Opérateur CALC_G

1 But

Cet opérateur calcule les grandeurs de mécanique de la rupture suivantes, en 2D et en 3D :

- le taux de restitution d'énergie par la méthode thêta dans le cas d'un problème thermo-élastique linéaire ou non linéaire [R7.02.01] et [R7.02.03], en statique ou en dynamique [R7.02.02] ;
- les facteurs d'intensité de contraintes $K1$, $K2$ et $K3$ par la méthode des déplacements singuliers dans le cas d'un problème thermo-élastique linéaire [R7.02.05] ;
- la maximisation de G et de $K1$ sous des contraintes bornes.
- le calcul du facteur d'intensité de contraintes $K1$ à partir du taux de restitution d'énergie et de la formule d'Irwin en mode I.

Avant une première utilisation, il est conseillé de se référer aux documents de référence et de conseils d'utilisation correspondants, notamment le document [U2.05.01].

Cet opérateur génère un concept de type `table_sdaster`.

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

2 Syntaxe

```
[table_sdaster] =  CALC_G

     (
#    Récupération du résultat du calcul mécanique
       ♦  RESULTAT  =  resu,                          /  [evol_elas]
                                                      /  [evol_noli]
                                                      /  [dyna_trans]
                                                      /  [mode_meca]

          #  Si RESULTAT de type evol_elas, evol_noli ou dyna_trans
          ◊  /  TOUT_ORDRE    =  'OUI',               [DEFAUT]
             /  NUME_ORDRE    =  l_ordre,             [l_I]
             /  LIST_ORDRE    =  lis,                 [listis]
             /  INST          =  l_inst,              [l_R]
             /  LIST_INST     =  l_reel,              [listr8]

          ◊   CRITERE =    / 'RELATIF',               [DEFAUT]
                           ◊   PRECISION = / prec ,   [R]
                                           / 1.E-6 ,  [DEFAUT]
                           / 'ABSOLU' ,
                            ♦  PRECISION = prec ,     [R]
          #  Si RESULTAT de type mode_meca
          ◊  /  TOUT_MODE     =  'OUI',               [DEFAUT]
             /  NUME_MODE     =  l_ordre,             [l_I]
             /  LIST_MODE     =  lis,                 [listis]
             /  FREQ          =  l_inst,              [l_R]
             /  LIST_FREQ     =  l_reel,              [listr8]

          ◊   CRITERE =    / 'RELATIF',               [DEFAUT]
                           ◊   PRECISION = / prec ,   [R]
                                           / 1.E-6 ,  [DEFAUT]
                           / 'ABSOLU' ,
                            ♦  PRECISION = prec ,     [R]

#    Option demandée
       ♦  OPTION =  |  'G',
                    |  'G_EPSI',
                    |  'K',
                    |  'KJ',
                    |  'KJ_EPSI',

       ◊ TITRE = titre,                                [l_Kn]

#    Création du champ thêta
       ♦ THETA  =_F(    ♦  /  ♦ FISSURE = ff,          [fond_fissure]
                              ◊  /  CHAM_THETA = chamno,[CO, cham_no_sdaster]
                              ◊ /  R_INF = r,          [R]
                                /  R_INF_FO = rz,      [fonction]
                                /  NB_COUCHE_INF = n,  [I]
                              ◊ /  R_SUP = r,          [R]
                                /  R_SUP_FO = rz,      [fonction]
                                 /  NB_COUCHE _ SUP = n ,    [ I ]
                              ◊ /  DISCRETISATION =
                                    / 'LINEAIRE',      [DEFAUT]
```


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

```
                                        ◊  NB_POINT_FOND =  n,  [I]
                                        / 'LEGENDRE',
                                        ◊   DEGRE =   /5,         [DEFAUT]
                                                      /  0,1,2,3,4,6,7,

                    ),
```

Chargement

```
   # Si RESULTAT de type dyna_trans ou mode_meca
      ◊  EXCIT = _F ( ♦ CHARGE  =  charge ,            [char_meca]
                                                       [char_cine_meca]
                      ◊ FONC_MULT   =  fmult,          [fonction]
                                                       [formule]
                            ),
  #    Fin si
```

État initial

```
   # si la loi de comportement du calcul mécanique est 'ELAS'

      ◊  ETAT_INIT    =_F (SIGM  = siefelga,        [cham_elem, cham_no]
                          ),
```

Impression d'informations

```
      ◊  INFO   =  /  1  ,                          [DEFAUT]
                   /  2  ,
    )
```


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

3 Opérandes

3.1 Opérande RESULTAT

♦ RESULTAT = resu

Nom d'un concept résultat de type evol_elas, evol_noli, dyna_trans ou mode_meca. Cet opérande permet de récupérer le champ de déplacement (et de vitesse et d'accélération pour un calcul en dynamique).

Le modèle et le champ de matériau, nécessaires au calcul, sont également extrait de la structure de données résultat. Les options de calcul possibles pour chaque type de modélisation sont rappelées dans le tableau ci-dessous.

	Calcul de G	Calcul de K	Calcul de KJ
D_PLAN / C_PLAN, D_PLAN_INCO_UPG, D_PLAN_INCO_UP	CALC_G (OPTION 'G')	CALC_G (OPTION 'K')	CALC_G (OPTION 'KJ')
AXIS, AXIS_INCO_UPG, AXIS_INCO_UP	CALC_G (OPTION 'G')	CALC_G (OPTION 'K')	CALC_G (OPTION 'KJ')
3D,3D_INCO_UPG, 3D_INCO_UP	CALC_G (OPTION 'G')	CALC_G (OPTION 'K')	CALC_G (OPTION 'KJ')

Tableau 3.1 : Disponibilité, par modélisation, des options de calcul.

Remarques sur les propriétés matériaux :

Les caractéristiques du matériau, récupérées dans la structure de données resu, sont les suivantes :
- module d'Young E ,
- coefficient de Poisson NU,
- coefficient de dilatation thermique ALPHA (pour un problème thermo-mécanique),
- limite d'élasticité SY (pour un problème élastique non linéaire),
- pente de la courbe de traction D_SIGM_EPSI (pour un problème élastique non linéaire avec écrouissage isotrope linéaire).

Pour le calcul du taux de restitution d'énergie, ces caractéristiques peuvent dépendre de la géométrie (options 'G' et 'KJ') et de la température (option 'G' et 'KJ'). Elles doivent être indépendantes de la température pour le calcul des facteurs d'intensité de contraintes (option 'K').

Les caractéristiques SY et D_SIGM_EPSI ne sont traitées que pour un problème élastique non linéaire avec écrouissage de Von Mises. Le calcul des coefficients d'intensité de contraintes est traité uniquement en élasticité linéaire.

Remarque :

Pour le calcul des facteurs d'intensité de contraintes (option 'K'), les caractéristiques doivent être définies sur tous les matériaux, y compris sur les éléments de bord, du fait de la méthode de calcul [R7.02.05]. Pour s'assurer de ce fait, il est conseillé de faire un AFFE = _F (TOUT = 'OUI') dans la commande AFFE_MATERIAU [U4.43.03], quitte à utiliser la règle de surcharge ensuite.

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

Pour les éléments incompressibles (_INCO_UPG,_INCO_UP), il est conseillé d'utiliser STAT_NON_LINE pour obtenir les résultats.

Les facteurs d'intensité des contraintes obtenus avec l'option 'K' sont calculés en évaluant la forme bilinéaire de G avec une solution singulière purement mécanique (solution asymptotique de Westergaard). Si on résout un problème thermo-mécanique, on ne prend alors pas en compte la singularité due au champ thermique.

Un indicateur de l'erreur due à cette approximation peut être obtenu en évaluant la différence entre G et G_IRWIN . En pratique, on évalue en tout point du fond de fissure la quantité $\frac{|G-G_{irwin}|}{|G|}$ *, et on en fait ensuite la moyenne arithmétique. Si cette moyenne excède les 50 %, on estime alors que l'on sort du périmètre de validité de l'approche. Cette vérification est à la charge de l'utilisateur.*

Problème du bi-matériau :

1er cas : On a un bi-matériau mais la pointe de fissure est dans un seul matériau, cf. Figure 3.1-a. Si on est assuré que la couronne, définie entre les rayons inférieur R_INF et supérieur R_SUP, a comme support des éléments du même matériau, le calcul est possible quelle que soit l'option choisie. Sinon seule l'option 'G' est possible.

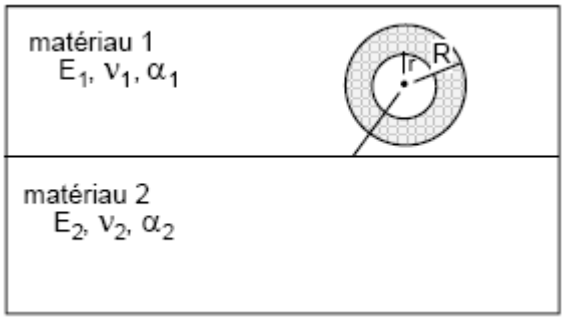


Figure 3.1-a : Bi-matériau : 1er cas

2nd cas : On a un bi-matériau où la pointe de fissure est à l'interface, cf. Figure 3.1-b. À ce jour, seule l'option de calcul du taux de restitution d'énergie (option 'G') est disponible. Le calcul de coefficients d'intensité de contraintes n'est pas possible dans ce cas.

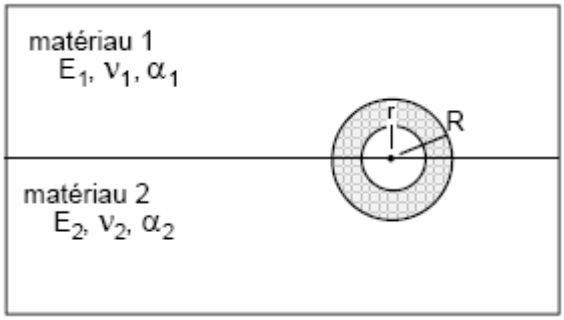


Figure 3.1-b : Bi-matériau : 2 nd cas

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

3.2 Opérandes TOUT_ORDRE / NUME_ORDRE / LIST_ORDRE / INST / LIST_INST / TOUT_MODE / NUME_MODE / LIST_MODE / FREQ / LIST_FREQ /PRECISION / CRITERE

Ces opérandes sont utilisés avec l'opérande RESULTAT.

Les opérandes TOUT_ORDRE, NUME_ORDRE, LIST_ORDRE, INST, LIST_INST sont associés aux résultats de type evol_elas, evol_noli ou dyna_trans. Voir [U4.71.00].

Les opérandes TOUT_MODE, NUME_MODE, LIST_MODE, FREQ, LIST_FREQ sont associés aux résultats de type mode_meca.

3.3 Opérande OPTION

♦ OPTION = | 'G',
| 'K',
| 'G_EPSI',
| 'KJ',
| 'KJ_EPSI',

3.3.1 OPTION = 'G' [R7.02.01] et [R7.02.03]

Elle permet le calcul du taux de restitution de l'énergie G par la méthode thêta en 2D ou en 3D local pour un problème thermo-élastique linéaire ou non linéaire.
Pour ce calcul, les champs de contrainte et de déplacement du résultat en entrée de l'opérateur sont directement utilisés.

3.3.2 OPTION = 'K' [R7.02.05]

Cette option calcule **en 2D et en 3D** les coefficients d'intensité de contraintes K_1, K_2 et K_3 en thermo-élasticité linéaire plane par la méthode des champs singuliers (utilisation de la forme bilinéaire de G, [R7.02.05]), ainsi que la grandeur G_{IRWIN} (voir section 3.9).

Remarques :

- *Pour cette option, seuls les calculs élastiques linéaires sans état initial ou élastique linéaire avec contrainte initiale sont disponibles.*
- *Le calcul de cette option n'est possible que si les lèvres sont initialement collées (* CONFIG_INIT='COLLEE' *dans* DEFI_FOND_FISS [U4.82.01] *).*

3.3.3 OPTION = ' G_EPSI '

Elle permet le calcul du taux de restitution de l'énergie G par la méthode thêta en 2D ou en 3D local pour un problème thermo-élastique linéaire ou non linéaire quand les contraintes sont recalculées à partir du champ de déplacement et de la loi de comportement.

Cet opérande est disponible qu'en élasticité (linéaire ou non) et sans état initial issu du mot-clé ETAT_INIT (voir section 3.7).

Remarque :

Si les lois de comportement utilisées pour le calcul mécanique et pour le post-traitement sont les mêmes - ce qui constitue la pratique normale - alors les résultats avec ou sans recalcul des contraintes sont identiques.

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

Une pratique usuelle pour prendre en compte la plasticité consiste cependant à faire un calcul mécanique élastoplastique, suivi d'un post-traitement élastique non linéaire pour le calcul de G. Si on reste bien dans le domaine de validité du calcul de G (chargement radial et monotone), alors les résultats avec ou sans recalcul des contraintes, G et G_EPSI sont identiques. Dès qu'on sort de ce domaine de validité, l'écart croît.
Cette option, à réserver aux utilisateurs avertis, permet donc de vérifier a posteriori qu'on reste bien dans les hypothèses de calcul de G.

3.3.4 OPTION = 'KJ'

Elle permet le calcul du facteur d'intensité de contrainte K_1 à partir du taux de restitution de l'énergie G et de la formule d'Irwin (voir section 3.9). Cette option n'a donc de sens que dans le cas d'un chargement en mode I.
La méthode utilisée pour le calcul du taux de restitution d'énergie G est identique à celle utilisée dans le cas `OPTION = 'G'`.

Remarque :
Si G est négatif en un point, alors la commande retournera par convention KJ = 0 pour ce point.

3.3.5 OPTION = 'KJ_EPSI'

Elle permet le calcul du facteur d'intensité de contrainte K_1 à partir du taux de restitution de l'énergie G et de la formule d'Irwin (voir section 3.9). Cette option n'a donc de sens que dans le cas d'un chargement en mode I.
La méthode utilisée pour le calcul du taux de restitution d'énergie G est identique à celle utilisée dans le cas `OPTION = 'G_EPSI'`.

Remarque :
Si G est négatif en un point, alors la commande retournera par convention KJ_EPSI = 0 pour ce point.

3.4 Mot clé TITRE

Pour l'opérande TITRE, on peut se référer à la documentation associée :

◊ `TITRE = titre`
[U4.03.01].

3.5 Mot clé THETA

Le champ thêta est calculé dans `CALC_G` à partir du mot clé `FISSURE`.

Conseils sur le choix des couronnes (dans `CALC_G`) :

- *Éviter d'utiliser un champ thêta défini avec un rayon inférieur `R_INF` nul. Les champs de déplacements sont singuliers en fond de fissure et introduisent des résultats imprécis en post-traitement de mécanique de la rupture.*
- *Il est conseillé d'utiliser successivement la commande `CALC_G` avec au moins trois champs thêta de couronnes différentes pour s'assurer de la stabilité des résultats. En cas de variation importante (supérieure à 5-10%) il faut s'interroger sur la bonne prise en compte de toute la modélisation.*
- *Pour l'option `K` en 2D-axisymétrique, le rayon des couronnes doit être petit devant le rayon du fond de fissure pour avoir la meilleure précision possible. Il est interdit d'avoir des couronnes de rayon plus grand que le rayon du fond de fissure.*

3.5.1 Opérandes FISSURE

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

♦ / FISSURE = ff,

Cette opérande permet de définir le (ou les) champs thêta.

ff est le fond de fissure défini par la commande DEFI_FOND_FISS [U4.82.01] pour un fond de fissure ouvert ou fermé (fonds doubles interdits dans CALC_G).

3.5.2 Opérande CHAM_THETA

◊ CHAM_THETA = /CO('cham_theta') [CO, cham_no_sdaster]

Concept de type CO permet de sortir le champ thêta calculé dans l'opérateur (voir la documentation de référence [R7.02.01] pour savoir comment est calculé de champ), dont le nom est la chaîne de caractère donnée . Ce concept contient un cham_no (champs aux nœuds) en 2D et en 3D.

Concept de type cham_no_sdaster permet de fournir un champ thêta, au lieu d' en calculer un dans l'opérateur. Dans ce cas là, les mots-clés R_INF , R_INF_FO , NB_COUCHE_INF , R_SUP , R_SUP_FP , NB_COUCHE_SUP ne sont plus supportés car les informations nécessaires sont déjà fournies dans le champ thêta.

3.5.3 Opérandes R_INF, R_INF_FO, NB_COUCHE_INF, R_SUP, R_SUP_FO, NB_COUCHE_SUP

Ces opérandes permettent de calculer le champ thêta lorsque celui-ci n'a pas été préalablement déterminé. Ils correspondent respectivement aux rayons inférieur (R_INF et R_INF_FO) et supérieur des couronnes (R_SUP et R_SUP_FO) (scalaire ou fonction, en 3D, de l'abscisse curviligne).

Les deux rayons peuvent être introduits soit par des valeurs réelles constantes qui sont arguments des mots clés simples R_INF et R_SUP ; soit par des fonctions de l'abscisse curviligne sur le fond de fissure orienté, qui sont arguments des mots clés simples R_INF_FO et R_SUP_FO.

Quelques conseils sont donnés ci-dessous. Lorsque les rayons ne sont pas fonction de l'abscisse curviligne, les opérandes R_INF et R_SUP sont facultatifs. S'ils ne sont pas indiqués, ils sont automatiquement calculés à partir du maximum h des tailles de mailles connectées aux nœuds du fond de fissure. Ces tailles de mailles en chaque nœud du fond sont calculées dans la commande DEFI_FOND_FISS. Il a été choisi de poser R_SUP = 4h et R_INF = 2h. Si on choisit la valeur automatiquement calculée pour R_SUP et R_INF, il convient toutefois de s'assurer que ces valeurs (affichées dans le fichier .mess) sont cohérentes avec les dimensions de la structure.

Alternativement, il est possible de définir les couronnes d'intégration du champ thêta en terme de nombre de couches (NB_COUCHE_INF et NB_COUCHE_SUP). La notion de couches est ici basée sur la connectivité du maillage (voir la documentation de référence [R7.02.01] pour plus de détails).

Dans le cas d'un défaut initialement ouvert et dont le fond n'est pas plan, il n'est à l'heure actuelle pas possible de calculer le taux de restitution d'énergie.

3.5.4 Opérande DISCRETISATION

Le domaine d'application de ce mot clé se limite au cas 3D .

3.5.4.1 Opérande DISCRETISATION = LINEAIRE

La trace du champ thêta sur le fond de fissure est discrétisée suivant les fonctions de forme associées à la discrétisation du fond de fissure ('LAGRANGE') [R7.02.01].

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

Il est possible de réduire le nombre de nœuds du fond utilisés pour une discrétisation 'LINEAIRE' avec le mot clé suivant :

◊ NB_POINT_FOND = nbnofo,

Par défaut, le calcul se fait sur tous les nœuds du fond de fissure pour une fissure maillée. Si le maillage est libre, le nombre de nœuds en fond de fissure peut être important, ce qui conduit à des temps de calcul très longs.

L'opérande NB_POINT_FOND permet de fixer a priori le nombre de points de post-traitement, afin d'améliorer la régularité des résultats. Les $nbnofo$ points sont équi-répartis le long du fond de fissure.

Dans le cas ou l'opérande NB_POINT_FOND n'est pas renseignée pour un maillage quadratique, un traitement, par lissage via une fonction « chapeau », est ajouté pour supprimer les fortes oscillations sur les post-traitement de $G(s)$ ou $K(s)$.

3.5.4.2 Opérande DISCRETISATION = LEGENDRE

La trace du champ thêta sur le fond de fissure est discrétisée suivant la base des N premiers polynômes de Legendre ('LEGENDRE'), [R7.02.01].

L' utilisateur peut choisir le nombre de polynôme qu'il souhaite pour faire son calcul avec le mot clé suivant :

◊ DEGRE = n

n est le degré maximal des polynômes de Legendre utilisés pour la décomposition du champ θ en fond de fissure.

Par défaut n est affectée à 5. La valeur de n doit être comprise entre 0 et 7.

3.5.4.3 Conseil sur la discrétisation

- *il est difficile de donner une préférence à l'une ou l'autre méthode de lissage. En principe les deux donnent des résultats numériques équivalents. Néanmoins le lissage de type 'LINEAIRE' est peu plus coûteux en temps CPU que le lissage de type 'LEGENDRE' ;*
- *le lissage de type 'LEGENDRE' est sensible au degré maximal des polynômes choisis. Le degré maximal doit être défini en fonction du nombre de nœuds en fond de fissure NNO . Si n est trop grand au regard de NNO les résultats sont médiocres [U2.05.01 §2.4] ;*
- *des oscillations peuvent apparaître avec le lissage de type 'LINEAIRE', en particulier si le maillage comporte des éléments quadratiques. Si le maillage est rayonnant en fond de fissure (fissure maillée), il est alors recommandé de définir des couronnes R_INF et R_SUP coïncidant avec les frontières des éléments.*
- *pour les fissures maillées, lorsque l'on utilise un lissage de type 'LINEAIRE' il est recommandé d'utiliser l'opérande NB_POINT_FOND pour garantir une équi-répartition des points de calculs en fond de fissure. Le choix d'un rapport de l'ordre de 5 entre le nombre de points total en fond de fissure (à chercher dans les informations imprimées dans le fichier message par la commande DEFI_FOND_FISS) et le nombre de points de calcul semble approprié pour limiter les oscillations ;*
- *l'utilisation d'au moins deux types de lissage avec plusieurs couronnes d'intégration et la comparaison des résultats est **indispensable** afin de vérifier la validité du modèle.*

3.6 Mot clé EXCIT et opérandes CHARGE/FONC_MULT

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

◊ EXCIT = _F(♦ CHARGE = charge
◊ FONC_MULT = fmult)

Le mot clé EXCIT permet de récupérer une liste de chargements charge, issus des commandes AFFE_CHAR_MECA ou AFFE_CHAR_MECA_F [U4.44.01], et les éventuels coefficients multiplicateurs associés fmult.

Si le mot clé EXCIT est absent de la commande, le chargement pris en compte est celui extrait de resu. Si le chargement est fourni via EXCIT, alors c'est ce chargement qui sera utilisé dans CALC_G. Si le chargement fourni dans EXCIT est différent de celui présent dans resu (cohérence du nom et du nombre de charges, des couples charge-fonction), une alarme est émise et le calcul se poursuit avec les chargements indiqués par l'utilisateur.

Toutefois, s i le résultat est de type dyna_trans ou mode_meca, il est possible de récupérer une liste de chargement s depuis le resu . La prise en compte de ces chargements dans le calcul de G nécessite donc le mot-clé EXCIT.

Les chargements supportés actuellement par les différentes modélisations et pouvant avoir un sens en mécanique de la rupture sont les suivantes :

- Effort volumique : ROTATION, FORCE_INTERNE, PESANTEUR.
- Effort surfacique sur les lèvres de la fissure : FORCE_CONTOUR (2D), FORCE_FACE (3D), PRES_REP.
- Dilatation thermique : la température est transmise via AFFE_MATERIAU/AFFE_VARC
- Déformation initiale : cette déformation est transm is e via la variable de commande EPSA (déformation anélastique) dans AFFE_MATERIAU/AFFE_VARC
- Pré-déformation : PRE_EPSI (uniquement dans le cas d'une fissure maillée, pour l'option G_EPSI. En dehors de cette configuration particulière, l'application d'un chargement PRE_EPSI conduit à des résultats faux)

En cas de problème thermo-mécanique, la température est transmise via les propriétés matériaux (AFFE_MATERIAU / AFFE_VARC / EVOL). La dilatation thermique est donc automatiquement prise en compte dans le calcul avec CALC_G. Il en est de même si une déformation initiale est transmise via la variable de commande EPSA.

Remarque :

*Les chargements non supportés par une option sont **ignorés**. A ce jour, les chargements suivants pouvant avoir un sens en mécanique de la rupture ne sont pas traités :*

- *FORCE_NODALE*
- *FORCE_ARETE*
- *DDL_IMPO sur les lèvres de la fissure*
- *FACE_IMPO*
- *PRE_EPSI en dehors du seul cas traité « fissure maillée et option G_EPSI »*

Il est important de noter que les seuls chargements pris en compte dans un calcul de mécanique de la rupture avec la méthode θ sont ceux supportés par les éléments à l'intérieur de la couronne, où le champ de vecteurs thêta est non nul (entre R_INF et R_SUP [R7.02.01 §3.3]). **Les seuls types de charge susceptibles d'influencer le calcul de G sont donc les chargements volumiques (pesanteur, rotation), un champ de température non uniforme ou des efforts appliqués sur les lèvres de la fissure.**

Attention :

- *Si plusieurs chargements de même nature (par exemple force volumique) apparaissent dans le calcul, ils sont combinés entre eux pour le post-traitement. Il n'est cependant pas possible à ce jour de faire cette combinaison si des chargements de type FORMULE* sont présents *: le calcul se termine alors en erreur.*

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

- *On applique aussi une règle d'exclusion lors de la présence simultanée d'un champ de pré-déformations (via 'PRE_EPSI') et d'un champ de contraintes initiales.*
- *On applique aussi une règle d'exclusion lors de la présence simultanée d'un champ de déformations initiales (via 'EPSA') et d'un champ de contraintes initiales.*
- *On applique aussi une règle d'exclusion lors de la présence simultanée d'un champ de pré-déformations (via 'PRE_EPSI') et d'un champ de déformations initiales (via 'EPSA').*
- *Il n'est pas possible à ce jour d'associer une charge définie à partir d'une FORMULE et un coefficient multiplicateur (FONC_MULT). Dans ce cas, le calcul se termine en erreur.*
- *Les charges cinématiques (AFFE_CHAR_CINE et AFFE_CHAR_CINE_F), ne peuvent pas être prises en compte dans le calcul.*
- *Pour l'option K, si un chargement est imposé sur les lèvres de la fissure (PRES_REP ou FORCE_CONTOUR), alors il faut **obligatoirement** orienter correctement les mailles de celles-ci (en utilisant ORIE_PEAU_2D ou ORIE_PEAU_3D) préalablement au calcul de K .*
- *On note que le calcul de CALC_G est disponible uniquement pour les résultats des calculs thermo -mécaniques en HPP (mot clé DEFORMATION = 'PETIT') .*

3.7 Opérande ETAT_INIT

◊ ETAT_INIT=_F(SIGM = siefelga)

Dans le cas d'une relation de comportement élastique incrémentale, il est possible de définir un état de contraintes initiales non nul.
L'utilisation de ce mot clé nécessite au préalable la définition d'un état initial dans l'opérateur STAT_NON_LINE lors de la résolution du calcul à post-traiter par CALC_G .
STAT_NON_LINE permet cette définition de deux manières (voir u4.51.03) :

- avec un état initial de type résultat, renseigné sous le mot-clé EVOL_NOLI du mot clé facteur ETAT_INIT
- avec un état initial de type champs, renseigné sous les mots-clés SIGM/DEPL/VARI/STRX/COHE du mot clé facteur ETAT_INIT

À ce jour, le post traitement avec CALC_G des calculs utilisant les mots-clés EVOL_NOLI/DEPL/VARI/STRX/COHE n'est pas possible. Seul le post traitement avec CALC_G des calculs utilisant le mots-clé SIGM est possible.
Le champ de contrainte initiale fourni peut être de type SIEF_ELGA, SIEF_ELNO ou SIEF_NOEU dans une modélisation FEM.
Dans tous les cas, ce champ de contrainte initiale doit être **auto-équilibré**, en absence de fissure, avec les seules conditions aux limites. L'utilisateur doit vérifier que son champ de contraintes initiales est licite en l'appliquant dans le mot clé ETAT_INIT de l'opérateur STAT_NON_LINE, avec un comportement élastique linéaire (RELATION = 'ELAS'), avec les seules conditions aux limites ; le résultat mécanique doit être le même champ de contrainte sans déformations supplémentaires (voir Figure 3.1).

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

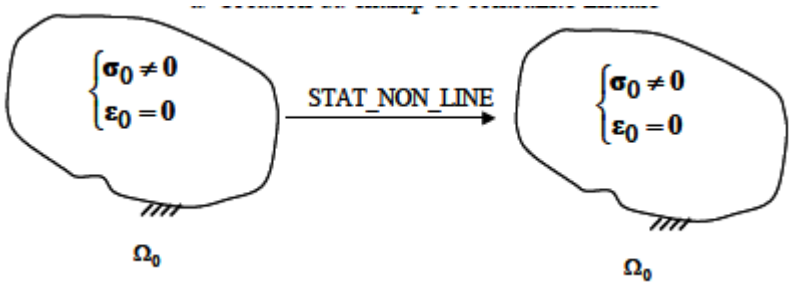


Figure 3.1 : Vérification de la validité du champ de contrainte initiale.

L'état initial de la structure peut aussi être représenté à travers un champ de pré-déformation (*via* le mot clé PRE_EPSI de l'opérateur AFFE_CHAR_MECA). Dans ce cas, il s'agit d'une charge inclue dans la structure de données résultat (voir section 3.6) et le mots clé ETAT_INIT ne doit pas être rempli.
Compte tenu de la difficulté de validation de la formulation implantée, il n'est actuellement pas licite de cumuler une pré-déformation (*via* le mot clé PRE_EPSI de l'opérateur AFFE_CHAR_MECA) et une contrainte initiale ou un déformation initiale (via la variable de commande EPSA de AFFE_MATERIAU/AFFE_VARC) et une contrainte initiale.

3.8 Opérande INFO

◊ INFO = /1, [DEFAUT]
/2,

Niveau de messages dans le fichier 'MESSAGE'.

3.9 Table produite

La commande CALC_G génère un concept de type table.

Cette table est définie comme suit pour les options G et K :

Dans tous les cas				En 2D local		En 3D local			Dans tous les cas	
NUME_FOND	INST	NOEUD	NUM_PT	COOR_X	COOR_Y	COOR_Z	ABSC_CURV	ABSC_CURV_NORM	COMPORTEMENT	TEMPERATURE

Tableau 3.9-1: Tableau obtenu avec CALC_G (1)

CALC_G OPTION G ou KJ	CALC_G OPTION K			CALC_K_G en 3D local	CALC_G OPTION KJ
G	K1	K2	G_IRWIN	K3	KJ

Tableau 3.9-2: Tableau obtenu avec CALC_G (2)

G_{IRWIN} , est le taux de restitution de l'énergie obtenu à partir des facteurs d'intensité des contraintes K_1 et K_2 (et K_3) avec les formules suivantes :

$$G_{IRWIN}=\frac{1}{E}(K_I^2+K_{II}^2)$$ en contraintes planes

$$G_{IRWIN}=\frac{(1-\nu^2)}{E}(K_I^2+K_{II}^2)$$ en déformations planes et axi-symétrique

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

$$G_{IRWIN}=\frac{(1-\nu^2)}{E}(K_I^2+K_{II}^2)+\frac{K_{III}^2}{2\mu}$$ en 3D

avec E module de Young et ν coefficient de Poisson et $\mu=\frac{E}{2(1+\nu)}$. La comparaison entre G et G_{IRWIN} permet de s'assurer de la cohérence des résultats : un écart trop important doit conduire à vérifier les paramètres du calcul (raffinement du maillage, choix des couronnes pour thêta, lissage en 3D...).

La commande IMPR_TABLE [U4.91.03] permet d'imprimer les résultats au format voulu.

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

4 Normalisation du taux de restitution G

4.1 2D contraintes planes et déformations planes

En dimension 2 (contraintes planes et déformations planes), le fond de fissure est réduit à un point et la valeur $G(\theta)$ issue de la commande CALC_G est indépendante du choix du champ θ :

$$G=G(\theta) \quad \forall \theta \in \Theta$$

4.2 Symétrie du modèle

Si on ne modélise que la moitié du solide par rapport à la fissure :

- soit préciser le mot clé SYME = 'OUI' dans les commandes concernées ;
- soit ne pas oublier de multiplier par 2, les valeurs du taux de restitution d'énergie G ou $G(s)$ et par 4 celles de G_{Irwin}. De plus les valeurs des facteurs d'intensité des contraintes correspondantes au mode de symétrie doivent aussi être multipliées par 2.

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

5 Exemples

5.1 Exemple d'utilisation en 3D

Prenons le cas d'une fissure maillée :

Le fond de fissure est défini dans DEFI_FOND_FISS :

```
ff=DEFI_FOND_FISS(  MAILLAGE=MA,
                    FOND_FISS=_F(GROUP_MA = 'LFF'),
                    )
```

Exemples de calcul du taux de restitution de l'énergie en 3D (local) :

```
G1LOC  =  CALC_G (  OPTION       =  'G',
                    RESULTAT     =  resu,
                    THETA        = _F(  FISSURE      =  ff,
                                        R_INF        =  1.,
                                        R_SUP        =  2.,
                                        DISCRETISATION = 'LINEAIRE'),
                  )
```

Exemple de calcul des facteurs d'intensité des contraintes en 3D :

```
KLOC   =  CALC_G (  OPTION       =  'K',
                    RESULTAT     =  resu,
                    THETA        = _F(  FISSURE   =  ff,
                                        R_INF        =  1.,
                                        R_SUP        =  2.,
                                         DISCRETISATION = 'LINEAIRE' ),
                  )
```

On peut trouver des exemples d'utilisation dans les tests suivants :

SSLV110 [V3.04.110] Fissure semi-elliptique en milieu infini
SSLV112 [V3.04.112] Fissure circulaire en milieu infini
HPLV103 [V7.03.103] Thermoélasticité avec fissure circulaire en milieu infini.

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