

Macro-commande POST_GP

1 But

L'objet de cette macro-commande est de calculer le critère énergétique G_p à l'issue d'un calcul thermo-mécanique dans les deux situations suivantes :

- identifier les valeurs critiques du paramètre G_p en fonction de ténacités critiques données à une température fixée,
- prédire les instants de rupture sur un transitoire thermomécanique à partir de valeurs critiques de G_p précédemment identifiés pour chaque température.

Les différentes étapes accomplies par POST_GP sont :

- création des champs theta avec CALC_THETA,
- calcul de G avec CALC_G,
- calcul de l'énergie élastique avec POST_ELEM,
- calcul de $G_p = f(G, E_{tot})$.

La macro-commande retourne deux tables :

- l'une (celle à gauche du signe =) contenant les évolutions de K_i , G_i , K_{moy} , G_{moy} , $G_{p_{max}}$ en fonction du temps,
- l'autre (au mot-clé TABL_RESU) contenant les résultats de l'identification ou de la prédiction.

La macro-commande fonctionne en 2D ou en 3D. En 2D, on utilise le mot-clé THETA_2D ; en 3D, THETA_3D.

2 Syntaxe

```
tab [table] = POST_GP(  
  ♦ RESULTAT = resumea, [resultat]  
  ♦ RESU_THER = resuther, [evol_ther]  
  ♦ MODELE = modele, [modele]  
  ♦ MATER = mater, [materiau]  
  
  ♦ COMP_ELAS = _F(  
    ◇ RELATION = / 'ELAS', [DEFAULT]  
                / 'ELAS_VMIS_LINE',  
                / 'ELAS_VMIS_TRAC',  
    ◇ DEFORMATION = / 'PETIT', [DEFAULT]  
                    / 'GREEN',  
  ),  
  
  ◇ EXCIT = _F(  
    ♦ CHARGE = charg, / [char_meca]  
                / [char_cine_meca]  
    ◇ FONC_MULT = fonct, / [fonction]  
                / [formule]  
                / [nappe]  
    ◇ TYPE_CHARGE = 'FIXE',  
  ),  
  
  ◇ SYME_CHAR = / 'SANS', [DEFAULT]  
                / 'SYME',  
                / 'ANTI',  
  
  ♦ / THETA_2D = _F(  
    ♦ GROUP_NO = fond_entaille, [l_group_no]  
    ♦ R_INF = r_inf, [R]  
    ♦ R_SUP = r_sup, [R]  
  ),  
  ♦ DIRECTION = dir, [l_R]  
  / THETA_3D = _F(  
    ♦ GROUP_MA = fond_entaille, [l_group_ma]  
    ♦ R_INF = r_inf, [R]  
    ♦ R_SUP = r_sup, [R]  
  ),  
  ♦ FOND_FISS = fond_entaille, [fond_fiss]  
  ♦ NB_TRANCHES = nb_tranches, [R]  
  ◇ DIRECTION = dir, [l_R]  
  
  ♦ GROUP_MA = copeaux, [l_group_ma]  
  ♦ / PAS_ENTAILLE = pas, [R]  
  / LIST_EP_COPEAUX = l_reel, [listr8]  
  
  ◇ CRIT_MAXI_GP = / 'ABSOLU', [DEFAULT]  
                  / 'RELATIF',  
  
  ◇ RAYON_AXIS = / R, [R]  
                 / 1., [DEFAULT]  
  
  ◇ TRAC_COMP = 'OUI', [DEFAULT]  
  
# Méthode de discrétisation de thêta en fond de fissure (3D local)
```

```

◇ LISSAGE = _F( ◇ / LISSAGE_THETA = / 'LEGENDRE' [DEFAULT]
                / 'LAGRANGE'
                / 'LAGRANGE_REGU'
                / LISSAGE_G = / 'LEGENDRE' [DEFAULT]
                / 'LAGRANGE'
                / 'LAGRANGE_NO_NO'
                / 'LAGRANGE_REGU'

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

          ),
◇ / IDENTIFICATION = _F(
  ◇ KJ_CRIT = kj_crit, [R]
  ◇ TEMP = temp, [1_R]
),
/ PREDICTION = _F(
  ◇ GP_CRIT = gp_crit, [R]
  ◇ TEMP = temp, [1_R]
),

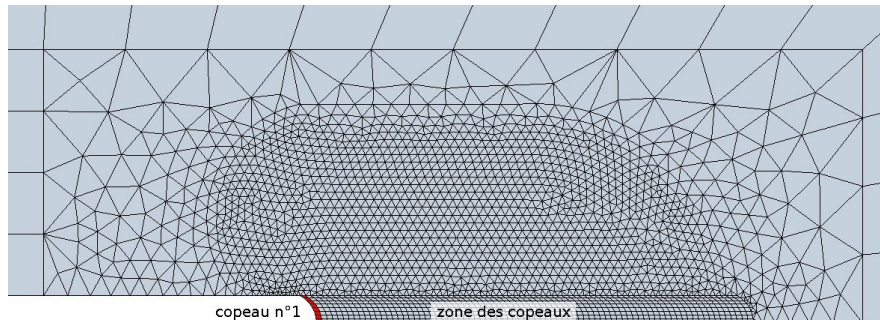
◇ TABL_RESU = CO('tablresu'), [CO]

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

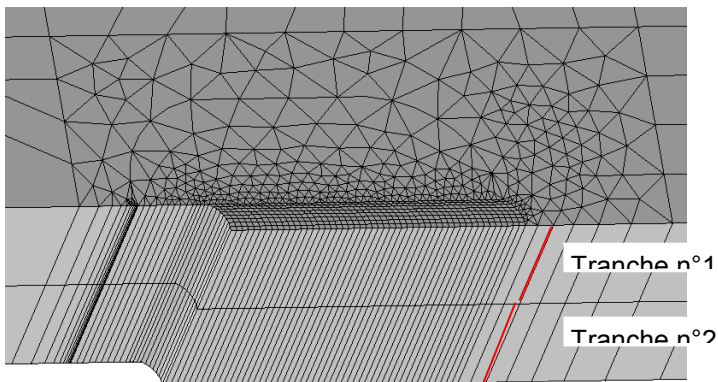
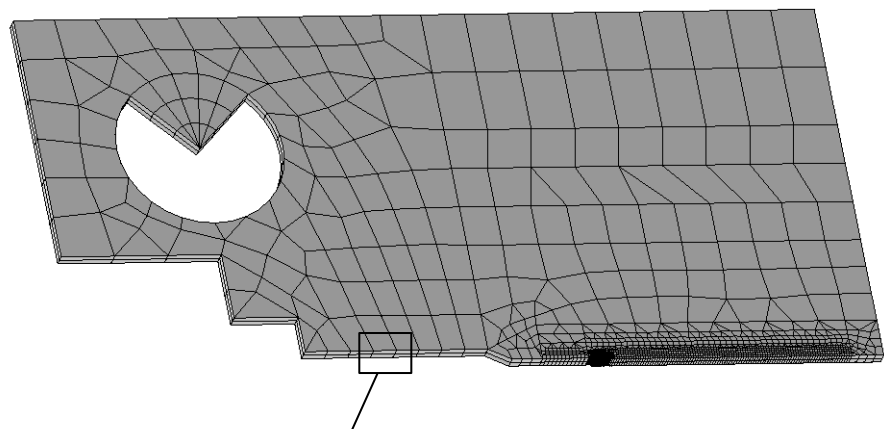
```

3 Calcul du paramètre Gp

Le calcul du paramètre Gp nécessite un maillage bien particulier. La zone située en aval de l'entaille (ou zone de propagation virtuelle de l'entaille) doit être maillée en « copeaux », tous ayant la même épaisseur. Chaque copeau doit être identifié par un groupe de mailles et décrit dans la liste des copeaux en progressant à partir du premier copeau n°1 situé en fond d'entaille jusqu'au dernier copeau.



En 3D, on introduit la notion de tranche, qui correspond à un maillage volumique contenant un seul élément 1D suivant l'axe d'extrusion du maillage 2D.



On range les copeaux dans une liste de groupes de mailles de la façon suivante :

- En 2D :
 - le 1er groupe correspond au copeau le plus proche du fond d'entaille ;
 - le 2ème groupe correspond au 1er copeau et au copeau adjacent ;
 - le i-ème groupe correspond aux i copeaux les plus proches du fond d'entaille.
- En 3D :

- on définit les copeaux de la 1ère tranche de la même manière qu'en 2D, à la différence que les mailles sont volumiques ;
- on poursuit la liste en ajoutant les copeaux de la 2ème tranche de la même manière.
- On obtient au final une liste de *nb_copeaux* x *nb_tranches* groupes de mailles.

G_p est calculé à partir de l'énergie élastique sur la zone des copeaux située entre le copeau n°1 et le copeau n°i, et ceci pour i variant de 1 à N, N étant le numéro du dernier copeau (cf. [U2.05.01]).

$$G_p = \text{fact_syne} \times \frac{E_{\text{totale}}}{\Delta l \cdot i \cdot R}$$

où : $\Delta l \cdot i$ est la distance au fond d'entaille (pas d'entaille . indice du copeau),
R est la valeur fournie sous RAYON_AXIS, ou la longueur de l'élément 1D situé sur le front d'entaille si modèle 3D.
fact_syne vaut 2 en cas de symétrie, 1 sinon.

En 3D, on calcule G_{pmax} sur chaque tranche, puis on détermine quelle tranche maximise G_{pmax}.

La table *tab* produite par POST_GP contient l'évolution des K_j, G_j (j=1 au nombre de couronnes du champ theta), Kmoy, Gmoy et G_{pmax} en fonction du temps.

En 3D, G est calculé aux nœuds du fond de fissure alors que G_{pmax} est calculé par tranche. Pour obtenir une table résultat contenant l'ensemble des grandeurs, on utilise la convention suivante : pour chaque élément, on transfère G_{pmax} au 1er nœud sommet de l'élément et au nœud milieu (dans le cas d'un maillage quadratique) sauf pour la dernière tranche où on transfère également au dernier nœud sommet. On ajoute une colonne NUME_TRANCHE pour indiquer sur quelle tranche a été calculé le G_{pmax}.

Les résultats de l'identification ou de la prédiction sont fournis via le mot-clé TABL_RESU.

4 Opérandes

POST_GP est une macro-commande et donc appelle en interne d'autres commandes de Code_Aster. La plupart des mots-clés sont transmis tels quels aux autres commandes. On indiquera par la suite dans quelle(s) commande(s) sont utilisés les mots-clés.

4.1 Opérande RESULTAT

Désigne le résultat du calcul thermo-mécanique pour lequel on calcule le paramètre Gp.
Utilisé par CALC_G et POST_ELEM.

4.2 Opérande RESU_THER

Désigne le résultat du calcul thermique le cas échéant. Il est utilisé pour extraire la température en fond d'entaille.

En l'absence de ce mot-clé, on utilise la température fournie au mot-clé TEMP de IDENTIFICATION ou PREDICTION.

En IDENTIFICATION on boucle sur les différentes températures fournies derrière TEMP et pour chacun des Kjc associé on en déduit un Gp critique.

En PREDICTION la liste (GP_CRIT, TEMP) et la température en fond d'entaille issue de RESU_THER permettent de déterminer le bon instant critique.

Remarque : le lien entre RESU_THER et RESU_MECA se fait sur NUME_ORDRE et pas sur INST.

4.3 Opérande MODELE

Désigne le modèle utilisé lors du calcul mécanique.
Utilisé par CALC_THETA et par POST_ELEM.

4.4 Opérande EXCIT

Désigne le chargement utilisé lors du calcul mécanique.
Utilisé par CALC_G et la liste des charges est fournie à POST_ELEM.

4.5 Opérande COMP_ELAS

Désigne la relation de comportement utilisée lors du calcul mécanique.
Utilisé par CALC_G.

4.6 Opérande SYME_CHAR

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

Indique si le chargement est symétrique ou antisymétrique dans le cas où on ne modélise que la moitié du solide par rapport à la fissure. Dans ce cas, un facteur multiplicatif de 2 apparaît dans le calcul de Gp.

Utilisé également par CALC_G.

4.7 Opérandes THETA_2D, THETA_3D, FOND_FISS, NB_TRANCHES et DIRECTION

On utilise THETA_2D ou THETA_3D suivant qu'on travaille en 2D ou en 3D.

```
♦ THETA_2D = _F( ♦ GROUP_NO = fond_entaille, ...),  
  
♦ THETA_3D = _F( ♦ GROUP_MA = fond_entaille, ...),
```

En 2D, les mots-clés DIRECTION, THETA_2D et FOND_FISS sont utilisés par CALC_THETA pour créer le champ theta. Le groupe fond_entaille désigne le nœud du fond d'entaille (dont on récupèrera l'évolution de température).

En 3D :

- on utilise l'opérande THETA_3D ;
- il est nécessaire d'avoir défini au préalable un fond de fissure via la commande DEFI_FOND_FISS ;
- le mot-clé NB_TRANCHES permet de définir le nombre de tranches du maillage (nombre d'éléments suivant son axe d'extrusion) ;
- le groupe fond_entaille désigne les segments du fond d'entaille. Il s'agit en général du groupe de mailles ayant servi à la construction du fond de fissure dans DEFI_FOND_FISS ;
- le mot-clé DIRECTION est facultatif. Par défaut, la direction est calculée dans CALC_G comme le produit vectoriel de la direction du fond de fissure par sa normale définie dans DEFI_FOND_FISS .

4.8 Opérandes GROUP_MA, PAS_ENTAILLE et LIST_EP_COPEAUX

Ces mots-clés définissent les groupes de maille composant les copeaux.

Exemple :

```
GROUP_MA = ('COPS_1', 'COPS_2', 'COPS_3', 'COPS_4', 'COPS_5', ...)
```

L'ordre des copeaux est important : le premier copeau ('COPS_1' dans l'exemple) est au niveau du fond d'entaille.

Si le pas d'épaisseur est constant, on indique dans PAS_ENTAILLE l'épaisseur de chaque copeau.

Dans le cas où l'épaisseur est différente, on indique dans LIST_EP_COPEAUX, la liste des épaisseurs des groupes de mailles correspondant à ceux définis dans GROUP_MA.

Exemple :

```
LIST_EP_COPEAUX = (EP_COPS_1, EP_COPS_2, EP_COPS_3, EP_COPS_4,  
EP_COPS_5, ...)
```

où le réel EP_COPS_i est l'épaisseur du groupe de mailles COPS_i fournie par la procédure de maillage.

En 3D, la liste des épaisseurs des groupes de mailles des copeaux doit également être donnée dans l'ordre de la liste des groupes de mailles de copeaux. Il s'agit de l'épaisseur dans la direction donnée dans le mot-clé DIRECTION ou déterminé par produit vectoriel (cf § 4.7)

Exemple, dans le cas de 2 tranches, avec Ti_Cj correspondant à la tranche i et au j-ième copeau (tel que défini au § 3) :

```
GROUP_MA = ('T1_C1', 'T1_C2', ..., 'T1_Cn', 'T2_C1', 'T2_C2', ...,  
'T2_Cn')  
LIST_EP_COPEAUX = (EP_T1_C1, EP_T1_C2, ..., EP_T1_Cn, EP_T2_C1,  
EP_T2_C2, ..., EP_T2_Cn)
```

4.9 Opérande CRIT_MAXI_GP

◇ CRIT_MAXI_GP = / 'ABSOLU' [DEFAULT]
/ 'RELATIF'

Désigne le critère utilisé pour extraire la valeur maximale de Gp :

- ABSOLU : Gp = valeur maximale de long de l'entaille
- RELATIF : Gp = dernier pic atteint le long de l'entaille

4.10 Opérande RAYON_AXIS

◇ RAYON_AXIS = R

Désigne la valeur du rayon utilisé dans la formule d'Irwin (en déformations planes) :

$$K_J = \sqrt{\frac{G \cdot E}{R \cdot (1 - \nu^2)}}$$

4.11 Opérande TABL_RESU

◇ TABL_RESU = CO('tablresu'),

tablresu est le nom dans le fichier de commandes de la table des résultats de l'identification ou de la prédiction.

Le contenu de la table est détaillé ci-après en fonction du type d'analyse.

4.12 Mot-clé TRAC_COMP

◇ TRAC_COMP = 'OUI'

Cette option permet de prendre en compte la compression dans le calcul de l'énergie : pour chaque copeau, l'énergie dans chaque élément est signée par la trace de la contrainte (+ si traction, - si compression) et la sommation dans le copeau se fait avec les énergies signées. Si le résultat est positif, il est inchangé, s'il est négatif, il est mis à zéro.

En l'absence de cette option, on utilise POST_ELEM pour calculer l'énergie élastique de la liste des copeaux.

Le calcul est plus long lorsque cette option est activée.

4.13 Mot-clé IDENTIFICATION

◆ KJ_CRIT = kj_crit
◆ TEMP = temp

On renseigne avec ses deux mots-clés N couples (kj_crit, temp), valeur de K_J critique à la température donnée.

Pour chaque couple (kj_crit, temp) :

- on récupère le module d'Young et le coefficient de Poisson dans le matériau fourni au mot-clé MATER dont les valeurs permettent de calculer les valeurs des K_i (i étant l'indice de la couronne du champ theta) à partir des G_i
- on calcule les moyennes Kmoy, Gmoy.
- détermination de Gp critique :
 - en 2D : on cherche à quel instant Kmoy a atteint la valeur kj_crit, ce qui permet de trouver la valeur Gp critique = Gpmax à cet instant.
- en 3D : on cherche à quel instant et à quel nœud sommet Kmoy a atteint la valeur kj_crit, ce qui permet de trouver la valeur Gp critique = Gpmax à cet instant, en considérant la tranche adjacente où le Gp est le plus grand.

La table des résultats est composée de ces colonnes :

KJ_CRIT, INST, GPMAX, KGPMAX, DELTALMAX

Auxquelles s'ajoute la colonne NUME_TRANCHE en 3D :

KJ_CRIT, INST, GPMAX, KGPMAX, DELTALMAX, NUME_TRANCHE

4.14 Mot-clé PREDICTION

- ♦ GP_CRIT = gp_crit
- ♦ TEMP = temp

On renseigne avec ses deux mots-clés N couples (gp_crit, temp), variation de Gp critique en fonction de la température.

En 2D : pour chaque instant du transitoire, on peut ainsi évaluer Gp critique à la température du fond d'entaille et le comparer au Gpmax obtenu.

En 3D : pour chaque instant du transitoire et pour chaque tranche du front d'entaille, on peut évaluer Gp critique à la température du fond d'entaille et le comparer au Gpmax obtenu.

La table des résultats est composée de ces colonnes :

NUME_ORDRE, INST, TEMP, DELTALMAX, GPMAX, GP_CRIT, PREDICTION

Auxquelles s'ajoute la colonne NUME_TRANCHE en 3D :

NUME_ORDRE, INST, TEMP, DELTALMAX, GPMAX, GP_CRIT, NUME_TRANCHE ,
PREDICTION

La colonne PREDICTION vaut 0 tant que Gpmax est inférieur au Gp critique, 1 quand Gpmax dépasse Gp critique.

5 Exemple d'utilisation

On trouvera des exemples et conseils d'utilisation dans le document [U2.05.01] dans le test 2D ssnp131 [V6.03.131] et dans le test 3D ssnv207 [V6.04.207]