

SSNV512 – Bloc découpé par une fissure verticale se branchant entre 2 fissures horizontales avec X-FEM

Résumé :

Ce test permet de valider l'approche jonction avec X-FEM dans le cas où une fissure se branche sur 2 fissures distinctes. Il s'agit d'un cas test où l'on introduit trois fissures. Les deux premières fissures sont horizontales. La troisième fissure verticale, se branche sur les deux premières via le mot clé `JONCTION` de l'opérateur `DEFI_FISS_XFEM`. 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. Deux interfaces sont horizontales. La troisième interface, verticale, est définie entre les deux premières et se branche sur celles-ci. 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] .

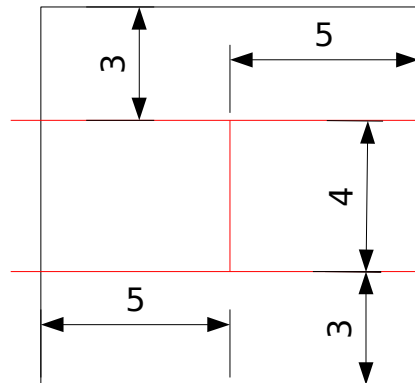


Figure 1.1-a : Géométrie de la structure et positionnement des interfaces.

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau a un comportement élastique isotrope dont les propriétés sont les suivantes::

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 E), on applique des conditions en déplacement sur les bords gauche et droit de la structure, de manière à ce que chacune des 4 zones formées par les interfaces 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.

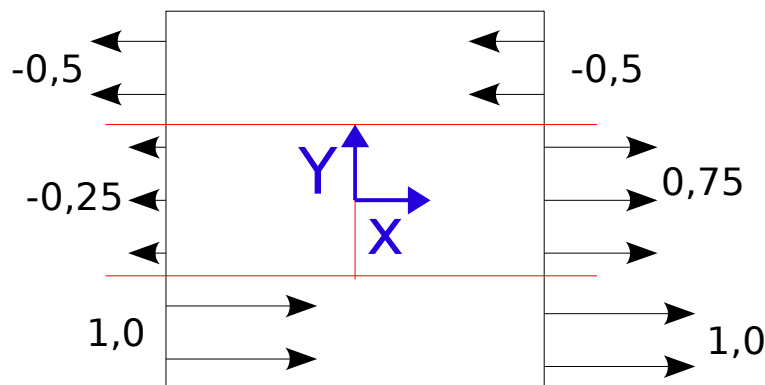


Figure 1.3-a : Illustration des conditions aux limites et des chargements, cas sans contact.

Dans le cas du contact (modélisations F à J), on impose des conditions de roulement sur les bords gauche et bas, on applique la pression en escalier de la figure 1.3-b sur le bord droit et une pression

uniforme sur le bord du haut. Ce chargement est représenté figure 1.3-c. Chaque bloc est alors compressé de manière uniforme selon X et Y .

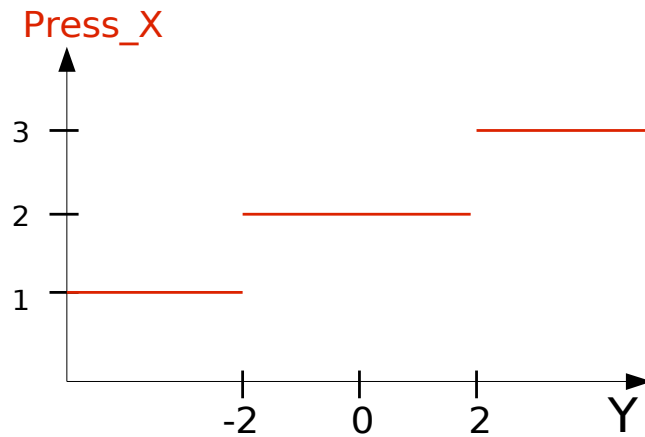


Figure 1.3-b : Pression imposé selon Y sur le bord droit, (en [MPa]).

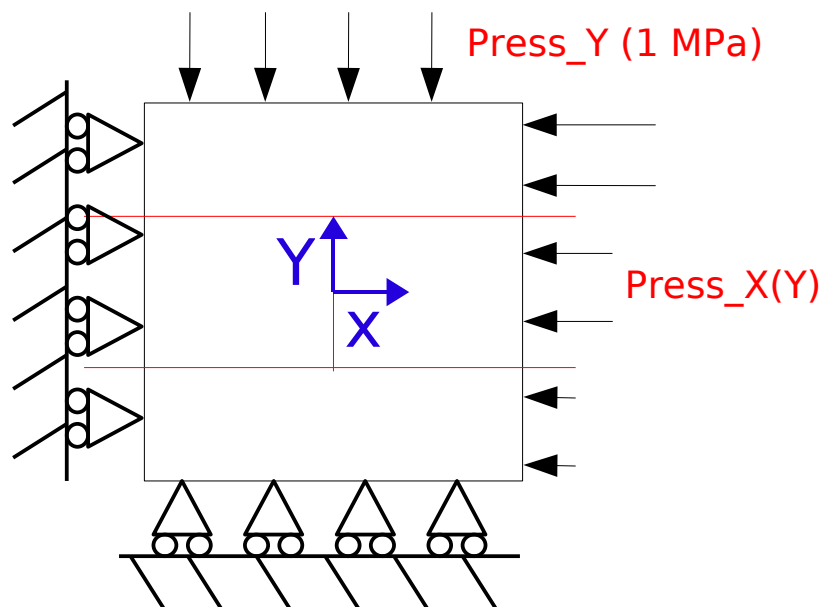


Figure 1.3-c : Illustration des conditions aux limites et des chargements, cas avec contact.

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 :

$$Depl_x(X, Y) = -(5 + X) \frac{Press_x(Y)}{E}$$

éq 2.1-1

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

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 LN).

Les équations des fonctions de niveaux pour les deux interfaces horizontales et l'interface verticale sont respectivement les suivantes :

$$LN1 = Y - 2$$

éq 3.1-1

$$LN2 = Y + 2$$

éq 3.1-2

$$LN3 = X$$

éq 3.1-3

Les deux interfaces horizontales sont définies de manière classique en utilisant l'opérateur `DEFI_FISS_XFEM` avec les level sets normales LN1 et LN2.

L'interface verticale est définie avec la level set normale LN3 dans `DEFI_FISS_XFEM`. On ajoute dans cet opérateur le mot clé `JONCTION`. Sous ce mot clé, on donne les 2 interfaces horizontales préalablement définies dans l'opérande `FISSURE` et un point qui est à la fois en dessous de la première fissure et au dessus de la deuxième dans l'opérande `POINT` (voir figure 3.1-a). Ce point ne doit pas être nécessairement positionné sur LN3. Dans le cas présent, il peut être n'importe où dans le domaine délimité entre LN1 et LN2.

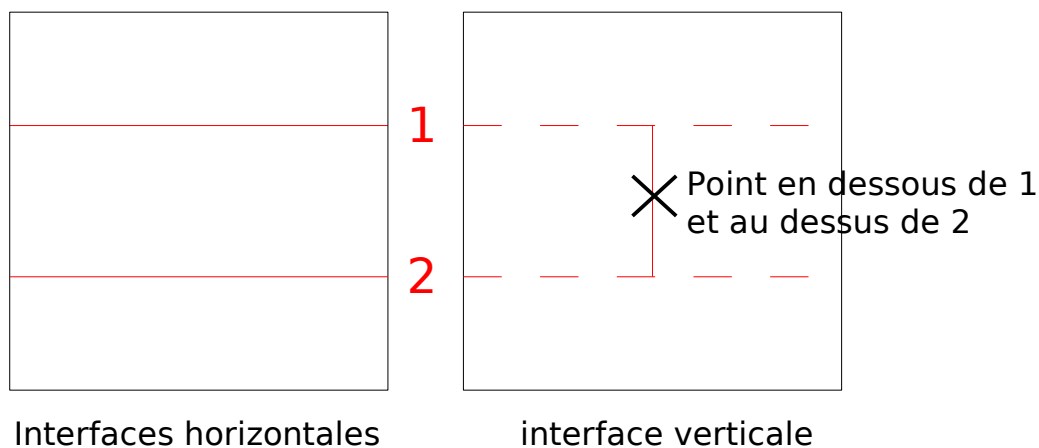


Figure 3.1-a : Construction des jonctions.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage qui comporte 81 mailles de type `QUAD4` est représenté sur la figure 3.2-a.

On remarque sur cette figure que certaines mailles sont coupées plusieurs fois. Ce test permet donc de valider le découpage multiple.

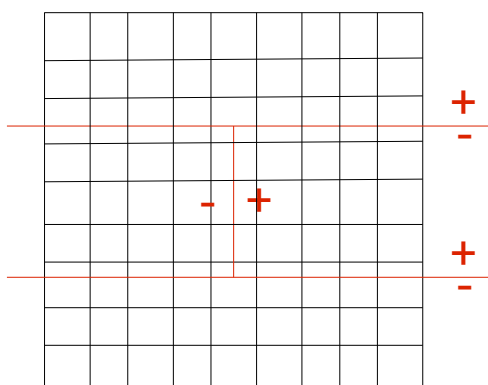


Figure 3.2-a : Le maillage de la modélisation A.

3.3 Fonctionnalités testées

On teste l'opérateur `DEFI_FISS_XFEM` dans le cas où l'on veut brancher une fissure sur plusieurs fissures différentes. On utilise le mot clé `JONCTION` qui permet de définir des branchements de fissures avec `X-FEM`.

Dans ce cas précis on branche la fissure 3 sur les fissures 1 et 2. On teste aussi l'opérateur `MODI_MODELE_XFEM` dans le cas de 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 teste l'assemblage des degrés de liberté Heaviside au niveau des matrices et des seconds membres des éléments connectés à l'intersection pour l'option `COMPOTEMENT` 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.

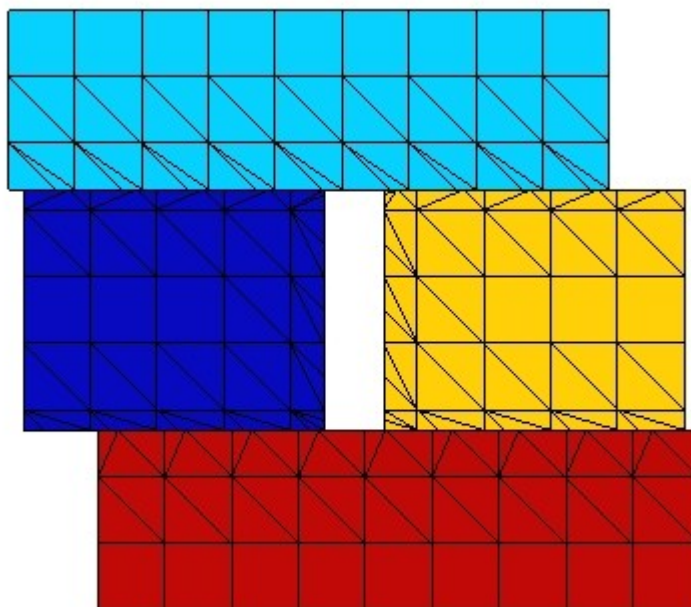


Figure 3.4-a : Déformée de la structure.

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 176 mailles de type `TRIA3` est représenté sur la figure 4.2-a.

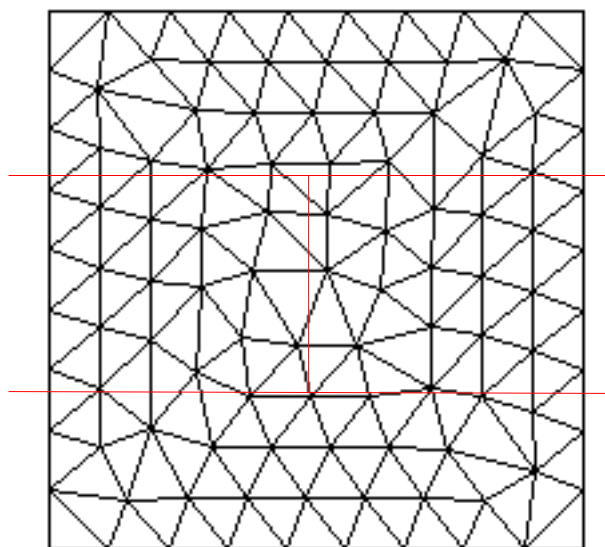


Figure 4.2-a : Le maillage de la modélisation B.

4.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles utilisées 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.

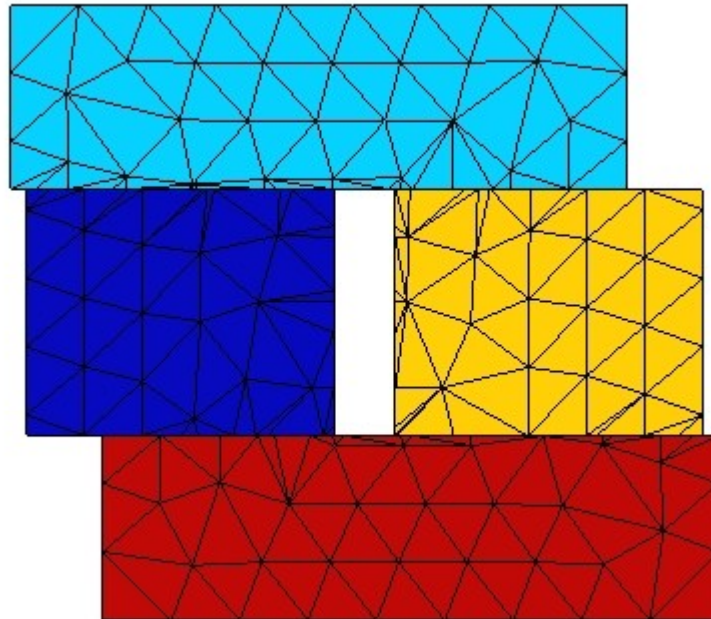


Figure 4.4-a : Déformée de la structure.

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. Les jonctions sont construites de la même manière.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage qui comporte 81 mailles de type `HEXA8` est représenté sur la figure 5.2-a.

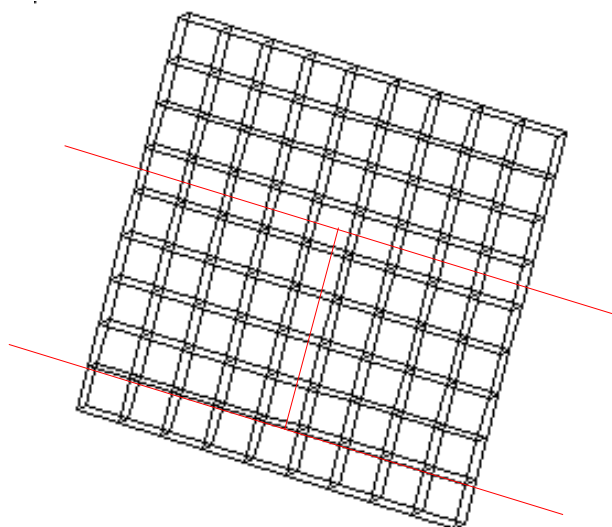


Figure 5.2-a : Le maillage de la modélisation C.

5.3 Grandeurs testées et résultats

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

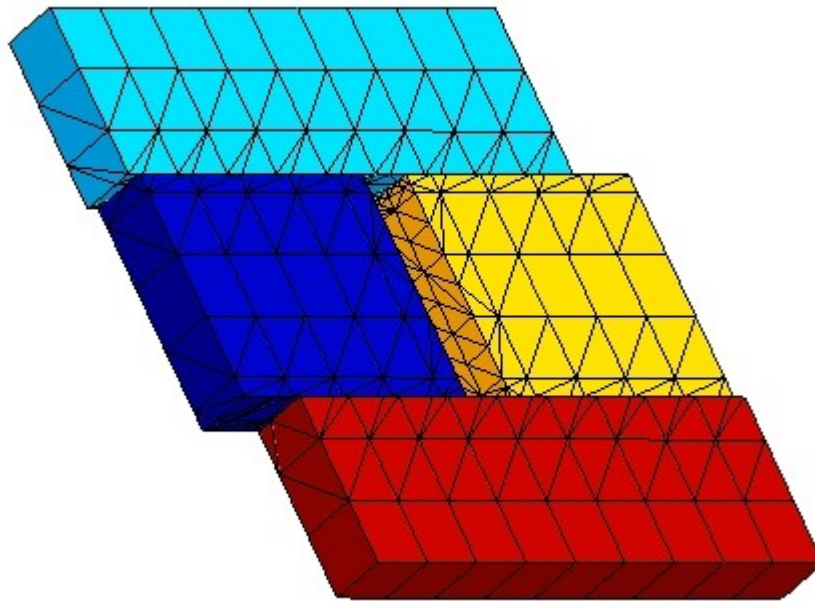


Figure 5.4-a : Déformée de la structure.

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 312 mailles de type TETRA4 est représenté sur la figure 6.2-a.

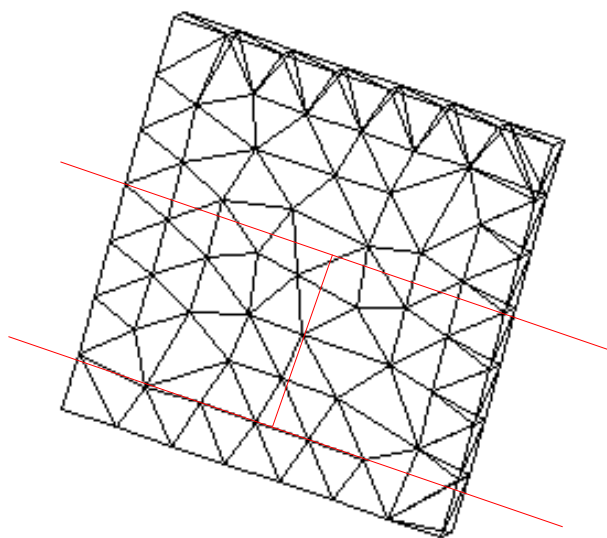


Figure 6.2-a : Le maillage de la modélisation D.

6.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles utilisées 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.

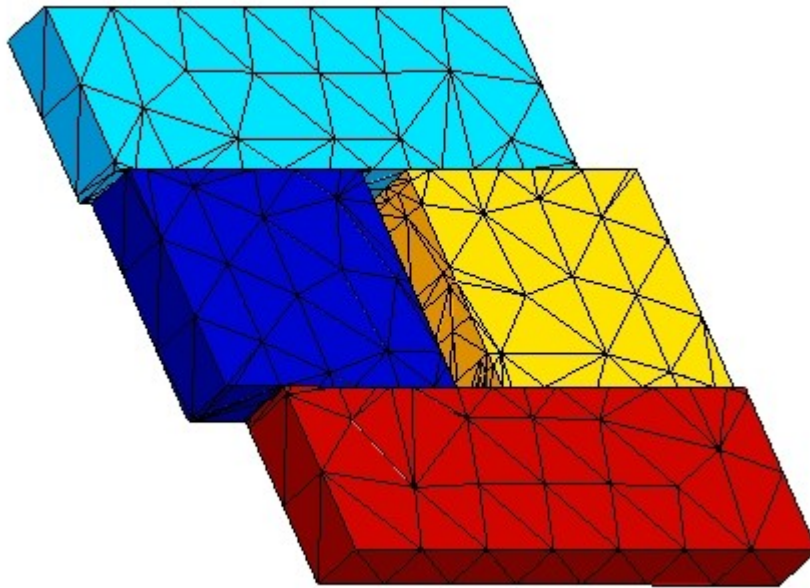


Figure 6.4-a : Déformée de la structure.

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.

7.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage qui comporte 25 mailles de type QUAD4 est représenté sur la figure 7.2-a. Le maillage est moins raffiné que celui de la modélisation A, de manière à ce que certains éléments voient les deux fissures horizontales.

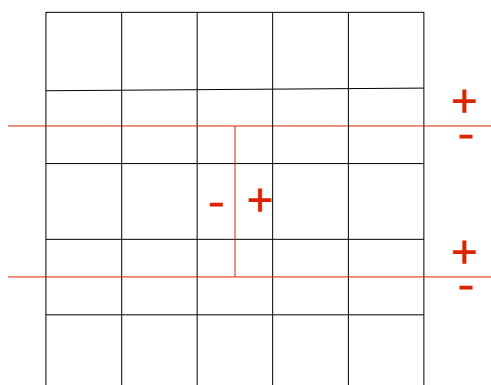


Figure 7.2-a : Le maillage de la modélisation E.

7.3 Fonctionnalités testées

Comme pour les autres modélisations, la fissure verticale se branche sur les deux fissures horizontales, mais certains éléments voient les 3 fissures.

Même s'il est possible de brancher la fissure 3 sur les fissures 1 et 2, ce n'est pas possible localement i.e. l'algorithme mis en place ne peut attacher la fissure 3 qu'à une seule autre fissure au sein d'un même élément : il y donc confusion entre les fissures 1 et 2.

Pour résoudre ce problème, on force l'utilisateur à lier la fissure 2 à la fissure 1 via le mot clé JONCTION dans DEFI_FISS_XFEM. La fissure 3 sera donc explicitement liée à la fissure 2 qui est liée à la première. La fissure 3 sera donc aussi implicitement liée à la première.

7.4 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles utilisées 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

Identification		Référence	% tolérance
DEPZON_4	DX	MIN	0.75
		MAX	0.75
	DY	MIN	0
		MAX	0

Tableau 7.4-1

La déformée est représentée sur la figure 7.4-a.

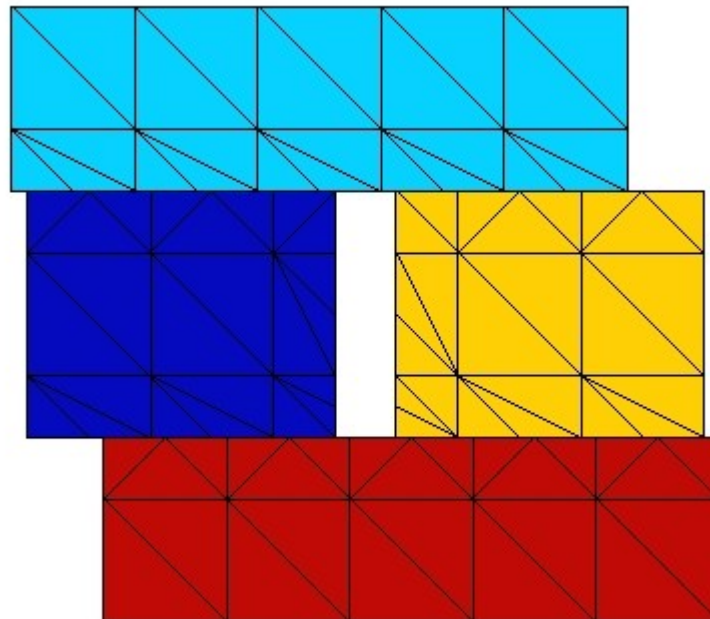


Figure 7.4-a : Déformée de la structure.

7.5 Remarques

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

8 Modélisation F

8.1 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.

8.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage identique à celui de la modélisation A, est représenté figure 3.2-a.

8.3 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`.

8.4 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 8.4-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 8.4-1

La déformée est représentée sur la figure 8.4-a. Le code couleur représente le champ de déplacement.

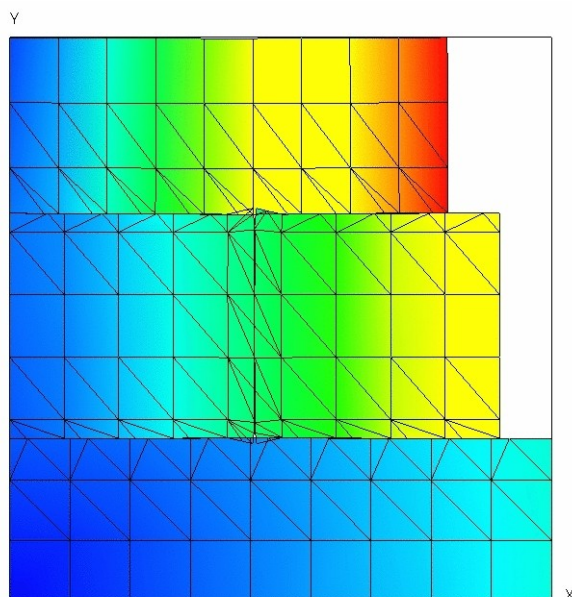


Figure 8.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

8.5 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.

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

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

9.2 Caractéristiques du maillage

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

9.3 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
		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 9.3-1

La déformée est représentée sur la figure 9.4-a.

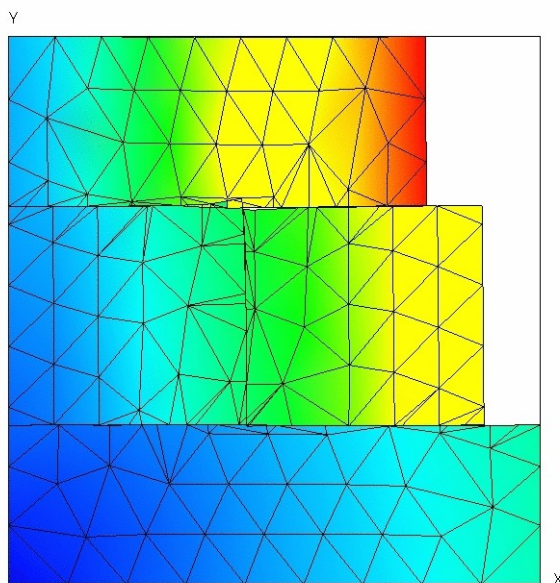


Figure 9.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

9.4 Remarques

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

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation

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

10.2 Caractéristiques du maillage

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

10.3 Grandeurs testées et résultats

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

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 10.3-1

La déformée est représentée sur la figure 10.4-a.

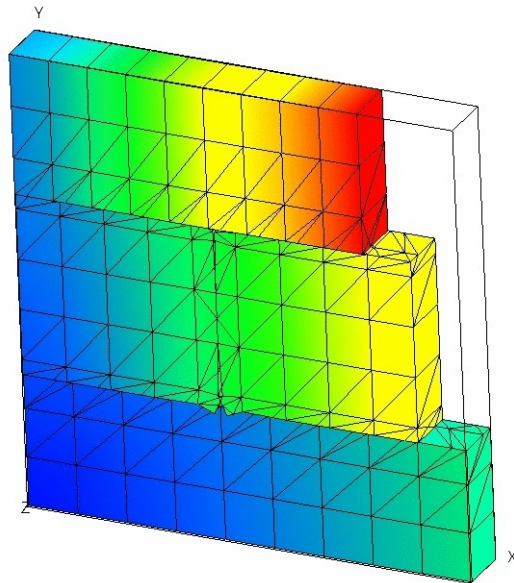


Figure 10.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

10.4 Remarques

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

11 Modélisation I

11.1 Caractéristiques de la modélisation

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

11.2 Caractéristiques du maillage

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

11.3 Grandeurs testées et résultats

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 11.3-1

La déformée est représentée sur la figure 11.4-a.

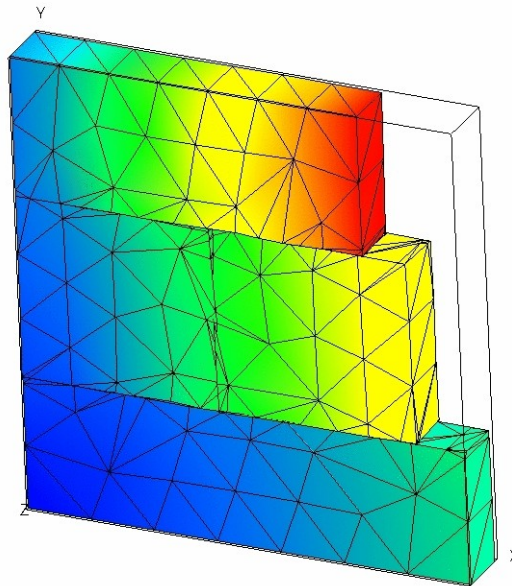


Figure 11.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

11.4 Remarques

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

12 Modélisation J

12.1 Caractéristiques de la modélisation

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

12.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage identique à celui de la modélisation E, est représenté sur la figure 7.2-a. Le maillage est moins raffiné que celui de la modélisation F, de manière à ce que certains éléments voient les deux fissures horizontales.

12.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées sont identiques à celles utilisées pour la modélisation F.

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 12.3-1

La déformée est représentée sur la figure 12.4-a.

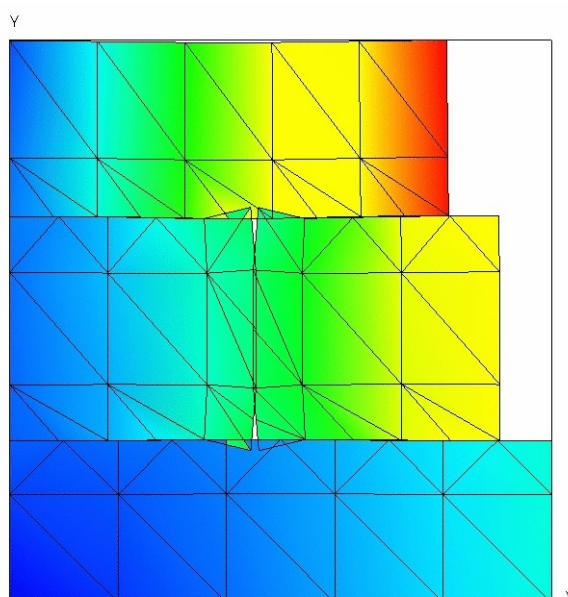


Figure 12.4-a : Déformée de la structure (exagération 10).

12.4 Remarques

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

13 Synthèse des résultats

La cinématique d'ouverture d'une fissure branchée à plusieurs autres fissures est possible avec X-FEM. Il faut néanmoins dans certains cas lier ces fissures entre elles via le mot clé JONCTION, même si ces fissures ne sont à priori pas branchées l'une sur l'autre.

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.