

RCCM01 - Opérateur POST_RCCM

Résumé :

Ce test est un test de validation élémentaire de la commande `POST_RCCM`.

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 `PM_PB`, `SN` et `FATIGUE_ZH210` pour des résultats de type `EVOLUTION`.

La modélisation B permet de tester les options `PM_PB`, `SN` et `FATIGUE` pour des résultats de type `UNITAIRE`.

Le mot clé `KE_MIXTE` du calcul de fatigue est testé dans ces deux modélisations.

1 Problème de référence

1.1 Propriétés de matériaux

Les propriétés matériau sont les suivantes :

- 1) module d'Young : $E = 2.E + 05 \text{ MPa}$;
- 2) coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$;
- 3) coefficient de dilatation thermique : $\alpha = 1.E - 05 \text{ m.}^\circ\text{C}^{-1}$.

Les caractéristiques propres au calcul RCC-M sont :

- 1) constantes matériau pour le calcul de Ke : $n = 0.2$, $m = 2$;
- 2) module d'Young de référence : $E_{REFE} = 2.E + 05 \text{ MPa}$;
- 3) contrainte admissible : $Sm = 200 \text{ MPa}$.

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

Remarque :

Pour la validation de la prise en compte du facteur de concentration élastoplastique Ke , certains calculs sont réalisés avec une contrainte admissible plus faible : $Sm = 50 \text{ MPa}$.

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} . Trois transitoires sont considérés, avec ou sans contraintes thermiques :

Instant	Contraintes mécaniques			Contraintes thermiques			Contraintes totales		
	Abscisse			Abscisse			Abscisse		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1	100	50	0	200	250	300	300	300	300
2	100	100	100	0	100	0	100	200	100
3	100	150	200	100	- 50	-100	200	100	100
4	100	200	300	0	0	0	100	200	300

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 mécaniques		
	Abscisse		
	0	1	2
1	0	0	0
2	200	50	-100

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

Instant	Contraintes mécaniques			Contraintes thermiques			Contraintes totales		
	Abcisse			Abcisse			Abcisse		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1	0	0	0	50	50	50	50	50	50
2	200	50	-100	0	50	100	200	100	0

Tableau 1.2-3 : Définition des contraintes σ_{yy} (en MPa) pour les instants de la situation 3 en fonction de l'abscisse curviligne

Ces transitoires 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).

2 Solution de référence

2.1 Résultats de référence

2.1.1 Calcul de P_m et P_b

Les paramètres P_m et P_b représentent respectivement la contrainte primaire de membrane et la contrainte de flexion. Des critères doivent également être vérifiés sur la quantité ($P_m \pm P_b$), à l'origine et à l'extrémité du segment d'analyse.

Chacun de ces paramètres peut se calculer analytiquement à partir de la donnée du tenseur des contraintes sur le segment. Seules les contraintes primaires doivent être prises en compte. L'utilisateur peut soit fournir directement les contraintes mécaniques seules (situation 2 ci-dessous) ; soit fournir les contraintes thermo-mécaniques totales et les contraintes liées au chargement thermique seul, auquel cas celles-ci sont retranchées automatiquement (situations 1 et 3).

On indique dans les tableaux ci-dessous la valeur signée des paramètres P_m et P_b , même si c'est la norme de ces quantités qui est à retenir finalement. Cela permet de distinguer l'origine et l'extrémité dans le calcul de $P_m \pm P_b$, et de faciliter le calcul de S_n dans le paragraphe suivant.

Situation 1 :

Instant	P_m	P_b	$P_m - P_b$ (origine)	$P_m + P_b$ (extrémité)
1	50.	-50.	+100.	0.
2	100.	0.	100.	100.
3	150.	50.	100.	200.
4	200.	100.	100.	300.

Situation 2 et Situation 3 :

Instant	P_m	P_b	$P_m - P_b$ (origine)	$P_m + P_b$ (extrémité)
1	0.	0.	0.	0.
2	50.	-150.	200.	-100.

2.1.2 Calcul de S_n et S_n^* (modélisation A)

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. Le paramètre S_n^* représente l'amplitude S_n calculée sans prendre en compte les contraintes de flexion thermique.

Les tableaux ci-dessous présentent les valeurs de S_n et S_n^* pour les différentes combinaisons d'instants de chaque situation, dans le cadre de la modélisation A (`TYPE_RESU_MECA = 'EVOLUTION'`).

Situation 1 :

S_n à l'origine :

Instant	1	2	3	4
1	0	150	125	200
2		0	25	50
3			0	75
4				0

S_n^* à l'origine :

S_n à l'extrémité :

Instant	1	2	3	4
1	0	150	225	0
2		0	75	150
3			0	225
4				0

S_n^* à l'extrémité :

Instant	1	2	3	4
1	0	200	275	250
2		0	75	50
3			0	25
4				0

Instant	1	2	3	4
1	0	100	75	50
2		0	25	150
3			0	125
4				0

Situation 2 :

S_n à l'origine :

Instant	2
1	200

S_n à l'extrémité :

Instant	2
1	100

Situation 3 :

S_n à l'origine :

Instant	2
1	250

S_n à l'extrémité :

Instant	2
1	150

S_n^* à l'origine :

Instant	2
1	200

S_n^* à l'extrémité :

Instant	2
1	100

2.1.3 Principe du calcul des facteurs d'usage élémentaires (modélisation B)

On illustre ci-dessous le calcul des facteurs d'usage dans le cadre de la modélisation B (TYPE_RESU_MECA = 'UNITAIRE'). On considère la combinaison des situations 1 et 3. On détaille la procédure de calcul des grandeurs S_n et S_p , pour l'origine du segment uniquement (la procédure est exactement la même à l'extrémité et pour les autres combinaisons de situations).

On désigne par A et B les états mécaniques stabilisés de chaque situation et on note donc σ_1^A et σ_1^B les contraintes mécaniques associées aux deux états stabilisés de la situation 1 ; on fait de même pour la situation 3.

Les contraintes thermiques sont utilisées uniquement via leurs extrema (au sens d'une norme de Tresca signée). On note $\sigma_{p,min}^{ther}$ (resp. $\sigma_{p,max}^{ther}$) la contrainte minimale (resp. maximale) du transitoire thermique associé à la situation p .

Calcul de S_n : pour les six combinaisons possibles d'états $pi - qj$ (1A-3B, 1B-3B, 1B-1B ...), on calcule 4 grandeurs :

$\left| \sigma_p^i - \sigma_q^j + \sigma_{p,max}^{ther,lin} - \sigma_{q,min}^{ther,lin} \right|$, $\left| -\sigma_p^i + \sigma_q^j + \sigma_{p,max}^{ther,lin} - \sigma_{q,min}^{ther,lin} \right|$, $\left| \sigma_p^i - \sigma_q^j + \sigma_{q,max}^{ther,lin} - \sigma_{p,min}^{ther,lin} \right|$
et $\left| -\sigma_p^i + \sigma_q^j + \sigma_{q,max}^{ther,lin} - \sigma_{p,min}^{ther,lin} \right|$. S_n correspond au maximum de toutes ces quantités.

Pour la combinaison des situations 1 et 3, on a par exemple le tableau suivant :

Combinaison	1A-3A	1A-3B	1B-3A	1B-3B	1A-1B	3A-3B
σ_p^I	100	100	100	100	100	0
σ_Q^j	0	200	0	200	100	200
$\sigma_{p,max}^{ther,lin}$	200	200	200	200	200	-

$\sigma_{p, \min}^{ther, lin}$	50	50	50	50	50	-
$\sigma_{q, \max}^{ther, lin}$	50	50	50	50	-	50
$\sigma_{q, \min}^{ther, lin}$	0	0	0	0	-	0
Méca + pMax - qMin	300	100	300	100	150	250
- Méca + pMax - qMin	100	300	100	300	150	150
Méca + qMax - pMin	100	100	100	100	-	-
- Méca + qMax - pMin	100	100	100	100	-	-

S_n pour la combinaison des situations 1 et 3 vaut donc 300. Le facteur de concentration élastoplastique Ke vaut alors 1.

Calcul de S_p : on reprend la même démarche en s'appuyant cette fois sur les contraintes thermiques non linéarisées. On détermine d'abord, pour chaque combinaison, le maximum entre $|\sigma_p^i - \sigma_q^j + \sigma_{p, \max}^{ther} - \sigma_{q, \min}^{ther}|$ et $|\sigma_p^i + \sigma_q^j + \sigma_{p, \max}^{ther} - \sigma_{q, \min}^{ther}|$, que l'on note $Sp1$; puis celui entre $|\sigma_p^i - \sigma_q^j + \sigma_{q, \max}^{ther} - \sigma_{p, \min}^{ther}|$ et $|\sigma_p^i + \sigma_q^j + \sigma_{q, \max}^{ther} - \sigma_{p, \min}^{ther}|$ que l'on note $Sp2$.

Puis on sélectionne le maximum de chacune de ces grandeurs sur l'ensemble des combinaisons, que l'on nomme de nouveau $Sp1$ et $Sp2$. Le facteur d'usage associé à la combinaison de situations est égal à la somme des facteurs d'usages associés à $Sp1$ et $Sp2$.

Combinaison	Méca +pM -qm	-Méca +pM -qm	Méca +qM -pm	-Méca +qM -pm	S_{p1}	S_{p2}	S_{p1_max}	S_{p2_max}	S_{alt}	FU
1a-3a	300	100	150	50	300	150	300	150	225	4.5E-4
1a-3b	100	300	50	150	300	150				
1b-3a	300	100	150	50	300	150				
1b-3b	100	300	50	150	300	150				
1a-1b	200	200	-	-	200	-	250	200		
3a-3b	250	150	-	-	250	-				

2.1.4 Calcul du facteur d'usage total

Pour la modélisation A, on construit une matrice de facteurs d'usage qui donne les facteurs d'usage élémentaires pour toutes les combinaisons d'instant de toutes les situations, obtenus grâce aux valeurs de Sp correspondantes et à la courbe de fatigue. Le facteur d'usage total est calculé en sommant successivement les facteurs d'usage élémentaires maximaux jusqu'à épuisement des nombres d'occurrences des situations.

En notant {1,2,3,4} les quatre instants de la situation 1 et {5,6} les deux instants de la situation 2, on présente ci-dessous les valeurs significatives de la matrice qui permet d'obtenir le facteur d'usage total pour la combinaison des situations 1 et 2, à l'origine et à l'extrémité du segment.

Situation 1 + Situation 2 : origine

Instant_1	Instant_2	S_n	S_p	S_{alt}	N_{adm}	DOMMAGE	DOMMAGE_CUMU
1	5	300	300	150	3.3E3	3 E-4	3E-4
2	3	25	100	50	1E4	1E-4	4E-4
5	6	200	200	100	5E3	2E-4	5E-4

Situation 1 + Situation 2 : extrémité

Instant_1	Instant_2	S_n	S_p	S_{alt}	N_{adm}	DOMMAGE	DOMMAGE_CUMU
1	6	400	400	200	2.5E3	4E-4	4E-4
4	5	300	300	150	3.3E3	3E-4	7E-4

Avec TYPE_KE=KE_MIXTE, on doit obtenir :

Situation 1 + Situation 2 : origine

Instant_1	Instant_2	S_n	$S_{p_{meca}}$	$S_{p_{ther}}$	Ke_{meca}	Ke_{ther}	S_{alt}	DOMMAGE	DOMMAGE_CUMU
1	5	300	100	200	1	1.27	1.77E2	3.54E-4	3.54E-4
3	6	25	100	100	1	1	1E2	2E-4	5.54E-4

Situation 1 + Situation 2 : extrémité

Instant_1	Instant_2	S_n	$S_{p_{meca}}$	$S_{p_{ther}}$	Ke_{meca}	Ke_{ther}	S_{alt}	DOMMAGE	DOMMAGE_CUMU
1	3	225	200	400	1	1.19	3.38E2	6.77E-4	6.77E-4
4	6	400	400	0	1	1.35	2E2	4E-4	1.08E-3
2	5	150	100	0	1	1.09	5E1	1E-4	1.18E-3

Pour la modélisation B et avec la courbe de fatigue simplifiée, les résultats de l'analyse à la fatigue selon RCCM_B3200 et FATIGUE doivent être (pour 1 cycle de chargement pour les deux situations) :

Lieu	Situation_1	Situation_2	S_n	S_p	Ke	S_{alt}	DOMMAGE
origine	1	2	250	400	1	200	4E-4
extrémité	1	2	825	1200	2.5	1500	3E-3

Avec TYPE_KE=KE_MIXTE, on doit obtenir, aux mêmes instants :

Lieu	S_n	$S_{p_{meca}}$	$S_{p_{ther}}$	Ke_{meca}	Ke_{ther}	S_{alt}	DOMMAGE
origine	250	200	200	1	1.2208	222.08	4.4416E-4
extrémité	825	700	400	2.5	1.5385	1182.7	2.3654E-3

2.1.5 Calcul du rochet thermique

Le critère du rochet thermique donne la valeur maximale admissible de l'amplitude de variation des contraintes thermiques σ_θ , à partir de la donnée du maximum de la contrainte de membrane due à la pression σ_m . On suppose ici que la contrainte due à la pression est celle du transitoire 1.

Deux relations de la forme $\sigma_\theta = f(\sigma_m, S_y)$ sont proposées selon que la variation de température dans la paroi est supposée linéaire ou parabolique. Les deux valeurs sont calculées.

Instant	σ_m	σ_θ - Loi linéaire	σ_θ - Loi parabolique
1	100.	400.	540.
2	150.	200.	260.
3	100.	400.	540.
4	200.	0.	0.

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.

3.2 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 PM et PB ;
- pour le calcul de SN et SN^* ;
- pour le calcul en fatigue avec KE_MIXTE et KE_MECA ;
- avec l'option TYPE_RESU='VALE_MAX' comme avec l'option TYPE_RESU='DETAILS'.

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Aucun calcul thermique ou mécanique n'est réalisé dans ce test : des tableaux de relevés de contraintes sont fournis à l'opérateur POST_RCCM. Les différents instants du problème de référence sont construits par combinaison linéaire à partir de contraintes unitaires à l'origine, au milieu et à l'extrémité du segment.

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 PM et PB ;
- pour le calcul de SN et SN^* ;
- pour le calcul en fatigue avec KE_MIXTE et KE_MECA ;
- avec l'option TYPE_RESU='VALE_MAX' comme avec l'option TYPE_RESU='DETAILS'.

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 `EVOLUTION` que de type `UNITAIRE`.