

## RCCM13 – Analyse de tuyauterie avec POST\_RCCM en ZE200

---

### Résumé :

Ce test est un test de validation élémentaire de la commande `POST_RCCM` avec le `TYPE_RESU_MECA='ZE200a'` et `'ZE200b'`.

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 les options `SN` et `FATIGUE` pour des résultats de type `ZE200a` avec et sans séisme.

Plus précisément, la modélisation B permet de tester l'option `SN` pour des résultats de type `ZE200b` avec et sans séisme.

## 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 :  $E = 2.E + 05 \text{ MPa}$  ;
- 2) constantes matériau pour le calcul de  $Ke$  :  $n=0.2$  ,  $m=2$  ;
- 3) module d'Young de référence :  $E_{REFE} = 2.E + 05 \text{ MPa}$  ;
- 4) contrainte admissible :  $Sm = 2000 \text{ MPa}$  .

La courbe de Wöhler est définie analytiquement :  $N_{adm} = \frac{5.10^5}{S_{alt}}$

### 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  $\sigma_{yy}$  . Deux 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 |     |      | Contraintes dues à la pression |     |      | Contraintes thermiques+pression |      |      |
|---------|------------------------|-----|------|--------------------------------|-----|------|---------------------------------|------|------|
|         | Abscisse               |     |      | Abscisse                       |     |      | Abscisse                        |      |      |
|         | 0                      | 1   | 2    | 0                              | 1   | 2    | 0                               | 1    | 2    |
| 1,5     | 90                     | 100 | 110  | 90                             | 100 | 110  | 180                             | 200  | 220  |
| 2,5     | 0                      | 100 | 0    | 0                              | 100 | 0    | 0                               | 200  | 0    |
| 3,5     | 100                    | -50 | -100 | 100                            | -50 | -100 | 200                             | -100 | -200 |
| 4,5     | 0                      | 0   | 0    | 0                              | 0   | 0    | 0                               | 0    | 0    |

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

| Instant | Contraintes thermiques |     |      | Contraintes dues à la pression |   |   | Contraintes thermiques+pression |     |      |
|---------|------------------------|-----|------|--------------------------------|---|---|---------------------------------|-----|------|
|         | Abscisse               |     |      | Abscisse                       |   |   | Abscisse                        |     |      |
|         | 0                      | 1   | 2    | 0                              | 1 | 2 | 0                               | 1   | 2    |
| 1       | 90                     | 100 | 90   | 0                              | 0 | 0 | 90                              | 100 | 90   |
| 2       | 0                      | 100 | 0    | 0                              | 0 | 0 | 0                               | 100 | 0    |
| 3       | 100                    | -50 | -100 | 0                              | 0 | 0 | 100                             | -50 | -100 |
| 4       | 0                      | 0   | 0    | 0                              | 0 | 0 | 0                               | 0   | 0    |

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

En ZE200, les moments sont définis selon deux torseurs (en ze200a, la pression également)

|             | $P_A$ | $P_B$ | $M_{xA}$ | $M_{yA}$ | $M_{zA}$ | $M_{xB}$ | $M_{yB}$ | $M_{zB}$ |
|-------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Situation 1 | 201   | 1     | 21       | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        |
| Situation 2 | 0     | 0     | 1        | 0        | 0        | 61       | 0        | 0        |

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

En ZE200, les caractéristiques de la tuyauterie (épaisseur, rayon, moment d'inertie) sont nécessaires au calcul des grandeurs, de même que les indices de contraintes. Dans cet exemple, on choisit **arbitrairement**

$$e = 1 \text{ mm}$$

$$R = 0,5 \text{ mm}$$

$$I = 1 \text{ m}^4$$

$$K_1 = 1 \quad \text{et} \quad C_1 = 1$$

$$K_2 = 1 \quad \text{et} \quad C_2 = 2$$

$$K_3 = 1 \quad \text{et} \quad C_3 = 1$$

| $M_{xS}$ | $M_{yS}$ | $M_{zS}$ |
|----------|----------|----------|
| 21       | 0        | 0        |

**Tableau 1.2-4** : Définition des torseurs sur les moments (en N.mm) pour le séisme

## 2 Solution de référence

### 2.1 Résultats de référence

#### 2.1.1 zE200a

##### 2.1.1.1 Calcul de $S_n$

Le paramètre  $S_n$  représente l'amplitude de variation de la contrainte linéaire (contrainte moyenne  $\pm$  contrainte de flexion) entre deux instants du transitoire considéré.

$$S_n = C_1 \frac{R}{e} |P_A - P_B| + C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA} - M_{xB})^2 + (M_{yA} - M_{yB})^2 + (M_{zA} - M_{zB})^2)} + \|\sigma_{tran}^{lin}(t_1) - \sigma_{tran}^{lin}(t_2)\|$$

Sans contraintes thermiques, pour la situation 1  $S_n = 120$  et pour la situation 2  $S_n = 60$  (à l'origine et à l'extrémité).

Avec contraintes thermiques, on calcule les amplitudes maximales de contraintes thermiques linéarisées à l'origine puis à l'extrémité.

#### Situation 1

| Instant | Contraintes thermiques |     |      | $\sigma^{moyen}$ | $\sigma^{flexion}$ | $\sigma_0^{lin}$ | $\sigma_L^{lin}$ |
|---------|------------------------|-----|------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
|         | Abscisse               |     |      |                  |                    |                  |                  |
|         | 0                      | 1   | 2    |                  |                    |                  |                  |
| 1,5     | 90                     | 100 | 110  | 100              | 1 0                | 90               | 11 0             |
| 2,5     | 0                      | 100 | -90  | 27,5             | -45                | 72,5             | -17,5            |
| 3,5     | 100                    | -50 | -100 | -25              | -100               | 75               | -125             |
| 4,5     | 0                      | 0   | 0    | 0                | 0                  | 0                | 0                |

| Instant 1 | Instant 2 | $S_{n_0}$ | $S_{n_L}$  |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1,5       | 2,5       | 17,5      | 127,5      |
| 1,5       | 3,5       | 15        | <b>235</b> |
| 1,5       | 4,5       | <b>90</b> | 110        |
| 2,5       | 3,5       | 2,5       | 107,5      |
| 2,5       | 4,5       | 72,5      | 17,5       |
| 3,5       | 4,5       | 75        | 125        |

Pour la situation 1 avec contraintes thermiques,  $S_{n_0} = 120 + 90 = 210$  et  $S_{n_L} = 120 + 235 = 355$

## Situation 2

| Instant | Contraintes thermiques |     |      | $\sigma^{moyen}$ | $\sigma^{flexion}$ | $\sigma_0^{lin}$ | $\sigma_L^{lin}$ |
|---------|------------------------|-----|------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
|         | Abscisse               |     |      |                  |                    |                  |                  |
|         | 0                      | 1   | 2    |                  |                    |                  |                  |
| 1       | 90                     | 100 | 90   | 95               | 0                  | 95               | 95               |
| 2       | 0                      | 100 | -90  | 27,5             | -45                | 72,5             | -17,5            |
| 3       | 100                    | -50 | -100 | -25              | -100               | 75               | -125             |
| 4       | 0                      | 0   | 0    | 0                | 0                  | 0                | 0                |

| Instant 1 | Instant 2 | $Sn_0$    | $Sn_L$     |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1         | 2         | 22,5      | 112,5      |
| 1         | 3         | 20        | <b>220</b> |
| 1         | 4         | <b>95</b> | 95         |
| 2         | 3         | 2,5       | 107,5      |
| 2         | 4         | 72,5      | 17,5       |
| 3         | 4         | 75        | 125        |

Pour la situation 2 avec contraintes thermiques,  $Sn_0 = 60 + 95 = 155$  et  $Sn_L = 60 + 220 = 280$ .

### 2.1.1.2 Calcul de Sn avec séisme

On vient ajouter la contribution du séisme à la grandeur Sn telle que

$$S_{nS} = C_1 \frac{R}{e} |P_A - P_B| + C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA} - M_{xB} \pm 2 M_{xS})^2 + (M_{yA} - M_{yB} \pm 2 M_{yS})^2 + (M_{zA} - M_{zB} \pm 2 M_{zS})^2)} + \|\sigma_{tran}^{lin}(t_1) - \sigma_{tran}^{lin}(t_2)\|$$

Pour la situation 1 sans contraintes sous forme de transitoire.

$$S_{nS} = C_1 \frac{R}{e} |P_A - P_B| + C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA} - M_{xB} \pm 2 M_{xS})^2)}$$

$$Sn_S = 1 * \frac{0,5}{1} |201 - 1| + 2 * \frac{0,5}{1} \sqrt{((21 - 1 \pm 2 * 21)^2)} = 100 + 62 = 162 \text{ à l'origine et à l'extrémité.}$$

Pour la situation 2 sans contraintes sous forme de transitoire.

$$Sn_S = 1 * \frac{0,5}{1} |0 - 0| + 2 * \frac{0,5}{1} \sqrt{((1 - 61 \pm 2 * 21)^2)} = 102 \text{ à l'origine et à l'extrémité.}$$

### 2.1.1.3 Calcul de fatigue pour les situations 1 et 2 dans le même groupe

Le calcul est détaillé pour la combinaison des situations 1 et 2 uniquement et à l'origine.

On cherche à remplir le tableau des facteurs d'usage élémentaires.

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

## Situation 1

Pour la situation 1, on rappelle qu'avec les contraintes thermiques  $Sn_0 = 210$  (partie 2.1.1). On calcule la grandeur  $Sp$  à l'origine.

$$S_p = K_1 C_1 \frac{R}{e} |P_A - P_B| + K_2 C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA} - M_{xB})^2 + (M_{yA} - M_{yB})^2 + (M_{zA} - M_{zB})^2)} + \|\sigma_{tran}(t_1) - \sigma_{tran}(t_2)\|$$

Sans contraintes thermiques, pour la situation 1  $S_p^0 = 120$ .

Avec contraintes thermiques, on calcule les amplitudes maximales de contraintes thermiques linéarisées à l'origine :

| Instant 1 | Instant 2 | $Sp_0$     |
|-----------|-----------|------------|
| 1,5       | 2,5       | 90         |
| 1,5       | 3,5       | 10         |
| 1,5       | 4,5       | 90         |
| 2,5       | 3,5       | <b>100</b> |
| 2,5       | 4,5       | 0          |
| 3,5       | 4,5       | <b>100</b> |

Pour la situation 1, on a donc  $Sp_0 = 120 + 100 = 220$ .

Pour  $Sm = 2000 \text{ MPa}$ , on a donc  $Ke = 1$  et  $Salt_0 = \frac{1}{2} \frac{E_c}{E} Ke Sp_0 = 110 \text{ MPa}$ . D'après la courbe de Wöhler on a donc  $Nadm_0 = \frac{500000}{Salt_0} = 4545$  soit  $FU_0 = 2,2 \cdot 10^{-4}$ .

## Situation 2

De manière similaire pour la situation 2, on a  $Sn_0 = 155$ ,  $Sp_0 = 60 + 100 = 160$ , soit  $Ke = 1$  et  $Salt_0 = 80 \text{ MPa}$  soit  $FU_0 = 1,6 \cdot 10^{-4}$ .

## Combinaison des situations 1 et 2

Pour la combinaison des situations 1 et 2 on a sans la thermique

$$S_n^0 = C_1 \frac{R}{e} |201 - 0| + C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((21 - 61)^2)} = 100,5 + 40 = 140,5$$

Avec la thermique on a  $Sn_0 = 95 + 140,5 = 235,5$  pour les instants 4,5 et 1. Donc  $Ke = 1$ .

Sans la thermique  $Sp_0^1 = 140,5$  puis par exemple en combinant les instants 2,5 et 3  $Sp_0^1 = 240,5$  soit  $FU_0^1 = 2,405 \cdot 10^{-4}$ .

On calcule le deuxième transitoire fictif, sans la thermique sur les moments et la pression on prend les états complémentaires soit  $Sp_0^2 = C_1 \frac{R}{e} |1-0| + C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((1-1)^2)} = 0,5$ . Puis en combinant les instants 3,5 et 2  $Sp_0^2 = 100 + 0,5 = 100,5$  soit  $FU_0^2 = 1,005.10^{-4}$ .

Le facteur d'usage de la combinaison des situations 1 et 2 est donc  $FU = FU_0^1 + FU_0^2 = 2,405.10^{-4} + 1,005.10^{-4} = 3,41.10^{-4}$

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

|             | Situation 1   | Situation 2    |
|-------------|---------------|----------------|
| Situation 1 | $2,2.10^{-4}$ | $3,41.10^{-4}$ |
| Situation 2 |               | $1,6.10^{-4}$  |

Comme on a  $Nocc_1 = 1$  et  $Nocc_2 = 1$  on a  $FU_{TOTAL}^{ORI} = 3,41.10^{-4}$ .

## 2.1.2 ZE200b

### 2.1.2.1 Calcul de Sn

Le paramètre  $S_n$  représente l'amplitude de variation de la contrainte linéaire (contrainte moyenne  $\pm$  contrainte de flexion) entre deux instants du transitoire considéré.

$$S_n = C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA} - M_{xB})^2 + (M_{yA} - M_{yB})^2 + (M_{zA} - M_{zB})^2)} + \|\sigma_{tran}^{lin}(t_1) - \sigma_{tran}^{lin}(t_2)\|$$

Sans contraintes thermiques ni de pression, pour la situation 1  $S_n = 20$  (à l'origine et à l'extrémité).

Avec contraintes sous forme de transitoire, on calcule les amplitudes maximales de contraintes thermiques+pression linéarisées à l'origine puis à l'extrémité.

#### Situation 1

| Instant | Contraintes thermiques+pression |      |      | $\sigma^{moyen}$ | $\sigma^{flexion}$ | $\sigma_0^{lin}$ | $\sigma_L^{lin}$ |
|---------|---------------------------------|------|------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
|         | Abscisse                        |      |      |                  |                    |                  |                  |
|         | 0                               | 1    | 2    |                  |                    |                  |                  |
| 1,5     | 180                             | 200  | 220  | 200              | 2 0                | 180              | 22 0             |
| 2,5     | 0                               | 200  | -180 | 55               | -90                | 145              | -35              |
| 3,5     | 200                             | -100 | -200 | -50              | -200               | 150              | -250             |
| 4,5     | 0                               | 0    | 0    | 0                | 0                  | 0                | 0                |

| Instant 1 | Instant 2 | $Sn_0$     | $Sn_L$     |
|-----------|-----------|------------|------------|
| 1,5       | 2,5       | 35         | 255        |
| 1,5       | 3,5       | 30         | <b>470</b> |
| 1,5       | 4,5       | <b>180</b> | 220        |
| 2,5       | 3,5       | 5          | 215        |
| 2,5       | 4,5       | 145        | 35         |
| 3,5       | 4,5       | 150        | 250        |

Pour la situation 1 avec contraintes sous forme de transitoire,  $Sn_0 = 20 + 180 = 200$  et  $Sn_L = 20 + 470 = 490$ .

## Situation 2

Sans contraintes thermiques ni de pression, pour la situation 2  $S_n = 60$  (à l'origine et à l'extrémité).

La situation 2 n'a pas de contraintes de pression donc le calcul de la partie sous forme de transitoire est le même qu'en ZE200a (partie2.1.1.1).

Pour la situation 2 avec contraintes thermiques,  $Sn_0 = 60 + 95 = 155$  et  $Sn_L = 60 + 220 = 280$ .

### 2.1.2.2 Calcul de Sn avec séisme

On vient ajouter la contribution du séisme à la grandeur  $Sn$  telle que

$$S_{nS} = C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA} - M_{xB} \pm 2 M_{xS})^2 + (M_{yA} - M_{yB} \pm 2 M_{yS})^2 + (M_{zA} - M_{zB} \pm 2 M_{zS})^2)} + \|\sigma_{tran}^{lin}(t_1) - \sigma_{tran}^{lin}(t_2)\|$$

Pour la situation 1 sans contraintes sous forme de transitoire.

$$S_{nS} = C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA} - M_{xB} \pm 2 M_{xS})^2)} = 2 * \frac{0,5}{1} \sqrt{((21 - 1 \pm 2 * 21)^2)} = 62 \text{ à l'origine et à l'extrémité.}$$

Pour la situation 2 sans contraintes sous forme de transitoire.

$$S_{nS} = C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA} - M_{xB} \pm 2 M_{xS})^2)} = 2 * \frac{0,5}{1} \sqrt{((1 - 61 \pm 2 * 21)^2)} = 102 \text{ à l'origine et à l'extrémité.}$$

## 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 `ZE200a` sont analysés pour les options `SN` et `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,
- pour une jonction de tuyauterie,
- avec et sans séisme.

## 4 Modélisation B

---

### 4.1 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 ZE200b sont analysés pour l'option SN.

### 4.2 Grandeurs testées et résultats

Sur ce cas test simple, l'ensemble des résultats testés est en accord avec la solution de référence :

- pour le calcul de Sn,
- pour une jonction de tuyauterie,
- avec et sans séisme.

## 5 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) aussi bien pour les résultats de type `ZE200a` que de type `ZE200b`.