

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^* et du rochet thermique. 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. En entrée, il faut spécifier soit le résultat de calculs thermomécaniques sur une ligne de tuyauterie (`TYPE_RESU_MECA='TUYAUTERIE'`), soit des tables de contraintes sur un segment d'analyse construites après des calculs thermomécaniques 2D ou 3D (`TYPE_RESU_MECA='EVOLUTION'`), soit des tables de contraintes sur un segment d'analyse correspondant à des chargements unitaires et les torseurs de chargement associés (`TYPE_RESU_MECA='UNITAIRE'`).

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',
                | 'AMORCAGE',

    ◆ MATER = mat, [mater]

    ◇ SY_MAX = symax, [R]

    ◆ TRANSITOIRE=_F (
        ◇ TABL_RESU_MECA = tabmeca, [table]
        ◇ TABL_SIGM_THER = tabth , [table]
        ◇ TABL_RESU_PRES = tabpres, [table]

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

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

        )

```

```

/ TYPE_RESU_MECA = 'UNITAIRE'
  ♦ OPTION      = / | 'SN',
                  | 'PM_PB',
                  | 'FATIGUE',

  ♦ MATER       = mat , [mater]
  ◇ SY_MAX      = symax , [R]
  ♦ TYPE_KE     = / 'KE_MECA', [DEFAULT]
                  / 'KE_MIXTE'

  ♦ CHAR_MECA = _F (
    ♦ NUME_CHAR = numchar , [I]
    ◇ NOM_CHAR  = nomchar , [Kn]
    ◇ TYPE_CHAR = / 'SEISME', [Kn]
                  / 'AUTRE', [DEFAULT]

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

    / ♦ MX_CORP = mx , [R]
      ♦ MY_CORP = my , [R]
      ♦ MZ_CORP = mz , [R]
      ◇ FX_CORP = fx , [R]
      ◇ FY_CORP = fy , [R]
      ◇ FZ_CORP = fz , [R]
      ♦ MX_TUBU = mx , [R]
      ♦ MY_TUBU = my , [R]
      ♦ MZ_TUBU = mz , [R]
      ◇ FX_TUBU = fx , [R]
      ◇ FY_TUBU = fy , [R]
      ◇ FZ_TUBU = fz , [R]

    )

  ♦ RESU_MECA_UNIT=_F (
    / ♦ TABL_MX = tabsigmx , [table]
      ♦ TABL_MX = tabsigmy , [table]
      ♦ TABL_MX = tabsigmz , [table]
      ◇ TABL_FX = tabsigfx , [table]
      ◇ TABL_FY = tabsigfy , [table]
      ◇ TABL_FZ = tabsigfz , [table]
      ♦ TABL_PRES = tabsigpr , [table]

    / ♦ TABL_MX_CORP = tabsigmx , [table]
      ♦ TABL_MX_CORP = tabsigmy , [table]
      ♦ TABL_MX_CORP = tabsigmz , [table]
      ◇ TABL_FX_CORP = tabsigfx , [table]
      ◇ TABL_FY_CORP = tabsigfy , [table]
      ◇ TABL_FZ_CORP = tabsigfz , [table]
      ♦ TABL_MX_TUBU = tabsigmx , [table]
      ♦ TABL_MX_TUBU = tabsigmy , [table]
      ♦ TABL_MX_TUBU = tabsigmz , [table]
      ◇ TABL_FX_TUBU = tabsigfx , [table]
      ◇ TABL_FY_TUBU = tabsigfy , [table]
      ◇ TABL_FZ_TUBU = tabsigfz , [table]
      ♦ TABL_PRES = tabsigpr , [table]

    )

```

Titre : *Opérateur POST_RCCM*
Auteur(s) : **E. GALENNE**

Date : *28/12/07*
Clé : **U4.83.11-G1** Page : *4/27*

```
◇ RESU_THER=_F(  
    ◆ NUME_RESU_THER = numtran,           [I]  
    ◆ TABL_RESU_THER = table,             [table]  
    ◆ 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]  
    )
```

Titre : Opérateur POST_RCCM
Auteur(s) : **E. GALENNE**

Date : 28/12/07
Clé : U4.83.11-G1 Page : 5/27

```

/ TYPE_RESU_MECA = 'TUYAUTERIE'
  ♦ OPTION      = 'FATIGUE',
  ♦ MODELE      = modele ,                               [modele]

  ♦ ZONE_ANALYSE=_F(
    ◇ / TOUT      = 'OUI',                               [DEFAULT]
      / GROUP_MA  = gmal,                                [groupma]
      / MAILLE    = mal ,                                [maille]
  ♦ CARA_ELEM = cara,                                    [cara_elem]
  ♦ TYPE_KE    = / 'KE_MECA',                             [Defaut]
                / '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  = gmal,                                  [groupma]
      / MAILLE    = mal ,                                  [maille]
    ◇ / GROUP_NO  = gno1,                                  [groupno]
      / NOEUD     = nol ,                                  [noeud]
    ◇ TYPE_ELEM_STANDARD = / 'DRO',                        [Kn]
                          / 'COU',                        [Kn]
                          / 'TRN',                        [Kn]
                          / 'TEE',                        [Kn]
  )

```

Titre : Opérateur POST_RCCM
Auteur(s) : E. GALENNE

Date : 28/12/07
Clé : U4.83.11-G1 Page : 6/27

```

    ◇ 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        = gmal,             [groupma]
      / MAILLE          = mal,              [maille]
      ◇ / GROUP_NO      = gnol,             [groupno]
      / NOEUD           = nol,              [noeud]
    )
  ◆ SITUATION=_F(
    ◆ NUME_SITU = numsitu,                 [I]
    ◇ NOM_SITU = nomsitu,                  [Kn]
    ◆ NB_OCCUR = nbocc,                    [I]
    ◇ NB_CYCL_SEISME = nbsss,              [I]
    ◆ NUME_GROUPE = numgroup,              [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 de tables de contraintes extraites 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' ou par l'option FATIGUE pour les résultats de type 'UNITAIRE',
 - des critères d'amorçage par l'option AMORCAGE pour les résultats de type 'EVOLUTION'.
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 par l'option FATIGUE.

3.5 Table produite

La commande POST_RCCM génère un concept de type table. La commande IMPR_TABLE [U4.91.03] permet d'imprimer le contenu de la table. Pour plus d'informations, on pourra se référer au document [U2.09.03].

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], la notice d'utilisation [U2.09.03] 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 de tables de contraintes extraites d'un ou plusieurs concepts résultats obtenus par une commande globale (`MECA_STATIQUE`, `STAT_NON_LINE`) sur une modélisation 2D ou 3D. Les tables de contraintes peuvent être créées par les commandes `POST_RELEVE_T` ou `MACR_LIGN_COUPE`. Les options de calcul possibles sont :

- 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.

On rappelle que la courbe de fatigue est défini dans les propriétés matériau (mot clé `FATIGUE` / `WOHLER`) comme étant le nombre de cycle à la rupture en fonction de la demi-amplitude de la contrainte `Salt`. Les petites amplitudes de contraintes correspondent donc au prolongement à gauche de la courbe. Plusieurs situations peuvent se présenter, selon le type de prolongement retenu dans `DEFI_FONCTION` :

- si `PROL_GAUCHE` = '`EXCLU`' ou '`CONSTANT`', le calcul est fait en supposant que la première valeur de la courbe de Wohler fournie est la limite d'endurance du matériau. Autrement dit, toute contrainte alternée plus petite que la première valeur indiquée dans le `DEFI_FONCTION` correspondra à un facteur d'usage nul. La méthode adoptée ici correspond donc bien à la notion de limite d'endurance ;

- si `PROL_GAUCHE` = '`LINEAIRE`', la courbe est prolongée de manière linéaire. Attention, le prolongement ne se fait pas en coordonnées logarithmique, donc on peut avoir des facteurs d'usage non négligeables même pour les faibles valeurs de `Salt`. Pour revenir à la notion de limite d'endurance, il est alors recommandé d'ajouter dans la définition de la courbe le nombre de cycles admissibles pour une très faible valeur de `Salt` (calculé à la main par exemple par interpolation avec une loi puissance).

4.1.2 Opérande *SY_MAX*

◇ *SY_MAX* = *symax*,

Limite conventionnelle d'élasticité pour la température maximale atteinte au cours du cycle. Cet opérande n'est utilisé que pour le calcul du rochet thermique (cf. § 4.1.4.2). Si la limite d'élasticité *SY_MAX* n'est pas définie, on prend la valeur définie sous l'opérande *SY_02* du mot-clé *RCCM* dans *DEFI_MATERIAU* [U4.43.01] ; si cet opérande n'est pas non plus défini, le calcul du rochet thermique est impossible.

4.1.3 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 *Pm*, de membrane locale *Pl*, de flexion *Pb* et de membrane plus flexion *Pm + Pb*.

Les opérandes nécessaires sont *MATER*, la table des contraintes *TABL_RESU_MECA* (construite par exemple par *POST_RELEVE_T* après le calcul mécanique sur le lieu de post-traitement) et éventuellement la table des contraintes *TABL_SIGM_THER* construite à partir d'un calcul avec le chargement thermique seul.

Les points de calcul sont les deux extrémités du segment d'analyse. Si plusieurs segments d'extraction ont été utilisés pour définir une même table de contraintes, le calcul se fait successivement pour chacun d'entre eux.

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].

Remarques :

- *Le calcul de *PM* et *PMPB* se fait à partir des contraintes primaires uniquement, donc hors contraintes d'origine thermique. Si *TABL_SIGM_THER* est renseigné, on suppose que le résultat indiqué dans *TABL_RESU_MECA* correspond à un calcul thermomécanique et on lui soustrait donc les contraintes thermiques. Si seul *TABL_RESU_MECA* est renseigné, le calcul se fait directement à partir des contraintes indiquées dans la table.*
- *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*').*

4.1.4 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 *TABL_SIGM_THER*) on effectue aussi le calcul de *Sn**.

Si l'utilisateur le demande (présence des opérandes *TABL_SIGM_THER* et *TABL_RESU_PRES*) on effectue aussi le calcul du rochet thermique.

Les opérandes nécessaires sont *MATER* et la table des contraintes *TABL_RESU_MECA* (construite par exemple par *POST_RELEVE_T* après le calcul mécanique sur le lieu de post-traitement) à renseigner dans le mot clé *TRANSITOIRE*.

Les points de calcul sont les deux extrémités du segment d'analyse. Si plusieurs segments d'extraction ont été utilisé pour définir une même table de contraintes, le calcul se fait successivement pour chacun d'entre eux.

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 *RCCM* dans *DEFI_MATERIAU* [U4.43.01].

Remarque :

Le mot-clé TABL_RESU_MECA peut être répété plusieurs fois sous un seul mot-clé TRANSITOIRE. Pour le calcul de SN et SN, il n'y aura cependant pas de combinaison entre les situations ainsi définies : chaque table de contraintes sera traitée successivement.*

4.1.4.1 Calcul de Sn*

Si l'opérande TABL_SIGM_THER du mot clé facteur TRANSITOIRE est présent, on effectue aussi le calcul de Sn^* .

Il faut, pour que le calcul soit cohérent et conforme au RCC-M, que les contraintes fournies dans TABL_SIGM_THER aient été obtenues avec un chargement thermique seul, sachant que le résultat donné par TABL_RESU_MECA peut être dû à une combinaison de ce chargement thermique avec d'autres chargements. Il faut donc que les instants de la table TABL_SIGM_THER correspondent à ceux de la table TABL_RESU_MECA.

4.1.4.2 Calcul du rochet thermique

Si les opérandes TABL_SIGM_THER et TABL_RESU_PRES du mot clé facteur TRANSITOIRE sont présents, on effectue aussi le calcul du rochet thermique. Pour cela, il faut également avoir préalablement défini la limite conventionnelle d'élasticité pour la température maximale atteinte au cours du cycle soit par l'opérande SY_MAX de POST_RCCM ; soit par l'opérande SY_02 du mot-clé RCCM dans DEFI_MATERIAU [U4.43.01]. Si aucune limite d'élasticité n'est définie, le calcul du rochet thermique est impossible.

Il faut, pour que le calcul soit cohérent et conforme au RCC-M, que les contraintes fournies dans TABL_RESU_PRES aient été obtenues avec un chargement de pression seul.

Dans le tableau résultat apparaissent, pour chaque extrémité de chaque segment d'analyse, la limite d'élasticité SY, l'amplitude de variation de la contrainte d'origine thermique SP_THER, le maximum de la contrainte de membrane générale due à la pression SIGM_M_PRES et deux valeurs maximales admissibles de l'amplitude de variation de la contrainte thermique calculées soit en supposant une variation de température linéaire dans la paroi (VALE_MAXI_LINE), soit en supposant une variation de température parabolique dans la paroi (VALE_MAXI_PARAB).

4.1.5 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.

L'amplitude de variation de contrainte en chaque extrémité du segment d'analyse est calculée à partir des tables de contraintes TABL_RESU_MECA, 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, cf. [U2.09.03].

Les instants correspondant aux états extrêmes doivent être précisés par l'utilisateur par les opérandes NUME_ORDRE, INST ou LIST_INST.

Remarque :

Le mot-clé TABL_RESU_MECA peut être répété plusieurs fois sous un seul mot-clé TRANSITOIRE. Pour le calcul en fatigue, les résultats contenus dans chaque table de contraintes seront combinés entre eux.

4.1.6 Option AMORCAGE

Option permettant de calculer le facteur d'amorçage au niveau d'une zone singulière. Pour cette option, les contraintes sont à fournir en entrée dans la table TABL_SIGM_THETA et doivent correspondre à l'extraction des contraintes, en repère local, sur une ligne de coupe circulaire de diamètre D_AMORC (paramètre matériau défini dans le RCC-M) autour de la singularité géométrique.

Les tableaux de contraintes peuvent être créés en utilisant l'opérateur `MACR_LIGN_COUPE` (`TYPE = 'ARC'`).

Pour cette option, il est également obligatoire de définir dans les propriétés matériaux (mot clé `RCCM`) les coefficients de la loi d'amorçage (`A_AMORC` et `B_AMORC`), le diamètre du cercle sur lequel les contraintes sont extraites (`D_AMORC`) et le coefficient entre contrainte et contrainte efficace (`R_AMORC`).

4.2 Mot clé **TRANSITOIRE**

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

4.2.1 Opérande **INTITULE**

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

4.2.2 Opérande **TABL_RESU_MECA**

◇ `TABL_RESU_MECA = tabmeca`

Table des contraintes sur le segment d'analyse, construite par exemple par `POST_RELEVE_T` à partir de résultats mécaniques de type `evol_elas` et `evol_noli`.

4.2.3 Opérande **TABL_SIGM_THER**

◇ `TABL_SIGM_THER = tabth`

Table des contraintes sur le segment d'analyse, construite par exemple par `POST_RELEVE_T` sur un résultat obtenu avec un chargement thermique seul. Ce mot clé permet notamment le calcul de S_n^* [§4.1.4.1].

4.2.4 Opérande **TABL_SIGM_THETA**

◇ `TABL_SIGM_THETA = sigt`

Cette opérande n'est à utiliser que dans le cas de l'option `AMORCAGE` [§4.1.6]. Elle correspond à la table des contraintes, en repère local, sur une ligne de coupe circulaire autour de la singularité géométrique. Le tableau doit obligatoirement comporter les colonnes `ANGLE`, `ABSC_CURV`, `INST` et `SIZZ`, où `SIZZ` correspond à la contrainte `sigma_thêta_thêta` dans le repère local de la ligne de coupe.

4.2.5 Opérande **TABL_RESU_PRES**

◇ `TABL_RESU_PRES = tabpres`

Table des contraintes sur le segment d'analyse, construite par exemple par `POST_RELEVE_T` sur un résultat obtenu avec le chargement de pression seul. Ce mot clé permet le calcul du rochet thermique [§4.1.4.2].

4.2.6 Opérande **NB_OCCUR**

◇ `NB_OCCUR = / nocc, / 1, [DEFAULT]`

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

4.2.7 Opérandes **TOUT_ORDRE / INST / LIST_INST / PRECISION / CRITERE**

◇ `TOUT_ORDRE, INST, LIST_INST`

Ces mots clés permettent la sélection des instants correspondant aux champs regroupés dans les tables de contraintes `tabmeca` (et éventuellement `tabth`) sous les noms symboliques précédemment spécifiés.

◇ 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.

4.3 Phase d'exécution

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

4.4 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,
- (si calcul du rochet thermique) calcul mécanique avec pression seule,
- définition du segment d'analyse et extraction des résultats avec *POST_RELEVE_T* ou *MACR_LIGN_COUPE*,

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',
               TRANSITOIRE=_F( TABL_RESU_MECA = T_RESU2b,
                              TABL_SIGM_THER = T_RESUTHb, )
               )

IMPR_TABLE ( TABLE = sn1 )
```

Un exemple d'utilisation de l'opérateur *POST_RCCM* avec des résultats de type *EVOLUTION* pour l'option *AMORCAGE* peut être trouvé dans le cas test *RCCM09*.

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 DEFI_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 K_e 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 K_e défini dans [R7.04.03], et

$$K_e^{ther}(S_n(p, q)) = \max \left\{ 1 ; 1,86 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,66 + S_n/S_m} \right) \right\}$$

$S_p^{meca}(i, j)$ représente la quantité S_p , 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 S_p 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      = gmal ,      [groupma]  
  / MAILLE        = mal  ,      [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]
        | CRITERE  =  /  'RELATIF',                          [DEFAULT]
        |           /  'ABSOLU' ,                             [DEFAULT]
    ♦  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 [table]

Table issue par exemple 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 [table]

Table issue par exemple 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      = gma1 ,      [groupma]
  / MAILLE        = ma1 ,      [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(NUMES_RESU_THER = 1,
              TABL_RESU_THER   = tab11,
              TABL_MOYE_THER   = tab111,
              GROUP_MA='gma1'),
          _F(NUMES_RESU_THER = 1,
              TABL_RESU_THER   = tab12,
              TABL_MOYE_THER   = tab122,
              MAILLE          = 'ma1' ,
              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. Les températures sont utilisées pour le calcul des propriétés matériaux aux deux états stabilisés ; les opérandes TEMP_REF_A et TEMP_REF_B ne sont donc utiles que si les propriétés matériaux dépendent de la température (opérande RCCM_FO de DEFINI_MATERIAU).

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.

Dans le cas général, un seul chargement mécanique est associé à chaque état stabilisé. 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_GROUPE = numgroup , [I]

Numéro de groupe auquel appartient la situation.

Pour les résultats de type TUYAUTERIE, il n'est pour le moment pas possible de combiner des situations de groupes différents reliés par une situation de passage.

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 Opérands spécifiques aux résultats de type UNITAIRE

6.1 Préliminaires

On suppose ici que le calcul du composant a été réalisé dans Aster (exploitation d'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 au 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 élastoplastique. 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 [§4.1.3].

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 . Sous certaines conditions, cette option permet également le calcul de Sn^* (si présence du mot clé facteur `RESU_THER`) et du rochet thermique (si

présence du mot clé facteur RESU_THER et d'une pression PRES_A/PRES_B sous le mot clé facteur SITUATION).

Voir [§4.1.4].

Remarque :

Avec l'option 'SN', le calcul se fait sans combinaison entre les situations définies : chaque situation sera traitée successivement. Pour avoir les grandeurs avec combinaison entre chaque situation, il faut utiliser l'option 'FATIGUE'.

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.

Dans le tableau résultat produit, on trouve les paramètres SN, SP, KE, le nombre de cycles admissibles NADM et le DOMMAGE (=NB_OCCUR/NADM), pour chacune des combinaisons de transitoires (TYPE_RESU='DETAILS') ou seulement la valeur maximale (TYPE_RESU='VALE_MAX'); et le dommage total cumulé, pour les deux extrémités du segment d'analyse.

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 DEFI_MATERIAU [U4.43.01] (E, NU, ALPHA, WOHLER, E_REFE, M_KE, N_KE, SM)

Remarque sur les courbes de fatigue :

La question du prolongement de la courbe de fatigue et la notion de limite d'endurance sont discutées dans le §4.1.1.

6.3 Opérande SY_MAX

♦ SY_MAX = symax,

Limite conventionnelle d'élasticité pour la température maximale atteinte au cours du cycle. Cet opérande n'est utilisé que pour le calcul du rochet thermique (cf. § 4.1.4.2). Si la limite d'élasticité SY_MAX n'est pas définie, on prend la valeur définie sous l'opérande SY_02 du mot-clé RCCM dans DEFI_MATERIAU [U4.43.01]; si cet opérande n'est pas non plus défini, le calcul du rochet thermique est impossible.

6.4 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} [cf. U2.09.03].

6.5 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.

6.5.1 Opérande NUME_CHAR

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

6.5.2 Opérande NOM_CHAR

Nom (facultatif) du chargement mécanique.

6.5.3 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. Dans les autres cas, il est purement informatif.

6.5.4 Opérandes 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.

6.5.5 Opérandes MX_CORP / MX_TUBU, MY_CORP / MY_TUBU, ... PRES

```

◆ MX_CORP     = mx , [R]
◆ MY_CORP     = my , [R]
◆ MZ_CORP     = mz , [R]
◇ FX_CORP     = fx , [R]
◇ FY_CORP     = fy , [R]
◇ FZ_CORP     = fz , [R]
◆ MX_TUBU     = mx , [R]
◆ MY_TUBU     = my , [R]
◆ MZ_TUBU     = mz , [R]
◇ FX_TUBU     = fx , [R]
◇ FY_TUBU     = fy , [R]
◇ FZ_TUBU     = fz , [R]

```

Efforts généralisés appliqués sur le corps et la tubulure d'un piquage. Leur signification est identique à celle des opérandes *MX*, *MY*, ... utilisés pour les lignes de tuyauterie.

Dans le cas où ces opérandes sont utilisées, les tableaux de résultats correspondants (*TABL_MX_TUBU*, *TABL_MX_CORP*, ...) doivent être spécifiés sous le mot clé *RESU_MECA_UNIT*.

6.6 Mot clé RESU_MECA_UNIT

```

◆ RESU_MECA_UNIT = _F(

```

Titre : *Opérateur POST_RCCM*
 Auteur(s) : **E. GALENNE**

Date : 28/12/07
 Clé : U4.83.11-G1 Page : 24/27

```

/♦ TABL_MX      = tabsigmx ,           [table]
♦ TABL_MX      = tabsigmy ,           [table]
♦ TABL_MX      = tabsigmz ,           [table]
◊ TABL_FX      = tabsigfx ,           [table]
◊ TABL_FY      = tabsigfy ,           [table]
◊ TABL_FZ      = tabsigfz ,           [table]
♦ TABL_PRES    = tabsigpr ,           [table]

/♦ TABL_MX_CORP = tabsigmx ,           [table]
♦ TABL_MX_CORP = tabsigmy ,           [table]
♦ TABL_MX_CORP = tabsigmz ,           [table]
◊ TABL_FX_CORP = tabsigfx ,           [table]
◊ TABL_FY_CORP = tabsigfy ,           [table]
◊ TABL_FZ_CORP = tabsigfz ,           [table]
♦ TABL_MX_TUBU = tabsigmx ,           [table]
♦ TABL_MX_TUBU = tabsigmy ,           [table]
♦ TABL_MX_TUBU = tabsigmz ,           [table]
◊ TABL_FX_TUBU = tabsigfx ,           [table]
◊ TABL_FY_TUBU = tabsigfy ,           [table]
◊ TABL_FZ_TUBU = tabsigfz ,           [table]
♦ TABL_PRES    = tabsigpr ,           [table]
)

```

Ce mot clé facteur permet de fournir les profils de contraintes sur le segment choisi, issus des calculs mécaniques unitaires soit sur la ligne de tuyauterie (TABL_MX, TABL_MY...), soit sur le piquage (TABL_MX_CORP, TABL_MX_TUBU...).

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. Dans le cas d'un piquage, l'une des extrémités du corps est bloquée, les efforts généralisés étant appliqués sur l'autre extrémité du corps et sur l'extrémité de la tubulure.

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 de type TABL_FX, TABL_FY, TABL_FZ sont facultatifs. TABL_PRES correspondant à un calcul sous pression interne unité, sans oublier l'effet de fond.

6.7 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.

6.7.1 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).

6.7.2 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.

6.8 Mot clé SITUATION

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

6.8.1 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.

6.8.2 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. Les températures sont utilisées pour le calcul des propriétés matériaux aux deux états stabilisés ; les opérandes TEMP_REF_A et TEMP_REF_B ne sont donc utiles que si les propriétés matériaux dépendent de la température (opérande RCCM_FO de DEFI_MATERIAU).

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

6.8.3 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.

Dans le cas général, un seul chargement mécanique est associé à chaque état stabilisé. Dans le cas particulier d'une situation de séisme, l'opérande CHAR_ETAT_B est inutile, seuls les chargements fournis sous CHAR_ETAT_A sont utilisés (combinaison quadratique entre les différents chargements fournis sous CHAR_ETAT_A).

6.8.4 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.

6.8.5 Opérande NUME_GROUPE / NUME_PASSAGE

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

Numéro de groupe 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 ; une situation appartient à un seul groupe, sauf si c'est une situation de passage.

Pour les situations de passage, num1 et num2 indiquent les deux numéros de groupes reliés par cette situation. Cette situation appartient aux deux groupes entre lesquelles elle définit le passage ; il faut indiquer sous le mot clé NUME_GROUPE un des deux groupes. Une situation de

passage est définie, comme tout autre situation, par deux listes de chargements et un transitoire thermique.

6.8.6 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.

6.8.7 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.

Remarque sur le séisme :

Un seul chargement de type SEISME peut être défini par groupe de situations. Par contre il est possible de définir plusieurs groupes de situations comportant chacun au plus un chargement de type SEISME.

6.9 Table produite et exemple

La table produite par POST_RCCM dépend de l'OPTION de calcul et du type de résultat demandé sous l'opérande TYPE_RESU. Pour l'option 'PM_PB', les paramètres de la table sont soit les valeurs maximales de PM, PB et PMPB (TYPE_RESU = 'VALE_MAX'), soit ces grandeurs pour chacune des situations (TYPE_RESU = 'DETAILS').

Pour l'option 'SN', les paramètres de la table sont soit les valeurs maximales de SN et SN* (TYPE_RESU = 'VALE_MAX'), soit ces grandeurs pour chacune des situations avec ou sans séisme (TYPE_RESU = 'DETAILS'). Si elles sont calculées, les grandeurs associées au rochet thermique apparaissent dans la table.

Pour l'option 'FATIGUE', les paramètres de la table produite peuvent être regroupés en plusieurs sous-catégories (imprimables successivement grâce au mot clé FILTRE de IMPR_TABLE) : valeurs maximales de chacune des grandeurs calculées (filtre sur 'TYPE' égal à 'MAXI') ; grandeurs pour chaque situation avec ou sans séisme (filtre sur 'TYPE' = 'SITU' et 'SEISME' = 'AVEC' ou 'SANS' dans IMPR_TABLE) ; grandeurs pour chaque combinaison de situation avec ou sans séisme ('TYPE' = 'COMB', 'SEISME' = 'AVEC' ou 'SANS') ; résultats du calcul du rochet thermique (filtre sur 'TYPE' = 'ROCHET').

Les tests RCCM04 et RCCM07 fournissent des exemples complets 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