

## 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.

## 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, [m].

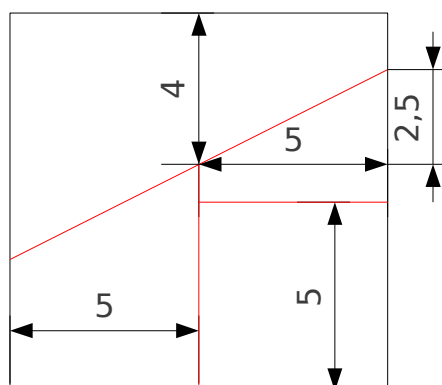


Figure 1.1-a : Géométrie de la structure et positionnement des interfaces.

### 1.2 Propriétés du matériau

Le matériau a un comportement élastique isotrope définis par les paramètres matériau suivants:

Module d'Young : 100 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.

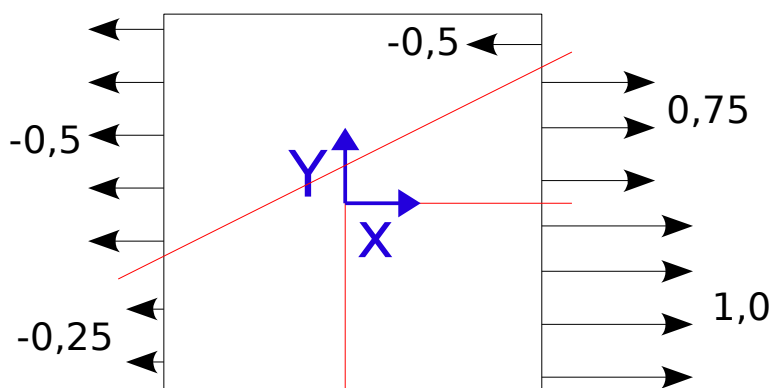


Figure 1.3-a : Illustration des conditions aux limites et des chargements, cas sans contact.

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

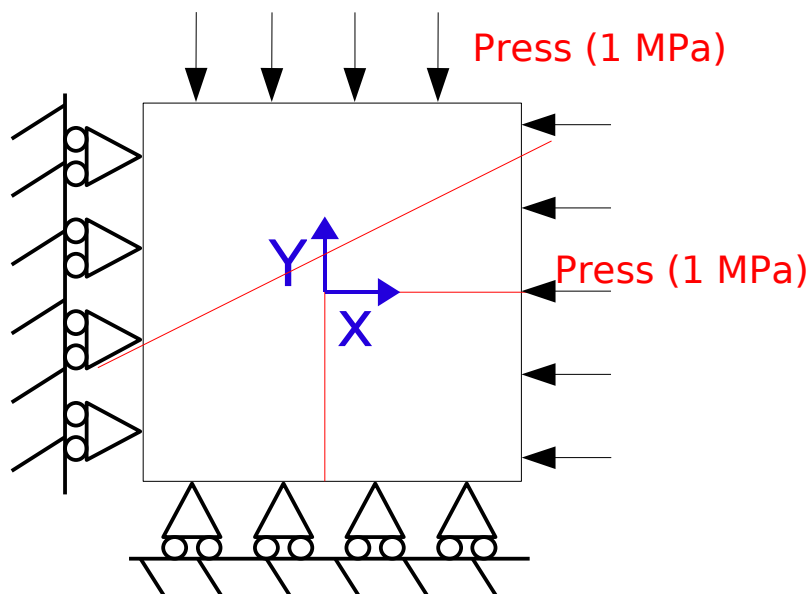


Figure 1.3-b : Illustration des conditions aux limites et des chargements, cas avec contact.

## 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 :

$$Depl_x(X) = -(5 + X) \frac{Press}{E} \quad \text{éq 2.1-1}$$

$$Depl_y(Y) = -(5 + Y) \frac{Press}{E} \quad \text{éq 2.1-2}$$

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation  $X$ -FEM, en déformations planes ( $D\_PLAN$ ). Les interfaces sont définies par des fonctions de niveaux (level sets normales notées  $L N$ ).

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

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

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).

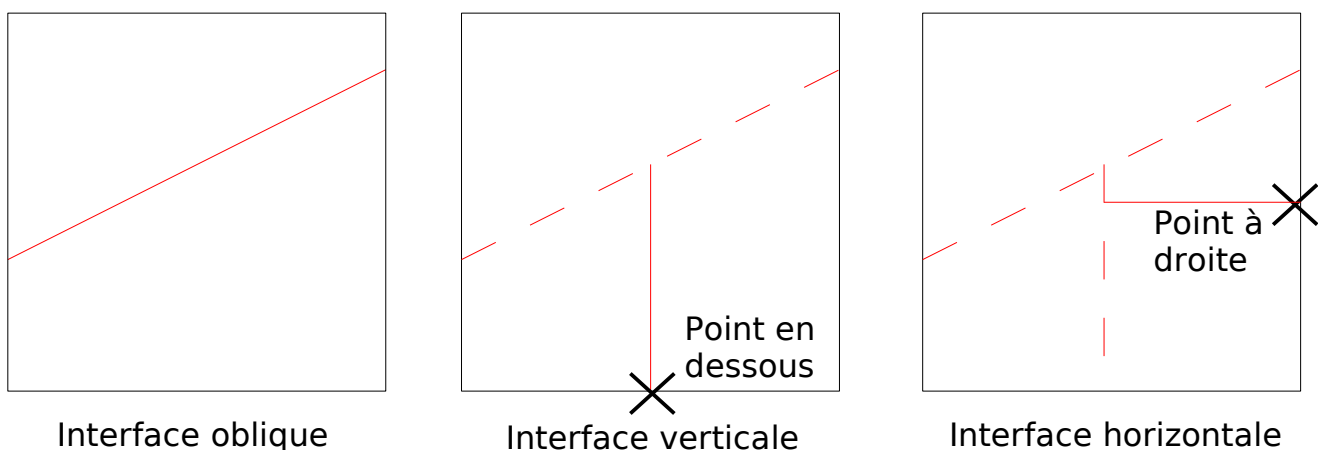


Figure 3.1-a : Étapes de construction de l'intersection.

## 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`.

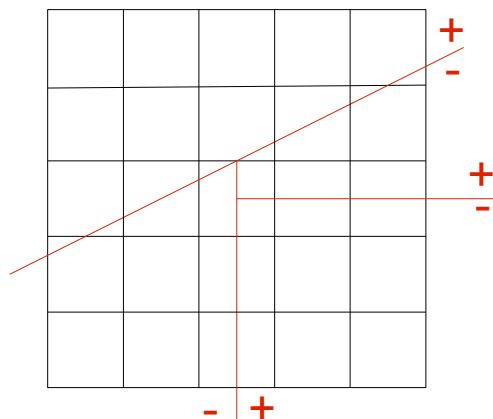


Figure 3.2-a : Le maillage de la modélisation A.

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).

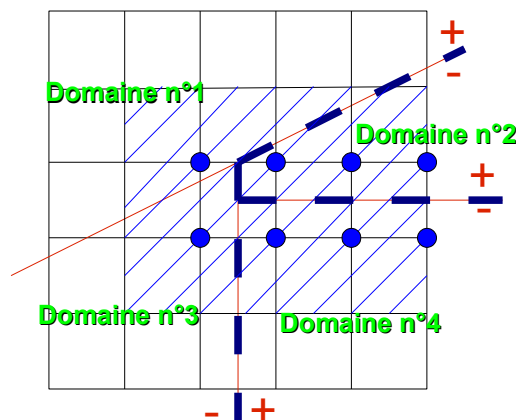


Figure 3.2-b : nœuds multi-heaviside et domaines de discontinuité représentés.

### 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 des structures 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 degrés 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`.

## 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.

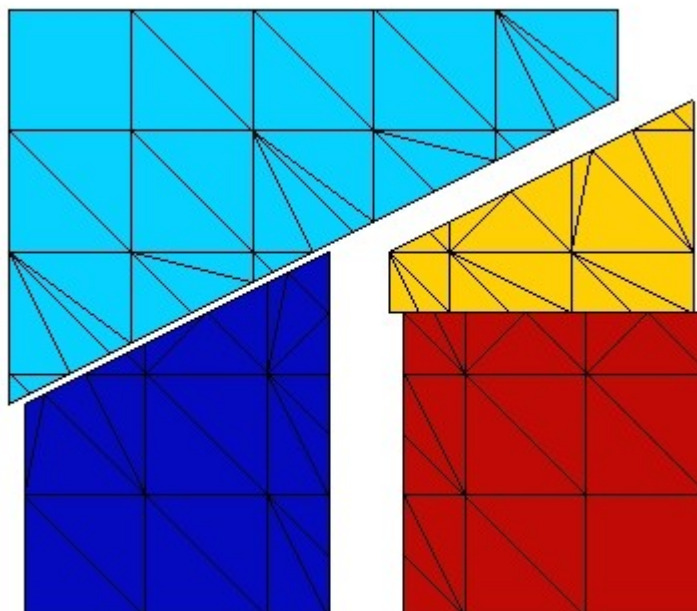


Figure 3.4-a : Déformée de la structure.

## 3.5 Remarques

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

## 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).

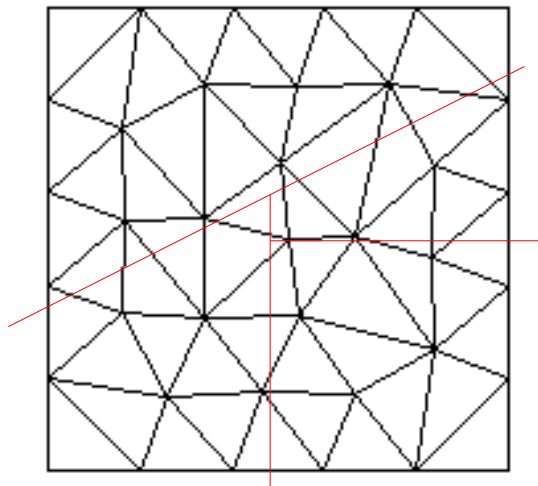


Figure 4.2-a : Le maillage de la modélisation B.

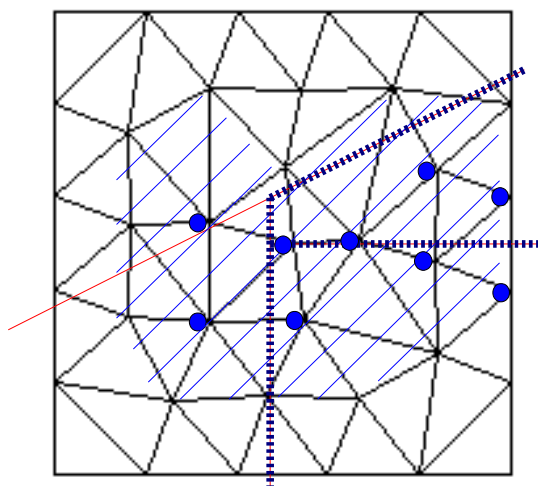


Figure 4.2-b : Valeur de la fonction Heaviside pour la fissure horizontale et son support.

## 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.

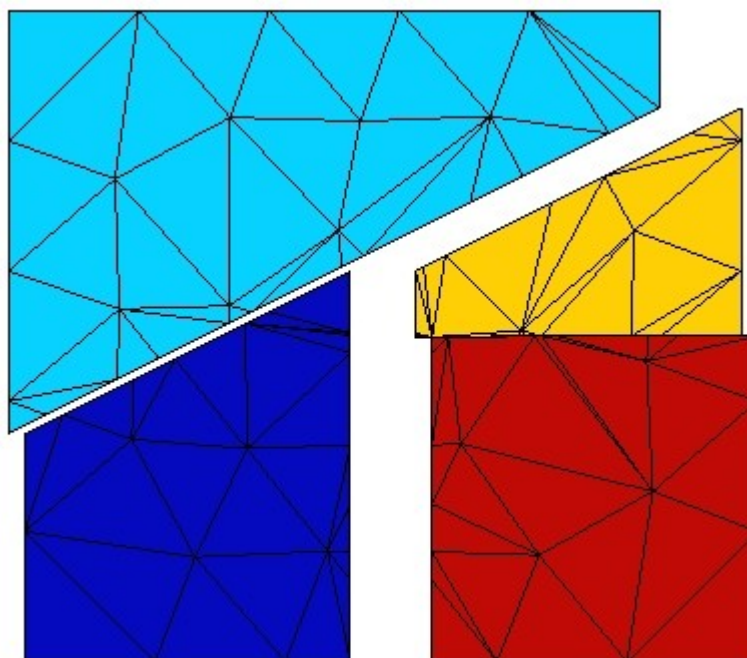


Figure 4.4-a : Déformée de la structure.

## 4.4 Remarques

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



## 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.

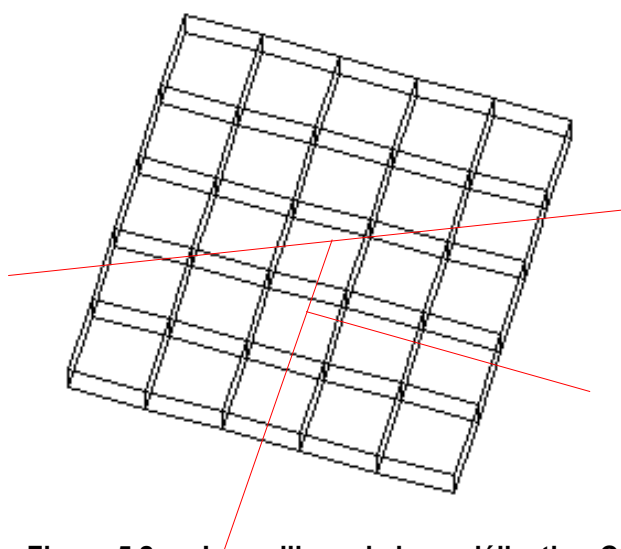


Figure 5.2-a : Le maillage de la modélisation C.

### 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

## Tableau 5.3-1

La déformée est représentée sur la figure 5.4-a.

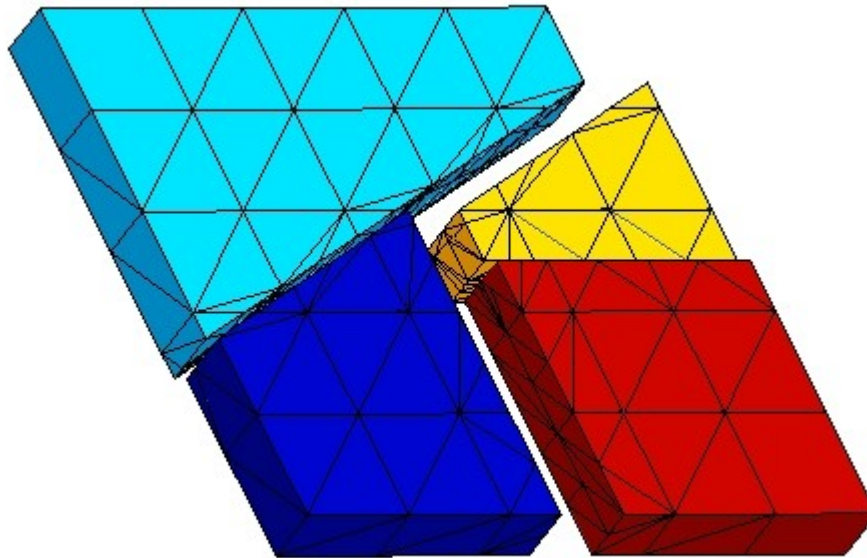


Figure 5.4-a : Déformée de la structure.

## 5.4 Remarques

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

## 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.

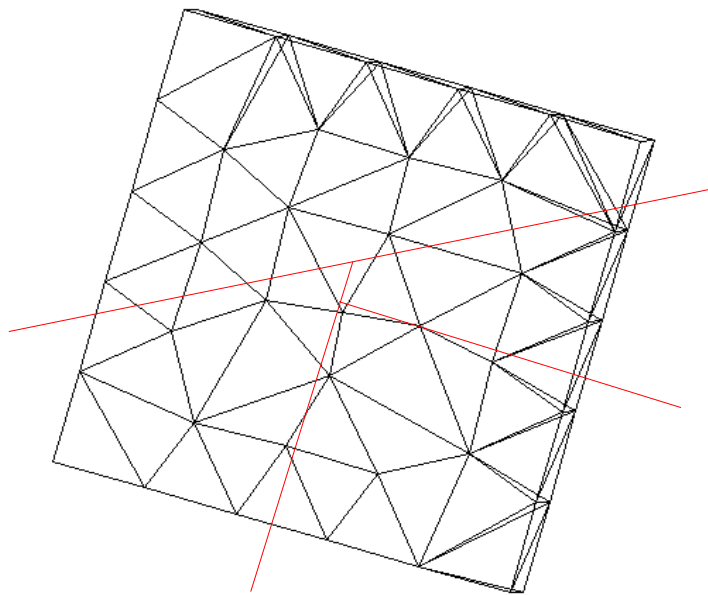


Figure 6.2-a : Le maillage de la modélisation D.

### 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

## Tableau 6.3-1

La déformée est représentée sur la figure 6.4-a.

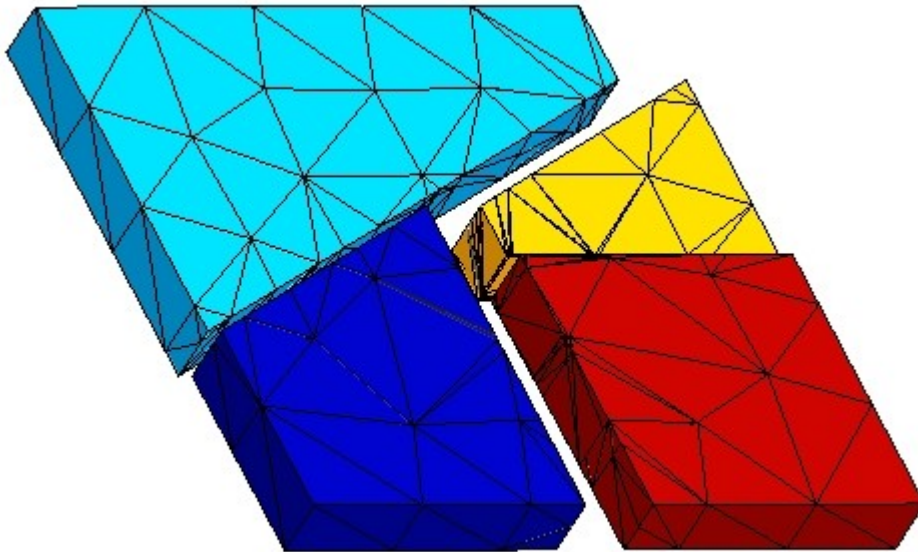


Figure 6.4-a : Déformée de la structure.

## 6.4 Remarques

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

## 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 fonctionnalités 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  $D_X$  doit suivre la fonction  $Depl_X$  de l'équation 2.1-1. Le déplacement  $D_Y$  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
		MAX	0
	DY- $Depl_Y$	MIN	0
		MAX	0
DEPZON_2	DX- $Depl_X$	MIN	0
		MAX	0
	DY- $Depl_Y$	MIN	0
		MAX	0
DEPZON_3	DX- $Depl_X$	MIN	0
		MAX	0
	DY- $Depl_Y$	MIN	0
		MAX	0
DEPZON_4	DX- $Depl_X$	MIN	0
		MAX	0
	DY- $Depl_Y$	MIN	0
		MAX	0

Tableau 7.4-1

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

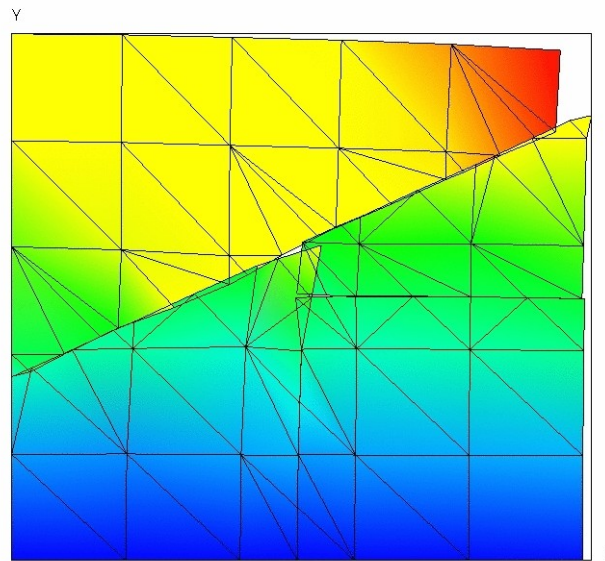


Figure 7.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

## 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 améliorés lorsqu'on raffine le maillage.



## 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

La déformée est représentée sur la figure 8.4-a.

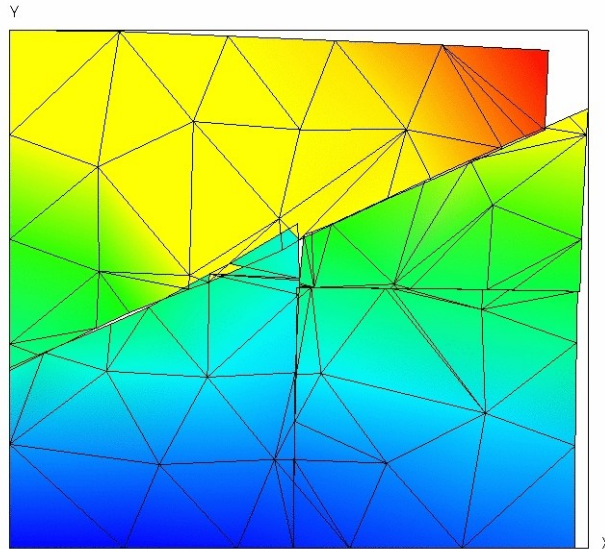


Figure 8.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

## 8.4 Remarques

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

## 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.

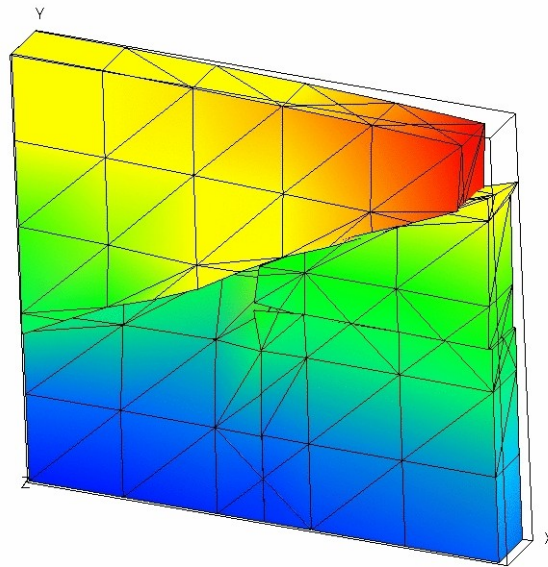


Figure 9.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

## 9.4 Remarques

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

## 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

La déformée est représentée sur la figure 10.4-a.

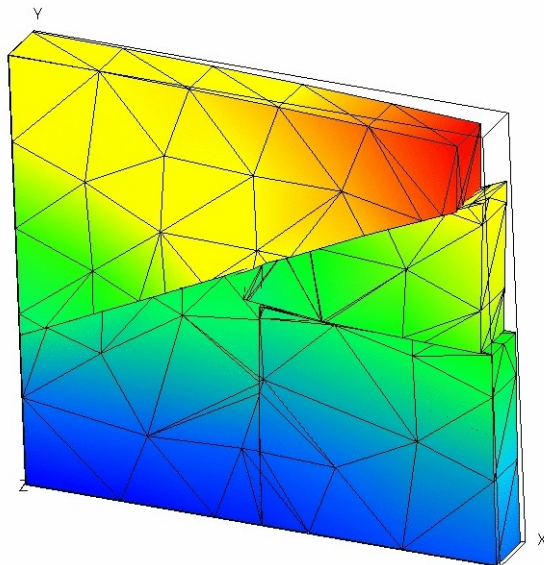


Figure 10.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

## 10.4 Remarques

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

## 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.