SSNV513 – Bloc découpé par trois interfaces se branchant séquentiellement avec X-FEM

Résumé :

Ce test permet de valider l'approche jonction avec X-FEM. Il s'agit d'un cas test où l'on introduit trois fissures. La première fissure coupe complètement le domaine. La deuxième se branche sur la première via le mot clé JONCTION de l'opérateur DEFI_FISS_XFEM. La troisième se branche sur la deuxième. On teste l'approche avec et sans contact.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

La structure est un carré sain dans lequel on introduit trois interfaces, en rouge sur la figure 1.1-a. La première est oblique et coupe entièrement le domaine. La deuxième est verticale. Elle se branche sur la première. La troisième est horizontale. Elle se branche sur la deuxième. Les dimensions de la structure ainsi que la position des interfaces sont données sur la figure 1.1-a et s'expriment en mètres, $[\mathrm{m}]$.

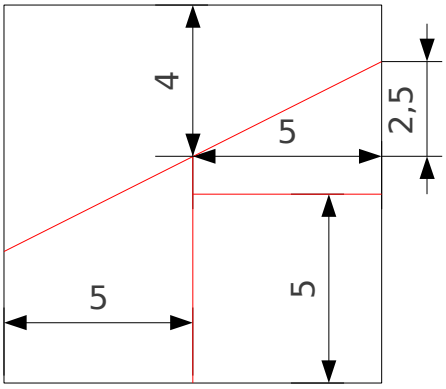


Figure 1.1-a : Géométrie de la structure et positionnement des interfaces.

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau a un comportement élastique isotrope définis par les paramètres matériau suivants:
Module d'Young : $100\,\mathrm{MPa}$
Coefficient de poisson : 0.3

1.3 Conditions aux limites et chargements

Dans le cas sans contact (modélisations A à D), on applique des conditions en déplacement sur les bords gauche et droit de la structure, de manière à ce que chacune des 4 zones ait un déplacement différent des autres selon X. Ce chargement est représenté figure 1.3-a. On bloque les déplacements en Y (et en Z pour les modélisations 3D) sur ces mêmes bords.

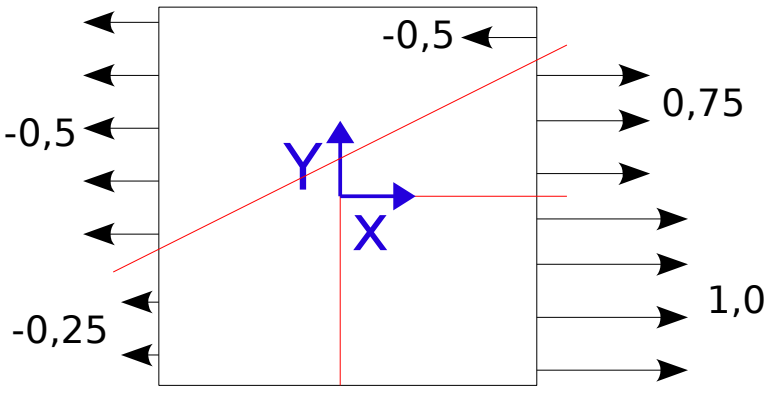


Figure 1.3-a : Illustration des conditions aux limites et des chargements, cas sans contact.

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

Dans le cas du contact (modélisations E à H), on impose des conditions de rouleau sur les bords gauche et bas et on applique une pression homogène sur les bords droit et haut de $1\ \mathrm{MPa}$. Ce chargement est représenté figure 1.3-b. Chaque bloc est alors compressé de manière uniforme selon X et Y.

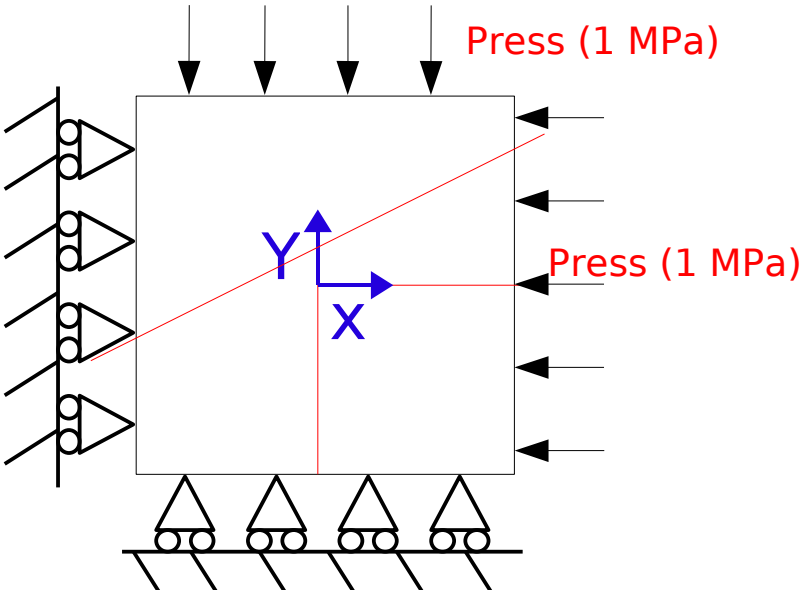


Figure 1.3-b : Illustration des conditions aux limites et des chargements, cas avec contact.

2 Solution de référence

Sans contact, chaque zone doit subir un mouvement de corps rigide correspondant à la condition limite imposée sur son bord (droit ou gauche).

Avec contact, les 4 blocs subissent une compression uniforme suivant X et Y. On peut exprimer le déplacement de la structure de la manière suivante :

$$Depl_X(X) = -(5+X)\frac{Press}{E}$$

éq 2.1-1

$$Depl_Y(Y) = -(5+Y)\frac{Press}{E}$$

éq 2.1-2

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation $\mathrm{X\text{-}FEM}$, en déformations planes (`D_PLAN`). Les interfaces sont définies par des fonctions de niveaux (level sets normales notées LN).

Les équations des fonctions de niveaux pour les interfaces obliques, horizontale et verticale sont les suivantes :

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

$$LN1 = Y - 1 - \frac{X}{2}$$

éq 3.1-1

$$LN2 = Y$$

éq 3.1-2

$$LN3 = X$$

éq 3.1-3

L'interface oblique est définie de manière classique en utilisant l'opérateur DEFI_FISS_XFEM avec la level set normale $LN1$. Pour définir l'interface verticale, on appelle l'opérateur DEFI_FISS_XFEM avec la level set normale $LN2$, en définissant un branchement avec la fissure oblique via le mot clé JONCTION, et en choisissant un point « en dessous » de l'interface oblique dans l'opérande POINT. Cette étape permet de définir la fissure 2 dans le domaine en dessous de la première (voir figure 3.1-a au centre).
Pour définir l'interface horizontale, on appelle l'opérateur DEFI_FISS_XFEM avec la level set normale $LN3$, en définissant un branchement avec la fissure verticale via le mot clé JONCTION, et en choisissant un point « à droite » dans l'opérande POINT. Cette étape permet de définir la fissure 3 dans le domaine à droite de la deuxième fissure (voir figure 3.1-a à droite).

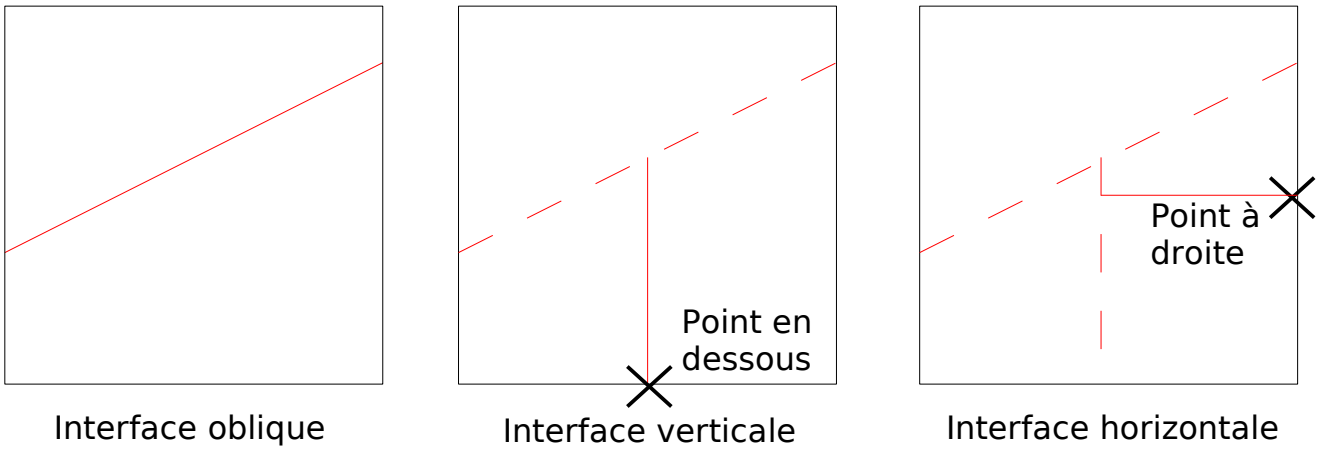


Figure 3.1-a : Étapes de construction de l'intersection.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage qui comporte 25 mailles de type QUAD4 est représenté sur la figure 3.2-a.
On remarque sur cette figure que la maille centrale est coupée par les trois interfaces. Ce test permet donc de valider le découpage multiple. Les nœuds de cette maille sont enrichis 3 fois : ils possèdent donc les degrés de liberté DX, DY, H1X, H1Y, H2X, H2Y, H3X et H3Y.

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

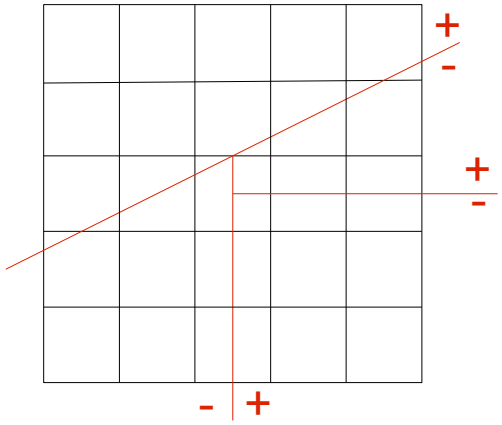


Figure 3.2-a : Le maillage de la modélisation A.

L'intérêt de ce test est de vérifier que l'ajout de 3 fonctions de discontinuité à la fonction de forme standard pour chaque nœud de la maille centrale permet de représenter la cinématique de déplacement des 4 domaines générés par les deux branchements (voire figure 3.2-b).

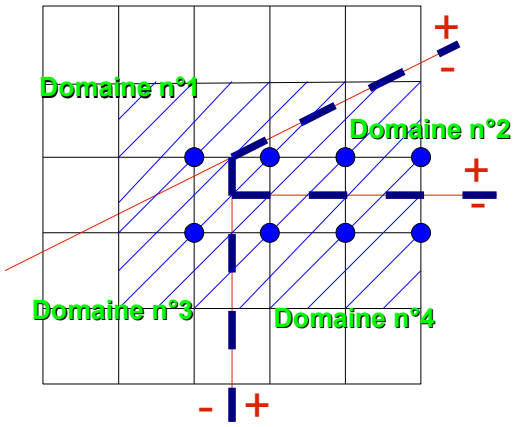


Figure 3.2-b : nœuds multi-heaviside et domaines de discontinuité représentés.

3.3 Fonctionnalités testées

On teste l'opérateur DEFI_FISS_XFEM avec l'utilisation du mot clé JONCTION, qui permet de définir des branchements de fissures en X-FEM . On teste aussi l'opérateur MODI_MODELE_XFEM dans le cas des mailles qui sont coupées par plusieurs fissures. Le multi-Heaviside et le multi-stockage desstructures de Données (SD) X-FEM est bien entendu activé. On vérifie l'attribution des fonctions Heaviside dans les sous- éléments d'intégration du support de la fissure horizontale (en bleu sur la figure 3.2-b).
On teste l'assemblage des ddegrés de liberté Heavisides au niveau des matrices et des seconds membres des éléments connectés à l'intersection pour l'option COMPORTEMENT dans STAT_NON_LINE.
On valide aussi le post-traitement X-FEM dans le cas du multi-découpage, avec les opérateurs POST_MAIL_XFEM et POST_CHAM_XFEM.

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

3.4 Grandeurs testées et résultats

On teste les déplacements au niveau des lèvres des fissures après avoir effectué les opérations de post-traitements relatifs à X-FEM (POST_MAIL_XFEM et POST_CHAM_XFEM). Le déplacement DX doit correspondre au chargement imposé de la figure 1.3-a sur chacune des zones et DY doit être nul. On teste les valeurs minimum et maximum sur les lèvres de chacune des zones.

Identification			*Référence*	*% tolérance*
DEPZON_1	DX	MIN	-0.25	1.00E-11
		MAX	-0.25	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_2	DX	MIN	-0.5	1.00E-11
		MAX	-0.5	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_3	DX	MIN	0.75	1.00E-11
		MAX	0.75	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_4	DX	MIN	0.75	1.00E-11
		MAX	0.75	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11

Tableau 3.4-1

La déformée est représentée sur la figure 3.4-a. Le code couleur représente le champ de déplacement.

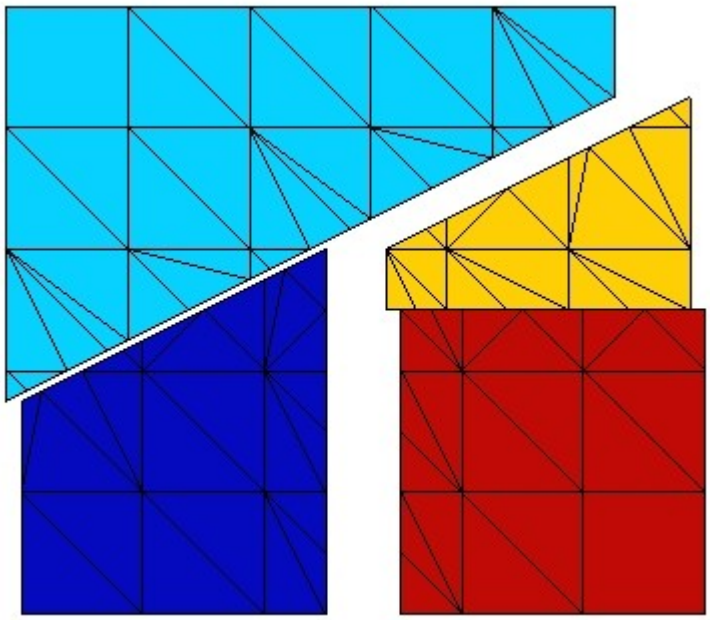


Figure 3.4-a : Déformée de la structure.

3.5 Remarques

On obtient de très bon résultats pour ce test, l'erreur relevée correspondant au résidu numérique.

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit de la même modélisation que la modélisation A, mais en contraintes planes (C_PLAN). Les jonctions sont construites de la même manière.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage qui comporte 54 mailles de type TRIA3 est représenté sur la figure 4.2-a. Le maillage est suffisamment peu raffiné pour se retrouver dans la même situation que pour la modélisation A (figure 4.2-b).

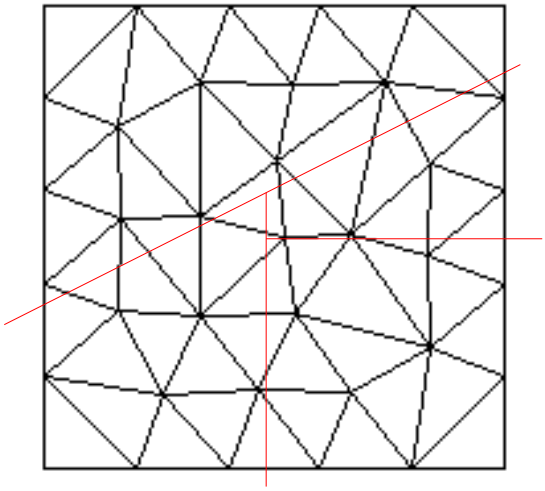


Figure 4.2-a : Le maillage de la modélisation B.

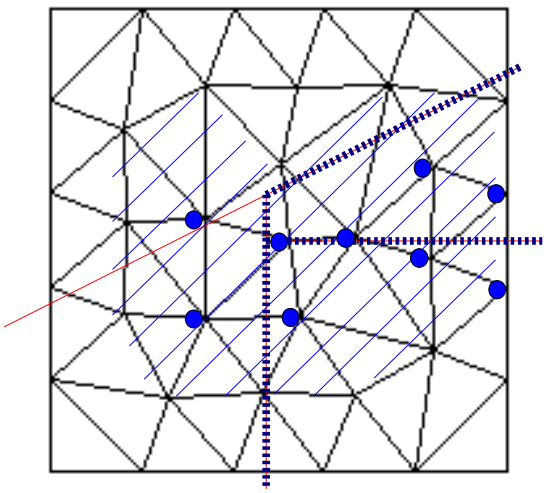


Figure 4.2-b : Valeur de la fonction Heaviside pour la fissure horizontale et son support.

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

4.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles présentées pour la modélisation A.

Identification			*Référence*	*% tolérance*
DEPZON_1	DX	MIN	-0.25	1.00E-11
		MAX	-0.25	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_2	DX	MIN	-0.5	1.00E-11
		MAX	-0.5	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_3	DX	MIN	0.75	1.00E-11
		MAX	0.75	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_4	DX	MIN	0.75	1.00E-11
		MAX	0.75	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11

Tableau 4.3-1

La déformée est représentée sur la figure 4.4-a.

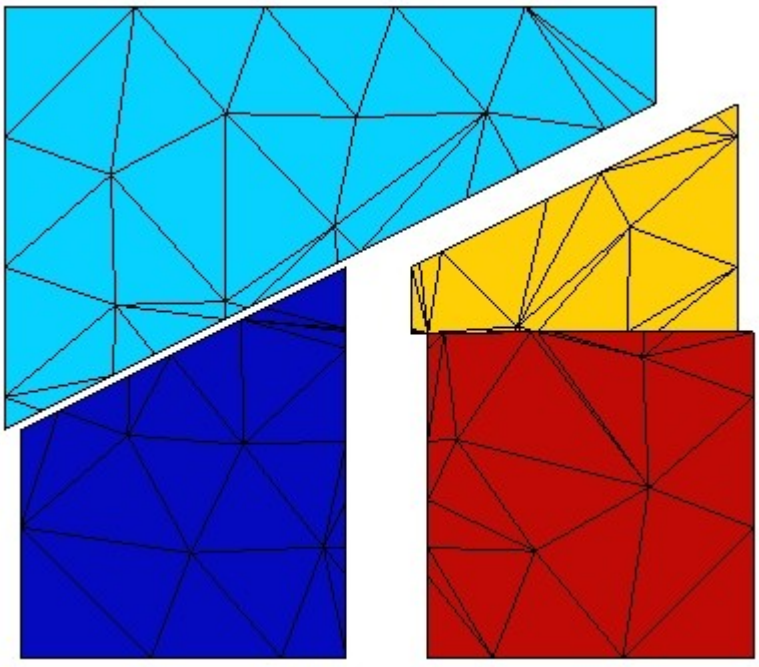


Figure 4.4-a : Déformée de la structure.

4.4 Remarques

Les remarques sont identiques à celles précisées pour la modélisation A.

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 A, mais en 3D. L'intersection est construite de la même manière.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage qui comporte 25 mailles de type HEXA8 est représenté sur la figure 5.2-a. Le maillage est suffisamment peu raffiné pour se retrouver dans la même situation que dans le cas de la modélisation A.

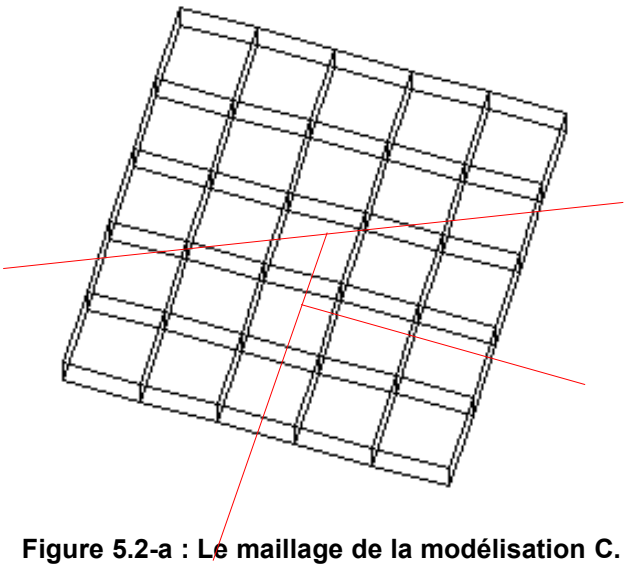


Figure 5.2-a : Le maillage de la modélisation C.

5.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles présentées pour la modélisation A et on ajoute des tests sur DZ.

Identification			*Référence*	*% tolérance*
DEPZON_1	DX	MIN	-0.25	1.00E-11
		MAX	-0.25	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_2	DX	MIN	-0.5	1.00E-11
		MAX	-0.5	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_3	DX	MIN	0.75	1.00E-11
		MAX	0.75	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_4	DX	MIN	0.75	1.00E-11
		MAX	0.75	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11

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

Tableau 5.3-1

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

La déformée est représentée sur la figure 5.4-a.

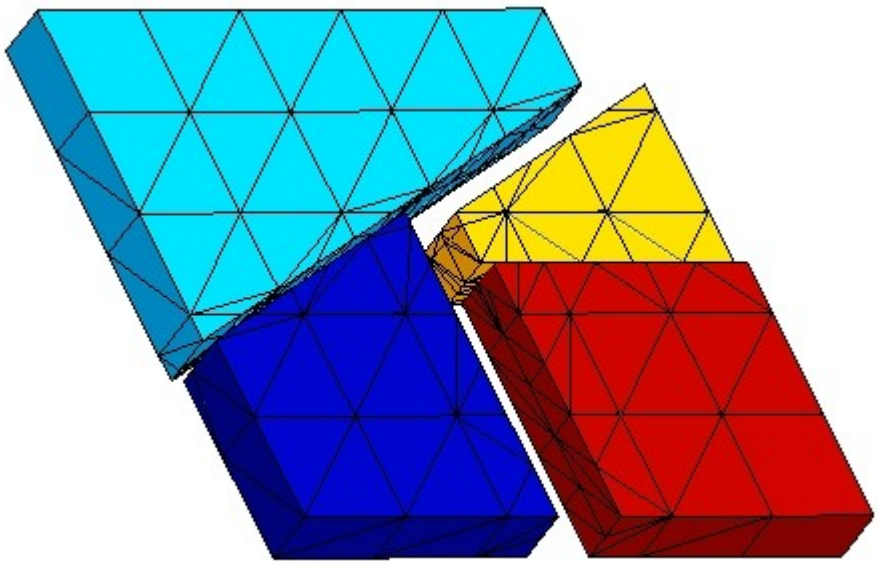


Figure 5.4-a : Déformée de la structure.

5.4 Remarques

Les remarques sont identiques à celles précisées pour la modélisation A.

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit de la même modélisation que la modélisation C.

6.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage qui comporte 162 mailles de type TETRA4 est représenté sur la figure 6.2-a. Le maillage est suffisamment peu raffiné pour se retrouver dans la même situation que dans la modélisation A.

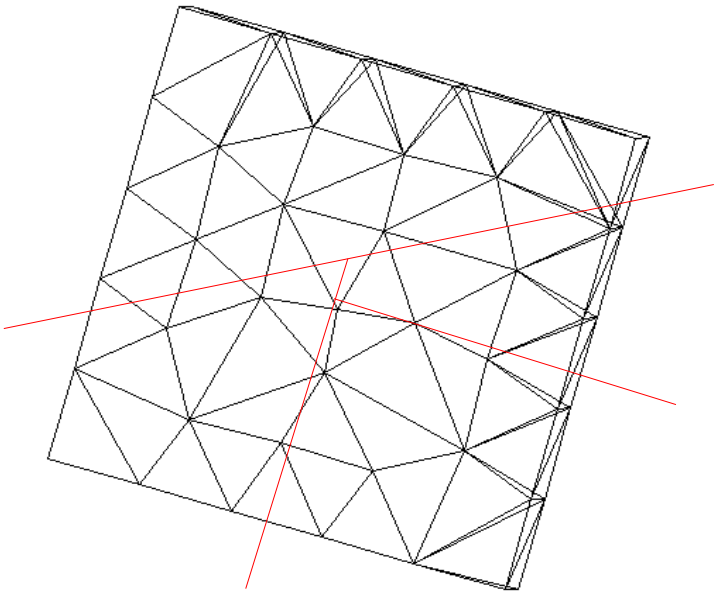


Figure 6.2-a : Le maillage de la modélisation D.

6.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles présentées pour la modélisation C.

Identification			*Référence*	*% tolérance*
DEPZON_1	DX	MIN	-0.25	1.00E-11
		MAX	-0.25	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_2	DX	MIN	-0.5	1.00E-11
		MAX	-0.5	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_3	DX	MIN	0.75	1.00E-11
		MAX	0.75	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11
DEPZON_4	DX	MIN	0.75	1.00E-11
		MAX	0.75	1.00E-11
	DY	MIN	0	1.00E-11
		MAX	0	1.00E-11

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

Tableau 6.3-1

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

La déformée est représentée sur la figure 6.4-a.

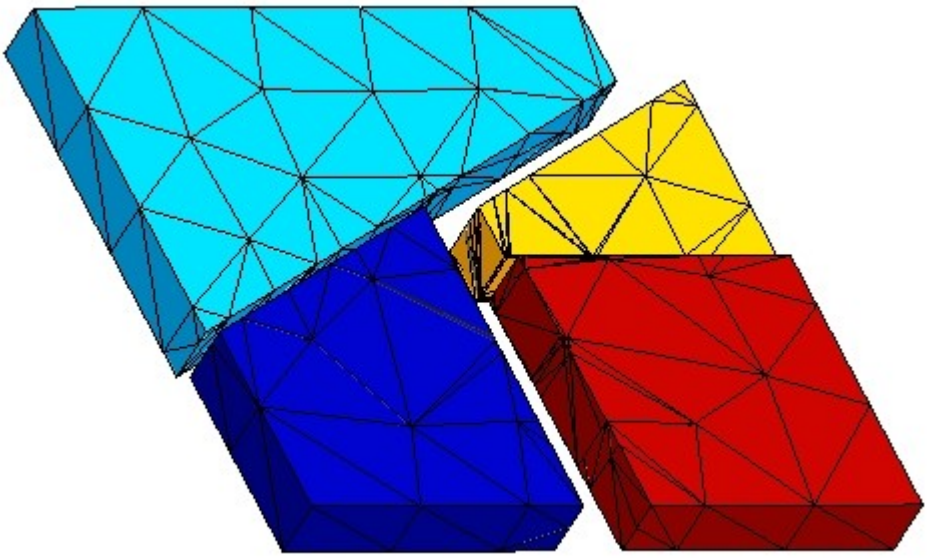


Figure 6.4-a : Déformée de la structure.

6.4 Remarques

Les remarques sont identiques à celles précisées pour la modélisation A.

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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit de la même modélisation que la modélisation A, mais on applique les conditions de chargement en contact. Les jonctions sont construites avec X-FEM et les fonctions de niveaux de la même manière que pour la modélisation A.

7.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage identique à celui de la modélisation A, est représenté figure 3.2-a. Notons que les nœuds de la maille coupée par les 3 fissures sont enrichis 3 fois, ils possèdent donc les degrés de liberté de contact LAGS_C, LAG2_C et LAG3_C en plus des degrés de liberté cinématiques.

7.3 Fonctionnalités testées

On teste les fonctionnalité déjà présentées pour la modélisation A. On teste aussi le contact X-FEM dans le cas de jonctions avec X-FEM via l'opérateur DEFI_CONTACT.

7.4 Grandeurs testées et résultats

On teste les déplacements au niveau des lèvres des fissures après avoir effectué les opérations de post-traitements relatives à X-FEM (POST_MAIL_XFEM et POST_CHAM_XFEM). Le déplacement DX doit suivre la fonction $Depl_X$ de l'équation 2.1-1. Le déplacement DY doit suivre la fonction $Depl_Y$ de l'équation 2.1-2. On obtient la déformée de la figure 7.4-a.

Identification			*Référence*	*tolérance*
DEPZON_1	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,06
		MAX	0	0,06
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,06
		MAX	0	0,06
DEPZON_2	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,06
		MAX	0	0,06
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,06
		MAX	0	0,06
DEPZON_3	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,06
		MAX	0	0,06
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,06
		MAX	0	0,06
DEPZON_4	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,06
		MAX	0	0,06
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,06
		MAX	0	0,06

Tableau 7.4-1

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

La déformée est représentée sur la figure 7.4-a. Le code couleur représente le champ de déplacement.

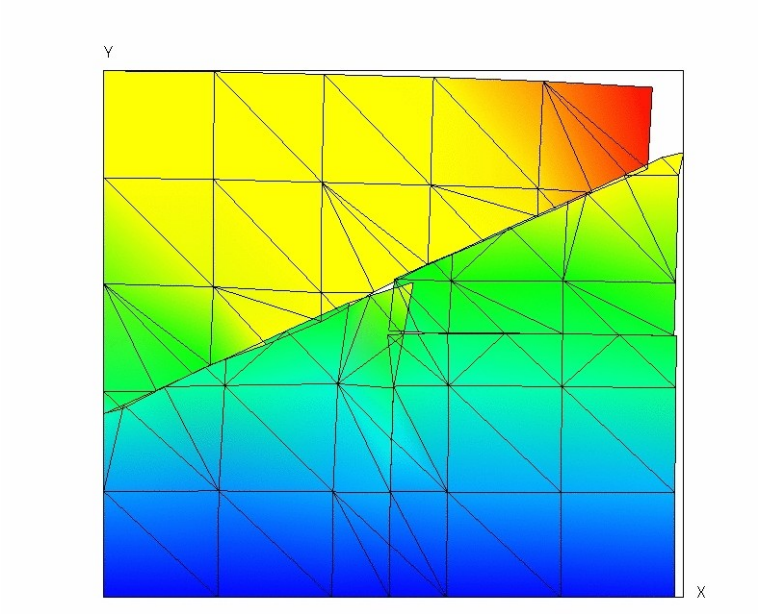


Figure 7.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

7.5 Remarques

On obtient une erreur élevée. En effet l'implémentation du redécoupage des facettes de contact n'a pas été implémenté. Les efforts de contact sur ces facettes ne sont pas prises en compte dans le calcul. La zone affecté concerne notamment les points de jonction (que l'on ne teste pas) ainsi que les éléments les contenant. Notons que les résultats sont nettement améliorer lorsqu'on raffine le maillage.

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

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit de la même modélisation que la modélisation E, mais en contraintes planes. Les jonctions sont construites de la même manière.

8.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage identique à celui de la modélisation B, est représenté sur la figure 4.2-a.

8.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles présentées pour la modélisation E.

Identification			*Référence*	*tolérance*
DEPZON_1	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
DEPZON_2	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
DEPZON_3	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
DEPZON_4	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05

Tableau 8.3-1

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

La déformée est représentée sur la figure 8.4-a.

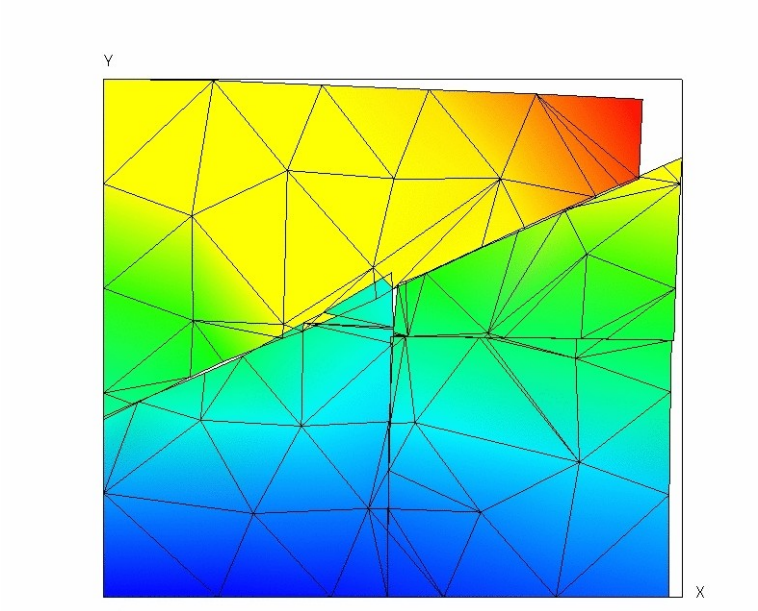


Figure 8.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

8.4 Remarques

Les remarques sont identiques à celles formulées pour la modélisation E.

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

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit de la même modélisation que la modélisation E, mais en $3D$. Les jonctions sont construites de la même manière.

9.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage identique à celui de la modélisation C, est représenté sur la figure 5.2-a.

9.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles présentées pour la modélisation E. On ajoute des tests sur DZ.

Identification			*Référence*	*tolérance*
DEPZON_1	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,07
		MAX	0	0,07
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,07
		MAX	0	0,07
DEPZON_2	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,07
		MAX	0	0,07
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,07
		MAX	0	0,07
DEPZON_3	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,07
		MAX	0	0,07
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,07
		MAX	0	0,07
DEPZON_4	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,07
		MAX	0	0,07
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,07
		MAX	0	0,07

Tableau 9.3-1

La déformée est représentée sur la figure 9.4-a.

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

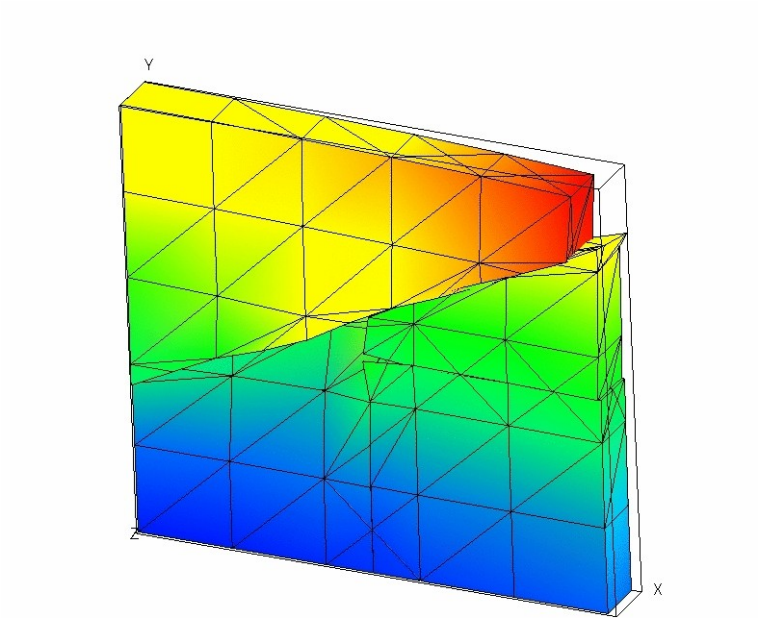


Figure 9.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

9.4 Remarques

Les remarques sont identiques à celles formulées pour la modélisation E.

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

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit de la même modélisation que la modélisation G.

10.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage identique à celui de la modélisation D, est représenté sur la figure 6.2-a.

10.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles présentées pour la modélisation G.

Identification			*Référence*	*tolérance*
DEPZON_1	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
DEPZON_2	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
DEPZON_3	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
DEPZON_4	DX- $Depl_X$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05
	DY- $Depl_Y$	MIN	0	0,05
		MAX	0	0,05

Tableau 10.3-1

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

La déformée est représentée sur la figure 10.4-a.

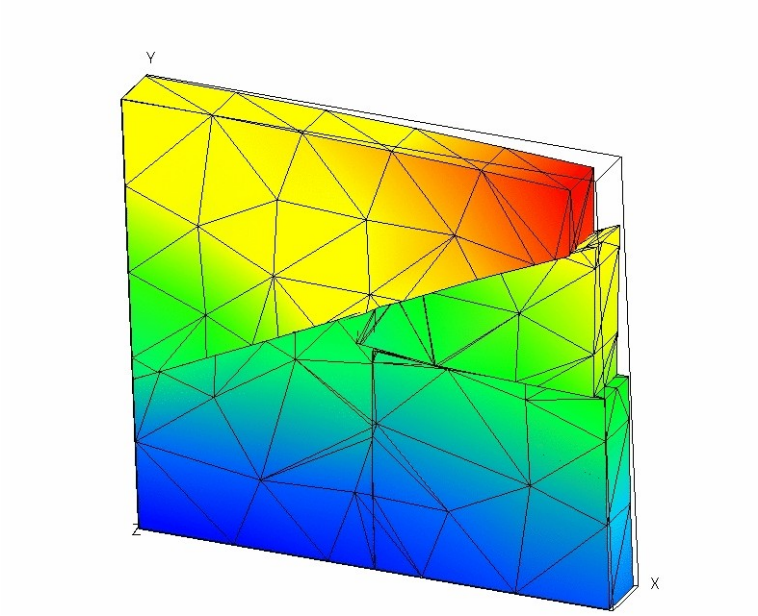


Figure 10.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

10.4 Remarques

Les remarques sont identiques à celles formulées pour la modélisation E.

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

11 Synthèse des résultats

Il est possible de représenter la jonction d'une fissure pour une fissure déjà issue d'une jonction. Les deux jonctions peuvent être proches et il n'est pas nécessaire de raffiner le maillage dans la zone qui contient les 2 jonctions .
L'approche a été validée en $2D$ pour des modélisations C_PLAN et D_PLAN et pour les éléments de type QUAD4 et TRIA3. On a aussi validé l'approche en $3D$ pour les éléments HEXA8 et TETRA4 avec et sans contact.

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