

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées
Document : U4.83.11

Opérateur POST_RCCM

1 But

Vérifier des critères du RCC-M (Edition 1991). Il s'agit notamment des critères de niveau 0 et de certains critères de niveau A du §B3200, et des critères de fatigue du §B3600.

Les critères de niveau 0 visent à prémunir le matériel contre les dommages de déformation excessive, d'instabilité plastique et d'instabilité élastique et élastoplastique. Ces critères nécessitent le calcul des contraintes équivalentes de membrane P_m , de membrane locale P_l et de membrane plus flexion P_m+P_b .

Les critères de niveau A visent à prémunir le matériel contre les dommages de déformation progressive et de fatigue. Hors fatigue, ils nécessitent le calcul de l'amplitude de variation de contrainte linéarisée, notée S_n , et éventuellement de la quantité S_n^* . Pour la fatigue, ils nécessitent en plus le calcul de l'amplitude de variation de contrainte en un point, notée S_p .

La commande `POST_RCCM` effectue les calculs de P_m , P_m+P_b , S_n , S_n^* , S_p , du nombre de cycles admissibles et du facteur d'usage en fatigue, sur des chemins définis par `INTE_MAIL_2D` ou `INTE_MAIL_3D` ou sur des groupes de nœuds pour des éléments de milieu continu 2D ou 3D.

En post-traitement d'analyses de tuyauteries, l'option `FATIGUE` permet le calcul facteur d'usage en fatigue en prenant en compte toutes les situations calculées.

Produit une structure de données de type `table`.

Avant une première utilisation, il est conseillé de se référer aux documents de référence et de conseil, notamment le document [U2.09.03].

2 Syntaxe

```

TABL_POST_RCCM = POST_RCCM (

    ◇ TYPE_RESU = / 'VALE_MAX', [DEFAULT]
                  / 'DETAILS',

    ◇ INFO /1 , [DEFAULT]
           /2 ,

    ◇ TITRE = titre, [Kn]

    ◆ TYPE_RESU_MECA = / 'EVOLUTION', [DEFAULT]
                      / 'UNITAIRE',
                      / 'TUYAUTERIE',

/ TYPE_RESU_MECA = 'EVOLUTION'

    ◆ OPTION = / | 'SN',
                | 'PM_PB',
                | 'FATIGUE_ZH210',

    ◆ MATER = mat, [mater]
    ◇ MAILLAGE = ma [maillage]
    ◆ SEGMENT = _F(
        ◇ INTITULE = nomseg,
        ◆ / CHEMIN = / seg2d , [courbe]
                  / seg3d , [surface]
        / / GROUP_NO = grno, [group_no]
        / NOEUD = l_noeu , [l_noeud]
        | PRECISION = / prec, [DEFAULT]
                  / 1.0E-03 , [DEFAULT]
        | CRITERE = / 'RELATIF', [DEFAULT]
                  / 'ABSOLU' ,
        )

    ◆ TRANSITOIRE=_F (
        ◆ RESULTAT = resu, / [evol_elas]
                          / [evol_noli]
        ◇ RESU_SIGM_THER = resuth , / [evol_elas]
                                  / [evol_noli]

        ◇ NB_OCCUR = / nocc, [I]
                    / 1, [DEFAULT]

        ◆ NOM_CHAM = / 'SIEF_ELNO_ELGA',
                    / 'SIGM_ELNO_DEPL',

    ◇ / TOUT_ORDRE = 'OUI',
      / NUME_ORDRE = lordre , [l_I]
      / LIST_ORDRE = lordre , [listIs]
      / INST = linst , [l_R]
      / LIST_INST = linst , [listr8]
        ◇ | PRECISION = / prec, [R]
                  / 1.D-06 , [DEFAULT]
          | CRITERE = / 'RELATIF', [DEFAULT]
                  / 'ABSOLU' ,
        )

```

Titre : Opérateur *POST_RCCM*
Auteur(s) : **E. GALENNE, M. ABBAS, L. VIVAN**

Date : 10/02/05
Clé : U4.83.11-E Page : 3/24

```

/ TYPE_RESU_MECA = 'UNITAIRE'
  ♦ OPTION      = / | 'SN',
                  | 'PM_PB',
                  | 'FATIGUE',
  ♦ MATER       = mat ,                               [mater]
  ♦ TYPE_KE     = / 'KE_MECA',                         [Defaut]
                  / 'KE_MIXTE'
  ♦ CHAR_MECA  =_F (
    ♦ NUME_CHAR = numchar ,                             [I]
    ♦ NOM_CHAR  = nomchar ,                             [Kn]
    ♦ TYPE_CHAR = / 'SEISME',                          [Kn]
                  / typechar ,                          [Kn]
    ♦ MX        = mx ,                                  [R]
    ♦ MY        = my ,                                  [R]
    ♦ MZ        = mz ,                                  [R]
    ♦ FX        = fx ,                                  [R]
    ♦ FY        = fy ,                                  [R]
    ♦ FZ        = fz ,                                  [R]
  )
  ♦ RESU_MECA_UNIT=_F (
    ♦ TABL_MX   = tabsigmx ,                             [tabl_post_releve]
    ♦ TABL_MY   = tabsigmy ,                             [tabl_post_releve]
    ♦ TABL_MZ   = tabsigmz ,                             [tabl_post_releve]
    ♦ TABL_FX   = tabsigfx ,                             [tabl_post_releve]
    ♦ TABL_FY   = tabsigfy ,                             [tabl_post_releve]
    ♦ TABL_FZ   = tabsigfz ,                             [tabl_post_releve]
    ♦ TABL_PRES = tabsigpr ,                             [tabl_post_releve]
  )
  ♦ RESU_THER=_F(
    ♦ NUME_RESU_THER = numtran ,                         [I]
    ♦ TABL_RESU_THER = table ,                           [tabl_post_releve]
  )
  ♦ SITUATION=_F(
    ♦ NUME_SITU = numsitu ,                             [I]
    ♦ NOM_SITU  = nomsitu ,                             [Kn]
    ♦ NB_OCCUR  = nbocc ,                                [I]
    ♦ NB_CYCL_SEISME = nbsss ,                          [I]
    ♦ NUME_GROUPE = numgroup ,                          [I]
    ♦ NUME_PASSAGE = (num1, num2) ,                     [L_I]
    ♦ COMBINABLE = / 'OUI' ,                            [DEFAULT]
                  / 'NON' ,                             [Kn]
    ♦ PRES_A = pressa ,                                  [R]
    ♦ PRES_B = pressb ,                                  [R]
    ♦ TEMP_REF_A = tempa ,                               [R]
    ♦ TEMP_REF_B = tempb ,                               [R]
    ♦ CHAR_ETAT_A = (list_num_char_meca) ,              [L_I]
    ♦ CHAR_ETAT_B = (list_num_char_meca) ,              [L_I]
    ♦ NUME_RESU_THER = list_num_tran ,                  [L_I]
  )
/ TYPE_RESU_MECA = 'TUYAUTERIE'
  ♦ OPTION      = / 'FATIGUE',
  ♦ MODELE      = modele ,                               [modele]

```

Titre : *Opérateur POST_RCCM*
Auteur(s) : **E. GALENNE, M. ABBAS, L. VIVAN**

Date : 10/02/05
Clé : U4.83.11-E Page : 4/24

```

♦ ZONE_ANALYSE=_F(
  ◊ / TOUT          = 'OUI',          [DEFAULT]
    / GROUP_MA      = gma1,          [groupma]
    / MAILLE        = ma1,          [maille]
♦ CARA_ELEM =      cara,          [cara_elem]
♦ TYPE_KE      =    / 'KE_MECA',      [Default]
                  / 'KE_MIXTE'
♦ CHAM_MATER=      chmat,          [cham_mater]
♦ RESU_MECA=_F(
  ♦ NUME_CHAR      = numchar,        [I]
  ◊ NOM_CHAR        = nomchar,        [Kn]
  ◊ TYPE_CHAR        = / 'SEISME',      [Kn]
                        / 'AUTRE' ,    [DEFAULT]
  / ♦ RESULTAT      = resu ,          / [evol_elas]
                        / [evol_noli]
  / TOUT_ORDRE      = 'OUI',
  / NUME_ORDRE       = lordre ,        [l_I]
  / LIST_ORDRE       = lordre ,        [listIs]
  / INST             = linst ,         [l_R]
  / NOEUD_CMP        = lnoecmp,        [l_K16]
  / LIST_INST        = linst ,         [listr8]
  ◊ | PRECISION      = / prec,         [R]
                        / 1.D-06 ,     [DEFAULT]
      | CRITERE       = / 'RELATIF',    [DEFAULT]
                        / 'ABSOLU' ,
  ♦ NOM_CHAM         = / 'EFGE_ELNO_DEPL',
                        / 'SIEF_ELNO_ELGA',
  / ♦ CHAM_GD         = cham_effo,      [cham_elem]
                        )
♦ INDI_SIGM=_F(
  ◊ C1                = / 1.,          [DEFAULT]
                        / c1,          [R]
  ◊ C2                = / 1.,          [DEFAULT]
                        / c2,          [R]
  ◊ C3                = / 0.5,         [DEFAULT]
                        / c3,          [R]
  ◊ K1                = / 1.,          [DEFAULT]
                        / k1,          [R]
  ◊ K2                = / 1.,          [DEFAULT]
                        / k2,          [R]
  ◊ K3                = / 1.,          [DEFAULT]
                        / k3,          [R]
  ◊ / TOUT            = 'OUI',          [DEFAULT]
    / GROUP_MA        = gma1,          [groupma]
    / MAILLE          = ma1,          [maille]
  ◊ / GROUP_NO        = gno1,          [groupno]
    / NOEUD            = no1 ,         [noeud]
  ◊ TYPE_ELEM_STANDARD = / 'DRO',      [Kn]
                        / 'COU',      [Kn]
                        / 'TRN',      [Kn]
                        / 'TEE',      [Kn]
                        )

```

```

◇ RESU_THER=_F(
  ◆ NUME_RESU_THER = numtran, [I]
  ◆ TABL_RESU_THER = table, [tabl_post_releve]
  ◆ TABL_MOYE_THER = table, [tabl_post_releve]
  ◇ / TOUT = 'OUI', [DEFAULT]
    / GROUP_MA = gma1, [groupma]
    / MAILLE = ma1, [maille]
  ◇ / GROUP_NO = gno1, [groupno]
    / NOEUD = no1, [noeud]
  )

◆ SITUATION=_F(
  ◆ NUME_SITU = numsitu, [I]
  ◇ NOM_SITU = nomsitu, [Kn]
  ◆ NB_OCCUR = nbocc, [I]
  ◇ NB_CYCL_SEISME = nbsss, [I]
  ◆ NUME_GROUPE = numgroup, [I]
  ◇ NUME_PASSAGE = (num1, num2,) [L_I]
  ◇ COMBINABLE = /'OUI', [DEFAULT]
                /'NON', [Kn]
  ◆ PRES_A = pressa, [R]
  ◆ PRES_B = pressb, [R]
  ◇ TEMP_REF_A = tempa, [R]
  ◇ TEMP_REF_B = tempb, [R]
  ◆ CHAR_ETAT_A = (list_num_char_meca), [L_I]
  ◆ CHAR_ETAT_B = (list_num_char_meca), [L_I]
  ◇ NUME_RESU_THER = list_num_tran, [L_I]
  )
```

3 Opérandes communs à toutes les options

3.1 Opérande TYPE_RESU

TYPE_RESU = / 'VALE_MAX',
/ 'DETAILS',

Type de valeurs contenues dans la table produite en résultat :

- VALE_MAX : seules les valeurs maximales sont données,
- DETAILS : les valeurs calculées à chaque instant sont fournies.

3.2 Opérande TITRE

♦ TITRE = titre

Chaîne de caractères décrivant le titre de la table de valeurs créée, qui apparaît à l'impression de cette table par IMPR_TABLE [U4.91.03].

3.3 Opérande INFO

♦ INFO = /1
/2

Permet un affichage plus ou moins détaillé dans le fichier message.

3.4 Types de résultats : mot clé TYPE_RESU_MECA

Trois types de résultats sont traitables par POST_RCCM :

- Des résultats de type évolution de transitoire / 'EVOLUTION'
- Des résultats de type unitaire avec combinaison de situations / 'UNITAIRE'
- Des résultats de type tuyauterie pour l'application du RCCM sur les lignes de tuyauterie / 'TUYAUTERIE',

Cinq types de critères sont accessibles chacun par une option (mot clé OPTION) :

- sur un segment, à partir d'un ou plusieurs concepts résultats obtenus par une commande globale (MECA_STATIQUE, STAT_NON_LINE) sur une modélisation 2D ou 3D (résultats de type 'UNITAIRE' ou 'EVOLUTION') :
 - des critères de niveau 0 par l'option PM_PB,
 - des critères de niveau A (hors fatigue) par l'option SN,
 - des critères de fatigue (de niveau A) par l'option FATIGUE_ZH210 pour les résultats de type 'EVOLUTION',
 - des critères de fatigue (de niveau A) par l'option FATIGUE pour les résultats de type 'UNITAIRE'.

Ces options peuvent être appelées seules ou simultanément.

- A partir de plusieurs résultats de calculs mécaniques (MECA_STATIQUE, STAT_NON_LINE, COMB_SISM_MODAL) sur une ligne de tuyauterie, et de données complémentaires, on peut calculer des critères de fatigue pour l'option FATIGUE.

4 Opérandes spécifiques aux résultats de type TRANSITOIRE

Pour une description précise des calculs effectués par ces options, on peut consulter le document [R7.04.03] et la note [bib2].

On rappelle toutefois ici brièvement la définition des quantités calculées. Ces options ne sont disponibles que pour les éléments de milieu continu 2D et 3D.

Dans les trois cas, les caractéristiques des matériaux nécessaires au calcul des critères sont à définir par la commande `DEFI_MATERIAU` [U4.43.01]. Les valeurs calculées et les valeurs limites sont stockées dans la table `tabl_post_rccm`, que l'on imprime à l'aide de la commande `IMPR_TABLE` [U4.91.03].

L'analyse se fait sur un segment, à partir d'un ou plusieurs concepts résultats obtenus par une commande globale (`MECA_STATIQUE`, `STAT_NON_LINE`) sur une modélisation 2D ou 3D :

- des critères de niveau 0 par l'option `PM_PB`,
- des critères de niveau A (hors fatigue) par l'option `SN`,
- des critères de fatigue (également de niveau A) par l'option `FATIGUE_ZH210` (L'ancienne option `FATIGUE_SPMAX` est simulable facilement par `FATIGUE_ZH210`, voir cas-test `rccm06a`).

Ces options peuvent être appelées seules ou simultanément.

4.1.1 Opérande **MATER**

♦ `MATER = mat`

C'est le matériau contenant les caractéristiques utiles à `POST_RCCM` et définies sous le mot-clé `RCCM` de `DEFI_MATERIAU` [U4.43.01].

Remarque sur les courbes de fatigue :

Pour les petites amplitudes de contraintes, le problème du prolongement de la courbe de fatigue peut se poser : par exemple, pour les courbes de fatigue du RCCM au-delà de 10^6 cycles, la contrainte correspondante, 180 MPa est considérée comme limite d'endurance, c'est à dire que toute contrainte inférieure à 180 MPa doit produire un facteur d'usage nul, ou un nombre de cycles admissible infini.

La méthode adoptée ici correspond à cette notion de limite d'endurance : si l'amplitude de contrainte est inférieure à la première abscisse de la courbe de fatigue, alors on prend un facteur d'usage nul.

4.1.2 Option **PM_PB**

Option permettant de calculer les critères de niveau 0 qui visent à prémunir le matériel contre les dommages de déformation excessive, d'instabilité plastique et d'instabilité élastique et élastoplastique. Ces critères nécessitent le calcul des contraintes équivalentes de membrane P_m , de membrane locale P_l , de flexion P_b et de membrane plus flexion $P_m + P_b$.

Les opérandes nécessaires sont `MATER`, `SEGMENT` (qui définit le lieu de post-traitement) et l'accès au champ de contraintes dans un concept résultat mécanique de type `evol_elas` ou `evol_noli` défini par le mot clé `TRANSITOIRE` (voir [§3.6]).

Les points de calcul sont les deux extrémités du segment (`seg2d` ou `seg3d` donné par le mot-clé `SEGMENT`).

En chaque point extrémité de ce segment de longueur l , on calcule :

$$Pm = \max_t \left(\sigma_{ij}^{moy} \right)_{Eq.Tresca} \quad Pb = \max_t \left(\sigma_{ij}^{fle} \right)_{Eq.Tresca} \quad Pm + Pb = \max_t \left(\sigma_{ij}^{lin} \right)_{Eq.Tresca}$$

$$\text{avec} \quad \sigma_{ij}^{moy} = \frac{1}{l} \int_0^l \sigma_{ij} ds, \quad \sigma_{ij}^{fle} = \frac{6}{l^2} \int_0^l s \sigma_{ij} ds, \quad \sigma_{ij}^{lin} = \sigma_{ij}^{moy} \pm \sigma_{ij}^{fle}$$

Les valeurs limites sont Sm et $1.5 Sm$, Sm étant la contrainte admissible fonction du matériau et de la température, donnée par le mot-clé **SM** du mot-clé **RCCM** dans **DEFI_MATERIAU** [U4.43.01].

Remarque :

Le calcul de PM et $PMPB$ suivant les critères du **RCCM G3000** est possible pour les éléments de poutre **POU_D_E** et **POU_D_T**, à l'aide de l'opérateur **CALC_ELEM** [U4.81.01] (options '**PMPB_ELGA_SIEF**' et '**PMPB_ELNO_SIEF**').

4.1.3 Option **SN**

Option permettant de calculer les critères de niveau A (hors fatigue) qui visent à prémunir le matériel contre les dommages de déformation progressive. Ils nécessitent le calcul de l'amplitude de variation de contrainte linéarisée en un point, notée Sn .

Si l'utilisateur le demande (présence de l'opérande **RESU_SIGM_THER**) on effectue aussi le calcul de Sn^* . Les points de calcul sont les deux extrémités du segment.

Les opérands nécessaires sont **MATER**, **SEGMENT** (qui définit le lieu de post-traitement) et l'accès au champ de contraintes dans un concept résultat mécanique de type **evol_elas** ou **evol_noli** donné par le mot clé **TRANSITOIRE**.

Les points de calcul sont les deux extrémités du segment (**seg2d** ou **seg3d** donné par le mot-clé **SEGMENT**). En chaque point extrémité de ce segment de longueur l , on calcule :

$$Sn = \max_{t_1} \max_{t_2} \left(\sigma_{ij}^{lin}(t_1) - \sigma_{ij}^{lin}(t_2) \right)_{Eq.Tresca}$$

$$\text{avec} \quad \sigma_{ij}^{moy} = \frac{1}{l} \int_0^l \sigma_{ij} ds, \quad \sigma_{ij}^{fle} = \frac{6}{l^2} \int_0^l s \sigma_{ij} ds, \quad \sigma_{ij}^{lin} = \sigma_{ij}^{moy} \pm \sigma_{ij}^{fle}$$

t_1 et t_2 parcourant l'ensemble des instants du (ou des) transitoires.

La valeur limite de Sn est $3 Sm$, Sm étant la contrainte admissible fonction du matériau et de la température, donnée par le mot-clé **SM** du mot-clé **facteur RCCM** dans **DEFI_MATERIAU** [U4.43.01].

4.1.3.1 Calcul de Sn^*

Si l'opérande **RESU_SIGM_THER** du mot clé **facteur TRANSITOIRE** est présent, on effectue aussi le calcul de Sn^* . En chaque point extrémité de ce segment de longueur l , on calcule ([R7.04.03] page 7) :

$$Sn^* = \max_{t_1} \left(\max_{t_2} \left(\sigma_{ij}^{lin}(t_1) - \sigma_{ij}^{fleth}(t_1) - \left(\sigma_{ij}^{lin}(t_2) - \sigma_{ij}^{fleth}(t_2) \right) \right)_{eq tresca} \right)$$

$$\text{avec} \quad \sigma_{ij}^{moy} = \frac{1}{l} \int_0^l \sigma_{ij} ds, \quad \sigma_{ij}^{fle} = \frac{6}{l^2} \int_0^l \left(s - \frac{l}{2} \right) \sigma_{ij} ds, \quad \sigma_{ij}^{lin} = \sigma_{ij}^{moy} \pm \sigma_{ij}^{fle}, \quad \sigma_{ij}^{fleth} = \frac{b}{l^2} \int_0^l \left(s - \frac{l}{2} \right) \sigma_{ij}^{th} ds$$

σ_{ij}^{th} provenant du résultat donné sous **RESU_SIGM_THER**.

Il faut, pour que le calcul soit cohérent et conforme au RCC-M, que le résultat indiqué par RESU_SIGM_THER ait été obtenu avec un chargement thermique seul, sachant que le résultat donné par RESULTAT peut être dû à une combinaison de ce chargement thermique avec d'autres chargements. Il faut donc que les instants de ce résultat correspondent à ceux du résultat associé au mot clé RESULTAT.

4.1.4 Option FATIGUE_ZH210

Option permettant de calculer le facteur d'usage résultant de la combinaison d'un ou plusieurs transitoires, suivant la méthode du RCC-M annexe ZH210.

On calcule l'amplitude de variation de contrainte en chaque extrémité du segment, pour chaque combinaison d'instants appartenant au(x) transitoire(s) défini(s) par l'utilisateur. Puis on applique une méthode de combinaison et de cumul pour obtenir le facteur d'usage total.

Parmi les différentes méthodes proposées par le RCC-M pour calculer le facteur d'usage en fatigue, celle de l'annexe ZH210 présente l'avantage de ne pas faire d'hypothèse sur les directions des contraintes principales. A partir des transitoires donnés par l'utilisateur (des résultats avec des numéros d'ordre ou des instants éventuellement précisés), le calcul se déroule en 3 phases :

- Définition d'états de chargement pour chaque transitoire
 - état de chargement $k = \{\text{instant } t + \text{tenseur } \sigma(t) + \text{nombre d'occurrences } N_{occ} \text{ (celui du transitoire)}\}$
- A chaque extrémité du segment, pour deux états de chargement k et l :
 - calcul de $S_p(k, l)$ = amplitude de variation de contrainte (non linéarisée) entre les états k et l ,
 - calcul de $S_n(k, l)$ = amplitude de variation de contrainte linéarisée entre les états k et l ,
 - calcul de $S_{alt}(k, l) = \frac{1}{2} E_c/E K_e(k, l) S_p(k, l)$,
 - par la courbe de fatigue de Wöhler en déduire $N_{adm}(k, l)$,
 - facteur d'usage $u(k, l) = N(k, l) / N_{adm}(k, l)$,
$$N(k, l) = \min (N_{occ}(k), N_{occ}(l))$$
- Méthode de combinaison
 - Données à chaque extrémité du segment
 - matrice carrée symétrique $[u(k, l)]$ et vecteur $N_{occ}(k)$ de dimension : le nombre total d'états de chargement
- Facteur d'usage total U
 - $U = 0$
 - Recherche du facteur d'usage élémentaire maximum $= u(m, n) = \max(u(k, l))$ sur toutes les combinaisons k, l où $N_{occ}(k)$ et $N_{occ}(l)$ non nuls
 - cumul : $U = U + u(m, n)$
 - Si $N_{occ}(m) < N_{occ}(n)$ alors

$$N_{occ}(n) = N_{occ}(n) - N_{occ}(m)$$

$$N_{occ}(m) = 0$$
 - Sinon,

$$N_{occ}(m) = N_{occ}(m) - N_{occ}(n)$$

$$N_{occ}(n) = 0$$

Cette méthode de combinaison des cycles est identique dans le cas uniaxial à la méthode RCCM de POST_FATIGUE. Toutefois, dans POST_FATIGUE, les instants (états de chargements) intermédiaires entre deux états extrêmes entre lesquels les contraintes varient linéairement sont éliminés.

Dans `POST_RCCM`, qui traite des états de contraintes généraux, donc multiaxiaux, cette élimination automatique n'est pas effectuée. Elle est à la charge de l'utilisateur qui peut définir les instants correspondant aux états extrêmes par `NUME_ORDRE`, `INST` ou `LIST_INST`.

4.2 Mot clé **SEGMENT**

Ce mot clé facteur permet de définir le (ou les) segment(s) de calcul.

L'utilisation cohérente de `POST_RCCM` implique ici que le lieu de post-traitement soit un segment de droite.

4.2.1 Opérande **INTITULE**

◇ `INTITULE` = `nomseg`

Permet de donner un nom au segment.

4.2.2 Opérande **CHEMIN**

◆ `CHEMIN` = `seg2d` ou `seg3d`

L'argument de **CHEMIN** est un concept produit par l'un des opérateurs suivants :

INTE_MAIL_2D [U4.81.11]

Le concept se réduit alors soit à l'intersection d'un segment de droite avec les mailles 2D du maillage.

INTE_MAIL_3D [U4.81.12]

Le concept se réduit alors à l'intersection d'un segment de droite avec les mailles 3D du maillage.

4.2.3 Opérande **GROUP_NO**

◆ `GROUP_NO` = `grno`

Il est souhaitable que le groupe de nœuds soit généré par la commande **DEFI_GROUP** [U4.22.01] option **SEGM_DROI_ORDO**.

4.2.4 Opérande **NOEUD**

◆ `NOEUD` = `l_no`

Le code vérifie que les nœuds fournis sont alignés et ordonnés suivant une droite dont l'origine est le premier nœud de la liste et l'extrémité le dernier nœud de la liste.

4.3 Opérande **MAILLAGE**

◆ `MAILLAGE` = `ma`

`ma` est le nom du maillage. Cette opérande est obligatoire si le **SEGMENT** est défini à partir d'une liste de nœuds ou d'un groupe de nœuds.

4.4 Mot clé TRANSITOIRE

Ce mot clé facteur permet de définir le (ou les) transitoire(s) à étudier.

4.4.1 Opérande INTITULE

Permet de donner un nom au transitoire. Ce nom sera affiché dans la table produite.

4.4.2 Opérande RESULTAT

♦ RESULTAT = resu

Nom d'un concept de type resultat contenant les champs de contraintes à analyser. Actuellement, seuls les résultats de type evol_elas et evol_noli peuvent être traités.

4.4.3 Opérande RESU_SIGM_THER

RESU_SIGM_THER = resuth

Ce mot clé définit un résultat obtenu avec un chargement thermique seul. Il permet le calcul de Sn* [§3.1.2.1].

4.4.4 Opérande NB_OCCUR

◇ NB_OCCUR = / nocc, [DEFAULT]
/ 1,

Nombre d'occurrences pour le calcul du facteur d'usage.

4.4.5 Opérande NOM_CHAM

♦ NOM_CHAM = nomsymb

Nom symbolique du champ de contraintes à analyser. Seuls les champs SIGM_ELNO_DEPL et SIEF_ELNO_ELGA peuvent être traités.

Ils nécessitent de faire un CALC_NO après STAT_NON_LINE ou MECA_STATIQUE.

4.4.6 Opérandes TOUT_ORDRE / NUME_ORDRE / LIST_ORDRE / INST / LIST_INST / PRECISION / CRITERE

◇ TOUT_ORDRE, NUME_ORDRE, LIST_ORDRE, INST, LIST_INST

Ces mots clés permettent la sélection des numéros d'ordre correspondant aux champs regroupés dans les structures de données resultat (et resuth éventuellement) sous les noms symboliques précédemment spécifiés. Les numéros d'ordre sont donnés soit directement (mots clés TOUT_ORDRE, NUME_ORDRE, LIST_ORDRE), soit indirectement par des listes de valeurs de leurs variables d'accès (mots clés INST, LIST_INST).

◇ PRECISION, CRITERE

Mots clés (facultatifs) définissant la précision (1.D-6 par défaut) et le critère de recherche (RELATIF par défaut) d'un numéro d'ordre à partir d'une valeur d'instant.

4.5 Table produite

La commande POST_RCCM génère un concept de type table. Les exemples présentés au [§5] montrent le contenu de la table.

La commande IMPR_TABLE [U4.91.03] permet d'imprimer le contenu de la table.

4.6 Phase d'exécution

Si `RESU_SIGM_THER` est présent, on vérifie que les instants de calcul du concept `resuth` sont identiques à ceux du concept `resu`. Par contre, on ne peut pas vérifier que les transitoires thermiques qui ont contribué aux résultats mécaniques `resuth` et `resu` sont identiques. C'est à l'utilisateur d'assurer la cohérence (y compris sur les données matériaux).

4.7 Exemple d'utilisation

Un exemple d'utilisation de l'opérateur `POST_RCCM` avec des résultats de type `EVOLUTION` peut être trouvé dans le cas test `RCCM01`.

Un calcul des critères du RCCM se déroule de la manière suivante :

- définition des paramètres du matériau et de la courbe de fatigue,
- définitions des chargements mécaniques et thermiques,
- calcul thermomécanique linéaire ou non linéaire,
- (si calcul de `SN*`) calcul mécanique avec chargement thermique seul,
- définition du segment d'analyse et extraction des résultats,

puis éventuellement en poursuite :

```
SN1=POST_RCCM(          MATER=MAT,
                        TYPE_RESU='VALE_MAX',
                        TYPE_RESU_MECA='EVOLUTION',
                        OPTION='SN',
                        TITRE='SN, RESULTAT: RESU2b AVEC RESUTH',
                        SEGMENT=_F( CHEMIN = LIGNE,
                                   INTITULE = 'SN:
RESU2b+RESUTHb' ),
                        TRANSITOIRE=_F( RESULTAT = RESU2b,
                                       RESU_SIGM_THER = RESUTHb,
                                       NOM_CHAM = 'SIGM_ELNO_DEPL' )
                        )

IMPR_TABLE ( TABLE = sn1 )
```

Pour plus d'informations, on pourra se référer au document [U2.09.03].

5 Opérandes spécifiques aux résultats de type TUYAUTERIE

A partir de plusieurs résultats de calculs mécaniques (MECA_STATIQUE, STAT_NON_LINE, COMB_SISM_MODAL) sur une ligne de tuyauterie, et de données complémentaires. On calcule des critères de fatigue par l'option FATIGUE.

5.1 Remarques préliminaires concernant les étapes préalables à ce post-traitement

Les données nécessaires au post-traitement sont résumées ici (et détaillées au § suivant) :

- La géométrie de la ligne de tuyauterie.
- Le champ de matériau : c'est la carte des matériaux affectés aux groupes de mailles du maillage par AFPE_MATERIAU auquel il faut ajouter la courbe de fatigue, E_REFE, M_KE et N_KE (mots-clés RCCM).
- AFPE_CARA_ELEM permet d'affecter les caractéristiques élémentaires.
- Des indices de contraintes (en chaque nœud du maillage).
- Le scénario de fonctionnement contenant la liste des situations :
 - Pour chaque situation :
 - Nombres d'occurrences de chaque situation (donc de chaque état stabilisé).
 - Pression et température moyenne de chaque état stabilisé.
 - Liste des chargements mécaniques de chaque état stabilisé.
 - Le groupe d'appartenance de la situation.
 - Le transitoire thermique associé.
- Les résultats des calculs pour chaque chargement mécanique (y compris le séisme), repéré par son numéro, avec pour info le nom du cas de charge : champ par éléments aux nœuds d'efforts généralisés, pour chaque chargement (EFGE_ELNO_DEPL, ou SIEF_ELNO_ELGA).
- Pour chaque nœud, une référence à un résultat thermique défini ci-dessous.
- Résultats des calculs thermiques : les calculs EF 2D ou 3D qui donnent ces infos dépendent à la fois de la géométrie et du transitoire. On a donc un calcul thermique par type de jonction, et par type de transitoire. En pratique on effectue deux POST_RELEVE_T par transitoire et par type d'épaisseur ou de géométrie différent : un POST_RELEVE_T avec l'option EXTRACTION, et un second avec l'option MOYENNE

Les calculs préliminaires à effectuer sont donc :

- Des calculs de type poutre (calcul élastique) pour chaque chargement (on se sert uniquement des moments, exprimés dans un repère local à chaque élément, repère supposé identique pour tous les résultats) composant chacun des deux états stabilisés de chaque situation.
- Un calcul sismique (réponse inertielle et déplacements d'ancrage) (un seul type de séisme pris en compte).
- Le calcul de chaque transitoire thermique, en autant de maillages 2D ou 3D qu'il y a d'épaisseurs ou de composants différents.

Les opérandes et mots clés de l'option FATIGUE ont été choisis de façon à permettre une utilisation ultérieure en lien avec l'outil OAR. Elles s'inspirent donc des spécifications de la base de données OAR [bib3].

5.2 Opérande CHAM_MATER

- ♦ CHAM_MATER = chmat

C'est le champ de matériau contenant, pour toutes les mailles du modèle, les caractéristiques matériau utiles à FATIGUE et définies sous les mot-clés ELAS_FO, FATIGUE et RCCM de DEFIN_MATERIAU [U4.43.01] (E, NU, ALPHA, WOHLER, E_REFE, M_KE, N_KE, SM).

Remarque sur les courbes de fatigue :

Pour les petites amplitudes de contraintes, le problème du prolongement de la courbe de fatigue peut se poser : par exemple, pour les courbes de fatigue du RCCM au-delà de 10^6 cycles, la contrainte correspondante, 180 MPa est considérée comme limite d'endurance, c'est à dire que toute contrainte inférieure à 180 MPa doit produire un facteur d'usage nul, ou un nombre de cycles admissible infini.
La méthode adoptée ici correspond à cette notion de limite d'endurance : si l'amplitude de contrainte est inférieure à la première abscisse de la courbe de fatigue, alors on prend un facteur d'usage nul.

5.3 Opérande CARA_ELEM

- ♦ CARA_ELEM = cara

C'est le champ de caractéristiques des éléments de poutres (rayon externe et épaisseur, angle et rayon de courbure des coudes) défini par AFFE_CARA_ELEM.

5.4 Opérande MODELE

- ♦ MODELE = modele

C'est le modèle (élément finis de poutre) sur lequel ont été effectués les calculs des chargements mécaniques.

5.5 Opérande TYPE_KE

- ♦ TYPE_KE = / 'KE_MECA', [Default]
/ 'KE_MIXTE'

Le facteur de correction élastoplastique Ke peut être calculé de deux façons :

- KE_MECA : c'est la méthode originelle, seule disponible dans les versions antérieures à la version 7.2 [cf. R7.04.03]
- KE_MIXTE : Depuis le modificatif 1997 du RCC-M, on peut choisir une autre formule, basée sur une décomposition de S_{alt} :

$$S'_{alt}(i, j) = \frac{1}{2} \cdot \frac{E_c}{E} \cdot (K_e^{meca}(S_n(p, q)) \cdot S_p^{meca}(i, j) + K_e^{ther}(S_n(p, q)) \cdot S_p^{ther}(i, j)) \text{ avec :}$$

$K_e^{meca}(S_n(p, q))$ est égal au Ke défini dans [R7.04.03], et

$$K_e^{ther}(S_n(p, q)) = \max \left(1, 1.86 \cdot \left(1 - \frac{1}{1.66 + \frac{S_n}{S_m}} \right) \right)$$

$S_p^{meca}(i, j)$ représente la quantité Sp, amplitude de variation de la part mécanique des contraintes, entre les instants i et j, ou valeur maxi de cette quantité au cours du transitoire, calculée sur la base des sollicitations d'origine mécanique : pression, poids propre, séisme (inertiel et déplacements d'ancrage), expansion thermique.

$S_p^{ther}(i, j)$ représente la quantité Sp calculée à partir des contraintes mécaniques engendrées uniquement par les transitoires thermiques.

5.6 Mot clé **ZONE_ANALYSE**

Ce mot clé permet de limiter le calcul de fatigue à des mailles ou des groupes de maille de la ligne de tuyauterie.

5.6.1 Opérandes **TOUT** / **GROUP_MA** / **MAILLE**

```
      /  TOUT          =  'OUI'  ,  
◇      /  GROUP_MA    =  gma1    ,           [groupma]  
      /  MAILLE       =  ma1     ,           [maille]
```

Par défaut le calcul du facteur d'usage est fait pour tous les nœuds du modèle.

Ces mot-clés permettent de restreindre l'analyse à des mailles ou des groupes de mailles, ce qui permet d'économiser du temps de calcul.

5.7 Mot clé **RESU_MECA**

Ce mot clé facteur permet de définir les résultats des calculs mécaniques. Il est répétable autant de fois qu'il y a de chargements mécaniques différents dans l'ensemble des situations.

5.7.1 Opérande **NUME_CHAR**

Numéro du chargement mécanique. Ce numéro est utilisé pour définir les chargements associés à chaque situation (voir mot clé **SITUATION**).

5.7.2 Opérande **NOM_CHAR**

Nom (facultatif) du chargement mécanique.

5.7.3 Opérande **TYPE_CHAR**

```
◇  TYPE_CHAR =  /  'SEISME' ,           [Kn]  
                  /  'AUTRE' ,           [DEFAULT]
```

Type de chargement mécanique. Ce type est utilisé seulement dans le cas du **SEISME**, qui bénéficie d'un traitement particulier (combinaison quadratiques des efforts). Dans les autres cas, les combinaisons sont linéaires.

5.7.4 Opérande RESULTAT / CHAM_GD

```

/ ♦ RESULTAT = resu, / [evol_elas]
/ [evol_noli]
/ TOUT_ORDRE = 'OUI' ,
/ NUME_ORDRE = lordre , [l_I]
/ LIST_ORDRE = lordre , [listIs]
/ INST = linst , [l_R]
/ NOEUD_CMP = lnoecmp, [l_K16]
/ LIST_INST = linst , [listr8]
♦ | PRECISION = / prec, [R]
/ 1.D-06 , [DEFAULT]
| CRITERE = / 'RELATIF', [DEFAULT]
/ 'ABSOLU' ,
♦ NOM_CHAM = / 'EFGE_ELNO_DEPL',
/ 'SIEF_ELNO_ELGA',
/ ♦ CHAM_GD = cham_effo , [cham_elem]
)

```

Résultats des calculs pour chaque chargement : champs par éléments aux nœuds d'efforts généralisés :

on peut donner :

- soit un champ par élément: cham_effo qui est de type EFGE_ELNO_DEPL, ou SIEF_ELNO_ELGA,
- soit une structure de données resultat (issue de MECA_STATIQUE ou STAT_NON_LINE) avec des paramètres d'extraction: instant, NOM_CHAM='EFGE_ELNO_DEPL', ou 'SIEF_ELNO_ELGA'...) ou bien issue de COMB_SISM_MODAL ou MODE_STATIQUE avec le paramètre d'extraction supplémentaire NOEUD_CMP.

Pour ces derniers, les champs d'efforts relatifs au séisme sont les moments pour chaque composante de chaque séisme (résultant d'une combinaison quadratique NOEUD_CMP=('COMBI' , 'QUAD'), pour la réponse inertielle et des nœuds et des directions : par exemple NOEUD_CMP=('N1' , 'DX') pour les déplacements d'ancrages.

5.8 Opérande INDI_SIGM

```

♦ INDI_SIGM=_F(
♦ C1 = / 1. , [DEFAULT]
= / c1 , [R]
♦ C2 = / 1. , [DEFAULT]
= / c2 , [R]
♦ C3 = / 0.5 , [DEFAULT]
= / c3 , [R]
♦ K1 = / 1. , [DEFAULT]
= / k1 , [R]
♦ K2 = / 1. , [DEFAULT]
= / k2 , [R]
♦ K3 = / 1. , [DEFAULT]
= / k3 , [R]
♦ / TOUT = 'OUI' ,
/ GROUP_MA = gma1 , [groupma]
/ MAILLE = ma1 , [maille]
♦ / GROUP_NO = gno1 , [groupno]
/ NOEUD = no1 , [noeud]
♦ TYPE_ELEM_STANDARD = / 'DRO' , [Kn]
/ 'COU' , [Kn]
/ 'TRN' , [Kn]
/ 'TEE' , [Kn]
)

```


Valeurs des indices de contraintes à utiliser dans l'analyse de fatigue (valeurs codifiées dans le RCC-M B3683, variant suivant le type de jonction). l'utilisateur fournit pour chaque groupe de mailles, ou chaque nœud de chaque maille, les valeurs de C1, C2, C3, K1, K2, K3, sachant que les valeurs par défaut sont celles qui correspondent aux parties droites des tuyauteries, ce qui facilite l'introduction des données. On pourra avoir par exemple :

```
INDI_SIGM= _F( GROUP_MA='GMA1' ),  
            (affectation des valeurs par défaut pour tous les nœuds de toutes les mailles de GMA1)  
            _F( MAILLE='MA2' , NOEUD='NO2' , C1=1.2 , C2=1.4... ),  
            (affectation d'indices particuliers pour le nœud NO2 de la maille MA2)
```

TYPE_ELEM_STANDARD est un mot-clé optionnel, purement informatif, permettant d'afficher plus clairement dans la table les résultats selon le type d'éléments et de jonctions. On pourra donner, comme dans OAR, [bib3] un descriptif du type :

- DRO : pour partie droite,
- COU : pour un coude,
- TRN : pour une transition d'épaisseur,
- TEE : pour un té.

5.9 Mot clé RESU_THER

Ce mot clé facteur permet de définir les résultats des calculs thermiques. Il est répétable autant de fois qu'il y a de calculs thermiques différents et de discontinuités géométriques ou matériaux.

A titre indicatif, il peut y en avoir : (nb discontinuités)*(nb transitoires thermiques).

5.9.1 Opérande NUME_RESU_THER

◆ NUME_RESU_THER = numtran [I]

Numéro des transitoires thermiques. Ce numéro est utilisé pour identifier le transitoire thermique associé à chaque situation (voir mot clé SITUATION).

5.9.2 Opérande TABL_RESU_THER

◆ TABL_RESU_THER = table [tabl_post_releve]

Table issue de POST_RELEVE_T, contenant pour chaque calcul thermique transitoire, le relevé des températures sur une section (choisie par l'utilisateur) du maillage 2D ou 3D d'une jonction ou d'une partie droite à différents instants du transitoire. L'origine de la section doit être la peau interne.

◆ TABL_MOYE_THER = table [tabl_post_releve]

Table issue de POST_RELEVE_T, (OPERATION='MOYENNE') contenant pour chaque calcul thermique transitoire, les moyennes d'ordre 0 et 1 des températures sur la section choisie (en cohérence avec TABL_RESU_THER) à différents instants du transitoire.

Ces quantités sont utilisées pour calculer les valeurs de ΔT_1 , ΔT_2 , T_a et T_b [R7.04.03].

5.9.3 Opérandes TOUT / GROUP_MA / MAILLE / GROUP_NO / NOEUD

```

◇ / TOUT          = 'OUI' ,
  / GROUP_MA      = gmal , [groupma]
  / MAILLE        = mal , [maille]
◇ / GROUP_NO      = gno1 , [groupno]
  / NOEUD         = no1 , [noeud]

```

La table et le transitoire sont associés soit à un groupe de mailles, (en général ce groupe contient toutes les parties droites qui voient le même transitoire thermique), soit à une maille, et un nœud de cette maille (ce qui correspond en général à une jonction). On pourra avoir par exemple :

```

RESU_THER =_F(NUMESU_THER = 1,
              TABL_RESU_THER = tab11,
              TABL_MOYE_THER = tab111,
              GROUP_MA='gmal'),
_F(NUMESU_THER = 1,
  TABL_RESU_THER = tab12,
  TABL_MOYE_THER = tab122,
  MAILLE        = 'mal' ,
  NOEUD         = 'no2' )

```

5.10 Mot clé SITUATION

Ce mot clé facteur permet de définir les définitions des situations. Il est répétable autant de fois qu'il y a de situations.

5.10.1 Opérandes NUME_SITU / NOM_SITU / NB_OCCUR

```

◆ NUME_SITU = numsitu , [I]
◇ NOM_SITU = nomsitu , [Kn]
◆ NB_OCCUR = nbocc , [I]
◆ NB_CYCL_SEISME = nbsss , [I]

```

Numéro de la situation, et nom (indicatif). NB_OCCUR correspond au mot clé OCCURRENCE du fichier OAR et indique le nombre d'occurrences de la situation. NB_CYCL_SEISME fournit le nombre de sous-cycles pour chaque occurrence du séisme.

5.10.2 Opérandes PRES_A / PRES_B / TEMP_REF_A / TEMP_REF_B

```

◆ PRES_A = pressa , [R]
◆ PRES_B = pressb , [R]
◇ TEMP_REF_A = tempa , [R]
◇ TEMP_REF_B = tempb , [R]

```

Températures (stabilisées) et pressions associées à chacun des deux états stabilisés de la situation.

Ces opérandes sont inutiles si la situation correspond à un séisme.

5.10.3 Opérandes CHAR_ETAT_A / CHAR_ETAT_B

```

◆ CHAR_ETAT_A = (list_num_char_meca) , [L_I]
◆ CHAR_ETAT_B = (list_num_char_meca) , [L_I]

```

Liste des numéros de chargements mécaniques associés à chaque état stabilisé. Ces numéros correspondent au mot clé NUME_CHAR du mot clé facteur CHAR_MECA. L'opérande CHAR_ETAT_B est inutile si la situation correspond à un séisme, seuls les chargements fournis sous CHAR_ETAT_A sont utilisés (combinaison quadratique) (ils doivent correspondre aux résultats du calcul inertiel à l'aide de COMB_SISM_MODAL, et de chaque déplacement d'ancrage sous séisme, obtenu soit à l'aide de MODE_STATIQUE, soit au cas par cas).

5.10.4 Opérande NUME_RESU_THER

◇ NUME_RESU_THER = list_num_tran [L_I]

Liste de numéros de tables issues de calculs thermiques associés à la situation. A chaque situation est associé un transitoire thermique (ou plusieurs dans le cas de différents tronçons de lignes). Dans le cas où pour une situation donnée, il y a physiquement deux transitoires, comme le chauffage-refroidissement par exemple, il est d'usage en B3600 de combiner ces deux transitoires en un seul.

Pour chaque situation, on fournit n tables qui représentent le calcul du même transitoire thermique en différents endroits de la ligne (pour chaque épaisseur ou chaque discontinuité). Ces numéros doivent appartenir à la liste des numéros fournis sous le mot clé NUME_RESU_THER du mot clé facteur RESU_THER.

5.10.5 Opérande NUME_GROUPE / NUME_PASSAGE

◇ NUME_GROUPE = numgroup , [I]
◇ NUME_PASSAGE = (num1, num2) , [L_I]

Numéro de groupe auquel appartient la situation.

Le calcul de fatigue ne combine entre elles que les situations d'un même groupe, sauf s'il existe une situation de passage entre les deux groupes.

Pour les situations de passage, num1 et num2 indiquent les deux numéros de groupes reliés par cette situation. Une situation de passage est définie, comme une autre situation, par deux listes de chargements et un transitoire thermique. Elle peut appartenir à un groupe de situations contenant d'autres situations.

5.10.6 Opérande COMBINABLE

◆ COMBINABLE = / 'OUI' , [DEFAULT]
 / 'NON' , [Kn]

Ce mot clé indique si une situation est combinable avec les autres à l'intérieur de son groupe (cas général).

Dans le cas où COMBINABLE= 'NON', cela signifie que la situation est un sous-cycle.

5.10.7 Opérande NB_CYCL_SEISME

◇ NB_CYCL_SEISME = nbsss ,

Nombre de cycles associés à chaque occurrence du séisme, considérés comme des sous-cycles dans le calcul du facteur d'usage.

5.11 Exemple d'utilisation

Le test RCCM02 fournit un exemple complet d'utilisation. Pour plus d'informations, on pourra se référer au document [U2.09.03].

6 Opérandes spécifiques aux résultats de type UNITAIRE

6.1 Préliminaires

On suppose ici que le calcul du composant a été réalisé dans Aster (on exploite en réalité un relevé des contraintes sur un segment choisi par l'utilisateur), ou provient d'une requête à la base de données OAR [bib1], dans laquelle peuvent être stockés des profils de contraintes. On utilise ici une spécification commune de la forme des résultats issus de ces deux chemins.

Les calculs 2D ou 3D du composant sont à faire uniquement pour des chargements unitaires (efforts et moments globaux unitaires appliqués aux limites du modèle, par des liaisons 3D poutre par exemple). Il sont combinés ensuite linéairement en fonction des valeurs des efforts et moments issus du calcul poutre de la tuyauterie, pour tous les chargements intervenant dans les situations de calcul. Attention, **le repère utilisé pour le calcul 2D ou 3D doit être cohérent avec celui dans lequel sont exprimés les efforts globaux issus du calcul poutre.**

Calculs préliminaires à effectuer dans Aster ou à extraire de la base de données OAR (si disponibles) :

- Calcul de la ligne de tuyauterie, de type poutre (calcul élastique) pour chaque chargement, y compris le séisme (on se sert généralement des moments, exprimés dans un repère local à chaque élément, identique pour tous les résultats), afin d'en déduire les efforts à appliquer aux limites du modèle 2D ou 3D.
- Calcul de chaque transitoire thermique, sur le même maillage 2D ou 3D.

Les données nécessaires au post-traitement sont résumées ici (et détaillées au § suivant) :

- Le matériau (supposé unique dans un premier temps) que traverse le segment d'étude : matériau élastique isotrope auquel il faut ajouter la courbe de fatigue, E_REFE , M_KE et N_KE .
- Le scénario de fonctionnement (disponible dans OAR) contenant la liste des situations :
 - Pour chaque situation :
 - Nombres d'occurrences de chaque situation (donc de chaque état stabilisé).
 - Pression et température moyenne de chaque état stabilisé.
 - Liste des chargements mécaniques de chaque état stabilisé.
 - Le groupe d'appartenance de la situation.
 - Le transitoire thermique associé.
- La définition de chaque chargement mécanique (y compris le séisme), repéré par son numéro, avec pour info le nom du cas de charge, et le torseur d'efforts généralisés correspondant à ce chargement, à appliquer aux limites du modèle.
- Les résultats des calculs pour chaque chargement mécanique unitaire (extraction des valeurs des contraintes sur un segment choisi par l'utilisateur du modèle 2D ou 3D).
- Les résultats des calculs thermiques : extraction des contraintes sur un segment du modèle EF 2D ou 3D. On a donc un calcul thermique par transitoire.

6.1.1 Option PM_PB

Option permettant de calculer les critères de niveau 0 qui visent à prémunir le matériel contre les dommages de déformation excessive, d'instabilité plastique et d'instabilité élastique et elastoplastique. Ces critères nécessitent le calcul des contraintes équivalentes de membrane Pm , de membrane locale Pl , de flexion Pb et de membrane plus flexion $Pm + Pb$.

Voir [§4.1.2].

6.1.2 Option SN

Option permettant de calculer les critères de niveau A (hors fatigue) qui visent à prémunir le matériel contre les dommages de déformation progressive. Ils nécessitent le calcul de l'amplitude de variation de contrainte linéarisée en un point, notée Sn .

Voir [§4.1.3].

6.1.3 Option FATIGUE

Les calculs de fatigue (option 'FATIGUE') au sens du RCCM B3200 sont effectués sur un segment d'analyse, à partir de relevés de contraintes sur ce segment pour des chargements unitaires. Ces calculs sont conformes à ce qui se fait en conception, et les données nécessaires sont accessibles (dans les dossiers d'analyse de comportement, ou dans OAR).

6.2 Opérande MATER

♦ MATER = mat

Nom du matériau contenant, pour le segment analysé, les caractéristiques utiles à FATIGUE_B3200 et définies sous les mot-clés ELAS et RCCM de DEF_MATERIAU [U4.43.01] (E, NU, ALPHA, WOHLER, E_REFE, M_KE, N_KE, SM)

Remarque sur les courbes de fatigue :

Pour les petites amplitudes de contraintes, le problème du prolongement de la courbe de fatigue peut se poser : par exemple, pour les courbes de fatigue du RCCM au-delà de 10^6 cycles, la contrainte correspondante, 180 MPa est considérée comme limite d'endurance, c'est à dire que toute contrainte inférieure à 180 MPa doit produire un facteur d'usage nul, ou un nombre de cycles admissible infini.

La méthode adoptée ici correspond à cette notion de limite d'endurance : si l'amplitude de contrainte est inférieure à la première abscisse de la courbe de fatigue, alors on prend un facteur d'usage nul.

6.3 Opérande TYPE_KE

♦ TYPE_KE = / 'KE_MECA', [Defaut]
/ 'KE_MIXTE'

Le facteur de correction élastoplastique Ke peut être calculé de deux façons :

- KE_MECA : c'est la méthode originelle, seule disponible dans les versions antérieures à la version 7.2 [cf. R7.04.03]
- KE_MIXTE : Depuis le modificatif 1997 du RCC-M, on peut choisir une autre formule, basée sur une décomposition de S_{alt} :

$$S'_{alt}(i, j) = \frac{1}{2} \cdot \frac{E_c}{E} \cdot (K_e^{meca}(S_n(p, q)) \cdot S_p^{meca}(i, j) + K_e^{ther}(S_n(p, q)) \cdot S_p^{ther}(i, j)) \text{ avec :}$$

$K_e^{meca}(S_n(p, q))$ est égal au Ke défini dans [R7.04.03], et

$$K_e^{ther}(S_n(p, q)) = \max \left(1, 1.86 \cdot \left(1 - \frac{1}{1.66 + \frac{S_n}{S_m}} \right) \right)$$

$S_p^{meca}(i, j)$ représente la quantité Sp, amplitude de variation de la part mécanique des contraintes, entre les instants i et j, ou valeur maxi de cette quantité au cours du transitoire, calculée sur la base des sollicitations d'origine mécanique : pression, poids propre, séisme (inertiel et déplacements d'ancrage), expansion thermique.

$S_p^{ther}(i, j)$ représente la quantité Sp calculée à partir des contraintes mécaniques engendrées uniquement par les transitoires thermiques.

6.4 Mot clé CHAR_MECA

Ce mot clé facteur permet de définir, pour chaque chargement mécanique apparaissant dans les situations, les torseurs appliqués aux limites du modèle, issus des calculs de type poutre. Il est répétable autant de fois qu'il y a de chargements mécaniques différents dans l'ensemble des situations.

6.4.1 Opérande NUME_CHAR

Numéro du chargement mécanique. Ce numéro est utilisé pour définir les chargements associés à chaque situation (voir mot clé SITUATION).

6.4.2 Opérande NOM_CHAR

Nom (facultatif) du chargement mécanique.

6.4.3 Opérande TYPE_CHAR

```

◇ TYPE_CHAR = / 'SEISME' , [Kn]
              / typechar , [Kn]

```

Type de chargement mécanique. Ce type est utilisé seulement dans le cas du SEISME, qui bénéficie d'un traitement particulier. Dans les autres cas, il est purement informatif.

6.4.4 Opérands MX / MY / MZ / FX / FY / FZ / PRES

```

◆ MX = mx , [R]
◆ MY = my , [R]
◆ MZ = mz , [R]
◇ FX = fx , [R]
◇ FY = fy , [R]
◇ FZ = fz , [R]

```

Efforts généralisés issus de calculs de la ligne de tuyauterie, de type poutre, pour chaque chargement, à appliquer aux profils de contraintes fournis sous RESU_MECA_UNIT, par combinaison linéaire.

Attention, ceci suppose que ces valeurs sont fournies dans un repère cohérent avec celui utilisé pour la modélisation 2D ou 3D du composant.

Parmi ces efforts on trouve aussi les résultats des calculs pour chaque séisme : moments pour chaque composante de chaque séisme, pour la réponse inertielle et pour les déplacements d'ancrages.

6.5 Mot clé RESU_MECA_UNIT

```

◆ RESU_MECA_UNIT=_F(
  ◆ TABL_MX = tabsigmx [tabl_post_releve]
  ◆ TABL_MY = tabsigmy [tabl_post_releve]
  ◆ TABL_MZ = tabsigmz [tabl_post_releve]
  ◇ TABL_FX = tabsigfx [tabl_post_releve]
  ◇ TABL_FY = tabsigfy [tabl_post_releve]
  ◇ TABL_FZ = tabsigfz [tabl_post_releve]
  ◆ TABL_PRES = tabsigpr [tabl_post_releve]
)

```

Ce mot clé facteur permet de fournir les profils de contraintes sur le segment choisi, issus des calculs mécaniques unitaires. Pour la réalisation de ces calculs, il est recommandé d'appliquer aux limites du modèle 3D des liaisons de type 3D-poutre avec des éléments discrets ponctuels. L'un de ces éléments est encastré, et sur l'autre, on applique des efforts généralisés unitaires. Notons qu'il est d'usage dans les calculs RCCM de type tuyauterie de ne considérer que les moments, c'est pourquoi les mots-clés facteurs TABL_FX, TABL_FY, TABL_FZ sont facultatifs. TABL_PRES correspondant à un calcul sous pression interne unité, sans oublier l'effet de fond.

6.6 Mot clé RESU_THER

Ce mot clé facteur permet de définir les résultats des calculs thermiques. Il est répétable autant de fois qu'il y a de calculs thermiques différents.

6.6.1 Opérande NUME_RESU_THER

◆ NUME_RESU_THER = numtran [I]

Numéro des transitoires thermiques. Ce numéro est utilisé pour identifier le transitoire thermique associé à chaque situation (voir mot clé SITUATION).

6.6.2 Opérande TABL_RESU_THER

◆ TABL_RESU_THER = table [tabl_post_releve]

Table issue de POST_RELEVE_T, contenant pour chaque calcul thermique transitoire, le relevé des contraintes dues au chargement thermique sur la section du maillage 2D ou 3D choisie par l'utilisateur à différents instants du transitoire. L'origine de la section doit être la peau interne.

6.7 Mot clé SITUATION

Ce mot clé facteur permet de définir les définitions des situations. Il est répétable autant de fois qu'il y a de situations.

6.7.1 Opérandes NUME_SITU / NOM_SITU / NB_OCCUR

◆ NUME_SITU = numsitu , [I]
◇ NOM_SITU = nomsitu , [Kn]
◆ NB_OCCUR = nbocc , [I]

Numéro de la situation, et nom (indicatif). nbocc correspond au nombre d'occurrences de la situation.

6.7.2 Opérandes PRES_A / PRES_B / TEMP_REF_A / TEMP_REF_B

◆ PRES_A = pressa , [R]
◆ PRES_B = pressb , [R]
◇ TEMP_REF_A = tempa , [R]
◇ TEMP_REF_B = tempb , [R]

Températures (stabilisées) et pressions associés à chacun des deux états stabilisés de la situation.

6.7.3 Opérandes CHAR_ETAT_A / CHAR_ETAT_B

◆ CHAR_ETAT_A = (list_num_char_meca) , [L_I]
◆ CHAR_ETAT_B = (list_num_char_meca) , [L_I]

Liste des numéros de chargements mécaniques associés à chaque état stabilisé. Ces numéros correspondent au mot clé NUME_CHAR du mot clé facteur CHAR_MECA.

6.7.4 Opérande NUME_RESU_THER

◇ NUME_RESU_THER = list_num_tran [L_I]

Liste de numéros de transitoires thermiques associés à la situation. Il peut y avoir 0 ou 1 transitoire par tronçon de ligne (ce qui correspond à des groupes de mailles) pour chaque situation. Ces numéros correspondent au mot clé NUME_RESU_THER du mot clé facteur RESU_THER.

Dans le cas où pour une situation donnée, il y a physiquement deux transitoires pour un tronçon, comme le chauffage-refroidissement par exemple, il est d'usage en B3600 de combiner ces deux transitoires en un seul.

6.7.5 Opérande NUME_GROUPE / NUME_PASSAGE

◇ NUME_GROUPE = numgroup , [L_I]
◇ NUME_PASSAGE = (num1, num2) , [L_I]

Numéro(s) de groupe(s) de situation pour chaque situation (les situations de deux groupes différents ne peuvent pas être combinées entre elles, sauf s'il existe une situation de passage). En général, une situation appartient à un seul groupe. Mais il peut exister des cas où une même situation appartient à plusieurs groupes.

Pour les situations de passage, num1 et num2 indiquent les deux numéros de groupes reliés par cette situation. Une situation de passage est définie, comme une autre situation, par deux listes de chargements et un transitoire thermique. Elle peut appartenir à un groupe.

6.7.6 Opérande COMBINABLE

◆ COMBINABLE = / 'OUI' , [DEFAULT]
/ 'NON' , [Kn]

Ce mot clé indique si une situation est combinable avec les autres à l'intérieur de son groupe (cas général). Dans le cas où COMBINABLE= 'NON', cela signifie que la situation est un sous-cycle.

6.7.7 Opérande NB_CYCL_SEISME

◇ NB_CYCL_SEISME = nbsss ,

Nombre de cycles associés à chaque occurrence du séisme, considérés comme des sous-cycles dans le calcul du facteur d'usage.

6.8 Exemple

Le test RCCM04 fournit un exemple complet d'utilisation. Pour plus d'informations, on pourra se référer au document [U2.09.03].

7 Bibliographie

- [1] « RCC-M : Règles de Conception et de Construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires PWR. Edition 1993 » Edité par l'AFCEN : Association française pour les règles de conception et de construction des matériels des chaudières électro-nucléaires.
- [2] Y. WADIER, J.M. PROIX : « Spécifications pour une commande d'Aster permettant des analyses selon les règles du RCC-M B3200 ». Note EDF/DER/HI-70/95/022/0
- [3] I. FOURNIER, K. AABADI, A.M. DONORE : «Projet OAR : Descriptif du 'fichier OAR', système de fichiers d'alimentation de la base de données » Note EDF / R&D / HI-75/01/008/C
- [4] F. CURTIT : « Réalisation d'un outil logiciel d'analyse à la fatigue pour une ligne de tuyauterie - cahier des charges » Note EDF / R&D / HT-26/02/010/A
- [5] F. CURTIT : « Analyse à la fatigue d'une ligne VVP intérieur BR avec sous-épaisseur » Note EDF / R&D / HT-26/00/057/A