

Opérateur DEFI_CONTACT

1 But

Affecter des conditions de contact unilatéral et de frottement en mécanique ou des conditions unilatérales sur les degrés de liberté.

Table des matières

1 But.....	1
2 Syntaxe.....	4
3 Principes.....	12
3.1 Contrôle de l'appariement (méthodes maillées hors XFEM).....	13
3.1.1 Opérande APPARIEMENT.....	13
3.1.2 Opérandes MAILLE_MAIT/GROUP_MA_MAIT/MAILLE_ESCL/GROUP_MA_ESCL.....	13
3.1.3 Opérandes SANS_NOEUD/SANS_GROUP_NO/SANS_MAILLE/SANS_GROUP_MA.....	14
3.1.4 Opérandes TYPE_APPA/DIRE_APPA.....	14
3.1.5 Opérandes TOLE_APPA et TOLE_PROJ_EXT.....	14
3.1.6 Choix des normales.....	15
3.1.6.1 Type de normale (NORMALE).....	15
3.1.6.2 Choix des normales maître ou esclave (VECT_MAIT/VECT_ESCL).....	15
3.1.6.3 Lissage des normales (LISSAGE).....	16
3.1.7 Modification du jeu.....	17
3.1.7.1 Opérandes DIST_MAIT/DIST_ESCL.....	17
3.1.7.2 Opérandes DIST_POUTRE/DIST_COQUE/CARA_ELEM.....	17
3.2 Contrôle de l'appariement spécifique à la formulation CONTINUE.....	17
3.2.1 Opérandes RACCORD_LINE_QUAD/GROUP_NO_RACC/NOEUD_RACC.....	17
3.2.2 Opérandes FOND_FISSURE/GROUP_NO_FOND/NOEUD_FOND/GROUP_MA_FOND/ MAILLE_FOND.....	18
3.2.3 Opérande EXCLUSION_PIV_NUL.....	18
3.2.4 Opérandes SANS_NOEUD_FR/SANS_GROUP_NO_FR.....	18
3.3 Choix et contrôle de l'algorithme de résolution global.....	19
3.3.1 Boucle de réactualisation géométrique (REAC_GEOM).....	19
3.3.2 Frottement.....	20
3.3.3 Formulation DISCRETE.....	20
3.3.3.1 Choix des algorithmes.....	20
3.3.3.2 Méthodes dualisées (CONTRAINTE et LAGRANGIEN).....	20
3.3.3.3 Méthode GLISSIERE.....	21
3.3.3.4 Méthode GCP.....	21
3.3.3.5 Méthode PENALISATION.....	22
3.3.4 Formulation CONTINUE.....	22
3.3.4.1 Choix des algorithmes.....	22
3.3.4.2 Boucle de point fixe pour les statuts de contact.....	23
3.3.4.3 Boucle de point fixe pour le frottement.....	23
3.3.5 Formulation XFEM.....	24
3.3.5.1 Boucle de point fixe pour les statuts de contact.....	24
3.3.5.2 Boucle de point fixe pour le frottement.....	24
3.3.6 Méthode sans résolution.....	24

3.4 Paramètres locaux (zone par zone) de contrôle de la résolution.....	24
3.4.1 Paramètres locaux (zone par zone) de la formulation DISCRETE.....	25
3.4.1.1 Méthode 'PENALISATION'.....	25
3.4.1.2 Paramètres spécifiques pour le frottement	25
3.4.2 Paramètres locaux (zone par zone) de la formulation CONTINUE.....	25
3.4.2.1 Opérandes CONTACT_INIT/SEUIL_INIT.....	25
3.4.2.2 Coefficients de la formulation CONTINUE.....	26
3.4.2.3 Opérande INTEGRATION.....	26
3.4.2.4 Opérande GLISSIERE.....	27
3.4.2.5 Opérande COMPLIANCE.....	27
3.4.2.6 Opérande USURE.....	27
3.4.3 Paramètres locaux (zone par zone) de la formulation XFEM.....	27
3.4.3.1 Opérande FISS_MAIT	27
3.4.3.2 Opérandes CONTACT_INIT/SEUIL_INIT.....	28
3.4.3.3 Coefficients de la formulation XFEM.....	28
3.4.3.4 Opérande INTEGRATION.....	28
3.4.3.5 Opérande GLISSIERE.....	29
3.4.3.6 Opérande ALGO_LAGR.....	29
3.4.3.7 Opérande COEF_ECHELLE.....	29
3.4.3.8 Opérande RELATION.....	29
3.4.4 Méthode sans résolution.....	29
3.5 Structure de données VALE_CONT.....	30
3.6 Formulation LIAISON_UNIL.....	31
3.6.1 Paramètres locaux (zone par zone) de la formulation LIAISON_UNIL.....	31
3.6.1.1 Opérandes MAILLE/GROUP_MA/NOEUD/GROUP_NO.....	31
3.6.1.2 Opérandes SANS_NOEUD/SANS_GROUP_NO.....	32
3.6.1.3 Opérande NOM_CMP.....	32
3.6.1.4 Opérandes COEF_IMPO et COEF_MULT.....	32
3.6.2 Exemple.....	32

2 Syntaxe

```
char_contact = DEFI_CONTACT
(
♦  MODELE           =  mo,                                [modele]
◇  INFO             =  /1,                                [DEFAULT]
                        /2,

♦  FORMULATION      =  /'DISCRETE'                        [DEFAULT]
                        /'CONTINUE'
                        /'XFEM'
                        /'LIAISON_UNIL'

# Pour les formulations de contact-frottement
{Si FORMULATION != 'LIAISON_UNIL'
  ◇  FROTTEMENT      =  /'SANS',                          [DEFAULT]
                        /'COULOMB',

# Paramètres généraux pour le contact maillé
{Si FORMULATION == 'DISCRETE' ou FORMULATION == 'CONTINUE'}
  ◇  STOP_INTERP     =  /'NON',                            [DEFAULT]
                        /'OUI'
  ◇  LISSAGE          =  /'NON',                            [DEFAULT]
                        /'OUI',
  ◇  VERI_NORM        =  /'OUI',                            [DEFAULT]
                        /'NON',
}

# Contrôle de la boucle de point fixe sur la géométrie
{Si FORMULATION=='DISCRETE' ou FORMULATION=='CONTINUE'
  ◇  REAC_GEOM        =  /'AUTOMATIQUE',                    [DEFAULT]
                        /'CONTROLE',
                        /'SANS'
  {Si REAC_GEOM == 'AUTOMATIQUE'
    ◇  ITER_GEOM_MAXI =  /10,                                [DEFAULT]
                        /iter_geom_maxi,                    [I]
    ◇  RESI_GEOM      =  /0.01,                              [DEFAULT]
                        /resi_geom,                          [R]
  }
  {Si REAC_GEOM=='CONTROLE'
    ◇  NB_ITER_GEOM   =  /2,                                [DEFAULT]
                        /nb_iter_geom,                        [I]
  }
}

{Si FORMULATION == 'XFEM'
  ◇  REAC_GEOM        =  /'SANS',                            [DEFAULT]
                        /'AUTOMATIQUE',
                        /'CONTROLE',
  {Si REAC_GEOM == 'AUTOMATIQUE'
    ◇  ITER_GEOM_MAXI =  /10,                                [DEFAULT]
                        /iter_geom_maxi,                    [I]
    ◇  RESI_GEOM      =  /0.0001,                            [DEFAULT]
                        /resi_geom,                          [R]
  }
  {Si REAC_GEOM == 'CONTROLE'
    ◇  NB_ITER_GEOM   =  /2,                                [DEFAULT]
                        /nb_iter_geom,                        [I]
  }
}
```

Contrôle de la boucle sur les statuts de contact

```
{Si FORMULATION == 'DISCRETE'
  ⋄ ITER_CONT_MULT = /4, [DEFAULT]
                        /iter_cont_mult, [I]
}
{Si FORMULATION == 'CONTINUE' ou FORMULATION == 'XFEM'
  ⋄ ITER_CONT_TYPE = /'MAXI', [DEFAULT]
                        /'MULT'

  {Si ITER_CONT_TYPE == 'MULT'
    ⋄ ITER_CONT_MULT = /4, [DEFAULT]
                        /iter_cont_mult, [I]
  }
  {Si ITER_CONT_TYPE == 'MAXI'
    ⋄ ITER_CONT_MAXI = /30, [DEFAULT]
                        /iter_cont_maxi, [I]
  }
  {Si FORMULATION == 'CONTINUE'
    ⋄ ALGO_RESO_CONT = /'POINT_FIXE', [DEFAULT]
                        /'NEWTON',
  }
}
```

Contrôle de la boucle de point fixe sur les seuils de frottement

```
{Si FROTTEMENT == 'COULOMB' et ((FORMULATION == 'CONTINUE') ou
(FORMULATION == 'XFEM'))
  ⋄ REAC_FROT = /'AUTOMATIQUE', [DEFAULT]
                        /'CONTROLE',

  {Si REAC_GEOM == 'AUTOMATIQUE'
    ⋄ ITER_FROT_MAXI = /10, [DEFAULT]
                        /iter_frot_maxi, [I]
    ⋄ RESI_FROT = /0.0001, [DEFAULT]
                        /resi_frot, [R]
  }
  {Si REAC_FROT == 'CONTROLE'
    ⋄ NB_ITER_FROT = /2, [DEFAULT]
                        /nb_iter_frot, [I]
  }
  {Si FORMULATION == 'CONTINUE'
    ⋄ ALGO_RESO_FROT = /'NEWTON', [DEFAULT]
                        /'POINT_FIXE',
  }
}
```

Paramètres généraux des formulations discrètes

```
{Si FORMULATION == 'DISCRETE'
  # Méthodes dualisées (CONTRAINTE, LAGRANGIEN)
  ⋄ STOP_SINGULIER = /'OUI', [DEFAULT]
                        /'NON'
  ⋄ NB_RESOL = /10, [DEFAULT]
                        /nb_resol [I]

  # Méthode 'GCP'
  ⋄ RESI_ABSO = /resi_abso [R]
  ⋄ ITER_GCP_MAXI = /0, [DEFAULT]
                        /iter_gcp_maxi
  ⋄ RECH_LINEAIRE = /'ADMISSIBLE', [DEFAULT]
                        /'NON_ADMISSIBLE'
  ⋄ PRE_COND = /'SANS', [DEFAULT]
```

```

                                /'DIRICHLET'
◇ ITER_PRE_MAXI = /0, [DEFAULT]
                                /iter_pre_maxi
◇ COEF_RESI = /1., [DEFAULT]
                                /coef_resi [R]
}

# Affectation du cas DISCRET
{Si FORMULATION == 'DISCRETE'
  ZONE = _F(
    ◇ /MAILLE_MAIT = l_maille_mait [l_maille]
      /GROUP_MA_MAIT = grma_mait [gr_maille]
    ◇ /MAILLE_ESCL = l_maille_escl [l_maille]
      /GROUP_MA_ESCL = grma_escl [gr_maille]

    ◇ SANS_NOEUD = l_snoeud [l_noeud]
    ◇ SANS_GROUP_NO = l_sgrno [l_gr_noeud]
    ◇ SANS_MAILLE = l_smaille [l_maille]
    ◇ SANS_GROUP_MA = l_sgrma [l_gr_maille]

    ◇ APPARIEMENT = /'MAIT_ESCL' [DEFAULT]
                  /'NODAL'

    ◇ NORMALE = /'MAIT' [DEFAULT]
                /'MAIT_ESCL'
                /'ESCL'

    ◇ VECT_MAIT = /'AUTO' [DEFAULT]
                  /'FIXE'
                  /'VECT_Y'

    {Si VECT_MAIT == 'FIXE'
      ◇ MAIT_FIXE = (Yx,Yy,Yz) [R]
    }
    {Si VECT_MAIT == 'VECT_Y'
      ◇ MAIT_VECT_Y = (Yx,Yy,Yz) [R]
    }

    ◇ VECT_ESCL = /'AUTO' [DEFAULT]
                  /'FIXE'
                  /'VECT_Y'
    {Si VECT_ESCL == 'FIXE'
      ◇ ESCL_FIXE = (Yx,Yy,Yz) [R]
    }
    {Si VECT_ESCL == 'VECT_Y'
      ◇ ESCL_VECT_Y = (Yx,Yy,Yz) [R]
    }

    ◇ TYPE_APPA = /'PROCHE' [DEFAULT]
                  /'FIXE'
    {Si TYPE_APPA == 'FIXE'
      ◇ DIRE_APPA = (Yx,Yy,Yz) [R]
    }

    ◇ DIST_POUTRE = /'NON' [DEFAULT]
                    /'OUI'
    ◇ DIST_COQUE = /'NON' [DEFAULT]
                   /'OUI'
    {Si DIST_POUTRE == 'OUI' ou DIST_COQUE == 'OUI'
      ◇ CARA_ELEM = carac [cara_elem]
    }
  )
}
```

```

    }

    ◇ DIST_MAIT          = dist_mait          [fonction]
    ◇ DIST_ESCL          = dist_escl          [fonction]

    ◇ TOLE_APPA          = /-1.0              [DEFAULT]
                                /tole_appa      [R]
    ◇ TOLE_PROJ_EXT      = /0.50              [DEFAULT]
                                /tole_proj_ext   [R]

    # Désactivation de la résolution
    ◇ RESOLUTION          = /'OUI'            [DEFAULT]
                                /'NON'
    {Si RESOLUTION == 'NON'
        ◇ TOLE_INTERP      = /0.,            [DEFAULT]
                                /tole_interp    [R]
    }

    ◆ ALGO_CONT          = /'CONTRAINTE'      [DEFAULT]
                                /'LAGRANGIEN'
                                /'GCP'
                                /'PENALISATION'

    {Si ALGO_CONT == 'CONTRAINTE'
        ◇ GLISSIERE        = /'NON'          [DEFAULT]
                                /'OUI'
        {Si GLISSIERE == 'OUI'
            ◇ ALARME_JEU    = /0              [DEFAULT]
                                /alarme_jeu     [R]
        }
    }

    {Si ALGO_CONT == 'PENALISATION'
        ◆ E_N              = e_n              [R]
    }

    {Si FROTTEMENT == 'COULOMB'
        ◆ COULOMB          = coulomb          [R]
        ◇ COEF_MATR_FROT   = /0.              [R]
                                /coef_matr_frot
        ◆ ALGO_FROT        = /'PENALISATION'  [DEFAULT]
                                /'LAGRANGIEN'
        {Si ALGO_FROT == 'PENALISATION'
            ◆ E_T          = e_t              [R]
        }
    }
}

# Affectation du cas CONTINU
{Si FORMULATION == 'CONTINUE'
    ZONE = _F(
        ◆ /MAILLE_MAIT     = l_maille_mait    [l_maille]
        /GROUP_MA_MAIT     = grma_mait        [gr_maille]
        ◆ /MAILLE_ESCL     = l_maille_escl    [l_maille]
        /GROUP_MA_ESCL     = grma_escl        [gr_maille]

        ◇ SANS_NOEUD       = l_snoeud         [l_noeud]
        ◇ SANS_GROUP_NO     = l_sgrno         [l_gr_noeud]
        ◇ SANS_MAILLE      = l_smaille        [l_maille]
        ◇ SANS_GROUP_MA     = l_sgrma         [l_gr_maille]
    )
}

```

```

◇ APPARIEMENT          =  /'MAIT_ESCL'          [DEFAULT]
                          /'NODAL'

◇ NORMALE               =  /'MAIT'              [DEFAULT]
                          /'MAIT_ESCL'
                          /'ESCL'

◇ VECT_MAIT             =  /'AUTO'              [DEFAULT]
                          /'FIXE'
                          /'VECT_Y'

{Si VECT_MAIT == 'FIXE'
  ◆ MAIT_FIXE          =  (Yx,Yy,Yz)          [R]
}
{Si VECT_MAIT == 'VECT_Y'
  ◆ MAIT_VECT_Y        =  (Yx,Yy,Yz)          [R]
}

◇ VECT_ESCL            =  /'AUTO'              [DEFAULT]
                          /'FIXE'
                          /'VECT_Y'
{Si VECT_ESCL == 'FIXE'
  ◆ ESCL_FIXE          =  (Yx,Yy,Yz)          [R]
}
{Si VECT_ESCL == 'VECT_Y'
  ◆ ESCL_VECT_Y        =  (Yx,Yy,Yz)          [R]
}

◇ TYPE_APPA            =  /'PROCHE'            [DEFAULT]
                          /'FIXE'
{Si TYPE_APPA == 'FIXE'
  ◆ DIRE_APPA          =  (Yx,Yy,Yz)          [R]
}

◇ DIST_POUTRE          =  /'NON'              [DEFAULT]
                          /'OUI'
◇ DIST_COQUE           =  /'NON'              [DEFAULT]
                          /'OUI'
{Si DIST_POUTRE == 'OUI' ou DIST_COQUE == 'OUI'
  ◆ CARA_ELEM          =  carac                [cara_elem]
}

◇ DIST_MAIT            =  dist_mait            [fonction]
◇ DIST_ESCL            =  dist_escl            [fonction]

◇ TOLE_APPA            =  /-1.0                [DEFAULT]
                          /tole_appa          [R]
◇ TOLE_PROJ_EXT        =  /0.50                [DEFAULT]
                          /tole_proj_ext      [R]

◇ FOND_FISSURE         =  /'NON'              [DEFAULT]
                          /'OUI'
{Si FOND_FISSURE == 'OUI'
  ◆ /NOEUD_FOND        =  l_fnoeud            [l_noeud]
    /GROUP_NO_FOND     =  l_fgrno            [l_gr_noeud]
    /MAILLE_FOND       =  l_fmaille          [l_maille]
    /GROUP_MA_FOND     =  l_fgrma            [l_gr_maille]
}

◇ RACCORD_LINE_QUAD=   /'NON'                [DEFAULT]
```



```
                                /'OUI'
{Si RACCORD_LINE_QUAD == 'OUI'
  ♦ /NOEUD_RACC = l_rnoeud [l_noeud]
    /GROUP_NO_RACC = l_rgrno [l_gr_noeud]
}
# Désactivation de la résolution
◇ RESOLUTION = /'OUI' [DEFAULT]
                                /'NON'
{Si RESOLUTION == 'NON'
  ◇ TOLE_INTERP = /0., [DEFAULT]
                                /tole_interp [R]
}

◇ GLISSIERE = /'NON' [DEFAULT]
                                /'OUI'
◇ EXCLUSION_PIV_NUL= /'NON' [DEFAULT]
                                /'OUI'
◇ CONTACT_INIT = /'NON' [DEFAULT]
                                /'OUI'
◇ COMPLIANCE = /'INTERPENETRE'
                                /'NON' [DEFAULT]
                                /'OUI'
{Si COMPLIANCE == 'OUI'
  ♦ ASPERITE = asperite [DEFAULT]
  ♦ E_N = e_n [DEFAULT]
  ◇ E_V = /0 [DEFAULT]
                                /e_v [R]
}

◇ INTEGRATION = /'AUTO' [DEFAULT]
                                /'GAUSS'
                                /'SIMPSON'
                                /'NCOTES'

{Si INTEGRATION == 'GAUSS'
  ◇ ORDRE_INT = /3 [DEFAULT]
                                /1≤ordre_int ≤6 [I]
}
{Si INTEGRATION == 'SIMPSON'
  ◇ ORDRE_INT = /1 [DEFAULT]
                                /1≤ordre_int ≤4 [I]
}
{Si INTEGRATION == 'NCOTES'
  ◇ ORDRE_INT = /3 [DEFAULT]
                                /3≤ordre_int ≤8 [I]
}
◇ ALGO_CONT = /'STANDARD' [DEFAULT]
                                /'PENALISATION'

{Si ALGO_CONT == 'STANDARD'
  ◇ COEF_CONT = /100. [DEFAULT]
                                /coef_cont [R]
}
{Si ALGO_CONT == 'PENALISATION'
  ♦ COEF_PENA_CONT= coef_pena_cont [R]
}

{Si FROTTEMENT == 'COULOMB'
  ♦ COULOMB = coulomb [R]
  ◇ /SANS_NOEUD_FR = l_sfnoeud [l_noeud]
```

```
        /SANS_GROUP_NO_FR    =    l_sgrno                                [l_gr_noeud]
{Si SANS_NOEUD_FR !=None ou SANS_GROUP_NO_FR !=None
  ⋄ DIRE_EXCL_FROT          =    (Yx,Yy,Yz)                            [R]
}

⋄ SEUIL_INIT                =    /0.                                    [DEFAULT]
                                /seuil_init                             [R]

⋄ USURE                     =    /'SANS'                               [DEFAULT]
                                /'ARCHARD'
{Si USURE = 'ARCHARD'
  ⋄ K                        =    /usure_k                             [R]
  ⋄ H                        =    /usure_h                             [R]
}

⋄ ALGO_FROT                 =    /'STANDARD'                           [DEFAULT]
                                /'PENALISATION'

{Si ALGO_FROT == 'STANDARD'
  ⋄ COEF_FROT                =    /100.                                [DEFAULT]
                                /coef_frot                             [R]
}
{Si ALGO_FROT == 'PENALISATION'
  ⋄ COEF_PENA_FROT           =    /coef_pena_frot                     [R]
}
}
```

Affectation du cas XFEM

```
{Si FORMULATION=='XFEM'
  ZONE = _F(
    ⋄ FISS_MAIT              =    fiss_mait                            [fiss_xfem]
    ⋄ INTEGRATION            =    /'NOEUD'
                                /'GAUSS'                               [DEFAULT]
                                /'SIMPSON'
                                /'NCOTES'
    {Si INTEGRATION == 'GAUSS'
      ⋄ ORDRE_INT           =    /6                                    [DEFAULT]
                                /1≤ordre_int ≤6                        [I]
    }
    {Si INTEGRATION == 'SIMPSON'
      ⋄ ORDRE_INT           =    /1                                    [DEFAULT]
                                /1≤ordre_int≤4                          [I]
    }
    {Si INTEGRATION == 'NCOTES'
      ⋄ ORDRE_INT           =    /3                                    [DEFAULT]
                                /3≤ordre_int ≤8                        [I]
    }
    ⋄ COEF_ECHELLE           =    /1.E6                               [DEFAULT]
                                /coef_echelle                           [R]
    ⋄ ALGO_LAGR              =    /'VERSION1'                          [DEFAULT]
                                /'VERSION2'
                                /'NON'
    ⋄ TOLE_PROJ_EXT          =    /0.50                                [DEFAULT]
                                /tole_proj_ext                           [R]
    ⋄ ALGO_CONT              =    /'STANDARD'                          [DEFAULT]
                                /'AVANCE'
                                /'PENALISATION'
                                /'CZM'
  )
}
```

```
{Si ALGO_CONT == 'STANDARD'
  ⋄ COEF_CONT = /100. [DEFAULT]
                        /coef_cont [R]
}
{Si ALGO_CONT == 'AVANCE'
  ⋄ COEF_REGU_CONT = /100. [DEFAULT]
                        /coef_regu_cont [R]
  ⋄ COEF_STAB_CONT = /100. [DEFAULT]
                        /coef_stab_cont [R]
  ⋄ COEF_PENA_CONT = /100. [DEFAULT]
                        /coef_pena_cont [R]
}
{Si ALGO_CONT == 'PENALISATION'
  ⋄ COEF_PENA_CONT = /coef_pena_cont [R]
}

⋄ GLISSIERE = /'NON' [DEFAULT]
              /'OUI'
⋄ RELATION = /'NON' [DEFAULT]
              /'CZM_EXP_REG'
              /'CZM_LIN_REG'

{Si == 'COULOMB'
  ⋄ COULOMB = coulomb [R]
  ⋄ SEUIL_INIT = /0. [DEFAULT]
                  /seuil_init [R]
  ⋄ ALGO_FROT = /'STANDARD' [DEFAULT]
                  /'AVANCE'
                  /'PENALISATION'

  {Si ALGO_FROT == 'STANDARD'
    ⋄ COEF_FROT = /100. [DEFAULT]
                  /coef_frot [R]
  }
  {Si ALGO_FROT == 'AVANCE'
    ⋄ COEF_REGU_FROT = /100. [DEFAULT]
                  /coef_regu_frot [R]
    ⋄ COEF_STAB_FROT = /100. [DEFAULT]
                  /coef_stab_frot [R]
    ⋄ COEF_PENA_FROT = /100. [DEFAULT]
                  /coef_pena_frot [R]
  }
  {Si ALGO_FROT == 'PENALISATION'
    ⋄ COEF_PENA_FROT = /coef_pena_frot [R]
  }
}
}
```

Affectation du cas LIAISON_UNIL

```
{Si FORMULATION == 'LIAISON_UNIL'
  ZONE=_F(
    ⋄ /NOEUD = l_noeud [l_noeud]
    /GROUP_NO = l_grno [l_gr_noeud]
    /MAILLE = l_maille [l_maille]
    /GROUP_MA = l_grma [l_gr_maille]
    ⋄ NOM_CMP = l_cmp [l_TXM]
    ⋄ COEF_IMPO = l_c_impo [fonction]
    ⋄ COEF_MULT = l_c_mult [l_fonction]
    ⋄ SANS_NOEUD = l_snoeud [l_noeud]
    ⋄ SANS_GROUP_NO = l_sgrno [l_gr_noeud]
```

```
    )  
  }  
);
```

3 Principes

Cette commande permet de décrire les zones soumises à des conditions de contact unilatéral avec ou sans frottement. La description se fait à deux niveaux :

- Les paramètres globaux comme le choix de la formulation ou les paramètres de contrôle de l'algorithme de résolution non-linéaire (boucles de point fixe, paramètres spécifiques pour le solveur) ;
- Les paramètres locaux spécifiques à chaque zone de contact.

Le concept issu de DEFI_CONTACT est ensuite renseigné comme paramètre dans le mot-clef simple CONTACT des opérateurs STAT_NON_LINE [U4.51.03] et DYNA_NON_LINE [U4.53.01]. Chaque zone comprend chacune deux surfaces pouvant entrer en contact qui sont décrites par la donnée des mailles qui les constituent.

Les ensembles de mailles potentiellement en contact sont : surfaciques et linéiques en dimension 3 (QUAD9, QUAD8, QUAD4 et TRIA7, TRIA6, TRIA3 et SEG3, SEG2), linéiques et concentrées en dimension 2 (SEG3, SEG2 et POI1). Les mailles de type POI1 doivent obligatoirement être sur la surface esclave. Elles ne sont pas utilisables avec la formulation CONTINUE.

Attention :

*Pour les formulations discrètes, en dimension 3, le traitement du contact avec des mailles surfaciques quadratiques de type QUAD8 nécessite de lier les nœuds milieux des côtés aux sommets de façon à avoir des résultats corrects. Cette opération est faite automatiquement dans le code. Néanmoins, pour les calculs 3D milieux continus avec des éléments hexaédriques quadratiques, l'utilisation d'éléments HEXA27 (à faces QUAD9) est **fortement conseillée**. On peut transformer un maillage constitué de mailles HEXA20 à l'aide de l'opérateur CREA_MAILLAGE [U4.23.02].*

Les structures étudiées peuvent subir de grands glissements l'une par rapport à l'autre. Il existe quatre grands types de formulations :

- 1) Les formulations discrètes (voir [R5.03.50]) qui correspondent à la résolution du problème unilatéral discrétisé (inconnues de déplacements et forces nodales). Cette formulation est accessible via FORMULATION='DISCRETE'. Elle est utilisable avec ou sans frottement de Coulomb.
- 2) La formulation continue (voir [R5.03.52]) qui est une méthode de lagrangien augmenté écrite à l'aide de l'écriture variationnelle mixte « déplacements / pression de contact / pression de frottement ». Cette formulation est accessible via FORMULATION='CONTINUE'. Elle est utilisable avec ou sans frottement de Coulomb.
- 3) Les formulations sur les éléments XFEM (voir [R7.02.12] pour la version petits glissements et [R5.03.53] pour la version grands glissements) qui sont une déclinaison de la formulation continue au cas des éléments XFEM. Ces formulations sont accessibles via FORMULATION='XFEM'. Elles sont utilisables avec ou sans frottement de Coulomb.
- 4) La formulation de type liaison unilatérale (FORMULATION='LIAISON_UNIL'). Proche des formulations discrètes, elle s'appuie sur un algorithme utilisé en contact pour imposer des conditions aux limites de type inégalité sur n'importe quel degré de liberté. Cette formulation est traitée séparément dans la dernière partie de ce document (cf. § 3.6).

Avant de faire un calcul avec contact, il est **indispensable** d'avoir lu la notice d'utilisation du contact [U2.04.04] qui explicite par des exemples le rôle de la plupart des mots-clés décrits ci-dessous et donne les précautions d'utilisation. Toutes les méthodes de résolution du contact/frottement dites formulations « maillées » (formulations discrètes [R5.03.50] ou formulation continue [R5.03.52]) reposent sur une stratégie en deux temps :

- une opération d'appariement qui consiste à trouver quelles mailles et quels nœuds sont potentiellement en situation de contact;
- une opération de résolution proprement dite qui consiste à résoudre le problème de contact unilatéral avec ou sans frottement.

Les paragraphes 3.1 et 3.2 se concentrent sur la phase d'appariement tandis que les paragraphes 3.3 et 3.4 traitent des méthodes de résolution du problème.
Enfin le paragraphe 3.5 décrit la structure de données produite par un calcul de contact.
La formulation 'LIAISON_UNIL' est abordée dans le paragraphe 3.6.

3.1 Contrôle de l'appariement (méthodes maillées hors XFEM)

◆ ZONE = _F(options d'appariement)

Les mots-clefs de ce paragraphe sont valables pour les formulations maillées (DISCRETE et CONTINUE).

3.1.1 Opérande APPARIEMENT

◇ APPARIEMENT = /'MAIT_ESCL' [DEFAULT]
/'NODAL'

Dans le cas des formulations discrètes l'appariement peut être nœud-facette ('MAIT_ESCL') ou nodal ('NODAL'). Pour l'appariement nodal on écrit une relation de non pénétration entre un nœud maître et un nœud esclave, alors que pour l'appariement nœud-facette on écrit cette relation entre un nœud esclave et sa projection sur la maille maître la plus proche (voir [R5.03.50] pour des détails sur l'algorithme d'appariement).

L'appariement nodal est réservé aux maillages compatibles. L'appariement maître-esclave est la seule méthode à permettre de prendre en compte les grands glissements de façon précise.

3.1.2 Opérandes MAILLE_MAIT/GROUP_MA_MAIT/MAILLE_ESCL/GROUP_MA_ESCL

◆ /MAILLE_MAIT = l_maille_mait [l_maille]
/GROUP_MA_MAIT = l_grma_mait [l_gr_maille]
◆ /MAILLE_ESCL = l_maille_escl [l_maille]
/GROUP_MA_ESCL = l_grma_escl [l_gr_maille]

Pour les formulations maillées l'utilisateur fournit la liste des mailles de contact potentielles de la surface maître (MAILLE_MAIT ou GROUP_MA_MAIT) et de la surface esclave (MAILLE_ESCL ou GROUP_MA_ESCL). Ces mailles doivent être surfaciques ou linéiques en dimension 3 (QUAD9, QUAD8, QUAD4, TRIA7, TRIA6, TRIA3, SEG3, SEG2), linéiques et concentrées en dimension 2 (SEG3, SEG2 et POI1).

Attention :

Il est important de vérifier que la connectivité de ces mailles est telle que la normale à la structure est sortante (pour ce faire, utilisez MODI_MALLAGE mot clé ORIE_PEAU_2D, ORIE_PEAU_3D, ORIE_NORM_COQUE [U4.23.04]).

Par ailleurs en statique, il faut s'assurer que les structures «ne tiennent pas que par le contact» (notamment dans le cas d'un chargement en force imposée) : les mouvements de corps rigide doivent être bloqués par des conditions aux limites appropriées. Une bonne façon de le vérifier est d'effectuer un calcul avec l'opérateur MECA_STATIQUE ou avec l'opérateurs STAT_NON_LINE en enlevant les conditions de contact du chargement.

Dans toute la suite, on utilisera le concept maître-esclave : les nœuds de la surface esclave ne peuvent pas « pénétrer » dans les facettes (ou les nœuds) de la surface maître. Dans le cas de l'appariement de type 'MAIT_ESCL', la surface maître est celle définie par 'MAILLE_MAIT' ou 'GROUP_MA_MAIT'. Dans le cas de l'appariement de type 'NODAL' (disponible uniquement pour les formulations discrètes), la surface maître est celle qui doit comporter le plus de nœuds. Si ce n'est pas le cas l'utilisateur est arrêté par un message d'erreur et invité à intervertir les deux surfaces.

Remarques :

- Il est impossible de mélanger les modélisations purement bidimensionnelles (contraintes planes C_PLAN, déformations planes D_PLAN et axisymétriques AXIS) avec les modélisations

tri-dimensionnelles. Les surfaces maître et esclave doivent être de même nature (2D/2D ou 3D/3D). Un message d'erreur vous arrêtera dans le cas contraire. Notons qu'une poutre, une plaque ou une coque sont de dimension 3 et qu'il est donc possible de faire du contact poutre/3D ou poutre/plaque.

- Les surfaces de contact en vis-à-vis doivent être disjointes. Si ce n'est pas le cas, il faut utiliser le mot-clé décrit dans le paragraphe suivant pour éliminer les nœuds communs du contact.

3.1.3 Opérandes SANS_NOEUD/SANS_GROUP_NO/SANS_MAILLE/SANS_GROUP_MA

◇ SANS_NOEUD	=	l_snoeud	[l_noeud]
◇ SANS_GROUP_NO	=	l_sgrno	[l_gr_noeud]
◇ SANS_MAILLE	=	l_smaille	[l_maille]
◇ SANS_GROUP_MA	=	l_sgrma	[l_gr_maille]

Ces opérandes permettent d'exclure des nœuds des surfaces esclaves, opération qui est recommandée lorsque ces derniers sont soumis à des conditions aux limites dans la direction attendue du contact (exemple encastrement).

3.1.4 Opérandes TYPE_APPA/DIRE_APPA

◇ TYPE_APPA	=	/'PROCHE' /'FIXE'	[DEFAULT]
◇ DIRE_APPA	=	(Yx, Yy, Yz)	[R]

Le choix de la maille maître appariée à un nœud esclave se fait par une opération de minimisation de la distance entre ce nœud et les mailles maîtres. C'est l'option par défaut `TYPE_APPA='PROCHE'`. Cette procédure peut provoquer des oscillations, par exemple, si la projection sur une maille n'est pas unique, ce qui peut être le cas si la maille maître est convexe.

Pour éviter ces oscillations, l'utilisateur peut renseigner une direction d'appariement fixe via l'option `TYPE_APPA='FIXE'`, la direction étant alors donnée par un vecteur dans `DIRE_APPA`.

3.1.5 Opérandes TOLE_APPA et TOLE_PROJ_EXT

◇ TOLE_APPA	=	/-1.0 /tole_appa	[DEFAULT] [R]
◇ TOLE_PROJ_EXT	=	/0.50 /tole_proj_ext	[DEFAULT] [R]

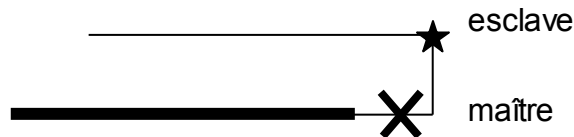
Lors de la recherche de la maille maître appariée au nœud esclave courant, il est possible de restreindre les choix possibles par l'utilisation du mot-clé `TOLE_APPA`. Si `TOLE_APPA=-1` (valeur par défaut), alors toutes les mailles maîtres données dans la zone de contact sont susceptibles d'être appariées avec le nœud esclave. Si `TOLE_APPA=val` avec `val` un réel positif, alors seules les mailles maîtres situées en 3D dans la sphère, en 2D dans le cercle de rayon `val` centré(e) sur le nœud esclave peuvent être appariées.

Dans certaines situations, il peut être nécessaire d'étendre de manière fictive les mailles de la surface maître. Prenons le cas du contact en 2D (les surfaces de contact sont donc des segments), on se place sur le bord de la surface de contact.

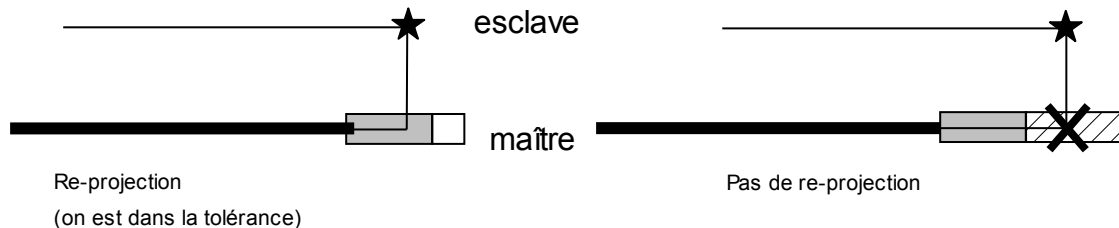
Code_Aster procède à la projection d'un nœud esclave sur la surface maître, cette projection tombe en dehors de celle-ci :



Une solution consiste à ne pas appairer le nœud, ce qui revient à l'exclure du contact :



Cependant, cette solution ne tient pas compte des cas limites et peut provoquer des interpénétrations intempestives si jamais le maillage n'est pas « optimal » (c'est-à-dire pas assez fin, ce qui est difficile à assurer dans le cadre des grandes transformations). On a donc opté pour une solution intermédiaire en limitant l'extension de la surface maître susceptible d'entraîner une re-projection.



La valeur limite de cette re-projection est fixée par le mot-clef 'TOLE_PROJ_EXT' qui prend pour argument la valeur (rapportée à l'élément de référence) de l'extension de la maille maître dans laquelle on autorise la re-projection. Par défaut, cette valeur est fixée à 0,50. Par exemple en 2D, cela signifie que tout nœud esclave se projetant à plus de 25% à droite ou à gauche de la longueur de la maille maître ne sera pas re-projeté (dans le cas d'un segment, l'élément de référence est de longueur 2, cf. [R3.01.01]). Pour interdire complètement la re-projection, il suffit de fixer TOLE_PROJ_EXT négatif. Cet opérateur est valable en 2D et en 3D (dans ce dernier cas, il s'agit de l'extension d'une maille surfacique de contact).

Remarque :

Il est dangereux de désactiver complètement la re-projection. Hormis les bords des surfaces de contact, il existe en effet des situations où des points ne se projettent à l'intérieur d'aucune maille maître (c'est le cas pour toute surface maître convexe).

3.1.6 Choix des normales

Par défaut, la normale prise par Code_Aster pour évaluer le jeu entre les deux surfaces est la normale extérieure à la maille maître appariée au nœud esclave. Il est toutefois possible de changer ce choix.

3.1.6.1 Type de normale (NORMALE)

```
◇ NORMALE = / 'MAIT' [DEFAULT]
            / 'MAIT_ESCL'
            / 'ESCL'
```

En premier lieu, il est possible de choisir le type de la normale :

- la normale extérieure à la maille maître (NORMALE='MAIT', par défaut) ;
- la normale intérieure à la maille esclave (NORMALE='ESCL') ;
- une moyenne entre les deux normales maître et esclave (NORMALE='MAIT_ESCL').

3.1.6.2 Choix des normales maître ou esclave (VECT_MAIT/VECT_ESCL)

```
◇ VECT_MAIT = / 'AUTO' [DEFAULT]
              / 'FIXE'
              / 'VECT_Y'
◆ MAIT_FIXE = (Yx, Yy, Yz) [R]
◆ MAIT_VECT_Y = (Yx, Yy, Yz) [R]
◇ VECT_ESCL = / 'AUTO' [DEFAULT]
```



```
                                / 'FIXE'
                                / 'VECT_Y'
♦ ESCL_FIXE                    = (Yx, Yy, Yz) [R]
♦ ESCL_VECT_Y                  = (Yx, Yy, Yz) [R]
```

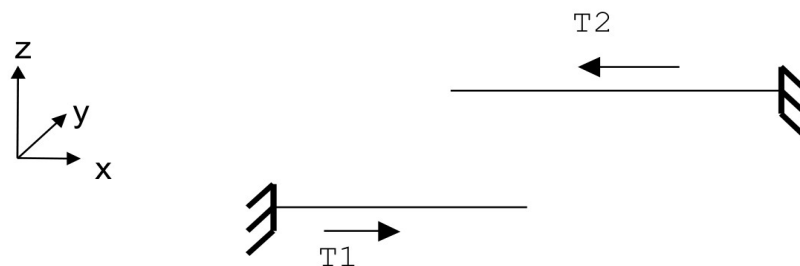
Le choix de la normale (sur la maille esclave ou sur la maille maître) peut se faire de plusieurs manières :

- automatiquement, la normale est alors calculée par l'utilisation des fonctions de forme de l'élément, c'est l'option 'AUTO' ;
- fixe et donnée directement par l'utilisateur, c'est l'option 'FIXE'. On entre alors la normale avec le mot-clef MAIT_FIXE ou ESCL_FIXE ;
- variable et donnée indirectement par la tangente, c'est l'option VECT_Y. L'utilisateur donne alors la direction du second vecteur tangent par le mot-clef MAIT_VECT_Y ou ESCL_VECT_Y. Le code reconstitue alors la normale à partir de la première tangente de la maille.

Une direction fixe (option $VECT_*='FIXE'$) est nécessaire si on doit évaluer la normale sur une maille de type POIL.

Une direction variable donnée par la seconde tangente ($VECT_MAIT='VECT_Y'$) est particulièrement utilisée dans le cas des poutres qui ne se déforment que dans un plan. Dans ce cas, l'utilisation de l'option de type VECT_Y permet de réactualiser continûment la normale pendant que la poutre se déforme.

$$VECT_Y \wedge T = N$$



Comme ici $T1=(1,0,0)$ et $T2=(-1,0,0)$, avec $VECT_Y=(0,0,1)$, on obtient la normale souhaitée pour chaque poutre : $N1=(0,1,0)$ et $T2=(0,-1,0)$. Attention au fait que tout ceci est entièrement lié à l'orientation de chaque poutre.

On peut fixer l'orientation de chaque poutre à l'aide du mot-clé ORIE_LIGNE de l'opérateur MODI_MALLAGE [U4.23.04].

3.1.6.3 Lissage des normales (LISSAGE)

```
♦ LISSAGE                    = / 'NON', [DEFAULT]
                             / 'OUI',
```

L'opérateur LISSAGE permet de lisser les normales aux surfaces de contact intervenant dans le calcul de la matrice de contact. On notera Q un nœud quelconque des surfaces de contact (maître ou esclave), P un nœud de la surface esclave et M le nœud maître obtenu par projection du nœud P . Le lissage se fait en deux étapes :

- la première étape du lissage consiste à effectuer une moyenne au nœud Q des normales aux mailles qui contiennent Q ;
- la seconde étape consiste à interpoler la normale en P ou M à partir des fonctions de forme associées à la maille contenant P ou M .

Le lissage prend en compte les options de normales décidées par les mots-clés VECT_MAIT et VECT_ESCL. Attention, ce paramètre est global et non pas zoné.

Au cours d'un calcul de contact, une vérification automatique de la facettisation est effectuée à chaque pas de temps. Si celle-ci est jugée trop importante, un message d'information est émis, il est alors conseillé d'activer le lissage.

3.1.7 Modification du jeu

Le jeu est toujours calculé comme étant la distance minimale entre le nœud esclave et la projection sur la maille maître la plus proche, modulo les options de choix de cette normale (cf. 3.1.6). Il est cependant possible de définir des valeurs de jeu « en dur », par exemple, pour simuler la présence d'un trou ou d'une bosse non représentée par le maillage, ou pour prendre en compte les caractéristiques géométriques des éléments de structure qui utilisent la notion de fibre neutre ou de surface moyenne.

3.1.7.1 Opérandes DIST_MAIT/DIST_ESCL

```
◇ DIST_MAIT          = dist_mait          [fonction]
◇ DIST_ESCL          = dist_escl          [fonction]
```

Ces opérandes permettent de prendre en compte un jeu fictif non maillé ou l'épaisseur des coques (les relations de contact sont écrites entre les deux feuillets moyens) pour les surfaces maîtres (DIST_MAIT) ou esclaves (DIST_ESCL). On compte la distance positivement dans le sens de la normale sortante à la structure (cf. [R5.03.50]). Les grandeurs renseignées sont nécessairement des fonctions des variables d'espace. Si l'utilisateur désire une valeur fixe, il doit définir une fonction constante (voir DEFI_CONSTANTE[U4.31.01]).

3.1.7.2 Opérandes DIST_POUTRE/DIST_COQUE/CARA_ELEM

```
◇ DIST_POUTRE        = / 'NON'           [DEFAULT]
                        / 'OUI'
◇ DIST_COQUE          = / 'NON'           [DEFAULT]
                        / 'OUI'
◆ CARA_ELEM           = carac              [cara_elem]
```

Semblables aux deux mots-clés précédents, les mot-clefs DIST_POUTRE/DIST_COQUE (et le renseignement obligatoire du mot_clef CARA_ELEM qui leur est associé), permet d'introduire un jeu fictif qui repose sur la description de l'élément de structure dans le concept produit par AFFE_CARA_ELEM que l'utilisateur a utilisé :

- pour les éléments de poutre (modélisation POU_*), le mot-clef DIST_POUTRE autorise le code à prendre un jeu supplémentaire correspondant au rayon de la section **circulaire** de la poutre.
- pour les éléments de plaque ou de coque (modélisation DKT ou COQUE_3D par exemple), le mot-clef DIST_COQUE autorise le code à prendre un jeu supplémentaire correspondant à la demi-épaisseur autour du feuillet moyen d'une coque.

Attention, lorsque l'on utilise ces mots-clés, le jeu fictif n'est rajouté que sur la surface esclave. Si l'on modélise un contact entre deux éléments de structures, il faudra donc aussi utiliser DIST_MAIT.

3.2 Contrôle de l'appariement spécifique à la formulation CONTINUE

3.2.1 Opérandes RACCORD_LINE_QUAD/GROUP_NO_RACC/NOEUD_RACC

```
◇ RACCORD_LINE_QUAD= / 'NON'           [DEFAULT]
                        / 'OUI'
◆ /NOEUD_RACC        = l_rnoeud          [l_noeud]
  /GROUP_NO_RACC     = l_rgrno           [l_gr_noeud]
```

Dans le cas d'une formulation continue et lorsque l'on a au sein du même modèle des maillages non compatibles avec des ordres d'interpolation éléments finis différents (ici l'un est linéaire, l'autre est quadratique), des conditions de raccord y sont généralement appliquées afin d'assurer la continuité

des déplacements (avec `AFFE_CHAR_MECA/LIAISON_MAIL`), ce qui peut engendrer des relations surabondantes (et donc une matrice tangente singulière).

L'option `RACCORD_LINE_QUAD='OUI'` permet de traiter ce conflit entre ces conditions de raccordement surfacique cinématique linéaire/quadratique et les conditions de contact.

La liste des nœuds milieux quadratiques à éliminer (appartenant aux surfaces de contact) est alors renseignée par l'intermédiaire des mot-clés `GROUP_NO_RACC` ou `NOEUD_RACC`.

3.2.2 Opérandes `FOND_FISSURE`/`GROUP_NO_FOND`/`NOEUD_FOND`/`GROUP_MA_FOND`/`MAILLE_FOND`

◇	<code>FOND_FISSURE</code>	=	<code>/'NON'</code>	[DEFAULT]
			<code>/'OUI'</code>	
◆	<code>/NOEUD_FOND</code>	=	<code>l_fnoeud</code>	[<code>l_noeud</code>]
	<code>/GROUP_NO_FOND</code>	=	<code>l_fgrno</code>	[<code>l_gr_noeud</code>]
	<code>/MAILLE_FOND</code>	=	<code>l_fmaille</code>	[<code>l_maille</code>]
	<code>/GROUP_MA_FOND</code>	=	<code>l_fgrma</code>	[<code>l_gr_maille</code>]

Dans le cas d'une formulation continue et lorsqu'un modèle comporte un fond de fissure avec l'utilisation de la technique de Barsoum pour le calcul des coefficients de concentration des contraintes, on peut avoir des problèmes d'incompatibilités lors de la résolution du contact entre les lèvres de fissure. En effet la transformation géométrique en certains nœuds particuliers des mailles modifiées en fond de fissure est singulière.

L'option `FOND_FISSURE='OUI'` permet de traiter ces problèmes d'incompatibilités entre les conditions de contact et la technique de Barsoum en fond de fissure.

On renseigne la liste des nœuds (2D/3D) ou des mailles (3D) sur lesquels portera le traitement théorique précisé dans la documentation de référence [R5.03.52] par l'intermédiaire des mot-clés `GROUP_NO_FOND`, `NOEUD_FOND`, `GROUP_MA_FOND` ou `MAILLE_FOND`.

3.2.3 Opérande `EXCLUSION_PIV_NUL`

◇	<code>EXCLUSION_PIV_NUL</code>	=	<code>/'NON'</code>	[DEFAULT]
			<code>/'OUI'</code>	

Pour la formulation continue, ce mot-clef permet d'exclure automatiquement d'éventuelles redondances entre les conditions aux limites de Dirichlet et les conditions de contact. Ce mécanisme ne permet pas de détecter tous les cas, en particulier, il est inefficace sur les conditions aux limites impliquant plus de deux nœuds ou non écrites dans le repère principal (X, Y, Z) . En pratique, il n'est donc efficace que pour `DDL_IMPO`. Ce traitement peut s'avérer coûteux lorsque le nombre de nœuds esclaves est grand.

L'utilisateur peut utiliser la fonctionnalité `SANS_NOEUD` / `SANS_GROUP_NO` (cf. §3.1.3) pour indiquer lui-même les nœuds susceptibles d'être en conflit.

3.2.4 Opérandes `SANS_NOEUD_FR`/`SANS_GROUP_NO_FR`

◇	<code>/SANS_NOEUD_FR</code>	=	<code>l_sfnoeud</code>	[<code>l_noeud</code>]
	<code>/SANS_GROUP_NO_FR</code>	=	<code>l_sgrno</code>	[<code>l_gr_noeud</code>]
◇	<code>DIRE_EXCL_FROT</code>	=	<code>(Yx, Yy, Yz)</code>	[<code>R</code>]

Ces mots-clefs permettent à l'utilisateur d'exclure du traitement du frottement des nœuds esclaves portant des conditions aux limites potentiellement en conflit avec l'imposition des conditions d'adhérence et de glissement. Les nœuds exclus continuent toutefois de vérifier les conditions de contact.

En 2D, aucun autre mot-clé n'est nécessaire : les nœuds sont exclus du frottement.

En 3D, si l'utilisateur a renseigné un vecteur à 3 composantes sous le mot-clé `DIRE_EXCL_FROT` alors la direction indiquée par la projection de ce vecteur sur le plan tangent aux points de contact est exclus. L'adhérence ou le glissement ne se produiront donc plus que dans la direction perpendiculaire (dans le plan tangent).

Si l'utilisateur ne renseigne pas le mot-clé DIRE_EXCL_FROT en 3D, alors cela revient à exclure les 2 directions orthogonales du frottement et donc à ne plus résoudre le frottement sur les nœuds éliminés.

3.3 Choix et contrôle de l'algorithme de résolution global

3.3.1 Boucle de réactualisation géométrique (REAC_GEOM)

Toutes les formulations maillées (DISCRETE et CONTINUE) utilisent un algorithme de type point fixe pour résoudre la non-linéarité géométrique. En formulation XFEM, le choix d'activer la réactualisation géométrique (REAC_GEOM='AUTOMATIQUE') ou pas (REAC_GEOM='SANS') aiguille vers deux formulations distinctes (voir [R5.03.53]) : XFEM grands glissements et XFEM petits glissements.

```
◇ REAC_GEOM          =  /'AUTOMATIQUE',          [DEFAULT]
                        /'CONTROLE',
                        /'SANS'
◇ ITER_GEOM_MAXI     =  /10,                      [DEFAULT]
                        /iter_geom_maxi,          [I]
◇ RESI_GEOM          =  /0.01,                    [DEFAULT]
                        /0.0001,                  [DEFAULT]
                        /resi_geom,               [R]
◇ NB_ITER_GEOM       =  /2,                      [DEFAULT]
                        /nb_iter_geom,            [I]
```

L'opérande REAC_GEOM indique sur quelle configuration géométrique est traité le problème de contact :

- REAC_GEOM='AUTOMATIQUE' : on réactualise automatiquement la géométrie *i.e.* le nombre de cycles « réactualisation géométrique-itérations » jusqu'à convergence n'est pas fixé par avance mais obéit à un critère interne de convergence géométrique. C'est l'option par défaut, conseillée pour résoudre correctement la non-linéarité d'appariement. Elle assure que les conditions de contact ont été imposées sur une configuration (initiale) qui diffère de moins de `resi_geom` de la configuration trouvée (1% par défaut pour les formulations DISCRETE ou CONTINUE, 0.01% par défaut pour la formulation XFEM).
- REAC_GEOM='SANS' : on travaille sur la géométrie initiale. Cette option n'est valable que dans l'hypothèse de petites perturbations ou quand la normale aux surfaces de contact ne change pas au cours du calcul.
- REAC_GEOM='CONTROLE' : lorsque le critère automatique ne parvient pas à être satisfait, il doit contrôler lui-même la réactualisation géométrique et pour cela il doit renseigner le paramètre NB_ITER_GEOM. C'est le nombre de cycles de réactualisations géométriques qui seront effectués par pas de charge. Plaçons-nous à un pas de charge donné :
 - La valeur 1 indique qu'à convergence, on réactualise la géométrie et on passe au pas de charge suivant.
 - La valeur 2 indique qu'à convergence, on réactualise la géométrie et on réitère jusqu'à convergence avant de passer au pas de charge suivant.
 - La valeur $n > 2$ indique que l'on fait n cycles « réactualisation géométrique-convergence » avant de passer au pas de charge suivant.

Si vous avez sélectionné REAC_GEOM='AUTOMATIQUE', le paramètre ITER_GEOM_MAXI est le nombre maximal toléré de cycles de réactualisations géométriques. Si le critère portant sur RESI_GEOM n'est pas satisfait au bout de `iter_geom_maxi` cycles, alors on s'arrête en erreur. La documentation [U2.04.04] fournit de nombreux conseils pour surmonter ces problèmes de convergence (en particulier, activer du lissage).

Remarques :

- Si l'utilisateur choisit une réactualisation contrôlée avec $n > 1$ et que Code_Aster détecte la nécessité d'une réactualisation géométrique, il émettra une alarme.

Charge à l'utilisateur de décider si l'erreur commise (au moins supérieure à 1%) est acceptable ou non. Il y a en effet un risque d'erreur d'appariement (une maille a été appariée sur une configuration qui a bougé) et donc d'interpénétration.

- Dans le cas où l'on résout sur la géométrie initiale ou bien avec un seul cycle de réactualisation géométrique, il n'y a pas d'avertissement car on ne peut pas calculer d'erreur. L'utilisateur doit donc vérifier la validité de son choix en post-traitement.

3.3.2 Frottement

```
◇ FROTTEMENT = / 'SANS', [DEFAULT]
               / 'COULOMB',
```

Pour affecter du frottement de Coulomb aux zones de contact, utilisez le mot-clef `FROTTEMENT='COULOMB'`. Ce mot-clef est **global** (valable pour toutes les zones), mais il est possible d'affecter du frottement zone par zone en jouant sur la valeur du coefficient de Coulomb (on met ce coefficient à 0 quand on ne souhaite pas de frottement).

3.3.3 Formulation DISCRETE

3.3.3.1 Choix des algorithmes

```
◆ ALGO_CONT = / 'CONTRAINTE' [DEFAULT]
               / 'GCP'
               / 'PENALISATION'
               / 'LAGRANGIEN'
◆ ALGO_FROT = / 'PENALISATION' [DEFAULT]
               / 'LAGRANGIEN'
```

Pour sélectionner le type d'algorithme dans la formulation DISCRETE, on utilise les mots-clefs `ALGO_CONT` et `ALGO_FROT`. `ALGO_FROT` est modifiable seulement si `FROTTEMENT='COULOMB'`. Toutes les combinaisons ne sont pas possibles :

	ALGO_FROT='PENALISATION'	ALGO_FROT='LAGRANGIEN'
ALGO_CONT='CONTRAINTE'	Impossible	Impossible
ALGO_CONT='GCP'	Impossible	Impossible
ALGO_CONT='PENALISATION'	OK	Impossible
ALGO_CONT='LAGRANGIEN'	OK	OK

Les différentes méthodes de résolution sont :

- 'CONTRAINTE' : par défaut on traite le problème du contact unilatéral exact avec la méthode des contraintes actives (voir [R5.03.50]). **Pas de frottement possible.**
- 'GCP' : c'est une méthode itérative proche de la méthode 'CONTRAINTE' mais qui est particulièrement adaptée aux cas où le nombre de liaisons de contact est très élevé. **Pas de frottement possible.**
- 'PENALISATION' : la méthode pénalisée permet de traiter des problèmes de contact pénalisé avec ou sans frottement, en 2D ou 3D.
- 'LAGRANGIEN' : la méthode lagrangienne permet de traiter de façon exacte par multiplicateurs de Lagrange des problèmes de contact avec ou sans frottement, en 2D et 3D (voir [R5.03.50]).

Bien que les différents algorithmes soient donnés par zone, il n'est pas possible de mélanger plusieurs combinaisons de méthodes dans le même DEFI_CONTACT.

3.3.3.2 Méthodes dualisées (CONTRAINTE et LAGRANGIEN)

La méthode `CONTRAINTE` permet de résoudre des problèmes de contact sans frottement de manière exacte (aucune interpénétration n'est tolérée). Elle est particulièrement rapide et robuste, sa convergence est prouvée. La résolution du système d'inéquations résultant du contact s'appuyant sur

la construction explicite d'un complément de Schur, son utilisation est limitée à quelques centaines de liaisons de contact. Au-delà les coûts mémoire et calcul deviennent trop importants.

La méthode LAGRANGIEN diffère de la méthode CONTRAINTE par le fait qu'elle ne dispose pas de preuve de convergence (la mise à jour des contraintes actives se faisant par paquet) et qu'elle est utilisable en FROTTEMENT. Pour plus de détails, voir [R5.03.50].

```
◇ NB_RESOL          =  /10,                      [DEFAULT]
                        /nb_resol                  [I]
```

NB_RESOL est le nombre de résolutions simultanées pour la construction du complément de Schur. Réaliser plusieurs résolutions simultanées permet de manipuler des matrices par blocs. Augmenter nb_resol accélère donc la construction du complément de Schur mais fait perdre de la place mémoire. nb_resol=10 est un bon compromis. Ce paramètre est réservé à un usage **d'expert**.

```
◇ STOP_SINGULIER    =  /'OUI',                    [DEFAULT]
                        /'NON'
```

STOP_SINGULIER permet de désactiver l'erreur fatale apparaissant si le complément de Schur est singulier suite à une perte importante de décimales dans la factorisation (8 décimales par défaut). On renseigne pour cela STOP_SINGULIER='NON'. Ce paramètre est réservé à un usage **d'expert**.

```
◇ ITER_CONT_MULT    =  /4,                      [DEFAULT]
                        /iter_cont_mult,          [I]
```

On peut contrôler la boucle sur les statuts en donnant le nombre **relatif** maximum d'itérations de contact par un coefficient multiplicateur, ITER_CONT_MULT ; le nombre d'itérations sur le statut de contact sera égal au produit iter_cont_mult par le nombre de nœuds esclaves.

Si on dépasse le nombre maximum d'itérations de contact, on peut alors tenter de raffiner le maillage, subdiviser le pas de temps ou en dernier recours augmenter la valeur de ITER_CONT_MAXI/ITER_CONT_MULT.

Remarque : pour la méthode CONTRAINTE, la convergence étant prouvée, ce coefficient est fixé en dur à 2.

3.3.3.3 Méthode GLISSIERE

```
◇ GLISSIERE         =  /'NON'                    [DEFAULT]
                        /'OUI'
◇ ALARME_JEU        =  /0                        [DEFAULT]
                        /alarme_jeu              [R]
```

Cette option est disponible uniquement pour la méthode 'CONTRAINTE'. Elle permet d'activer le mode de contact bilatéral aussi appelé « glissière », dans lequel deux surfaces se trouvant en contact restent « collées » (c'est-à-dire avec un jeu nul) quelque soit l'évolution du chargement. Elle autorise de grands glissements relatifs et le mode glissière n'est pas activé avant que les surfaces soient effectivement en contact (elle ne colle pas a priori deux surfaces distantes d'un jeu non nul si le chargement ne l'implique pas).

L'opérande 'ALARME_JEU' permet de déclencher une alarme dès que l'algorithme détecte que, sans la méthode glissière, il y aurait décollement des deux surfaces. Sa valeur est réglée par défaut à 0, ce qui alarme l'utilisateur dès que les surfaces auraient dû se décoller sans l'option activée.

3.3.3.4 Méthode GCP

Cette méthode permet de résoudre des problèmes de contact sans frottement. Elle résout avec une précision réglable (éventuellement très élevée) les conditions de contact à l'aide de multiplicateurs de Lagrange. Elle est en tout point semblable à la méthode 'CONTRAINTE' à la différence près qu'elle est de nature totalement itérative et donc très peu gourmande en mémoire. En d'autres termes, le surcoût de stockage lié à la prise en compte du contact est quasiment nul. Cette spécificité a pour effet

de la rendre particulièrement adaptée aux cas impliquant des nombres importants de liaisons de contact.

```
◇ RESI_ABSO      = /resi_abso      [R]
◇ ITER_GCP_MAXI  = /0,              [DEFAULT]
                  /iter_gcp_maxi
◇ RECH_LINEAIRE  = /'ADMISSIBLE',    [DEFAULT]
                  /'NON_ADMISSIBLE'

◇ PRE_COND       = /'SANS',          [DEFAULT]
                  /'DIRICHLET'
◇ ITER_PRE_MAXI  = /0,              [DEFAULT]
                  /iter_pre_maxi
◇ COEF_RESI      = /1.,             [DEFAULT]
                  /coef_resi      [R]
```

Le mot-clé `RESI_ABSO` permet de régler la précision de la résolution des inéquations de contact (c'est un critère d'arrêt sur la valeur des jeux pour l'algorithme itératif). `RESI_ABSO` (qu'il faut comprendre par « résidu absolu ») représente le niveau maximum d'interpénétration toléré pour les corps en contact. D'un point de vue pratique, on commencera par choisir une valeur de l'ordre de 10^{-3} fois la taille des éléments au voisinage des surfaces de contact puis on diminuera cette valeur jusqu'à stabilisation des résultats.

Le nombre maximal d'itérations autorisées de l'algorithme du gradient conjugué projeté peut être réglé avec le mot-clé `ITER_GCP_MAXI`. Par défaut ce nombre d'itérations dépend de la taille du problème.

Comme toute méthode de résolution itérative, la méthode '`GCP`' peut être accélérée par l'usage d'un préconditionneur. Un seul est aujourd'hui disponible et il s'agit d'un préconditionneur de Dirichlet `PRE_COND='DIRICHLET'`. Son usage peut dans certains cas accélérer et diminuer sensiblement le temps de résolution. On peut également le désactiver par `PRE_COND='SANS'`.

La phase de préconditionnement est réalisée par la résolution itérative d'un problème auxiliaire. Le mot clé `COEF_RESI` permet de spécifier la précision de la résolution de ce problème par : `COEF_RESI*RESI_ABSO`. `ITER_PRE_MAXI` permet de fixer le nombre d'itérations maximum du préconditionneur.

La méthode de résolution '`GCP`' nécessite une phase appelée recherche linéaire. Deux variantes sont disponibles : admissible ou pas et se règlent avec le mot-clef `RECH_LINEAIRE` (cf. [R5.03.50])

3.3.3.5 Méthode PENALISATION

Cette méthode est une méthode de résolution du contact/frottement par régularisation. Elle est non exacte dans le sens où il y a **toujours** interpénétration lorsque le contact est établi. Si l'on utilise une formulation discrète avec pénalisation, il convient donc de renseigner le ou les coefficients de pénalisation (cf §3.4.1.1).

3.3.4 Formulation CONTINUE

3.3.4.1 Choix des algorithmes

```
◇ ALGO_RESO_CONT = /' POINT_FIXE '    [DEFAULT]
                  /' NEWTON '
◇ ALGO_RESO_FROT = /' NEWTON '        [DEFAULT]
                  /' POINT_FIXE '
```

La formulation continue existe en plusieurs versions suivant le choix des paramètres `ALGO_RESO_CONT` et `ALGO_RESO_FROT` (tous les choix ne sont pas possibles) :

		ALGO_RESO_FROT	
		POINT_FIXE	NEWTON
ALGO_RESO_CONT	POINT_FIXE	OK	OK
	NEWTON	Impossible	OK

Lorsque l'on choisit la méthode de Newton généralisée pour le frottement, la matrice tangente produite devient non-symétrique. La méthode de Newton généralisée est beaucoup plus rapide mais parfois moins robuste (difficultés de convergence en frottement qui obligent à modifier le paramètre COEF_FROT par exemple). Elle est par ailleurs moins sensible à la valeur du coefficient de frottement.

Pour le contact, la méthode du point fixe est, en général, aussi rapide que la méthode de Newton généralisée et plus robuste (c'est donc la valeur par défaut). On recommande à l'utilisateur de laisser les valeurs par défaut (Newton généralisé pour le frottement, point fixe pour le contact) et de ne changer de méthode qu'en cas de difficultés de convergence, sachant que les deux méthodes donnent les mêmes résultats.

3.3.4.2 Boucle de point fixe pour les statuts de contact

```

◇ ITER_CONT_TYPE    =  /'MAXI',                [DEFAULT]
                        /'MULT'
◇ ITER_CONT_MULT     =  /4,                    [DEFAULT]
                        /iter_cont_mult,        [I]
◇ ITER_CONT_MAXI     =  /30,                  [DEFAULT]
                        /iter_cont_maxi,         [I]
```

On peut contrôler la boucle sur les statuts de contact de deux manières :

- En donnant le nombre **absolu** maximum d'itérations de contact, ITER_CONT_TYPE='MAXI' puis ITER_CONT_MAXI ;
- En donnant le nombre **relatif** maximum d'itérations de contact par un coefficient multiplicateur, ITER_CONT_TYPE='MULT' puis ITER_CONT_MULT ; dans ce cas, le nombre d'itérations sur le statut de contact sera égal au produit iter_cont_mult par le nombre de nœuds esclaves.

Quand on choisit ALGO_CONT='POINT_FIXE', les statuts sont changés par blocs et le nombre d'itérations maximum est donc plus logiquement renseigné en valeur absolue. Dans tous les cas, la modification de ces paramètres est réservée aux **experts** car elle peut conduire à des résultats **faux** si le frottement est activé.

Si on dépasse le nombre maximum d'itérations de contact, on peut alors tenter de raffiner le maillage, subdiviser le pas de temps ou en dernier recours augmenter la valeur de ITER_CONT_MAXI/ITER_CONT_MULT.

3.3.4.3 Boucle de point fixe pour le frottement

```

◇ REAC_FROT          =  /'AUTOMATIQUE',        [DEFAULT]
                        /'CONTROLE',
                        /'SANS',
◇ ITER_FROT_MAXI     =  /10,                  [DEFAULT]
                        /iter_frot_maxi,        [I]
◇ RESI_FROT          =  /0.0001,              [DEFAULT]
                        /resi_frot,             [R]
◇ NB_ITER_FROT       =  /2,                  [DEFAULT]
                        /nb_iter_frot,          [I]
```

Quand on choisit ALGO_FROT='POINT_FIXE' , le problème de Coulomb est résolu par une succession de points fixes sur le seuil de Tresca. Pour contrôler cette boucle, le mécanisme est le même que sur la boucle de réactualisation géométrique.

Le problème de frottement de Coulomb étant résolu par une succession de boucles sur les seuils fixes de Tresca, il est possible de simuler une loi de type Tresca en renseignant SEUIL_INIT(cf. 3.4.2.1) et en forçant le nombre d'itérations de frottement à 1 (NB_ITER_FROT=1).

3.3.5 Formulation XFEM

3.3.5.1 Boucle de point fixe pour les statuts de contact

```
◇ ITER_CONT_TYPE = /'MAXI', [DEFAULT]
                  /'MULT'
◇ ITER_CONT_MULT = /4, [DEFAULT]
                  /iter_cont_mult, [I]
◇ ITER_CONT_MAXI = /30, [DEFAULT]
                  /iter_cont_maxi, [I]
```

On peut contrôler la boucle sur les statuts de contact de deux manière différentes :

- En donnant le nombre **absolu** maximum d'itérations de contact, ITER_CONT_TYPE='MAXI' puis ITER_CONT_MAXI ;
- En donnant le nombre **relatif** maximum d'itérations de contact par un coefficient multiplicateur, ITER_CONT_TYPE='MULT' puis ITER_CONT_MULT ; dans ce cas, le nombre d'itérations sur le statut de contact sera égal au produit iter_cont_mult par le nombre de nœuds esclaves.

Pour la formulation XFEM, les statuts sont changés par blocs et le nombre d'itérations maximum est donc plus logiquement renseigné en valeur absolue. Dans tous les cas, la modification de ces paramètres est réservée aux **experts** car elle peut conduire à des résultats **faux** si le frottement est activé.

Si on dépasse le nombre maximum d'itérations de contact, on peut alors tenter de raffiner le maillage, subdiviser le pas de temps ou en dernier recours augmenter la valeur de ITER_CONT_MAXI/ITER_CONT_MULT.

3.3.5.2 Boucle de point fixe pour le frottement

```
◇ REAC_FROT = /'AUTOMATIQUE', [DEFAULT]
              /'CONTROLE',
              /'SANS',
◇ ITER_FROT_MAXI = /10, [DEFAULT]
                  /iter_frot_maxi, [I]
◇ RESI_FROT = /0.0001, [DEFAULT]
              /resi_frot, [R]
◇ NB_ITER_FROT = /2, [DEFAULT]
                 /nb_iter_frot, [I]
```

Pour la formulation XFEM (en petits glissements), le problème de Coulomb est résolu par une succession de points fixes sur le seuil de Tresca. Pour contrôler cette boucle, le mécanisme est le même que sur la boucle de réactualisation géométrique.

Pour XFEM en grands glissements (REAC_GEOM!='SANS'), il n'y a pas de boucle sur les seuils de Tresca (algorithme de Newton généralisé).

Le problème de frottement de Coulomb étant résolu par une succession de boucles sur les seuils fixes de Tresca, il est possible de simuler une loi de type Tresca en renseignant SEUIL_INIT et en forçant le nombre d'itérations de frottement à 1 (NB_ITER_FROT=1).

3.3.6 Méthode sans résolution

```
◇ STOP_INTERP = /'NON', [DEFAULT]
                 /'OUI'
```

Dans le cas du mode sans résolution (voir § 3.4.4) le code émet une alarme dès qu'il détecte une interpénétration. Le paramètre STOP_INTERP permet d'arrêter le calcul au lieu d'alarmer l'utilisateur.

3.4 Paramètres locaux (zone par zone) de contrôle de la résolution

3.4.1 Paramètres locaux (zone par zone) de la formulation DISCRETE

◆ ZONE =_F(paramètres locaux)

Les mots-clefs de ce paragraphe sont valables pour la formulation DISCRETE. Les paramètres sont définis par zone.

3.4.1.1 Méthode 'PENALISATION'

◆ E_N = e_n [R]
◆ E_T = e_t [R]

e_n est le coefficient de pénalisation sur l'interpénétration pour la méthode pénalisée. Il est homogène à la raideur de ressorts placés entre les surfaces de contact pour empêcher l'interpénétration. Une valeur de l'ordre du plus grand module d'Young des solides en contact multipliée par une longueur caractéristique est initialement recommandée. On augmentera la valeur du coefficient jusqu'à l'obtention de résultats stables. En outre il est possible de contrôler les distances d'interpénétration et donc d'affiner son choix de coefficient, ce qui n'est pas le cas en présence de frottement, puisque l'on ne sait pas a priori quelles sont les zones glissantes et non glissantes alors qu'en cas de contact on peut vérifier que les distances d'interpénétration sont petites devant les dimensions caractéristiques des zones de contact.

Il existe en formulation DISCRETE un mécanisme d'adaptation automatique du coefficient de pénalisation E_N (cf. DEFI_LIST_INST[U4.34.03]).

e_t est le coefficient de pénalisation sur le glissement pour la méthode pénalisée. Il n'est nécessaire que lorsque le frottement est actif. Il faut augmenter la valeur de ce coefficient jusqu'à l'obtention de résultats stables.

3.4.1.2 Paramètres spécifiques pour le frottement

◆ COULOMB = coulomb [R]
◆ COEF_MATR_FROT = coef_matr_frot [R]

Le paramètre COULOMB permet de régler le coefficient de frottement.

Dans le cas d'une formulation pénalisée ou lagrangienne 3D, le paramètre COEF_MATR_FROT, compris entre 0 et 1, permet de modérer l'effet déstabilisant de la partie négative de la matrice de glissement (qui est ajoutée à la rigidité tangente, cf. [R5.03.50]). Plus ce coefficient est grand, meilleure est la convergence lorsque l'on est proche de l'équilibre et plus la résolution est difficile loin de l'équilibre. Une valeur de 0.5 est donc initialement conseillée. Le défaut de 0 assure la convergence systématique pour un temps de calcul plus long.

3.4.2 Paramètres locaux (zone par zone) de la formulation CONTINUE

◆ ZONE =_F(paramètres locaux)

Les mots-clefs de ce paragraphe sont valables pour la formulation CONTINUE. Les paramètres sont définis par zone.

3.4.2.1 Opérandes CONTACT_INIT/SEUIL_INIT

◆ CONTACT_INIT = /'NON' [DEFAULT]
 /'OUI'
 /'INTERPENETRE'
◆ SEUIL_INIT = /0. [DEFAULT]
 /seuil_init [R]

Les opérandes CONTACT_INIT et SEUIL_INIT permettent de fixer respectivement les seuils de démarrage des boucles de contact et de frottement. En effet, l'hypothèse de base de la résolution par boucles imbriquées est de toujours chercher à résoudre d'abord un problème sans contact (tous les points sont supposés non contactants) et sans frottement (tous les points glissent). Il est néanmoins

possible de forcer l'algorithme à prendre en compte le contact initial en renseignant `CONTACT_INIT='OUI'` et un seuil de glissement différent de zéro en renseignant `SEUIL_INIT`. Le seuil de glissement a la dimension d'une densité de force surfacique.

`CONTACT_INIT='OUI'` active tous les statuts sans exception. S'il existe des jeux initiaux positifs, cette option peut donc engendrer des difficultés de convergence, voire un comportement inattendu. Pour n'activer le contact que sur les nœuds qui sont en contact ou initialement interpénétrés dans le maillage, on utilisera `CONTACT_INIT='INTERPENETRE'`.

3.4.2.2 Coefficients de la formulation CONTINUE

```
◇ ALGO_CONT      =  /'STANDARD'                [DEFAULT]
                  /'PENALISATION'
{Si ALGO_CONT == 'STANDARD'
    ◇ COEF_CONT =  /100.                [DEFAULT]
                                /coef_cont      [R]
}
{Si ALGO_CONT == 'PENALISATION'
    ◇ COEF_PENA_CONT=coef_pena_cont      [R]
}

◇ ALGO_FROT      =  /'STANDARD'                [DEFAULT]
                  /'PENALISATION'
{Si ALGO_FROT == 'STANDARD'
    ◇ COEF_FROT =  /100.                [DEFAULT]
                                /coef_frot      [R]
}
{Si ALGO_FROT == 'PENALISATION'
    ◇ COEF_PENA_FROT=coef_pena_frot      [R]
}
```

La formulation continue est une formulation lagrangienne augmentée. Il en existe une version pénalisée.

Si on choisit `ALGO_CONT='STANDARD'` et `ALGO_FROT='STANDARD'`, la formulation continue est alors équivalente à une formulation lagrangienne augmentée classique dont les coefficients d'augmentation sont donnés, respectivement, par `COEF_CONT` et `COEF_FROT`.

Si on choisit `ALGO_CONT='PENALISATION'` et `ALGO_FROT='PENALISATION'`, la formulation est alors purement pénalisée. On n'accède qu'aux termes `COEF_PENA_CONT` et `COEF_PENA_FROT`.

La méthode pénalisée est décrite dans le cas de la méthode discrète aux §3.3.3.5 et §3.4.1.1, `COEF_PENA_CONT` y correspond à `E_N` et `COEF_PENA_FROT` à `E_T`.

3.4.2.3 Opérande INTEGRATION

```
◇ INTEGRATION    =  /'AUTO'                [DEFAULT]
                  /'GAUSS'
                  /'SIMPSON'
                  /'NCOTES'

{Si INTEGRATION == 'GAUSS'
    ◇ ORDRE_INT   =  /3                [DEFAULT]
                                /1≤ordre_int ≤6  [I]
}
{Si INTEGRATION == 'SIMPSON'
    ◇ ORDRE_INT   =  /1                [DEFAULT]
                                /1≤ordre_int ≤4  [I]
}
{Si INTEGRATION == 'NCOTES'
    ◇ ORDRE_INT   =  /3                [DEFAULT]
                                /3≤ordre_int ≤8  [I]
}
```

L'opérande 'INTEGRATION' permet de sélectionner une méthode d'intégration numérique pour les termes de contact et de frottement. Plusieurs méthodes sont implémentées :

- 'AUTO' pour laisser le code choisir le schéma d'intégration le plus adapté (de type trapèze ou Simpson) ;
- 'GAUSS' pour une quadrature de Gauss avec la possibilité de choisir le degré des polynômes que le schéma permet d'intégrer exactement ;
- 'SIMPSON' pour un schéma de Simpson (1/3) avec la possibilité de choisir le nombre de subdivisions de l'élément de référence ;
- 'NCOTES' pour un schéma de Newton-Cotes avec la possibilité de choisir le degré des polynômes interpolateurs.

Le choix du degré des polynômes que l'on intègre exactement ou du nombre de subdivisions pour le schéma de Simpson se fait avec le mot-clé `ORDRE_INT`.

L'intégration automatique (choix par défaut) est la plus générale et la plus efficace. Le choix d'un schéma d'intégration est à réserver aux **experts**.

3.4.2.4 Opérande GLISSIERE

◇	GLISSIERE	=	/'NON'	[DEFAULT]
			/'OUI'	

Contrairement à la formulation discrète (voir § 3.3.3.3), il est possible d'activer cette option zone par zone.

3.4.2.5 Opérande COMPLIANCE

◇	COMPLIANCE	=	/'NON'	[DEFAULT]
			/'OUI'	
◆	ASPERITE	=	asperite	[DEFAULT]
◆	E_N	=	e_n	[DEFAULT]
◇	E_V	=	/0	[DEFAULT]
			/e_v	[R]

Cet opérande permet d'activer le modèle de compliance. Ce modèle prend en compte les aspects microscopiques des surfaces (aspérités) et permet une régularisation du modèle de contact de Signorini. En dynamique, l'apport de ce modèle consiste en la possibilité d'introduire une densité de percussion amortissante qui correspond à la dissipation de l'énergie du choc. La loi de compliance introduite dans *Code_Aster* est une loi polynomiale (voir doc [R5.03.52]). Les trois paramètres de la loi de compliance sont `ASPERITE`, `E_N` et `E_V`.

3.4.2.6 Opérande USURE

◇	USURE	=	/'SANS'	[DEFAULT]
			/'ARCHARD'	
◆	K	=	/usure_k	[R]
◆	H	=	/usure_h	[R]

Cet opérande permet, lorsque le frottement est activé, d'utiliser le modèle d'usure d'Archard. Les deux paramètres de la loi d'Archard sont `K` et `H`.

3.4.3 Paramètres locaux (zone par zone) de la formulation XFEM

◆	ZONE	=	_F(paramètres locaux)
---	------	---	-----------------------

Les mots-clefs de ce paragraphe sont valables pour la formulation `XFEM`. Les paramètres sont définis par zone.

3.4.3.1 Opérande **FISS_MAIT**

♦ **FISS_MAIT** = **fiss_mait** [fiss_xfem]

Pour la formulation **XFEM**, l'utilisateur fournit la fissure de contact potentielle (**FISS_MAIT**). Ces fissures sont issues de l'opérateur **DEFI_FISS_XFEM**.

3.4.3.2 Opérands **CONTACT_INIT/SEUIL_INIT**

◇ **CONTACT_INIT** = /'NON' [DEFAULT]
/'OUI'
◇ **SEUIL_INIT** = /0. [DEFAULT]
/seuil_init [R]

Cf. 3.4.2.1 .

3.4.3.3 Coefficients de la formulation **XFEM**

◇ **ALGO_CONT** = /'STANDARD' [DEFAULT]
/'AVANCE'
/'PENALISATION'
/'CZM'
◇ **COEF_CONT** = /100. [DEFAULT]
/coef_cont [R]
◇ **COEF_REGU_CONT** = /100. [DEFAULT]
/coef_regu_cont [R]
◇ **COEF_STAB_CONT** = /100. [DEFAULT]
/coef_stab_cont [R]
◇ **COEF_PENA_CONT** = /100. [DEFAULT]
/coef_pena_cont [R]

◇ **ALGO_FROT** = /'STANDARD' [DEFAULT]
/'AVANCE'
/'PENALISATION'
◇ **COEF_FROT** = /100. [DEFAULT]
/coef_frot [R]
◇ **COEF_REGU_FROT** = /100. [DEFAULT]
/coef_regu_frot [R]
◇ **COEF_STAB_FROT** = /100. [DEFAULT]
/coef_stab_frot [R]
◇ **COEF_PENA_FROT** = /100. [DEFAULT]
/coef_pena_frot [R]

La formulation **XFEM** est une écriture de type continue. Le choix des coefficients est le même que dans le cas de la formulation continue (§3.4.2.2).

L'algorithme **ALGO_CONT** = 'CZM' (Cohesive Zone Model) est particulier comparé aux trois autres. Il est utilisé lorsqu'on souhaite modéliser des forces cohésives entre deux lèvres d'une fissure. Le contact est alors pris en compte par un terme de pénalisation dans la loi cohésive. On ne doit alors pas renseigner les mots-clé relatifs au frottement, car la contrainte tangentielle obéit à la loi cohésive et non à une loi de frottement. On ne doit pas non plus renseigner **COEF_PENA_CONT**, le coefficient de pénalisation étant déterminé à partir des paramètres matériaux fournis dans l'opérateur **DEFI_MATERIAU** [U4.43.01], sous le mot clé **RUPT_FRAG**.

3.4.3.4 Opérande **INTEGRATION**

◇ **INTEGRATION** = /'NOEUD' [DEFAULT]
/'GAUSS'
/'SIMPSON'

```
                                / 'NCOTES'

{Si INTEGRATION == 'GAUSS'
  ◊ ORDRE_INT      = /6                                [DEFAULT]
                                /1≤ordre_int ≤6          [I]
}
{Si INTEGRATION == 'SIMPSON'
  ◊ ORDRE_INT      = /1                                [DEFAULT]
                                /1≤ordre_int ≤4          [I]
}
{Si INTEGRATION == 'NCOTES'
  ◊ ORDRE_INT      = /3                                [DEFAULT]
                                /3≤ordre_int ≤8          [I]
}
```

Ce mot-clé a la même signification que celui de la formulation `CONTINUE`, cf. §3.4.2.3. C'est un paramètre d'**expert**.

3.4.3.5 Opérateur GLISSIERE

```
◊ GLISSIERE      = / 'NON'                                [DEFAULT]
                  / 'OUI'
```

Contrairement à la formulation discrète (voir §3.3.3.3), il est possible d'activer cette option zone par zone.

3.4.3.6 Opérateur ALGO_LAGR

```
◊ ALGO_LAGR      = / 'VERSION1'                            [DEFAULT]
                  / 'VERSION2'
                  / 'NON'
```

Il existe deux autres paramètres spécifiques à la formulation `XFEM`. Le premier est le choix de l'algorithme d'élimination des Lagrange de frottement pour satisfaire la condition LBB (voir [R7.02.12]). Ce paramètre est d'un usage destiné aux **experts**.

3.4.3.7 Opérateur COEF_ECHELLE

```
◊ COEF_ECHELLE   = /1.E6                                [DEFAULT]
                  /coef_echelle                          [R]
```

La méthode `XFEM` étant basée sur une formulation hybride à deux champs (déplacements et pressions), dans certaines situations, une grande différence entre les différents termes conduit à une matrice de rigidité mal conditionnée. Le paramètre `coef_echelle` permet d'appliquer un multiplicateur sur les termes correspondants aux Lagranges de contact. Ce paramètre est d'un usage destiné aux **experts**.

3.4.3.8 Opérateur RELATION

```
◊ RELATION      = / 'NON'                                [DEFAULT]
                  / 'CZM_EXP_REG'
                  / 'CZM_LIN_REG'
```

Le mot-clé `RELATION` permet d'activer la prise en compte de forces de cohésion lors de l'ouverture d'une interface X-FEM. Il est obligatoire si `ALGO_CONT = 'CZM'`. La cohésion est modélisée par la loi cohésive du même nom déjà existante en méthode des éléments finis classiques (voir [U2.05.07]).

Les données nécessaires du champ matériau sont fournies dans l'opérateur `DEFI_MATERIAU` [U4.43.01], sous le mot clé `RUPT_FRAG`.

3.4.4 Méthode sans résolution

```
◇ RESOLUTION      =  /'OUI',                      [DEFAULT]
                    /'NON'

◇ TOLE_INTERP     =  /0.,                          [DEFAULT]
                    /tole_interp                    [R]
```

Quand `RESOLUTION='NON'`, on réalise un contrôle de l'interpénétration de deux surfaces sans imposer les conditions de contact (s'il y a interpénétration, elle ne sera pas corrigée).

Le code émet une alarme dès qu'une interpénétration est détectée à la fin d'un pas de chargement. Le paramètre global `STOP_INTERP` (§3.3.6) permet d'arrêter le calcul au lieu d'alermer l'utilisateur.

`TOLE_INTERP` (zone par zone) règle la valeur d'interpénétration tolérée (homogène à une longueur dans l'unité du maillage). Cette méthode est disponible en formulation discrète et continue.

Remarques :

- En mode `RESOLUTION='NON'`, l'appariement n'est fait qu'une fois à la fin de chaque pas de temps, la notion de boucle géométrique n'existe plus si toutes les zones sont en mode `RESOLUTION='NON'`. Dans ce dernier cas, l'option `REAC_GEOM` si elle est différente de `'SANS'` n'a donc pas de sens.
- Le fait que le mode `RESOLUTION='NON'` détecte des interpénétrations dans une des zones de contact ne préjuge pas que le calcul réel (avec vérification effective de la condition unilatérale) donne les mêmes résultats. En effet, l'activation de la condition unilatérale va nécessairement changer la cinématique de déformation par rapport au mode `RESOLUTION='NON'`. Il convient donc d'être prudent lorsque l'on mélange des zones avec résolution du contact et d'autres sans résolution.

3.5 Structure de données VALE_CONT

Toutes les méthodes de contact avec ou sans frottement produisent une structure de données de type `VALE_CONT` avec les composantes suivantes en chaque nœud esclave :

- `CONT` : indicateur de contact frottant
 - 0 : pas de contact
 - 1 : contact adhérent (uniquement si `FROTTEMENT='COULOMB'`)
 - 2 : contact glissant
- `JEU` : valeur du jeu
- `RN` : norme de la réaction normale de contact
- `RNX` : composante suivant DX de la réaction normale de contact
- `RNY` : composante suivant DY de la réaction normale de contact
- `RNZ` : composante suivant DZ de la réaction normale de contact
- `GLIX` : composante suivant t_1 du glissement tangentiel (repère local)
- `GLIY` : composante suivant t_2 du glissement tangentiel (repère local)
- `GLI` : norme du glissement tangentiel
- `RTAX` : composante suivant DX de la force tangentielle d'adhérence
- `RTAY` : composante suivant DY de la force tangentielle d'adhérence
- `RTAZ` : composante suivant DZ de la force tangentielle d'adhérence
- `RTGX` : composante suivant DX de la force tangentielle de glissement
- `RTGY` : composante suivant DY de la force tangentielle de glissement
- `RTGZ` : composante suivant DZ de la force tangentielle de glissement
- `RX` : composante suivant DX de la force de contact frottant ($RNX+RTAX+RTGX$)
- `RY` : composante suivant DY de la force de contact frottant ($RNY+RTAY+RTGY$)
- `RZ` : composante suivant DZ de la force de contact frottant ($RNZ+RTAZ+RTGZ$)
- `R` : norme de la force de contact frottant
- `HN` : jeu d'usure en formulation `CONTINUE`
- `I` : percussion de la résultante R de la force de contact frottant
- `IX` : percussion de la composante suivant DX de la force de contact frottant

- `IY` : percussion de la composante suivant DY de la force de contact frottant
- `IZ` : percussion de la composante suivant DZ de la force de contact frottant
- `PT_X` : coordonnées du point d'intersection en formulation `XFEM`
- `PT_Y` : coordonnées du point d'intersection en formulation `XFEM`
- `PT_Z` : coordonnées du point d'intersection en formulation `XFEM`

Elle s'imprime comme suit sous forme de table :

```
MATABLE=POST_RELEVE_T ( ACTION=_F (INTITULE='INFOS FROTTEMENT',  
                                     GROUP_NO='ESCLAVE',  
                                     RESULTAT=U,  
                                     INST=10.,  
                                     TOUT_CMP='OUI',  
                                     NOM_CHAM='VALE_CONT',  
                                     OPERATION='EXTRACTION',),),);  
  
IMPR_TABLE (TABLE=MATABLE);
```

Il convient de remarquer que les quantités correspondant aux réactions de contact/frottement sont des efforts nodaux (en unité de force) au sens de la formulation éléments finis et non des pressions de contact. En modélisation axisymétrique, tout comme pour l'option `FORC_NODA` ou `REAC_NODA`, il faut donc multiplier les valeurs obtenues par 2π pour obtenir la résultante (cf. [U4.81.02]). Les forces nodales n'ont pas de sens ponctuellement (elles dépendent de la finesse du maillage), seule leur résultante peut être interprétée.

Plus généralement, pour avoir accès aux pressions de contact, deux méthodes sont possibles suivant la formulation (cf. [U2.04.04]) :

- si l'on est dans le cas d'une formulation discrète, il faut récupérer les contraintes à l'intérieur des éléments finis (`SIEF_ELGA`) et les extrapoler aux nœuds sur la peau (`SIEF_NOEU`, il y a donc approximation) ;
- si l'on est dans le cas d'une formulation continue, la pression de contact et la pression de frottement sont accessibles directement comme inconnues du problème (composantes `LAGS_C`, `LAGS_F1` et `LAGS_F2` du champ `DEPL`). Attention la densité d'effort surfacique tangentielle s'obtient en multipliant la norme des `LAGS_F*` par `LAGS_C` (cf. [U2.04.04]).

Attention : en formulation `XFEM`, la composante `CONT` n'est pas stockée.

3.6 Formulation `LIAISON_UNIL`

La formulation `LIAISON_UNIL` est utilisable pour définir une condition unilatérale (inéquation) de type nodal sur des degrés de liberté quelconques tel que :

$$\sum \alpha_i(t) p_i < r(x, y, z, t)$$

avec :

- p_i la valeur du degré de liberté d'un nœud (déplacement, pression, température, etc ...) (§3.6.1.3)
- $\alpha_i(t)$ une fonction réelle du temps (paramètre `INST`) (§3.6.1.4)
- $r(x, y, z, t)$ une fonction réelle du temps ou de l'espace (paramètres `X`, `Y`, `Z`, `INST`) (§3.6.1.4)

On remarquera que le paramètre α_i permet aussi, si son signe est négatif, d'inverser le sens de l'inégalité.

3.6.1 Paramètres locaux (zone par zone) de la formulation `LIAISON_UNIL`

◆ `ZONE` `=_F(paramètres locaux)`

Les mots-clefs de ce paragraphe sont valables pour la formulation `LIAISON_UNIL`. Les paramètres sont définis par zone.

3.6.1.1 Opérandes MAILLE/GROUP_MA/NOEUD/GROUP_NO

♦ /NOEUD	=	l_noeud	[l_noeud]
/GROUP_NO	=	l_grno	[l_gr_noeud]
/MAILLE	=	l_maille	[l_maille]
/GROUP_MA	=	l_grma	[l_gr_maille]

La condition unilatérale s'exprime sur les nœuds du maillage donnés sous les mot-clefs NOEUD ou GROUP_NO. On peut néanmoins donner les mailles portant les nœuds grâce aux mots-clefs MAILLE et GROUP_MA. Contrairement au cas du contact « classique », comme les conditions sont nodales, il est inutile d'orienter les normales aux mailles de peau dans le cas LIAISON_UNIL.

3.6.1.2 Opérandes SANS_NOEUD/SANS_GROUP_NO

◇ SANS_NOEUD	=	l_snoeud	[l_noeud]
◇ SANS_GROUP_NO	=	l_sgrno	[l_gr_noeud]

Ces opérandes permettent d'exclure des nœuds de la liste des nœuds de la même manière que pour les formulations CONTINUE ou DISCRETE (voir §3.1.3).

3.6.1.3 Opérande NOM_CMP

♦ NOM_CMP	=	l_cmp	[l_TXM]
-----------	---	-------	---------

Liste des composantes p_i (degrés de liberté) sur lesquelles s'exerce la relation unilatérale. Ce peut être n'importe quel degré de liberté porté par le nœud. Par exemple : PRE, PRE1, PRE2, TEMP ou encore DX, DY ou DZ.

3.6.1.4 Opérandes COEF_IMPO et COEF_MULT

♦ COEF_IMPO	=	l_c_impo	[fonction]
♦ COEF_MULT	=	l_c_mult	[l_fonction]

COEF_IMPO est la valeur $r(t)$ imposée au membre de droite de la relation unilatérale. COEF_MULT est la liste des coefficients multiplicateurs $\alpha(t)$ utilisés devant chacun des degrés de liberté. Les longueurs des listes COEF_MULT et NOM_CMP doivent bien entendu être identiques.

Les coefficients $r(t)$ et $\alpha(t)$ sont forcément des **fonctions**. Pour définir des coefficients constants, il conviendra d'utiliser la commande DEFI_CONSTANTE.

3.6.2 Exemple

On veut imposer la condition $1.3*PRE1 - 5.2*PRE2 < 4.0$, on aura alors :

```
coef_i = DEFI_CONSTANTE (VALE=4.0)
coef_m1 = DEFI_CONSTANTE (VALE=1.3)
coef_m2 = DEFI_CONSTANTE (VALE=-5.2)

NOM_CMP = ('PRE1', 'PRE2')
COEF_IMPO = coef_i
COEF_MULT = (coef_m1, coef_m2)
```