

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

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  $MPa$  ) 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  $MPa$  ) 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**

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

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

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

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

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

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

$M_{xS}$	$M_{yS}$	$M_{zS}$
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	10	90	110
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

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

Pour la situation 1 sans contraintes sous forme de transitoire.

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

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

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  $S_{n_0}=210$  (partie 2.1.1 ). On calcule la grandeur  $S_p$  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	$S_{p_0}$
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  $S_{p_0} = 120 + 100 = 220$  .

Pour  $S_m = 2000 \text{ MPa}$  , on a donc  $Ke = 1$  et  $Salt_0 = \frac{1}{2} \frac{E_c}{E} Ke S_{p_0} = 110 \text{ MPa}$  . 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  $S_{n_0} = 155$  ,  $S_{p_0} = 60 + 100 = 160$  , 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  $S_{n_0} = 95 + 140,5 = 235,5$  pour les instants 4,5 et 1. Donc  $Ke = 1$  .

Sans la thermique  $S_{p_0}^1 = 140,5$  puis par exemple en combinant les instants 2,5 et 3  $S_{p_0}^1 = 240,5$  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  $FU_0^2 = 1,005 \cdot 10^{-4}$ .

Le facteur d'usage de la combinaison des situations 1 et 2 est donc  $FU = FU_0^1 + FU_0^2 = 2,405 \cdot 10^{-4} + 1,005 \cdot 10^{-4} = 3,41 \cdot 10^{-4}$

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

	Situation 1	Situation 2
Situation 1	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$3,41 \cdot 10^{-4}$
Situation 2		$1,6 \cdot 10^{-4}$

Comme on a  $Nocc_1 = 1$  et  $Nocc_2 = 1$  on a  $FU_{TOTAL}^{ORI} = 3,41 \cdot 10^{-4}$ .

## 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	20	180	220
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	$S_{n_0}$	$S_{n_L}$
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,  $S_{n_0} = 20 + 180 = 200$  et  $S_{n_L} = 20 + 470 = 490$ .

### 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,  $S_{n_0} = 60 + 95 = 155$  et  $S_{n_L} = 60 + 220 = 280$ .

#### 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`.