

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées**  
**Document : U4.81.22**

## Opérateur *POST\_ELEM*

---

### 1 But

---

Calculer des quantités sur tout ou partie de la structure. Les quantités calculées correspondent à des options de calcul particulières de la modélisation affectée.

Les options disponibles actuellement sont :

- calcul de la masse, des inerties et de la position du centre de gravité,
- calcul de l'énergie potentielle,
- calcul de l'énergie cinétique,
- calcul du travail des efforts extérieurs,
- calcul des indicateurs de perte de proportionnalité du chargement en élastoplasticité,
- calcul de la charge limite,
- calcul de la contrainte de Weibull,
- calcul du taux de croissance d'une cavité sphérique (Rice - Tracey),
- calcul de l'énergie élastique et de l'énergie totale,
- calcul de l'aire d'un trou dans un maillage 2D.
- calcul de l'intégrale et de la moyenne d'un champ.

Le concept retourné est une `table`.

## 2 Syntaxe

```
[table] = POST_ELEM (
# mot-clés simples
    ◇ MODELE = mo, [modele]
    ◇ CHAM_MATER = chmater, [cham_mater]
    ◇ CARA_ELEM = carac, [cara_elem]
    ◇ CHARGE = lcha, / [l_char_meca]
    / [l_char_ther]
    / [l_char_acou]

    ◇ | NUME_COUCHE = / nume, [I]
    / 1, [DEFAULT]
    | NIVE_COUCHE = / 'INF',
    / 'SUP',
    / 'MOY', [DEFAULT]

    ◇ MODE_FOURIER = / nh, [I]
    / 0, [DEFAULT]

    ◇ GEOMETRIE = / 'DEFORMEE',
    / 'INITIALE', [DEFAULT]

    ◆ / CHAM_GD = cham, / [cham_no_DEPL_R]
    / [cham_no_TEMP_R]
    / [cham_elem_ENER_R]

    / RESULTAT = resu, / [evol_elas]
    / [evol_noli]
    / [evol_ther]
    / [mult_elas]
    / [fourier_elas]
    / [mode_meca]
    / [dyna_trans]

    ◇ / TOUT_ORDRE = 'OUI',
    / NUME_ORDRE = l_nuor, [l_I]
    / LIST_ORDRE = l_ordr, [listis]
    / NUME_MODE = l_numo, [l_I]
    / NOEUD_CMP = l_nomo, [l_Kn]
    / NOM_CAS = l_nocas, [l_Kn]
    / / FREQ = l_freq, [l_R]
    / LIST_FREQ = lreel, [listr8]
    / / INST = l_inst, [l_R]
    / LIST_INST = lreel, [listr8]

    ◇ | PRECISION = / prec, [R]
    / 1.0D-3, [DEFAULT]
    | CRITERE = / 'RELATIF', [DEFAULT]
    / 'ABSOLU',

# mots-clés facteur
    | MASS_INER : ( voir mot-clé MASS_INER [§ 3.9] )
    | ENER_POT : ( voir mot-clé ENER_POT [§ 3.10] )
    | ENER_CIN : ( voir mot-clé ENER_CIN [§ 3.11] )
    | ENER_ELAS : ( voir mot-clé ENER_ELAS [§ 3.12] )
    | ENER_TOTALE : ( voir mot-clé ENER_TOTALE [§ 3.13] )
    | WEIBULL : ( voir mot-clé WEIBULL [§ 3.14] )
    | RICE_TRACEY : ( voir mot-clé RICE_TRACEY [§ 3.15] )
    | INDIC_ENER : ( voir mot-clé INDIC_ENER [§ 3.16] )
    | INDIC_SEUIL : ( voir mot-clé INDIC_SEUIL [§ 3.17] )
    | CHAR_LIMITE : ( voir mot-clé CHAR_LIMITE [§ 3.18] )
    | CARA_GEOM : ( voir mot-clé CARA_GEOM [§ 3.19] )
    | CARA_POUTRE : ( voir mot-clé CARA_POUTRE [§ 3.20] )
    | AIRE_INTERNE : ( voir mot-clé AIRE_INTERNE [§ 3.21] )
    | TRAV_EXT : ( voir mot-clé TRAV_EXT [§ 3.22] )
    | INTEGRALE : ( voir mot-clé INTEGRALE [§ 3.23] )
```

Titre :       Opérateur *POST\_ELEM*  
Auteur(s) :   **X. DESROCHES**

Date :       04/06/07  
Clé :    U4.81.22-G   Page :   3/28

```
◇ INFO =      / 1,  
              / 2,  
  
◇ TITRE = ti,  
  
      )
```

[DEFAULT]

## 3 Opérandes

Les opérandes `MODELE`, `CHAM_MATER`, `CARA_ELEM` et `CHARGE` sont facultatifs si `RESULTAT` est renseigné, obligatoires si c'est `CHAM_GD` qui est donné.

### 3.1 Opérande `MODELE`

◇ `MODELE = mo,`

Nom du modèle sur lequel est calculée l'option. Le nom du modèle est optionnel car il est contenu dans la structure de données `resultat`.

### 3.2 Opérande `CHAM_MATER`

◇ `CHAM_MATER = chmater,`

Champ de matériau associé au modèle `mo`, optionnel car contenu dans la structure de données `resultat`.

### 3.3 Opérande `CARA_ELEM`

◇ `CARA_ELEM = carac,`

Les caractéristiques élémentaires `carac` sont nécessaires s'il existe dans le modèle des éléments de structure (poutre, plaque, coque ou éléments discrets), optionnel car contenu dans la structure de données `resultat`.

### 3.4 Opérande `CHARGE`

◇ `CHARGE = lcha,`

Liste contenant les concepts de type `charge`, optimal car contenu dans la structure de données `resultat`.

### 3.5 Opérandes `NUME_COUCHE` / `NIVE_COUCHE`

◇ `NUME_COUCHE = nume,`

Dans le cas d'un matériau multicouche, valeur entière comprise entre 1 et le nombre de couches, nécessaire pour préciser la couche où l'on désire effectuer le calcul élémentaire. Par convention, la couche 1 est la couche **inférieure** (selon la normale à l'élément) dans le cas des éléments de coque mécanique ou de coque thermique.

◇ `NIVE_COUCHE =`

Pour la couche `nume` définie par `NUME_COUCHE`, permet de préciser l'ordonnée où l'on désire effectuer le calcul élémentaire :

'INF'	ordonnée inférieure de la couche	(peau interne),
'SUP'	ordonnée supérieure de la couche	(peau externe),
'MOY'	ordonnée moyenne de la couche	(feuillet moyen par défaut).

### 3.6 Opérande `MODE_FOURIER`

◇ `MODE_FOURIER =`

Numéro de l'harmonique de `FOURIER` : entier positif ou nul (défaut = 0).

### 3.7 Opérande GEOMETRIE

```

◇ GEOMETRIE =      /      ' INITIALE ' ,      [ DEFAULT ]
                  /      ' DEFORMEE ' ,

```

Indique si on travaille sur la géométrie initiale ou sur la déformée. Dans ce dernier cas, il faut fournir un champ de déplacements par CHAM\_GD ou RESULTAT.

### 3.8 Opérandes CHAM\_GD / RESULTAT

Les options ENER\_POT et ENER\_CIN sont calculées à partir d'un champ aux nœuds ou par éléments existant ou extrait d'un resultat.

### 3.8.1 Opérande CHAM\_GD

◆ / CHAM\_GD = cham,

Nom d'un champ (pour les options ENER\_POT et ENER\_CIN).

Pour l'option `ENER_POT`, il faut fournir un champ de déplacement ou un champ de température (voir [§3.9]).

Pour l'option `ENER_CIN`, il faut fournir un champ de vitesse (sans fournir de fréquence) ou bien un champ de déplacements et une fréquence (voir [§3.9]).

### 3.8.2 Opérande RESULTAT

```

/ RESULTAT = resu,

```

Nom d'un concept résultat de type `evol_elas`, `evol_ther`, `mode_meca`, `evol_noli`, `mult_elas`, `fourier_elas` ou `dyna_trans`.

Option ENER\_POT:   evol\_elas, evol\_ther, mode\_meca, mult\_elas , fourrier elas  
                          evol\_noli, ou dyna\_trans.

Option ENER\_CIN: mode\_meca, evol\_elas, evol\_ther, evol\_noli, ou  
dyna trans.

Option ENER\_ELAS et ENER\_TOTALE : evol\_noli.

### 3.8.2.1 Opérands TOUT\_ORDRE / NUME\_ORDRE / NUME\_MODE / LIST\_ORDRE / NOEUD\_CMP / FREQ / LIST FREQ / INST / LIST INST / PRECISION / CRITERE

Voir [U4.71.00].

## 3.9 Mot clé MASS\_INER

### 3.9.1 But

Mot clé facteur permettant de calculer la masse, les inerties et le centre de gravité.

Cette option permet le calcul sur chaque élément des caractéristiques suivantes :

( $\rho$  désignant la masse volumique définie dans DEFI\_MATERIAU [U4.43.01] par ELAS ou ELAS\_FO).

$$\text{Masse : } \mathbf{m} = \int_V \rho dV$$

$$\text{Centre de gravité : } \mathbf{x}_G = \frac{1}{V} \int_V \mathbf{x} \rho dV ; \mathbf{y}_G = \frac{1}{V} \int_V \mathbf{y} \rho dV ; \mathbf{z}_G = \frac{1}{V} \int_V \mathbf{z} \rho dV$$

Tenseur d'inertie au centre de gravité G dans le repère 'global' de description du maillage :

$$\mathbf{I}_{xx}(\mathbf{G}) = \int_V ((y - y_G)^2 + (z - z_G)^2) \rho dV \quad \mathbf{I}_{xy}(\mathbf{G}) = \int_V (x - x_G)(y - y_G) \rho dV$$

$$\mathbf{I}_{yy}(\mathbf{G}) = \int_V ((x - x_G)^2 + (z - z_G)^2) \rho dV \quad \mathbf{I}_{yz}(\mathbf{G}) = \int_V (y - y_G)(z - z_G) \rho dV$$

$$\mathbf{I}_{zz}(\mathbf{G}) = \int_V ((x - x_G)^2 + (y - y_G)^2) \rho dV \quad \mathbf{I}_{xz}(\mathbf{G}) = \int_V (x - x_G)(z - z_G) \rho dV$$

Puis calcule par "sommutation" les quantités relatives à la structure globale.

### 3.9.2 Syntaxe

```
|  MASS_INER =_F (
|
|  ♦ / TOUT      = 'OUI',
|    / MAILLE   = l_maille,                [l_maille]
|    / GROUP_MA= lgrma,                    [l_gr_maille]
|  ♦ ORIG_INER= (xp, yp [,zp]),            [l_R]
|    ),
```

#### Mots-clés simples : (voir [§2])

```
♦ MODELE = mo,                                [modele]
♦ CHAM_MATER = chmater,                       [cham_mater]
♦ CARA_ELEM =      carac,                     [cara_elem]
♦ |  NUME_COUCHE =
♦ |  NIVE_COUCHE =
♦ MODE_FOURIER =
♦ ♦ GEOMETRIE    =
♦   / CHAM_GD =
♦   / RESULTAT =
♦ CHARGE =                                     / [char_meca]
                                           / [char_ther]
                                           / [char_acou]
```

#### Nota

Pour le mot clé facteur MASS\_INER, le modèle et le champ de matériaux sont obligatoires si RESULTAT et CHAM\_GD sont absents.

Si on veut calculer les quantités sur une géométrie déformée, on utilisera le mot-clé GEOMETRIE et on rentrera un champ de déplacements par CHAM\_GD ou RESULTAT.

### 3.9.3 Opérandes

♦    /    TOUT        = 'OUI' ,

Sur toute la structure.

/    MAILLE = l\_maille ,

Sur une liste de mailles.

/    GROUP\_MA =    lgrma ,

Sur une liste de groupe de mailles.

◇    ORIG\_INER = (xp, yp [,zp]),                    [l\_R]

Point par rapport auquel sera calculé le tenseur d'inertie.

Le tenseur d'inertie au point  $P$  de coordonnées  $(x_p, y_p, z_p)$  s'obtient à partir du tenseur d'inertie au centre de gravité  $G$ , de la masse  $m$  de la structure et des coordonnées de  $G$  par les formules :

$$I_{xx}(P) = I_{xx}(G) + m x_{PG}^2$$

$$I_{yy}(P) = I_{yy}(G) + m y_{PG}^2$$

$$I_{zz}(P) = I_{zz}(G) + m z_{PG}^2$$

$$I_{xy}(P) = I_{xy}(G) + m x_{PG} y_{PG}$$

$$I_{xz}(P) = I_{xz}(G) + m x_{PG} z_{PG}$$

$$I_{yz}(P) = I_{yz}(G) + m y_{PG} z_{PG}$$

$$\text{avec } x_{PG} = x_G - x_P$$

$$y_{PG} = y_G - y_P$$

$$z_{PG} = z_G - z_P$$

### 3.10 Mot clé ENER\_POT

#### 3.10.1 But

Mot clé facteur permettant de calculer :

- l'énergie potentielle de déformation à l'équilibre à partir des déplacements, en mécanique linéaire des milieux continus (2D et 3D) :

$$EPOT = \frac{1}{2} \int_{\text{element}} \varepsilon(\mathbf{U}).\mathbf{A}\varepsilon(\mathbf{U})dv - \int_{\text{element}} \varepsilon(\mathbf{U}).\mathbf{A}\varepsilon^{th}(T)dv + \frac{1}{2} \int_{\text{element}} \varepsilon^{th}(T).\mathbf{A}\varepsilon^{th}(T)dv$$

où  $\mathbf{A}$  désigne le tenseur d'élasticité,

- l'énergie potentielle de déformation à l'équilibre à partir des déplacements, en mécanique linéaire pour les éléments de structures :

$$EPOT = \frac{1}{2} \mathbf{U}^T \mathbf{K}_e \mathbf{U} - \mathbf{U}^T \mathbf{B}^T \mathbf{A} \varepsilon^{th} + \frac{1}{2} \varepsilon^{th} \mathbf{A} \varepsilon^{th}$$

où  $\mathbf{K}$  désigne la matrice de rigidité

- l'énergie dissipée thermiquement à l'équilibre en thermique linéaire à partir des températures (cham\_no\_TEMP\_R) :

$$W_{th} = + \frac{1}{2} \int_{\Omega} \nabla T . \mathbf{K} . \nabla T d\Omega .$$

**Nota :**

Dans les deux premiers cas, on doit donner un champ de déplacement derrière l'opérande RESULTAT ou CHAM\_GD. Dans le dernier cas un champ de température. En toute rigueur, l'énergie potentielle d'une structure est négative. Ici on calcule plutôt une énergie de déformation.

#### 3.10.2 Syntaxe

```
| ENER_POT =_F (
|   ♦ / TOUT      = 'OUI',
|     / MAILLE    = l_maille,           [l_maille]
|     / GROUP_MA= lgrma,               [l_gr_maille]
| )
```

**Mots-clés simples : (voir [§2])**

```
♦ MODELE = mo, [modele]
♦ CHAM_MATER = chmater, [cham_mater]
♦ CARA_ELEM = carac, [cara_elem]
♦ | NUME_COUCHE =
  | NIVE_COUCHE =
♦ MODE_FOURIER =
♦ / CHAM_GD =
  / RESULTAT =
♦ CHARGE = ch, / [char_meca]
               / [char_ther]
               / [char_acou]
```

**Nota**

Pour le mot-clé facteur ENER\_POT, le modèle, le champ de matériaux et éventuellement le champ de caractéristiques d'éléments de structure sont obligatoires obligatoires (sauf si RESULTAT est fourni) pour déterminer au préalable les champs d'énergie par éléments.



## 3.10.3 Opérandes

- ♦ / TOUT = 'OUI',  
Sur toute la structure.
- / MAILLE = l\_maille,  
Sur une liste de mailles.
- / GROUP\_MA = lgrma,  
Sur une liste de groupe de mailles.

## 3.11 Mot clé ENER\_CIN

### 3.11.1 But

Mot clé facteur permettant de calculer l'énergie cinétique à partir d'un champ de vitesse ou à partir d'un champ de déplacement et d'une fréquence.

Si on a donné un champ de vitesse,  $E_C = \frac{1}{2} V^T MV$ .

Si on a donné un champ de déplacement et une fréquence,  $E_C = \frac{1}{2} \omega^2 U^T MU$ .

### 3.11.2 Syntaxe

```
| ENER_CIN =_F (
|     ◊ OPTION = / 'MASS_MECA', [DEFAULT]
|                 / 'MASS_MECA_DIAG',
|     ♦ / TOUT = 'OUI',
|       / MAILLE = l_maille, [l_maille]
|       / GROUP_MA= lgrma, [l_gr_maille]
| )
```

#### Mots-clés simples : (voir [§2])

```
◊ MODELE = mo, [modele]
◊ CHAM_MATER = chmater, [cham_mater]
◊ CARA_ELEM = carac, [cara_elem]
◊ | NUME_COUCHE =
|   NIVE_COUCHE =
◊ MODE_FOURIER =
♦ / CHAM_GD =
/ RESULTAT =
◊ CHARGE = ch, / [char_meca]
/ [char_ther]
/ [char_acou]
```

#### Nota 1

Pour le mot-clé facteur *ENER\_CIN*, le modèle, le champ de matériaux et éventuellement le champ de caractéristiques d'éléments de structure sont obligatoires (sauf si *RESULTAT* est fourni) pour déterminer au préalable les champs d'énergie par éléments.

#### Nota 2

Lorsque l'on souhaite calculer l'énergie en employant la masse diagonale (pour être en cohérence avec l'option que l'on a choisie dans le calcul élémentaire des matrices de masse), on peut préciser '*MASS\_MECA\_DIAG*' derrière le mot clef *OPTION* (non disponible en 2D). Par défaut on utilise la matrice de masse complète.

### 3.11.3 Opérandes

Titre : *Opérateur POST\_ELEM*  
 Auteur(s) : **X. DESROCHES**

Date : 04/06/07  
 Clé : U4.81.22-G Page : 10/28

- ♦ / TOUT = 'OUI',  
Sur toute la structure.
- / MAILLE = l\_maille,  
Sur une liste de mailles.
- / GROUP\_MA = lgrma,  
Sur une liste de groupe de mailles.

## 3.12 Mot clé ENER\_ELAS

### 3.12.1 But

Permet de calculer l'énergie de déformation élastique pour chaque instant  $t$  après un calcul élastique ou élastoplastique, à partir du champ de contraintes SIEF\_ELGA ou SIEF\_ELGA\_DEPL par l'expression :

$$E^e(t) = \frac{1}{2} \int_v {}^t\sigma(t) D^{-1} {}^t\sigma(t) dv$$

où  $D$  représente l'opérateur d'élasticité.

### 3.12.2 Syntaxe

```
| ENER_ELAS =_F(
|   ♦ / TOUT      = 'OUI',
|   / MAILLE     = l_maille,
|   / GROUP_MA= lgrma,
|   )
```

[l\_maille]  
[l\_gr\_maille]

#### Mots-clés simples : (voir [§2])

```
♦ MODELE = mo,
♦ CHAM_MATER = chmater,
♦ CARA_ELEM = carac,
♦ | NUME_COUCHE =
| NIVE_COUCHE =
♦ MODE_FOURIER =
♦ RESULTAT =
♦ CHARGE =
```

[modele]  
[cham\_mater]  
[cara\_elem]  
  
  
  
  
/ [char\_meca]  
/ [char\_ther]  
/ [char\_acou]

### 3.12.3 Opérandes

- ♦ / TOUT = 'OUI',  
Sur toute la structure.
- / MAILLE = l\_maille,  
Sur une liste de mailles.
- / GROUP\_MA = lgrma,  
Sur une liste de groupe de mailles.

## 3.13 Mot clé ENER\_TOTALE

### 3.13.1 But

Mot clé facteur permettant de calculer l'énergie de déformation totale pour les éléments de milieux continus 2D ou 3D.

Pour les comportements VMIS\_ISOT\_LINE ou VMIS\_ISOT\_TRAC (écrouissage isotrope), l'énergie est calculée à partir des champs de contraintes, de variables internes et du matériau :

$$E^T = E^{el} + E^P = \frac{1}{2} \int_v \sigma^T A^{-1} \sigma dv + \int_v \left\{ \int_0^P R(q) dq \right\} dv$$

$P$  étant la déformation plastique équivalente cumulée.

Avec l'option SIMO\_MIEHE, cette énergie vaut pour les deux modèles VMIS\_ISOT\_LINE ou VMIS\_ISOT\_TRAC :

$$E^T = \int_{v_0} \left( \rho_0 \psi + \int_0^t \Delta d\tau \right) dv$$

où  $\psi$  et  $\Delta$  sont respectivement l'énergie libre et le potentiel de dissipation,  $V_0$  le volume initial.

Pour plus de précision, voir [R5.03.21].

Pour les autres comportements, l'énergie est obtenue par intégration incrémentale :

$$E^T = \int_v \left\{ \int_0^t \sigma \cdot d\varepsilon \right\} dv$$

L'intégration incrémentale par la méthode des trapèzes implique :

- que la discrétisation en temps soit suffisamment fine,
- que les contraintes et déformations initiales soient nulles,
- et que le calcul soit demandé à partir du premier instant de calcul.

### 3.13.2 Syntaxe

```
| ENER_TOTALE = _F (
|   ♦ / TOUT      = 'OUI',
|     / MAILLE    = l_maille,
|     / GROUP_MA= lgrma,
| )
```

[l\_maille]  
[l\_gr\_maille]

#### Mots-clés simples : (voir [§2])

```
♦ MODELE = mo,
♦ CHAM_MATER = chmater,
♦ CARA_ELEM = carac,
♦ | NUME_COUCHE =
  | NIVE_COUCHE =
♦ MODE_FOURIER =
♦ RESULTAT =
♦ CHARGE = ch,
```

[modele]  
[cham\_mater]  
[cara\_elem]  
  
  
  
  
  
/ [char\_meca]  
/ [char\_ther]  
/ [char\_acou]

### 3.13.3 Opérandes

- ♦ / TOUT = 'OUI',  
Sur toute la structure.
- / MAILLE = l\_maille,  
Sur une liste de mailles.
- / GROUP\_MA = lgrma,  
Sur une liste de groupe de mailles.

## 3.14 Mot clé WEIBULL

### 3.14.1 But

Mot clé permettant pour chaque instant défini, le calcul du champ élémentaire de la puissance  $m$ -ième de la contrainte de Weibull dont l'expression sur la maille  $K$  est donnée, sans prise en compte de la déformation plastique, par :

$$\sigma_w^m(K) = \frac{1}{V_{ref}} \int_{K_p} \sigma_1^m dK_p$$

et, avec prise en compte de la déformation plastique par :

$$\sigma_w^m(K) = \frac{1}{V_{ref}} \int_{K_p} \sigma_1^m \text{Exp}\left(-\frac{m}{2} \varepsilon_1^p\right) dK_p$$

$K_p$  désigne la partie de la maille  $K$  qui a plastifié, c'est-à-dire, la partie de  $K$  où la déformation plastique cumulée dépasse un certain seuil ;  $\sigma_1$  représente la contrainte principale maximale et  $\varepsilon_1^p$  représente la déformation plastique principale maximale.

Les paramètres matériau  $m$ ,  $V_{ref}$  et le seuil de plasticité sont définis dans DEF1\_MATERIAU par la relation de comportement WEIBULL (cf. [R7.02.06]).

Une fois déterminé ce champ élémentaire, l'option calcule par "somme" la contrainte de Weibull d'un domaine  $D$  pour chaque instant défini :

$$\sigma_w(D) = \left( C \sum_{K \in D} \sigma_w^m(K) \right)^{\frac{1}{m}}$$

où  $C$  est un coefficient destiné à la prise en compte des symétries (cas bi et tri-dimensionnel) et de l'épaisseur (dans le cas bi-dimensionnel) de la structure contenant le domaine  $D$  (mot clé COEF\_MULT).

La probabilité de rupture du domaine  $D$  est alors calculée par :

$$P_w(D) = 1 - \text{Exp}\left(-\frac{\sigma_w^m}{\sigma_u^m}\right).$$

Le paramètre « contrainte de clivage »  $\sigma_u$  est, lui aussi, défini dans la relation de comportement WEIBULL.

Enfin, les expressions précédentes de la contrainte de Weibull et de la probabilité de rupture ne sont valables que dans le cas d'un trajet de chargement monotone. Ce type de post-traitement peut

néanmoins aussi être appliqué à un trajet de chargement plus général, y compris lorsque la contrainte de clivage dépend de la température (relation de comportement WEIBULL\_FO). Les expressions de la contrainte de Weibull et de la probabilité de rupture sont alors différentes (cf [R7.02.06]).

## Nota :

Pour le mot clé facteur WEIBULL, le modèle et le champ de matériau sont obligatoires (sauf si RESULTAT est présent).

### 3.14.2 Syntaxe

```
| WEIBULL = _F (
    ♦ / TOUT = 'OUI',
      / MAILLE = l_maille , [l_maille]
      / GROUP_MA = lgrma , [l_gr_maille]
    ◇ OPTION = / 'SIGM_ELGA', [DEFAULT]
              / 'SIGM_ELMOY',
    ◇ CORR_PLAST= / 'OUI',
                  / 'NON', [DEFAULT]
    ◇ COEF_MULT = / coef, [R]
                  / 1., [DEFAULT]
)
```

#### Mots-clés simples : (voir [§2])

```
◇ MODELE = mo, [modele]
◇ CHAM_MATER = chmater, [cham_mater]
◇ CARA_ELEM = carac, [cara_elem]
◇ | NUME_COUCHE =
  | NIVE_COUCHE =
◇ MODE_FOURIER =
♦ / CHAM_GD =
  / RESULTAT =
◇ CHARGE = / [char_meca]
           / [char_ther]
           / [char_acou]
```

### 3.14.3 Opérandes

#### 3.14.3.1 Opérande OPTION

◇ / OPTION = 'SIGM\_ELGA',

La valeur du champ élémentaire associée à la maille  $K$  est obtenue par intégration par quadrature aux points de Gauss de l'expression  $\frac{1}{V_p} \int_{K_p} \sigma_1^m dK$ .

/ OPTION = 'SIGM\_ELMOY',

La valeur du champ élémentaire associée à la maille  $K$  est obtenue à partir de la valeur principale maximale du tenseur  $\frac{1}{V_p} \int_{K_p} \sigma dK$  dont la valeur est approchée par quadrature aux points de Gauss.

#### 3.14.3.2 Opérande CORR\_PLAST

◇ / CORR\_PLAST = 'OUI',

Le champ de la contrainte de Weibull est évalué avec prise en compte de la déformation plastique.

/ CORR\_PLAST = 'NON',

Le champ de la contrainte de Weibull est évalué sans prise en compte de la déformation plastique.

### 3.14.3.3 Opérande COEF\_MULT

/ COEF\_MULT = valeur,

La valeur par défaut de ce coefficient est 1.0.

Le tableau suivant, dans lequel l'épaisseur est notée  $e$ , indique des valeurs typiques du coefficient  $C$  en fonction du type de symétrie :

- **symétrie simple** : le plan de symétrie du maillage passe par le plan du défaut et le défaut est entièrement maillé,
- **symétrie double** : le plan de symétrie du maillage passe également par le plan du défaut mais une seule moitié du défaut est maillé.

	3D et 3D_SI	AXIS et AXIS_SI	D_PLAN et D_PLAN_SI	C_PLAN
SIMPLE	2	$4\pi$	$2e$	$2e$
DOUBLE	4	sans objet	sans objet	sans objet
NON	1	$2\pi$	$e$	$e$

Valeurs du coefficient multiplicateur de symétrie-épaisseur

### 3.15 Mot clé RICE\_TRACEY

#### 3.15.1 But

Cette option permet, pour chaque instant de calcul  $t_n$  défini, le calcul du taux de croissance  $\frac{R(t_n)}{R_0}$  d'une cavité sphérique par rapport à un domaine  $D(R(t_n))$  et  $R_0$  désignent respectivement le rayon courant et le rayon initial de la cavité). La loi d'évolution de Rice-Tracey s'exprime par la relation :

$$\frac{d}{dt} \log\left(\frac{R}{R_0}\right) = 0,283 \operatorname{Signe}\left(\frac{\sigma_M}{\sigma_{eq}}\right) \exp\left(\frac{3\sigma_M}{2\sigma_{eq}}\right) \frac{d\varepsilon_{eq}^p}{dt}$$

( $\sigma_M = \frac{1}{3} \operatorname{Trace}(\sigma)$  ;  $\sigma_{eq}$  désigne la contrainte équivalente de von Mises et  $\varepsilon_{eq}^p$  désigne la déformation équivalente de von Mises).

#### 3.15.2 Syntaxe

```
|  RICE_TRACEY = _F (
|      ♦ /  TOUT      = 'OUI',
|        /  MAILLE    = l_maille,                [l_maille]
|        /  GROUP_MA  = lgrma ,                  [l_gr_maille]
|      ◇ OPTION = /  'SIGM_ELGA',                [DEFAULT]
|                /  'SIGM_ELMOY',
|      ◇ LOCAL  = /  'OUI',                      [DEFAULT]
|                /  'NON',
|                )
```

##### Mots-clés simples : (voir [§2])

```
◇  MODELE =      mo,                [modele]
◇  CHAM_MATER =  chmater,           [cham_mater]
◇  CARA_ELEM =   carac,             [cara_elem]
◇  |  NUME_COUCHE =
◇  |  NIVE_COUCHE =
◇  MODE_FOURIER =
◇  ♦ /  CHAM_GD =
◇  /  RESULTAT =
◇  CHARGE = ch,                    /  [char_meca]
                                   /  [char_ther]
                                   /  [char_acou]
```

#### 3.15.3 Opérandes

##### 3.15.3.1 Opérande OPTION

```
◇  OPTION =      /  'SIGM_ELGA',                [DEFAULT]
```

Les champs élémentaires des contraintes et des déformations plastiques sont utilisés dans leurs représentations aux points de Gauss.

```
/  'SIGM_ELMOY',
```

Les champs élémentaires des contraintes et des déformations plastiques sont moyennés par rapport aux points de Gauss avant d'être utilisés.

**3.15.3.2 Opérande LOCAL**

◇ LOCAL = / 'OUI', [DEFAULT]

La loi de Rice-Tracey est intégrée sur chaque maille  $K$  du domaine  $D$  et le résultat consiste en la valeur maximale obtenue sur l'ensemble des mailles du domaine.

/ 'NON',

Les champs de triaxialité  $\frac{\sigma_M}{\sigma_{eq}}(t_n)$  et de variation de déformation plastique  $\Delta \varepsilon_{eq}^p(t_n)$  sont

calculés sur chaque maille. Puis, leurs moyennes respectives, pondérée par le volume des mailles du domaine, sont déterminées. Finalement, la loi de Rice-Tracey est intégrée sur ces valeurs moyennées.

**3.15.3.3 Opérands TOUT / GROUP\_MA / MAILLE**

Le ou les domaines de calcul  $D$  sont spécifiés par :

/ TOUT = 'OUI',

Un seul domaine est défini, il coïncide avec l'ensemble de la structure.

/ GROUP\_MA = lgrma,

Chaque groupe de mailles de la liste lgrma définit un domaine de calcul.

/ MAILLE = l\_maille,

Chaque maille de la liste l\_maille définit un domaine de calcul.

**3.16 Mot clé INDIC\_ENER****3.16.1 But**

Mot clé facteur permettant de calculer un indicateur global de perte de proportionnalité du chargement en élastoplasticité, fondé sur la densité d'énergie. Cet indicateur est décrit en détail dans le document [R4.20.01].

On rappelle sa fonction et son expression. Cet indicateur est destiné à détecter si au cours de l'histoire de la structure et jusqu'à l'instant actuel  $t$ , et pour une zone de la structure choisie par le modélisateur, il y a eu perte de proportionnalité du chargement (i.e. il s'agit d'avoir une mesure globale du changement des directions principales du tenseur de contraintes pour chaque point de la zone définie par l'utilisateur).

Cet indicateur n'est utilisable que pour des modèles dont le matériau présente un écrouissage isotrope et dont les éléments sont isoparamétriques 2D ou 3D.

Cet indicateur a pour expression :

$$I = \frac{1}{V} \int_V \left( 1 - \frac{\Psi}{\Omega} \right) dv$$

où :

- $V$  est le volume du domaine défini par l'utilisateur,
- $\Psi$  est la densité d'énergie élastique totale associée à la courbe de traction si on considèrerait le matériau élastique non-linéaire.  
Plus exactement son expression est la suivante :

$$\underline{\Psi} = \frac{1}{2} K \cdot tr^2(\varepsilon) + 2 \frac{\mu}{3} \varepsilon_{eq}^2 \quad \text{si} \quad \sigma_{eq} < R(p)$$

$$\underline{\Psi} = \frac{1}{2} K \cdot tr^2(\varepsilon) + \frac{R^2(p)}{6\mu} + \int_0^p R(s) ds \quad \text{si} \quad \sigma_{eq} = R(p)$$



où :

- $K$  est le module de compressibilité,
- $\mu$  est le coefficient de cisaillement de Lamé,
- $R(p)$  est le seuil de la courbe de traction associé à la déformation plastique cumulée  $p$ ,
- $\Omega$  est la densité d'énergie de déformation définie par :

$$\Omega(t) = \int_0^t \sigma \cdot \dot{\varepsilon} \, d\tau$$

on peut décomposer  $\Omega(t)$  en une partie élastique et une partie plastique :

$$\Omega(t) = \Omega_{\text{elas}}(t) + \Omega_{\text{plas}}(t)$$

avec :

$$\Omega_{\text{elas}}(t) = \frac{1}{2} \sigma \cdot \varepsilon^{\text{elas}}$$

$$\Omega_{\text{plas}}(t) = \int_0^t R(p) \, dp$$

**Remarque :**

| Dans le cas où l'on a  $\Omega(t) = 0$ , on pose  $I = 0$ .

## 3.16.2 Syntaxe

```
| INDIC_ENER = _F (
|   ♦ / TOUT      = 'OUI',
|     / MAILLE    = l_maille,
|     / GROUP_MA  = lgrma,
| )
```

[l\_maille]  
[l\_gr\_maille]

**Mots-clés simples : (voir [§2])**

```
◇ MODELE = mo,
◇ CHAM_MATER = chmater,
◇ CHARGE = ch,
◇ RESULTAT = resu,
```

[modele]  
[cham\_mater]  
/ [char\_meca]  
/ [char\_ther]  
/ [char\_acou]  
[evol\_noli]

## 3.16.3 Opérandes

L'indicateur est calculé sur le domaine défini par les mots clés :

```
/ TOUT = 'OUI',
```

Sur tous les éléments du modèle mo.

```
/ MAILLE = l_maille,
```

Sur la liste l\_maille de mailles du modèle mo.

```
/ GROUP_MA = lgrma,
```

Sur la liste lgrma des groupes de mailles du modèle mo.

## 3.17 Mot clé INDIC\_SEUIL

### 3.17.1 But

Mot clé facteur permettant de calculer un indicateur global de perte de proportionnalité du chargement en élastoplasticité.

Cet indicateur permet d'une part de savoir, en moyenne sur la zone considérée, si le tenseur des contraintes et celui des déformations plastiques ont les mêmes directions et si le seuil plastique est atteint à l'instant actuel, et d'autre part si au cours de l'histoire la déformation plastique a changé de direction.

Cet indicateur a pour expression :

$$I = \frac{1}{V} \int_V \left( 1 - \frac{|\sigma \cdot \varepsilon^p|}{R(p) \cdot p} \right) dv$$

où :

- $V$  est le volume du domaine défini par l'utilisateur,
- $\sigma$  est le tenseur des contraintes à l'instant courant,
- $\varepsilon^p$  est le tenseur des déformations plastiques à l'instant courant,
- $R(p)$  est la fonction d'écrouissage (avec  $R(o) = \sigma_y$  où  $\sigma_y$  est la limite d'élasticité).  
i.e. c'est le seuil de la courbe de traction associé à la déformation plastique cumulée  $p$ .
- $p$  est la déformation plastique cumulée.

#### Remarque :

Dans le cas où l'on a  $R(p) \cdot p = 0$ , on pose  $I = 0$ .

Le produit scalaire  $\sigma \cdot \varepsilon^p$  est associé à la norme au sens de von Mises.

Cet indicateur est normalisé et a une valeur comprise entre 0 et 1.

Il est nul si le chargement a conservé son caractère proportionnel en chaque point de  $V$  tout au long de l'histoire écoulee.

Cet indicateur est décrit en détail dans le document [R4.20.01].

### 3.17.2 Syntaxe

```
| INDIC_SEUIL = _F (
|   ♦ / TOUT      = 'OUI',
|   / MAILLE     = l_maille ,           [l_maille]
|   / GROUP_MA   = lgrma ,           [l_gr_maille]
| )
```

#### Mots-clés simples : (voir [§2])

```
♦ MODELE = mo, [modele]
♦ CHAM_MATER = chmater, [cham_mater]
♦ CHARGE = ch, / [char_meca]
               / [char_ther]
               / [char_acou]
♦ RESULTAT = resu, [evol_noli]
```

### 3.17.3 Opérandes

L'indicateur est calculé sur le domaine défini par les mots clés :

```
/  TOUT = 'OUI',
    Sur tous les éléments du modèle mo.

/  MAILLE = l_maille,
    Sur la liste l_maille de mailles du modèle mo.

/  GROUP_MA = lgrma,
    Sur la liste lgrma des groupes de mailles du modèle mo.
```

## 3.18 Mot clé **CHAR\_LIMITE**

### 3.18.1 But

Post\_traitement du calcul de la charge limite [R7.07.01 §2.3].

Ce mot-clé facteur permet le calcul de la charge limite d'une structure par une approche cinématique. Son emploi nécessite au préalable d'avoir réalisé un calcul non linéaire (voir opérateur *STAT\_NON\_LINE* [U4.51.03]) renseigné par le mot-clé *RESULTAT* et dont les caractéristiques sont les suivantes :

- loi de comportement *NORTON\_HOFF*,
- liste croissante d'instants de calcul correspondant à des valeurs de régularisation de la loi de *NORTON\_HOFF* qui tendent vers 1 (en pratique, on recommande de se limiter à des instants compris entre 1 et 2 qui ne conduisent pas à des calculs trop longs tout en permettant d'obtenir une borne supérieure de la charge limite suffisamment précise),
- chargement (unitaire) piloté correspondant au chargement par rapport auquel on cherche à estimer la charge limite, la méthode de pilotage étant *TYPE = 'ANA\_LIM'*,
- éventuellement un chargement constant dont il faut alors impérativement rappeler l'existence par le mot-clé *CHAR\_CSTE = 'OUI'*.

L'opérateur *POST\_ELEM* produit alors une table qui donne pour chaque instant du calcul, c'est-à-dire pour des régularisations de plus en plus faibles, une borne supérieure *CHAR\_LIMI\_SUP* de la charge limite supportée par la structure. En outre, en l'absence de chargement constant, *CHAR\_CSTE = 'NON'*, la table contient également une estimation *CHAR\_LIMI\_ESTIM* d'une borne inférieure de la charge limite. En revanche, si un chargement constant est présent, *CHAR\_CSTE = 'OUI'*, une telle estimation de la borne inférieure n'est plus disponible mais la table contient alors la puissance *PUIS\_CHAR\_CSTE* du chargement constant dans le champ de vitesse solution du problème.

Un exemple détaillé de calcul de charge limite est fourni en [U2.05.04].

### 3.18.2 Syntaxe

```
| CHAR_LIMITE = _F (   ◇   CHAR_CSTE =   /   'NON',           [DEFAULT]
                              /   'OUI',
```

```
)
```

#### Mots-clés simples : (voir [§2])

```
◇  MODELE =       mo,                           [modele]
◇  CHAM_MATER =   chmater,                    [cham_mater]
◆  RESULTAT =     resu,                       [evol_noli]
◇  CARA_ELEM =     carac,                     [cara_elem]
◇  MODE_FOURIER =  nh,                        [I]
          ◇  CHARGE =  ch,                    /   [char_meca]
                                              /   [char_ther]
                                              /   [char_acou]
```

### 3.18.3 Opérandes

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

Mot-clé indiquant si le chargement est constant ou non constant (valeur par défaut).

## 3.19 Mot clé CARA\_GEOM

### 3.19.1 But

CARA\_GEOM est utilisé par la macro\_commande MACR\_CARA\_POUTRE [U4.42.02] pour calculer les caractéristiques géométriques (centre d'inertie, moments d'inertie) d'une section de poutre maillée en éléments de milieu continu 2D.

### 3.19.2 Syntaxe

```
| CARA_GEOM = _F (
    ◇ / TOUT      = 'OUI',
      / GROUP_MA= lgma, [l_gr_maillage]
      / MAILLE    = lma, [l_maillage]
    ◇ SYME_X      = / 'OUI',
                  / 'NON', [DEFAULT]
    ◇ SYME_Y      = / 'OUI',
                  / 'NON', [DEFAULT]
    ◇ ORIG_INER   = (xp, yp), [l_R]
                  )
```

Mots clés simples : (voir [§2])

```
◇ MODELE = mo, [modele]
◇ CHAM_MATER = chmater, [cham_mater]
◇ CHARGE = ch, / [char_meca]
               / [char_ther]
               / [char_acou]
```

### 3.19.3 Opérandes

#### 3.19.3.1 Opérandes TOUT / GROUP\_MA / MAILLE

Définissent le lieu du calcul. On peut en particulier faire le calcul des caractéristiques pour un ensemble de mailles, défini par GROUP\_MA ou MAILLE.

#### 3.19.3.2 Opérandes SYME\_X / SYME\_Y

Prise en compte d'une symétrie par rapport à X ou à Y (ou les deux). Le maillage fourni par l'utilisateur correspond alors à la moitié de la section (ou le quart).

#### 3.19.3.3 Opérande ORIG\_INER

Permet de donner les coordonnées d'un point par rapport auquel seront calculées les caractéristiques géométriques [U4.42.02].

## 3.20 Mot clé CARA\_POUTRE

### 3.20.1 But

#### Remarque

| Ce mot-clé n'est pas destiné à être appelé directement par l'utilisateur.

CARA\_POUTRE est utilisé exclusivement par la macro-commande MACR\_CARA\_POUTRE [U4.42.02] pour calculer les caractéristiques mécaniques (constante de torsion, rayon de torsion, constantes de cisaillement, position du centre de cisaillement, constante de gauchissement) d'une section maillée en éléments 2D.

Son emploi nécessite l'appel préalable de nombreuses commandes, spécifiques à chaque option calculée. Les opérandes ne seront donc pas détaillés ici. Pour plus de détail on se reportera à MACR\_CARA\_POUTRE [U4.42.02].

### 3.20.2 Syntaxe

```

|   CARA_POUTRE = _F (
|       ♦ / TOUT = 'OUI',
|       / GROUP_MA = lgma, [gr_maille]
|       ♦ GROUP_MA_INTE= lgma_inte , [l_gr_maille]
|       ♦ CARA_GEOM = tab , [tabl_cara_geom]
|       ♦ LAPL_PHI = Δφ , [evol_ther]
|       ♦ LAPL_PHI_Y= Δφy, [evol_ther]
|       ♦ LAPL_PHI_Z= Δφz, [evol_ther]
|       ♦ RT= rt, [R]
|       ♦ ♦ LIAISON = / 'ROTULE',
|                   / 'ENCASTREMENT',
|       ♦ LONGUEUR = L, [R]
|       ♦ MATERIAU = mat , [mater]
|       ♦ OPTION = / 'CARA_TORSION',
|                   / 'CARA_CISAILLEMENT',
|                   / 'CARA_GAUCHI',
|   )

```

Mots clés simples : (voir [§2])

```

♦   MODELE = mo, [modele]
♦   CHAM_MATER = chmater, [cham_mater]
♦   CHARGE = ch, / [char_meca]
               / [char_ther]
               / [char_acou]

```

### 3.21 Mot clé AIRE\_INTERNE

### 3.21.1 But

Mot clé facteur permettant le calcul de l'aire d'un trou dans un maillage 2D à partir de son contour.

### 3.21.2 Syntaxe

```
AIRE_INTERNE = _F      (  ◆  GROUP_MA_BORD = lgma )
```

Mot clé simple :  $\diamond$  MODELE = mo, [modele]

### 3.21.3 Opérande

◆ GROUP\_MA\_BORD = lgma,

Liste de groupes de mailles de bord délimitant le trou (SEG2 ou SEG3)

### 3.22 Mot clé TRAV EXT

### 3.22.1 But

Mot clé facteur permettant de calculer le travail des efforts extérieurs réel TRAV\_REEL ou élastique TRAV\_ELAS tels que définis ci-dessous :

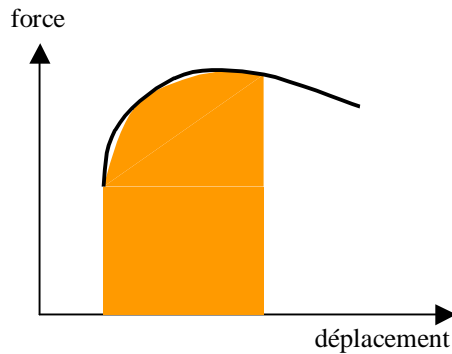
$$\text{TRAV\_REEL} = \int_{t_0}^t \int_{\Omega} \boldsymbol{\sigma} \cdot \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \int_{t_0}^t \mathbf{F}_{\text{int}} \cdot \dot{\mathbf{U}} \quad \text{éq 3.22.1-1}$$

$$\text{TRAV\_ELAS} = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \boldsymbol{\sigma} : \boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2} \mathbf{F}_{\text{int}} \cdot \mathbf{U} \quad \text{éq 3.22.1-2}$$

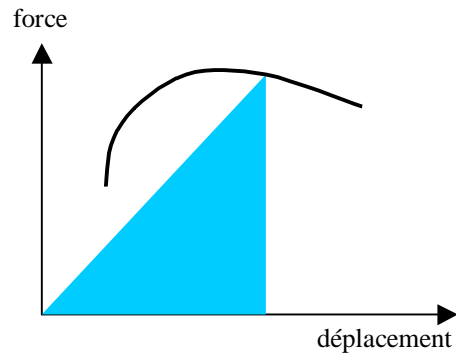
Le calcul s'effectue sur la base d'une SD résultat, renseignée sous le mot-clé `RESULTAT`, pour laquelle les forces nodales, c'est-à-dire les forces intérieures, ont été préalablement calculées par l'opérateur `CALC_ELEM`, option '`FORC_NODA`' [U4.81.01]. Dans le cas du travail réel, l'instant initial  $t_0$  correspond au premier instant archivé dans la SD résultat (prendre garde au fait que l'état initial n'est pas archivé automatiquement, voir le mot-clé `ARCH_ETAT_INIT` de l'opérateur `STAT_NON_LINE` [U4.51.03]) ; l'intégration en temps est effectuée par une méthode de trapèzes. Les deux grandeurs `TRAV_REEL` et `TRAV_ELAS` sont calculées pour chaque instant archivé dans la SD résultat.

Ces quantités peuvent s'interpréter graphiquement sur la courbe de réponse force – déplacement de la structure (à condition que la force soit duale du déplacement, par exemple la pression et le volume

dans le cas d'une cavité



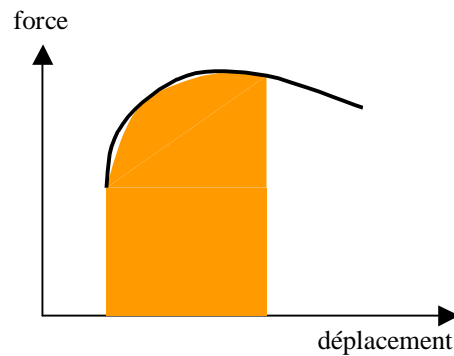
TRAV\_REEL



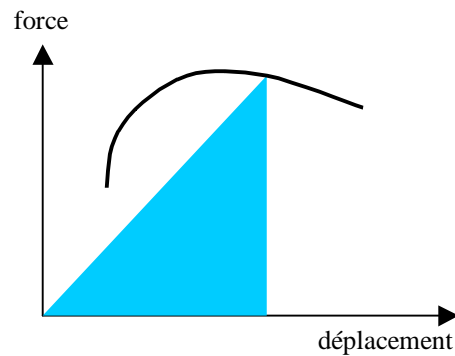
TRAV\_ELAS

sou

s pression).



TRAV\_REEL



TRAV\_ELAS

Un exemple détaillé d'utilisation de ces grandeurs pour évaluer la grandeur duale du chargement, l'énergie dissipée ou encore la rigidité résiduelle d'une structure endommagée est fourni par l'étude d'une structure qui s'endommage de manière fragile [U2.05.02].

## 3.22.2 Syntaxe

```
TRAV_EXT = _F( ♦ RESULTAT = resu ) / [evol_elas]
                                     / [evol_noli]
                                     / [dyna_trans]
```

## 3.22.3 Opérande

♦ RESULTAT = resu

Nom de la structure de données résultat du calcul.

## 3.23 Opérande INTEGRALE

### 3.23.1 But

Permet de calculer l'intégrale d'une composante d'un champ aux points de Gauss sur un domaine défini par les mots-clés TOUT, GROUP\_MA, MAILLE.

On produit une table contenant la valeur de l'intégrale ainsi que la moyenne (égale à l'intégrale divisée par le volume).

### 3.23.2 Syntaxe

```
|    INTEGRALE =_F (
|        ♦    /    TOUT        = 'OUI',
|        /    MAILLE    = l_maille,                    [l_maille]
|        /    GROUP_MA= lgrma,                        [l_gr_maille]
|        ♦    NOM_CHAM = champ,                        [Kn]
|        ♦    NOM_CMP  = cmp,                          [Kn]
|        )
```

**Mots-clés simples : (voir [§2])**

```
♦    MODELE =        mo,                                [modele]
♦    RESULTAT =      resu,                              [resultat]

# sélection des instants de calcul
voir TOUT_ORDRE, NUME_ORDRE, LIST_ORDRE, INST, LIST_INST dans [U4.71.00]
```

### 3.23.3 Opérandes

```
♦    /    TOUT        = 'OUI',
      Sur toute la structure.

      /    MAILLE = l_maille,
      Sur une liste de mailles.

      /    GROUP_MA =    lgrma,
      Sur une liste de groupe de mailles.
```

## 3.24 Opérande TITRE

```
♦    TITRE =    ti,
      Titre attaché au concept produit par cet opérateur [U4.03.01].
```

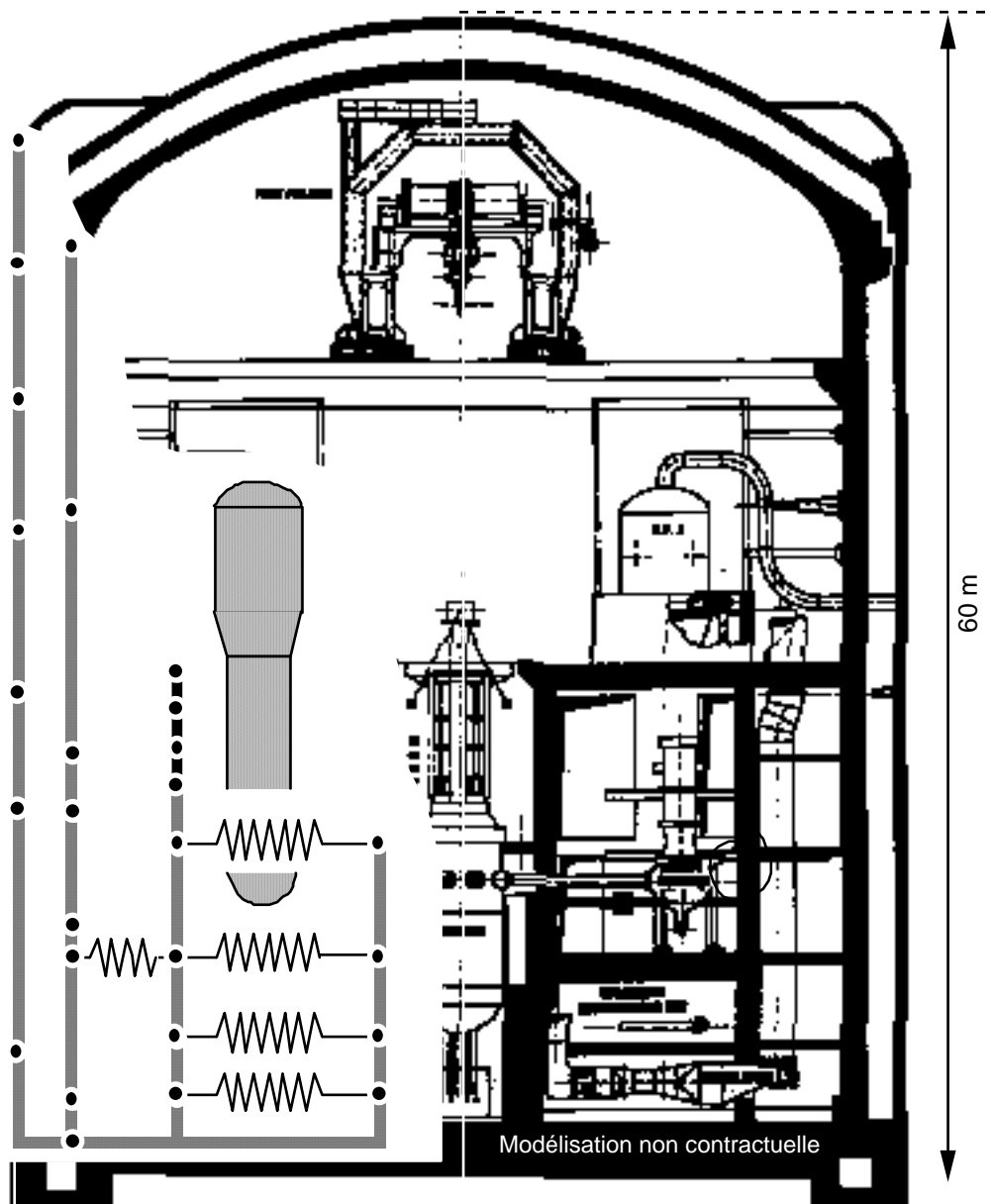
## 3.25 Opérande INFO

```
♦    INFO = / 1,                                        [DEFAULT]
          / 2,
      Paramètre d'impression
```



## 4 Exemple

L'exemple qui suit s'applique au calcul de quantités globales sur une modélisation dynamique d'un bâtiment réacteur. Sont modélisés : l'enceinte extérieure, l'enceinte intérieure, les structures internes, le puits de cuve.



La modélisation d'un demi bâtiment est réalisée par des éléments de poutres, des éléments discrets représentant les liaisons au sol, les masses additionnelles et les liaisons entre nœuds.

C'est sur ce modèle de poutres que l'opérateur POST\_ELEM va calculer :

- la masse de la structure,
- les coordonnées du centre de gravité,
- le tenseur d'inertie,
- l'énergie potentielle de certains modes et sa répartition dans la structure,
- l'énergie cinétique de certains modes et sa répartition dans la structure.

## 4.1 Calcul de la masse, du centre de gravité et des inerties

- pour toute la structure (TOUT = 'OUI')
- pour le groupe de mailles contenant les poutres (GROUP\_MA = 'pou\_d\_t')
- pour le groupe de mailles contenant les liaisons au sol (GROUP\_MA = 'liai\_sol')
- pour le groupe de mailles contenant les masses additionnelles (GROUP\_MA = 'masses')
- pour le groupe de mailles contenant les liaisons entre nœuds (GROUP\_MA = 'liai\_noe')

### Commande

```
massestr = POST_ELEM ( MODELE= stickmod,  
    CHAM_MATER = chmater, CARA_ELEM = caraelem,  
    MASS_INER=_F(GROUP_MA=('pou_d_t','liai_sol','masses','liai_noe'),  
    TOUT= 'OUI',),  
    TITRE='masse, centre de gravite et inerties de la structure');
```

## 4.2 Calcul de l'énergie potentielle des modes 1, 2 et 7

- pour toute la structure (TOUT = 'OUI')
- pour le groupe de mailles contenant les poutres (GROUP\_MA = 'pou\_d\_t')
- pour le groupe de mailles contenant les liaisons au sol (GROUP\_MA = 'liai\_sol')
- pour le groupe de mailles contenant les masses additionnelles (GROUP\_MA = 'masses')
- pour le groupe de mailles contenant les liaisons entre nœuds (GROUP\_MA = 'liai\_noe')
- pour les mailles (MAILLE= 'E101' à 'E2601')
- pour les mailles (MAILLE= 'ELN1' à 'ELN5')

### Commande

```
enerpot = POST_ELEM ( RESULTAT= modes,          MODELE= stickmod,  
    NUME_MODE= ( 1,2,7, ),  
    CHAM_MATER= chmater,   CARA_ELEM= caraelem,  
    ENER_POT = _F( TOUT= 'OUI',  
    GROUP_MA= ( 'pou_d_t','liai_sol','masses','liai_noe', ),  
    MAILLE=( 'E101', 'E201', 'E301', 'E401', 'E501', 'E601',  
    'E701', 'E801', 'E901', 'E1001', 'E1101', 'E1201',  
    'E1301', 'E1401', 'E1501', 'E1601', 'E1701', 'E1801',  
    'E1901', 'E2001', 'E2101', 'E2201', 'E2301', 'E2401',  
    'E2501', 'E2601',  
    'ELN1', 'ELN2', 'ELN3', 'ELN4', 'ELN5' ), ),  
    TITRE= '  energies potentielles des modes 1, 2 et 7',  
    )
```

### 4.3    Calcul de l'énergie cinétique des modes 1, 2 et 7

- pour toute la structure ( TOUT= 'OUI' )
- pour le groupe de mailles contenant les poutres ( GROUP\_MA = 'POU\_D\_T' )
- pour le groupe de mailles contenant les liaisons au sol ( GROUP\_MA = 'LIAI\_SOL' )
- pour le groupe de mailles contenant les masses additionnelles ( GROUP\_MA = 'MASSES' )
- pour le groupe de mailles contenant les liaisons entre nœuds ( GROUP\_MA = 'LIAI\_NOE' )
- pour les mailles ( MAILLE = 'MAS1' à 'MAS27' )
- pour les mailles ( MAILLE = 'E2001', 'E2101', 'E2201' )

#### Commande

```
enercin = POST_ELEM( RESULTAT= modes,            MODELE= stickmod,
                     NUME_MODE= ( 1,2,7, ),
                     CHAM_MATER= chmater,        CARA_ELEM= caraelem,
                     ENER_CIN= _F( TOUT= 'OUI',
                                   GROUP_MA= ( 'pou_d_t', 'liai_sol', 'masses', 'liai_noe', ),
                                   MAILLE= ( 'MAS1', 'MAS2', 'MAS3', 'MAS4', 'MAS5', 'MAS6',
                                             'MAS7', 'MAS8', 'MAS9', 'MAS10', 'MAS11', 'MAS12',
                                             'MAS13', 'MAS14', 'MAS15', 'MAS16', 'MAS17', 'MAS18',
                                             'MAS19', 'MAS20', 'MAS21', 'MAS22', 'MAS23', 'MAS24',
                                             'MAS25', 'MAS26', 'MAS27',
                                             'E2001', 'E2101', 'E2201' ) , ,
                                   TITRE= '    energies cinetiques des modes 1, 2 et 7',
                     )
```

Page laissée intentionnellement blanche.