_VOL'),      [DEFAUT]
                            | l_graph ique ,              [l_Kn]
           ◊  NOM_CMP     = l_composante,              [l_Kn]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
          ◊  TABLE_REF     = l_tabref,                  [l_table]
          ◊   PREFIXE_FICHIER = préfixe,                [Kn]
          ◊  COULEUR       = l_couleur,                    [l_I]
          ◊  MARQUEUR      = l_marqueur,                [l_I]
          ◊  STYLE         = l_style,                   [l_I]
                              ),
```

 # Essai de consolidation isotrope cyclique drainée à force imposée :

```
   |   ESSAI_ISOT_DR_C_F = _F (
          ♦   PRES_CONF    = l_sigma_conf,              [l_R]
          ♦   SIGM_IMPOSE = l_sigma_impo,               [l_R]
          ♦   SIGM_DECH    = l_sigma_décharge,          [l_R]
          ◊   TYPE_CHARGE = | 'SINUSOIDAL',                [DEFAUT]
                            | 'TRIANGULAIRE ',
          ◊   NB_INST      = | 25 ,                     [DEFAUT]
                             | nbinst,                   [I]
          ◊  TABLE_RESU    = l_tabres,                  [l_CO]
          ◊  GRAPHIQUE     = | ('P-EPS_VOL'),           [DEFAUT]
                             | l_graph ique ,               [l_Kn]
           ◊   NOM_CMP      = l_composante,             [l_Kn]
          ◊  TABLE_REF     = l_tabref,                  [l_table]
          ◊   PREFIXE_FICHIER = préfixe,                [Kn]
          ◊   COULEUR       = l_couleur,                   [l_I]
          ◊   MARQUEUR      = l_marqueur,               [l_I]
          ◊   STYLE         = l_style,                  [l_I]
                                 ),

◊   INFO = | 1,                                             [DEFAUT]
           | 2, );
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 COMPORTEMENT

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 COMPORTEMENT est bornée aux lois élasto-plastiques de sol suivantes :

- 'MOHR_COULOMB'
- 'CAM_CLAY'
- 'CJS'
- 'DRUCK_PRAGER'
- 'DRUCK_PRAG_N_A'
- 'HUJEUX'
- 'IWAN'
- 'MFRONT'

3.3 Mot clé CONVERGENCE

◊ CONVERGENCE = _F()

Si aucun des deux opérandes suivants n'est présent, alors tout se passe comme si : RESI_GLOB_RELA = 1.E-6

3.3.1 Opérande RESI_GLOB_RELA/RESI_GLOB_MAXI

◊ | RESI_GLOB_RELA = resi_rela [R]

L'algorithme continue les itérations globales tant que :

$$\max_{i=1,nbddl} |\boldsymbol{F}_i^n| \; > \; \text{resi_rela} \times max|\boldsymbol{L}|$$

où $\boldsymbol{F}^n$ est le résidu de l'itération n et $\boldsymbol{L}$ le vecteur du chargement imposé et des réactions d'appuis (Cf. [R5.03.01] pour plus de détails).

Lorsque le chargement et les réactions d'appui deviennent nuls, c'est-à-dire lorsque $\boldsymbol{L}$ est nul (par exemple dans le cas d'une décharge totale), on essaie de passer du critère de convergence relatif RESI_GLOB_RELA au critère de convergence absolu RESI_GLOB_MAXI. Cette opération est transparente pour l'utilisateur (message d'alarme émis dans le fichier .mess). Lorsque le vecteur $\boldsymbol{L}$ redevient différent de zéro, on repasse automatiquement au critère de convergence relatif RESI_GLOB_RELA.
Toutefois, ce mécanisme de basculement ne peut pas fonctionner au premier pas de temps. En effet, pour trouver une valeur de RESI_GLOB_MAXI raisonnable de manière automatique (puisque l'utilisateur ne l'a pas renseigné), on a besoin d'avoir eu au moins un pas convergé sur le mode RESI_GLOB_RELA . Dès lors, si le chargement est nul dès le premier instant, le calcul s'arrête. L'utilisateur doit déjà alors vérifier que le chargement nul est normal du point de vue de la modélisation qu'il réalise, et si tel est le cas, trouver un autre critère de convergence (RESI_GLOB_MAXI par exemple).

Si cet opérande est absent, le test est effectué avec la valeur par défaut, sauf si RESI_GLOB_MAXI est présent.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

◊ | RESI_GLOB_MAXI = resi_maxi [R]

L'algorithme continue les itérations globales tant que :

$$\max_{i=1,nbddl} |\boldsymbol{F}_i^n| > \text{resi_maxi}$$

où $\boldsymbol{F}^n$ est le résidu de l'itération n (cf. [R5.03.01] pour plus de détails). Si cet opérande est absent, le test n'est pas effectué.

Si RESI_GLOB_RELA et RESI_GLOB_MAXI sont présents tous les deux, les deux tests sont effectués.

3.3.2 Opérande ITER_GLOB_MAXI

◊ ITER_GLOB_MAXI = | 10 [DEFAUT]
| nb_iter

Nombre d'itérations maximum effectué pour résoudre le problème global à chaque instant.

3.4 Mot clé ESSAI_TRIA_DR_M_D

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai triaxial drainé montone à déformation imposée 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 Convention de signe des entrées et sorties

La convention de signe des géomécaniciens s'applique aux paramètres d'entrée en contraintes ou déformations imposées, c'est-à-dire que les valeurs sont positive s en compression.
Cette convention s'applique d e m ême sur les variables de sorties pré-définies dont la liste complète pour cet essai est la suivante :

- INST : instant
- EPS_AXI : déformation axiale
- EPS_LAT : déformation latérale
- EPS_VOL : déformation volumique
- SIG_AXI : contrainte effective axiale
- SIG_LAT : contrainte effective latérale
- P : contrainte effective moyenne
- Q : déviateur des contraintes

En revanche, cette convention ne s'applique pas sur les variables non pré-définies demandées en sortie dans NOM_CMP (§ 3.4.6).

3.4.2 Opérandes PRES_CONF, EPSI_IMPOSE, NB_INST

♦ PRES_CONF = l_sigma_conf [l_R]
♦ EPSI_IMPOSE = l_epsi_impo [l_R]
◊ NB_INST = | 100 [DEFAUT]
| 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 3.4.2-a) : les listes PRES_CONF

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

et EPSI_IMPOSE doivent donc avoir même cardinal. Ce cardinal correspond au nombre de simulations qui seront exécutées sous ce mot-clé facteur.
Les contraintes et les déformations étant comptées positivement en compression, les valeurs renseignées pour PRES_CONF doivent être strictement positives. Les valeurs renseignées dans EPSI_IMPOSE sont strictement positives ou négatives, une valeur négative indiquant un chargement en extension.

L'opérande NB_INST permet de définir la discrétisation temporelle du chargement (voir figure 3.4.2-a) , avec une valeur par défaut de 100 pas de chargement au cours de la rampe.

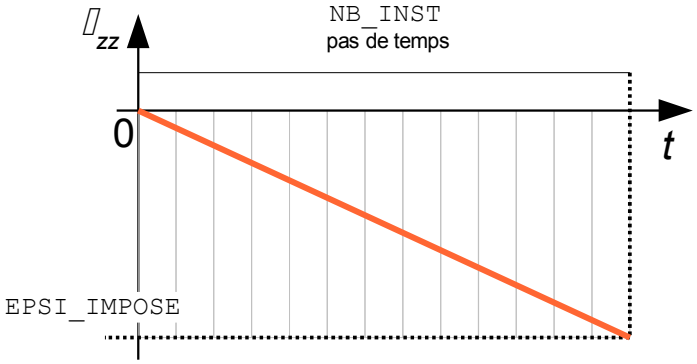


Figure 3.4.2-a: discrétisation et allure du chargement pour les mots-clés ESSAI_TD et ESSAI_TND

3.4.3 Opérande KZERO

```
◊  KZERO = | 1                [DEFAUT]
           | kzero             [R]
```

Valeur du coefficient des terres au repos, permet de définir un état de confinement anisotrope : $\sigma_{xx}=\sigma_{yy}=K_0\sigma_{zz}=K_0\times\text{PRES_CONF}$

Remarque : Lorsque la valeur de KZERO est renseignée différente de 1, la pression de confinement réelle de l'essai n'est plus PRES_CONF , elle devient :

$$P_c=\frac{1+2K_0}{3}\times\text{PRES_CONF}$$

3.4.4 Opérande TABLE_RESU

```
◊   TABLE_RESU = l_tabres          [l_CO ]
```

Cet opérande facultatif permet de donner la liste des noms des concepts produits par la 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_TRIA_DR_M_D) 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')
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

CALC _ ESSAI_GEOMECA(
...
   ESSAI_TRIA_DR_M_D = _F(
                  PRES_CONF    = (-1.E4, -1.5E4, -2.E4 ) ,
                  EPSI_IMPOSE = (-1.E-2, -1.E-2, -1.E-2) ,
                  TABLE_RESU   = ( TABRES1, TABRES2, TABRES3 ), ),
                         );
```

TABRES1 , TABRES2 , et TABRES3 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. 0 E4			TABRES3

3.4.5 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER

```
◊  GRAPHIQUE = | ('P-Q', 'EPS_AXI-Q', 'EPS_AXI-EPS_VOL',
                  'P-EPS_VOL')              [DEFAUT]
               | l_graphique                [l_Kn]
```

Cet opérande 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. U ne liste par défaut est proposée. Cependant, il est possible de remonter un graphique quelconque en donnant les combinaisons souhaitées de composantes existantes dans l_graphique , de la forme : ABSC-ORDO . Le tiret « - » permet de séparer la composante demandée en abscisse de celle demandée en ordonnée.

Exemple :

```
l_graphique = ('P-Q', 'EPS_AXI-Q', 'INST-EPS_VOL', 'INST-V23')
```

La composante non-prédéfinie V23 (correspondant à la déformation volumique plastique de la loi de Hujeux) doit être déclarée dans NOM_CMP (**§3.4.6**) pour être prise en compte. Dans le cas contraire, le graphique demandé n'est pas remonté.
Quant aux composantes pré-définies dont la liste complète est donnée dans **§3.4.1**, elles seront affichées éventuellement avec la convention de signe des géomécaniciens, c'est-à-dire avec des valeurs positives en compression.
Par ailleurs, toutes les composantes demandées pour la construction graphique seront affichées dans les tableaux de sorties (**§3.4.4**).

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 :

```
'préfixe'_ ' nom_essai ' _ ' numéro_occurrence ' _ ' absc-ordo ' . agr
```

Un préfixe peut être ajouté au nom du fichier de sortie grâce au mot-clé facultatif :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

◊ PREFIXE_FICHIER = préfixe [Kn]

3.4.6 Opérande NOM_CMP

◊ NOM_CMP = l_composante [l_Kn]

liste des composantes non-prédéfinies demandées en sortie. Il s'agit de toutes les composantes existantes contenues dans les champs SIGM, EPSI et VARI produits par le calcul. Ces composantes non-prédéfinies seront produites avec la convention de signe par défaut, c'est-à-dire avec des valeurs négatives en compression.
Les composantes non existantes sont ignorées.

3.4.7 Opérande TABLE_REF

◊ TABLE_REF = l_tabref [l_table]

Cet opérande 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_absc),
             _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_absc 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

3.4.8 Opérandes COULEUR, MARQUEUR, STYLE

◊ COULEUR = l_couleur [l_I]
◊ MARQUEUR = l_marqueur [l_I]
◊ STYLE = l_style [l_I]

Ces opérandes acceptent une liste d'entiers permettant de définir respectivement la couleur, le type de marqueur et le style des courbes affichées dans les graphiques. L'information codée par chaque entier est donnée dans la documentation sur XMGRACE U2.51.01. La longueur de la liste doit être égale à celle de PRES_CONF.

3.5 Mot clé ESSAI_TRIA_ND_M_D

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai triaxial non drainé monotone à déformation imposée (on suppose la saturation

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 Convention de signe des entrées et sorties

La convention de signe des géomécaniciens s'applique aux paramètres d'entrée en contraintes ou déformations imposées, c'est-à-dire que les valeurs sont positive s en compression.
Cette convention s'applique d e m ême sur les variables de sorties pré-définies dont la liste complète est la suivante :

- INST : instant
- EPS_AXI : déformation axiale
- EPS_LAT : déformation latérale
- EPS_VOL : déformation volumique
- SIG_AXI : contrainte effective axiale
- SIG_LAT : contrainte effective latérale
- P : contrainte effective moyenne
- Q : déviateur des contraintes
- PRE_EAU : pression interstitielle

En revanche, cette convention ne s'applique pas sur les variables non pré-définies demandées en sortie dans NOM_CMP (§ 3.5.7).

3.5.2 Opérandes PRES_CONF, EPSI_IMPOSE, NB_INST

```
♦   PRES_CONF    = l_sigma_conf      [l_R]
♦   EPSI_IMPOSE = l_epsi_impo          [l_R]
◊   NB_INST      = | 100                [DEFAUT]
                   | nbinst             [I]
```

Idem qu'au § 3.4.2 .

3.5.3 Opérande BIOT_COEF

```
◊   BIOT_COEF = | 1                    [DEFAUT]
                | biot                 [R]
```

Valeur du coefficient de Biot.

3.5.4 Opérande KZERO

```
◊  KZERO = | 1                    [DEFAUT]
           | kzero           [R]
```

Idem qu'au §3.4.3.

3.5.5 Opérande TABLE_RESU

```
◊   TABLE_RESU = l_tabres           [l_CO ]
```

Idem qu'au § 3.4.4 .

3.5.6 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER

```
◊   GRAPHIQUE = | ('P-Q', 'EPS_AXI-Q',
                  'EPS_AXI-PRE_EAU')              [DEFAUT]
                | l_graphique               [l_Kn]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

◊ PREFIXE_FICHIER = préfixe [Kn]

Idem qu'au §3.4.5.

3.5.7 Opérande NOM_CMP

◊ NOM_CMP = l_composante [l_Kn]

Idem qu'au §3.4.6.

3.5.8 Opérande TABLE_REF

◊ TABLE_REF = l_tabref [l_table]

Idem qu'au §3.4.7.

3.5.9 Opérandes COULEUR, MARQUEUR, STYLE

◊ COULEUR = l_couleur [l_I]
◊ MARQUEUR = l_marqueur [l_I]
◊ STYLE = l_style [l_I]

Idem qu'au §3.4.8.

3.6 Mot clé ESSAI_CISA_DR_C_D

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai de cisaillement cyclique drainé à déformation de cisaillement imposée 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 Convention de signe des entrées et sorties

La convention de signe des géomécaniciens s'applique aux paramètres d'entrée en contraintes ou déformations imposées, c'est-à-dire que les valeurs sont positive s en compression.
Cette convention s'applique de même sur les variables de sortie pré-définies. En revanche, cette convention ne s'applique pas sur les variables non pré-définies demandées en sortie dans NOM_CMP (§ 3.6.7).
Dans cet essai, on distingue les variables de sortie pré-définies de niveau 2 qui correspondent aux variables produites par l'essai dont la liste complète est la suivante :

- INST : instant
- GAMMA : déformation de cisaillement $\gamma = 2\epsilon_{xy}$
- SIG_XY : contrainte de cisaillement

Et les variables de sortie pré-définies de niveau 1 qui correspondent à des courbes dont les points représentent le résultat d'un essai (par ex. la courbe $\frac{G}{G_{\max}} - \gamma$) . L a liste complète des variables de niveau 1 est la suivante :

- G_SUR_GMAX : $\frac{G}{G_{\max}}$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- DAMPING : amortissement hystérétique $\frac{\Delta W}{\pi W}$

3.6.2 Opérandes PRES_CONF, GAMMA_IMPOSE, NB_CYCLE, NB_INST, TYPE_CHARGE

```
♦   PRES_CONF     = l_sigma_conf          [l_R]
♦   GAMMA_IMPOSE = l_gamma_impo          [l_R]
♦   NB_CYCLE      = nbcyc                 [I]
◊   NB_INST       = | 25                      [DEFAUT]
                    | nbinst                [I]
◊   TYPE_CHARGE   = | 'SINUSOIDAL'            [DEFAUT]
                    | 'TRIANGULAIRE'          [ Kn ]
```

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 3.6.2-a et détaillée ci-dessous :

- PRES_CONF permet de définir la liste des pressions de confinement (strictement positives) qui seront maintenues au cours de chaque essai ;
- GAMMA_IMPOSE permet de définir la liste des amplitudes (strictement positives) de déformation de cisaillement $\gamma = 2\varepsilon_{xy}$ 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
- TYPE_CHARGE indique le type de chargement souhaité : sinusoïdal ou triangulaire ;

Pour chaque pression de confinement PRES_CONF, on effectue autant de simulations qu'il y a d'éléments dans la liste GAMMA_IMPOSE. Contrairement aux essais TRIA_DR_M_D et TRIA_ND_M_D (voir respectivement §3.4 et §3.5), ces listes ne sont pas en bijection et il y a au total $card(\text{PRES_CONF}) \times card(\text{GAMMA_IMPOSE})$ simulations exécutées.

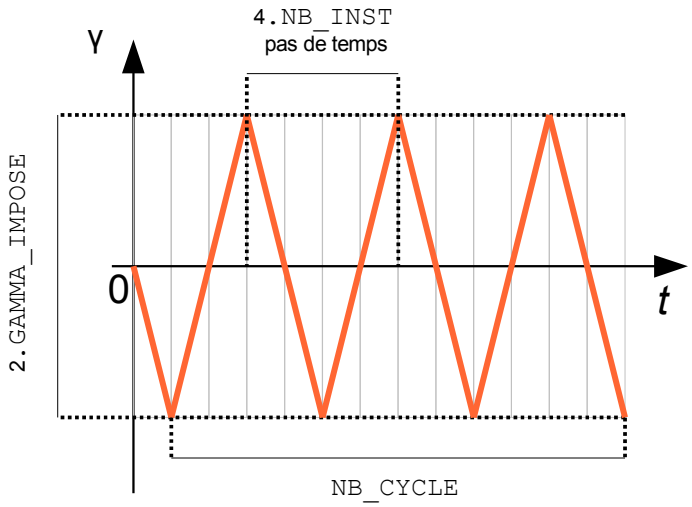


Figure 3.6.2-a: discrétisation et allure du chargement de type triangulaire pour le mot-clé ESSAI_CISA_DR_C_D pour 3 cycles de chargement

3.6.3 Opérande GAMMA_ELAS

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
◊   GAMMA_ELAS   = | 1.E-7              [DEFAUT]
                   | gamma_elas         [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 (en termes de distorsion) dont la valeur finale est GAMMA_ELAS. Cette valeur doit être telle que le matériau reste dans son domaine d'élasticité (linéaire ou non, selon la relation de comportement utilisée). GAMMA_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.

3.6.4 Opérande KZERO

```
◊  KZERO = | 1                [DEFAUT]
           | kzero             [R]
```

Idem qu'au §3.4.3.

3.6.5 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 :

$$card(\text{TABLE_RESU}) = card(\text{PRES_CONF}) + 1$$

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 GAMMA_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 $\frac{G}{G_{max}}$ et du taux d'amortissement hystérétique $\frac{\Delta W}{\pi W}$ en vis-à-vis des amplitudes de distorsion imposée (GAMMA_IMPOSE). L'amortissement hystérétique $\frac{\Delta W}{\pi W}$ pour le dernier cycle simulé est calculé d'après Kohusho [] de la façon suivante (Figure 3.6.5-a) :

- $\Delta W = \int_C \delta\sigma_{xy}\delta\gamma$ l'aire de la dernière bouvle d'hystérésis ;
- $W = \Delta\sigma_{xy}\Delta\gamma$ l'énergie élastique associée

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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

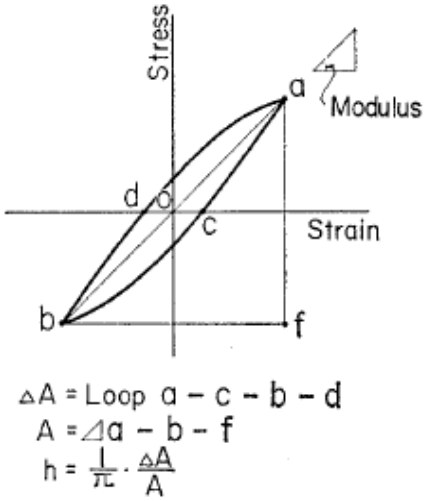


Figure 3.6.5-a: Définition de l'amortissement hystérétique d'après Kokusho []

Exemple :

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

CALC_ESSAI_GEOMECA(
...
   ESSAI_CISA_ DR _C_ D = _F(
          PRES_CONF     = (1.E5, 2.05E5,),
          GAMMA_IMPOSE = (1.E-5, 5.E-5, 1.E-4, 1.E-3) ,
          NB_CYCLE      = 3,
          TABLE_RESU    = ( TABRES1, TABRES2, TABBILA ), ),
...
                );
```

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.

GAMMA_IMPOSE / PRES_ CONF	1.E-5	5.E-5	1.E-4	1.E-3
1.E5	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
#
 GAMMA_IMPOSE_1 INST_1       GAMMA_1     SIG_XY_1     GAMMA_IMPOSE_2 INST_2       GAMMA_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 -3.79317E+01   -            4.00000E-01 -2.00000E-06 -1.89658E+02 ...
  -             8.00000E-01 -8.00000E-07 -7.58633E+01   -            8.00000E-01 -4.00000E-06 -3.79317E+02 ...
  -             1.20000E+00 -1.20000E-06 -1.13795E+02   -            1.20000E+00 -6.00000E-06 -5.50536E+02 ...
  -             1.60000E+00 -1.60000E-06 -1.51727E+02   -            1.60000E+00 -8.00000E-06 -7.19697E+02 ...
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

-	2.00000E+00	-2.00000E-06	-1.89658E+02	-	2.00000E+00	-1.00000E-05	-8.88778E+02 ...
-	2.40000E+00	-2.40000E-06	-2.27590E+02	-	2.40000E+00	-1.20000E-05	-1.05778E+03 ...
-	2.80000E+00	-2.80000E-06	-2.65522E+02	-	2.80000E+00	-1.40000E-05	-1.22670E+03 ...
-	3.20000E+00	-3.20000E-06	-3.03453E+02	-	3.20000E+00	-1.60000E-05	-1.39554E+03 ...
-	3.60000E+00	-3.60000E-06	-3.41385E+02	-	3.60000E+00	-1.80000E-05	-1.56429E+03 ...
-	4.00000E+00	-4.00000E-06	-3.79317E+02	-	4.00000E+00	-2.00000E-05	-1.73297E+03 ...
-	4.40000E+00	-4.40000E-06	-4.15150E+02	-	4.40000E+00	-2.20000E-05	-1.90156E+03 ...
-	4.80000E+00	-4.80000E-06	-4.49001E+02	-	4.80000E+00	-2.40000E-05	-2.07007E+03 ...
-	5.20000E+00	-5.20000E-06	-4.82849E+02	-	5.20000E+00	-2.60000E-05	-2.23850E+03 ...
-	5.60000E+00	-5.60000E-06	-5.16693E+02	-	5.60000E+00	-2.80000E-05	-2.40684E+03 ...
-	6.00000E+00	-6.00000E-06	-5.50535E+02	-	6.00000E+00	-3.00000E-05	-2.57510E+03 ...
-	6.40000E+00	-6.40000E-06	-5.84374E+02	-	6.40000E+00	-3.20000E-05	-2.74327E+03 ...
-	6.80000E+00	-6.80000E-06	-6.18209E+02	-	6.80000E+00	-3.40000E-05	-2.91136E+03 ...
-	7.20000E+00	-7.20000E-06	-6.52041E+02	-	7.20000E+00	-3.60000E-05	-3.07937E+03 ...
-	7.60000E+00	-7.60000E-06	-6.85870E+02	-	7.60000E+00	-3.80000E-05	-3.24729E+03 ...
-	8.00000E+00	-8.00000E-06	-7.19695E+02	-	8.00000E+00	-4.00000E-05	-3.41511E+03 ...
-	8.40000E+00	-8.40000E-06	-7.53517E+02	-	8.40000E+00	-4.20000E-05	-3.58284E+03 ...
-	8.80000E+00	-8.80000E-06	-7.87336E+02	-	8.80000E+00	-4.40000E-05	-3.75049E+03 ...
-	9.20000E+00	-9.20000E-06	-8.21152E+02	-	9.20000E+00	-4.60000E-05	-3.91805E+03 ...
-	9.60000E+00	-9.60000E-06	-8.54965E+02	-	9.60000E+00	-4.80000E-05	-4.08436E+03 ...
-	1.00000E+01	-1.00000E-05	-8.88774E+02	-	1.00000E+01	-5.00000E-05	-4.24698E+03 ...
-	1.04000E+01	-9.60000E-06	-8.50842E+02	-	1.04000E+01	-4.80000E-05	-4.05732E+03 ...
-	1.08000E+01	-9.20000E-06	-8.12911E+02	-	1.08000E+01	-4.60000E-05	-3.86767E+03 ...
-	1.12000E+01	-8.80000E-06	-7.74979E+02	-	1.12000E+01	-4.40000E-05	-3.67801E+03 ...
-	1.16000E+01	-8.40000E-06	-7.37047E+02	-	1.16000E+01	-4.20000E-05	-3.48835E+03 ...
-	1.20000E+01	-8.00000E-06	-6.99116E+02	-	1.20000E+01	-4.00000E-05	-3.31514E+03 ...
-	1.24000E+01	-7.60000E-06	-6.61184E+02	-	1.24000E+01	-3.80000E-05	-3.14591E+03 ...
-	1.28000E+01	-7.20000E-06	-6.23252E+02	-	1.28000E+01	-3.60000E-05	-2.97673E+03 ...
-	1.32000E+01	-6.80000E-06	-5.85321E+02	-	1.32000E+01	-3.40000E-05	-2.80759E+03 ...
-	1.36000E+01	-6.40000E-06	-5.47389E+02	-	1.36000E+01	-3.20000E-05	-2.63849E+03 ...
-	1.40000E+01	-6.00000E-06	-5.09458E+02	-	1.40000E+01	-3.00000E-05	-2.46942E+03 ...
-	1.44000E+01	-5.60000E-06	-4.71526E+02	-	1.44000E+01	-2.80000E-05	-2.30040E+03 ...
-	1.48000E+01	-5.20000E-06	-4.33594E+02	-	1.48000E+01	-2.60000E-05	-2.13142E+03 ...
-	1.52000E+01	-4.80000E-06	-3.95663E+02	-	1.52000E+01	-2.40000E-05	-1.96247E+03 ...
-	1.56000E+01	-4.40000E-06	-3.57731E+02	-	1.56000E+01	-2.20000E-05	-1.79357E+03 ...
-	1.60000E+01	-4.00000E-06	-3.19799E+02	-	1.60000E+01	-2.00000E-05	-1.62471E+03 ...
-	1.64000E+01	-3.60000E-06	-2.81868E+02	-	1.64000E+01	-1.80000E-05	-1.45589E+03 ...
-	1.68000E+01	-3.20000E-06	-2.43936E+02	-	1.68000E+01	-1.60000E-05	-1.28711E+03 ...
-	1.72000E+01	-2.80000E-06	-2.06004E+02	-	1.72000E+01	-1.40000E-05	-1.11836E+03 ...
-	1.76000E+01	-2.40000E-06	-1.68073E+02	-	1.76000E+01	-1.20000E-05	-9.49666E+02 ...
-	1.80000E+01	-2.00000E-06	-1.30141E+02	-	1.80000E+01	-1.00000E-05	-7.81009E+02 ...
-	1.84000E+01	-1.60000E-06	-9.23287E+01	-	1.84000E+01	-8.00000E-06	-6.12391E+02 ...
...	...	...	...	...	...	...	...

Ci dessous, on présente également le contenu de la table supplémentaire TABBILA , récapitulant les post-traitements ($\frac{G}{G_{max}}$ et $DAMPING$) 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  GAMMA_IMPOSE_1 G_SUR_GMAX_1 DAMPING_1    PRES_CONF_2  GAMMA_IMPOSE_2 G_SUR_GMAX_2 DAMPING_2
-1.00000E+05    1.00000E-05  9.37244E-01  1.79484E-02 -2.00000E+05    1.00000E-05  9.65623E-01  1.30248E-02
-               5.00000E-05  8.95847E-01  7.93301E-03 -               5.00000E-05  9.26152E-01  6.34512E-03
-               1.00000E-04  7.91534E-01  5.24988E-02 -               1.00000E-04  8.82990E-01  2.26809E-02
-               1.00000E-03  2.81687E-01  2.16980E-01 -               1.00000E-03  3.69590E-01  1.89750E-01
```

3.6.6 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER

◊ GRAPHIQUE = | ('GAMMA-SIG_XY', 'GAMMA-G_ SUR_GMAX ',
'GAMMA-D AMPING ' ,
'G_ SUR_GMAX -D AMPING ') [DEFAUT]
| l_graphique [l_Kn]

◊ P REFIXE_FICHIER = préfixe [Kn]

Idem qu'au § 3.4.5 , sauf que contrairement aux graphiques de niveau 2 qui peuvent être quelconques, les graphiques de niveau 1 sont à sélectionner dans la liste :

- 'GAMMA-G_ SUR_GMAX ' ;
- 'GAMMA-D AMPING ' ;
- 'G_ SUR_GMAX -D AMPING '

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.6.7 Opérande NOM_CMP

```
◊ NOM_CMP     = l_composante                    [l_Kn]
```

Idem qu'au §3.4.6.

3.6.8 Opérande TABLE_REF

```
◊   TABLE_REF = l_tabref            [l_table]
```

Idem qu'au §3.4.7.

3.6.9 Opérandes COULEUR_NIV1, MARQUEUR_NIV1, STYLE_NIV1, COULEUR_NIV2, MARQUEUR_NIV2, STYLE_NIV2

```
◊  COULEUR_NIV1    = l_couleur_niv1              [l_I ]
◊   MARQUEUR_NIV1  = l_marqueur_niv1                [l_I ]
◊   STYLE_NIV1     = l_style_niv1                   [l_I ]
◊  COULEUR_NIV2    = l_couleur_niv2              [l_I ]
◊   MARQUEUR_NIV2  = l_marqueur_niv2                [l_I ]
◊   STYLE_NIV2     = l_style_niv2                   [l_I ]
```

Ce s opérandes acceptent une liste d'entiers permettant de définir respectivement la couleur, le type de marqueur et le style des courbes affichées dans les graphiques. L'information codée par chaque entier est donnée dans la documentation sur XMGRACE U2.51.01. La longeur de la liste de niveau 1 doit être égale à celle de PRES_CONF. La longeur de la liste de niveau 2 doit être égale à celle de GAMMA_IMPOSE .

3.7 Mot clé ESSAI_TRIA_ND_C_F

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 à force imposée 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 Convention de signe des entrées et sorties

La convention de signe des géomécaniciens s'applique aux paramètres d'entrée en contraintes ou déformations imposées, c'est-à-dire que les valeurs sont positive s en compression.
Cette convention s'applique d e m ême sur les variables de sortie pré-définies. En revanche, cette convention ne s'applique pas sur les variables non pré-définies demandées en sortie dans NOM_CMP (§ 3.7.9).
Dans cet essai, on distingue les variables de sortie pré-définies de niveau 2 qui correspondent aux variables produites par l'essai dont la liste complète est la suivante :

- INST : instant
- EPS_AXI : déformation axiale
- EPS_LAT : déformation latérale
- EPS_VOL : déformation volumique
- SIG_AXI : contrainte effective axiale
- SIG_LAT : contrainte effective latérale
- P : contrainte effective moyenne

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- Q : déviateur des contraintes
- PRE_EAU : pression interstitielle
- R U : coefficient de pression interstitielle égale à $r_u = \frac{3}{1+2K_0}\frac{\Delta u_w}{\sigma'_{v,0}}$

Et les variables de sortie pré-définies de niveau 1 qui correspondent à des courbes dont les points représentent le résultat d'un essai (par ex. la courbe $CRR - N_{cyc}$) . La liste complète des variables de niveau 1 est la suivante :

- NCYCL : nombre de cycles de chargement à la liquéfaction
- D SIGM : contrainte maximale imposée normalisée par la contrainte effective moyenne initiale $DSIGM = CRR = \frac{Q_{\max}}{P'_0}$

3.7.2 Opérandes PRES_CONF, SIGM_IMPOSE, NB_CYCLE, NB_INST, NB_INST_MONO, TYPE_CHARGE

```
♦   PRES_CONF    = l_sigma_conf          [l_R]
♦   SIGM_IMPOSE = l_sigma_impo          [l_R]
♦   NB_CYCLE     = nbcyc                 [I]
◊   NB_INST      = | 25                  [DEFAUT]
                  | nbinst               [I]
◊   NB_INST_MONO= | 400                  [DEFAUT]
                  | nbinst_mono          [I]
◊   TYPE_CHARGE = | 'SINUSOIDAL'         [DEFAUT]
                  | 'TRIANGULAIRE'       [ Kn ]
```

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 3.7.2-a et détaillée ci-dessous :

- PRES_CONF permet de définir la liste des pressions de confinement (strictement positives) qui seront maintenues au cours de chaque essai ;
- SIGM_IMPOSE permet de définir la liste des amplitudes de contrainte effective axiale du chargement cyclique imposé (avec PRES_CONF la contrainte moyenne). Une valeur strictement positive indique un premier chargement en compression, une valeur strictement négative un premier chargement en extension ;
- 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 ;
- NB_INST_MONO permet de définir la discrétisation temporelle des chargements monotones à déformation imposée après détection d'une instabilité, et correspond au nombre de pas de chargement par quart de cycle. Le nombre d'instants doit être suffisamment grand (>100) pour une détection suffisament précise de l'atteinte de la consigne en force ;
- TYPE_CHARGE indique le type de chargement souhaité : sinusoidal ou triangulaire ;

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 TRIA_DR_M_D et TRIA_ND_M_D (voir respectivement §3.4 et §3.5), ces listes ne sont pas en bijection et il y a au total
$card(\text{PRES_CONF}) \times card(\text{SIGM_IMPOSE})$ simulations exécutées.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

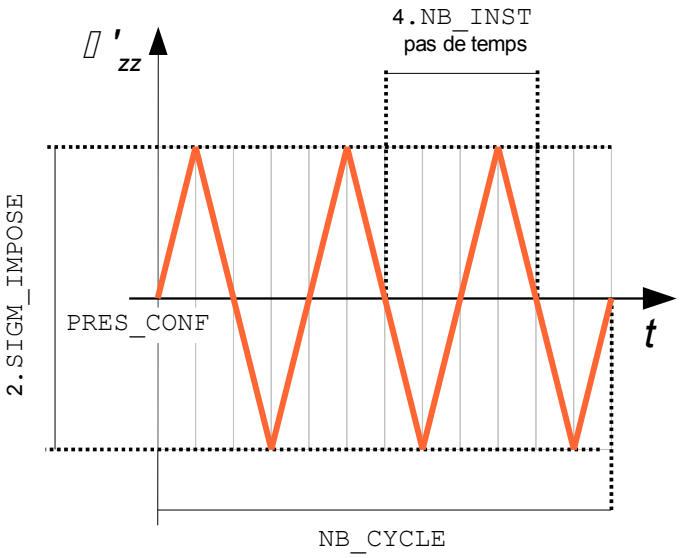


Figure 3.7.2-a: discrétisation et allure du chargement de type triangulaire pour le mot-clé ESSAI_TRIA_ND_C_D pour 3 cyclesde chargement

Remarque :

Pour les sables lâches, le contrôle en contrainte de l'essai pose des difficultés lors de la traversée des deux lignes d'instabilité, représentées en bleue sur la Figure 3.7.2-c. En effet, l'imposition d'une consigne de contrainte maximale supérieure à la contrainte maximale admissible sur la ligne d'instabilité conduit soit à une divergence, soit à une solution fausse (saut brutal de contrainte visible sur la Figure 3.7.2-c). En effet, la ligne d'instabilité représente le lieu de tous les maxima admissibles de contraintes d'un essai TRIA_ND_M_D monotone pour différentes valeurs de consolidation initiale (courbe noire).

Le problème ne se pose pas pour un sable dense, car il n'y a pas de maxima de contraintes dans ce cas-là, comme on peut le voir la courbe noire de la Figure 3.7.2-b.

*Pour cet essai, il existe donc une procédure **automatique** de gestion des situations instables. Elle consiste à détecter l'instabilité et à poursuivre l'essai en déformation contrôlée. Les critères de détection sont les suivants :*
non convergence du calcul

$$\frac{\Delta Q}{\Delta P} < 0.25 \quad et \quad \frac{\Delta \epsilon_{zz}^{+}}{\Delta \epsilon_{zz}^{-}} > 10$$

On poursuit sur le nombre de cycles restant par enchaînement d'essais TRIA_ND_M_D monotones à déformation contrôlée, à raison de deux essais par cycle ($\pm\epsilon_{max}$ pour atteindre $\pm\sigma_{max}$). La consigne de déformation maximale ϵ_{max} imposée est de 4%, ou de 12% si la consigne précédente était insuffisante. La liste d'instants pour ces essais TRIA_ND_M_D s'échelonne de 0 à 100 secondes par pas temporel de 0.2 secondes (ou de 0.1 secondes si la consigne est $\epsilon_{max} = 12\%$).

L'enchaînement d'un essai TRIA_ND_M_D à déformation contrôlée à l'autre s'effectue par une reprise du calcul à partir du dernier instant où la consigne en contrainte $\pm\sigma_{max}$ est atteinte.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Sur la Figure 3.7.2-d, on montre sur un exemple de sable lâche (cas-test comp012c) la solution obtenue avec ou sans la procédure de gestion de l'instabilité.

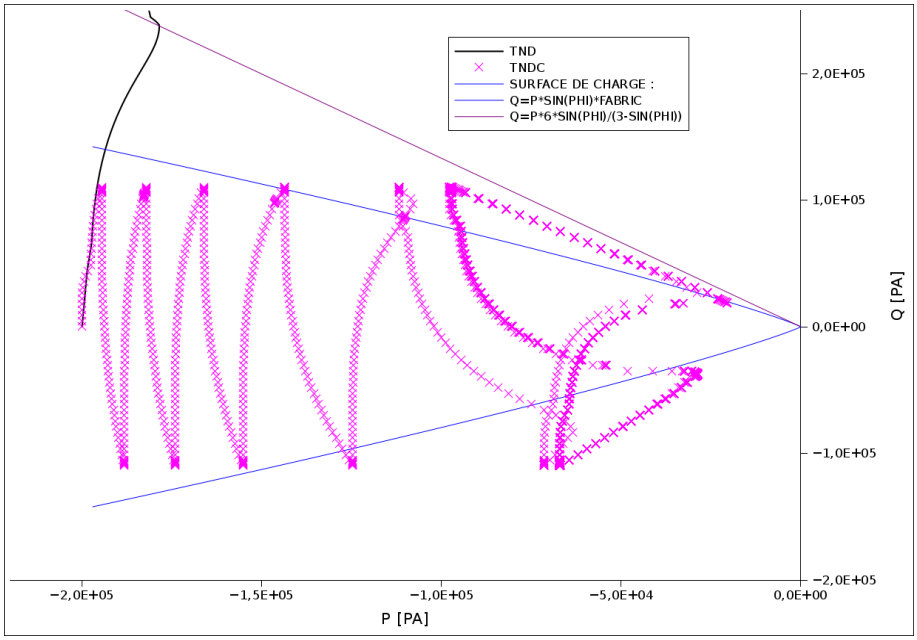


Figure 3.7.2-b: Résultat des essais *TRIA_ND_M_D* (noir) et *TRIA_ND_C_F* (rose) pour un sable dense. L'état de rupture est représentée par la ligne violette, et les lignes d'instabilité sont bleues.

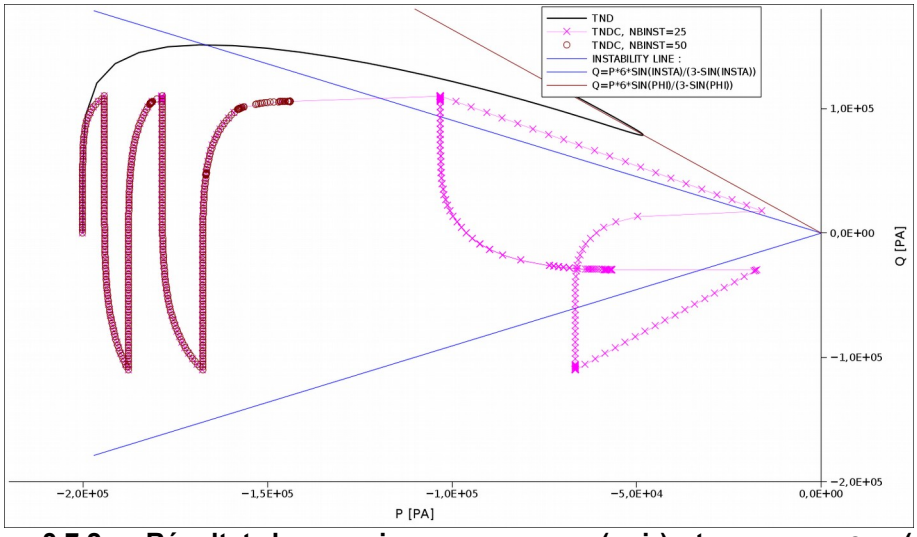


Figure 3.7.2-c: Résultat des essais *TRIA_ND_M_D* (noir) et *TRIA_ND_C_F* (rose) pour un sable lâche. L'état de rupture est représentée par la ligne violette, et les lignes d'instabilité sont bleues.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

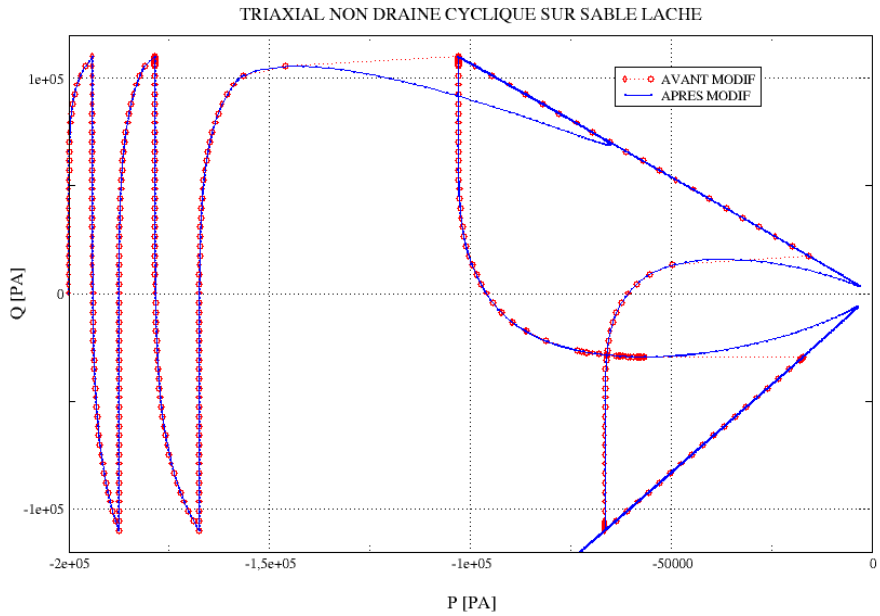


Figure 3.7.2-d: Résultat d'un essai *TRIA_ND_C_F* pour un sable lâche avec (bleue) ou sans (rouge) la procédure de gestion de l'instabilité.

3.7.3 Opérande CRIT_LIQUEFACTION, VALE_CRIT, ARRET_LIQUEFACTION

```
♦  CRIT_LIQUEFACTION = ('RU_MAX', 'EPSI_ABSO_MAX',
                        'EPSI_RELA_MAX')
♦  VALE_CRIT          = l_vale                [l_R]
◊  ARRET_LIQUEFACTION = | 'OUI'               [DEFAUT]
                        | ' NON '
```

Valeur maximale du critère de liquéfaction, à comparer avec : $r_u = \left| \frac{u}{P_0} \right|$

Dans CRIT_LIQUEFACTION, on choisit une combinaison de critères dans la liste suivante :

- RU_MAX correspond au coefficient de liquéfaction égal à $r_u = \frac{3}{1+2K_0} \frac{\Delta u_w}{\sigma'_{v,0}}$, nécessairement compris entre $\left]0,1\right]$ (Figure 3.7.3-a) ;
- EPSI_ABSO_MAX correspond au seuil en déformation axiale dit « single amplitude », positif en compression et négatif en extension dans l'intervalle $\left]-5,5\right]$ $(\%)$ (Figure 3.7.3-b) ;
- EPSI_RELA_MAX correspond au critère en amplitude de déformation axiale sur une période, dit « double amplitude », nécessairement positif et inférieur à 5 % (Figure 3.7.3-b) ;

La liste des valeurs, de même cardinal, est donnée dans VALE_CRIT. L'ordre des critères doit correspondre à l'ordre des valeurs numériques.

Si plusieurs critères sont choisis, la liquéfaction est stipulée avoir lieu quand tous les critères ont été atteints successivement. Le calcul est arrêté au dernier cycle où le dernier critère est atteint, si c'est possible, si ARRET_LIQUEFACTION = 'OUI'. Si ARRET_LIQUEFACTION = 'NON', l'essai est poursuivi jusqu'au nombre de cycles renseigné dans NB_CYCLE.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

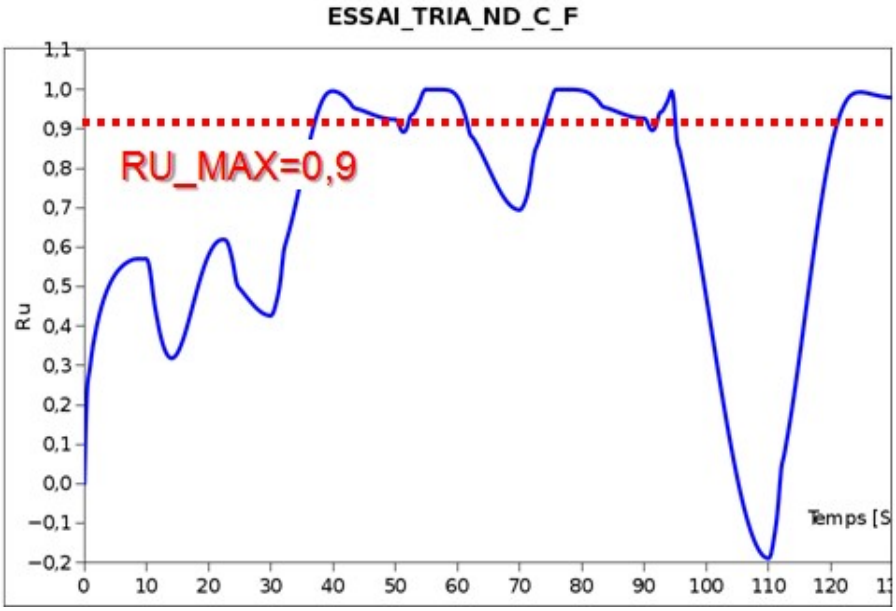


Figure 3.7.3-a: Critère `RU_MAX=0.9`

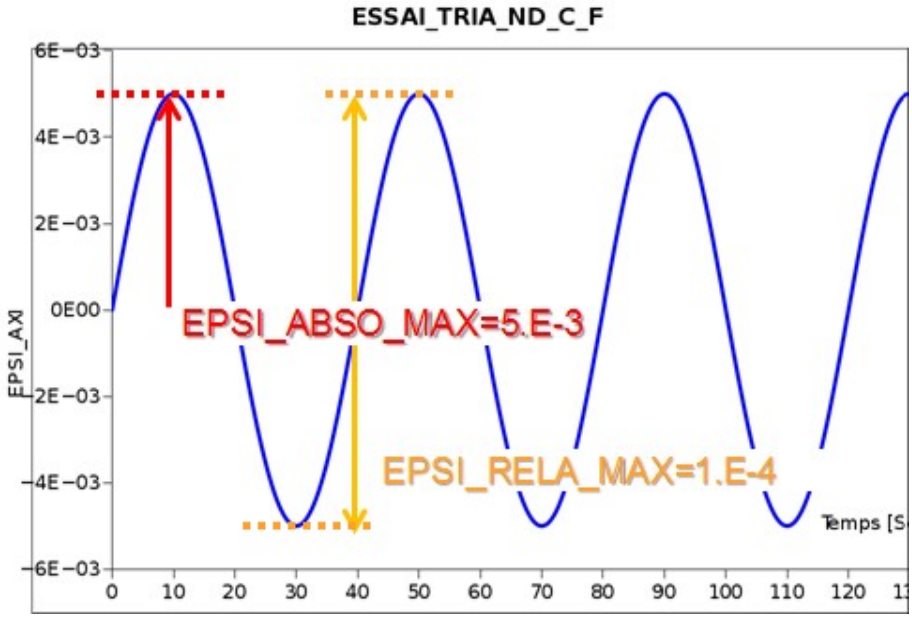


Figure 3.7.3-b: Critères `EPSI_ABSO_MAX = 5E-3` et `EPSI_RELA_MAX = 1E-4`

3.7.4 Opérande `BIOT_COEF`

```
◊   BIOT_COEF = | 1                [DEFAUT]
                | biot             [R]
```

Valeur du coefficient de Biot.

3.7.5 Opérande `KZERO`

```
◊  KZERO = | 1                [DEFAUT]
           | kzero            [R]
```

Idem qu'au §3.4.3.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.7.6 Opérande UN_SUR_K

♦ UN_SUR_K = unsurk [R]

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

3.7.7 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 :

$$card(\text{TABLE_RESU}) = card(\text{PRES_CONF}) + 1$$

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 NCYCL, en vis-à-vis des amplitudes de contrainte effective imposée (SIGM_IMPOSE). La liquéfaction est considérée avoir lieu quand tous les critères choisis au paragraphe §3.7.3 sont atteints successivement.
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_TRIA_ND_C_F = _F(
        PRES_CONF   = (3.E4, 3.25E4, 3.5E4),
        SIGM_IMPOSE = (1.E4, 1.1E4, 1.2E4, 1.3E4, 1.6E4),
        UN_SUR_K    = 1E-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 / PRES_CONF	1.E4	1.1E4	1.2E4	1.3E4	1.6E4
3.E4	TABRES1	TABRES1	TABRES1	TABRES1	TABRES1
3.25E4	TABRES2	TABRES2	TABRES2	TABRES2	TABRES2
3.5E4	TABRES3	TABRES3	TABRES3	TABRES3	TABRES3

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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
#
```

3.7.8 Opérande GRAPHIQUE

```
◊  GRAPHIQUE = | ('P-Q', 'SIG_AXI-PRE_EAU',
                  'SIG_AXI-RU', 'EPS_AXI-PRE_EAU',
                  'EPS_AXI-Q', 'EPS_AXI-RU',
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
                    'NCYCL-DSIGM' )              [DEFAUT]
                  | l_graphique                  [l_Kn]

◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe                     [ Kn ]
```

Idem qu'au §3.4.5, sauf que contrairement aux graphiques de niveau 2 qui peuvent être quelconques, les graphiques de niveau 1 sont à sélectioner dans la liste :

- ' NCYCL-DSIGM '

3.7.9 Opérande NOM_CMP

```
◊  NOM_CMP     = l_composante                    [l_Kn]
```

Idem qu'au §3.4.6.

3.7.10 Opérande TABLE_REF

```
◊   TABLE_REF = l_tabref            [l_table]
```

Idem qu'au §3.4.7.

3.7.11 Opérandes COULEUR_NIV1, MARQUEUR_NIV1, STYLE_NIV1, COULEUR_NIV2, MARQUEUR_NIV2, STYLE_NIV2

```
◊  COULEUR_NIV1    = l_couleur_niv1              [l_I ]
◊   MARQUEUR_NIV1  = l_marqueur_niv1                [l_I ]
◊   STYLE_NIV1     = l_style_niv1                   [l_I ]
◊  COULEUR_NIV2    = l_couleur_niv2              [l_I ]
◊   MARQUEUR_NIV2  = l_marqueur_niv2                [l_I ]
◊   STYLE_NIV2     = l_style_niv2                   [l_I ]
```

Idem qu'au §3.4.8.

3.8 Mot clé ESSAI_TRIA_DR_C_D

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai triaxial drainé cyclique à déformation imposée pour lesquelles on fait varier les paramètres de chargement (pression de confinement, déformation 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.

3.8.1 Convention de signe des entrées et sorties

La convention de signe des géomécaniciens s'applique aux paramètres d'entrée en contraintes ou déformations imposées, c'est-à-dire que les valeurs sont positive s en compression.
Cette convention s'applique d e m ême sur les variables de sortie pré-définies. En revanche, cette convention ne s'applique pas sur les variables non pré-définies demandées en sortie dans NOM_CMP (§ 3.8.7).
Dans cet essai, on distingue les variables de sortie pré-définies de niveau 2 qui correspondent aux variables produites par l'essai dont la liste complète est la suivante :

- INST : instant
- EPS_AXI : déformation axiale
- EPS_LAT : déformation latérale
- EPS_VOL : déformation volumique

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- SIG_AXI : contrainte effective axiale
- SIG_LAT : contrainte effective latérale
- P : contrainte effective moyenne
- Q : déviateur des contraintes

Et les variables de sortie pré-définies de niveau 1 qui correspondent à des courbes dont les points représentent le résultat d'un essai (par ex. la courbe $\frac{E*}{E*_{\max}} - \Delta\epsilon_v$) .

L a liste complète des variables de niveau 1 est la suivante :

- E_SUR_E MAX : $\frac{E*}{E*_{\max}}$ avec $E* = \frac{|\Delta(\sigma_v - \sigma_h)|}{|\Delta\epsilon_v|}$ le module apparent de l'essai ;
- DAMPING : amortissement hystérétique $\frac{\Delta W}{\pi W}$

3.8.2 Opérandes PRES_CONF, EPSI_MAXI, EPSI_MINI, NB_CYCLE, NB_INST

```
♦   PRES_CONF     = l_sigma_conf          [l_R]
♦   EPSI_MAXI     = l_epsi_maxi_impo      [l_R]
♦   EPSI_MINI     = l_epsi_mini_impo      [l_R]
♦   NB_CYCLE      = nbcyc                 [I]
◊   NB_INST       = | 25                  [DEFAUT]
                    | nbinst              [I]
◊   TYPE_CHARGE   = | 'SINUSOIDAL'        [DEFAUT]
                    | 'TRIANGULAIRE'      [ Kn ]
```

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 3.6.2-a et détaillée ci-dessous :

- PRES_CONF permet de définir la liste des pressions de confinement (strictement positives) qui seront maintenues au cours de chaque essai ;
- EPSI_MAXI et EPSI_MINI permettent de définir la liste des déformations axiales maximales et minimales, respectivement, du chargement cyclique imposé. Le cardinal de EPSI_MAXI doit être égal à celui de EPSI_MINI. La condition $\Delta\epsilon_v = EPSI_MAXI - EPSI_MINI > 0$ doit être respectée terme à terme ;
- 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
- TYPE_CHARGE indique le type de chargement souhaité : sinusoidal ou triangulaire ;

Pour chaque pression de confinement PRES_CONF, on effectue autant de simulations qu'il y a d'éléments dans la liste GAMMA_IMPOSE. Contrairement aux essais TRIA_DR_M_D et TRIA_ND_M_D (voir respectivement §3.4 et §3.5), ces listes ne sont pas en bijection et il y a au total
$card(\text{PRES_CONF}) \times card(\text{EPSI_MAXI})$ simulations exécutées.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

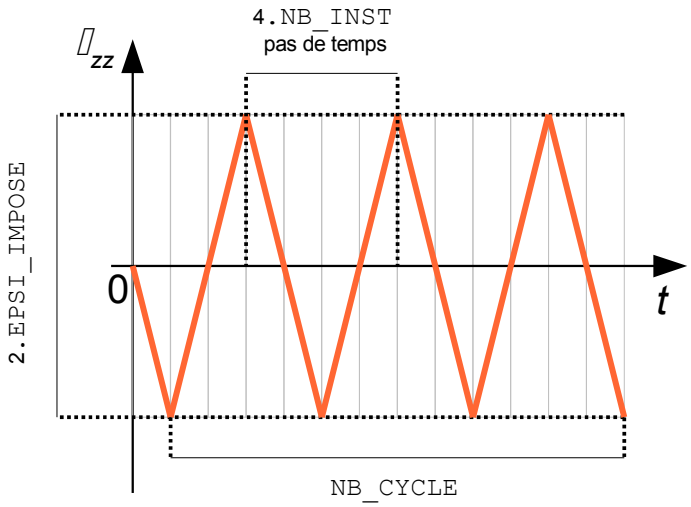


Figure 3.8.2-a: discrétisation et allure du chargement pour le mot-clé ESSAI_TD_A, pour 3 cycles

3.8.3 Opérande EPSI_ELAS

```
◊   EPSI_ELAS     = | 1.E-7                [DEFAUT]
                    | epsi_elas             [R]
```

Pour chaque pression de confinement, le module d'Young cyclique équivalent maximal (c'est à dire du matériau sain) est déterminé en simulant un cycle de chargement alterné contrôlé en déformation axiale imposée jusqu'à la valeur 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.

3.8.4 Opérande KZERO

```
◊  KZERO = | 1                [DEFAUT]
           | kzero             [R]
```

Idem qu'au §3.4.3.

3.8.5 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 :

$$card(\text{TABLE_RESU}) = card(\text{PRES_CONF}) + 1$$

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_MAXI). Une table supplémentaire récapitulant les post-traitements réalisés à l'issue de

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

toutes les simulations est également produite. Cette table contient pour chaque pression de confinement (PRES_CONF) les valeurs d e :

- module a pparent cyclique équivalent normalisé $\frac{E*}{E*_{\max}}$ pour le dernier cycle simulé, en vis-à-vis des amplitudes de déformation imposées (EPSI_ MAXI). $E*$ et $E*_{max}$ sont calculés de la manière suivante :
  $E*=\frac{|\Delta(\sigma_v-\sigma_h)|}{|\Delta\epsilon_v|}$
  avec $\Delta\sigma=\sigma_{max}-\sigma_{min}$ et $\Delta\epsilon_v=\epsilon_{v,max}-\epsilon_{v,min}$;
- l'amortissement hystérétique $\frac{\Delta W}{\pi W}$ pour le dernier cycle simulé, en vis-à-vis des amplitudes de déformation imposées (EPSI_ MAXI). W Est calculé de la façon suivante :
  - $\Delta W=\int_C \delta(\sigma_v-\sigma_h).\delta(\epsilon_v-\epsilon_h)$ l'aire de la dernière bou c le d'hystérésis
  - $W=\Delta(\sigma_v-\sigma_h).\Delta(\epsilon_v-\epsilon_h)$ l'énergie élastique associée

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')
TABBILA=CO('TBILA')

CALC_ESSAI_GEOMECA(
...
   ESSAI_TRIA_DR_C_D = _F(
        PRES_CONF  = (3.E4, 5.E4),
        EPSI_MAXI  = (1.E-4, 5.E-4, 1.E-3, 2.E-3, 5.E-3),
        EPSI_MINI  = (-1.E-4, -5.E-4, -1.E-3, -2.E-3, -5.E-3),
         NB_CYCLE   = 3,
        TABLE_RESU = (TABRES1, TABRES2, TABBILA), ),
...
                              );
```

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

EPSI_IMPOSE / PRES_CONF	1.E-4	5.E-4	1.E-3	2.E-3	5.E-3
3.E4	TABRES1	TABRES1	TABRES1	TABRES1	TABRES1
5.E4	TABRES2	TABRES2	TABRES2	TABRES2	TABRES2

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_TD_A numero 1 / PRES_CONF = -5.000000E+04
#
EPSI_IMPOSE_1 INST_1       EPS_AXI_1    EPS_LAT_1     ...   EPSI_IMPOSE_2 INST_2      ...
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
 1.00000E-04  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  ...   5.00000E-04  0.00000E+00  ...
-             4.00000E-01 -4.00000E-06 -1.97971E-06  ...   -             4.00000E-01 ...
-             8.00000E-01 -8.00000E-06 -3.80754E-06  ...   -             8.00000E-01 ...
-             1.20000E+00 -1.20000E-05 -5.47994E-06  ...   -             1.20000E+00 ...
-             1.60000E+00 -1.60000E-05 -7.15274E-06  ...   -             1.60000E+00 ...
-             2.00000E+00 -2.00000E-05 -8.82571E-06  ...   -             2.00000E+00 ...
-             2.40000E+00 -2.40000E-05 -1.04989E-05  ...   -             2.40000E+00 ...
-             2.80000E+00 -2.80000E-05 -1.21721E-05  ...   -             2.80000E+00 ...
-             3.20000E+00 -3.20000E-05 -1.38456E-05  ...   -             3.20000E+00 ...
-             3.60000E+00 -3.60000E-05 -1.55192E-05  ...   -             3.60000E+00 ...
-             4.00000E+00 -4.00000E-05 -1.71930E-05  ...   -             4.00000E+00 ...
-             4.40000E+00 -4.40000E-05 -1.88669E-05  ...   -             4.40000E+00 ...
-             4.80000E+00 -4.80000E-05 -2.05409E-05  ...   -             4.80000E+00 ...
-             5.20000E+00 -5.20000E-05 -2.22151E-05  ...   -             5.20000E+00 ...
-             5.60000E+00 -5.60000E-05 -2.38895E-05  ...   -             5.60000E+00 ...
-             6.00000E+00 -6.00000E-05 -2.55640E-05  ...   -             6.00000E+00 ...
-             6.40000E+00 -6.40000E-05 -2.72385E-05  ...   -             6.40000E+00 ...
-             6.80000E+00 -6.80000E-05 -2.88926E-05  ...   -             6.80000E+00 ...
-             7.20000E+00 -7.20000E-05 -3.04742E-05  ...   -             7.20000E+00 ...
-             7.60000E+00 -7.60000E-05 -3.19868E-05  ...   -             7.60000E+00 ...
-             8.00000E+00 -8.00000E-05 -3.34349E-05  ...   -             8.00000E+00 ...
-             8.40000E+00 -8.40000E-05 -3.48219E-05  ...   -             8.40000E+00 ...
-             8.80000E+00 -8.80000E-05 -3.61512E-05  ...   -             8.80000E+00 ...
-             9.20000E+00 -9.20000E-05 -3.74257E-05  ...   -             9.20000E+00 ...
-             9.60000E+00 -9.60000E-05 -3.86481E-05  ...   -             9.60000E+00 ...
-             1.00000E+01 -1.00000E-04 -3.98209E-05  ...   -             1.00000E+01 ...
-             1.04000E+01 -9.60000E-05 -4.10210E-05  ...   -             1.04000E+01 ...
-             1.08000E+01 -9.20000E-05 -4.23186E-05  ...   -             1.08000E+01 ...
-             1.12000E+01 -8.80000E-05 -4.36541E-05  ...   -             1.12000E+01 ...
-             1.16000E+01 -8.40000E-05 -4.49913E-05  ...   -             1.16000E+01 ...
-             1.20000E+01 -8.00000E-05 -4.63303E-05  ...   -             1.20000E+01 ...
-             1.24000E+01 -7.60000E-05 -4.76712E-05  ...   -             1.24000E+01 ...
-             1.28000E+01 -7.20000E-05 -4.90139E-05  ...   -             1.28000E+01 ...
-             1.32000E+01 -6.80000E-05 -5.03585E-05  ...   -             1.32000E+01 ...
-             1.36000E+01 -6.40000E-05 -5.17050E-05  ...   -             1.36000E+01 ...
-             1.40000E+01 -6.00000E-05 -5.30534E-05  ...   -             1.40000E+01 ...
-             1.44000E+01 -5.60000E-05 -5.44039E-05  ...   -             1.44000E+01 ...
-             1.48000E+01 -5.20000E-05 -5.54605E-05  ...   -             1.48000E+01 ...
-             1.52000E+01 -4.80000E-05 -5.38679E-05  ...   -             1.52000E+01 ...
-             1.56000E+01 -4.40000E-05 -5.22783E-05  ...   -             1.56000E+01 ...
-             1.60000E+01 -4.00000E-05 -5.06917E-05  ...   -             1.60000E+01 ...
-             1.64000E+01 -3.60000E-05 -4.91081E-05  ...   -             1.64000E+01 ...
-             1.68000E+01 -3.20000E-05 -4.75276E-05  ...   -             1.68000E+01 ...
-             1.72000E+01 -2.80000E-05 -4.59671E-05  ...   -             1.72000E+01 ...
-             1.76000E+01 -2.40000E-05 -4.44567E-05  ...   -             1.76000E+01 ...
-             1.80000E+01 -2.00000E-05 -4.29952E-05  ...   -             1.80000E+01 ...
 ...          ...          ...          ...          ...   ...              ...     ...
```

Ci dessous, on présente également le contenu de la table supplémentaire TABBILA , récapitulant les post-traitements $\frac{E*}{E*_{\max}}$ et $\frac{\Delta W}{\pi W}$ 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_TD_A numero 1
#
PRES_CONF_1  EPSI_IMPOSE_1 E_SUR_EMAX_1 PRES_CONF_2  EPSI_IMPOSE_2 E_SUR_EMAX_2
-3.00000E+04   1.00000E-04  4.08330E-01 -5.00000E+04   1.00000E-04  4.30922E-01
-             5.00000E-04  1.72000E-01 -             5.00000E-04  2.05213E-01
-             1.00000E-03  1.13241E-01 -             1.00000E-03  1.38724E-01
-             2.00000E-03  7.38666E-02 -             2.00000E-03  9.14469E-02
-             5.00000E-03  4.33285E-02 -             5.00000E-03  5.32730E-02
```

3.8.6 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER

```
◊  GRAPHIQUE = | ('P-Q','EPS_AXI-Q', 'EPS_VOL-Q',
                  'EPS_AXI-EPS_VOL', 'P-EPS_VOL',
                  ' D EPSI-E_ SUR_EMAX ',
                  ' D EPSI- DAMPING ' )                    [DEFAUT]
               | l_graphique                    [l_Kn]

◊  P REFIXE_FICHIER = préfixe                   [ Kn ]
```

Idem qu'au §3.4.5, sauf que contrairement aux graphiques de niveau 2 qui peuvent être quelconques, les graphiques de niveau 1 sont à sélectionner dans la liste :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- ' D EPSI-E_ SUR_EMAX '
- ' D EPSI- DAMPING '

3.8.7 Opérande NOM_CMP

◊ NOM _CMP = l_ composante [l_Kn]

Idem qu'au §3.4.6.

3.8.8 Opérande TABLE_REF

◊ TABLE_REF = l_tabref [l_table]

Idem qu'au §3.4.7.

3.8.9 Opérandes COULEUR_NIV1, MARQUEUR_NIV1, STYLE_NIV1, COULEUR_NIV2, MARQUEUR_NIV2, STYLE_NIV2

◊ COULEUR_ NIV1 = l_ couleur_ niv1 [l_ I]
◊ MARQUEUR_ NIV1 = l_ marqueur _ niv1 [l_ I]
◊ STYLE_ NIV1 = l_ style _ niv1 [l_ I]
◊ COULEUR_ NIV2 = l_ couleur_ niv2 [l_ I]
◊ MARQUEUR_ NIV2 = l_ marqueur _ niv2 [l_ I]
◊ STYLE_ NIV2 = l_ style _ niv2 [l_ I]

Idem qu'au §3.4.8.

3.9 Mot clé ESSAI_TRIA_ND_C_D

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai triaxial non drainé cyclique à déformation imposée pour lesquelles on fait varier les paramètres de chargement (pression de confinement, déformation 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.

3.9.1 Convention de signe des entrées et sorties

La convention de signe des géomécaniciens s'applique aux paramètres d'entrée en contraintes ou déformations imposées, c'est-à-dire que les valeurs sont positive s en compression.
Cette convention s'applique d e m ême sur les variables de sortie pré-définies. En revanche, cette convention ne s'applique pas sur les variables non pré-définies demandées en sortie dans NOM_CMP (§ 3.9.10).
Dans cet essai, on distingue les variables de sortie pré-définies de niveau 2 qui correspondent aux variables produites par l'essai dont la liste complète est la suivante :

- INST : instant
- EPS_AXI : déformation axiale
- EPS_LAT : déformation latérale
- EPS_VOL : déformation volumique
- SIG_ AXI : contrainte effective axiale
- SIG_LAT : contrainte effective latérale
- P : contrainte effective moyenne
- Q : déviateur des contraintes
- PRE_EAU : pression interstitielle

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- `RU` : coefficient de pression interstitielle égale à $r_u = \frac{3}{1+2K_0}\frac{\Delta u_w}{\sigma'_{v,0}}$

Et les variables de sortie pré-définies de niveau 1 qui correspondent à des courbes dont les points représentent le résultat d'un essai (par ex. la courbe $CRR - N_{cyc}$) . La liste complète des variables de niveau 1 est la suivante :

- `NCYCL` : nombre de cycles de chargement à la liquéfaction
- `DEPSI` : amplitude de déformation axiale imposée
  $\Delta\epsilon_v = \text{EPSI_MAX} - \text{EPSI_MIN}$
- `RU_MAX` : maximum de `RU`
- `E_SUR_EMAX` : $\frac{E^*}{E^*_{\max}}$ avec $E^* = \frac{|\Delta(\sigma_v - \sigma_h)|}{|\Delta\epsilon_v|}$
- `DAMPING` : amortissement hystérétique $\frac{\Delta W}{\pi W}$

3.9.2 Opérandes PRES_CONF, EPSI_MAXI, EPSI_MINI, NB_CYCLE, NB_INST

```
♦   PRES_CONF     = l_sigma_conf          [l_R]
♦   EPSI_MAXI     = l_epsi_maxi_impo      [l_R]
♦   EPSI_MINI     = l_epsi_mini_impo      [l_R]
♦   NB_CYCLE      = nbcyc                 [I]
◊   NB_INST       = | 25                  [DEFAUT]
                    | nbinst              [I]
◊   TYPE_CHARGE   = | 'SINUSOIDAL'        [DEFAUT]
                    | 'TRIANGULAIRE'      [ Kn ]
```

Idem qu'au §3.8.2.

3.9.3 Opérande EPSI_ELAS

```
◊   EPSI_ELAS     = | 1.E-7               [DEFAUT]
                    | epsi_elas           [R]
```

Idem qu'au §3.9.3.

3.9.4 Opérande BIOT_COEF

```
◊   BIOT_COEF = | 1                  [DEFAUT]
                | biot               [R]
```

Valeur du coefficient de Biot.

3.9.5 Opérande KZERO

```
◊  KZERO = | 1                [DEFAUT]
           | kzero            [R]
```

Idem qu'au §3.4.3.

3.9.6 Opérande UN_SUR_K

```
♦   UN_SUR_K = unsurk            [R]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

3.9.7 Opérande RU_MAX

```
◊ RU_MAX      = | 0.8                      [DEFAUT]
                | crit_liquefaction        [R]
```

Valeur du critère de liquéfaction en RU.

3.9.8 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 :

$$card\left(\text{TABLE_RESU}\right)=card\left(\text{PRES_CONF}\right)+1$$

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_ MAXI). 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 d e :

- module apparent cyclique équivalent normalisé $\frac{E*}{E*_{\max}}$ pour le dernier cycle simulé, en vis-à-vis des amplitudes de déformation imposées (EPSI_ MAXI). $E*$ et $E*_{max}$ sont calculés de la manière suivante :
$$E*=\frac{\left|\Delta\left(\sigma_v-\sigma_h\right)\right|}{\left|\Delta\,\epsilon_v\right|}$$
avec $\Delta\sigma=\sigma_{max}-\sigma_{min}$ et $\Delta\epsilon_v=\epsilon_{v,\,max}-\epsilon_{v,\,min}$;
- l'amortissement hystérétique $\frac{\Delta W}{\pi W}$ pour le dernier cycle simulé, en vis-à-vis des amplitudes de déformation imposées (EPSI_ MAXI). W Est calculé de la façon suivante :
  - $\Delta W=\int_C \delta\left(\sigma_v-\sigma_h\right).\delta\left(\epsilon_v-\epsilon_h\right)$ l'aire de la dernière bouvle d'hystérésis
  - $W=\Delta\left(\sigma_v-\sigma_h\right).\Delta\left(\epsilon_v-\epsilon_h\right)$ l'énergie élastique associée
- nombre de cycles à la liquéfaction NCYCL

Cette table correspond au nom de concept donné en dernière position dans la liste TABLE_RESU .

3.9.9 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER

```
◊   GRAPHIQUE = | ( 'NCYCL-DEPSI', 'DEPSI-RU_MAX',
                  'DEPSI-E_SUR_EMAX', 'DEPSI-DAMPING',
                  'P-Q', 'EPS_AXI-EPS_VOL'
                  'EPS_AXI-Q', 'P-EPS_VOL',
                  'EPS_AXI-PRE_EAU', 'EPS_AXI-RU',
                  'P-PRE_EAU' )              [DEFAUT]
                | l_graphique                [l_Kn]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

◊ PREFIXE_FICHIER = préfixe [Kn]

Idem qu'au §3.4.5, sauf que contrairement aux graphiques de niveau 2 qui peuvent être quelconques, les graphiques de niveau 1 sont à sélectioner dans la liste :

- ' NCYCL-D EPSI '
- ' D EPSI-RU_MAX '
- ' D EPSI-E_SUR_EMAX '
- ' D EPSI-DAMPING '

3.9.10 Opérande NOM_CMP

◊ NOM_CMP = l_composante [l_Kn]

Idem qu'au §3.4.6.

3.9.11 Opérande TABLE_REF

◊ TABLE_REF = l_tabref [l_table]

Idem qu'au §3.4.7.

3.9.12 Opérandes COULEUR_NIV1, MARQUEUR_NIV1, STYLE_NIV1, COULEUR_NIV2, MARQUEUR_NIV2, STYLE_NIV2

◊ COULEUR_NIV1 = l_couleur_niv1 [l_I]
◊ MARQUEUR_NIV1 = l_marqueur_niv1 [l_I]
◊ STYLE_NIV1 = l_style_niv1 [l_I]
◊ COULEUR_NIV2 = l_couleur_niv2 [l_I]
◊ MARQUEUR_NIV2 = l_marqueur_niv2 [l_I]
◊ STYLE_NIV2 = l_style_niv2 [l_I]

Idem qu'au §3.4.8.

3.10 Mot clé ESSAI_OEDO_DR_C_F

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai oedométrique drainé cyclique à force imposée pour lesquelles on fait varier les paramètres de chargement (pression de consolidation isotrope initiale , amplitude de contrainte effective axiale imposée, et amplitude de contrainte effective axiale en fin de décharge), de post-traiter les résultats obtenus et de les écrire sous forme de graphiques (au format xmgrace) et/ou de tables.

3.10.1 Convention de signe des entrées et sorties

La convention de signe des géomécaniciens s'applique aux paramètres d'entrée en contraintes ou déformations imposées, c'est-à-dire que les valeurs sont positive s en compression.
Cette convention s'applique d e m ême sur les variables de sorties pré-définies dont la liste complète pour cet essai est la suivante :

- INST : instant
- EPS_VOL : déformation volumique
- SIG_AXI : contrainte effective axiale
- SIG_LAT : contrainte effective latérale
- P : contrainte effective moyenne

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

En revanche, cette convention ne s'applique pas sur les variables non pré-définies demandées en sortie dans NOM_CMP (§ 3.10.6).

3.10.2 Opérandes PRES_CONF, SIGM_IMPOSE, SIGM_DECH, NB_CYCLE, NB_INST, TYPE_CHARGE

```
♦   PRES_CONF   = l_sigma_conf            [l_R]
♦   SIGM_IMPOSE = l_sigma_impo            [l_R]
♦   SIGM_DECH   = l_sigma_décharge        [l_R]
♦   NB_CYCLE    = nbcyc                   [I]
◊   NB_INST     = | 25                    [DEFAUT]
                  | nbinst                [I]
◊   TYPE_CHARGE = | 'SINUSOIDAL'          [DEFAUT]
                  | 'TRIANGULAIRE'        [Kn]
```

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 3.10.2-a et détaillée ci-dessous :

- PRES_CONF permet de définir la liste des pressions de consolidation verticales initiales (strictement positives). La contrainte moyenne initiale sera donc égale à $\frac{1+2K_0}{3}\times \text{PRES_CONF}$;
- SIGM_IMPOSE permet de définir la liste des valeurs de contrainte axiale imposées (strictement positives et supérieures à SIGM_DECH) ;
- SIGM_DECH permet de définir la liste des valeurs (strictement positives) de la contrainte axiale de décharge, fixée pour tous les cycles de chargement, à une pression de consolidation initiale donnée. Les listes PRES_CONF et SIGM_DECH doivent avoir le même cardinal ;
- NB_INST permet de définir la discrétisation temporelle du chargement, et correspond au nombre de pas de chargement par moitié de cycle ;
- TYPE_CHARGE indique le type de chargement souhaité : sinusoidal ou triangulaire ;

Pour chaque pression de consolidation initiale PRES_CONF, et chaque contrainte de décharge SIGM_DECH, on effectue autant de cycles qu'il y a d'éléments dans la liste SIGM_IMPOSE. Contrairement aux essais TRIA_DR_M_D et TRIA_ND_M_D (voir respectivement §3.4 et §3.5), ces listes ne sont pas en bijection et il y a au total $card(\text{PRES_CONF}) = card(\text{SIGM_DECH})$ simulations exécutées, chaque simulation comportant $card(\text{SIGM_IMPOSE})$ cycles.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

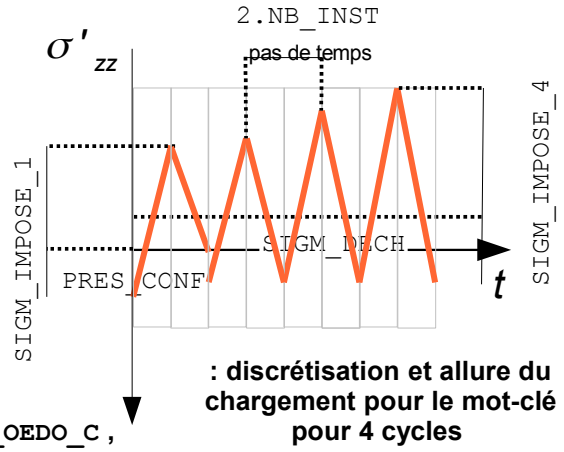


Figure ESSAI_OEDO_C , : discrétisation et allure du chargement pour le mot-clé pour 4 cycles

3.10.3 Opérande KZERO

```
◊  KZERO = | 1                [DEFAUT]
           | kzero             [R]
```

Idem qu'au §3.4.3.

3.10.4 Opérande TABLE_RESU

```
◊   TABLE_RESU = l_tabres           [l_CO]
```

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

$$card(\text{TABLE_RESU}) = card(\text{PRES_CONF})$$

En effet, chaque table produite regroupe les résultats bruts de la simulation exécutée pour une même pression de consolidation initiale (PRES_CONF) et une même valeur de contrainte en fin de décharge (SIGM_DECH), chaque cycle de cette simulation correspond à une valeur (SIGM_IMPOSE) .

Exemple :

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

CALC_ESSAI_GEOMECA(
 ...
ESSAI_OEDO_DR_C_F = _F(
      PRES_CONF   = (1.E5, 2.E5),
      SIGM_DECH   = (2.E5, 3.E5),
      SIGM_IMPOSE = (3.E5, 4.E5, 5.E5),
 ...
                        );
```

Les trajets de chargement sont illustrés sur la Figure 3.10.4-a.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

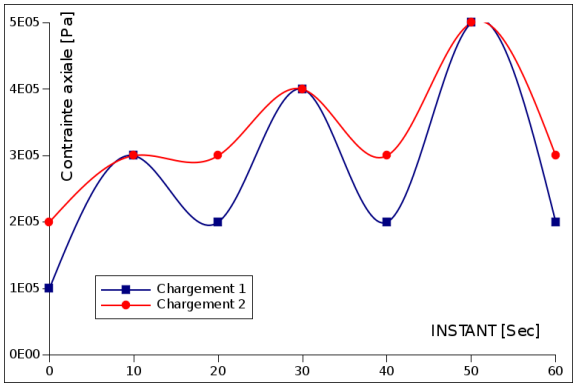


Figure 3.10.4-a: Chargements oedométriques

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.

SIGM_IMPOSE		3.E5	4.E5	5.E5
PRES_CONF	SIGM_DECH			
1.E5	2.E5	TABRES1	TABRES1	TABRES1
2.E5	3.E5	TABRES2	TABRES2	TABRES2

On présente ci-dessous un extrait de la table TABRES2 contenant les résultats bruts des simulations exécutées pour le deuxième valeur de PRES_CONF, et de SIGM_DECH

```
#
#------------------------------------------------------------------------------
#
# ESSAI_OEDO_C numero 1 / PRES_CONF = -2.000000E+05 / SIGM_DECH = -3.000000E+05
#
SIGM_IMPOSE_2 INST_2       EPS_VOL_2    P_2          SIG_AXI_2    SIG_LAT_2
-3.00000E+05  0.00000E+00  0.00000E+00 -2.00000E+05 -2.00000E+05 -2.00000E+05
-3.00000E+05  4.00000E-01 -7.39723E-05 -2.01077E+05 -2.12000E+05 -1.95616E+05
-3.00000E+05  8.00000E-01 -1.75678E-04 -2.02549E+05 -2.24000E+05 -1.91824E+05
-3.00000E+05  1.20000E+00 -3.18644E-04 -2.04590E+05 -2.36000E+05 -1.88885E+05
-3.00000E+05  1.60000E+00 -4.99908E-04 -2.07143E+05 -2.48000E+05 -1.86714E+05
-3.00000E+05  2.00000E+00 -7.15464E-04 -2.10149E+05 -2.60000E+05 -1.85224E+05
-3.00000E+05  2.40000E+00 -9.61164E-04 -2.13554E+05 -2.72000E+05 -1.84332E+05
-3.00000E+05  2.80000E+00 -1.23276E-03 -2.17306E+05 -2.84000E+05 -1.83959E+05
-3.00000E+05  3.20000E+00 -1.52656E-03 -2.21361E+05 -2.96000E+05 -1.84041E+05
-3.00000E+05  3.60000E+00 -1.83869E-03 -2.25674E+05 -3.08000E+05 -1.84511E+05
-3.00000E+05  4.00000E+00 -2.16608E-03 -2.30211E+05 -3.20000E+05 -1.85317E+05
 ...          ...          ...          ...          ...          ...
 ...          ...          ...          ...          ...          ...
 ...          ...          ...          ...          ...          ...
-3.00000E+05  2.00000E+01 -6.04300E-03 -2.76465E+05 -3.00000E+05 -2.64698E+05
-4.00000E+05  2.04000E+01 -6.11132E-03 -2.80404E+05 -3.16000E+05 -2.62606E+05
-4.00000E+05  2.08000E+01 -6.19529E-03 -2.81924E+05 -3.32000E+05 -2.56886E+05
-4.00000E+05  2.12000E+01 -6.28651E-03 -2.83575E+05 -3.48000E+05 -2.51363E+05
-4.00000E+05  2.16000E+01 -6.39457E-03 -2.85529E+05 -3.64000E+05 -2.46293E+05
-4.00000E+05  2.20000E+01 -6.51836E-03 -2.87762E+05 -3.80000E+05 -2.41643E+05
-4.00000E+05  2.24000E+01 -6.65666E-03 -2.90254E+05 -3.96000E+05 -2.37381E+05
-4.00000E+05  2.28000E+01 -6.80833E-03 -2.92984E+05 -4.12000E+05 -2.33476E+05
-4.00000E+05  2.32000E+01 -6.97209E-03 -2.95933E+05 -4.28000E+05 -2.29900E+05
 ...          ...          ...          ...          ...          ...
 ...          ...          ...          ...          ...          ...
 ...          ...          ...          ...          ...          ...
-4.00000E+05  3.96000E+01 -1.01176E-02 -3.27727E+05 -3.16000E+05 -3.33591E+05
-4.00000E+05  4.00000E+01 -9.76282E-03 -3.20137E+05 -3.00000E+05 -3.30206E+05
-5.00000E+05  4.04000E+01 -9.84598E-03 -3.24672E+05 -3.20000E+05 -3.27007E+05
-5.00000E+05  4.08000E+01 -9.94584E-03 -3.26579E+05 -3.40000E+05 -3.19868E+05
-5.00000E+05  4.12000E+01 -1.00631E-02 -3.28816E+05 -3.60000E+05 -3.13225E+05
-5.00000E+05  4.16000E+01 -1.02034E-02 -3.31485E+05 -3.80000E+05 -3.07228E+05
  ...          ...          ...          ...          ...          ...
```

3.10.5 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER

◊ GRAPHIQUE = | ('P-EPS_VOL', 'SIG_AXI-EPS_VOL') [DEFAUT]
| l_graphique [l_Kn]

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe                [Kn]
```

Idem qu'au §3.4.5.

3.10.6 Opérande NOM_CMP

```
◊  NOM_CMP     = l_composante                  [l_Kn]
```

Idem qu'au §3.4.6.

3.10.7 Opérande TABLE_REF

```
◊   TABLE_REF = l_tabref            [l_table]
```

Idem qu'au §3.4.7.

3.10.8 Opérandes COULEUR, MARQUEUR, STYLE

```
◊  COULEUR   = l_couleur                [l_I]
◊   MARQUEUR  = l_marqueur              [l_I]
◊   STYLE     = l_style                 [l_I]
```

Idem qu'au § 3.4.8 .

3.11 Mot clé ESSAI_ISOT_DR_C

Ce mot-clé facteur (répétable) permet d'effectuer une série de simulations d'un même essai de compression isotrope drainée cyclique pour lesquelles on fait varier les paramètres de chargement (pression de consolidation isotrope initiale , amplitude de contrainte effective isotrope imposée, et amplitude de contrainte isotrope de décharge), de post-traiter les résultats obtenus et de les écrire sous forme de graphiques (au format xmgrace) et/ou de tables.

3.11.1 Convention de signe des entrées et sorties

Idem qu'au §3.10.1.

3.11.2 Opérandes PRES_CONF, SIGM_IMPOSE, SIGM_DECH, NB_CYCLE, NB_INST, TYPE_CHARGE

```
♦   PRES_CONF   = l_sigma_conf          [l_R]
♦   SIGM_IMPOSE = l_sigma_impo          [l_R]
♦   SIGM_DECH   = l_sigma_décharge      [l_R]
♦   NB_CYCLE    = nbcyc                 [I]
◊   NB_INST     = | 25                  [DEFAUT]
                  | nbinst              [I]
◊   TYPE_CHARGE = | 'SINUSOIDAL'        [DEFAUT]
                  | 'TRIANGULAIRE'      [Kn]
```

Idem qu'au §3.10.2 avec $K_0=1$.

3.11.3 Opérande TABLE_RESU

```
◊   TABLE_RESU = l_tabres           [l_CO]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Idem qu'au § 3.10.4 .

3.11.4 Opérande GRAPHIQUE, PREFIXE_FICHIER

```
◊  GRAPHIQUE = | 'P-EPS_VOL'                  [DEFAUT]
               | l_graphique                 [l_Kn]

◊  PREFIXE_FICHIER = préfixe                 [Kn]
```

Idem qu'au §3.4.5.

3.11.5 Opérande NOM_CMP

```
◊  NOM_CMP     = l_composante                [l_Kn]
```

Idem qu'au §3.4.6.

3.11.6 Opérande TABLE_REF

```
◊   TABLE_REF = l_tabref           [l_table]
```

Idem qu'au §3.4.7.

3.11.7 Opérandes COULEUR, MARQUEUR, STYLE

```
◊  COULEUR   = l_couleur                [l_ I ]
◊   MARQUEUR  = l_marqueur              [l_ I ]
◊   STYLE     = l_style                 [l_ I ]
```

Idem qu'au § 3.4.8 .

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)