

Manuel d'Utilisation

Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées

Document : U4.81.01

Opérateur *CALC_ELEM*

1 But

Créer ou compléter un `resultat` en calculant des champs par éléments (contraintes, déformations, ...).

Chaque champ élémentaire désiré est caractérisé par le mot clé `OPTION` ('`SIGM_ELNO_DEPL`', '`FLUX_ELGA_TEMP`', '`VARI_ELNO_ELGA`', ...).

Le concept résultat produit est soit créé, soit **modifié**, c'est à dire que l'appel à `CALC_ELEM` se fait de la façon suivante :

```
resu = CALC_ELEM ( RESULTAT = resu ... , reuse = resu , ...)
```

ou bien

```
resul = CALC_ELEM ( RESULTAT = resu , ...)
```

2 Syntaxe

```

resu  [*] = CALC_ELEM
(
  ◇ reuse = resu,
  ◆ MODELE = mo, [modele]
  ◆ CHAM_MATER = chmater, [cham_mater]
  ◇ CARA_ELEM = carac, [cara_elem]
  ◇ # Sélection des mailles concernées par le calcul
    / TOUT = 'OUI', [DEFAULT]
    / | GROUP_MA = l_grma, [l_gr_maille]
      | MAILLE = l_mail, [l_maille]
  ◆ # Sélection des numéro d'ordre :
    / TOUT_ORDRE = 'OUI',
    / NUME_ORDRE = l_nuor, [l_I]
    / LIST_ORDRE = l_nuor, [listis]
    / NUME_MODE = l_numo, [l_I]
    / NOEUD_CMP = l_nomo, [l_K16]
    / NOM_CAS = nocas, [K16]
    / ◆ / INST = l_inst, [l_R]
      / FREQ = l_freq, [l_R]
      / LIST_INST = l_inst, [listr8]
      / LIST_FREQ = l_freq, [listr8]
    ◇ | PRECISION = / prec,
      / 1.0E-3, [DEFAULT]
      | CRITERE = / 'RELATIF', [DEFAULT]
        / 'ABSOLU',
  # options pour des résultats mécaniques linéaires
  ◆ RESULTAT = resu, / [evol_elas]
                  / [mode_meca]
                  / [dyna_trans]
                  / [mode_stat]
                  / [base_modale]
                  / [dyna_harmo]
                  / [mode_flamb]
                  / [mult_elas]
                  / [fourier_elas]
  ◇ / TYPE_OPTION = 'TOUTES' [DEFAULT]
    OPTION = toutes les options ci-dessous,
  # options de calcul des contraintes (éléments de milieu
    continu 2D et 3D) (cf. [§3.5.1])
  / TYPE_OPTION = 'SIGM_MASSIF',
    OPTION = | 'SIEF_ELNO_ELGA'
              | 'SIGM_ELNO_DEPL'
              | 'SIEF_ELGA_DEPL'
  # options de calcul des contraintes (éléments de structure :
    poutres, tuyaux, coques) (cf. [§3.5.1])
  / TYPE_OPTION = 'SIGM_STRUCT',
    OPTION = | 'SIEF_ELNO_ELGA'
              | 'SIGM_ELNO_DEPL'
              | 'SIEF_ELGA_DEPL'
              | 'SIGM_ELNO TUYO'
              | 'SIPO_ELNO_DEPL'
              | 'EFGE_ELNO_DEPL'
              | 'EFGE_ELNO_CART'
              | 'SIGM_ELNO_CART'
              | 'SIGM_ELNO_SIEF'
              | 'SIPO_ELNO_SIEF'

```

```
# options de calcul des déformations
(cf. [§3.5.2])
/  TYPE_OPTION =      'EPSI',
    OPTION          =      | 'EPSI_ELNO_DEPL'
                           | 'EPSI_ELGA_DEPL'
                           | 'EPME_ELNO_DEPL'
                           | 'EPME_ELGA_DEPL'
                           | 'DEGE_ELNO_DEPL'
                           | 'EPSI_ELNO_TUYO'
# options de calcul d'énergies (cf. [§3.5.4])
/  TYPE_OPTION =      'ENER',
    OPTION          =      | 'EPOT_ELEM_DEPL'
                           | 'ECIN_ELEM_DEPL'
                           | 'ENEL_ELGA'
                           | 'ENEL_ELNO_ELGA'
                           | 'ETOT_ELGA'
                           | 'ETOT_ELNO_ELGA'
                           | 'ETOT_ELEM'
# options de calcul de critères (cf. [§3.5.5])
/  TYPE_OPTION =      'CRIT',
    OPTION          =      | 'EQUI_ELNO_SIGM'
                           | 'EQUI_ELGA_SIGM'
                           | 'EQUI_ELNO_EPSI'
                           | 'EQUI_ELGA_EPSI'
                           | 'EQUI_ELNO_EPME'
                           | 'EQUI_ELGA_EPME'
                           | 'ENDO_ELNO_SIGA'
                           | 'ENDO_ELNO_SINO'
                           | 'ENDO_ELGA'
                           | 'ENDO_ELNO_ELGA'
                           | 'CRIT_ELNO_RUPT'
# options de calcul d'indicateurs d'erreur
(cf. [§3.5.6])
/  TYPE_OPTION =      'INDI_ERRE',
    OPTION          =      | 'SIGM_NOZ1_ELGA'
                           | 'ERRE_ELEM_NOZ1'
                           | 'SIGM_NOZ2_ELGA'
                           | 'ERRE_ELEM_NOZ2'
                           | 'SIRE_ELNO_DEPL'
                           | 'ERRE_ELGA_NORE'
                           | 'ERRE_ELNO_ELGA'
# autres options (cf. [§3.5.7])
/  TYPE_OPTION =      'AUTRES',
    OPTION          =      | 'VALE_NCOU_MAXI'
                           | 'PRES_DBEL_DEPL'
                           | 'VNOR_ELEM_DEPL'
# options de calcul de dérivées (liées à la
sensibilité) (cf [§3.2])
/  TYPE_OPTION =      'DERIVEES',
    OPTION          =      | 'DEUL_ELGA_DEPL'
                           | 'DEDE_ELNO_DLDE'
                           | 'DESI_ELNO_DLSI'
```

**# options pour les résultats non linéaires (produits
par STAT_NON_LINE ou DYNA_NON_LINE ou DYNA_TRAN_EXPLI) :**

```
♦ RESULTAT =      resu,                               /   [evol_noli]

◇ / TYPE_OPTION =      'TOUTES'                       [DEFAULT]
   OPTION = toutes les options ci-dessous,

           # options de calcul des contraintes (éléments de
           # milieux continus 2D et 3D) (cf. [§3.5.1])
/   TYPE_OPTION =      'SIGM_MASSIF',
   OPTION   =          | 'SIEF_ELNO_ELGA'
           # options de calcul des contraintes (éléments de
           # structure : poutres, tuyaux, coques)
           # (cf. [§3.5.1])
/   TYPE_OPTION =      'SIGM_STRUCT',
   OPTION   =          | 'SIEF_ELNO_ELGA'
                   | 'EFGE_ELNO_CART'
                   | 'SIGM_ELNO_TUYO'
                   | 'SIGM_ELNO_COQU'
                   | 'SIGM_ELNO_SIEF'
                   | 'SIPO_ELNO_SIEF'
           # options de calcul des déformations
           # (cf. [§3.5.2])
/   TYPE_OPTION =      'EPSI',
   OPTION   =          | 'EPSI_ELNO_DEPL'
                   | 'EPSI_ELGA_DEPL'
                   | 'EPSG_ELNO_DEPL'
                   | 'EPSG_ELGA_DEPL'
                   | 'EPME_ELNO_DEPL'
                   | 'EPME_ELGA_DEPL'
                   | 'EPMG_ELNO_DEPL'
                   | 'EPMG_ELGA_DEPL'
                   | 'EPSP_ELNO'
                   | 'EPSP_ELGA'
                   | 'EPGR_ELNO'
                   | 'EPGR_ELGA'
                   | 'EPSI_ELNO_TUYO'
                   | 'DEGE_ELNO_DEPL'
           # options d'interpolation et d'extraction des
           # variables internes
/   TYPE_OPTION =      'VARI',
   OPTION   =          | 'VARI_ELNO_ELGA'
                   | 'VARI_ELNO_TUYO'
                   | 'VARI_ELNO_COQU'
           # options de calcul d'énergies (cf. [§3.5.4])
/   TYPE_OPTION =      'ENER',
   OPTION   =          | 'ETOT_ELGA'
                   | 'ETOT_ELNO_ELGA'
                   | 'ETOT_ELEM'
                   | 'ENEL_ELGA'
                   | 'ENEL_ELNO_ELGA'
           # options de calcul de critères (cf. [§3.5.5])
/   TYPE_OPTION =      'CRIT',
   OPTION   =          | 'EQUI_ELNO_SIGM'
                   | 'EQUI_ELGA_SIGM'
                   | 'EQUI_ELNO_EPSI'
                   | 'EQUI_ELGA_EPSI'
                   | 'EQUI_ELNO_EPME'
                   | 'EQUI_ELGA_EPME'
                   | 'ENDO_ELNO_SIGA'
                   | 'ENDO_ELNO_SINO'
```

```

| 'ENDO_ELGA'
| 'ENDO_ELNO_ELGA'
| 'INDI_LOCA_ELGA'
| 'CRIT_ELNO_RUPT'
| 'PMPB_ELNO_SIEF'
| 'PMPB_ELGA_SIEF'
# options de calcul d'indicateurs d'erreur
(cf. [§3.5.6]) ])
/ TYPE_OPTION = 'INDI_ERRE',
  OPTION = | 'ERRE_ELGA_NORE'
           | 'ERRE_ELNO_ELGA'
           | 'DCHA_ELNO_SIGM'
           | 'DCHA_ELGA_SIGM'
           | 'RADI_ELNO_SIGM'
           | 'RADI_ELGA_SIGM'
           # autres options (cf. [§3.5.7])
/ TYPE_OPTION = 'AUTRES',
  OPTION = | 'VALE_NCOU_MAXI'

           # options de sensibilité
/ TYPE_OPTION = 'DERIVEES',
  OPTION = | 'DEDE_ELNO_DLDE'
           | 'DESI_ELNO_DLSI'
           | 'DEUL_ELGA_DEPL'

◇ SENSIBILITE = l_parasensi,
  / theta, [theta_geom]
  / listpara, [para_sensi]
  )

◇ NOM_CHAM = ch, [cham_elem_*]
◇ NOM_CMP = cmp, [TXM]
◇ EXCIT = _F (
  ◆ CHARGE = l_charge, [l_char_meca]
  ◇ / COEF_MULT = cm, [R]
    / COEF_MULT_C= cmc, [C]
    / FONC_MULT = fm, [fonction]
    [formule]
    / FONC_MULT_C= fmc, [fonction_C]
  ◇ PHAS_DEG = pd, [R]
  ◇ PUIS_PULS = n, [I]
  ◇ TYPE_CHARGE = 'FIXE',
  )
◇ NORME = / 'VMIS', [DEFAULT]
          / 'TOTAL',
          / 'VMIS_CINE' ,
          / 'TOTAL_CINE',

◇ ANGLE = / delta, [I]
          / 0., [DEFAULT]

◇ PLAN = / 'MAIL', [DEFAULT]
          / 'MOY',
          / 'INF',
          / 'SUP',

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

/ # options thermiques
◆ OPTION = | 'FLUX_ELNO_TEMP',

```

Titre : *Opérateur CALC_ELEM*
Auteur(s) : **J. M. PROIX**

Date : 17/06/04
Clé : *U4.81.01-H2* Page : 6/24

```

| 'FLUX_ELGA_TEMP' ,
| 'DEUL_ELGA_TEMP' ,
| 'DETE_ELNO_DLTE' ,
| 'ERTH_ELEM_TEMP' ,
| 'ERTH_ELNO_ELEM' ,
| 'SOUR_ELGA_ELEC' ,
| 'DURT_ELGA_META' ,
| 'DURT_ELNO_META' ,
| 'HYDR_ELNO_ELGA' ,
♦ RESULTAT = resu, / [evol_ther]
◇ SENSIBILITE = l_parasensi,
/ theta, [theta_geom]
/ listpara, [para_sensi]

/ # options acoustiques
♦ OPTION = | 'PRES_ELNO_DBEL' ,
| 'PRES_ELNO_REEL' ,
| 'PRES_ELNO_IMAG' ,
| 'PRES_DBEL_DEPL' ,
| 'INTE_ELNO_ACTI' ,
| 'INTE_ELNO_REAC' ,
♦ RESULTAT = resu, / [acou_harmo]
/ [mode_acou]
◇ TITRE = titre, [l_Kn]
◇ INFO = / 1, [DEFAULT]
/ 2,
);
```

3 Opérandes

3.1 Opérandes RESULTAT / MODELE / CHAM_MATER / CARA_ELEM

◆ RESULTAT : resu

Nom de la structure de données résultat à enrichir. Cet argument peut être le même que celui utilisé pour le concept enrichi par l'opérateur, ou un nom différent, ce qui créera une nouvelle structure de données résultat (voir par exemple le test SSLS504 [V3.03.504]).

◆ MODELE : mo

Nom du modèle sur lequel sont calculés les efforts, les contraintes, les déformations,

◆ CHAM_MATER : chmater

Champ de matériau associé au modèle mo.

◇ CARA_ELEM : carac

Caractéristiques élémentaires associées au modèle mo, s'il contient des éléments de structure ou si les éléments iso-paramétriques sont affectés par un repère local d'anisotropie.

3.2 Opérande SENSIBILITE

◇ SENSIBILITE :
/ theta [theta_geom]
/ listpara [para_sensi]

Ce mot-clé est suivi d'une liste de paramètres sensibles. Il précise que l'on ne s'intéresse pas au résultat en lui-même, mais à la dérivée du résultat par rapport à un paramètre. Ainsi une séquence du type :

```
RESULTAT=resu,  
SENSIBILITE=(ps),  
OPTION='SIEF_ELGA_DEPL',
```

Signifie que l'on veut calculer aux points de Gauss la dérivée des contraintes par rapport au paramètre ps. Voir [U4 .50.02] pour les détails sur les paramètres associés aux mots clé.

```
| 'DEUL_ELGA_DEPL'  
| 'DEDE_ELNO_DLDE'
```

Dérivée Eulérienne du champ de déplacements aux points de Gauss ou aux nœuds [R4.03.01].

Nécessite la connaissance de la dérivée Lagrangienne des déplacements, donc d'avoir activé l'option SENSIBILITE dans MECA_STATIQUE, et d'utiliser le mot-clé SENSIBILITE dans CALC_ELEM.

```
| 'DESI_ELNO_DLSI'
```

Dérivée Eulérienne du champ de contraintes aux nœuds [R4.03.01].

Nécessite la connaissance de la dérivée Lagrangienne des contraintes en élasticité linéaire, donc d'avoir activé l'option SENSIBILITE dans MECA_STATIQUE, et d'utiliser le mot-clé SENSIBILITE dans CALC_ELEM.

3.3 Sélection des mailles concernées par le calcul

Les mots clé TOUT, GROUP_MA et MAILLE permettent à l'utilisateur de choisir les mailles sur lesquelles il souhaite faire ses calculs élémentaires de post-traitement.

```
/ TOUT : 'OUI'
```

Toutes les mailles (porteuses d'éléments finis) seront traitées. C'est la valeur par défaut.

```
/ | GROUP_MA : l_grma  
| MAILLE : l_maille
```

Seules les mailles incluses dans l_grma et/ou l_maille seront traitées.

3.4 Sélection des numéros d'ordre

Cf. [U4.71.00].

3.5 Opérands pour les options mécaniques

3.5.1 Option de calcul des contraintes

```
| 'SIEF_ELGA_DEPL'
```

Calcul de l'état de contrainte par élément aux points d'intégration de l'élément (points de GAUSS ou points d'intégrations pour chaque couche des éléments de coque et chaque secteur des éléments tuyaux) à partir des déplacements (élasticité linéaire), voir [U2.01.05].

```
| 'SIEF_ELNO_ELGA'
```

Calcul de l'état de contrainte aux nœuds (par élément) à partir de l'état de contrainte aux points de Gauss.

```
| 'SIGM_ELNO_DEPL'
```

Calcul des contraintes par élément aux nœuds à partir des déplacements (élasticité linéaire), voir [U1.04.00].

```
| 'SIGM_ELNO_COQU'
```

```
| 'NUME_COUCHE' = nume,  
| 1, [DEFAULT]
```

```
| 'NIV_COUCHE' = / 'INF',  
| / 'SUP',  
| / 'MOY', [DEFAULT]
```

Calcul des contraintes **dans une couche** d'éléments de coque (mots clés NUME_COUCHE et NIVE_COUCHE) à partir des contraintes aux points d'intégration de chaque couche (SIEF_ELGA) calculées lors d'un calcul non linéaire. Ces contraintes sont calculées dans le repère local de la coque défini par l'utilisateur dans la commande AFFE_CARA_ELEM. Dans le cas des coques en grands déplacements et grandes rotations (COQUE_3D avec DEFORMATION='GREEN_GR'), cette option intègre également le calcul des contraintes de Cauchy à partir des contraintes de Piola-Kirchhoff. Les contraintes issues de cette option sont donc des contraintes de Cauchy dans une couche.

| 'SIGM_ELNO_TUYO'

Calcul des contraintes **dans une couche** et pour un secteur angulaire d'éléments tuyau (mots clés NUME_COUCHE, NIVE_COUCHE et ANGLE).

```

◇ ANGLE =      / delta,          [ I ]
              / 0.,            [ DEFAULT ]
◇ | NUME_COUCHE = / nume,         [ I ]
              / 1,             [ DEFAULT ]
  | NIVE_COUCHE = / 'INF',
              / 'SUP',
              / 'MOY',          [ DEFAULT ]

```

avec :

- delta : angle en degrés (valeur entière) compté à partir de la position de la génératrice de l'élément tuyau,
- nume : numéro de couche (le numéro 1 correspond à la couche la plus interne). Doit être inférieur ou égal au nombre total de couches donné dans STAT_NON_LINE (mot-clé TUYAU_NCOU),
- NIVE_COUCHE désigne la position du point d'intégration dans la couche (INF correspond au point le plus interne).

| 'SIGM_ELNO_CART'
'EFGE_ELNO_CART'

Changement de repère des contraintes (ou des efforts généralisés) par élément aux nœuds du repère local au repère **global** de description du maillage ; cette option consiste à convertir un champ de contrainte (ou d'efforts généralisés) pour un modèle avec des éléments de structure, attachés au repère de référence d'un ensemble de plaques ou de coques ou du repère d'inertie principal d'un élément de poutre, pour les exprimer dans le repère global. Les efforts généralisés peuvent être obtenus dans un repère spécifié par l'utilisateur à l'aide du mot-clé EFGE_REPERE

```

| 'EFGE_ELNO_DEPL'
                                ◇ PLAN :      / 'MAIL'          [ DEFAULT ]
                                / 'MOY'
                                / 'INF'
                                / 'SUP'

```

Calcul des efforts généralisés par élément aux nœuds à partir des déplacements (élasticité linéaire) ; cette option n'a de sens que pour un modèle avec des éléments de structure (poutre, coque).

Dans le cas des modélisations de plaques avec excentrement (DKT, DST, Q4G, GRILLE), PLAN permet de définir le plan de calcul :

- 'MAIL' : plan du maillage,
- 'MOY' : plan moyen,
- 'INF' : plan supérieur (dans le sens de la normale),
- 'SUP' : plan inférieur (dans le sens de la normale).

```
| 'SIPO_ELNO_DEPL'
```

"Contraintes" dans la section de poutre décomposée en contributions de chaque effort généralisé :

SN	$\sigma_{xx} = \frac{N}{A}$	due à l'effort normal
SMFY	$\sigma_{xx} = \frac{MYz}{I_y}$	due au moment de flexion MY
SMFZ	$\sigma_{xx} = \frac{MZy}{I_z}$	due au moment MZ
SVY	$\sigma_{xy} = \frac{V_y a_y}{A}$	due à l'effort tranchant V_y , a_y coefficient de cisaillement dans la direction y
SVZ	$\sigma_{xz} = \frac{V_z a_z}{A}$	due à l'effort tranchant V_z , a_z coefficient de cisaillement dans la direction z
SMT	$\sigma_{yz} = \frac{MXR_t}{J_x}$	due au moment de torsion MX

Tout ceci en repère local, repère principal d'inertie de la section droite [R3.08.01].

Les valeurs de σ_{xx} due aux deux moments de flexion sont les valeurs maximum de celles calculées en Ymin, Ymax d'une part, et en Zmin, Zmax d'autre part (pour une section générale) (cf. AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01]).

Pour une section rectangulaire :

- on calcule la valeur de SMFY en $z = HZ/2$,
- on calcule la valeur de SMFZ en $y = HY/2$.
- Pour une section circulaire, on calcule les valeurs de SMFY et SMFZ pour y et z valant R .

```
| 'SIGM_ELNO_SIEF'
| 'SIPO_ELNO_SIEF'
```

Calcul des contraintes linéarisées par élément aux nœuds à partir des efforts généralisés (contenus dans le champ SIEF_ELNO_ELGA).

Les expressions sont les mêmes que pour les options SIGM_ELNO_DEPL ou SIPO_ELNO_DEPL, utilisables seulement en élasticité linéaire. Ici, les options SIGM_ELNO_SIEF et SIPO_ELNO_SIEF effectuent les mêmes calculs que

SIGM_ELNO_DEPL ou SIPO_ELNO_DEPL (par exemple $\sigma_{xx} = \left| \frac{N}{S} \right| + \frac{M_y \cdot R}{I_z} + \frac{M_z \cdot R}{I_y}$) à

partir du champ SIEF_ELNO_ELGA, qui peut être calculé pour des comportements non linéaires. Ces contraintes locales ne sont pas les contraintes réelles, mais une estimation des contraintes dues aux efforts généralisés sous l'hypothèse d'une répartition linéaire dans la section de la poutre.

3.5.2 Options de calcul des déformations

| 'DEGE_ELNO_DEPL'

Calcul des déformations généralisées par élément aux nœuds à partir des déplacements (élasticité linéaire) ; cette option n'a de sens que pour un modèle avec des éléments de structure.

| 'EPGR_ELNO'
| 'EPGR_ELGA'

Calcul (aux nœuds ou aux points de Gauss) des déformations de fluage associées au modèle de fluage de GRANGER (pour les bétons).

| 'EPME_ELNO_DEPL'
| 'EPME_ELGA_DEPL'

Calcul (aux nœuds ou aux points de Gauss) des déformations "mécaniques" à partir des déplacements. Ce calcul est fait en théorie des "**petits déplacements**". Les déformations calculées sont égales aux déformations totales moins les déformations thermiques.

$$\varepsilon_{ij}^m(u) = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) - \varepsilon^{th}$$

| 'EPMG_ELNO_DEPL'
| 'EPMG_ELGA_DEPL'

Calcul (aux nœuds ou aux points de Gauss) des déformations "mécaniques" à partir des déplacements. Ce calcul est fait en théorie des "**grands déplacements**". Les déformations calculées sont égales aux déformations totales moins les déformations thermiques.

$$E_{ij}^m(u) = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i}u_{k,j}) - \varepsilon^{th}$$

| 'EPSG_ELGA_DEPL'

Déformations de Green Lagrange aux points de Gauss.

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

| 'EPSG_ELNO_DEPL'

Déformations de Green Lagrange aux nœuds.

| 'EPSI_ELNO_DEPL'
| 'EPSI_ELGA_DEPL'

Calcul des déformations par élément aux nœuds (ou aux points de Gauss) à partir des déplacements.

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

| 'EPSI_ELNO TUYO'

Calcul des déformations **dans une couche** et pour un secteur angulaire d'éléments tuyau (mots clés NUME_COUCHE, NIVE_COUCHE et ANGLE).

```

◇ ANGLE = / delta, [ I ]
           / 0., [ DEFAULT ]
◇ | NUME_COUCHE = / nume, [ I ]
           / 1, [ DEFAULT ]
  | NIVE_COUCHE = / 'INF',
           / 'SUP',
           / 'MOY', [ DEFAULT ]

```

avec :

- **delta** : angle en degrés (valeur entière) compté à partir de la position de la génératrice de l'élément tuyau,
- **nume** : numéro de couche (le numéro 1 correspond à la couche la plus interne). Doit être inférieur ou égal au nombre total de couches donné dans **STAT_NON_LINE** (mot-clé **TUYAU_NCOU**),
- **NIVE_COUCHE** désigne la position du point d'intégration dans la couche (**INF** correspond au point le plus interne).

| 'EPSP_ELGA'

Déformations anélastiques aux points de Gauss. A partir du champ de déplacements (u), de contraintes (σ), de températures T (il faut donc fournir la charge contenant 'TEMP_CALCULEE'), de déformations anélastiques éventuelles ε^a , et de variables internes, on calcule à chaque instant : $\varepsilon^p = \varepsilon(u) - A^{-1}\sigma - \varepsilon^{th}(T) - \varepsilon^a - \varepsilon^{fl}$ ou ε^{fl} est la déformation de fluage propre de Granger.

| 'EPSP_ELNO'

Déformations anélastiques obtenues par extrapolation aux nœuds des valeurs aux points de Gauss (cf. EPSP_ELGA).

3.5.3 Options d'interpolation et d'extraction des variables internes

| 'VARI_ELNO_ELGA'

Calcul des variables internes aux nœuds des éléments à partir des points de Gauss.

Le nombre et le type de ces variables internes sont spécifiques à chaque modèle de comportement (cf. doc U4 de **STAT_NON_LINE** par exemple).

| 'VARI_ELNO_TUYO'

Calcul des variables internes **dans une couche** et pour un secteur angulaire d'éléments tuyau (mots clés **NUME_COUCHE**, **NIVE_COUCHE** et **ANGLE**).

```
◇ ANGLE =      / delta,          [ I ]
              / 0.,            [ DEFAULT ]
◇ | NUME_COUCHE = / nume,         [ I ]
  |              / 1,           [ DEFAULT ]
  | NIVE_COUCHE = / 'INF',
  |              / 'SUP',
  |              / 'MOY',        [ DEFAULT ]
```

avec :

- **delta** : angle en degrés compté à partir de la position de la génératrice de l'élément tuyau,
- **nume** : numéro de couche (le numéro 1 correspond à la couche la plus interne). Doit être inférieur ou égal au nombre total de couches donné dans **STAT_NON_LINE** (mot-clé **TUYAU_NCOU**),
- **NIVE_COUCHE** désigne la position du point d'intégration dans la couche (**INF** correspond au point le plus interne).

| 'VARI_ELNO_COQU'

Calcul des variables internes dans une couche d'éléments coque définie par **NUME_COUCHE** et **NIVE_COUCHE**.

Remarque :

Pour les options `RADI_ELNO_SIGM` et `RADI_ELGA_SIGM`, il faut savoir que le calcul nécessite de comparer les champs de contraintes aux instants t_i et t_{i+1} . Le résultat est rangé au numéro d'ordre associé à l'instant t_i .

L'indicateur de perte de radialité est calculé par :
$$IP = 1 - \frac{\left| (\sigma_{i+1} - \sigma_i) : \sigma_i \right|}{\|\sigma_{i+1} - \sigma_i\| \cdot \|\sigma_i\|}$$

Par défaut, le calcul se fait pour les numéros d'ordre 1 à $n-1$.

Si on précise la liste d'instant (avec des "trous" éventuellement), le calcul ne concernera que les instants demandés mais il comparera toujours l'instant t_i avec l'instant t_{i+1} dans la liste des instants ayant servi à faire le calcul non-linéaire.

3.5.4 Options de calcul d'énergies

| 'ECIN_ELEM_DEPL'

Energie cinétique d'un élément.

| 'ENEL_ELNO_ELGA'
| 'ENEL_ELGA'

Calcul de la densité d'énergie élastique au points de Gauss ou aux nœuds de chaque élément.

Cette option diffère de l'option `EPOT_ELEM_DEPL` qui calcule l'énergie de déformation élastique intégrée dans chaque élément, cette énergie étant un scalaire pour un élément donné. Ici, on calcule la densité d'énergie élastique qui s'écrit :

$$E_p = \frac{1}{2} \sigma A^{-1} \sigma$$

Ce calcul s'appuie sur le champ de contraintes aux points de Gauss, obtenu par `SIEF_ELGA` ou `SIEF_ELGA_DEPL`.

| 'EPOT_ELEM_DEPL'

Calcul de l'énergie potentielle de déformation intégrée sur un élément, à partir des déplacements U et des températures T

- pour les éléments de milieux continus 2D et 3D :

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

- pour les éléments de poutres :

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

- et pour les éléments de plaques et coques :

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

| 'EPGR_ELGA'
| 'EPGR_ELNO'

Déformations de fluage propre du béton (modèle de Granger [R7.01.01]).

| 'ETOT_ELGA'
| 'ETOT_ELNO_ELGA'
| 'ETOT_ELEM'

Calcul de l'énergie de déformation totale (voir option ENER_TOTALE de POST_ELEM) aux points de Gauss, au nœuds ou intégrée sur l'élément.

| 'PRES_DBEL_DEPL'

Calcul de la pression aux nœuds des éléments (en décibels) à partir des champs de déplacements pour les éléments de vibro-acoustique.

3.5.5 Options de calcul de critères

| 'CRIT_ELNO_RUPT'

Calcul des critères de rupture pour les coques en matériaux composites [R4.01.01]. A partir des contraintes calculées pour une couche donnée (option 'SIGM_ELNO_DEPL', et mots clés NUME_COUCHE et NIVE_COUCHE), et des contraintes limites fournies sous ELAS_ORTH dans DEFI_MATERIAU, le champ 'CRIT_ELNO_RUPT' contient 6 composantes :

$$\begin{aligned} \text{CRIL} &= \frac{\sigma_L}{X_T} && \text{critère de rupture en traction dans le sens } L, \text{ si } \sigma_L > 0, \\ \text{CRILP} &= \frac{\sigma_L}{X_C} && \text{critère de rupture en compression dans le sens } L, \text{ si } \sigma_L < 0, \\ \text{CRIT} &= \frac{\sigma_T}{Y_T} && \text{critère de rupture en traction dans le sens } T, \text{ si } \sigma_T > 0, \\ \text{CRITP} &= \frac{\sigma_T}{Y_C} && \text{critère de rupture en compression dans le sens } T, \text{ si } \sigma_T < 0, \\ \text{CRILT} &= \frac{|\sigma_{LT}|}{S_{LT}} && \text{critère de rupture en cisaillement} \end{aligned}$$

et

$$\text{CRITH} = \text{critère de Tsai - Hill}$$

(voir exemple dans test SSLS121 [V3.03.121])

Toutes ces quantités sont calculées dans le repère d'orthotropie de la coque considérée.

| 'ENDO_ELNO_SIGA'
| 'ENDO_ELNO_SINO'

Calcul du taux de triaxialité et de la contrainte équivalente d'endommagement (aux nœuds (_SINO) ou aux points de Gauss (_SIGA) à partir des contraintes.

Soit s le déviateur du tenseur des contraintes σ :

$$\begin{aligned} s &= \sigma - \frac{1}{3} \text{tr}(\sigma).I \\ \sigma_{eq} &= \sqrt{\frac{3}{2}} s : s \\ \sigma_h &= \frac{1}{3} \text{tr}(\sigma) \end{aligned}$$

Le taux de triaxialité α est défini par :

$$\alpha = \frac{\sigma_h}{\sigma_{eq}}$$

La contrainte équivalente d'endommagement est :

$$\sigma^* = \sigma_{eq} \sqrt{\frac{2}{3}(1+\nu) + 3(1-2\nu)\alpha^2}$$

| 'ENDO_ELGA'

Calcul du dommage d aux points de Gauss à partir du tenseur des contraintes et de la déformation plastique cumulée p . La cinétique d'endommagement est donnée par la loi de Lemaître-Sermage :

$$\dot{d} = \left[\frac{Y}{S} \right]^s \dot{p} \quad \text{si } p \geq p_{\text{seuil}}$$

$$\text{avec } Y = \frac{\sigma^{*2}}{2E(1-D)^2}$$

où S et s sont des coefficients caractéristiques du matériau et p_{seuil} le seuil d'endommagement lié à l'énergie stockée dans le matériau (si $s=1$ on obtient la loi de Lemaître classique).

Calcul systématique du taux de triaxialité α et de la contrainte équivalente d'endommagement σ^* :

$$\text{SI_ENDO : } \sigma^* = \sigma_{eq} \sqrt{\frac{2}{3}(1+\nu) + 3(1-2\nu)\alpha^2}$$

$$\text{TRIAX : } \alpha = \frac{\sigma_h}{\sigma_{eq}}$$

avec

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma' : \sigma'}$$

$$\sigma_h = \frac{1}{3} \text{tr}(\sigma)$$

$$\sigma' = \sigma - \frac{1}{3} \text{tr}(\sigma) I$$

Calcul du dommage total par cumul linéaire

$$\text{D_CUMULE : } D = \sum_i D_i$$

TRIAX	valeur du taux de triaxialité
SI_ENDO	valeur de la contrainte d'endommagement de Lemaître-Sermage
COENDO	valeur de la contrainte d'endommagement de Lemaître-Sermage normalisée
DOM_LEM	valeur du dommage de Lemaître-Sermage
D_CUMULE	valeur du dommage de Lemaître-Sermage cumulé

| 'ENDO_ELNO_ELGA'

Endommagement de Lemaître-Sermage obtenues par extrapolation aux nœuds des valeurs aux points de Gauss (cf. ENDO_ELGA).

| 'EQUI_ELGA_EPSI'
| 'EQUI_ELGA_EPME'

Déformations "équivalentes" aux points de Gauss (calculées à partir des champs EPSI_ELGA_DEPL, ou EPME_ELGA_DEPL) :

$$\text{INVA_2 : second invariant de } \varepsilon \quad \text{INVA_2} = \sqrt{\frac{2}{3} \varepsilon_{ij} \varepsilon_{ij}}$$

INVA_2SG : second invariant de ε signé par la trace de ε

PRIN_1, PRIN_2, PRIN_3 : déformations principales

Pour les éléments TUYAU, les composantes calculés sont INVA_2 et INVA_2SG

| 'EQUI_ELGA_SIGM'

Contraintes "équivalentes" aux points de Gauss :

$$\text{VMIS : contrainte de von Mises :} \quad \text{VMIS} = \sqrt{\frac{3}{2} \hat{\sigma}_{ij} \hat{\sigma}_{ij}}$$
$$\hat{\sigma}_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{\text{tr} \sigma}{3} \delta_{ij}$$

VMIS_SG : contrainte de von Mises signée par la trace de σ

PRIN_1, PRIN_2, PRIN_3 : contraintes principales

TRESCA : contrainte de Tresca

Pour les éléments TUYAU, les composantes calculés sont VMIS et VMIS_SG

| 'EQUI_ELNO_EPSI'
| 'EQUI_ELNO_EPME'

Déformations "équivalentes" aux nœuds (calculées à partir des champs EPSI_ELNO_DEPL, ou EPME_ELNO_DEPL) :

INVA_2 : second invariant de ε

INVA_2SG : second invariant de ε signé par la trace de ε

PRIN_1, PRIN_2, PRIN_3 : déformations principales

| 'EQUI_ELNO_SIGM'

Contraintes "équivalentes" aux nœuds :

VMIS : contrainte de von Mises

VMIS_SG : contrainte de von Mises signée par la trace de σ

PRIN_1, PRIN_2, PRIN_3 : contraintes principales

TRESCA : contrainte de Tresca

Pour les éléments de milieux continus 2D et 3D, elles sont (à partir de la version 7.2) extrapolées aux nœuds à partir des contraintes équivalentes calculées aux points de Gauss, elles mêmes calculées à partir des champs de contraintes aux points de Gauss (SIEF_ELGA_DEPL en linéaire, et SIEF_ELGA en non linéaire).

Dans le cas où on calcule ensuite les valeurs moyennées aux nœuds, par l'option 'EQUI_NOEU_SIGM' de CALC_NO, du fait des interpolations, on n'a pas forcément $VMIS = ABS(VMIS_SG)$.

Pour les éléments de coques, elles sont calculées directement sur les contraintes locales (en un point de l'épaisseur) aux nœuds (SIGM_ELNO_DEPL en linéaire et SIGM_ELNO_COQU en non linéaire).

| INDI_LOCA_ELGA'

Indicateur de localisation, basé sur le tenseur acoustique (critère de RICE), défini par : $\det(N.H.N) \leq 0$, où H désigne l'opérateur tangent et N la normale aux directions de localisation. Cet indicateur définit un état à partir duquel le problème local d'intégration du comportement perd son caractère d'unicité.

La méthode n'est développée que dans le cas 2D et pour la loi de comportement de type DRUCKER_PRAGER.

L'OPTION INDI_LOCA_ELGA qui contient les composantes suivantes :

- INDICE : Indicateur de localisation valant 0 si $\det(N.H.N) > 0$, et valant 1 sinon, ce qui correspond à l'initiation de la localisation,
- DIR1 : correspond à la première normale à la zone de localisation,
- DIR2 : à la deuxième normale
- DIR3 : à la troisième normale
- DIR4 : à la quatrième normale

| 'PMPB_ELGA_SIEF'

| 'PMPB_ELNO_SIEF'

Calcul de critères du RCC-M G3000 pour les éléments de poutres POU_D_E et POU_D_T. Deux quantités sont calculées : PM et PMPB.

$$PM = \left| \frac{N}{S} \right|$$

$$PMPB = \left| \frac{N}{S} \right| + \frac{M.R}{I} \text{ avec } M = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$$

Ceci correspond à la valeur maximum de SIXX dans une section circulaire [R3.08.01].

PMPB_ELGA_SIEF : valeurs de PM et PMPB aux points de Gauss, calculées à partir de SIEF_ELGA.

PMPB_ELNO_SIEF : valeurs de PM et PMPB aux nœuds, calculées à partir de SIEF_ELNO_ELGA.

En toute rigueur, ces critères sont à appliquer aux contraintes primaires. Cette distinction est à faire par l'utilisateur.

3.5.6 Options de calcul d'indicateurs d'erreur

| 'DCHA_ELGA_SIGM'

Indicateur local de décharge aux points de Gauss [R4.20.01].

| 'DCHA_ELNO_SIGM'

Indicateur local de décharge aux nœuds [R4.20.01].

Remarque :

Pour les options *DCHA_ELGA_SIGM* et *DCHA_ELNO_SIGM*, il faut savoir que le calcul nécessite de comparer les champs de contraintes aux instants t_i et t_{i+1} . Le résultat est rangé au numéro d'ordre associé à l'instant t_i .

L'indicateur de décharge est calculé par : $ID = \frac{\|\sigma_{i+1}\| - \|\sigma_i\|}{\|\sigma_{i+1}\|}$.

Par défaut, le calcul se fait pour les numéros d'ordre 1 à $n-1$.

Si on précise la liste d'instant (avec des "trous" éventuellement), le calcul ne concernera que les instants demandés mais il comparera toujours l'instant t_i avec l'instant t_{i+1} dans la liste des instants ayant servi à faire le calcul non-linéaire.

| 'ERRE_ELEM_NOZ1' (respectivement 'ERRE_ELEM_NOZ2')

Calcul de l'estimateur d'erreur de ZHU_ZIENKIEWICZ (élasticité linéaire 2D) à partir de l'option 'SIGM_NOZ1_ELGA' (respectivement 'SIGM_NOZ2_ELGA'). Si ce dernier champ n'existe pas dans *resu*, il est automatiquement construit au préalable, voir [R4.10.01].

| 'ERRE_ELGA_NORE'

Estimateur d'erreur en résidu en mécanique, calculé par élément [R4.10.02].

Conseils d'utilisation de l'option *ERRE_ELGA_NORE*

Pour bien effectuer l'estimation d'erreur du calcul mécanique (dans les limites théoriques de la formule mise au point dans le cadre elliptique avec frontière régulière...), il faut l'effectuer sur tout le modèle :

TOUT = 'OUI' (valeur par défaut)

A noter que le modèle n'est pas forcément défini sur toute la géométrie.

Il faut aussi effectuer préalablement dans *CALC_ELEM* le calcul des contraintes aux nœuds (cf. [R3.06.03]), par *SIGM_ELNO_DEPL* ou *SIRE_ELNO_DEPL* en linéaire, par *SIEF_ELNO_ELGA* en non linéaire. Sinon une alarme est émise et le calcul d'erreur n'est pas effectué sans provoquer l'arrêt de l'exécution. Si le champ de contraintes aux nœuds existe déjà dans la structure de données *resultat* il n'est pas recalculé.

- En ce qui concerne les chargements :

Il faut fournir à *CALC_ELEM* les chargements utilisés pour le calcul mécanique :

EXCIT= F(CHARGE=....)

en prenant bien garde aux règles de surcharges différentes pour le solveur mécanique et pour cette option de *CALC_ELEM*.

Ainsi, le calcul mécanique (*MECA_STATIQUE*, *STAT_NON_LINE* ...) agrège les conditions aux limites alors que le calcul de l'erreur ne va retenir, pour un type de conditions aux limites donné, que la dernière listée dans le *EXCIT* de *CALC_ELEM*.

L'ordre a donc une importance cruciale ! Il ne faut donc, pour un type de conditions aux limites, qu'une seule occurrence dans les *AFFE_CHAR* ...

On ne tient compte que des chargement de type : *PESANTEUR*, *ROTATION*, *FORCE_INTERNE*, *PRES_REP*, *FORCE_FACE*, *FORCE_ARETE*.

Seules les trois dernières peuvent être variables.

Il est conseillé d'utiliser des éléments finis d'ordre 2 dans le cas de forces volumiques, sinon ce terme est très mal calculé puisque *DIV(SIGMA)* est quasi nul !

Pour prendre en compte l'erreur relative à une CL nulle il faut l'imposer en tant que fonction via un *AFFE_CHAR_MECA_F*. Via une constante, elle ne sera pas prise en compte.

- Maillage :

Le maillage doit être Triangulaire ou tétraédrique, avec aucun *GROUP_NO* si on veut remailler ensuite via *HOMARD*.

- En 2D, il ne prend en compte que les erreurs sur (et entre) les éléments isoparamétriques SEG2/3, TRIA3/6, QUAD4/8/9.
En 3D, idem avec FACE3/4/6/8/9, TETRA4/10, PENTA6/13/15 et HEXA8/20/27... donc pas les PYRAM ni les éléments de structure (coque, plaque, poutre...).
- D'autre part, il faut veiller à ne pas intercaler de segments entre deux quadrangles ou deux triangles (resp. quad ou triangle entre deux hexa), sinon on ne peut pas calculer le terme de saut relatif à ce voisinage. A la place, on s'enquiert (à tort) d'une éventuelle CL.

| 'ERRE_ELNO_ELGA'

Estimateur d'erreur en résidu aux nœuds [R4.10.02].

| 'RADI_ELGA_SIGM'

Indicateur de perte de radialité aux points de Gauss [R4.20.01].

| 'RADI_ELNO_SIGM'

Indicateur de perte de radialité aux nœuds [R4.20.01].

Remarque :

Pour les options *DCHA_...* et *RADI_...*, il faut savoir que le calcul nécessite de comparer les champs de contraintes aux instants t_i et t_{i+1} . Le résultat est rangé au numéro d'ordre associé à l'instant t_i .

- l'indicateur de décharge est calculé par : $ID = \frac{\|\sigma_{i+1}\| - \|\sigma_i\|}{\|\sigma_{i+1}\|}$,
- l'indicateur de perte de radialité est calculé par : $IP = 1 - \frac{(\sigma_{i+1} - \sigma_i) : \sigma_i}{\|\sigma_{i+1} - \sigma_i\| \cdot \|\sigma_i\|}$.

Par défaut, le calcul se fait pour les numéros d'ordre 1 à $n-1$.

Si on précise la liste d'instant (avec des "trous" éventuellement), le calcul ne concernera que les instants demandés mais il comparera toujours l'instant t_i avec l'instant t_{i+1} dans la liste des instants ayant servi à faire le calcul non-linéaire.

| 'SIGM_NOZ1_ELGA'

Calcul des contraintes aux nœuds (élasticité linéaire 2D) ; les contraintes sont obtenues par un lissage global (au sens des moindres carrés) des contraintes aux points de GAUSS. Voir Estimation d'erreur par lissage des contraintes [R4.10.01].

| 'SIGM_NOZ2_ELGA'

Calcul des contraintes aux nœuds (élasticité linéaire 2D) ; les contraintes sont obtenues par un lissage local à un patch d'éléments (au sens des moindres carrés) des contraintes aux points de GAUSS, voir [R4.10.01].

3.5.7 Autres options

| 'VNOR_ELEM_DEPL'

Projection d'un champ de vitesse sur la normale des éléments de type coque ou plaque. Cette option sert notamment au chaînage avec le code VARIA.

| 'VALE_NCOU_MAXI'

- ◆ NOM_CHAM = ch [cham_elem_*]
- ◆ NOM_CMP = cmp [TXM]

Extraction des valeurs extrémales, en chaque point de Gauss linéique d'un élément de tuyau, de la composante *cmp* du champ *ch*, sur tous les points d'intégration de la section.

Les champs possibles sont : les champs de contraintes (SIEF_ELGA_, SIEF_ELGA_DEPL), les champs de déformations (EPSI_ELGA_DEPL), les champs de valeurs équivalentes (EQUI_ELGA_SIGM, EQUI_ELGA_EPSI), les champs de variables internes (VARI_ELGA).

Le champ créé de nom VALE_NCOU_MAXI contient pour chaque instant les composantes :

MIN	valeur minimum
MAX	valeur maximum
NCOUMIN	numéro de la couche pour la valeur min
NCOUMAX	numéro de la couche pour la valeur max
NSEGMIN	numéro du secteur angulaire pour la valeur min
NSEGMAX	numéro du secteur angulaire pour la valeur max
NPCOUMIN	numéro du point de la couche NCOUMIN
NPCOUMAX	numéro du point de la couche NCOUMAX
NPSECMIN	numéro du point sur le secteur NSECMIN
NPSECMAX	numéro du point sur le secteur NSECMAX

3.5.8 Mot clé EXCIT

3.5.8.1 Opérande CHARGE

Ce mot clé facteur permet de définir les chargements thermiques ou mécaniques et des coefficients qui ont servi dans le calcul de la structure de données RESULTAT qu'on enrichit.

Opérande CHARGE

- ◆ CHARGE = charge

Nécessaire pour récupérer les valeurs de température (pour une analyse thermo-mécanique) et les chargements répartis pour les modèles contenant des poutres.

Champ de température pour une analyse thermo-mécanique

Le champ de température ainsi récupéré intervient de 2 façons :

- modification éventuelle des caractéristiques des matériaux,
- prise en compte de la dilatation thermique pour le calcul des déformations et des contraintes.

Remarque importante :

C'est une erreur d'utilisation assez classique d'oublier de renseigner le mot clé CHARGE dans une analyse thermo-mécanique. Dans ce cas les contraintes calculées sont fausses. Il est bon de prendre l'habitude de toujours indiquer les charges prises en compte lors du calcul du déplacement (même si elles ne servent à rien !).

Chargements répartis pour les modèles contenant des poutres

Pour les modèles contenant des poutres, on stipule sous le mot clé CHARGE, les chargements répartis. Or les chargements ont pu être multipliés dans d'autres commandes par des coefficients qu'on renseigne alors sous les mots clés.

- ◇ COEF_MULT = cm

Coefficient multiplicateur réel utilisé dans les commandes DYNA_LINE_HARM [U4.53.11], et DYNA_LINE_TRAN [U4.53.02].

- ◇ COEF_MULT_C = cmc

Coefficient multiplicateur complexe utilisé dans la commande DYNA_LINE_HARM [U4.53.11].

- ◇ FONC_MULT = fm

Fonction multiplicatrice réelle utilisée dans la commande DYNA_LINE_HARM [U4.53.11] (elle dépend de la fréquence) et les commandes MECA_STATIQUE [U4.51.01] et DYNA_LINE_TRAN [U4.53.02] (elle dépend du temps).

- ◇ FONC_MULT_C = fmc

Fonction multiplicatrice complexe utilisée dans la commande DYNA_LINE_HARM [U4.53.11] (elle dépend de la fréquence).

◇ PHAS_DEG = pd

Cet opérateur permet de définir la phase de chaque composante de l'excitation en degrés par rapport à une référence de phase unique. Il est utilisé dans la commande DYNA_LINE_HARM [U4.54.02].

◇ PUIS_PULS = n

Ce nombre permet de définir la puissance de pulsation lorsque le chargement est fonction de la fréquence. Il est utilisé dans la commande DYNA_LINE_HARM [U4.53.11].

3.5.9 Opérateur NORME

Pour les options 'DCHA_...' ou 'RADI_...', on doit choisir une "norme" pour le tenseur des contraintes [R4.20.01] le choix est fait grâce au mot clé NORME.

/ 'VMIS' [DEFAULT]

On prend le second invariant du déviateur du tenseur des contraintes σ .

/ 'VMIS_CINE'

Avant de prendre le second invariant du déviateur, on retire au tenseur des contraintes σ le tenseur X caractérisant l'état d'érouissage cinématique.

/ 'TOTAL'

On prend le second invariant du tenseur σ (en tenant compte de la trace).

/ 'TOTAL_CINE'

On retire d'abord X avant de prendre le second invariant du tenseur total des contraintes (tenant compte de la trace).

Remarque :

Les normes 'VMIS_CINE' et 'TOTAL_CINE' ne sont utilisables que si le calcul élastoplastique a été fait avec le comportement 'VMIS_CINE_LINE'.

3.5.10 Opérateurs NUME_COUCHE / NIVE_COUCHE

◇ NUME_COUCHE = nume

Dans le cas d'un matériau multicouche (coque multicouche définie par DEFI_COQU_MULT), ou d'un élément de structure avec comportement non linéaire local, intégré par couches, NUME_COUCHE est la, 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 (dans le sens de la normale) dans le cas des éléments de coque mécanique ou de coque thermique et correspond à la couche interne dans le cas d'un élément TUYAU.

◇ 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).

3.5.11 Opérateur PLAN

◇ PLAN = / 'MAIL' [DEFAULT]
/ 'MOY'
/ 'INF'
/ 'SUP'

Cet opérateur permet de spécifier le plan de calcul des champs élémentaires pour un modèle avec des éléments de plaques en tenant compte de l'excentrement éventuel.

Limitations : cette option n'est disponible que pour le calcul des efforts généralisés par éléments aux nœuds à partir des déplacements (élasticité linéaire), option EFGE_ELNO_DEPL.

De plus, cette option n'est utilisable que pour les DKT, DST, Q4G, GRILLE.

- 'MAIL' : plan du maillage,
- 'MOY' : plan moyen,
- 'INF' : plan supérieur (dans le sens de la normale),
- 'SUP' : plan inférieur (dans le sens de la normale).

3.6 Opérantes pour les options thermiques

3.6.1 Opérante OPTION

| 'FLUX_ELGA_TEMP'

Calcul des flux de chaleur aux points d'intégration de GAUSS à partir de la température.

| 'FLUX_ELNO_TEMP'

Calcul des flux de chaleur aux nœuds à partir de la température.

| 'ERTH_ELEM_TEMP',
| 'ERTH_ELNO_ELEM'

Estimateurs d'erreur en résidu en thermique. [R4.10.03]. Il faut préalablement effectuer dans CALC_ELEM le calcul des flux aux nœuds via FLUX_ELNO_TEMP.

Le mot-cle INFO procure tous les affichages intermédiaires du calculs (connectivités, normales, diamètres, valeurs des champs, jacobien).

L'option 'ERTH_ELNO_ELEM' permet de ramener le champ par élément ERTH_ELEM_TEMP à un champ aux nœuds par élément, ce qui permet de faire des relevés de valeurs ou des impressions / visualisations.

| 'SOUR_ELGA_ELEC'

Calcul d'une source de chaleur (pouvant être introduite dans un calcul thermique via le mot clé SOURCE = (SOUR_CALCULEE : ...) de la commande AFFE_CHAR_THER [U4.44.02].

Cette source est calculée à partir d'un potentiel électrique via la loi d'ohm. Ce potentiel électrique doit avoir été calculé par l'opérateur THER_LINEAIRE [U4.54.01] en faisant les analogies nécessaires.

| 'DEUL_ELGA_TEMP'
| 'DETE_ELNO_DLTE'

Dérivée Eulérienne du champ de température aux points de Gauss ou aux noeuds [R4.03.01].

Nécessite la connaissance de la dérivée Lagrangienne des températures, donc d'avoir activé l'option SENSIBILITE dans THER_LINEAIRE, et d'utiliser le mot-clé SENSIBILITE dans CALC_ELEM.

| 'DURT_ELGA_META'
| 'DURT_ELNO_META'

Calcul de dureté (aux points de Gauss ou aux nœuds) à partir des phases métallurgiques (cf. [R4.04.01]).

| 'HYDR_ELNO_ELGA'

Calcul de l'hydratation aux nœuds à partir de l'hydratation aux points de Gauss, calculée par THER_NON_LINE pour la modélisation du béton [R7.01.12].

3.7 Opérandes pour les options acoustiques

3.7.1 Opérande **OPTION**

- | 'PRES_ELNO_DBEL' Calcul de la pression aux nœuds en décibels.
 - | 'PRES_ELNO_REEL' Calcul des parties réelles du champ de pression aux nœuds.
 - | 'PRES_ELNO_IMAG' Calcul des parties imaginaires réelles du champ de pression aux nœuds.
 - | 'INTE_ELNO_ACTI' Calcul de l'intensité acoustique active aux nœuds.
 - | 'INTE_ELNO_REAC' Calcul de l'intensité acoustique réactive aux nœuds.
- Les définitions se trouvent dans [R4.02.01].

3.8 Opérande **TITRE**

- ◇ TITRE = titre
- Titre que l'on veut donner au résultat de la commande [U4.02.01].

4 Exemples

4.1 Calcul du flux pour un evol_ther

```
evoth = CALC_ELEM (reuse=evoth, RESULTAT = evoth, MODELE = mo,  
                  CHAM_MATER = chmat,  
                  TOUT_ORDRE = 'OUI', OPTION = 'FLUX_ELNO_TEMP' )
```

4.2 Calcul de l'estimateur d'erreur zz2 pour quelques instants d'un concept de type evol_elas

```
evolass = CALC_ELEM (reuse= evolass, RESULTAT = evolass , MODELE = mo ,  
                  CHAM_MATER= chmat, INST = (1.,10.,20.),OPTION = 'ERRE_ELEM_NOZ2' )
```

4.3 Contraintes aux points de GAUSS pour un calcul thermo-mécanique

```
evolass = CALC_ELEM (reuse= evolass, RESULTAT = evolass, MODELE = mo ,  
                  CHAM_MATER = chmat, CHARGE = ch_ther , TOUT_ORDRE = 'OUI',  
                  OPTION = 'SIEF_ELGA_DEPL' )
```

4.4 Calcul des énergies potentielles pour un mode propre

```
mode = CALC_ELEM (reuse=mode, RESULTAT = mode, MODELE = mo ,  
                  CHAM_MATER = chmat, NUME_MODE = 3, OPTION = 'EPOT_ELEM_DEPL' )
```

4.5 Calcul de la dérivée des contraintes

```
evolass = CALC_ELEM (reuse= evolass, RESULTAT = evolass, MODELE = mo ,  
                  CHAM_MATER = chmat, SENSIBILITE=(ps1,ps2),  
                  OPTION = 'SIEF_ELGA_DEPL' )
```

4.6 Calcul de l'endommagement de Lemaître ou de Lemaître-Sermage

```
evolass = CALC_ELEM(reuse = evolass, MODELE=mo, CHAM_MATER= chmat,  
                  OPTION=('ENDO_ELGA','ENDO_ELNO_ELGA',),  
                  RESULTAT= evolass,);
```