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 : $N_{adm}=\dfrac{5.10^5}{S_{alt}}$

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 σ_{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 σ_{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 σ_{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, l es 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**

$$e=1\,mm$$
$$R=0{,}5\,mm$$
$$I=1\,m^4$$

$$K_1=1 \quad \text{et} \quad C_1=1$$
$$K_2=1 \quad \text{et} \quad C_2=2$$
$$K_3=1 \quad \text{et} \quad C_3=1$$

M_{xS}	M_{yS}	M_{zS}
21	0	0

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

2 Solution de référence

2.1 Résultats de référence

2.1.1 ZE200a

2.1.1.1 Calcul de Sn

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

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

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			σ^{moyen}	$\sigma^{flexion}$	σ_0^{lin}	σ_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	Sn_0	Sn_L
1,5	2,5	17,5	127,5
1,5	3,5	15	**235**
1,5	4,5	**90**	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, $Sn_0 = 120 + 90 = 210$ et $Sn_L = 120 + 235 = 355$.

Situation 2

Instant	Contraintes thermiques			σ^{moyen}	$\sigma^{flexion}$	σ_0^{lin}	σ_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	**220**
1	4	**95**	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

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

<u>Pour la situation 1 sans contraintes sous forme de transitoire,</u>

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

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

<u>Pour la situation 2</u> <u>sans contraintes sous forme de transitoire,</u>

$$Sn_S=1*\frac{0,5}{1}|0-0|+2*\frac{0,5}{1}\sqrt{\left((1-61\pm 2*21)^2\right)}=102$$ 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 <u>à l'origine</u>.

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	**100**
2,5	4,5	0
3,5	4,5	**100**

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

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

Situation 2

De manière similaire pour la situation 2, on a $Sn_0 = 155$, $Sp_0 = 60 + 100 = 160$, soit $Ke = 1$ et $Salt_0 = 80\,MPa$ soit $FU_0 = 1{,}6.10^{-4}$.

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 $FU_0^1 = 2{,}405.\,10^{-4}$.

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 Sn 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			σ^{moyen}	$\sigma^{flexion}$	σ_0^{lin}	σ_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	**470**
1,5	4,5	**180**	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

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

Pour la situation 1 sans contraintes sous forme de transitoire,

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

Pour la situation 2 sans contraintes sous forme de transitoire,

$$S_{nS}=C_2\frac{R}{I}\sqrt{\left((M_{xA}-M_{xB}\pm 2M_{xS})^2\right)}=2*\frac{0,5}{1}\sqrt{\left((1-61\pm 2*21)^2\right)}=102$$ 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.