

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 définis dans le chapitre B3200 du RCC-M font intervenir des grandeurs significatives que l'on compare à des valeurs limites.

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_B3600* permet le calcul facteur d'usage en fatigue en prenant en compte toutes les situations calculées.

Produit une structure de données de type *table*.

2 Syntaxe

```

TABL_POST_RCCM = POST_RCCM (

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

    ◇  INFO          /1 ,                                [DEFAULT]
                        /2 ,

    ◇  TITRE         =   titre,                          [Kn]

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

    ◆  MATER         =   mat ,                            [mater]

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

    ◆  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) : **J.M. PROIX, L. VIVAN**

Date : 08/12/03
Clé : U4.83.11-E1 Page : 3/36

```

♦  OPTION      = / 'FATIGUE_B3600',
    ♦  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',                             [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   = 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) : **J.M. PROIX, L. VIVAN**

Date : 08/12/03
Clé : U4.83.11-E1 Page : 4/36

```

◇ 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]
    ◇ 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]
)

◆ OPTION = / 'FATIGUE_B3200',
    ◆ MATER = mat, [mater]
    ◆ TYPE_KE = / 'KE_MECA', [Default]
    / '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]  
    )
```

3 Opérandes communs à toutes les options

3.1 Opérande TYPE_RESU

```
TYPE_RESU =     /    'VALE_MAX' ,  
                 /    'VALE_INST' ,
```

Type de valeurs contenues dans la table produite en résultat :

- VALE_MAX : seules les valeurs maximales sont données,
- VALE_INST : 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 Types de critères : mot clé OPTION

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 :
 - 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 les options FATIGUE_SPMAX ou FATIGUE_ZH210.
Ces options peuvent être appelées seules ou simultanément.
- A partir de relevés de contraintes issus de calculs 2D ou 3D qui correspondent à des chargements unitaires, et de données complémentaires :
 - des critères de fatigue (également de niveau A) par l'option FATIGUE_B3200.
- 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 :
 - des critères de fatigue par l'option FATIGUE_B3600.

4 Opérandes spécifiques aux options PM_PB, SN, FATIGUE_SPMAX et FATIGUE_ZH210

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].

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 elastoplastique. 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 :

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

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

Les valeurs limites sont S_m et $1.5 S_m$, S_m 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 P_m et P_{mPB} 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 :

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

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

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 DEF1_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) :

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

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

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_SPMAX

Option permettant de calculer le nombre de cycles admissibles en fatigue. C'est une première approche du calcul du dommage de fatigue du RCC-M B3200, limitée au traitement d'un seul transitoire (pas de combinaison de transitoires) et sans considération de sous-cycles. On calcule l'amplitude de variation de contrainte en un point, notée Sp , et l'amplitude de variation de contrainte linéarisée Sn pour le calcul du facteur de correction élastoplastique K_e (suivant le RCC-M B3200). Si plusieurs transitoires sont donnés, le calcul a lieu pour chacun d'eux indépendamment des autres.

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

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

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

t_1 et t_2 parcourant la liste d'instants donnée sous le mot clé TRANSITOIRE [§3.6].

puis

$$S_{alt} = \frac{1}{2} \frac{E_c}{E} K_e(Sn) Sp \text{ et par la courbe de fatigue de Wöhler : } N_{adm} = f(S_{alt}).$$

$$\text{Le facteur d'usage vaut alors : } u = \frac{N_{occ}}{N_{adm}}.$$

Le facteur de correction élastoplastique est défini suivant le RCC-M B3200 par :

$$\begin{aligned} K_e(Sn) &= 1 & \text{si } Sn < 3Sm \\ K_e(Sn) &= 1 + \frac{1-n}{n(m-1)} \frac{Sn}{3Sm} - 1 & \text{si } 3Sm < Sn < 3mSm \\ K_e(Sn) &= \frac{1}{n} & \text{si } Sn > 3mSm \end{aligned}$$

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, donné par le mot clé TRANSITOIRE.

Les paramètres nécessaires au calcul du coefficient de concentration élastoplastique K_e et la courbe de fatigue sont introduits dans la commande DEFINI_MATERIAU [U4.43.01] :

- n correspond à N_KE du mot-clé facteur RCCM,
- m correspond à M_KE du mot-clé facteur RCCM,
- Sm correspond à SM du mot-clé facteur RCCM,
- le module d'Young de référence de la courbe de fatigue E_c correspond à E_REFE du mot-clé facteur FATIGUE,
- le module d'Young correspondant au calcul effectué est défini classiquement sous le mot-clé facteur ELAS,
- la courbe de fatigue $N_{adm} = f(S_{alt})$ est une fonction définie par DEFINI_FONCTION, et introduite dans DEFINI_MATERIAU par le mot-clé WOHLER du mot-clé facteur FATIGUE.

Remarque :

Contrairement à la méthode ZH210, la quantité S_{alt} est obtenue à partir des valeurs maximales de Sn et Sp , même si ces maxima surviennent à des instants différents.

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.

Comme pour la méthode **FATIGUE_SPMAX**, on calcule l'amplitude de variation de contrainte en chaque extrémité du segment, pour chaque combinaison d'instant(s) 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 S_n^* [§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.

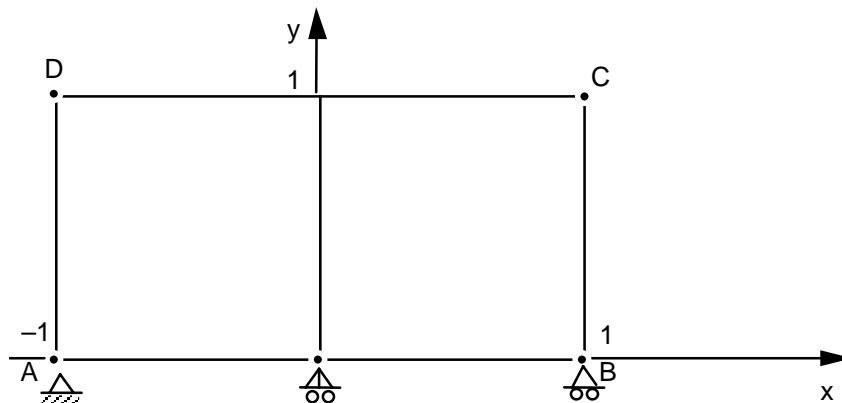
4.6 Phase d'exécution

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

L'exemple suivant est tiré du test `RCCM01`. Il s'agit d'une plaque plane soumise à un chargement thermique et mécanique. Le chargement mécanique (déplacement imposé) provoque un état de contrainte constant dans la plaque. La température provoque des contraintes linéaires en x.

4.7.1 Géométrie



4.7.2 Propriétés de matériaux

$E = 2. \text{E}+05 \text{ Pa}$

$\nu = 0.3$

$\alpha = 1. \text{E}-05$

4.7.3 Conditions aux limites et chargements

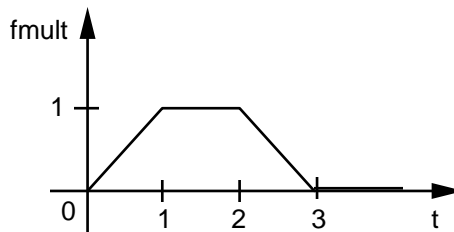
Déplacement imposé :

Segment AB $Y = 0$

Nœud A encastré $X = Y = 0$

Chargement mécanique :

Segment CD $DY = 0.001 \text{ fmult}$



Chargement thermique :

INST	T (X, Y)
0	0.
1	0.
2	50. X
3	50. X

Extraits du fichier de commandes :

% Définition des paramètres du matériau et de la courbe de fatigue

```

wohler = DEFI_FONCTION(
    NOM_PARA = 'SIGM',
    VALE = (
        138., 1000000.,
        152., 500000.,
        165., 200000.,
        180., 100000.,
        200., 50000.,
        250., 20000.,
        295., 12000.,
        305., 10000.,
        340., 5000.,
        430., 2000.,
        540., 1000.,
        690., 500.,
        930., 200.,
        1210., 100.,
        1590., 50.,
        2210., 20.,
        2900., 10.,
    ),
    INTERPOL = 'LOG',
    PROL_DROITE = 'LINEAIRE',
    PROL_GAUCHE = 'LINEAIRE' )

mat = DEFI_MATERIAU( ELAS = _F ( E = 200000., NU = 0.3, ALPHA = 1.0E-5 ),
    FATIGUE = _F(WOHLER = wohler, E_REFE = 200000.),
    RCCM=_F(M_KE = 1.7, N_KE = 0.3,
    SM = 200.)
    )
    
```

```
chmat = AFFE_MATERIAU( MAILLAGE= ma ,
                        AFFE= _F (TOUT= 'OUI', MATER=mat ) )

% chargement mécanique

A1 = 0.0E-3
A2 = 1.0E-3
DY1 = DEFI_VALEUR( R8= EVAL( ( -1.0 * A1 ) + A2 ) )
DY2 = DEFI_VALEUR( R8= EVAL( ( +1.0 * A1 ) + A2 ) )

dycd = DEFI_FONCTION( NOM_PARA = 'X',
                     VALE= ( -1.0, DY1, 1.0, DY2, ) )
nul = defi_constante (VALE = 0. )
chmec = AFFE_CHAR_MECA_F( MODELE= mo,
                          DDL_IMPO=( _F ( GROUP_NO= 'CD' , DY= dycd ),
                                       _F ( GROUP_NO= 'AB' , DY= nul ),
                                       _F ( GROUP_NO= 'A' , DX= nul ) ) )

linst = DEFI_LIST_REEL( DEBUT = 0.,
                       INTERVALLE=_F( JUSQU_A= 3. , PAS=1. ) )
fctmul = DEFI_FONCTION( NOM_PARA= 'INST',
                       VALE= ( 0.0 , 0.0 , 1.0 , 1.0,
                               2.0 , 1.0 , 3.0 , 0.0, ) )

% Temperature imposee T = T1*x+T2
T1 = 50.0
T2 = 0.0

T = FORMULE( Reel =( (Reel:X) = T1*X+T2 ) )

cht0 = CREA_CHAMP(MAILLAGE= MA, TYPE_CHAM ='NOEU_TEMP_R',OPERATION='AFFE',
                  AFFE=_F( TOUT='OUI', NOM_CMP='TEMP' VALE= 0.0 ) )
cht1 = CREA_CHAMP(MAILLAGE= MA, TYPE_CHAMP ='NOEU_TEMP_F',OPERATION='AFFE',
                  AFFE=_F( TOUT='OUI', NOM_CMP='TEMP', VALE_F= T ) )
TEMP= CREA_RESU( TYPE_RESU= 'EVOL_THER', NOM_CHAM ='TEMP',OPERATION='AFFE',
                AFFE=( _F ( INST = 0. , CHAM_GD = cht0),
                      _F ( INST = 1. , CHAM_GD = cht0),
                      _F ( INST = 2. , CHAM_GD = cht1),
                      _F ( INST = 3. , CHAM_GD = cht1) ) )
chther = AFFE_CHAR_MECA( MODELE= mo , TEMP_CALCULEE = TEMP )
% chargements mecanique + thermique
resu2 = MECA_STATIQUE( MODELE = mo , CHAM_MATER= chmat,
                      LIST_INST = linst,
                      EXCIT=( _F( CHARGE= chther ),
                              _F( CHARGE= chmec , FONC_MULT= fctmul)),
                      OPTION= ( 'SIGM_ELNO_DEPL' ) )

% Pour le calcul de sn* : chargement thermique seul
chmec0 = AFFE_CHAR_MECA( MODELE= mo,
                        DDL_IMPO = ( _F ( GROUP_NO= 'AB' , DY= 0.0 ),
                                       _F ( GROUP_NO= 'A' , DX= 0.0 ),
                                       _F ( GROUP_NO= 'CD' , DY= 0. ) ) )
resuth = MECA_STATIQUE( MODELE = mo , CHAM_MATER= chmat,
                      LIST_INST = linst,
                      EXCIT=( _F ( CHARGE= chther ),
                              _F ( CHARGE= chmec0 , FONC_MULT= fctmul)),
                      OPTION= 'SIGM_ELNO_DEPL' )

% extraction des valeurs suivant x en y=0.5
ligne = INTE_MAIL_2D ( MAILLAGE = ma,
                      DEFI_SEGMENT=_F( ORIGINE = ( -1.0 , 0.5, ),
                                       EXTREMITE= ( 1.0 , 0.5, ) ),
                      )

SN1 = POST_RCCM( MATER = mat,
                 OPTION = 'SN', TYPE_RESU = 'VALE_MAX',
                 SEGMENT=_F(CHEMIN=ligne,INTITULE='SN,resultat:resu2 avec resuth'),
                 TRANSITOIRE = _F ( RESULTAT = resu2,
                                    RESU_SIGM_THER = resuth,
                                    NOM_CHAM = 'SIGM_ELNO_DEPL' )
                 )
```

Titre : *Opérateur POST_RCCM*
Auteur(s) : *J.M. PROIX, L. VIVAN*

Date : *08/12/03*
Clé : *U4.83.11-E1* Page : *16/36*

```

IMPR_TABLE ( TABLE = sn1 )

FAT1 = POST_RCCM( MATER   = mat, TYPE_RESU = 'VALE_MAX',
                  OPTION   = 'FATIGUE_SPMAX',
                  TITRE    = 'FATIGUE_SPMAX, resultat: resu2',
                  SEGMENT  = _F (CHEMIN =ligne, INTITULE='FATIGUE_SP:resu2'),
                  TRANSITOIRE = _F ( RESULTAT = resu2,
                                   NOM_CHAM = 'SIGM_ELNO_DEPL' )
                  )
IMPR_TABLE ( TABLE = fat1 )

FAT2 = POST_RCCM( MATER   = mat, TYPE_RESU = 'VALE_MAX',
                  OPTION   = 'FATIGUE_ZH210',
                  TITRE    = 'FATIGUE_ZH210, resultat: resu2',
                  SEGMENT  = _F (CHEMIN =ligne, INTITULE='FATIGUE_ZH:resu2'),
                  TRANSITOIRE = _F ( RESULTAT = resu2,
                                   NOM_CHAM = 'SIGM_ELNO_DEPL',
                                   INST = (0., 1., 2.,))
                  )
IMPR_TABLE ( TABLE = fat2 )

FIN( )

```

Résultats :

table sn1 :

SN, SEGMENT	resultat: LIEU	resu2 SM	avec 3SM	resuth RESU_1	INST_PM	PM
LIGNE	ORIG	2.00000E+02	6.00000E+02	RESU2	1.00000E+00	2.00000E+02
LIGNE	EXTR	2.00000E+02	6.00000E+02	RESU2	1.00000E+00	2.00000E+02

INST_PB	PB	INST_PMB	PMB	INST_SN_1	INST_SN_2	SN
2.00000E+00	1.00000E+02	2.00000E+00	3.00000E+02	0.00000E+00	2.00000E+00	3.00000E+02
2.00000E+00	1.00000E+02	1.00000E+00	2.00000E+02	1.00000E+00	3.00000E+00	3.00000E+02

INST_SN*_1	INST_SN*_2	SN*
0.00000E+00	2.00000E+00	1.00000E+02
0.00000E+00	2.00000E+00	1.00000E+02

table fat1 :

FATIGUE_SPMAX, resultat: resu2							
SEGMENT	LIEU	SM	3SM	RESU_1	INST_SN_1	INST_SN_2	SN
LIGNE	ORIG	2.00000E+02	6.00000E+02	RESU2	0.00000E+00	2.00000E+00	3.00000E+02
LIGNE	EXTR	2.00000E+02	6.00000E+02	RESU2	1.00000E+00	3.00000E+00	3.00000E+02

INST_SP_1	INST_SP_2	SP	KE	SALT	NADM	NB_OCCUR	DOMMAGE
0.00000E+00	2.00000E+00	3.00000E+02	1.00000E+00	1.50000E+02	5.49837E+05	1	1.81872E-06
1.00000E+00	3.00000E+00	3.00000E+02	1.00000E+00	1.50000E+02	5.49837E+05	1	1.81872E-06

Titre : Opérateur *POST_RCCM*
Auteur(s) : *J.M. PROIX, L. VIVAN*

Date : 08/12/03
Clé : U4.83.11-E1 Page : 17/36

table fat2 :

TRANSITOIRE : RESU2
NUMEROS D'ORDRE TRAITES : 1 2 3

3SM : 6.000000E+02
DOMMAGE CUMULE A L'ORIGINE : 2.484342E-06
DOMMAGE CUMULE A L'EXTREMITÉ : 9.070010E-07

FATIGUE_ZH210, resultat: resu2
SEGMENT LIEU SM 3SM RESU_1 INST_1 RESU_2 INST_2
LIGNE ORIG 2.00000E+02 6.00000E+02 RESU2 0.00000E+00 RESU2 2.00000E+00
LIGNE EXTR 2.00000E+02 6.00000E+02 RESU2 0.00000E+00 RESU2 1.00000E+00
LIGNE ORIG 2.00000E+02 6.00000E+02 RESU2 0.00000E+00 RESU2 1.00000E+00
LIGNE EXTR 2.00000E+02 6.00000E+02 RESU2 0.00000E+00 RESU2 2.00000E+00
LIGNE ORIG 2.00000E+02 6.00000E+02 RESU2 1.00000E+00 RESU2 2.00000E+00
LIGNE EXTR 2.00000E+02 6.00000E+02 RESU2 1.00000E+00 RESU2 2.00000E+00

SN SP
3.00000E+02 3.00000E+02
2.00000E+02 2.00000E+02
2.00000E+02 2.00000E+02
1.00000E+02 1.00000E+02
1.00000E+02 1.00000E+02
1.00000E+02 1.00000E+02

KE	SALT	NADM	NB_OCCUR	DOMMAGE	DOMMAGE_CUMU
1.00000E+00	1.50000E+02	5.49837E+05	1	1.81872E-06	1.81872E-06
1.00000E+00	1.00000E+02	2.35714E+06	1	4.24242E-07	4.24242E-07
1.00000E+00	1.00000E+02	2.35714E+06	1	4.24242E-07	2.24296E-06
1.00000E+00	5.00000E+01	4.14286E+06	1	2.41379E-07	6.65622E-07
1.00000E+00	5.00000E+01	4.14286E+06	1	2.41379E-07	2.48434E-06
1.00000E+00	5.00000E+01	4.14286E+06	1	2.41379E-07	9.07001E-07

5 Opérandes spécifiques à l'option **FATIGUE_B3600**

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 `AFFE_MATERIAU` auquel il faut ajouter la courbe de fatigue, `E_REFE`, `M_KE` et `N_KE` (mots-clés `RCCM`).
- `AFFE_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_B3600` 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_B3600` 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', [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 antérieure 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 Salt :

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

$K_e^{meca}(S_n(p, q))$ est égal au Ke défini précédemment, 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 ces 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       = 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]
    | CRITERE = / '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 des résultats de 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      = gma1 ,      [groupma]
  / MAILLE        = ma1 ,      [maille]
◇ / GROUP_NO      = gno1 ,      [groupno]
  / NOEUD         = no1 ,      [noeud]

```

La table et le transitoire est associée 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(NUMÉ_RESU_THER = 1,
              TABL_RESU_THER  = tabl1,
              TABL_MOYE_THER  = tabl11,
              GROUP_MA='gma1'),
_F(NUMÉ_RESU_THER = 1,
  TABL_RESU_THER  = tabl2,
  TABL_MOYE_THER  = tabl22,
  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-cycle 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 associés 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. On donne ici des extraits du fichier de commandes :

...

```
TBRCCM1=POST_RCCM ( TYPE_RESU='VALE_INST',  
  
                    OPTION='FATIGUE_B3600',  
  
                    CHAM_MATER=CHAMPAV, MODELE=MODELE, CARA_ELEM=CARA_POU,  
  
# zone d'analyse  
  
    ZONE_ANALYSE=_F( MAILLE = ('M1','M2'), ),  
  
# résultats mécaniques (calculés avec MECA_STATIQUE)  
  
    RESU_MECA=(  
        _F(NUME_CHAR=1,  
            NOM_CHAR='ETAT 1 SITUATION 1',  
            TOUT_ORDRE='OUI',RESULTAT=RMECA1,  
            NOM_CHAM='EFGE_ELNO_DEPL',),  
  
        _F(NUME_CHAR=2,  
            NOM_CHAR='ETAT 2 SITUATION 1',  
            TOUT_ORDRE='OUI',RESULTAT=RMECA2_9,  
            NOM_CHAM='EFGE_ELNO_DEPL',),  
  
        _F(NUME_CHAR=3,  
            NOM_CHAR='ETAT 3 SITUATION 2',  
            TOUT_ORDRE='OUI',RESULTAT=RMECA3,  
            NOM_CHAM='EFGE_ELNO_DEPL',),  
        .....  
# Séisme réponse inertielle (COMB_SISM_MODAL)  
  
        _F(NUME_CHAR=1000,  
            NOM_CHAR='SNA',  
            TYPE_CHAR='SEISME',  
            RESULTAT=SISM_SPE,  
            NOEUD_CMP=('COMBI','QUAD',),  
            NOM_CHAM='EFGE_ELNO_DEPL',),  
  
# déplacement d'ancrage au niveau sortie BR suivant DX  
  
        _F(NUME_CHAR=1001,  
            NOM_CHAR='SNA DEPL ANC BR DX',  
            TYPE_CHAR='SEISME',  
            TOUT_ORDRE='OUI',RESULTAT=RANCBRDY,  
            NOM_CHAM='EFGE_ELNO_DEPL',),  
  
        _F(NUME_CHAR=1002,  
            NOM_CHAR='SNA DEPL ANC BR DY',  
            TYPE_CHAR='SEISME',  
            TOUT_ORDRE='OUI',RESULTAT=RANCBRDY,  
            NOM_CHAM='EFGE_ELNO_DEPL',),  
        .....  
    ),
```

Titre : *Opérateur POST_RCCM*
Auteur(s) : *J.M. PROIX, L. VIVAN*

Date : *08/12/03*
Clé : *U4.83.11-E1* Page : *26/36*

```
# indices de contraintes
INDI_SIGM=(
    _F(TOUT='OUI',
        TYPE_ELEM_STANDARD='DRO',),
    _F(C1=1.0,
        K1=1.10,
        C2=1.0,
        K2=1.10,
        C3=0.60,
        K3=1.10,
        MAILLE=('M1'),
        NOEUD=('N79'),
        TYPE_ELEM_STANDARD='COU',),
    ...
),

# résultats thermiques
RESU_THER=(
# résultats sur les tubes droits transitoire 2
    _F(NUMÉ_RESU_THER=12,
        TABL_RESU_THER=TABTH2D,
        TABL_MOYE_THER=TABMO2D,
        GROUP_MA='POUDT',),
# résultats sur les tubes droits transitoire 6
    _F(NUMÉ_RESU_THER=16,
        TABL_RESU_THER=TABTH6D,
        TABL_MOYE_THER=TABMO6D,
        GROUP_MA='POUDT',),
# résultats sur les coudes transitoire 2
    _F(NUMÉ_RESU_THER=22,
        TABL_RESU_THER=TABTH2C,
        TABL_MOYE_THER=TABMO2C,
        GROUP_MA='POUCT',),
# résultats sur les coudes transitoire 6
    _F(NUMÉ_RESU_THER=26,
        TABL_RESU_THER=TABTH6C,
        TABL_MOYE_THER=TABMO6C,
        GROUP_MA='POUCT',),
),

# les situations
SITUATION=(
    _F(NB_OCCUR=190,
        NUMÉ_SITU=1,
        NOM_SITU='Passage arrêt a froid -
                    fonctionnement nominal',
        NUMÉ_GROUPE=1,
        PRES_A=1.0E5,
        PRES_B=71.5E5,
        TEMP_REF_A=10.0,
        TEMP_REF_B=287.0,
        CHAR_ETAT_A=1,
        CHAR_ETAT_B=2,),
    _F(NB_OCCUR=1300000,
        NUMÉ_SITU=2,
        NOM_SITU='fluctuations en régime permanent',
        NUMÉ_GROUPE=1,
        PRES_A=58.9E5,
        PRES_B=57.6E5,
        TEMP_REF_A=274.5,
        TEMP_REF_B=272.5,
        CHAR_ETAT_A=3,
        CHAR_ETAT_B=4,
        NUMÉ_RESU_THER=(12,22),),
)
```

Titre : Opérateur *POST_RCCM*
Auteur(s) : **J.M. PROIX, L. VIVAN**

Date : 08/12/03
Clé : U4.83.11-E1 Page : 27/36

```
_F(NB_OCCUR=10,  
   NB_CYCL_SEISM=390,  
   NUME_SITU=7,  
   NOM_SITU='Seisme SNA',  
   COMBINABLE='OUI',  
   NUME_GROUPE=1,  
   CHAR_ETAT_A=(1000,1001,1002,1003,1004,1005,1006)),  
  
_F(NB_OCCUR=13,  
   NUME_SITU=11,  
   NOM_SITU='Epreuve hydraulique',  
#   NUME_GROUPE=2,  
   NUME_GROUPE=1,  
   PRES_A=112.0E5,  
   PRES_B=1.0E5,  
   TEMP_REF_A=20.0,  
   TEMP_REF_B=10.0,  
   CHAR_ETAT_A=1,  
   CHAR_ETAT_B=14,)  
  
) ,  
  
)
```

IMPR_TABLE(TABLE=TBRCCM1,)

On obtient alors :

ASTER 6.03.15 CONCEPT TBRCCM1 CALCULE LE 05/09/2002 A 16:23:39 DE TYPE

TABL_POST_RCCM

MAILLE	TYPE_MAILLE	NOEUD	SM	SN_MAX	SN/3SM	SALT_MAX	FACT_USAGE_CUMU
M1	DRO	N80	1.33600E+08	1.35615E+08	3.38360E-01	7.44376E+07	4.58400E-03
M1	COU	N79	1.33600E+08	1.35207E+08	3.37342E-01	8.15106E+07	5.58793E-03
M2	COU	N79	1.33600E+08	1.50176E+08	3.74690E-01	8.69347E+07	6.30413E-03
M2	DRO	N78	1.33600E+08	1.49870E+08	3.73926E-01	8.05593E+07	5.37650E-03

6 Opérandes spécifiques à l'option **FATIGUE_B3200**

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.**

Les calculs de 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).

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.

6.2 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 :

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', [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 antérieure 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 Salt :

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

$K_e^{meca}(S_n(p, q))$ est égal au Ke défini précédemment, 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 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 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. On donne ici des extraits du fichier de commandes :

Définition du matériau :

```
YOUNG=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='TEMP',  
VALE=( 0.0 , 205000000000.0,  
20.0 , 204000000000.0,  
50.0 , 203000000000.0,  
100.0 , 200000000000.0,  
150.0 , 197000000000.0,  
200.0 , 193000000000.0,  
250.0 , 189000000000.0,  
300.0 , 185000000000.0,  
350.0 , 180000000000.0, ),)
```

```
C_ALPHA=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='TEMP',  
VALE=( 0.0 , 1.092e-05,  
20.0 , 1.092e-05,  
50.0 , 1.114e-05,  
100.0 , 1.150e-05,  
150.0 , 1.187e-05,  
200.0 , 1.224e-05,  
250.0 , 1.257e-05,  
300.0 , 1.289e-05,  
350.0 , 1.324e-05, ),)
```

```
NU=DEFI_CONSTANTE(VALE=0.30,)
```


Titre : Opérateur *POST_RCCM*
Auteur(s) : *J.M. PROIX, L. VIVAN*

Date : 08/12/03
Clé : *U4.83.11-E1* Page : 33/36

```
WOHLER=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='SIGM',  
  INTERPOL='LOG',  
  PROL_GAUCHE='LINEAIRE',  
  VALE=( 10000.0 , 1000000000000000.0,  
         86000000.0 , 1000000.0,  
         93000000.0 , 500000.0,  
         114000000.0 , 200000.0,  
         138000000.0 , 100000.0,  
         160000000.0 , 50000.0,  
         215000000.0 , 20000.0,  
         260000000.0 , 10000.0,  
         330000000.0 , 5000.0,  
         440000000.0 , 2000.0,  
         570000000.0 , 1000.0,  
         725000000.0 , 500.0,  
         1070000000.0 , 200.0,  
         1410000000.0 , 100.0,  
         1900000000.0 , 50.0,  
         2830000000.0 , 20.0,  
         4000000000.0 , 10.0 ,),)
```

```
MAT_A48=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=YOUNG,  
  NU=NU,  
  TEMP_DEF_ALPHA=20.0,  
  ALPHA=C_ALPHA,),  
  FATIGUE=_F(WOHLER=WOHLER,  
  E_REFE=2.070000000000E11,),  
  RCCM=_F(SM=1.336000000E8,  
  N_KE=0.20,  
  M_KE=3.0,),)
```

Lecture des tables issues de POST_RELEVET : extraction des contraintes sur un ligament d'un calcul 3D de coude avec sous-épaisseur, pour chaque chargement unitaire :

```
TLIG1_FX = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_FX',NUME_TABLE=1,)  
TLIG1_FY = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_FY',NUME_TABLE=10,)  
TLIG1_FZ = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_FZ',NUME_TABLE=19,)  
TLIG1_MX = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_MX',NUME_TABLE=28,)  
TLIG1_MY = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_MY',NUME_TABLE=37,)  
TLIG1_MZ = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_MZ',NUME_TABLE=46,)  
TLIG1_PR = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_PR',NUME_TABLE=55,)  
TLIG1_T2 = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_T2',NUME_TABLE=64,)  
TLIG1_T6 = LIRE_TABLE (UNITE=38, FORMAT='ASTER',SEPARATEUR=' ',TYPE_TABLE='TABL_POST_RELE',  
  TITRE='TLIG1_T6',NUME_TABLE=73,)
```

POST_RCCM :

```
TBRCCM1=POST_RCCM(TYPE_RESU='VALE_INST',  
  OPTION='FATIGUE_B3200',  
  MATER=MAT_A48,  
  INFO=2,
```

les situations

```
SITUATION=(  
  _F(NB_OCCUR=190,  
  NUME_SITU=1,  
  NOM_SITU='Passage arret a froid - fonctionnement nominal',  
  NUME_GROUPE=1,  
  PRES_A=1.0E5,  
  PRES_B=71.5E5,  
  TEMP_REF_A=10.0,  
  TEMP_REF_B=287.0,  
  CHAR_ETAT_A=1,  
  CHAR_ETAT_B=2,),)
```

Titre : *Opérateur POST_RCCM*
Auteur(s) : **J.M. PROIX, L. VIVAN**

Date : 08/12/03
Clé : U4.83.11-E1 Page : 34/36

```
_F(NB_OCCUR=1300000,  
  NUME_SITU=2,  
  NOM_SITU='fluctuations en regime permanent',  
  NUME_GROUPE=1,  
  PRES_A=58.9E5,  
  PRES_B=57.6E5,  
  TEMP_REF_A=274.5,  
  TEMP_REF_B=272.5,  
  CHAR_ETAT_A=3,  
  CHAR_ETAT_B=4,  
  NUME_RESU_THER=2,).
```

```
_F(NB_OCCUR=4000,  
  NUME_SITU=3,  
  NOM_SITU='maintien niveau GV',  
  NUME_GROUPE=1,  
  PRES_A=70.0E5,  
  PRES_B=59.0E5,  
  TEMP_REF_A=286.0,  
  TEMP_REF_B=275.0,  
  CHAR_ETAT_A=5,  
  CHAR_ETAT_B=6,  
  NUME_RESU_THER=6,).
```

```
_F(NB_OCCUR=100000,  
  NUME_SITU=4,  
  NOM_SITU='Fluctuations en arret a chaud',  
  NUME_GROUPE=1,  
  PRES_A=73.4E5,  
  PRES_B=68.1E5,  
  TEMP_REF_A=290.0,  
  TEMP_REF_B=284.0,  
  CHAR_ETAT_A=7,  
  CHAR_ETAT_B=8,  
  NUME_RESU_THER=2,).
```

```
_F(NB_OCCUR=16080,  
  NUME_SITU=5,  
  NOM_SITU='Enveloppe des situations normales',  
  NUME_GROUPE=1,  
  PRES_A=71.5E5,  
  PRES_B=44.0E5,  
  TEMP_REF_A=287.0,  
  TEMP_REF_B=256.0,  
  CHAR_ETAT_A=9,  
  CHAR_ETAT_B=10,  
  NUME_RESU_THER=6,).
```

```
_F(NB_OCCUR=790,  
  NUME_SITU=6,  
  NOM_SITU='Enveloppe des situations perturbees',  
  NUME_GROUPE=1,  
  PRES_A=74.5E5,  
  PRES_B=44.0E5,  
  TEMP_REF_A=290.0,  
  TEMP_REF_B=257.0,  
  CHAR_ETAT_A=11,  
  CHAR_ETAT_B=12,  
  NUME_RESU_THER=6,).
```

```
_F(NB_OCCUR=10,  
  NB_CYCL_SEISME=390,  
  NUME_SITU=7,  
  NOM_SITU='Seisme SNA',  
  COMBINABLE='OUI',  
  NUME_GROUPE=1,  
  PRES_A=0.0,  
  PRES_B=0.0,  
  TEMP_REF_A=20.0,  
  TEMP_REF_B=20.0,  
  CHAR_ETAT_A=(1000,1001),  
  CHAR_ETAT_B=(1000,1001),).
```

Titre : Opérateur *POST_RCCM*
Auteur(s) : **J.M. PROIX, L. VIVAN**

Date : 08/12/03
Clé : U4.83.11-E1 Page : 35/36

```
_F(NB_OCCUR=13,
  NUME_SITU=11,
  NOM_SITU='Epreuve hydraulique',
#   NUME_GROUPE=2,
  NUME_GROUPE=1,
  PRES_A=112.0E5,
  PRES_B=1.0E5,
  TEMP_REF_A=20.0,
  TEMP_REF_B=10.0,
  CHAR_ETAT_A=1,
  CHAR_ETAT_B=14.),
),

# resultats mecaniques
CHAR_MECA=(
  _F(NUMER_CHAR=1,
    NOM_CHAR='ETAT 1 SITUATION 1',
    FX=-0.501, FY=-1.000, FZ=0.775, MX=5947., MY=3144., MZ=6334., ),
  _F(NUMER_CHAR=2,
    NOM_CHAR='ETAT 2 SITUATION 1',
    FX=0.962, FY=-11.769, FZ=-3.762, MX=-41084., MY=-25691., MZ=91767., ),
  _F(NUMER_CHAR=3,
    NOM_CHAR='ETAT 3 SITUATION 2',
    FX=0.662, FY=-10.475, FZ=-3.081, MX=-34253., MY=-20695., MZ=83346., ),
  _F(NUMER_CHAR=4,
    NOM_CHAR='ETAT 4 SITUATION 2',
    FX=0.534, FY=-10.194, FZ=-2.934, MX=-32752., MY=-19577., MZ=81995., ),
  _F(NUMER_CHAR=5,
    NOM_CHAR='ETAT 5 SITUATION 3',
    FX=0.897, FY=-11.628, FZ=-3.688, MX=-40330., MY=-25129., MZ=91090., ),
  _F(NUMER_CHAR=6,
    NOM_CHAR='ETAT 6 SITUATION 3',
    FX=0.689, FY=-10.533, FZ=-3.111, MX=-34565., MY=-20928., MZ=83625., ),
  _F(NUMER_CHAR=7,
    NOM_CHAR='ETAT 7 SITUATION 4',
    FX=1.031, FY=-12.078, FZ=-3.925, MX=-42718., MY=-26884., MZ=93803., ),
  _F(NUMER_CHAR=8,
    NOM_CHAR='ETAT 8 SITUATION 4',
    FX=0.666, FY=-11.282, FZ=-3.509, MX=-38457., MY=-23711., MZ=89984., ),
  _F(NUMER_CHAR=9,
    NOM_CHAR='ETAT 9 SITUATION 5',
    FX=0.962, FY=-11.769, FZ=-3.762, MX=-41084., MY=-25691., MZ=91767., ),
  _F(NUMER_CHAR=10,
    NOM_CHAR='ETAT 10 SITUATION 5',
    FX=1.128, FY=-11.374, FZ=-4.088, MX=-43556., MY=-28408., MZ=86849., ),
  _F(NUMER_CHAR=11,
    NOM_CHAR='ETAT 11 SITUATION 6',
    FX=1.031, FY=-12.078, FZ=-3.925, MX=-42718., MY=-26884., MZ=93803., ),
  _F(NUMER_CHAR=12,
    NOM_CHAR='ETAT 12 SITUATION 6',
    FX=1.181, FY=-11.490, FZ=-4.148, MX=-44175., MY=-28869., MZ=87403., ),
  _F(NUMER_CHAR=1000,
    NOM_CHAR='SNA',
    TYPE_CHAR='SEISME',
    FX=23.425, FY=-50.966, FZ=36.902, MX=240270., MY=-107195., MZ=16786.),
  _F(NUMER_CHAR=1001,
    NOM_CHAR='SNA DEPL ANC BR DX',
    TYPE_CHAR='SEISME',
    MX=0., MY=0., MZ=0.),
  _F(NUMER_CHAR=14,
    NOM_CHAR='ETAT 14 SITUATION 11 EPREUVE HYDRAULIQUE',
    FX=-19.968, FY=0.182, FZ=0.150, MX=1381., MY=5671., MZ=-3179., ),
),

# resultats thermiques
RESU_THER=(
  _F(NUMER_RESU_THER=2,
    TABL_RESU_THER=TLIG1_T2, ),
  _F(NUMER_RESU_THER=6,
    TABL_RESU_THER=TLIG1_T6, ),
),
```

Titre : Opérateur *POST_RCCM*
Auteur(s) : **J.M. PROIX, L. VIVAN**

Date : 08/12/03
Clé : *U4.83.11-E1* Page : 36/36

les profils de contraintes issus des calculs mecaniques unitaires

```
RESU_MECA_UNIT=(  
  _F(TABL_FX=TLIG1_FX,  
    TABL_FY=TLIG1_FY,  
    TABL_FZ=TLIG1_FZ,  
    TABL_MX=TLIG1_MX,  
    TABL_MY=TLIG1_MY,  
    TABL_MZ=TLIG1_MZ,  
    TABL_PRES=TLIG1_PR, ),  
  )  
)
```

IMPR_TABLE(TABLE=TBRCCM1,)

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