SDLL157 - Réponse sismique selon la méthode simplifiée Roche d'un tronçon de tuyauterie à 6 coudes

Résumé :

L'objectif de ce test est de valider la commande POST_ROCHE sur un tronçon de tuyauterie à 6 coudes .
La modélisation A participe également à la validation de l'option MOMENT_EQUIVALENT de POST_RCCM/B3600.

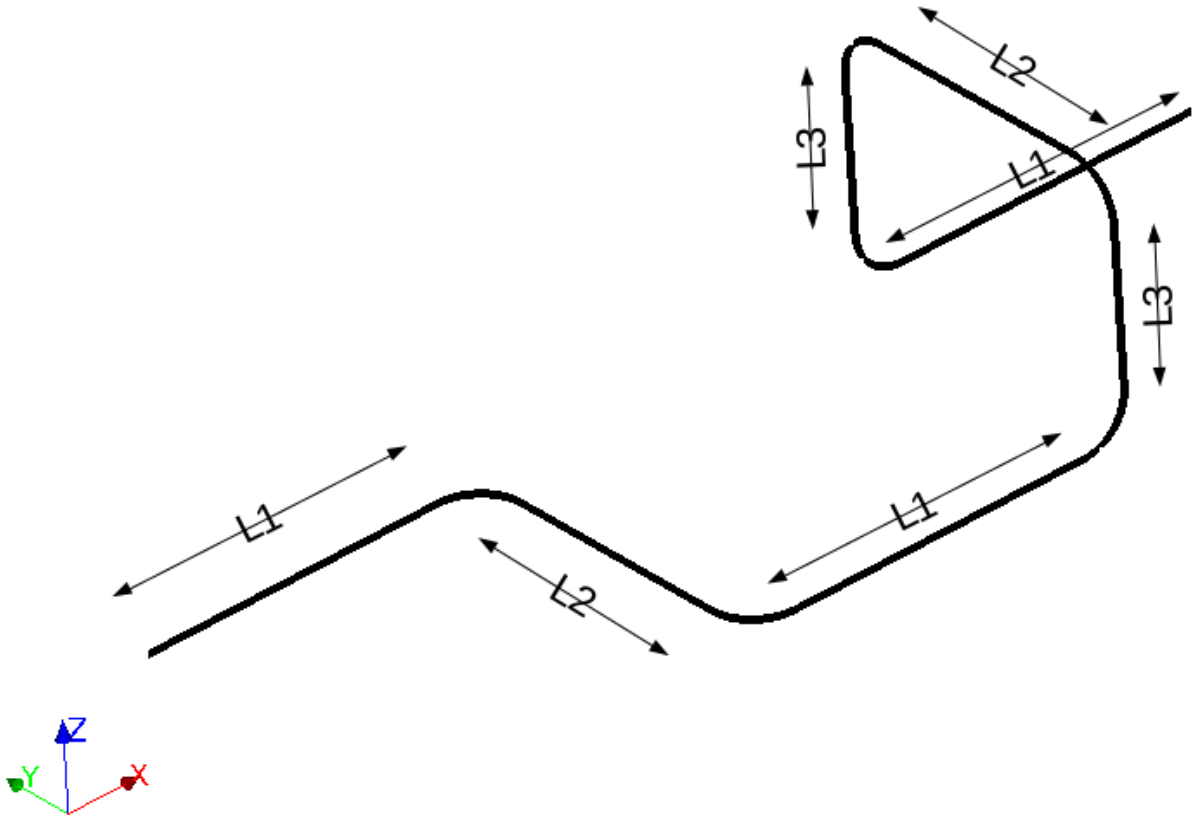
Modélisation A : POST_ROCHE/RESU_MECA/RCCM_RX='NON'
Modélisation B : POST_ROCHE/RESU_MECA_TRAN/RCCM_RX='NON'
Modélisation C : POST_ROCHE/RESU_MECA/RCCM_RX='OUI'

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère une tuyauterie à 6 coudes, de section constante de diamètre extérieur $11.43\,cm$ et d'épaisseur $1.35\,cm$. La géométrie est représentée sur la figure suivante :



L'angle des coudes est de $90°$ et le rayon de courbure des coudes est de $15.2\,cm$.
Les parties droites de la tuyauterie sont alors orientées selon les axes X , Y et Z avec les dimensions respectives $L_1=1\,m$, $L_2=0.75\,m$ et $L_3=0.5\,m$.

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau est élastique isotrope dont les propriétés sont :
- $E=176.5\,GPa$
- $\nu=0.3$
- $\mathrm{P}=9734\,kg/m^3$
- $\alpha=1.2\mathrm{E}\text{-}5\,K^{-1}$

La loi de Ramberg Osgood utilisée pour les post-traitements s'écrit :

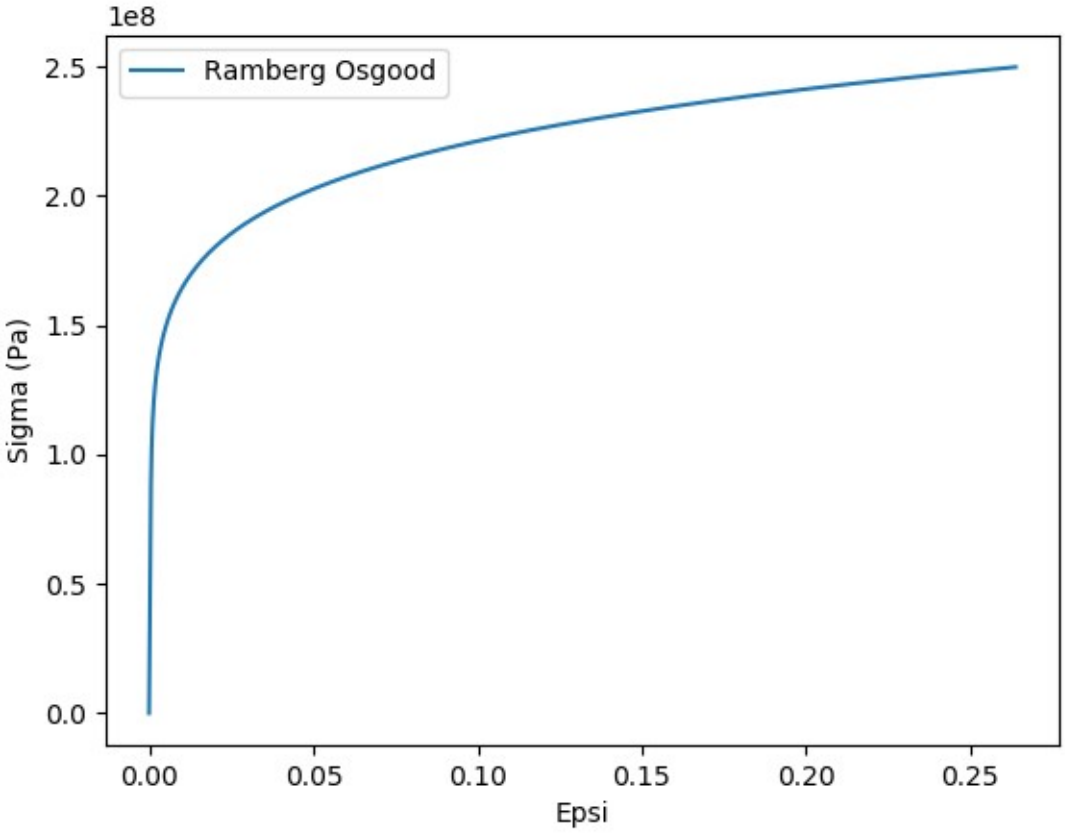
$$\epsilon_p=K\left(\frac{\sigma}{E}\right)^{1/n}$$

Avec :
- $K=2.0696782528\mathrm{e}{+22}$
- $n=0.1244369$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Paramètre pour les coudes :

- $R_{p0.2}=133\text{E}6$



Dans le cas `RCCM_RX='OUI'` :

- `RP02_MIN = 1 28 E6`
- `RM_MIN=410E6`
- `RP02_MOY=163E6`
- `COEF = 1`

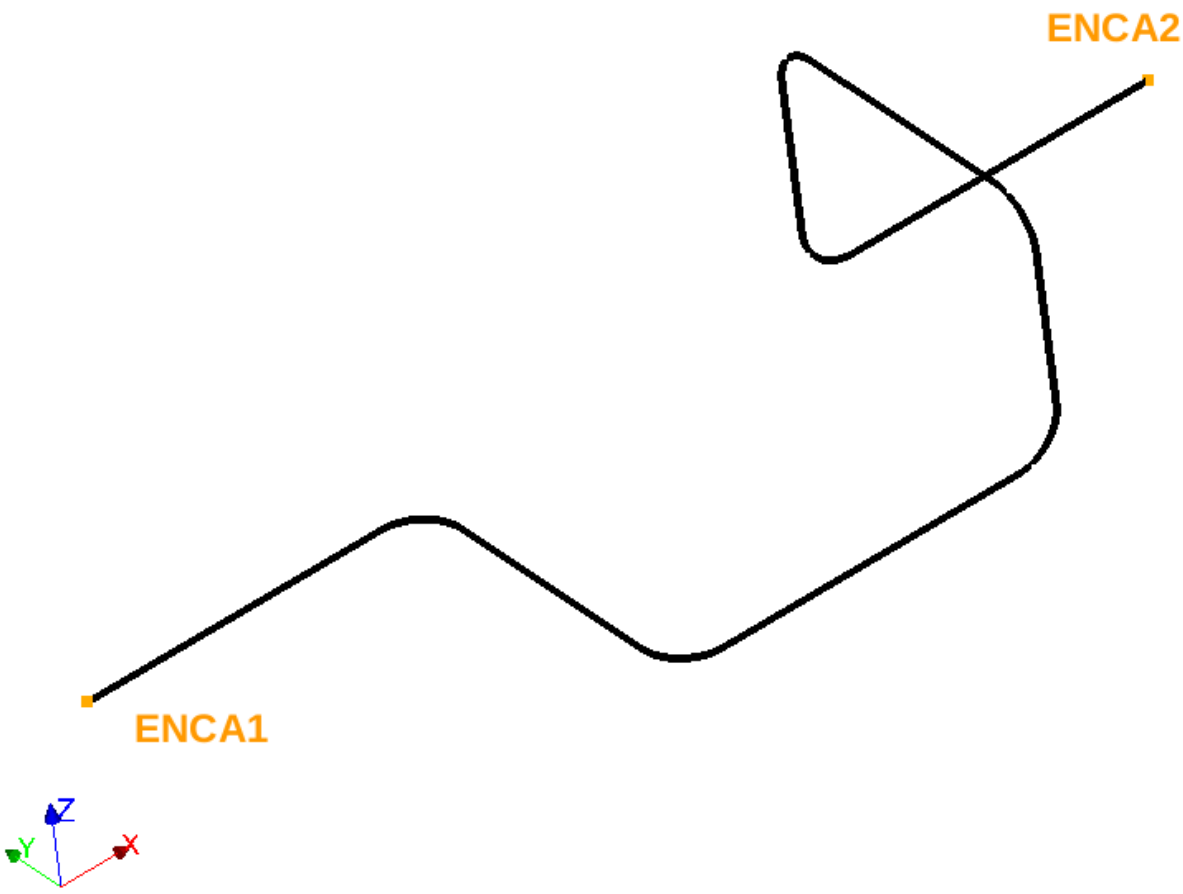
1.3 Conditions aux limites et chargements

Un ensemble de calculs élastiques sont effectués de manière indépendante sur la structure de type poutre.

Pour les modélisations A et C, deux calculs sont effectués, le premier prenant en compte l'ensemble des chargements qui suivent, le second prenant en compte uniquement le chargement de séisme inertiel et la pression.

Pour la modélisation B seul le premier calcul est effectué.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)



1.3.1 Poids propre

On impose un champ de gravité $g=9.81\,m/s^2$ dans la direction $-Z$. Les points $ENCA1$ et $ENCA2$ sont encastrés.

1.3.2 Déplacement imposé

Le point $ENCA1$ est encastré. Le point $ENCA2$ est soumis à un déplacement de $1\,cm$ selon X , Y et Z de $1\,cm$

1.3.3 Dilatation thermique

Les points $ENCA1$ et $ENCA2$ sont encastrés. Une variation du champ de température $\Delta T=100\,°K$ génère des contraintes dans la poutre.

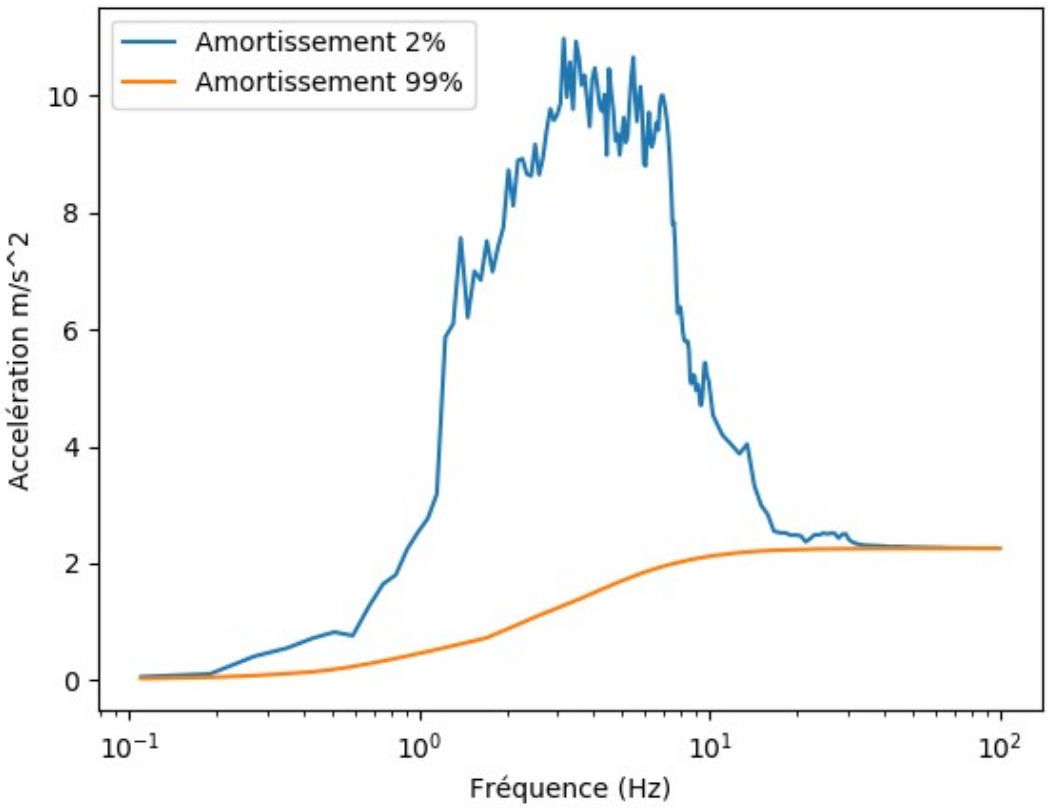
1.3.4 Pression imposée

Pour le premier calcul, on tient compte d'une pression à l'intérieur du tuyau $P=1\,MPa$, pour le second calcul on tient compte d'une pression de $P=0,75\,MPa$.

1.3.5 Sismique spectral

Les points $ENCA1$ et $ENCA2$ sont encastrés. Une accélération spectrale est imposée selon les 3 axes X , Y et Z avec le ratio 90.09 :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

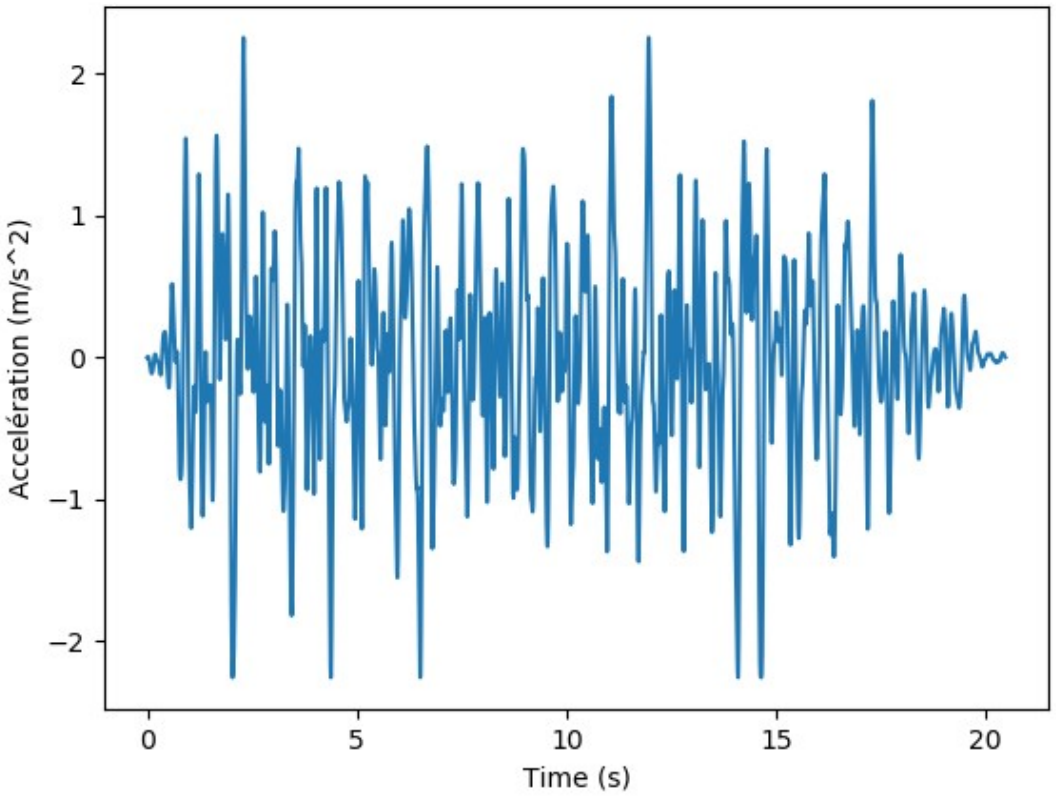


On tient compte des premiers modes propre dynamique jusqu'à la fréquence de coupure $F=100\,Hz$ et de la correction statique via des pseudo-modes selon les 3 axes. L'amortissement réduit est fixé à 2% pour la partie dynamique, et à 99 % pour la partie quasi-statique.

1.3.6 Sismique transitoire

Les points $ENCA1$ et $ENCA2$ sont encastrés. Une accélération transitoire est imposée selon les 3 axes X, Y et Z avec le ratio 90.09 :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)



Le calcul est effectué sur base réduite et tenant compte des premiers modes propre dynamique jusqu'à la fréquence de coupure $F=100\,Hz$ et de la correction statique via des pseudo-modes selon les 3 axes. L'amortissement réduit est fixé à 2%.
Le calcul étant très long, on ne prend en compte que $0.1\,s$ de l'accélérogramme.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

On détermine les coefficients d'abattement des moments issus des analyses élastiques linéaires selon les chapitres RB 3651.1132 et RB 3651.1142 du RCC-MRx (méthode Roche post-spectrale).
La détermination de la contrainte équivalente, tenant compte des moments abattus et des moments non abattus, correspondent à l'ensemble des chargements considérés.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Les grandeurs suivantes sont testées à chaque nœud de la structure :

1. contrainte de référence S , calculée à partir des moments dépendants des déplacements,
2. contrainte de référence $S2$, calculée à partir des moments dépendants des forces,
3. réversibilité locale t , calculée à partir de S ,
4. réversibilité locale t_s , calculée à partir de $S2$,
5. réversibilité totale T , calculée à partir de S et t ,
6. réversibilité totale T_s , calculée à partir de $S2$ et t_s ,
7. facteur d'effet de ressort r_M , calculé à partir de t et T ,
8. facteur d'effet de ressort r_S , calculé à partir de t_s et T_s ,
9. facteur d'effet de ressort maximal $\boldsymbol{r_M}$,
10. facteur d'effet de ressort maximal r_{SMax} ,
11. coefficient d'abattement g , calculé à partir de r_M et des paramètres matériaux,
12. coefficient d'abattement g_s , calculé à partir de r_S et des paramètres matériaux,
13. coefficient d'abattement optimisé g_{opt} , calculé à partir de r_{MMax} et des lois matériaux,
14. coefficient d'abattement optimisé g_{sopt} , calculé à partir de r_{SMax} et des lois matériaux,
15. contrainte équivalente σ_{eq} , obtenue par combinaison des moments des différentes analyses et des coefficients g et g_s ,
16. contrainte équivalente optimisée σ_{eqopt} , obtenue par combinaison des moments des différentes analyses et des coefficients g_{opt} et g_{sopt} .

Pour le premier calcul, la grandeur σ_{eq} est comparé à un résultat de calcul dynamique non-linéaire avec des éléments tuyau dans Code_Aster, avec conditions aux limites et chargements équivalents.

Pour le second calcul, les grandeurs $S2$, r_S et σ_{eq} sont comparés aux résultats de référence issues de calcul Roche via le logiciel Cast3M, avec conditions aux limites et chargements équivalents.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation POU_D_T. On considère le chargement sismique spectral avec RCCM_RX='NON'.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 694 éléments de type SEG2.

3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les grandeurs en sortie de l'opérateur POST_ROCHE dans le cas d'une utilisation de moments non dépendant du temps (mot clé facteur RESU_MECA). On teste les valeurs maximales sur le champ de sortie.

Calcul 1 :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
$MAX - X1$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X2$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X3$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X4$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X5$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X6$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X7$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X8$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X9$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X10$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X11$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X12$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X13$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X14$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X15$	'AUTRE_ASTER'	240.2E6	7 %
$MAX - X16$	'AUTRE_ASTER'	240.2E6	9 %

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

On teste la valeur du moment équivalent calculé par POST_RCCM pour un couple maille/nœud à l'aide d'une référence AUTRE_ASTER obtenue en utilisant les fonctionnalités de la commande CALC_TABLE.

Maille	Noeud	Composante	Type de référence	*Valeur de référence*	*Tolérance*
M57	N4	MEQ	« AUTRE_ASTER »	201.40764999559582	0,1 %

Calcul 2 :

Les références SOURCE_EXTERNE de ce second calcul sont fournies par le logiciel CAST3M. Pour la composante X15, cette la valeur n'est donnée qu'à titre indicatif (comparaison d'ordre de grandeur) car le calcul de la contrainte équivalente est différent dans CAST3M.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
$MAX - X1$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X2$	'SOURCE_EXTERNE'	441.9E6	1 %
$MAX - X3$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X4$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X5$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X6$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X7$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X8$	'SOURCE_EXTERNE'	5.21	11 %
$MAX - X9$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X10$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X11$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X12$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X13$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X14$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X15$	'SOURCE_EXTERNE'	366.2E6	26 %
$MAX - X16$	'NON_REGRESSION'	-	-

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation POU_D_T. On considère le chargement sismique transitoire.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est le même que celui de la modélisation A.

4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les grandeurs en sortie de l'opérateur POST_ROCHE dans le cas d'une utilisation de moments dépendant du temps (mot clé facteur RESU_MECA_TRAN). On teste les valeurs maximales sur le champ de sortie UT02 _ELNO .

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
$MAX - X1$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X2$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X3$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X4$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X5$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X6$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X7$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X8$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X9$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X10$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X11$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X12$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X13$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X14$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X15$	'AUTRE_ASTER'	14572062.1992	2,4
$MAX - X16$	'AUTRE_ASTER'	14572062.1992	2,4

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation POU_D_T. On considère le chargement sismique spectral avec RCCM_RX='OUI'.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 694 éléments de type SEG2.

5.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les grandeurs en sortie de l'opérateur POST_ROCHE (différentes de la modélisation A) dans le cas d'une utilisation de moments non dépendant du temps (mot clé facteur RESU_MECA). On teste les valeurs maximales sur le champ de sortie.

Calcul 1 :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
$MAX - X13$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X14$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X16$	'AUTRE_ASTER'	240.2E6	0,9 %

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Calcul 2 :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
$MAX - X13$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X14$	'NON_REGRESSION'	-	-
$MAX - X16$	'SOURCE_EXTERNE'	366.2e6	27 %

6 Synthèse des résultats

Ce test permet bien de valider l'approche Roche dans le cadre du tronçon de tuyauterie.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)