PERF017 – Interface en contact frottant avec X-FEM

Résumé :

Ce problème correspond à une analyse quasi-statique d'un problème de mécanique avec contact et frottement. Un cylindre est soumis à des forces de pression sur ses faces supérieure et latérale. Il est de plus comprimé sur un bâti qui lui impose des forces de contact et de frottement.

Il s'agit d'un cas complémentaire au cas-test ssnv209 [V6.04.209].

Ce test met en jeu différents maillages, en $3D$, dans le cadre de calculs X-FEM [R7.02.12].

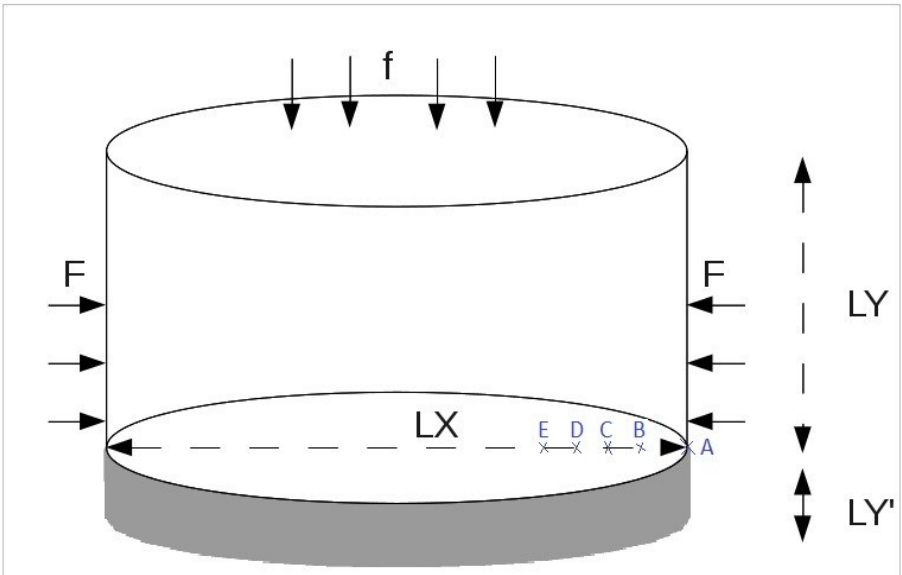
Il comporte 3 modélisations et permet de tester :

- les modélisations $3D$ (TETRA4),
- une position de fissure au milieu des éléments,
- l'opérande XFEM du mot clé CONTACT,
- le différents schéma d'intégration par défaut pour les termes de contact (NŒUD),
- les paramètres de la formulation généralisée (coefficients de régularisation et de stabilisation pour le contact et pour le frottement),
- le calcul simultané des zones décollées, en contact glissant, et en contact adhérent,
- le post-traitement, notamment le calcul de la réaction normale RN ,
- l'algorithme de satisfaction de la condition LBB aux transitions décollée/contact et glissant/adhérent,
- la méthode de lagrangien augmenté et la méthode pénalisée pour le traitement du contact-frottement.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



La structure est un cylindre constitué de deux cylindres de même matériau, séparés par une interface.

Le cylindre sur lequel les pressions sont appliquées a un diamètre $LX = 80\ \text{mm}$ et une hauteur $LY = 40\ \text{mm}$.

Le second cylindre, assimilée à un bâti, a un diamètre $LX = 80\ \text{mm}$ et une hauteur $LY' = 10\ \text{mm}$.

Compte tenu du maillage adopté, les positions des points de références sont (en mm) :

	x	y	z
A	40,0	0	0
B	35,0	0	0
C	30,0	0	0
D	25,0	0	0
E	20,0	0	0

1.2 Propriétés de matériaux

Plaque et bâti:

Coefficient de Poisson : 0.2
Module d'Young : $1.3\,10^{11}\,N/m^2$

Le coefficient de frottement sous le plan est $\mu = 1.0$.

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

1.3 Conditions aux limites et chargements

Rappelons que le déplacement sous X-FEM est la somme d'un déplacement continu et d'un déplacement discontinu. Dans le cas d'une interface, sans fond de fissure, l'approximation du déplacement s'écrit de la façon suivante :

$$u^h(x)=\sum_{i\in N_n(x)} a_i\Phi_i(x)-\sum_{i\in\Omega^+(x)\cap K} b_i\Phi_i(x)2\chi_-(x)+\sum_{i\in\Omega^-(x)\cap K} b_i\Phi_i(x)2\chi_+(x)$$

Où:

a_i et b_i sont les degrés de liberté de déplacement au nœud i ,
Φ_i les fonctions de forme associées au nœud i ,
$\chi_\pm(x)$ les fonctions caractéristiques des côtés + et – de la fissure,
$\Omega^\pm(x)$ les demi-espaces + et – déterminés par la fissure,
$N_n(x)$ est l'ensemble des nœuds dont le support contient le point x ,
K est l'ensemble des nœuds dont le support est entièrement coupé par la fissure.

Pour plus de détails, se référer à la documentation de référence X-FEM [R7.02.12].

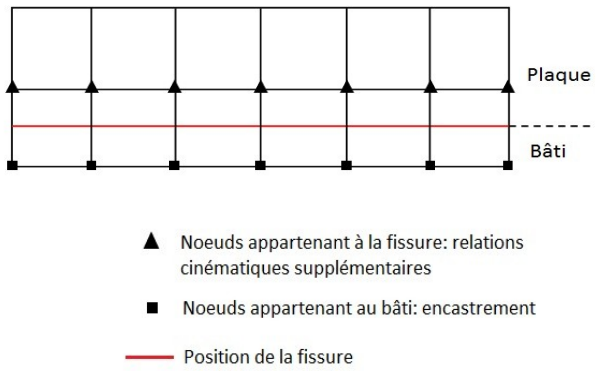
Le bâti rigide, de même largeur que le cylindre, est bloqué entièrement par un encastrement. Les DDL de déplacement des nœuds du bâti selon X, Y et Z sont mis à 0 :

$$DX_{NBATI}=0\ ,\ DY_{NBATI}=0\ \text{ et }\ DZ_{NBATI}=0$$

Des équations supplémentaires sont écrites sur les DDL des nœuds des éléments coupés par la fissure, afin que le déplacement soit nul partout sur la partie inférieure de ces éléments correspondant au bâti. Très concrètement les relations cinématiques qui imposent qu'en tout point bâti sous l'interface le déplacement est bien nul sont les suivantes :

$$DX_{NPLAQUE}-2\,HX_{NPLAQUE}=0\ ,\ DY_{NPLAQUE}-2\,HY_{NPLAQUE}=0\ \text{ et }\ DZ_{NPLAQUE}-2\,HZ_{NPLAQUE}=0$$

La figure suivante montre les nœuds qui portent ces relations cinématiques, dans le cas d'un maillage non conforme à la fissure.



La plaque est soumise à deux pressions réparties :

- une pression verticale agissant sur la face du dessus : $f=-5\ daN/mm^2$,
- une pression horizontale agissant sur les faces latérales, pour $y>0$, $F=\pm 15\,daN/mm^2$ (suivant le principe de compression)

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence provient des résultats obtenus par la modélisation A, à savoir une modélisation 3D sous le mot clé FORMULATION='CONTINUE' de l'opérateur DEFI_CONTACT.

2.2 Résultats de référence

Déplacements tangentiels (selon X) aux points $A, B, C, D,$ et E de la surface de contact.

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

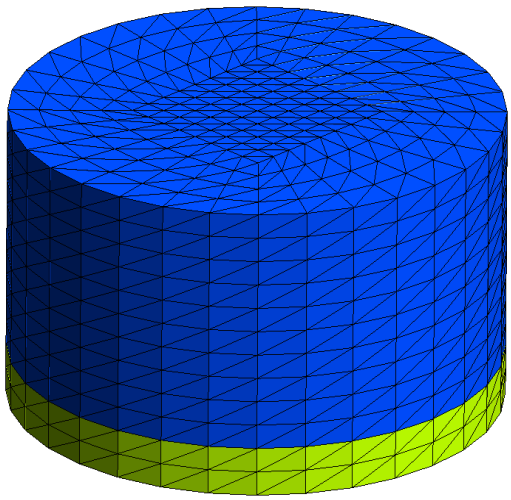
3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : 3D pour tester l'opérande 'CONTINUE' du mot-clé FORMULATION da ns l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments TETRA4 .

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2926
Nombre de mailles et types : 13824 TETRA4 pour la plaque et le bâti.
1792 TRIA3 pour les éléments de bord.



3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
DX au point A	'AUTRE_ASTER'	-2,37E-005	0,1 %
DX au point B	'AUTRE_ASTER'	-1,84E-005	0,1 %
DX au point C	'AUTRE_ASTER'	-1,30E-005	0,1 %
DX au point D	'AUTRE_ASTER'	-8,09569E-06	0,1 %
DX au point E	'AUTRE_ASTER'	-3,90803E-06	0,1 %

3.4 Remarque

Ces résultats servent de références pour les modélisations B et C.

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

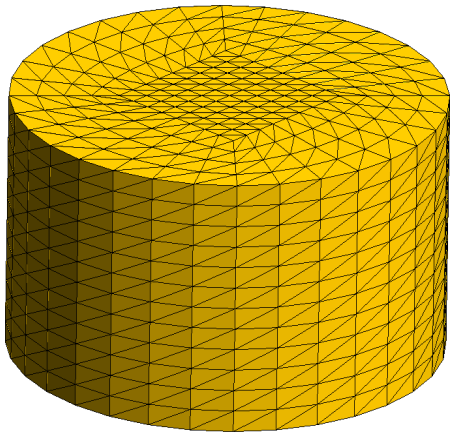
4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

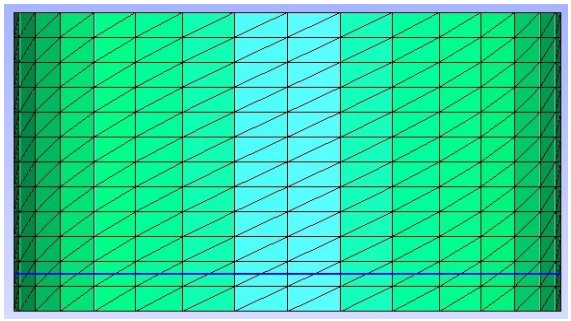
Modélisation : 3D du cylindre pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION dans l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments TETRA4 .

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2717
Nombre de mailles et types : 13824 TETRA4 pour la plaque et le bâti.
1536 TRIA3 pour les éléments de bord.



La fissure (trait bleu) coïncide avec le plan Z=0 et se situe à 40 mm en dessous de la face supérieure.



4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
DX au point A	'AUTRE_ASTER'	-2,37083E-05	0,1 %
DX au point B	'AUTRE_ASTER'	-1,83709E-05	0,1 %
DX au point C	'AUTRE_ASTER'	-1,29919E-05	0,1 %
DX au point D	'AUTRE_ASTER'	-8,09569E-06	0,1 %
DX au point E	'AUTRE_ASTER'	-3,90803E-06	0,1 %

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit de la même modélisation que la modélisation B, mais avec une formulation pénalisée cette fois.

5.2 Caractéristiques du maillage

Il s'agit du même maillage que celui de la modélisation B.

5.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs de références et les tolérances sont identiques à la modélisation B.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision
DX au point A	'AUTRE_ASTER'	-2,37083E-05	0,1 %
DX au point B	'AUTRE_ASTER'	-1,83709E-05	0,1 %
DX au point C	'AUTRE_ASTER'	-1,29919E-05	0,1 %
DX au point D	'AUTRE_ASTER'	-8,09569E-06	0,1 %
DX au point E	'AUTRE_ASTER'	-3,90803E-06	0,1 %

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

6 Synthèse des résultats

Le cas-test PERF017 permet d'observer les trois états des conditions de contact, à savoir le décollement, le contact glissant et le contact adhérant.

Ce cas test permet de mettre en évidence des résultats satisfaisants pour des modélisations 3D, en particulier la satisfaction de la condition LBB pour la modélisation du contact-frottant avec X-FEM.

Les objectifs de ce test sont atteints :

1) avec une erreur relative par rapport à la solution de référence de moins de 1% pour les déplacements,
2) en utilisant les méthodes de lagrangien augmenté et de pénalisation pour le traitement du contact-frottement.

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