Macro-commande CALC_GP

1 But

L'objet de cette macro-commande est de calculer, en post-traitement d'un calcul de mécanique non linéaire élasto-plastique, le paramètre de mécanique de la rupture énergétique appelé G_P. L'approche énergétique basée sur ce critère est détaillée dans le document [R7.02.16].

Cette macro-commande est utilisable en 2D et 3D.
En 2D, elle permet d'utiliser l'approche avec un maillage spécifique dédié à l'approche (présences de groupes d'éléments formant des zones particulières appelées copeaux) ou un maillage libre suffisamment fin dans lequel les zones sont construites par la macro-commande. Il est important de signaler qu'à
En 3D, seul un maillage spécifique dédié à l'approche comprenant des groupes d'éléments formant des tranches de plusieurs copeaux est utilisable.

La macro-commande retourne une table contenant, pour chaque instant de calcul demandé :

- le nom de la zone de calcul (copeau) ZONE
- l'énergie élastique modifiée ou non dans la zone (ENER_ELTR pour maillage copeaux ou ENER_ELAS pour un maillage libre) ,
- la longueur de la zone (ou surface en 3D) DELTA_L
- le paramètre GP
- un indicateur précisant le lieu du maximum par instant MAX_INST
-

L'utilisateur peut également demander une table restreinte dans laquelle seules les lignes correspondant au maximum par instant sont données. Dans le cas où l'utilisateur aurait utilisé la construction automatique des zones de copeaux, il peut demander à obtenir en sortie un champ permettant de visualiser les zones et vérifier leur bonne définition.

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

2 Syntaxe

```
tab[table]   = CALC_GP(
   ♦ RESULTAT    =    resumeca,                          [resultat]

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



   ◊ GPMAX       =    CO('TABGPMAX')                     [CO]

   #Pour le cas 2D :
   ◊ TRANCHE_2D  =_F(
         ♦ ZONE_MAIL       = /'NON'
                           = /'OUI'


   #Si ZONE_MAIL = 'OUI' :
         ♦ GROUP_MA        = l_group                    [l_group_ma]
         ♦ TAILLE          = l_taille                   [l_R]


   #Si ZONE_MAIL = 'NON' :
         ♦ TAILLE          = l_c                        [R]
         ♦ CENTRE          = centre                     [R,R,R]
         ♦ RAYON           = R                          [R]
         ♦ ANGLE           = θ                          [R]
         ♦ NB_ZONE         = n                          [I]
         ◊ CHAMP_VISU= CO('CHAMP')                      [CO]
                     )

   #Pour le cas 3D :
   ◊ TRANCHE_3D  =_F(
          ♦ GROUP_MA       = l_group                    [l_group_ma]
                     )
   #Si TRANCHE_2D :
   ♦ SYME        =    /'OUI'
                      /'NON'
   #Si TRANCHE_3D :
   ♦ FOND_FISS   =    fond                               [fond]
                      )
```

3 Modèle de rupture élasto-plastique énergétique Gp

Le modèle énergétique de prédiction de la rupture en élasto-plasticité est décrit plus en détail dans la documentation de référence [R7.02.16].

Le but de ce modèle est d'estimer le chargement critique d'amorçage de clivage dans une structure élasto-plastique ; il représente donc une alternative déterministe aux modèles basés sur les niveaux de contrainte principale que sont Beremin ou Bordet (également disponibles dans *Code_Aster*).

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

Le modèle se base sur une représentation du défaut par une entaille ; le principe de minimisation de l'énergie potentielle de la structure par rapport à l'avancée de défaut uniquement permet au final d'aboutir à un critère sur l'énergie élastique moyenne présente dans des zones particulières $C(l)$ en aval de l'entaille et appelées communément copeaux. La Figure 3-1 présente une définition de ces zones, qui se mesurent donc depuis le fond de l'entaille jusqu'à une distance l ; L_C représente ici le diamètre de l'entaille.

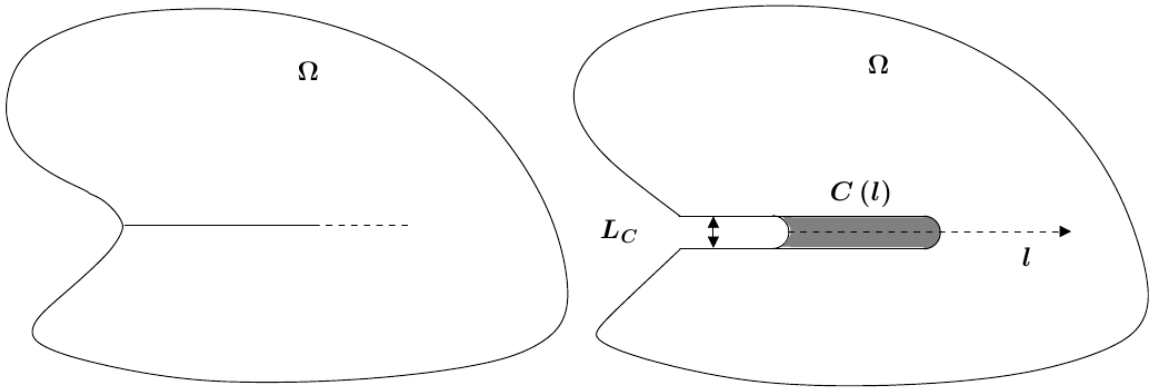


Figure 3-1 - Définition de la zone d'intérêt.

Le critère de clivage s'écrit alors :

$$(\exists l>0)\tilde{G}_P(l)\geqslant G_{PC} \text{ avec } \tilde{G}_P(l)=\frac{\int_{C(l)}\Phi_{el}^{traction}d\Omega}{l},$$

où $\Phi_{el}^{traction}=\frac{\lambda}{2}H(tr(\epsilon))tr(\epsilon)^2+\mu\sum_{i=1}^{3}H(\epsilon_i)\epsilon_i^2$, H représente la fonction Heaviside, ϵ représente le tenseur des déformations élastiques, ϵ_i représente les déformations élastique principales.et G_{PC} est un paramètre matériau à déterminer. En 3D, la distance l est remplacée par la surface du copeau dans le plan de propagation de l'entaille.

Afin de réaliser le calcul de l'énergie élastique dans ces zones appelées copeaux, deux solutions existent en 2D :

- avoir défini ces zones dans le maillage $\Phi_{el}^{traction}=\frac{\lambda}{2}H(tr(\epsilon))tr(\epsilon)^2+\mu\sum_{i=1}^{3}H(\epsilon_i)\epsilon_i^2$
- définir ces zones a posteriori dans le maillage libre $\Phi_{el}=\frac{1}{2}\sigma A^{-1}\sigma$

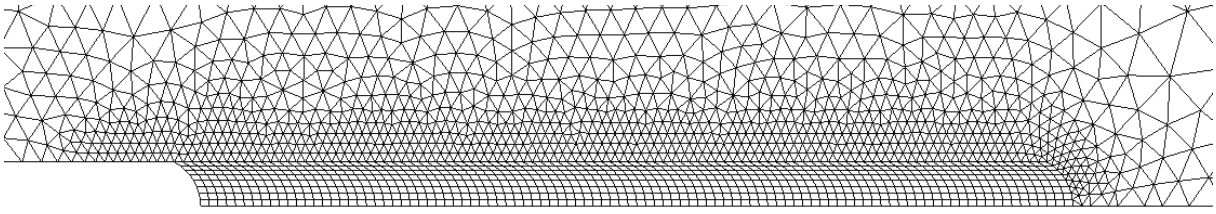


Figure 3-2 - Maillage classique avec définition des copeaux.

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

Dans le premier cas, la Figure 3-2 présente une vue du maillage à utiliser. Ce maillage comporte 95 copeaux de petite taille (maillé chacun par par 8 éléments finis quadrangulaires), puis une zone de déraffinement. A chaque copeau doit alors être associé un groupe de mailles.

Dans le deuxième cas, la Figure 3-3 présente une possibilité de maillage autour de l'entaille. Ce maillage doit être suffisamment fin dans cette zone afin de permettre un calcul fiable du paramètre de la méthode énergétique.

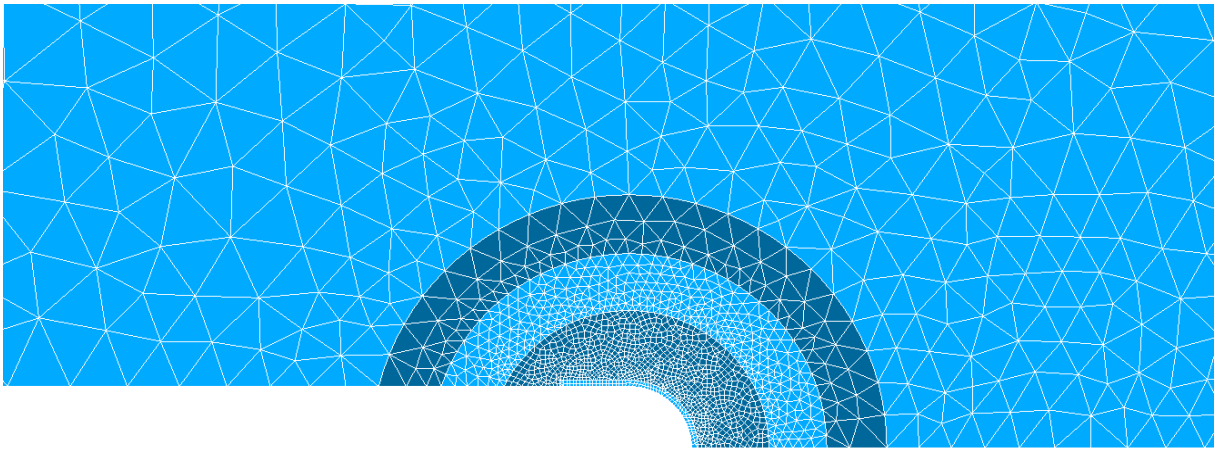


Figure 3-3 - Maillage libre sans définition des copeaux.

En 3D, on introduit la notion de tranche, chaque tranche contenant plusieurs copeaux. Les tranches se succèdent en longeant le front de défaut, qui est une ligne. En 2D, il n'y a qu'une tranche, le fond de défaut étant ramené à 1 point. On définit les copeaux de la 1ère tranche de la même manière qu'en 2D, à la différence que les mailles sont volumiques et sont obligatoirement hexaédriques ; on poursuit la liste en ajoutant les copeaux de la 2ème tranche de la même manière ; on obtient au final une liste de $nb_{copeaux} \times nb_{tranches}$ groupes de mailles.

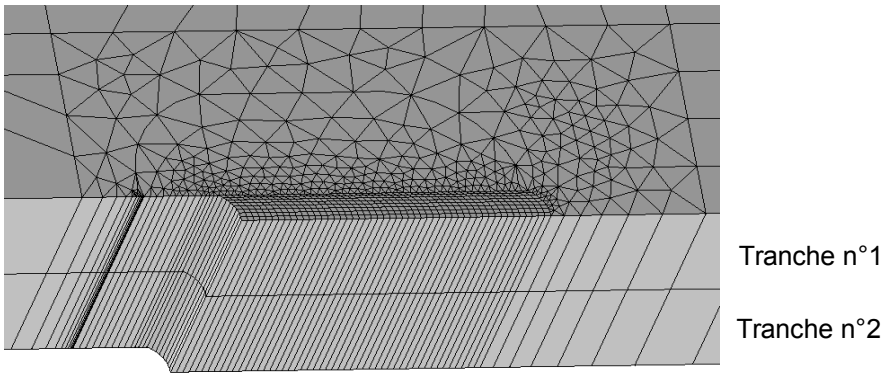


Figure 3-4 Définition des tranches

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

4 Opérandes

CALC_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

♦ RESULTAT = resumeca, [resultat]

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

4.2 Opérande LIST_INST

♦ LIST_INST = instant, [l_R]

Liste d'instants auxquels le paramètre sera calculé.

Attention : les grandeurs à partir desquelles le paramètre G_P est calculé étant non linéaires, aucune extrapolation temporelle n'est permise ; si un instant est spécifié, celui-ci doit faire partie de la liste d'instants d'archivage du calcul thermomécanique.

Utilisé par POST_ELEM, CREA_CHAMP et CALC_CHAMP .

4.3 Opérande PRECISION

◊ PRECISION = /prec, [R]
/1E-6 [DEFAUT]

Précision à laquelle la liste d'instants doit être considérée.

4.4 Opérande CRITERE

◊ CRITERE = /'ABSOLU' [DEFAUT]
/'RELATIF'

Désigne le type de précision pour la détermination de la liste d'instants.

4.5 Opérande GP_MAX

◊ GPMAX = CO('TABGPMAX') [CO]

Indique si l'utilisateur souhaite obtenir en résultat une seconde table, restriction de la table complète obligatoire ne contenant que la ligne du lieu du maximum du paramètre G_P pour chaque instant de calcul.

4.6 Opérande TRANCHE_2D

◊ TRANCHE_2D =_F(

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

```
      ♦ ZONE_MAIL       = /'NON'
                        = /'OUI'


#Si ZONE_MAIL = 'OUI' :
      ♦ GROUP_MA        = l_group                    [l_group_ma]
      ♦ TAILLE          = l_taille                   [l_R]


#Si ZONE_MAIL = 'NON' :
      ♦ TAILLE          = taille                     [R]
      ♦ CENTRE          = centre                     [R,R,R]
      ♦ RAYON           = R                          [R]
      ♦ ANGLE           = θ                          [R]
      ♦ NB_ZONE         = n                          [I]
      ◊ CHAMP_VISU      = CO('CHAMP')                [CO]
```

Désigne l'ensemble des paramètres géométriques nécessaires au calcul du paramètre énergétique.

4.6.1 Mot clé ZONE_MAIL

```
      ♦ ZONE_MAIL       = /'NON'
                        = /'OUI'
```

Indique si le maillage représente la géométrie des zones de copeaux.
Si 'OUI', on se trouve dans le cas d'un maillage tel que sur la Figure 3-2.

4.6.2 Cas ZONE_MAIL = 'OUI'

4.6.2.1 Mot clé GROUP_MA

```
   ♦ GROUP_MA        = l_group                    [l_group_ma]
```

Liste des groupes de mailles sur lesquels les calculs seront effectués. Chaque groupe de mailles doit correspondre à une zone de copeaux.

Utilisé par POST_ELEM.

4.6.2.2 Mot clé TAILLE

```
   ♦ TAILLE          = l_taille                   [l_R]
```

Liste de tailles des zones. Cette liste doit être de la même taille que la liste des groupes de maille.

4.6.3 Cas ZONE_MAIL = 'NON'

Dans ce cas, une zone géométrique de calcul est construite par la macro. Les paramètres suivants permettent de la définir. La Figure 4-1 présente les paramètres de définition de ces zones ; elle représente une entaille de centre C_{ent}, de rayon R ; la troisième zone $C_3(l)$ de longueur $3\times l_C$ est hachurée.

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

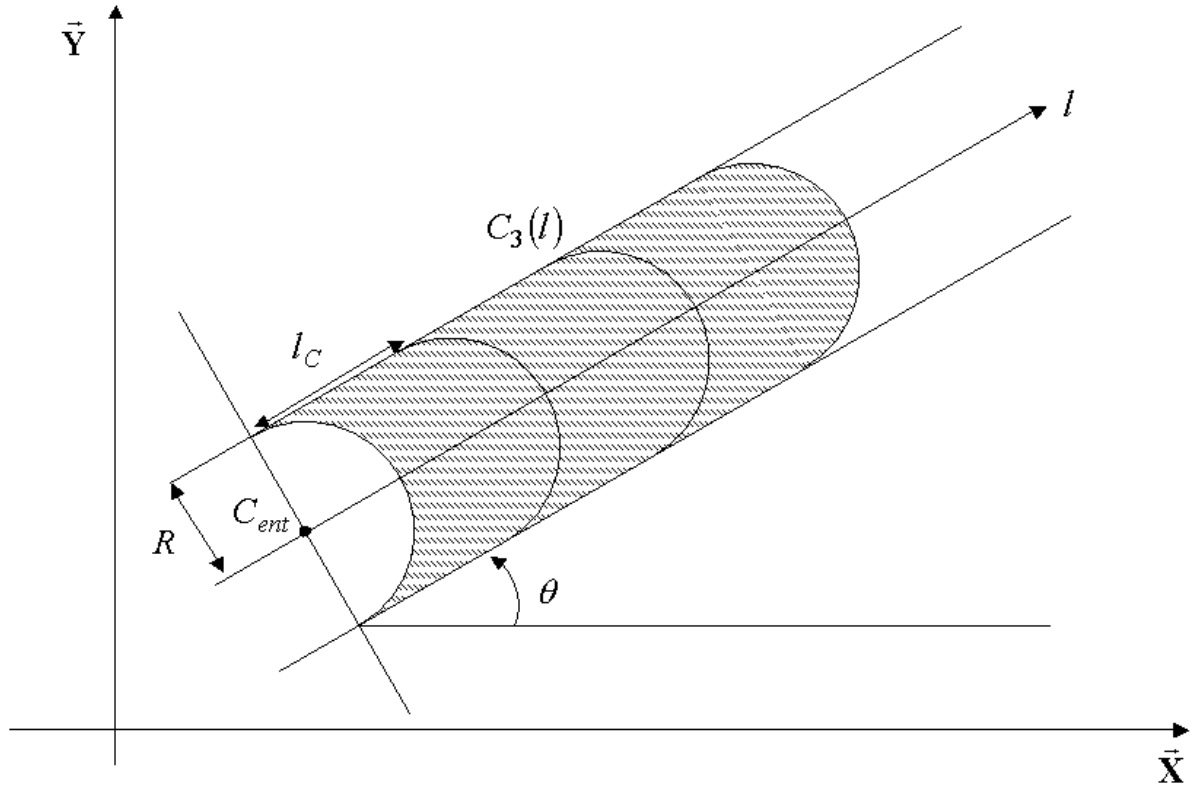


Figure 4-1 - Définition géométrique des zones dans le cas non maillé.

4.6.3.1 Mot clé **TAILLE**

♦ TAILLE = l_C [R]

Incrément de la taille des zones. La zone n est donc de taille n* l_C .

Utilisé par FORMULE.

4.6.3.2 Mot clé **CENTRE**

♦ CENTRE = centre [R,R,R]

Désigne les coordonnées du centre de l'entaille C_{ent} dans le repère global.

Utilisé par FORMULE.

4.6.3.3 Mot clé **RAYON**

♦ RAYON = R [R]

Désigne le rayon de l'entaille.

Utilisé par FORMULE.

4.6.3.4 Mot clé **ANGLE**

♦ ANGLE = θ [R]

Désigne l'angle formé entre la direction de l'entaille et l'axe $\vec{X}$ du repère global.
L'angle doit être donné en degrés et mesuré dans le sens trigonométrique.

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

Utilisé par FORMULE

4.6.3.5 Mot clé NB_ZONE

♦ NB_ZONE = n [I]

Désigne le nombre de zones (copeaux) considérées dans le calcul.

4.6.3.6 Mot clé CHAMP_VISU

◊ CHAMP_VISU = CO('CHAMP') [CO]

Si l'utilisateur le souhaite, il peut demander la sortie d'un champ aux points de Gauss représentant les copeaux. La valeur de ce champ est 1 dans la zone de copeau et 0 ailleurs. La Figure 4-2 présente une visualisation de ce champ pour le maillage présenté de Figure 3-3.

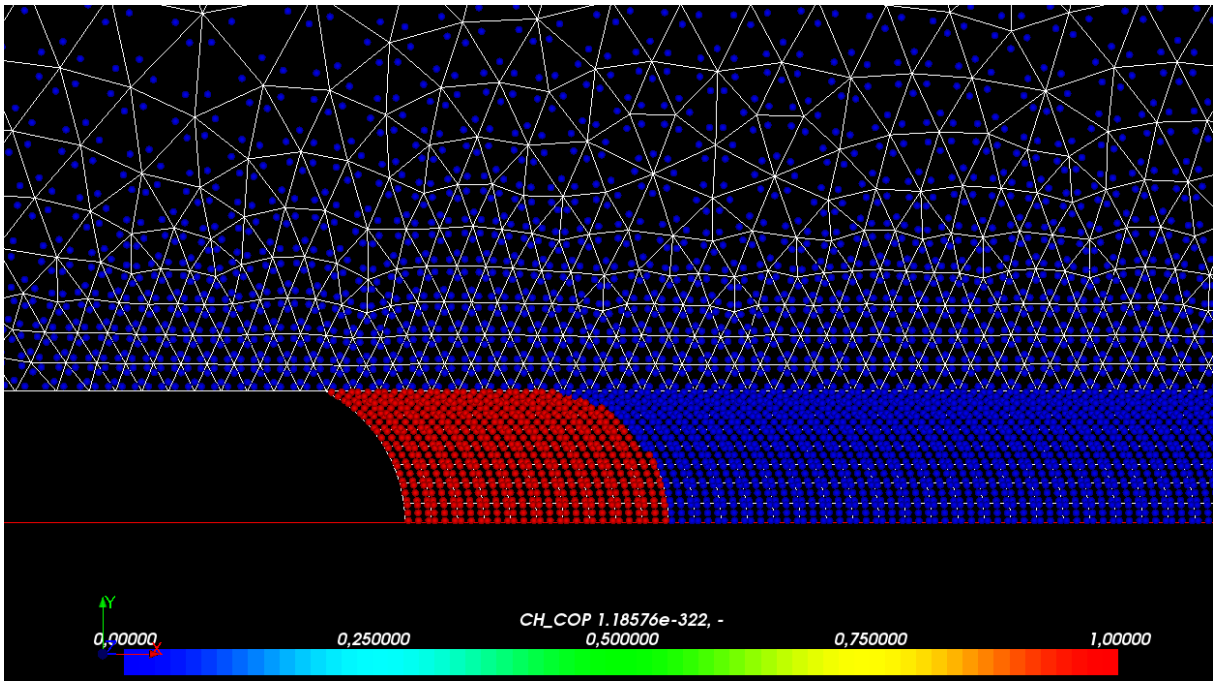


Figure 4-2 - Champ de visualisation des copeaux.

4.7 Opérande TRANCHE_3D

◊ TRANCHE_3D =_F(
♦ GROUP_MA = l_group [l_group_ma]
)

4.7.1 Mot clé GROUP_MA

♦ GROUP_MA = l_group [l_group_ma]

Liste des groupes de mailles sur lesquels les calculs seront effectués.
Chaque groupe de mailles doit correspondre à une zone de copeaux.
Chaque liste de groupe de mailles correspond à une tranche donnée ; les groupes de mailles à l'intéreur de chaque liste doivent correspondre aux copeaux et être ordonné du plus proche du fond de défaut au plus éloigné.

Utilisé par POST_ELEM.

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

4.8 Opérande SYME

```
#Dans le cas 2D
♦ SYME        =    /'OUI'
                   /'NON'
```

Renseigne si une symétrie de la structure par rapport à l'entaille a permis de ne réaliser un maillage que de la moitié de la structure. Sur les figures 3-2 et 3-3, seule la partie de la structure supérieure à l'entaille est définie ; dans ce cas, l'utilisateur renseignera SYME='OUI' et le résultat indiqué dans la table tiendra compte de la symétrie (multiplié par deux).

4.9 Opérande FOND_FISS

```
#Si TRANCHE_3D :
♦ FOND_FISS   =    fond                                    [fond]
```

En 3D, l'utilisateur doit préalablement définir un fond de fissure, à lèvre décollée (puisque le défaut est représenté par une entaille).
Ce fond de fissure permet notamment le calcul des surfaces (dénominateur du calcul de G_p).

5 Exemples d'utilisation

On trouvera des exemples dans les cas test SSNV218a, SSNP131a et SSNP131b.

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