

SSNV173 – Barreau fissuré avec X-FEM

Résumé

Ce test a pour but de valider deux aspects du calcul élémentaire dans le cadre de X-FEM [R7.02.12] :

- l'intégration d'une grandeur discontinue grâce à un sous-découpage de l'élément,
- l'enrichissement des fonctions de forme par la fonction Heaviside.

Ce test met en jeu un barreau parallélépipédique fissuré sur toute sa section (on parlera alors d'interface), soumis à un déplacement imposé, ce qui a pour conséquence la séparation des deux parties de la structure.

L'influence du maillage et des conditions aux limites est aussi étudiée.

On étudie aussi en 2D le cas d'une plaque.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie 3D

La structure est un parallélépipède droit à base carrée. Les dimensions du barreau (voir [Figure 1.1-a]) sont : $LX = 5\text{ m}$, $LY = 5\text{ m}$ et $LZ = 25\text{ m}$.

La fissure (ou plutôt l'interface) est introduite par des fonctions de niveau (level sets) directement dans le fichier commande à l'aide de l'opérateur `DEFI_FISS_XFEM` [U4.82.08]. L'interface est présente au milieu de la structure par le biais de sa représentation par une level set LSN (voir [Figure 1.1-a]) d'équation :

$$LSN \text{ (pour le plan de l'interface)} : Z - \frac{LZ}{2}$$

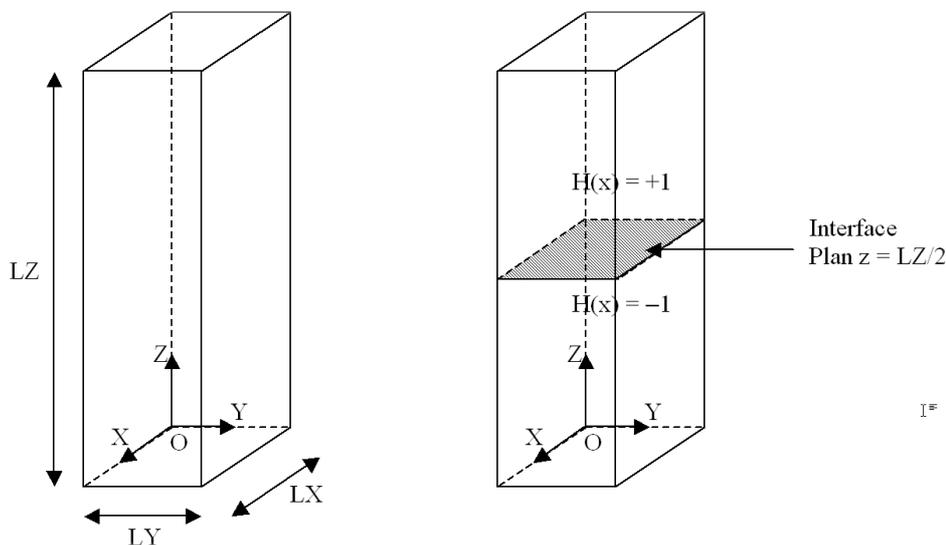


Figure 1.1-a : Géométrie du barreau et positionnement de l'interface

1.2 Géométrie 2D

La structure est un rectangle. Les dimensions du barreau (voir [Figure 1.2-a]) sont : $LX = 1\text{ m}$, $LY = 5\text{ m}$.

L'interface est introduite par une fonction de niveau (level set) directement dans le fichier commande à l'aide de l'opérateur `DEFI_FISS_XFEM` [U4.82.08]. L'interface est présente au milieu de la structure par le biais de sa représentation par une level set LSN (voir [Figure 1.2-a]) d'équation :

$$LSN \text{ (pour le plan de l'interface)} : Y - \frac{LY}{2}$$

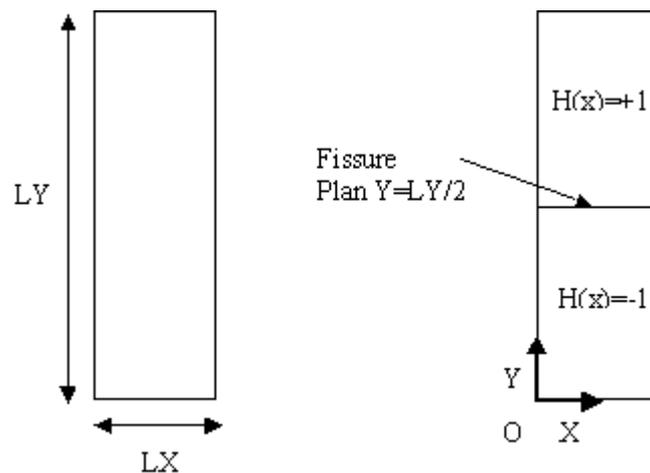


Figure 1.2-a : Géométrie de la plaque et positionnement de l'interface

1.3 Propriétés du matériau

Module d'Young : $E = 205000 \text{ MPa}$

Coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$

1.4 Conditions aux limites et chargements

Les nœuds de la face inférieure du barreau sont encastés et un déplacement est imposé sur ceux de la face supérieure. On souhaite montrer ici la possibilité de séparer un élément fini en deux avec X-FEM.

2 Modélisation A

2.1 Caractéristiques du maillage

La structure est maillée par une seule maille de type `HEXA8`. L'interface est donc présente au sein de cet élément par le biais des level sets.

2.2 Conditions aux limites

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 :

$$u^h(x) = \sum_{i \in N_n(x)} a_i \phi_i(x) + \sum_{j \in N_n(x) \cap K} b_j \phi_j(x) H(\text{lsn}(x))$$

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

$N_n(x)$ 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 l'interface

$H(x)$ est la fonction Heaviside généralisée définie par $H(x) = \begin{cases} -1 & \text{si } x < 0 \\ +1 & \text{si } x \geq 0 \end{cases}$

$\text{lsn}(x)$ est la valeur de la level-set normale au point x

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

Vu que les nœuds près de l'interface, c'est-à-dire ici les 8 nœuds du maillage sont enrichis par des degrés de liberté supplémentaires, les conditions aux limites s'écrivent un peu différemment. Cela est relatif à l'enrichissement des fonctions de formes classiques [R7.02.12] par la fonction Heaviside $H(x)$.

Imposer un déplacement nul sur les nœuds de la face inférieure revient à écrire une relation linéaire entre les degrés de liberté. Pour chaque nœud, on impose $a_{ix} - b_{ix} = 0$ (idem suivant y et z).

Pour les nœuds de la face supérieure, on impose un déplacement suivant z valant 10^{-6} et nul suivant les deux autres directions, c'est-à-dire $a_{ix} + b_{ix} = 0$, $a_{iy} + b_{iy} = 0$ et $a_{iz} + b_{iz} = 10^{-6}$.

Ces relations sont imposées **automatiquement** lorsque l'on utilise le mot-clé `DDL_IMPO` sur un nœud X-FEM. Par exemple, l'imposition du déplacement suivant X nul du nœud X-FEM `N1` se fait donc de la manière classique :

```
DDL_IMPO=_F (NOEUD='N1', DX=0)
```

2.3 Résolution analytique

La solution d'un tel problème est bien sûr évidente. On voit bien que mécaniquement parlant, les deux parties de la structure vont se détacher : la partie inférieure aura un déplacement nul et la partie supérieure aura un mouvement d'ensemble égal au déplacement imposé (voir [Figure 2.3-a]).

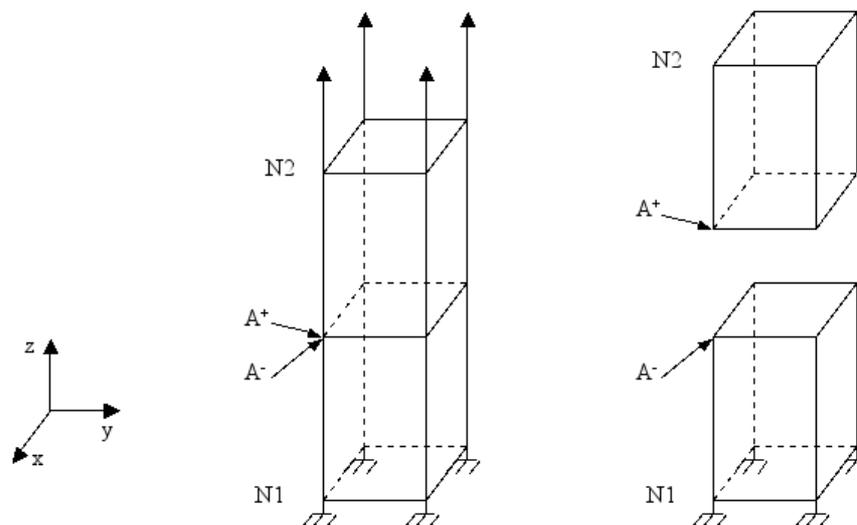


Figure 2.3-a : États initial et final de la structure

La solution analytique est alors la suivante : tous les déplacements suivant x et y sont nuls, tous les déplacements suivant z en dessous de la level set sont nuls et tous les déplacements suivant z au dessus de la level set sont égaux au déplacement imposé u_z au sommet de la structure.

2.4 Grandeurs testées et résultats

L'opérateur `POST_MAIL_XFEM` permet de mailler les fissures représentées par la méthode X-FEM. L'opérateur `POST_CHAM_XFEM`, permet ensuite d'exporter les résultats X-FEM sur ce nouveau maillage. Ces deux opérateurs ne sont à utiliser que de façon postérieure au calcul à des vues de post-traitement. Ils permettent de générer des nœuds juste en dessous et au dessus de l'interface et d'exhiber leurs déplacements.

On teste donc les valeurs du déplacement juste en dessous et au dessus de l'interface après convergence des itérations de l'opérateur `STAT_NON_LINE`. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§2.3].

Identification	Référence	Tolérance
DX pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DZ pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DX pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
DZ pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

2.5 Commentaires

On remarque la discontinuité du champ de déplacements en traversant l'interface qui est possible grâce à l'enrichissement des éléments avec le degré de liberté Heaviside.

3 Modélisation B

3.1 Caractéristiques du maillage

On discrétise la structure en 5 mailles de type `HEXA8`.

Les nœuds de part et d'autre de l'interface sont des nœuds enrichis, donc les trois mailles centrales possédant de tels nœuds sont elles aussi enrichies. Seules les deux mailles extrêmes sont des mailles classiques n'ayant que des nœuds classiques.



Figure 3.1-a : maillage
avec 5 `HEXA8`

3.2 Conditions aux limites

Les conditions aux limites appliquées représentent le même phénomène physique que pour la modélisation A. On encastre les nœuds de la face inférieure et on impose un déplacement des nœuds de la face supérieure :

Face inférieure (Nœuds $N1$, $N6$, $N11$, $N16$) : $DX=0$, $DY=0$ et $DZ=0$

Face supérieure (Nœuds $N21$, $N22$, $N23$, $N24$) : $DX=0$, $DY=0$ et $DZ=uz$

Ceci constitue le 1er cas de chargement.

En fait, on prend la liberté de déplacer la partie supérieure de la structure suivant les trois directions, on choisira donc comme 2^{ème} cas de chargement :

Face inférieure (Nœuds $N1$, $N6$, $N11$, $N16$) : $DX=0$, $DY=0$ et $DZ=0$

Face supérieure : $DX=ux$, $DY=uy$ et $DZ=uz$

$$ux = 1.10^{-6}$$

$$uy = 2.10^{-6}$$

$$uz = 3.10^{-6}$$

3.3 Résolution analytique

La solution d'un tel problème est bien sûr encore évidente. Tous les déplacements suivant x et y sont nuls, tous les déplacements suivant x , y et z en dessous de la level set sont nuls et tous les déplacements suivant x , y et z au dessus de la level set sont égaux au déplacement imposé u_x , u_y et u_z au sommet de la structure.

3.4 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement après convergence des itérations de l'opérateur STAT_NON_LINE. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§3.3] pour les 2 cas de chargements.

On obtient le tableau suivant pour le 1^{er} cas de chargement.

Identification	Référence	Tolérance
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

On obtient le tableau suivant pour le 2^{ème} cas de chargement.

Identification	Référence	Tolérance
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	2.0E-6	1.0E-9%
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	3.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

3.5 Commentaires

On remarque la discontinuité du champ de déplacements en traversant l'interface qui est possible grâce à l'enrichissement des éléments avec le degré de liberté Heaviside.

4 Modélisation C

4.1 Caractéristiques du maillage et de l'interface

On considère une structure de dimensions $LX=5\text{ m}$, $LY=5\text{ m}$ et $LZ=25\text{ m}$. Cette structure est discrétisée avec 5 mailles HEXA8. On s'intéresse à une interface plane de normale

$$n = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

passant par le point A de coordonnées $(5,5\delta,5)$. La [Figure 4.1-a] montre un zoom du 2^{ème} élément où la trace de l'interface est représentée en rouge.

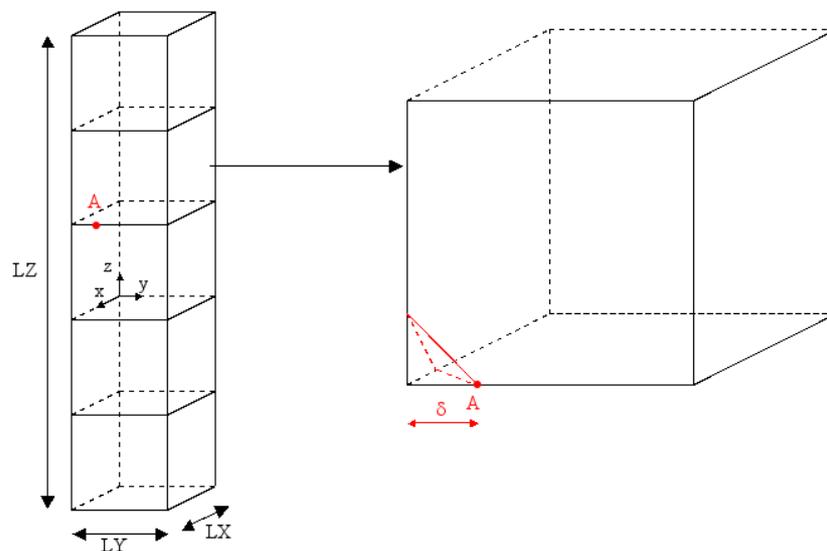


Figure 4.1-a : Maillage c et zoom

L'interface est caractérisée par la level set normale ayant pour équation cartésienne :

$$lsn = -x + y + z - 5\delta$$

Remarque :

Le paramètre δ a une influence forte sur le problème. Si δ vaut 0 ou 1, alors le point A coïncide avec un nœud, et l'interface passe par ce nœud. Si δ est non nul, mais petit devant 1, l'interface va séparer l'élément en 2 parties, de volumes très différents. Dans cette situation, l'enrichissement du nœud $N9$ (voir Figure 4.1-a) par la fonction Heaviside devient presque inutile, et conduit à des pivots très petits lors de la factorisation de la matrice de rigidité. Cela se traduit par une perte significative du nombre de décimales et à un résultat faux. Pour $\delta=0.1$ (soit un point A se situant à 10% de l'arête), on perd déjà 8 décimales (valeur par défaut provoquant une erreur fatale) et pour $\delta=0.05$, on perd 10 décimales. L'idée consiste donc à ne pas enrichir le nœud $N9$ par la fonction Heaviside lorsque de tels cas se présentent. Un algorithme de détection a été mis en place, basé sur le rapport de volumes pour un élément coupé en deux. Ce problème permet de tester le bon fonctionnement de l'algorithme, lorsque le paramètre δ devient petit.

Dans la suite, on prendra $\delta=0.02$. Cette valeur conduit à la perte de 13 décimales lors de la factorisation (avant la mise en place d'un traitement spécial).

L'algorithme sera validé si le calcul se déroule normalement, sans perte de décimales dans la factorisation. On vérifiera aussi le déplacement solution en un nœud choisi.

4.2 Conditions aux limites

Les conditions aux limites sont les mêmes que celles de la modélisation B. On encastre les nœuds de la face inférieure et on impose un déplacement de traction aux nœuds de la face supérieure :

Face inférieure : $DX=0$, $DY=0$ et $DZ=0$

Face supérieure : $DX=0$, $DY=0$ et $DZ=10^{-6}$

4.3 Grandeurs testées et résultats

Le bon déroulement du calcul permet *a priori* de valider le cas. On teste donc les valeurs du déplacement juste au dessus de l'interface après convergence des itérations de l'opérateur STAT_NON_LINE.

Identification	Référence	Tolérance
DZ pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-3%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

5 Modélisation D

Cette modélisation est basée sur la modélisation A.
Le type d'élément choisi pour le maillage est la seule différence entre ces deux modélisations.

5.1 Caractéristiques du maillage

On discrétise la structure en 6 éléments finis TETRA4
L'interface est présente au sein de ces 6 éléments par le biais des level sets.

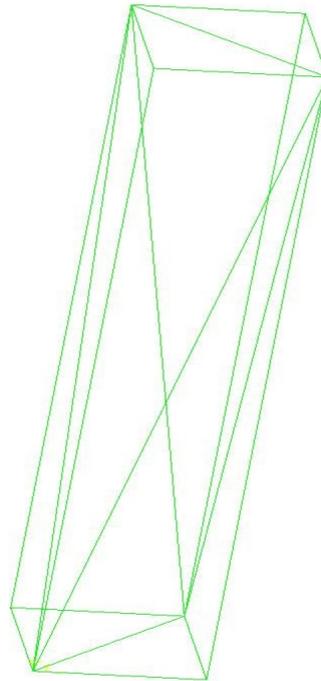


Figure 5.1-a : Maillage

5.2 Conditions aux limites

Les conditions aux limites sont celles de la modélisation A : on encastre les nœuds de la face inférieure et on impose un déplacement des nœuds de la face supérieure.

5.3 Résolution analytique

La solution analytique est celle présentée dans la modélisation A [§2.3] : tous les degrés de liberté suivant x et y sont nuls et tous les degrés de liberté suivant z valent $uz/2$, où $uz = 10^{-6}$

5.4 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement juste en dessous et au dessus de l'interface après convergence des itérations de l'opérateur `STAT_NON_LINE`. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§2.3].

Identification	Référence	Tolérance
DX pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DZ pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DX pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
DZ pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

5.5 Commentaires

On remarque la discontinuité du champ de déplacements en traversant l'interface qui est possible grâce à l'enrichissement des éléments avec le degré de liberté Heaviside.

6 Modélisation E

Cette modélisation est basée sur la modélisation B.
Le type d'élément choisi pour le maillage est la seule différence entre ces deux modélisations.

6.1 Caractéristiques du maillage

Chaque maille `HEXA8` de la modélisation B est décomposée en 6 `TETRA4` pour la modélisation E.
Ainsi la structure est discrétisée en 30 éléments finis `TETRA4`.

Les nœuds de part et d'autre de l'interface sont des nœuds enrichis, donc les tétraèdres contenus dans les trois mailles centrales de la modélisation B possédant de tels nœuds sont eux aussi enrichis. Seuls les tétraèdres contenus dans les deux hexaèdres extrêmes de la modélisation B sont des mailles classiques n'ayant que des nœuds classiques.

On pourra donc imposer des conditions aux limites sur les mailles extrêmes de la manière habituelle.

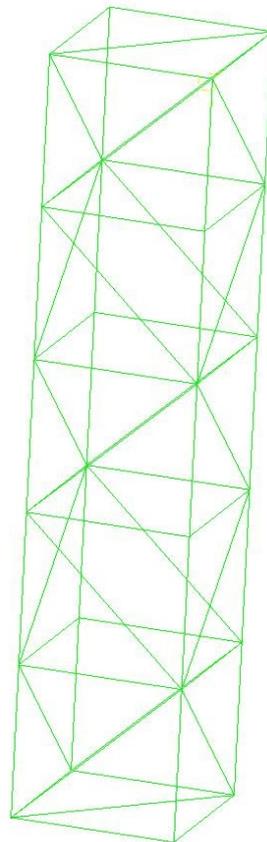


Figure 6.1-a : Maillage

6.2 Conditions aux limites

On encastre les nœuds de la face inférieure et on impose un déplacement des nœuds de la face supérieure :

Face inférieure : $DX=0$, $DY=0$ et $DZ=0$

Face supérieure : $DX=0$, $DY=0$ et $DZ=uz$.

Ceci constitue le 1er cas de chargement.

En fait, on prend la liberté de déplacer la partie supérieure de la structure suivant les trois directions, on choisira donc comme 2^{ème} cas de chargement :

Face inférieure: $DX=0$, $DY=0$ et $DZ=0$

Face supérieure : $DX=ux$, $DY=uy$ et $DZ=uz$

$$\begin{aligned} ux &= 10^{-6} \\ uy &= 2.10^{-6} \\ uz &= 3.10^{-6} \end{aligned}$$

6.3 Résolution analytique

La solution d'un tel problème est bien sûr encore évidente : tous les déplacements suivant x et y sont nuls, tous les déplacements suivant z en dessous de la level set sont nuls et tous les déplacements suivant z au dessus de la level set sont égaux au déplacement imposé u_z au sommet de la structure.

6.4 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement après convergence des itérations de l'opérateur STAT_NON_LINE. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§3.3] pour les 2 cas de chargements.

On obtient le tableau suivant pour le 1^{er} cas de chargement.

Identification	Référence	Tolérance
DX pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DZ pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DX pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
DZ pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

On obtient le tableau suivant pour le 2^{ème} cas de chargement.

Identification	Référence	Tolérance
DX pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DZ pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DX pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%
DY pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	2.0E-6	1.0E-9%
DZ pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	3.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

6.5 Commentaires

On remarque la discontinuité du champ de déplacements en traversant l'interface qui est possible grâce à l'enrichissement des éléments avec le degré de liberté Heaviside.

7 Modélisation F

7.1 Caractéristiques du maillage

On discrétise la structure en 5 éléments finis QUAD4.

Les nœuds de part et d'autre de l'interface sont des nœuds enrichis, donc les trois mailles centrales possédant de tels nœuds sont elles aussi enrichies. Seules les deux mailles extrêmes sont des mailles classiques n'ayant que des nœuds classiques.

On pourra donc imposer des conditions aux limites sur les mailles extrêmes de la manière habituelle.



Figure 7.1-a : Maillage F

7.2 Conditions aux limites

Les conditions aux limites appliquées représentent le même phénomène physique que pour la modélisation A. On encastre les nœuds de la face inférieure et on impose un déplacement des nœuds de la face supérieure :

Face inférieure (Nœuds $N1$ et $N2$) : $DX=0$ et $DY=0$

Face supérieure (Nœuds $N3$ et $N4$) : $DX=0$, $DY=uy=10^{-5}$.

7.3 Résolution analytique

La solution d'un tel problème est bien sûr encore évidente : tous les déplacements suivant x sont nuls, tous les déplacements suivant y en dessous de la level set sont nuls et tous les déplacements suivant y au dessus de la level set sont égaux au déplacement imposé u_y au sommet de la structure.

7.4 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement après convergence des itérations de l'opérateur STAT_NON_LINE. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§7.3].

Identification	Référence	Tolérance
DX pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16

DY pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DX pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

On teste aussi les valeurs du déplacement issu de la commande `POST_CHAM_XFEM`. On teste en fait la valeur de la somme des valeurs absolues des déplacements des nœuds du maillage fissuré. C'est un test de non-régression par rapport aux valeurs obtenues avec la version 8.2.13 pour *DX* et 9.0.21 pour *DY*.

Identification	Référence	Différence
SOMM_ABS (DX)	0.000	1.E-12
SOMM_ABS (DY)	1.3E-05	1.0E-04%

7.5 Commentaires

On remarque la discontinuité du champ de déplacements en traversant l'interface qui est possible grâce à l'enrichissement des éléments avec le degré de liberté Heaviside.

8 Modélisation G

8.1 Caractéristiques du maillage

La structure est modélisée par un seul élément fini de type QUAD4. L'interface est donc présente au sein de cet élément par le biais des level sets.

8.2 Conditions aux limites

On reprend le même raisonnement que pour la modélisation A.

Sur la face inférieure on impose un déplacement nul :

$$a_{ix} - b_{ix} = 0 \text{ et } a_{iy} - b_{iy} = 0 .$$

Sur la face supérieure on impose un déplacement selon l'axe Y :

$$a_{ix} + b_{ix} = 0 \text{ et } a_{iy} + b_{iy} = 10^{-6} .$$

Ces relations sont imposées **automatiquement** lorsque l'on utilise le mot-clé DDL_IMPO sur un nœud X-FEM.

8.3 Résolution analytique

La solution d'un tel problème est bien sûr encore évidente : tous les déplacements suivant x sont nuls, tous les déplacements suivant y en dessous de la level set sont nuls et tous les déplacements suivant y au dessus de la level set sont égaux au déplacement imposé u_y au sommet de la structure.

8.4 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement après convergence des itérations de l'opérateur STAT_NON_LINE. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§8.3].

Identification	Référence	Tolérance
DX pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
DX pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
DY pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

8.5 Commentaires

On remarque la discontinuité du champ de déplacements en traversant l'interface qui est possible grâce à l'enrichissement des éléments avec le degré de liberté Heaviside.

9 Modélisation H

Cette modélisation est basée sur la modélisation F.
Le type d'élément choisi pour le maillage est la seule différence entre ces deux modélisations.

9.1 Caractéristiques du maillage

Chaque maille QUAD4 de la modélisation F est décomposée en 2 TRIA3 pour la modélisation H.
Ainsi la structure est discrétisée en 10 éléments finis TRIA3.

Les nœuds de part et d'autre de l'interface sont des nœuds enrichis, donc les triangles contenus dans les trois mailles centrales de la modélisation F possédant de tels nœuds sont eux aussi enrichis. Seuls les triangles contenus dans les deux quadrilatères extrêmes de la modélisation F sont des mailles classiques n'ayant que des nœuds classiques.

On pourra donc imposer des conditions aux limites sur les mailles extrêmes de la manière habituelle.

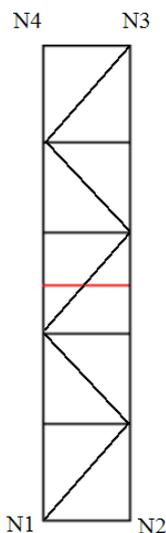


Figure 9.1-a : Maillage H

9.2 Conditions aux limites

On encastre les nœuds de la face inférieure et on impose un déplacement des nœuds de la face supérieure :

Face inférieure (Nœuds $N1$, $N2$) : $DX=0$, et $DY=0$
Face supérieure (Nœuds $N3$, $N4$) : $DX=0$ et $DY=u_y$

9.3 Résolution analytique

La solution d'un tel problème est bien sûr encore évidente : tous les déplacements suivant x sont nuls, tous les déplacements suivant y en dessous de la level set sont nuls et tous les déplacements suivant y au dessus de la level set sont égaux au déplacement imposé u_y au sommet de la structure.

9.4 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement après convergence des itérations de l'opérateur STAT_NON_LINE. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§9.3].

Identification	Référence	Tolérance
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

9.5 Commentaires

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

10 Modélisation I

Cette modélisation est exactement la même que la modélisation A. La seule différence est que l'élément fini utilisé est un élément quadratique au lieu d'un élément linéaire.

10.1 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement après convergence des itérations de l'opérateur STAT_NON_LINE. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§2.3].

Identification	Référence	Tolérance
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

11 Modélisation J

Cette modélisation est exactement la même que la modélisation B. La seule différence est que les éléments finis utilisés sont des éléments quadratiques au lieu d'éléments linéaires.

11.1 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement après convergence des itérations de l'opérateur `STAT_NON_LINE`. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§3.3] pour les 2 cas de chargements.

On obtient le tableau suivant pour le 1^{er} cas de chargement.

Identification	Référence	Tolérance
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%

On obtient le tableau suivant pour le 2^{ème} cas de chargement.

Identification	Référence	Tolérance
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-16
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-9%
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	2.0E-6	1.0E-9%
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	3.0E-6	1.0E-9%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

On teste aussi les valeurs du déplacement issu de la commande `POST_CHAM_XFEM`. On teste en fait la valeur de la somme des valeurs absolues des déplacements des nœuds du maillage fissuré. C'est un test de non-régression par rapport aux valeurs obtenues avec la version 8.2.13 pour *DX* et 9.0.21 pour *DY*

Identification	Référence	Tolérance
SOMM_ABS (DX)	0.000	1.0E-12
SOMM_ABS (DY)	1.3E-05	1.0E-04%

12 Modélisation K

Cette modélisation est exactement la même que la modélisation B. La seule différence est que au préalable au calcul mécanique, on appelle Homard pour raffiner certaines mailles `HEXA8`. Ce processus engendre des mailles `PYRA5`.

12.1 Grandeurs testées et résultats

On teste les valeurs du déplacement après convergence des itérations de l'opérateur `STAT_NON_LINE`. On vérifie que l'on retrouve bien les valeurs déterminées au [§3.3] pour le 2^{ème} cas de chargement.

Identification	Référence	Tolérance
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-9
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-9
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste en dessous de l'interface	0.00	1.0E-9
<i>DX</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	1.0E-6	1.0E-7%
<i>DY</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	2.0E-6	1.0E-7%
<i>DZ</i> pour tous les nœuds juste au dessus de l'interface	3.0E-6	1.0E-7%

Pour tester tous les nœuds en une seule fois, on teste le MINIMUM et le MAXIMUM de la colonne.

13 Synthèses des résultats

Les objectifs de ce test sont atteints :

- Il s'agit de valider la prise en compte de l'enrichissement par la fonction Heaviside des fonctions de forme classiques.
- De plus, la modélisation B a permis de valider la suppression des degrés de liberté enrichis en trop, qui se fait au moment de l'assemblage des termes de la matrice et du second membre.
- La qualité des résultats (déplacements) n'a pas été perturbée par le changement de type de maille (HEXA vers TETRA).