SSNV209 – 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. Une plaque rectangulaire est soumise à des forces de pression horizontales et verticales et est comprimée sur un plan où elle subit des forces de contact et de frottement.

Il s'agit d'un cas équivalent au cas-test ssnv128 [V6.04.128], mais résolu avec la méthode XFEM.

Ce test met en jeu différents maillages, en $2D$ et $3D$, dans le cadre de calculs X-FEM [R7.02.12]

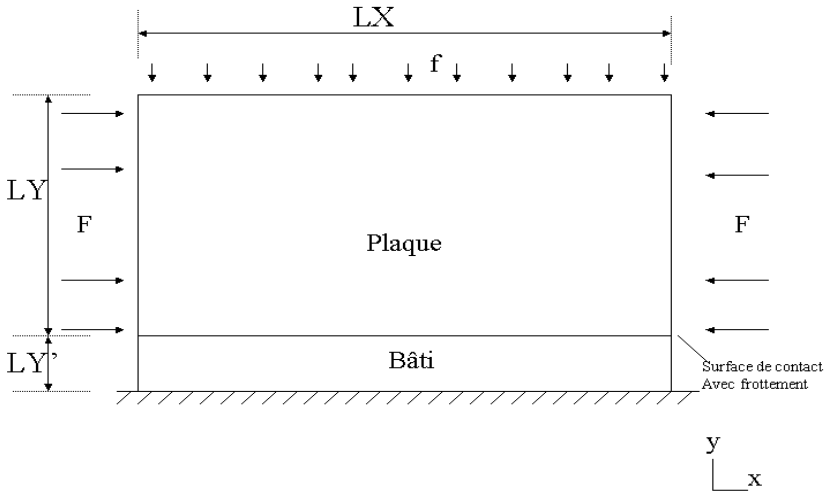
Il comporte 14 modélisations et permet de tester:

- les modélisations $2D$ (QUAD4, TRIA3, QUAD8, TRIA6) et $3D$ (HEXA8, TETRA4),
- une position de fissure à l'interface ou au milieu des éléments,
- l'opérande XFEM du mot clé CONTACT
- l'intégration par sous-éléments (issus de XFEM) d'une grandeur dépendant d'une variable de commande
- les différents schémas d'intégration pour les termes de contact (NŒUD, SIMPSON, NCOTES)
- les formulations avec lagranges sur les arêtes et celles avec lagranges sur les nœuds (du maillage initial)
- 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 en 2D

1.1 Géométrie



La structure est un rectangle constitué de deux plaques de même matériau, séparées par une interface.

Les dimensions de la plaque, sur laquelle les pressions sont appliquées, sont :
$LX = 80\text{mm}$, $LY = 40\,mm$

La seconde plaque, assimilée à un bâti, a les dimensions suivantes :
$LX = 80\text{mm}$, $LY' = 10\,mm$

La position des points de référence sous la surface de contact (mm) est :

	x	y
A	0	0
B	1.25	0
C	5.	0
D	7.5	0
E	11.25	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].

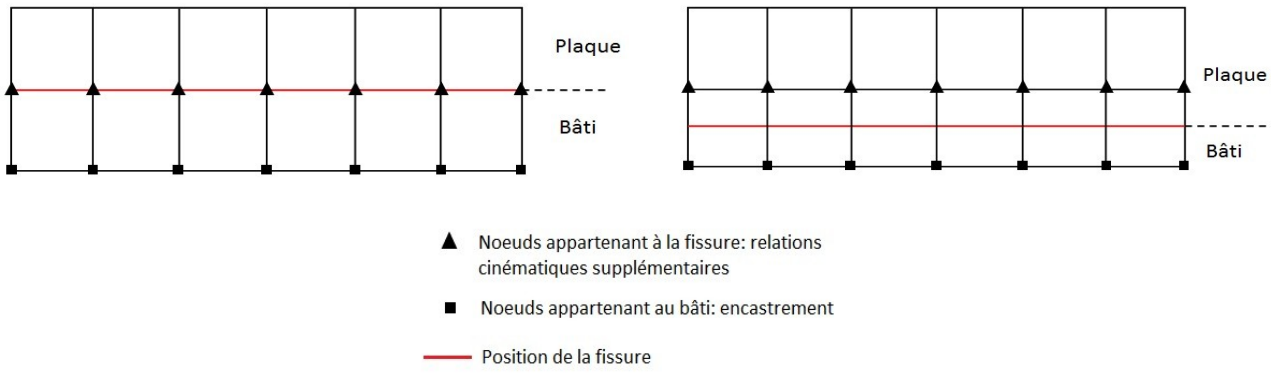
Le bâti rigide, de même largeur que la plaque, est bloqué entièrement par un encastrement. Les DDL de déplacement des nœuds du bâti selon X et Y sont mis à 0 :

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

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 :

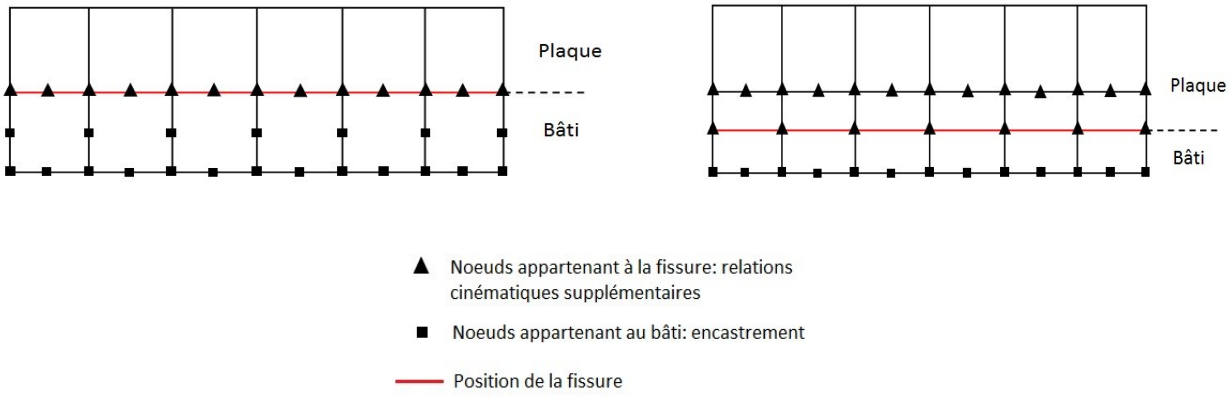
$$DX_{NPLAQUE}-2\,HX_{NPLAQUE}=0 \qquad DY_{NPLAQUE}-2\,HY_{NPLAQUE}=0$$

La figure suivante montre les nœuds qui portent ces relations cinématiques selon le type de maillage : conforme (gauche) et non conforme (droite)



Pour un maillage **quadratique** voici la stratégie à suivre : maillage conforme (gauche) et non conforme (droite, avec fissure au milieu des éléments)

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



Les nœuds milieu appartiennent à la partie supérieure de l'interface quand l'interface passe par ces derniers. Si tout point du bâti a un déplacement nul il en résulte qu'aux nœuds milieu on a aussi la relation suivante :

$$DX_{NMILIEU} - 2\,HX_{NMILIEU} = 0 \qquad DY_{NMILIEU} - 2\,HY_{NMILIEU} = 0$$

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)

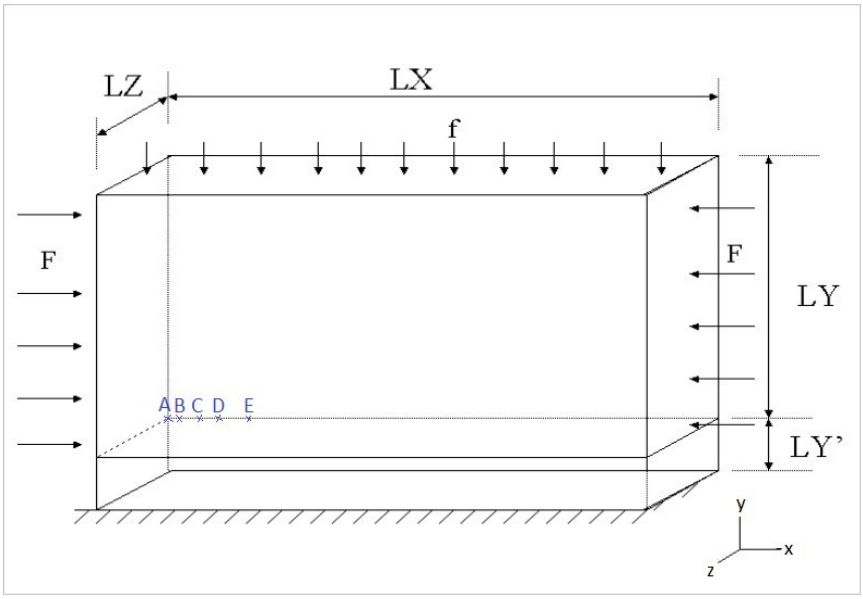
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Problème de référence en 3D

2.1 Géométrie

On prend en compte deux géométries :

Le première est obtenue par extrusion de la géométrie du problème $2D$: la structure est alors un parallélépipède rectangle.



Les dimensions de la partie supérieure sur laquelle les pressions sont appliquées, sont fixes :
$LX = 80\text{mm}$, $LY = 40\,mm$ et $LZ = 1\text{mm}$

La partie inférieure assimilée à un bâti, a les dimensions suivantes :
$LX = 80\text{mm}$, $LY' = 10\,mm$ et $LZ = 1\text{mm}$

La position des points de référence sous la surface de contact (mm) est :

	x	y	z
A	0	0	0
B	1.25	0	0
C	5.	0	0
D	7.5	0	0
E	11.25	0	0

2.2 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)

2.3 Conditions aux limites et chargements

Le bâti rigide, de même largeur que la plaque, est bloqué entièrement par un encastrement. Les DDL de déplacement des nœuds du bâti selon X et Y 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 :

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

Les groupes de nœuds qui portent des équations supplémentaires (nœuds milieu par exemple) sont identiques à ceux du cas 2D expliqué en §1.3.

La plaque est soumise à deux pressions réparties :

- une pression verticale agissant sur la face du dessus : $f=-5\ daN/mm^2$,
- une 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)

3 Solution de référence

3.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence provient des résultats obtenus par la modélisation A ($2D$) et F ($3D$), à savoir une modélisation D_PLAN en $2D$ et 3D en $3D$ sous le mot clé FORMULATION='CONTINUE' de l'opérateur DEFI_CONTACT.

3.2 Résultats de référence

Déplacements tangentiels (selon X) aux points $A\,B\,C\,D\,E$ de la surface de contact.
Réaction normale au point milieu.

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

4 Modélisation A

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : D_PLAN pour tester l'opérande 'CONTINUE' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments SEG2 .

La plaque et le bâti sont maillés avec des éléments QUAD4.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 975
Nombre de mailles et types : 832 QUAD4 pour la plaque et le bâti.

4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Aster
RN au point milieu	1.04864 E+5
DX au point A	2.84595 E–5
DX au point B	2.70793 E–5
DX au point C	2.27403 E–5
DX au point D	1.97271 E–5
DX au point E	1.53641 E–5

4.4 Remarque

Ces résultats servent de référence pour les quatre modélisations qui suivent.

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

5 Modélisation B

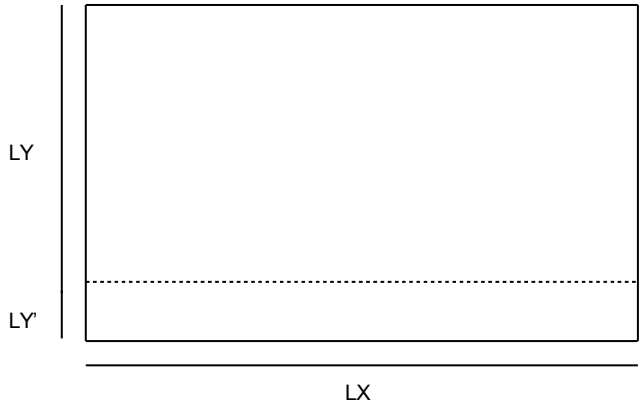
5.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : D_PLAN pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments SEG2 .

La structure est un rectangle sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY = 40\,mm$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet un séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe à l'interface des éléments.

La plaque et le bâti sont maillés avec des éléments QUAD4 64×25 .



Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX = 80\,mm$ et $LY = 40\,mm$
Bâti:
$LX = 80\,mm$ et $LY' = 10\,mm$

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1690
Nombre de mailles et types : 1600 QUAD4 pour la plaque et le bâti et 178 SEG2 pour les bords.

5.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance (%)
RN au point milieu	1.04864 E+5	0.1
DX au point A	2.84595 E–5	2,0
DX au point B	2.70793 E–5	2,0
DX au point C	2.27403 E–5	2,0
DX au point D	1.97271 E–5	2,0
DX au point E	1.53641 E–5	2,0

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

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

6 Modélisation C

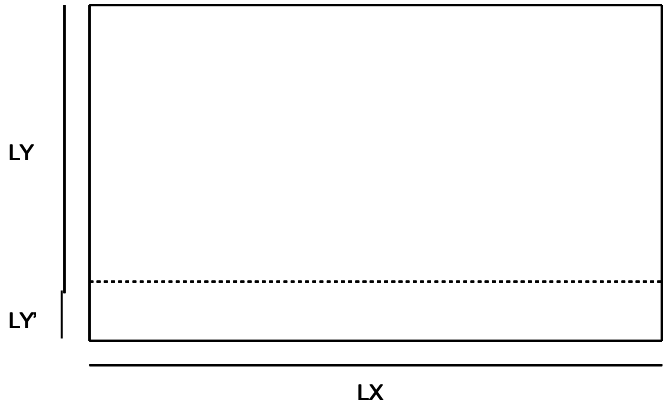
6.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : D_PLAN pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments SEG2 .

La structure est un rectangle sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY = 40\,mm$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet une séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe au milieu des éléments.

La condition de bâti rigide est introduite de la façon définie au paragraphe §1.3.



Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX = 80\,mm$ et $LY = 40\,mm$
Bâti:
$LX = 80\,mm$ et $LY' = \frac{3}{325}\,mm$

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1625
Nombre de mailles et types : 1536 QUAD4 pour la plaque et le bâti et 176 SEG2 pour les bords.

6.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance (%)
DX au point A	2.84595 E–5	2,0
DX au point B	2.70793 E–5	2,0
DX au point C	2.27403 E–5	2,0
DX au point D	1.97271 E–5	2,0
DX au point E	1.53641 E–5	2,0

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

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

7 Modélisation D

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : D_PLAN pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments SEG2 .

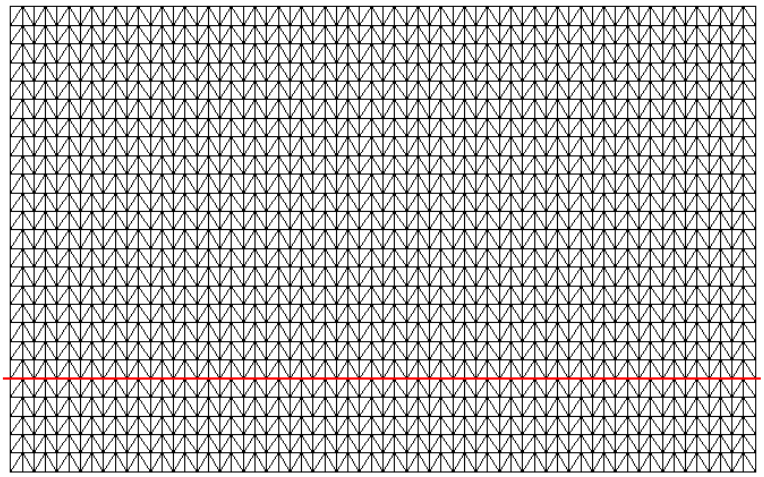
La structure est un rectangle, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY = 40\text{mm}$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet un séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe à l'interface des éléments.

Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX = 80\,mm$ et $LY = 40\text{mm}$
Bâti:
$LX = 80\,mm$ et $LY' = 10\text{mm}$

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1690
Nombre de mailles et types : 3200 TRIA3 pour la plaque et le bâti et 178 SEG2 pour les bords.



7.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance (%)
RN au point milieu	1.04864 E+5	10.0
DX au point A	2.84595 E–5	1.0
DX au point B	2.70793 E–5	1.0
DX au point C	2.27403 E–5	1.0
DX au point D	1.97271 E–5	1.0
DX au point E	1.53641 E–5	1.0

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

7.4 Remarques

Dans ce cas des oscillations du coefficient de Lagrange pour la pression apparaissent. Le point sur lequel la réaction RN est comparée à la référence est un point « bas » dans l'oscillation. Les points voisins ont une erreur d'environ $+8\%$.
Notons que l'on peut vérifier en diminuant le pas du maillage que la condition LBB est respectée : les oscillations diminuent en amplitude.

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

8 Modélisation E

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : D_PLAN pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments SEG2 .

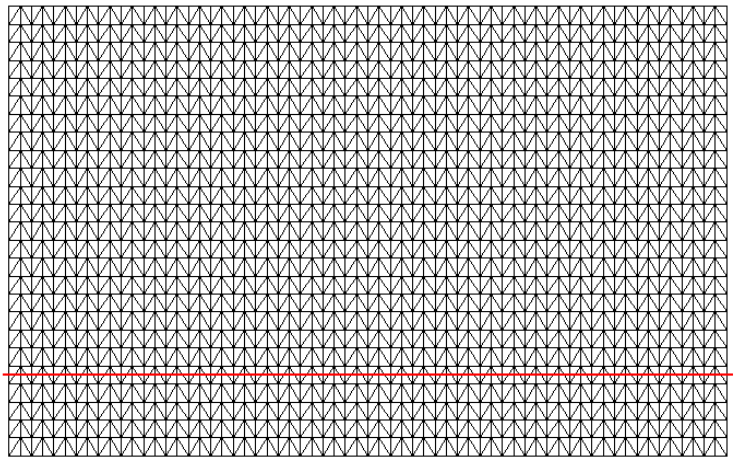
La structure est un rectangle sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY = 40\text{mm}$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet une séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe au milieu des éléments.

Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX = 80\,mm$ et $LY = 40\text{mm}$
Bâti:
$LX = 80\,mm$ et $LY' = \frac{3}{325}mm$

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1625
Nombre de mailles et types : 3072 TRIA3 pour la plaque et le bâti et 176 SEG2 pour les bords.



8.3 Grandeurs testées et résultats

Dans ce test, on valide le contact XFEM pour une fissure non-coïncidente avec le maillage.

Identification	Référence	Tolérance (%)
RN au point milieu	1.04864 E+5	5.0
DX au point A	2.84595 E–5	1.0
DX au point B	2.70793 E–5	1.0
DX au point C	2.27403 E–5	1.0
DX au point D	1.97271 E–5	1.0
DX au point E	1.53641 E–5	1.0

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

9 Modélisation F

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : 3D pour tester l'opérande 'CONTINUE' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments HEXA8 .

La géométrie, les conditions aux limites et les chargements sont ceux du problème de référence $3D$ décrit paragraphe §2 'Problème de référence en $3D$ '.

La plaque et le bâti sont maillés avec des éléments HEXA8.

Le blocage des mouvements de corps rigide se fait en bloquant le déplacement suivant l'axe Z, soit DZ pour les 4 nœuds aux coins de la face supérieure. Il faut bloquer ces modes pour la première itération de contact, au cours de laquelle le frottement n'est pas activé. Ensuite, le frottement empêche ces mouvements.

Ce cas sert de référence pour les cas $3D$ XFEM suivants.

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1950
Nombre de mailles et types : 832 HEXA8 pour la plaque et le bâti.
1108 QUAD4 pour les éléments de bord.

9.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Aster
DX au point A	3.06970 E–5
DX au point B	2.92588 E–5
DX au point C	2.47360 E–5
DX au point D	2.15871 E–5
DX au point E	1.70045 E–5

9.4 Remarques

Pour les calculs en $3D$, les conditions aux limites $DZ=0$ (pour se ramener à un problème $2D$) ne sont pas respectées pour éviter une allocation de mémoire trop importante. On en impose un minimum pour bloquer les mouvements de corps rigide.

Ces résultats servent de références pour les deux modélisations suivantes.

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

10 Modélisation G

10.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : 3D pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments HEXA8 .

La géométrie, les conditions aux limites et les chargements sont ceux du problème de référence $3D$ décrit paragraphe §2 'Problème de référence en $3D$ '.

10.2 Géométrie

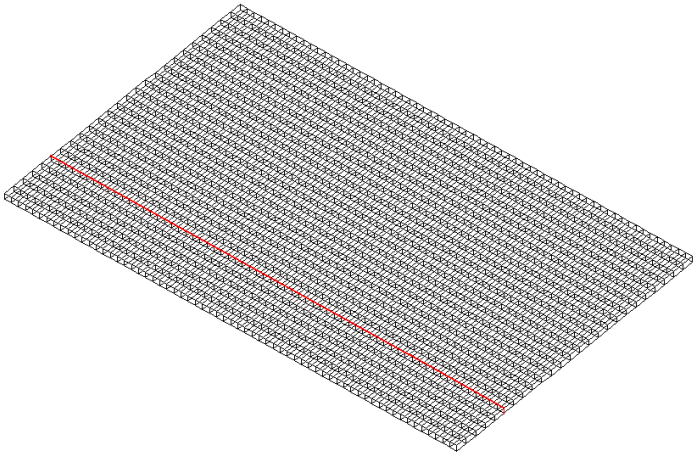
La structure est un parallélépipède sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY=40\text{mm}$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet un séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe à l'interface des éléments.

Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX=80\text{mm}$, $LY=40\text{mm}$ et $LZ=1\text{mm}$
Bâti:
$LX=80\text{mm}$, $LY'=10\text{mm}$ et $LZ=1\text{mm}$

10.3 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 3380
Nombre de mailles et types : 1600 HEXA8 pour la plaque et le bâti et
1778 QUAD4 pour les faces de bords .



10.4 Grandeurs testées et résultats

Dans ce test, on valide le contact XFEM pour une fissure coïncidente avec le maillage en $3D$.

Identification	Référence	Tolérance (%)

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

DX au point A	3.06970 E–5	1.0
DX au point B	2.92588 E–5	1.0
DX au point C	2.47360 E–5	1.0
DX au point D	2.15872 E–5	1.0
DX au point E	1.70046 E–5	1.0

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

11 Modélisation H

11.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : 3D pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments HEXA8 .

La géométrie, les conditions aux limites et les chargements sont ceux du problème de référence $3D$ décrit paragraphe §5 'Problème de référence en $3D$ '.

11.2 Géométrie

La structure est un parallélépipède sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY=40\text{mm}$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet un séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe au milieu des éléments.

Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX=80\text{mm}$, $LY=40\text{mm}$ et $LZ=1\text{mm}$
Bâti:
$LX=80\text{mm}$, $LY'=\frac{3}{325}mm$ et $LZ=1\text{mm}$

11.3 Caractéristiques du maillage

Pour ce cas, le maillage a été réduit afin de limiter le temps de calcul. En conséquence, les nœuds B et E ne sont plus dans le maillage et les déplacements en ces points ne sont pas calculés.

Nombre de nœuds : 858
Nombre de mailles et types : 384 HEXA8 pour la plaque et le bâti
472 QUAD4 pour les faces de bords

11.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance (%)
DX au point A	3.06970 E–5	1.0
DX au point C	2.47360 E–5	1.0
DX au point D	2.15872 E–5	1.0

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

12 Modélisation K

12.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : D_PLAN_XFEM_CONT pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION de l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments SEG2 .

La structure est un rectangle sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY=40\text{mm}$ du bord supérieur de la plaque.

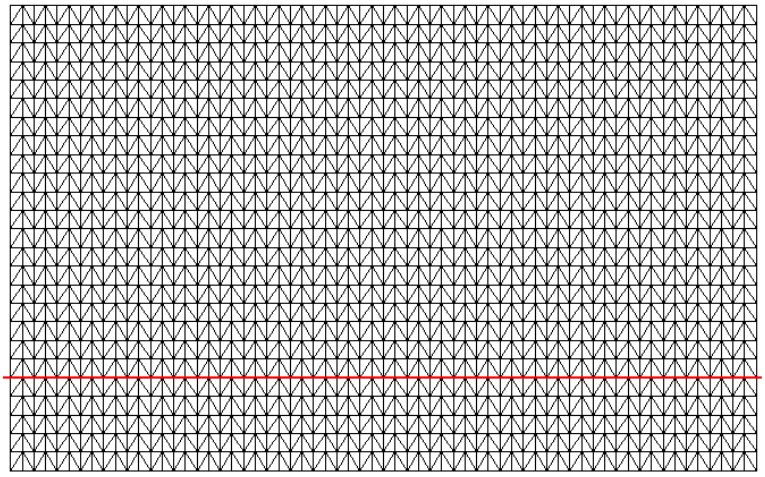
Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet un séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe à l'interface des éléments.

La méthode pénalisée est utilisée pour le traitement du contact-frottement.

Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX=80\,mm$ et $LY=40\text{mm}$
Bâti:
$LX=80\,mm$ et $LY=10\text{mm}$

12.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1690
Nombre de mailles et types : 3200 TRIA3 pour la plaque et le bâti et 178 SEG2 pour les bords.



12.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance (%)
RN au point milieu	1.04864 E+5	10.0
DX au point A	2.84595 E–5	1.0
DX au point B	2.70793 E–5	1.0
DX au point C	2.27403 E–5	1.0
DX au point D	1.97271 E–5	1.0
DX au point E	1.53641 E–5	1.0

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

13 Modélisation L

13.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : 3D pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments HEXA8 .

La géométrie, les conditions aux limites et les chargements sont ceux du problème de référence $3\mathrm{D}$ décrit paragraphe §2 'Problème de référence en $3\mathrm{D}$ '.

La méthode pénalisée est utilisée pour le traitement du contact-frottement.

13.2 Géométrie

La structure est un parallélépipède sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY=40\mathrm{mm}$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet un séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe au milieu des éléments.

Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX=80mm$, $LY=40mm$ et $LZ=1mm$
Bâti:
$LX=80mm$, $LY'=\frac{1}{19}LY$ et $LZ=1mm$

13.3 Caractéristiques du maillage

Pour ce cas, le maillage a été réduit afin de limiter le temps de calcul. En conséquence, les nœuds B et E ne sont plus dans le maillage et les déplacements en ces points ne sont pas calculés.

Nombre de nœuds : 858
Nombre de mailles et types : 384 HEXA8 pour la plaque et le bâti
472 QUAD4 pour les faces de bords

13.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance (%)
DX au point A	3.06970 E–5	1.0
DX au point C	2.47360 E–5	1.0
DX au point D	2.15872 E–5	1.0

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

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

14 Modélisation M

14.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : D_PLAN_XFEM_CONT pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments SEG3 .

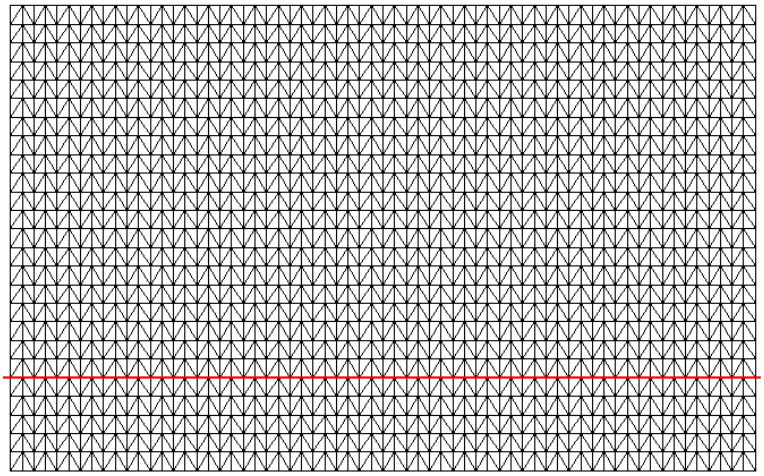
La structure est un rectangle sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY=40\text{mm}$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet un séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe à l'interface des éléments.

Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX=80\,mm$ et $LY=40\text{mm}$
Bâti:
$LX=80\,mm$ et $LY'=10\text{mm}$

14.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1690
Nombre de mailles et types : 3200 TRIA6 pour la plaque et le bâti et 178 SEG3 pour les bords.



14.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance (%)
DX au point A	2.8617 E–5	1,0
DX au point B	2.7229 E–5	1,0
DX au point C	2.2855 E–5	1,0
DX au point D	1.9805 E–5	1,0
DX au point E	1.5411 E–5	1,0

Les valeurs de référence sont issues de la modélisation A (FEM).

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

15 Modélisation N

15.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : D_PLAN_XFEM_CONT pour tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT pour des éléments SEG3. Elle sert aussi à valider le mot clé 'AUTO' pour ALGO_LAGR dans DEFI_CONTACT.

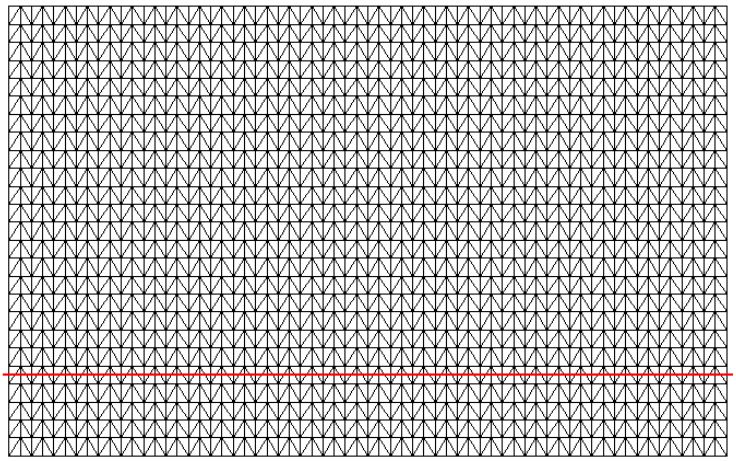
La structure est un rectangle sain, dans lequel une fissure sera introduite directement dans le ficher de commande à l'aide de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM [U4.82.08]. La fissure est présente à une distance $LY = 40\text{mm}$ du bord supérieur de la plaque.

Le fond de fissure est situé en dehors de la structure, ce qui permet une séparation totale. Cette modélisation est telle que la fissure se situe au milieu des éléments.

Les dimensions sont les suivantes :
Plaque :
$LX = 80\,mm$ et $LY = 40\text{mm}$
Bâti:
$LX = 80\,mm$ et $LY' = \frac{3}{325} mm$

15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1625
Nombre de mailles et types : 3072 TRIA6 pour la plaque et le bâti et 176 SEG3 pour les bords.



15.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Tolérance (%)
DX au point A	2.8617 E–5	1,0
DX au point B	2.7229 E–5	1,0
DX au point C	2.2855 E–5	1,0
DX au point D	1.9805 E–5	1,0
DX au point E	1.5411 E–5	1,0

Les valeurs de référence sont issues de la modélisation A (FEM).

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

16 Modélisation R

16.1 Caractéristiques de la modélisation

Nous reprenons des caractéristiques identiques à la modélisation H, mis à part le maillage qui est quadratique. L'objectif est donc de tester l'opérande ' XFEM ' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT , avec frottement (FROTTEMENT='COULOMB') pour une modélisation 3D, mais avec une discrétisation P2P1 (CONTACT='P2P1' renseigné dans MODI_MODELE_XFEM), ce qui différencie cette modélisation de la modélisation H.
Pour rappel, la géométrie, les conditions aux limites et les chargements sont ceux définis paragraphe §2.1, correspondant au problème de référence 3D décrit paragraphe §2 'Problème de référence en 3D '.

16.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est celui de la modélisation H que l'on a rendu quadratique. Comme pour la modélisation H, les nœuds B et E ne sont plus dans le maillage et les déplacements en ces points ne sont pas calculés.

16.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les résultats avec les références de la modélisation F. L'erreur est de quelques pour-cents (1% max) compte-tenu de la différence d'interpolation du déplacement, qui est quadratique pour cette modélisation et linéaire pour la référence.

Identification	Référence	Tolérance (%)
DX au point A	-2.3713E-05	1.0
DX au point C	-1.8445E-05	1.0
DX au point D	-1.568E-05	1.0

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

17 Modélisation S

17.1 Caractéristiques de la modélisation

Nous reprenons des caractéristiques identiques à la modélisation R, mais en traitant le problème en grands glissements. Pour récapituler, l'objectif est donc de tester l'opérande 'XFEM' du mot-clé FORMULATION sous l'opérateur DEFI_CONTACT, avec frottement (FROTTEMENT='COULOMB') pour une modélisation 3D, avec une discrétisation P2P1 (CONTACT='P2P1' renseigné dans MODI_MODELE_XFEM), mais en grands glissements (REAC_GEOM='CONTROLE' renseigné dans DEFI_CONTACT) ce qui différencie cette modélisation de la modélisation R.

Pour rappel, la géométrie, les conditions aux limites et les chargements sont ceux définis paragraphe §2.1, correspondant au problème de référence 3D décrit paragraphe §2 'Problème de référence en 3D'.

17.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est celui de la modélisation H que l'on a rendu quadratique. Comme pour la modélisation H, les nœuds B et E ne sont plus dans le maillage et les déplacements en ces points ne sont pas calculés.

17.3 Grandeurs testées et résultats

On teste les résultats avec les références de la modélisation F. L'erreur est de quelques pour-cents (3% max) compte-tenu de la différence d'interpolation du déplacement, qui est quadratique pour cette modélisation et linéaire pour la référence.

Identification	Référence	Tolérance (%)
DX au point A	-2.3713E-05	2.0
DX au point C	-1.8445E-05	3.0
DX au point D	-1.568E-05	3.0

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

18 Synthèse des résultats

Le cas test ssnv209 permet d'observer les trois états des conditions de contact, à savoir le décollement, le contact glissant et le contact adhérant. Il met également en jeu des modélisations $2D$ et $3D$ avec des éléments de différentes natures (quadrangles, triangles, parallélépipèdes) dans le cadre de X-FEM.

Ce cas test permet de mettre en évidence des résultats satisfaisants pour des modélisations $2D$ et $3D$, 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) que la fissure soit au milieu d'un élément ou à l'interface,
3) que la modélisation soit en $2D$ ou en $3D$,
4) que la formulation place les inconnues de contact aux arêtes des éléments ou aux nœuds,
5) avec plusieurs schéma d'intégration pour les termes de contact (NOEUD, SIMPSON, NCOTES),
6) en utilisant les coefficients (frottement et pression) de la formulation généralisée (COEF_REGU_CONT, COEF_STAB_CONT, COEF_REGU_FROT, COEF_STAB_FROT),
7) 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)