

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées**  
**Document : U4.82.04**

## Opérateur *CALC\_G\_LOCAL\_T*

### 1 But

Calculer le taux de restitution d'énergie local et -sous certaines conditions- les facteurs d'intensité de contraintes en 3D par la méthode théta.

Cet opérateur permet le calcul en mécanique de la rupture du taux de restitution d'énergie local fonction de l'abscisse curviligne sur le fond de fissure  $G(s)$  en 3D par la méthode  $\theta$  dans le cas d'un problème thermo-élastique linéaire ou non linéaire [R7.02.01] et [R7.02.03]. Le problème peut être soit statique, soit dynamique [R7.02.02].

Cet opérateur permet également l'extraction des facteurs d'intensité de contraintes fonction de l'abscisse curviligne du fond de fissure  $K1(s)$ ,  $K2(s)$ ,  $K3(s)$  en 3D par la méthode  $\theta$  couplée avec la méthode XFEM dans le cas d'un problème élastique linéaire [R7.02.12].

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].

Les fonctionnalités concernant le taux de restitution d'énergie local avec propagation Lagrangienne (c'est-à-dire pour une extension de la fissure en utilisant le même maillage) en 3D dans le cas d'un problème thermo-élastique linéaire sont décrites dans le document [R7.02.04].

L'opérateur produit un concept de type `table`.

## 2 Syntaxe

```

[tabl_*] = CALC_G_LOCAL_T

(
  ◇ MODELE = mo, [modele]
  ◇ CHAM_MATER = mater, [cham_mater]
  ◆ / FOND_FISS = ff, [fond_fiss]
  / FISSURE = fiss, [fiss_xfem]

# récupération du champ de déplacements

  ◆ / DEPL = depl, [cham_no_DEPL_R]
  / ◆ VITE = vite, [cham_no_DEPL_R]
  ◆ ACCE = acce, [cham_no_DEPL_R]

  / RESULTAT = resu, / [evol_elas]
                        / [evol_noli]
                        / [dyna_trans]

  ◇ / TOUT_ORDRE = 'OUI', [DEFAULT]
    / NUME_ORDRE = l_ordre, [l_I]
    / LIST_ORDRE = lis, [listis]
    / INST = l_inst, [l_R8]
    / LIST_INST = l_reel, [listr8]
  ◇ | PRECISION = / prec
                  / 1.0D-6 [DEFAULT]
    | CRITERE = / 'RELATIF', [DEFAULT]
               / 'ABSOLU' ,

# chargement

  ◇ EXCIT = (_F(
    ◆ CHARGE = charge , [char_meca]
                        [char_cine_meca]
    ◇ FONC_MULT = fmult, [fonction]
                        [formule]
    ),)
  ◇ SYME_CHAR = / 'SANS' , [DEFAULT]
                / 'SYME' ,
                / 'ANTI' ,

# comportement

  ◇ / COMP_ELAS =_F (
    ◇ RELATION = / 'ELAS', [DEFAULT]
                / 'ELAS_VMIS_LINE',
                / 'ELAS_VMIS_TRAC',
    ◇ DEFORMATION = / 'PETIT', [DEFAULT]
                   / 'GREEN',
    ◇ / TOUT = 'OUI', [DEFAULT]
      / | GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
        | MAILLE = lma , [l_maille]
    ),
  / COMP_INCR =_F (
    ◇ RELATION = / 'ELAS', [DEFAULT]
                / 'VMIS_ISOT_TRAC',
                / 'VMIS_ISOT_LINE',
    ◇ DEFORMATION = / 'PETIT', [DEFAULT]
                   / 'PETIT_REAC',
    ◇ / TOUT = 'OUI', [DEFAULT]
      / | GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
        | MAILLE = lma , [l_maille]
    ),

```

Titre :       Opérateur *CALC\_G\_LOCAL\_T*  
Auteur(s) :   **E. GALENNE, S. GENIAUT**

Date :       11/02/05  
Clé :        **U4.82.04-G**   Page :   3/14

```

      ◇  ETAT_INIT =_F (
          ♦  /  DEPL      =  depl,          [cham_no_DEPL_R]
              /  SIGM      =  sigm,          /  [carte_SIEF_R]
                                          /  [cham_elem_SIEF_R]
          ),

#  option demandée :  -  calcul de G(s) classique
                     -  calcul de G(s) avec propagation Lagrangienne

      ◇  OPTION = /  'CALC_G',              [DEFAULT]
#
#                  /  'CALC_K_G',
#
#                  /  'CALC_G_LGLO',
#                  ♦  PROPAGATION  =  alpha,          [R]
#                  ♦  THETA        =  theta,          [theta_geom]
#                  ♦  DIRE_THETA   =  dire_theta,     [cham_no_DEPL_R]
#
#                  /  'G_BILINEAIRE',
#
#                  /  'CALC_G_MAX' ,
#                  ♦  BORNES=_F (
#                      ♦  NUME_ORDRE  =  num ,          [I]
#                      ♦  VALE_MIN    =  qmin ,         [R]
#                      ♦  VALE_MAX    =  qmax ,         [R]
#                  ),

#  méthode utilisée pour la discrétisation de  $\theta$  en fond de fissure

      ◇  /  LISSAGE_THETA = /  'LEGENDRE',          [DEFAULT]
          /  'LAGRANGE',
      /  LISSAGE_G      = /  'LEGENDRE',          [DEFAULT]
          /  'LAGRANGE',
          /  'LAGRANGE_NO_NO',

#  degré des polynomes de Legendre

      ◇  DEGRE  = /  0,
                /  1,
                /  2,
                /  3,
                /  4,
                /  5,          [DEFAULT]
                /  6,
                /  7,

#  rayons inférieurs et supérieurs définissant les couronnes

      ♦  /  ♦  R_INF      =  r ,          [R]
          ♦  R_SUP      =  R ,          [R]
      /  ♦  R_INF_FO    =  rz ,          [fonction,formule]
          ♦  R_SUP_FO    =  Rz ,          [fonction,formule]

#  titre

      ◇  TITRE  =  titre,          [l_Kn]

#  impression d'informations

      ◇  INFO   = /  1,          [DEFAULT]
                /  2,

    )
```

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérande **MODELE**

◇    **MODELE** =    *mo*

*mo* est le nom du modèle sur lequel est calculé le taux de restitution d'énergie local  $G(s)$ . Il est produit par la commande **AFFE\_MODELE** [U4.41.01].

Le nom du modèle est :

- Facultatif si le champ de déplacement est donné avec le mot-clé **RESULTAT** et si la structure de données *resu* est du type **EVOL\_ELAS** ou **EVOL\_NOLI** :
  - Si le nom du modèle est absent, l'opérateur prend celui qui est présent dans la structure de données *resu* ;
  - Si le nom du modèle est fourni par l'utilisateur, l'opérateur vérifie s'il est identique à celui présent dans la structure de données *resu*, dans le cas contraire une erreur fatale est émise.
- Obligatoire dans tous les autres cas.

Le calcul du taux de restitution d'énergie  $G(s)$  n'a de sens et n'est donc autorisé que pour la modélisation 3D.

Cette modélisation correspond à des hexaèdres à 8, 20 ou 27 nœuds, des pentaèdres à 6 ou 15 nœuds, des tétraèdres à 4 ou 10 nœuds, des pyramides à 5 ou 13 nœuds, des faces à 3, 4, 8 ou 9 nœuds.

### 3.2 Opérande **CHAM\_MATER**

◇    **CHAM\_MATER**        =    *mater*

*mater* est le champ du matériau généré par la commande **AFFE\_MATERIAU** [U4.43.03].

Le nom du champ de matériau est :

- Facultatif si le champ de déplacement est donné avec le mot-clé **RESULTAT** et si la structure de données *resu* est du type **EVOL\_ELAS** ou **EVOL\_NOLI** :
  - Si le nom du champ de matériau est absent, l'opérateur prend celui qui est présent dans la structure de données *resu* ;
  - Si le nom du champ de matériau est fourni par l'utilisateur, l'opérateur vérifie s'il est identique à celui présent dans la structure de données *resu*. Dans le cas contraire, une alarme est émise et le calcul se poursuit avec le champ de matériau fourni par l'utilisateur.
- Obligatoire dans tous les autres cas.

Le champ de matériau permet de récupérer les caractéristiques du matériau :

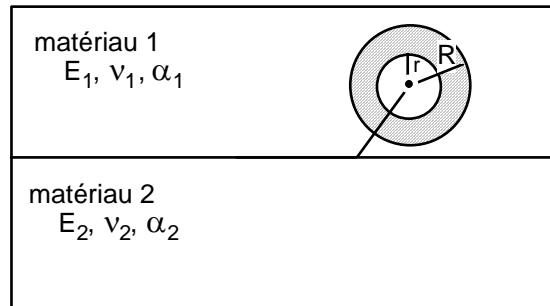
- module d'YOUNG *E*,
- coefficient de POISSON *NU*,
- coefficient de dilatation thermique *ALPHA* (pour un problème thermomécanique),
- limite d'élasticité *SY* (pour un problème élastique non linéaire),
- pente de la courbe de traction *D\_SIGM\_EPSI* (pour un problème élastique non linéaire avec écrouissage isotrope linéaire), ou courbe de traction.

Ces caractéristiques peuvent dépendre de la géométrie et de la température pour l'option '**CALC\_G**' uniquement.

Les caractéristiques *SY* et *D\_SIGM\_EPSI* ne sont traitées que pour un problème élastique non linéaire avec écrouissage de von Mises et avec l'option de calcul '**CALC\_G**'.

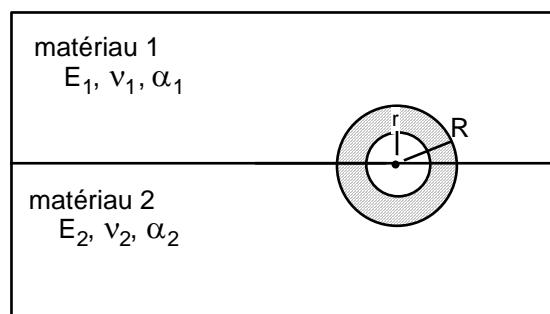
## Problème du bimatériau :

**1<sup>er</sup> cas** : On a un bimatériau mais la pointe de fissure est dans un seul matériau.



Si on est assuré que la couronne, définie entre les rayons inférieur  $r$  et supérieur  $R$  (dans la commande `CALC_THETA` [U4.82.02]), a comme support des éléments du même matériau, le calcul est possible quelque soit l'option choisie. Sinon seule l'option '`CALC_G`' est possible.

**2<sup>ème</sup> cas** : On a un bimatériau où la pointe de fissure est à l'interface.



A ce jour, seule l'option de calcul du taux de restitution d'énergie (option '`CALC_G`') est disponible.

## 3.3 Opérandes `FOND_FISS` / `FISSURE`

♦ / `FOND_FISS` = `ff`,

`ff` est le fond de fissure défini par la commande `DEFI_FOND_FISS` [U4.82.01]. Il permet de récupérer :

- la liste ordonnée des nœuds du fond de fissure,
- les mailles des lèvres de la fissure ou la normale à la fissure,
- les directions de propagation du fond de fissure aux extrémités.

C'est à partir de ces entités que sont calculées automatiquement les abscisses curvilignes  $s$  et les directions de propagation du fond de fissure en chaque nœud [R7.02.01 §2.2]. Ce mot clé est obligatoire, sauf si `OPTION='CALC_K_G'`.

/ `FISSURE` = `fiss`,

`fiss` est la fissure définie par la commande `DEFI_FISS_XFEM` [U4.82.08]. Elle permet de récupérer dans le cadre de la méthode X-FEM :

- la liste ordonnée des points du fond de fissure,
- les gradients des level-sets,
- la base locale au fond de fissure
- le statut des nœuds (enrichissement ou pas) et les numéros des mailles enrichies.

Ces entités contiennent notamment les abscisses curvilignes *s* et les directions de propagation du fond de fissure en chaque nœud. Ce mot est obligatoire uniquement dans le cas où `OPTION='CALC_K_G'`.

### 3.4 Opérandes **DEPL** / **VITE** / **ACCE** / **RESULTAT**

Ces opérandes permettent de récupérer le champ de déplacement (et de vitesse et d'accélération pour un calcul en dynamique) à partir d'un champ aux nœuds ou extrait d'un résultat.

#### 3.4.1 Opérande **DEPL**

♦ / `DEPL = depl`  
`depl` est un champ aux nœuds solution du calcul sur `mo`.

#### 3.4.2 Opérande **VITE** / **ACCE**

/ ♦ `VITE = vite`  
♦ `ACCE = acce`

`vite` et `acce` sont respectivement un champ de vitesse et un champ d'accélération. Ce sont des champs aux nœuds solution d'un calcul dynamique sur `mo`.

Ces deux opérandes doivent être simultanément présents pour calculer le taux de restitution de l'énergie en élastodynamique [R7.02.02].

#### 3.4.3 Opérande **RESULTAT**

/ `RESULTAT = resu`  
Nom d'un concept résultat de type `evol_elas`, `evol_noli` ou `dyna_trans`.

##### 3.4.3.1 Opérandes **TOUT\_ORDRE** / **NUME\_ORDRE** / **LIST\_ORDRE** / **INST** / **LIST\_INST** / **PRECISION** / **CRITERE**

Voir document [U4.71.00].

### 3.5 Mot clé **EXCIT** et opérandes **CHARGE/FONC\_MULT**

◇ `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 coefficients multiplicateurs `fmult`.

Le mot clé **EXCIT** est facultatif.

Dans le cas où les déplacements sont fournis par le mot-clé **RESULTAT** et que la structure de données `resu` est du type `EVOL_ELAS` et `EVOL_NOLI`, le chargement pris en compte est soit celui fourni par l'utilisateur, soit celui extrait de `resu` s'il est absent de la commande. Si le chargement fourni 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 le chargement indiqué par l'utilisateur.

Dans tous les cas, il faut veiller à ce que les charges indiquées ici aient bien été prises en compte dans le calcul mécanique précédent qui a produit le champ de déplacements.

Les chargements pris en compte dans le calcul de G sont les suivants :

Option	Modélisation	Chargement mot clé de AFFE_CHAR_MECA(_F)
CALC_G	3D	TEMP_CALCULEE FORCE_INTERNE PRES_REP FORCE_FACE PESANTEUR ROTATION
CALC_K_G	3D	Aucun chargement pris en compte dans le calcul de G, K1, K2, K3

## 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
- EPSI\_INIT
- DDL\_IMPO sur les lèvres de la fissure
- FACE\_IMPO

Il est important de noter que les seuls chargements pris en compte dans un calcul de mécanique de la rupture avec la méthode 0 sont ceux supportés par les éléments à l'intérieur de la couronne (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 :

- Un chargement de même nature (par exemple force volumique) ne peut figurer que dans une seule charge. Dans le cas contraire, le calcul se termine en erreur.
- Il n'est pas possible à ce jour d'associer une charge définie comme une fonction (AFFE\_CHAR\_MECA\_F) et un coefficient multiplicateur (FONC\_MULT). Dans ce cas, le calcul se termine en erreur.
- Si on fait un calcul en grandes transformations (mot clé DEFORMATION = 'GREEN' sous le mot clé facteur COMP\_ELAS) les chargements supportés doivent être des charges mortes, typiquement une force imposée et pas une pression [R7.02.03 §2.4].

## 3.6 Opérande SYME\_CHAR

```
◇ SYME_CHAR = / 'SANS' , [DEFAULT]
               / 'SYME' ,
               / 'ANTI' ,
```

Ce mot clé permet d'indiquer si le chargement est symétrique ou antisymétrique dans le cas où on ne modélise que la moitié du solide par rapport à la fissure. Les valeurs de  $G(s)$  sont alors automatiquement multipliées par 2.

## 3.7 Mot clé COMP\_ELAS

```
◇ COMP_ELAS =
```

Ce mot clé facteur permet de définir la relation de comportement du matériau utilisé pour ce post-traitement de mécanique de la rupture.

Par défaut la relation de comportement est élastique linéaire en petites déformations avec les caractéristique définies dans CHAM\_MATER.

**Remarques :**

- *Le calcul du taux de restitution d'énergie G n'a de sens qu'en élasticité linéaire ou non linéaire (COMP\_ELAS). Il est cependant possible de calculer en élastoplasticité (COMP\_INCR) un paramètre G défini alors comme le flux d'énergie total (plasticité et rupture) à travers le défaut. Dans le cas de l'élastoplasticité, le défaut doit être modélisé par une entaille.*
- *Rien n'interdit d'affecter un comportement différent lors du calcul des déplacements (par exemple élastoplastique) puis de réaliser ce post-traitement avec une autre relation (par exemple élastique non-linéaire). L'utilisateur est responsable de l'interprétation des résultats obtenus [R7.02.03].*
- *Si le chargement est parfaitement radial monotone, les calculs en élasticité non linéaire et en élastoplasticité conduisent aux mêmes résultats. Pour ce type de chargement (et uniquement dans ce cas), il est également possible de faire un calcul élastoplastique sur une fissure.*

Pour plus de précisions, se reporter à [U2.05.01].

### 3.7.1 Opérande RELATION

◇ RELATION =  
/ 'ELAS'

Relation de comportement élastique linéaire c'est-à-dire que la relation entre les déformations et les contraintes considérées est linéaire [R7.02.01 §1.1].

/ 'ELAS\_VMIS\_LINE'

Relation de comportement élastique non linéaire, de von Mises à écrouissage isotrope linéaire. Les données matériaux nécessaires du champ matériau sont fournies dans l'opérateur DEFI\_MATERIAU (cf. l'opérateur STAT\_NON\_LINE [U4.51.03] et le mot clé VMIS\_ISOT\_LINE) [R7.02.03 §1.1] et [R5.03.20].

/ 'ELAS\_VMIS\_TRAC'

Relation de comportement élastique non linéaire, de von Mises à écrouissage isotrope non linéaire. Les données matériaux nécessaires du champ matériau sont fournies dans l'opérateur DEFI\_MATERIAU (cf. l'opérateur STAT\_NON\_LINE [U4.51.03] et le mot clé VMIS\_ISOT\_TRAC) [R7.02.03 §1.1] et [R5.03.20].

### 3.7.2 Opérande DEFORMATION

◇ DEFORMATION = / 'PETIT'

Les déformations utilisées dans la relation de comportement sont les relations linéarisées :

$$\varepsilon_{ij}(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i})$$

/ 'GREEN'

Les déformations utilisées dans la relation de comportement sont les déformations de Green-Lagrange [R7.02.03 §2.1] :

$$\varepsilon_{ij}(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i} u_{k,j})$$

**Attention :**

- *Les chargements supportés sont ceux supportés en élastique linéaire à condition que ce soient des charges mortes, i.e. indépendantes de la configuration : une charge imposée est une charge morte alors que la pression peut être un chargement suiveur.*
- *Les déplacements et les rotations peuvent être grandes mais il est préférable de se limiter à de petites déformations si l'on souhaite une cohérence avec le matériau réel. Pour plus de précisions se référer à [R7.02.03 §2.5].*



## 3.7.3 Opérandes TOUT / GROUP\_MA / MAILLE

```

◇ / TOUT      = 'OUI',
  / | GROUP_MA = lgrma,
  / | MAILLE   = lma,

```

Spécifie les mailles ou les nœuds sur lesquels la relation de comportement est utilisée.

## 3.7.4 Relation de comportement disponible pour chaque option

		'CALC_G'	'CALC_K_G'
COMP_ELAS	'ELAS'	'PETIT'	'PETIT'
		'GREEN'	
	'ELAS_VMIS_LINE'	'PETIT'	non disp.
		'GREEN'	
	'ELAS_VMIS_TRAC'	'PETIT'	non disp.
		'GREEN'	

Il est possible pour ces relations de comportement de calculer le taux de restitution d'énergie  $G$  en grandes transformations [R7.02.03 §2] à condition d'avoir uniquement des charges mortes.

## 3.8 Mot clé COMP\_INCR

◇ COMP\_INCR =

La relation de comportement est élastoplastique associée à un critère de von Mises avec écrouissage isotrope ou cinématique.

◇ RELATION =

```

/ 'ELAS' : relation de comportement élastique incrémentale [U4.51.03]
/ 'VMIS_ISOT_LINE' : von Mises avec écrouissage isotrope linéaire ([U4.51.03] et [R5.03.20])
/ 'VMIS_ISOT_TRAC' : von Mises avec écrouissage isotrope donné par une courbe de traction [U4.32.01]

```

◇ DEFORMATION =

```

/ 'PETIT' : déformations linéarisées :  $\Delta \varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}(\Delta u) = 1/2 (\Delta u_{i,j} + \Delta u_{j,i})$ 
/ 'PETIT_REAC' :  $\Delta \varepsilon_{ij} = 1/2 \left( \frac{\partial \Delta u_i}{\partial (X+u)_j} + \frac{\partial \Delta u_j}{\partial (X+u)_i} \right)$  [U4.32.01]

```

◇ TOUT / GROUP\_MA / MAILLE

Spécifient les mailles ou les nœuds sur lesquels la relation de comportement incrémentale est utilisée.

## 3.9 Mot clé ETAT\_INIT

◇ ETAT\_INIT =

Etat initial de référence choisi. Par défaut, tous les champs sont identiquement nuls. La donnée d'un état initial n'a de sens (et n'est donc prise en compte) que pour la partie du domaine traitée en comportement incrémental (COMP\_INCR) : si le calcul est élastique (COMP\_ELAS) cela n'a aucune incidence.

*Si l'on veut prendre en compte un état initial en élasticité, c'est le mot clé ELAS situé sous COMP\_INCR qu'il faut utiliser.*

### 3.9.1 Opérande SIGM / DEPL

- ```

♦ / Sigm = sig ,
  / DEPL = depl,

```

Respectivement, champs de contraintes et de déplacements pris à l'état initial. Ils peuvent par exemple être issus de la commande `RECU_CHAMP`, ou bien avoir été lus dans un fichier au format I-DEAS par la commande `LIRE_RESU`. Soit on donne un déplacement initial, soit une déformation initiale. Attention, si la charge transmise dans l'opérande `CHARGE` contient une déformation initiale (mot clé `EPSI_INIT` de `AFFE_CHAR MECA F`), celle-ci sera prise en compte de la même façon que le déplacement `depl` fourni ici ; il est alors illicite de donner un état initial avec le mot clé `DEPL`.

### 3.10 Opérande OPTION

```

◇   OPTION = / 'CALC_G' , [DEFAULT]
           / 'CALC_K_G' ,
           / 'CALC_G_LGLO' ,
           / 'G_BILINEAIRE' ,
           / 'CALC_G_MAX' ,

```

**3.10.1** `OPTION = 'CALC G'` [R7.02.01] et [R7.02.03]

C'est l'option par défaut. Elle permet le calcul du taux de restitution d'énergie  $G(s)$  par la méthode thêta en 3D pour un problème thermo élastique linéaire ou non linéaire.  $G(s)$  est solution de l'équation variationnelle [R7.02.01 §2.2].

$$\int_{\Gamma_\theta} G(s) \, \theta(s) \cdot \mathbf{m}(s) \, ds = \mathcal{G}(\theta) \quad , \quad \forall \theta \in \Theta$$

où  $\Gamma_0$  est le fond de fissure et  $\mathbf{m}$  la normale au fond de fissure dans le plan tangent de ses lèvres.

### 3.10.2 OPTION = 'CALC\_K\_G' [R7.02.12]

Cette option permet le calcul par la méthode  $\theta$  en 3D du taux de restitution d'énergie  $G(s)$  et des facteurs d'intensité des contraintes  $K1(s), K2(s), K3(s)$  pour un problème élastique linéaire. C'est une généralisation du cas 2D [R7.02.05].

Les facteurs d'intensité des contraintes sont calculés à partir de la forme bilinéaire symétrique du taux de restitution. Cette formulation utilise les expressions explicites des champs de déplacements singuliers connus pour une fissure plane à fond droit dans un milieu infini. Les déplacements singuliers sont calculés en se plaçant dans l'hypothèse des déformations planes.

**Attention :**

- Pour cette option, seuls les calculs élastiques linéaires (éléments HEXA8, PENTA6 et TETRA4) sans état initial et sans symétrie sont disponibles à ce jour. De plus, les termes spécifiques lié au chargement mécanique sur les lèvres de la fissure ne sont pas calculés.
- Cette formulation étant récente dans le Code\_Aster, il est recommandé de vérifier, à chaque fois que cela est possible, la cohérence des résultats avec ceux de l'opérateur POST K1 K2 K3.

### 3.10.3 OPTION = 'CALC G LGLO'

Permet également le calcul du taux de restitution d'énergie  $G(s)$  mais avec propagation lagrangienne [R7.02.04].

### 3.10.4 OPTION = 'G\_BILINEAIRE' [R7.02.01]

Pour une série de déplacements  $(U_1, \dots, U_n)$ , cette option permet le calcul de la forme bilinéaire  $g(U_i, U_j)$  pour  $i \geq j$  ; si  $i = j$  alors  $g(u, u) = G(u)$ . Les résultats sont stockés dans une table comportant deux indices  $i$  et  $j$  en référence aux déplacements  $U_i$  et  $U_j$  ordonnés dans la liste contenue dans la structure de données résultat sous le mot clé RESULTAT.

**Attention :**

Seules les combinaisons de discrétisation de  $G(s)$  et du champ  $\theta$ , cf. [§3.12] et [§ 3.13] :  
 LEGENDRE-LEGENDRE ou LAGRANGE-LAGRANGE sont disponibles pour cette option.

### 3.10.5 OPTION = 'CALC\_G\_MAX' [R7.02.05]

Cette option concerne uniquement la maximisation de G sous des contraintes bornes [R7.02.05]. Il faut fournir la valeur des contraintes bornes derrière le mot clé BORNES. Les résultats sont imprimés dans la structure de données résultat. La valeur de G\_MAX n'étant pas unique on détermine également la valeur maximum de G\_MAX.

**Attention :**

Seules les combinaisons de discrétisation de  $G(s)$  et du champ  $\theta$ , cf. [§3.12] et [§3.13] :  
 LEGENDRE-LEGENDRE ou LAGRANGE-LAGRANGE sont disponibles pour cette option.

## 3.11 Mot-clé BORNES

◇ BORNES =

Ce mot clé facteur est obligatoire si on utilise l'option 'CALC\_G\_MAX'. Sinon il n'est pas utilisé. Il permet de définir des couples de contraintes bornes  $(q_i^-, q_i^+)$  pour chaque numéro d'ordre de la structure de données resultat. On cherche alors à définir la combinaison de chargement la plus pénalisante en terme de taux de restitution d'énergie :

$$\max_{q_i^- \leq q_i \leq q_i^+} G\left(\sum_i q_i Q_i\right) = \max_{i,j=1}^N \sum G_{ij} q_i q_j \quad \text{où } Q_i \text{ sont les } N \text{ chargements unitaires associés}$$

aux différents déplacements  $U_i$  contenus dans la structure de données resultat, et

$$G_{ij} = G(U_i, U_j) \text{ forme bilinéaire de } G.$$

◆ NUME\_ORDRE = num

Numéro d'ordre dans la structure de données resultat associé aux valeurs de contraintes bornes.

◆ VALE\_MIN = qmin

Valeur minimal du coefficient appliqué au chargement associé au résultat stocké dans le numéro d'ordre num de la structure de données resu.

◆ VALE\_MAX = qmax

Valeur maximal du coefficient appliqué au chargement associé au résultat stocké dans le numéro d'ordre num de la structure de données resu.

**Attention :**

- L'utilisateur doit donner autant de couples de bornes que de numéros d'ordre contenus dans la structure de données resultat sous peine d'erreur fatale.
- Cette option de calcul n'est valable que pour des calculs élastiques linéaire où la superposition de chargement par combinaison linéaire est possible.

### 3.12 Opérande LISSAGE\_THETA

◇ / LISSAGE\_THETA = / 'LEGENDRE' [DEFAULT]  
/ 'LAGRANGE'

La trace du champ  $\theta$  sur le fond de fissure peut être discrétisée soit suivant la base des  $N$  premiers polynômes de Legendre ('LEGENDRE'), soit suivant les fonctions de forme linéaires associées à la discrétisation du fond de fissure ('LAGRANGE') [R7.02.01].

LISSAGE\_THETA = 'LEGENDRE' :  $\theta(s)$  est discrétisé sur une base de polynômes de Legendre  $\gamma_j(s)$  de degré  $j$  ( $0 \leq j \leq \text{Deg}_{\max}$ ) ou  $\text{Deg}_{\max}$  est le degré maximal donné sous le mot clé DEGRE (entre 0 et 7).

LISSAGE\_THETA = 'LAGRANGE' :  $\theta(s)$  est discrétisé sur les fonctions de forme du nœud  $k$  du fond de fissure :  $\varphi_k(s)$ .

### 3.13 Opérande LISSAGE\_G

/ LISSAGE\_G = / 'LEGENDRE' , [DEFAULT]  
/ 'LAGRANGE' ,  
/ 'LAGRANGE\_NO\_NO' ,

$G(s)$  peut être discrétisé soit suivant les polynômes de Legendre ('LEGENDRE'), soit suivant les fonctions de forme des nœuds du fond de fissure ('LAGRANGE'). La méthode 'LAGRANGE\_NO\_NO' est issue de la méthode LAGRANGE-LAGRANGE mais elle est simplifiée [R7.02.01].

Si le lissage de  $\theta$  par polynômes de Legendre a été retenu au mot clé précédent, alors le lissage de  $G$  doit lui aussi être de type Legendre. Les options disponibles dans Aster sont résumées dans le tableau suivant :

| Théta  |                       |                                                                             |
|--------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|        | Polynômes de LEGENDRE | Fonctions de forme                                                          |
| $G(s)$ | Polynômes de LEGENDRE | LISSAGE_THETA= 'LEGENDRE'<br>LISSAGE_G = 'LEGENDRE'                         |
|        | Fonctions de forme    | LISSAGE_THETA = 'LAGRANGE'<br>LISSAGE_G = 'LAGRANGE'<br>ou 'LAGRANGE_NO_NO' |

### 3.14 Opérande DEGRE

◇ DEGRE = n

$n$  est le degré maximal des polynômes de Legendre utilisés pour la décomposition du champ  $\theta$  en fond de fissure [§3.12] (lorsque LISSAGE\_THETA = 'LEGENDRE').

Le choix de  $n$  dépend du nombre de nœuds de fond de fissure NNO. Si  $n$  est trop grand au regard de NNO les résultats sont médiocres [U2.05.01 §2.4]. Par défaut  $n$  est affectée à 5. La valeur de  $n$  doit être comprise entre 0 et 7.

Si on retient les discrétisations LISSAGE\_THETA = 'LAGRANGE' et LISSAGE\_G = 'LEGENDRE', on doit avoir  $n \leq \text{NNO}$  [R7.02.01 §2.3].

### 3.15 Opérandes `R_INF` / `R_SUP`

- ♦ / ♦ `R_INF` = `r`
- ♦ `R_SUP` = `R`

`r` et `R` sont les rayons inférieurs et supérieurs, supposés constants sur toute la longueur de la fissure, permettent de déterminer la couronne sur laquelle les champs  $\theta$  auront une décroissance linéaire.

### 3.16 Opérandes `R_INF_FO` / `R_SUP_FO`

- / ♦ `R_INF_FO` = `rz`
- ♦ `R_SUP_FO` = `Rz`

Fonctions définissant les rayons des couronnes variant suivant l'abscisse curviligne sur le fond de fissure.

#### Conseils :

- *Eviter d'utiliser des couronnes avec un rayon inférieur 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_LOCAL_T` avec au moins 3 couples de couronnes différents 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.*

### 3.17 Opérande `INFO`

- ◇ `INFO` = `/1,` [DEFAULT]  
`/2,`

Niveau de messages dans le fichier 'MESSAGE'. Si `INFO` vaut 2, on génère l'impression des coefficients  $G_i$  de  $G(s)$  dans la base des polynômes de Legendre, la valeur des  $G$  élémentaires  $G(\theta^i)$  avant lissage, puis  $G(s)$  sur tous les nœuds du fond de fissure.

### 3.18 Opérande `TITRE`

[U4.03.01].

### 3.19 Table produite

La commande `CALC_G_LOCAL_T` produit un concept de type `table`.

Cette table contient, pour chaque nœud du fond de fissure :

- le nom du nœud,
- son abscisse curviligne le long du fond de fissure,
- la valeur de  $G$  local au nœud.

Pour l'option `CALC_K_G`, la table contient :

- le numéro du point du fond de fissure (voir [U4.82.08]),
- son abscisse curviligne le long du fond de fissure,
- la valeur des facteurs d'intensité des contraintes  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  locaux et du  $G$  local en chaque point.

La table peut être imprimé par `IMPR_TABLE` [U4.91.03].

## 4 Exemples

### 4.1 Calcul de $G(s)$ classique en élasticité linéaire (option 'CALC\_G')

```

G1LOC = CALC_G_LOCAL_T (  MODELE      = mo,
                           CHAM_MATER  = chma,
                           DEPL        = depl,
                           FOND_FISS   = ff,
                           R_INF       = 1.,
                           R_SUP       = 2.,
                           EXCIT       = _F(CHARGE = ch, ),
                           DEGRE       = 4.,
                           LISSAGE_THETA = 'LAGRANGE' )

```

On calcule le taux de restitution d'énergie local  $G(s)$  sur le fond de fissure *ff* en l'approximant par des polynômes de Legendre de degré 4. La base des champs de propagation  $\theta$  correspond aux fonctions de forme des nœuds du fond de fissure (*LISSAGE\_THETA* = 'LAGRANGE'). Les rayons de la couronne de calcul sont constants.

Si on ne modélise que la moitié du solide par rapport au fond de fissure, on peut ajouter le mot clé : *SYME\_CHAR* = 'SYME' qui permet d'obtenir automatiquement les valeurs intrinsèques de  $G(s)$  (valeur multipliée par 2.). Noter que la charge *ch* n'est prise en compte que si elle s'applique à l'intérieur de la couronne définie par *R\_SUP*.

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

```

### 4.2 Calcul de $G(s)$ en élasticité non linéaire en grandes transformations (option 'CALC\_G')

```

G2LOC = CALC_G_LOCAL_T (  RESULTAT = resu,
                           NUME_ORDRE = (1, 10, 20),
                           FOND_FISS = ff,
                           R_INF_FO = rinf,
                           R_SUP_FO = rsup,
                           LISSAGE_THETA = 'LEGENDRE',
                           DEGRE = 7.,
                           COMP_ELAS = _F(RELATION = 'ELAS_VMIS_LINE'
   DEFORMATION = 'GREEN'),
                           )

```

On calcule le taux de restitution d'énergie local  $G(s)$  :

- sur le fond de fissure *ff* ;
- à partir du modèle, du champ de matériau et des chargements extraits de la structure de données *resu* ;
- la relation entre les déformations et les contraintes est une relation élastique non linéaire de von Mises à écrouissage isotrope linéaire ;
- les déformations sont celles de Green-Lagrange (comportement hyperélastique), les grands déplacements et grandes rotations sont autorisés. Dans ce cas, les chargements sont donc forcément des charges mortes ;
- $G(s)$  est approximé par des polynômes de Legendre de degré maximal 7 ;
- la base des champs de propagation  $\theta$  est la base des polynômes de Legendre (*LISSAGE\_THETA* = 'LEGENDRE') ;
- les rayons définissant la couronne sont des fonctions de l'abscisse curviligne ;
- le calcul est effectué pour 3 numéros d'ordre (on récupère les déplacements aux numéros d'ordre 1, 10 et 20 à partir du concept *resu* issu d'un calcul avec *STAT\_NON\_LINE*).