

## RCCM14 – Analyse avec POST\_RCCM en B3200 : groupes de partage, situations de passage

---

### Résumé :

Ce test est un test de validation élémentaire de la commande `POST_RCCM` avec le `TYPE_RESU_MECA='B3200'`.

La solution analytique est simple, et permet de tester le post-traitement au sens du RCC-M. Les contraintes ne sont pas calculées mais extraites de tables.

Plus précisément, la modélisation A permet de tester l'option `FATIGUE` pour des résultats de type `B3200` avec la prise en compte de groupes de partage, de situations de passage, de situations non combinables. On teste aussi la prise en compte des sous-cycles dans le calcul de fatigue.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Propriétés de matériaux

Les propriétés matériau et les caractéristiques propres au calcul RCC-M sont les suivantes :

- 1) module d'Young :  $E = 2. \cdot 10^5 \text{ MPa}$  ;
- 2) constantes matériau pour le calcul de  $Ke$  :  $n=0.2$  ,  $m=2$  ;
- 3) module d'Young de référence :  $E_{REFE} = 2. \cdot 10^5 \text{ MPa}$  ;
- 4) contrainte admissible :  $Sm = 200 \text{ MPa}$  .

La courbe de Wöhler est définie analytiquement :  $N_{adm} = \frac{5 \cdot 10^5}{S_{alt}}$

### 1.2 Évolution des contraintes

Les contraintes sur le segment d'analyse ne sont pas calculées mais lues directement dans une table. La seule composante non nulle du tenseur des contraintes est  $\sigma_{yy}$  . Plusieurs situations sont considérées. Ces situations ne visent pas à représenter un transitoire réel spécifique, mais à couvrir l'ensemble des contraintes possibles (évolution constante, linéaire ou non-linéaire de la contrainte dans l'épaisseur).

| Instant | Contraintes thermiques des situations 1 et 2 |     |      | Instant | Contraintes thermiques de la situation 3 |     |      |
|---------|--|-----|------|---------|--|-----|------|
|         | Abscisse                                     |     |      |         | Abscisse                                 |     |      |
|         | 0  | 1   | 2    |         | 0  | 1   | 2    |
| 1       | 50   | 100 | 150  | 1,5     | 50                                       | 100 | 150  |
| 2       | 0  | 50  | -100 | 2,5     | 0  | 50  | -100 |
| 3       | 0  | 0   | 50   | 3,5     | 0  | 0   | 50   |
| 4       | 0  | 0   | 0    |         |  |     |      |

**Tableau 1.2-1** : Définition des contraintes  $\sigma_{yy}$  (en  $\text{MPa}$  ) pour les instants de la situation 1 et de la situation 2 en fonction de l'abscisse curviligne

Dans cet exemple, les moments et la pression sont définis par deux torseurs et quatre tenseurs unitaires. Ici aussi seule la contrainte  $\sigma_{yy}$  est non nulle dans ces tenseurs.

| Tenseur unitaire | $\sigma_{yy}$ |    |     |
|------------------|---------------|----|-----|
|                  | Abscisse      |    |     |
|                  | 0             | 1  | 2   |
| $Mom_x$          | 50            | 0  | 0   |
| $Mom_y$          | 0             | 50 | 0   |
| $Mom_z$          | 0             | 0  | 100 |
| $Pres$           | 50            | 0  | 0   |

|             | $P_A$ | $P_B$ | $M_{xA}$ | $M_{yA}$ | $M_{zA}$ | $M_{xB}$ | $M_{yB}$ | $M_{zB}$ |
|-------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Situation 1 | 1     | 10    | 1        | -1       | -1,5     | -10      | 1        | 0,1      |
| Situation 2 | 1     | 10    | 1        | -1       | -1,5     | -10      | 1        | 0,1      |
| Situation 3 | 0,4   | 1     | 0,4      | 0        | -0,6     | 1        | -1       | -1,5     |

**Tableau 1.2-2** : Définition des torseurs sur les moments (en N.mm) et la pression (en MPa) pour les situations 1, 2 et 3

## 2 Solution de référence

### 2.1 Résultats de référence

#### 2.1.1 Premier cas

On a un seul groupe de fonctionnement qui contient les situations 1, 2 et 3 mais la situation 1 est déclarée avec combinable='NON', c'est à dire qu'elle ne peut se combiner qu'avec elle même.

Seul le calcul du facteur d'usage total à l'origine est détaillé. On cherche à remplir le tableau des facteurs d'usage élémentaires.

On calcule d'abord les grandeurs par situations puis par combinaison.

#### Situation 1

On calcule le  $\sigma_n$  de la situation.

| Instant | Contraintes thermiques situation 1 |     |      | $\sigma^{moyen}$ | $\sigma^{flexion}$ | $\sigma_0^{lin}$ | $\sigma_L^{lin}$ |
|---------|------------------------------------|-----|------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
|         | Abscisse                           |     |      |                  |                    |                  |                  |
|         | 0                                  | 1   | 2    |                  |                    |                  |                  |
| 1       | 50                                 | 100 | 150  | 100              | 50                 | 50               | 150              |
| 2       | 0                                  | 50  | -100 | 0                | -50                | 50               | -50              |
| 3       | 0                                  | 0   | 50   | 12,5             | 25                 | -12,5            | 37,5             |
| 4       | 0                                  | 0   | 0    | 0                | 0                  | 0                | 0                |

| Tenseur unitaire | Contrainte $\sigma_{yy}$ |    |     | $\sigma^{moyen}$ | $\sigma^{flexion}$ | $\sigma_0^{lin}$ | $\sigma_L^{lin}$ |
|------------------|--------------------------|----|-----|------------------|--------------------|------------------|------------------|
|                  | Abscisse                 |    |     |                  |                    |                  |                  |
|                  | 0                        | 1  | 2   |                  |                    |                  |                  |
| $Mom_X$          | 50                       | 0  | 0   | 12,5             | -25                | 37,5             | -12,5            |
| $Mom_Y$          | 0                        | 50 | 0   | 25               | 0                  | 25               | 25               |
| $Mom_Z$          | 0                        | 0  | 100 | 25               | 50                 | -25              | 75               |
| $Pres$           | 50                       | 0  | 0   | 12,5             | -25                | 37,5             | -12,5            |

$$\sigma_{LIN,0}^{SITU1} = (P_A - P_B) \sigma_{PRES}^{LIN,0} + (M_{XA} - M_{XB}) \sigma_{MX}^{LIN,0} + (M_{YA} - M_{YB}) \sigma_{MY}^{LIN,0} + (M_{ZA} - M_{ZB}) \sigma_{MZ}^{LIN,0} \pm \|\sigma_{THER}^{LIN}(t_1) - \sigma_{THER}^{LIN}(t_2)\|$$

$$\sigma_{LIN,0}^{SITU1} = (1 - 10) * 37,5 + (1 - -10) * 37,5 + (-1 - 1) * 25 + (-1,5 - 0,1) * -25 \pm \|50 - -12,5\|$$

$$\sigma_0^{SITU1} = 127,5$$

On calcule le  $\sigma_p$  de la situation.

$$\sigma_{TOT,0}^{SITU1} = (P_A - P_B) \sigma_{PRES}^0 + (M_{XA} - M_{XB}) \sigma_{MX}^0 + (M_{YA} - M_{YB}) \sigma_{MY}^0 + (M_{ZA} - M_{ZB}) \sigma_{MZ}^0 \pm \|\sigma_{THER}(t_1) - \sigma_{THER}(t_2)\|$$

$$\sigma_{TOT,0}^{SITU1} = (1-10)*50 + (1--10)*50 + (-1-1)*0 + (-1,5-0,1)*0 \pm ||50-0||$$

$$Sp_0^{SITU1} = 150$$

Pour  $Sm = 200 \text{ MPa}$ , on a donc  $Ke = 1$  et  $Salt_0 = \frac{1}{2} \frac{E_c}{E} Ke Sp_0 = 75 \text{ MPa}$ . D'après la courbe de Wöhler on a donc  $Nadm_0 = \frac{500000}{Salt_0} = 6667$  soit  $FU_0^{SITU1} = 1,5 \cdot 10^{-4}$ .

## Situation 2

De manière similaire pour la situation 2 qui a le même transitoire thermique et les mêmes torseurs en moments et pression que la situation 1, on a

$$Sn_0^{SITU2} = 127,5, Sp_0^{SITU2} = 150 \text{ et } FU_0^{SITU2} = 1,5 \cdot 10^{-4}.$$

## Situation 3

On calcule le Sn de la situation.

$$\sigma_{LIN,0}^{SITU3} = (0,4-1)*37,5 + (0,4-1)*37,5 + (0--1)*25 + (-0,6--1,5)*-25 \pm ||50--12,5||$$

$$Sn_0^{SITU3} = 105$$

On calcule le Sp de la situation.

$$\sigma_{TOT,0}^{SITU3} = (0,4-1)*50 + (0,4-1)*50 + (0--1)*0 + (-0,6--1,5)*0 \pm ||50-0||$$

$$Sp_0^{SITU3} = 110$$

Pour  $Sm = 200 \text{ MPa}$ , on a donc  $Ke = 1$  et  $Salt_0 = \frac{1}{2} \frac{E_c}{E} Ke Sp_0 = 55 \text{ MPa}$  soit  $FU_0^{SITU3} = 1,1 \cdot 10^{-4}$ .

## Combinaison des situations 2 et 3

La situation 1 n'étant combinable qu'avec elle même, on calcule la combinaison des situations 2 et 3.

On calcule le Sn de la situation.

On maximise la partie sur les moments et la pression, il y a 4 possibilités :

- Etat A de la situation 2 et état A de la situation 3.

$$\sigma_{LIN,0} = (1-0,4)*37,5 + (1-0,4)*37,5 + (-1-0)*25 + (-1,5--0,6)*-25 = 42,5$$

- Etat A de la situation 2 et état B de la situation 3.

$$\sigma_{LIN,0} = (1-1)*37,5 + (1-1)*37,5 + (-1--1)*25 + (-1,5--1,5)*-25 = 0$$

- Etat B de la situation 2 et état B de la situation 3.

$$\sigma_{LIN,0} = (10-1)*37,5 + (-10-1)*37,5 + (1--1)*25 + (0,1--1,5)*-25 = -65$$

- Etat B de la situation 2 et état A de la situation 3 .

$$\sigma_{LIN,0} = (10 - 0,4) * 37,5 + (-10 - 0,4) * 37,5 + (1 - 0) * 25 + (0,1 - -0,6) * -25 = 12,5$$

Au final on a  $Sn_0^{SITU2,3} = -65 \pm ||50 - -12,5|| = 127,5$  .

On calcule le Sp de la combinaison de manière similaire . On maximise la partie sur les moments et la pression, il y a 4 possibilités :

- Etat A de la situation 2 et état A de la situation 3 .

$$\sigma_{LIN,0} = (1 - 0,4) * 50 + (1 - 0,4) * 50 + (-1 - 0) * 0 + (-1,5 - -0,6) * 0 = 60$$

- Etat A de la situation 2 et état B de la situation 3 .

$$\sigma_{LIN,0} = (1 - 1) * 50 + (1 - 1) * 50 + (-1 - -1) * 0 + (-1,5 - -1,5) * 0 = 0$$

- Etat B de la situation 2 et état B de la situation 3 .

$$\sigma_{LIN,0} = (10 - 1) * 50 + (-10 - 1) * 50 + (1 - -1) * 0 + (0,1 - -1,5) * 0 = -100$$

- Etat B de la situation 2 et état A de la situation 3 .

$$\sigma_{LIN,0} = (10 - 0,4) * 50 + (-10 - 0,4) * 50 + (1 - 0) * 0 + (0,1 - -0,6) * 0 = -40$$

Au final on a en combinant les instants 1 et 2,5  $Sp_0^1 = -100 \pm ||50 - 0|| = 150$  qui n'est pas plus grand que l'amplitude Sp de la situation 2 seule, la combinaison des situations 2 et 3 est donc ces deux situations prises séparément c'est à dire :

$$Sp_0^1 = Sp_0^{SITU2} \text{ et } Sp_0^2 = Sp_0^{SITU3} \text{ et donc}$$

$$FU = FU_0^{SITU2} + FU_0^{SITU3} = 1,5 \cdot 10^{-4} + 1,1 \cdot 10^{-4} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ .}$$

Le tableau des facteurs d'usage élémentaires à l'origine est donc

|             | Situation 1         | Situation 2         | Situation 3         |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Situation 1 | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |                     |                     |
| Situation 2 |                     | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | $2,6 \cdot 10^{-4}$ |
| Situation 3 |                     |                     | $1,1 \cdot 10^{-4}$ |

Sachant que  $Nocc_1 = 1$  ,  $Nocc_2 = 7$  et  $Nocc_3 = 10$  on a,

$$FU_{TOTAL}^{ORI} = 7 * 2,6 \cdot 10^{-4} + 1 * 1,5 \cdot 10^{-4} + 3 * 1,1 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ .}$$

## 2.1.2 Deuxième cas

On a deux groupes de fonctionnement. Le groupe 1 contient les situations 1, 2 et le groupe 2 contient la situation 3 mais la situation 1 est déclarée avec combinable='NON', c'est à dire qu'elle ne peut se combiner qu'avec elle même.

Seul le calcul du facteur d'usage total à l'origine est détaillé. On connaît déjà le tableau des facteurs d'usage élémentaires. C'est le même que dans le premier exemple sauf que les situations 2 et 3 ne peuvent plus se combiner car elles ne sont pas dans le même groupe.

|             | Situation 1         | Situation 2         | Situation 3         |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Situation 1 | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |                     |                     |
| Situation 2 |                     | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |                     |
| Situation 3 |                     |                     | $1,1 \cdot 10^{-4}$ |

Sachant que  $Nocc_1=1$  ,  $Nocc_2=7$  et  $Nocc_3=10$  on a,

$$FU_{TOTAL}^{ORI} = 1 * 1,5 \cdot 10^{-4} + 7 * 1,5 \cdot 10^{-4} + 10 * 1,1 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-3} .$$

## 2.1.3 Troisième cas

On a deux groupes de fonctionnement et une situation de passage . Le groupe 1 contient les situations 1 et 2 et le groupe 2 contient les situations 1 et 3. La situation 1 est une situation de passage entre les groupes 1 et 2, c'est à dire que les situations 2 et 3 ne peuvent être combinées que via ce passage.

Seul le calcul du facteur d'usage total à l'origine est détaillé. On connaît déjà certains termes du tableau des facteurs d'usage élémentaires. Il manque la combinaison des situations 1 et 2 et la combinaison de 1 et 3. On ne détaille pas le calcul de ces facteurs d'usage élémentaires.

|             | Situation 1         | Situation 2         | Situation 3         |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Situation 1 | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | $2,5 \cdot 10^{-4}$ |
| Situation 2 |                     | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | $2,6 \cdot 10^{-4}$ |
| Situation 3 |                     |                     | $1,1 \cdot 10^{-4}$ |

Sachant que  $Nocc_1=1$  ,  $Nocc_2=7$  et  $Nocc_3=10$  on a,

$$FU_{TOTAL}^{ORI} = 1 * 2,6 \cdot 10^{-4} + 6 * 1,5 \cdot 10^{-4} + 9 * 1,1 \cdot 10^{-4} = 2,15 \cdot 10^{-3} .$$

La première partie de ce facteur d'usage est due à la combinaison de 2 et 3 à laquelle on applique le nombre d'occurrences  $Nocc = \min(Nocc_2, Nocc_3, Npass) = \min(Nocc_2, Nocc_3, Nocc_1) = 1$  .

## 2.1.4 Quatrième cas

On a deux groupes de fonctionnement. Le groupe 1 contient les situations 1, 2 et le groupe 2 contient la situation 3 mais la situation 1 est déclarée avec combinable='NON', c'est à dire qu'elle ne peut se combiner qu'avec elle même. Il existe un groupe de partage mais qui ne contient que la situation 3.

Ce quatrième cas est donc similaire au deuxième cas. Soit

$$FU_{TOTAL}^{ORI} = 1 * 1,5 \cdot 10^{-4} + 7 * 1,5 \cdot 10^{-4} + 10 * 1,1 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-3}$$

## 2.1.5 Cinquième cas

On a deux groupes de fonctionnement. Le groupe 1 contient la situation 1 et le groupe 2 contient les situations 2 et 3. Il existe un groupe de partage qui contient les situations 2 et 3.

Le tableau des facteurs d'usage élémentaires est l

|             | Situation 1         | Situation 2         | Situation 3         |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Situation 1 | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |                     |                     |
| Situation 2 |                     | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | $2,6 \cdot 10^{-4}$ |
| Situation 3 |                     |                     | $1,1 \cdot 10^{-4}$ |

Sachant que  $Nocc_1=1$  ,  $Nocc_2=10$  et  $Nocc_3=10$  on a,

$$FU_{TOTAL}^{ORI} = 10 * 2,6 \cdot 10^{-4} + 1 * 1,5 \cdot 10^{-4} = 2,75 \cdot 10^{-3}$$

## 2.1.6 Sixième cas

On a deux groupes de fonctionnement. Le groupe 1 contient les situations 1 et 2 mais la situation 1 n'est combinable qu'avec elle-même. Le groupe 2 contient la situation 3. Il existe un groupe de partage qui contient les situations 2 et 3.

Le tableau des facteurs d'usage élémentaires est :

|             | Situation 1         | Situation 2         | Situation 3         |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Situation 1 | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |                     |                     |
| Situation 2 |                     | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |                     |
| Situation 3 |                     |                     | $1,1 \cdot 10^{-4}$ |

Sachant que  $Nocc_1=1$  ,  $Nocc_2=7$  et  $Nocc_3=10$  on a,

$$FU_{TOTAL}^{ORI} = 1 * 1,5 \cdot 10^{-4} + 7 * 1,5 \cdot 10^{-4} + 3 * 1,1 \cdot 10^{-4} = 1,53 \cdot 10^{-3}$$

## 2.2 Incertitude sur la solution

Solution analytique.



## 3 Modélisation A

---

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Aucun calcul thermique ou mécanique n'est réalisé dans ce test : les tableaux de relevés de contraintes sont directement fournis à l'opérateur POST\_RCCM. Les résultats de type B3200 sont analysés pour l'option FATIGUE.

### 3.2 Grandeurs testées et résultats

Sur ce cas test simple, l'ensemble des résultats testés est en accord avec la solution de référence avec une précision de  $10^{-4}$  %

- pour le calcul de  $Sn$ , de  $Sp$ , de  $Salt$  et du facteur d'usage,
- avec des situations de passage
- avec des groupes de partage
- avec prise en compte des sous-cycles.

---

## 4 Synthèse des résultats

---

Les résultats sont exacts et montrent que l'opérateur `POST_RCCM` sélectionne correctement les quantités à traiter et calcule correctement les intégrales (moyennes sur les segments) pour les résultats de type `B3200`.