SSLP317- Validation de la macro-commande RAFF_XFEM sur une plaque multi-fissurée

Résumé :

Ce document a pour but de valider la macro commande RAFF_XFEM [U7.03.51] qui permet d'obtenir un champ « d'erreur » *a priori* afin d'alimenter un processus de raffinement de maillage.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère une plaque carrée $2D$ de coté unitaire, centrée à l'origine.
Cette plaque comporte 2 fissures et 2 inclusions (interfaces) :

- une inclusion de type entaille de longueur $L_e=0,6$ et de rayon $R_e=0,05$, centrée en $E(0;-0,3)$,
- une inclusion circulaire de rayon $R_c=0,05$ centrée à l'origine,
- une fissure rectiligne horizontale non-débouchante de longueur $L_A=0,2$ centrée en $A(0,3\ ;0,25)$,
- une fissure rectiligne horizontale non-débouchante de longueur $L_B=0,2$ centrée en $B(-0,2\ ;0,25)$.

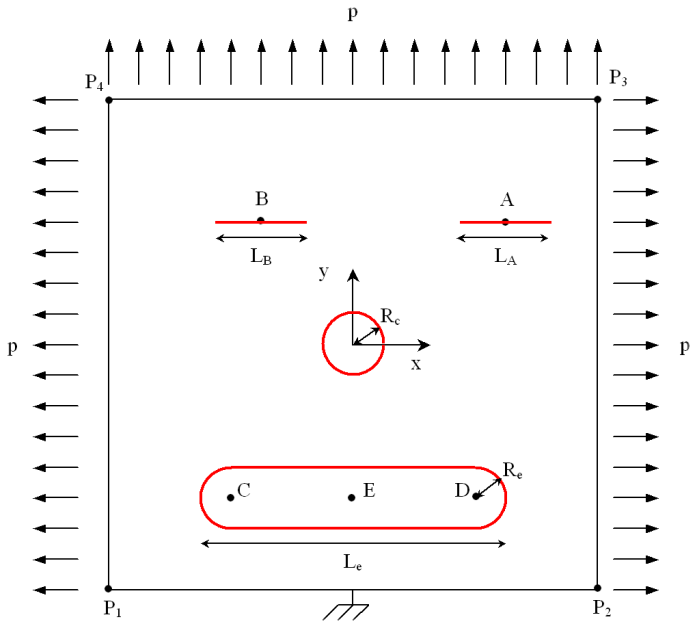


Figure 1.1-1: schéma de la plaque multi-fissurée

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau possède les propriétés suivantes :

- module d'Young : $E=205\,000\,MPa$
- coefficient de Poisson : $\nu=0,3$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Le calcul mécanique importe peu dans ce test car on cherche seulement à tester le critère de raffinement *a priori*. Le calcul mécanique est donné seulement à titre illustratif dans la modélisation A.

On considère un chargement de traction de $p=1\,MPa$ sur les faces gauche, droite et supérieure de la plaque. La face inférieure est encastrée.

1.4 Brève description des différentes modélisations

Toutes les modélisations rentrent dans le cadre de la représentation des fissures et des interfaces par la méthode X-FEM associée aux level sets.

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

La modélisation A calcule un indicateur en distance (champs aux nœuds). Le test portera sur la valeur de cet indicateur en différents nœuds. La méthodologie de raffinement de maillage utilisée est la plus simple (critère en pourcentage de mailles raffinées), mais n'est pas forcément optimale en terme de nombre de mailles.

La modélisation B calcule un indicateur en distance (champs aux nœuds). L'intérêt de cette modélisation est de montrer une méthodologie plus optimale en terme de nombre de mailles. Le teste portera sur la taille des mailles dans la zone raffinée.

La modélisation C calcule un indicateur par zone (par mailles). La méthodologie présentée est la plus aboutie et la plus robuste. C'est cet indicateur et cette méthodologie que l'on conseille.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

2.1.1 Modélisation A

Le test porte sur la valeur de l'indicateur d'erreur en sortie de RAFF_XFEM. On note $I(M)$ la valeur de cet indicateur au point M quelconque.
Au point P_1 en bas à gauche de la structure, l'indicateur vaut l'opposée de la distance au point de l'entaille le plus proche, soit $I(P_1)=-(CP_1-R_e)$.
Au point P_2 en bas à droite de la structure, l'indicateur vaut l'opposée de la distance au point de l'entaille le plus proche, soit $I(P_2)=-(DP_2-R_e)$.
Au point P_3 en haut à droite de la structure, l'indicateur vaut l'opposée de la distance à l'extrémité droite de la fissure la plus à droite, soit $I(P_3)=-A'P_3$ où $A'=A+\frac{L_A}{2}\vec{x}$.
Au point P_4 en haut à gauche de la structure, l'indicateur vaut l'opposée de la distance à l'extrémité gauche de la fissure la plus à gauche, soit $I(P_4)=-B'P_4$ où $B'=B-\frac{L_B}{2}\vec{x}$.

2.1.2 Modélisations B et C

Le test porte sur la valeur du diamètre de la plus petit maille. Si h_0 est la taille initiale des mailles, h_c la taille cible des mailles après raffinement, alors le nombre minimal d'appel à Homard pour atteindre h_c est $\text{nb_raff}=E(n)+1$, avec $n=\frac{\ln(h_0)-\ln(h_c)}{\ln(2)}$. Après raffinement, la taille des mailles les plus raffinées est $h=\frac{h_0}{2^{\text{nb_raff}}}$.

2.2 Résultats de référence

2.2.1 Modélisation A

Avec les valeurs numériques utilisées dans le test, on trouve :

$$I(P_1)=-(\sqrt{0{,}25^2+0{,}2^2}-0{,}05)\approx-0{,}27015621187164246$$
$$I(P_2)=-(\sqrt{0{,}25^2+0{,}2^2}-0{,}05)\approx-0{,}27015621187164246$$
$$I(P_3)=-\sqrt{0{,}25^2+0{,}1^2}\approx-0{,}26925824035672524$$
$$I(P_4)=-\sqrt{0{,}25^2+0{,}2^2}\approx-0{,}32015621187164245$$

2.2.2 Modélisations B et C

Avec $h_0=\frac{\sqrt{(2)}}{20}$ et $h_c=\frac{h_0}{10}$, on trouve $h=0{,}0044194$.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Les interfaces et les fissures sont définies par des level sets.
Le maillage initial est raffiné 3 fois de suite, à l'aide de l'indicateur en distance fourni par RAFF_XFEM. À chaque fois, on raffine 20% des mailles les plus entachées d'« erreur ».

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage initial est sain : il est constitué de 20×20 quadrangles linéaires.

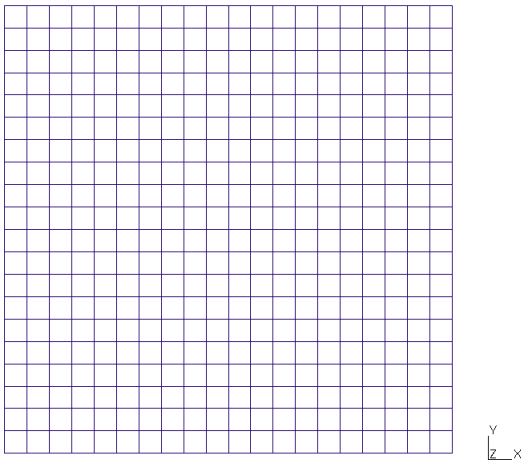


Figure 3.2-1: maillage sain initial

3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur de l'indicateur d'erreur en sortie de RAFF_XFEM aux points P_1, P_2, P_3 et P_4, pour chaque maillage raffiné.

Identification	Référence	Type de référence	% tolérance
$I(P_1)$	-0,270156	'ANALYTIQUE'	0,1%
$I(P_2)$	-0,270156	'ANALYTIQUE'	0,1%
$I(P_3)$	-0,269258	'ANALYTIQUE'	0,1%
$I(P_4)$	-0,320156	'ANALYTIQUE'	0,1%

Pour information, le maillage obtenu après raffinement est présenté sur la Figure 3.3-1. On constate que pour les interfaces, ce ne sont pas seulement les mailles proches des interfaces qui sont raffinées, mais toutes les mailles contenus dans l'inclusion. Cela est dû à la manière dont Homard gère le raccord par conformité des quadrangles découpés. Ce phénomène n'apparait pas avec des triangles. C'est pourquoi dans la suite des modélisations, on préfèrera partir d'un maillage initial de triangles.

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

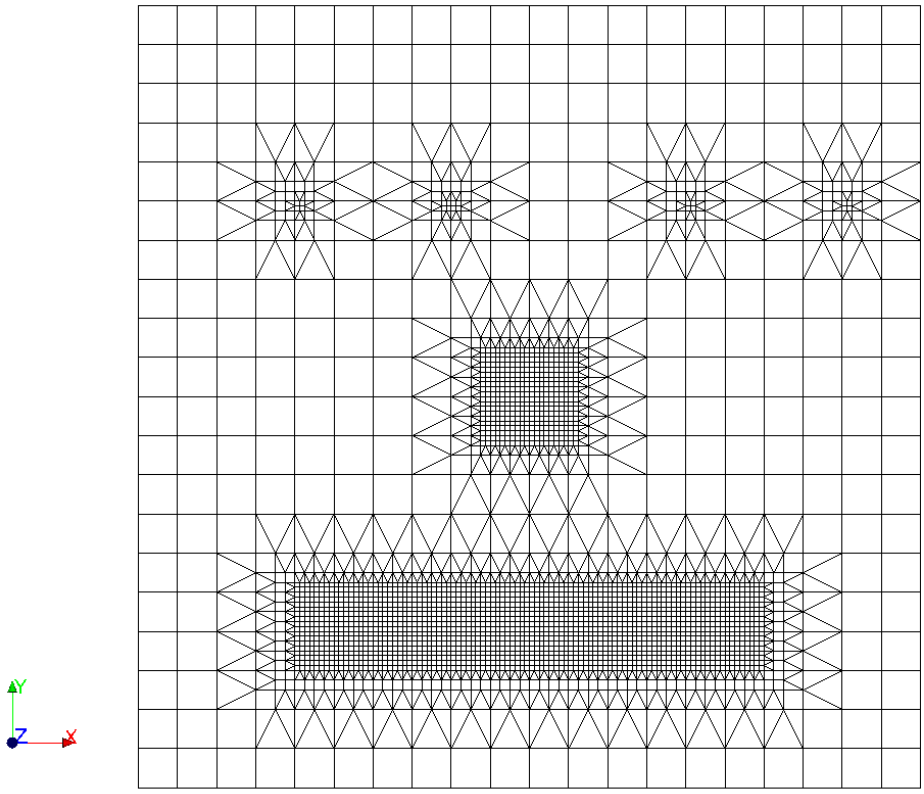


Figure 3.3-1: maillage sain raffiné

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Les interfaces et les fissures sont définies par des level sets.
L'indicateur en distance fourni par RAFF_XFEM est utilisé.

L'intérêt de cette modélisation est de présenter une méthodologie plus optimale que celle utilisée dans la modélisation A. L'idée est de mieux maîtriser le nombres de mailles à raffiner et la taille des mailles en fin du processus de raffinement.

Connaissant la taille initiale des mailles, et en se fixant une taille cible, on va raffiner autant de fois que nécessaire afin d'obtenir dans les zones d'intérêt des mailles de taille adéquat.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage initial est sain : il est constitué de 20×20 quadrangles linéaires, que l'on coupent en deux afin d'obtenir des triangles (voir explication au §3.3). Ce maillage est présenté sur la Figure 4.2-1.

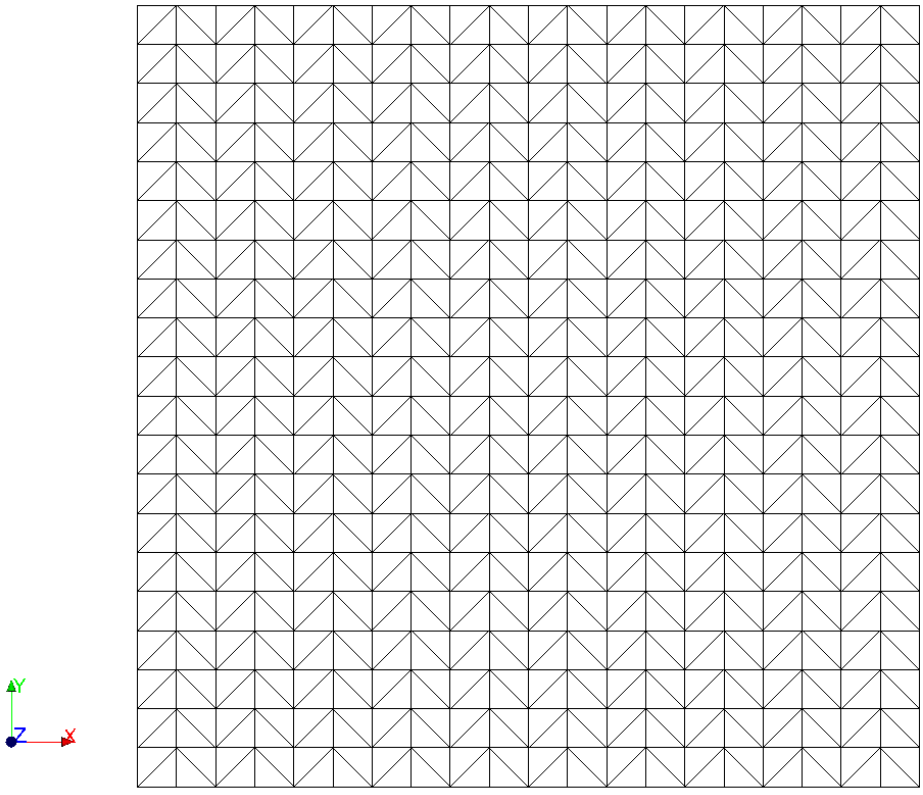


Figure 4.2-1: maillage sain initial

On applique la procédure de raffinement telle que décrite dans [U2.05.02] pour l'indicateur en distance. Cette procédure permet de mieux contrôler la taille et le nombre de maille avec raffinement. Après raffinement, on obtient le maillage présenté sur la Figure 4.2-2. Il est intéressant de noter que les mailles strictement incluses dans la zone d'intérêt (par exemple autour du fond n°1 de la fissure centrée en A) n'ont pas toutes la même taille (voir Figure 4.2-3).

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

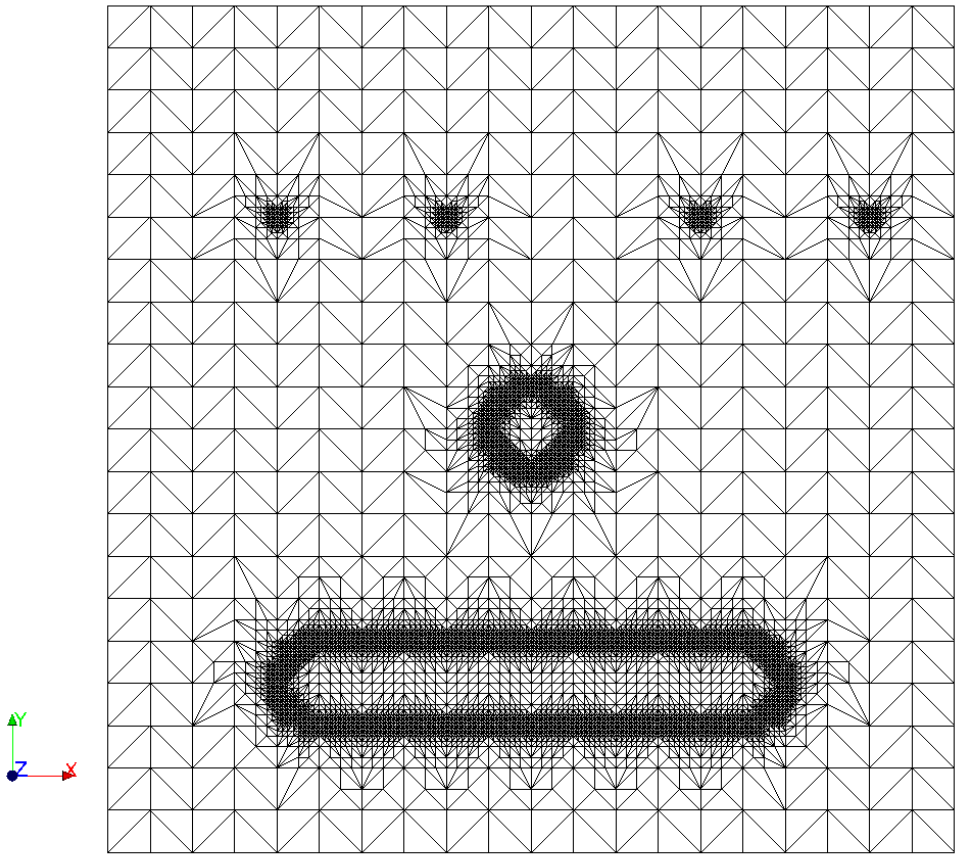


Figure 4.2-2: maillage sain raffiné

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

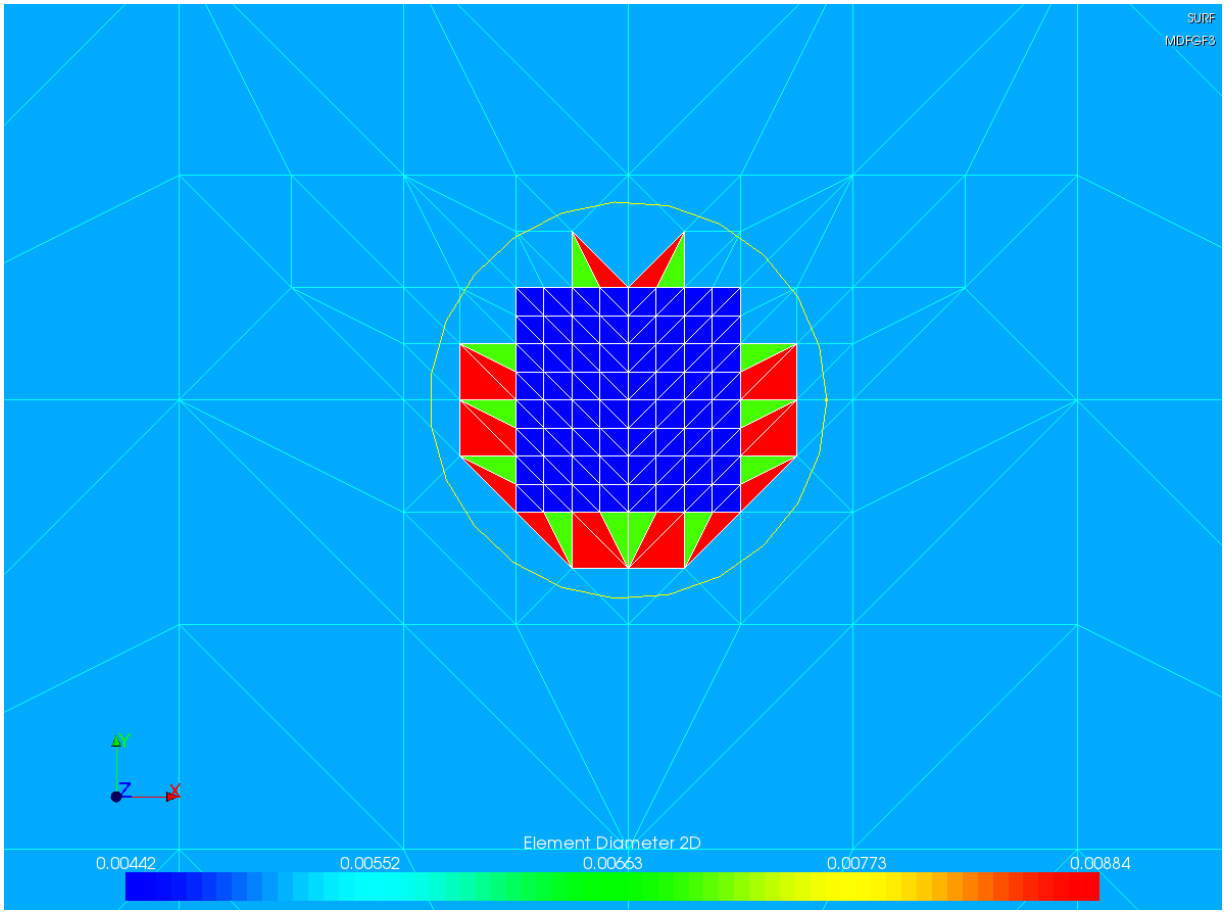


Figure 4.2-3: maillage sain raffiné - zoom autour du fond de fissure n°1 de la fissure centrée en A et carte de tailles dans la zone d'intérêt

4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur de la taille minimale des mailles.

Identification	Référence	Type de référence	% tolérance
$min(h)$	0,004419	'ANALYTIQUE'	0,1%

Ce test sera amélioré lorsque l'on pourra mieux tester les cartes.

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Les interfaces et les fissures sont définies par des level sets.
L'indicateur par zone fourni par RAFF_XFEM est utilisé.

L'intérêt de cette modélisation est de présenter la méthodologie la pus aboutie, qui utilise l'indicateur par zone.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage initial est le même que celui de la modélisation B. Après raffinement, on obtient le maillage raffiné présenté sur la Figure 5.2-1. Il est intéressant de noter la bonne régularité de la tailles des mailles dans la zone d'intérêt (voir Figure 5.2-2).

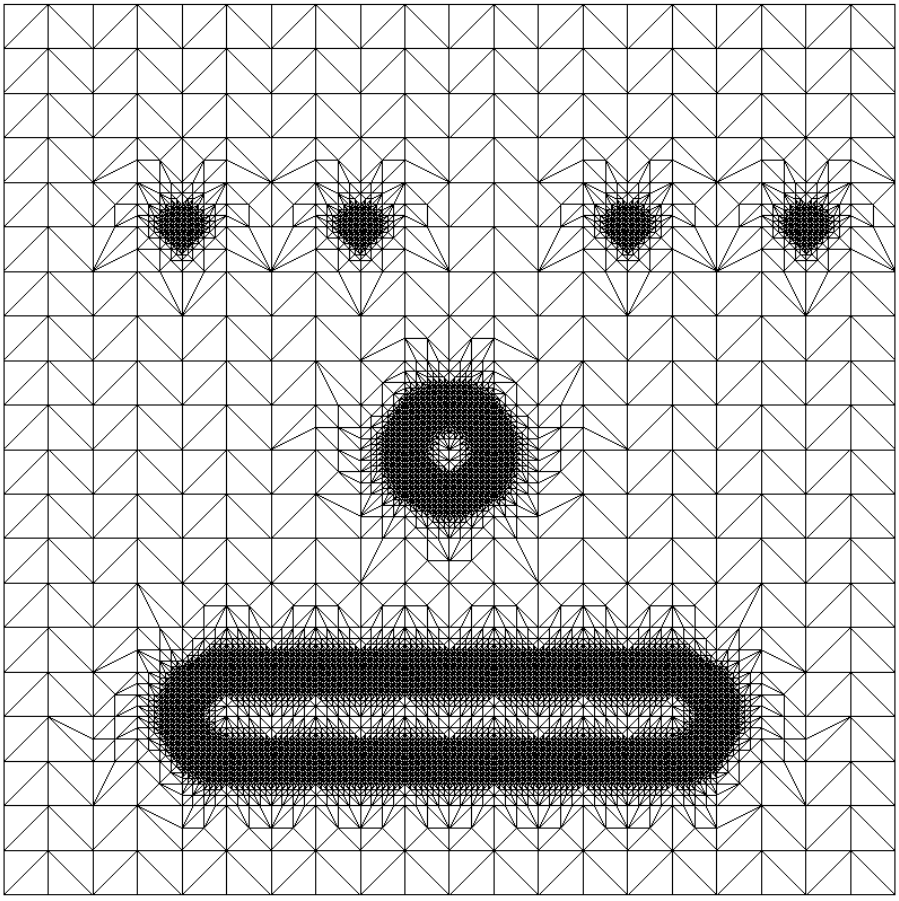


Figure 5.2-1: maillage sain raffiné

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

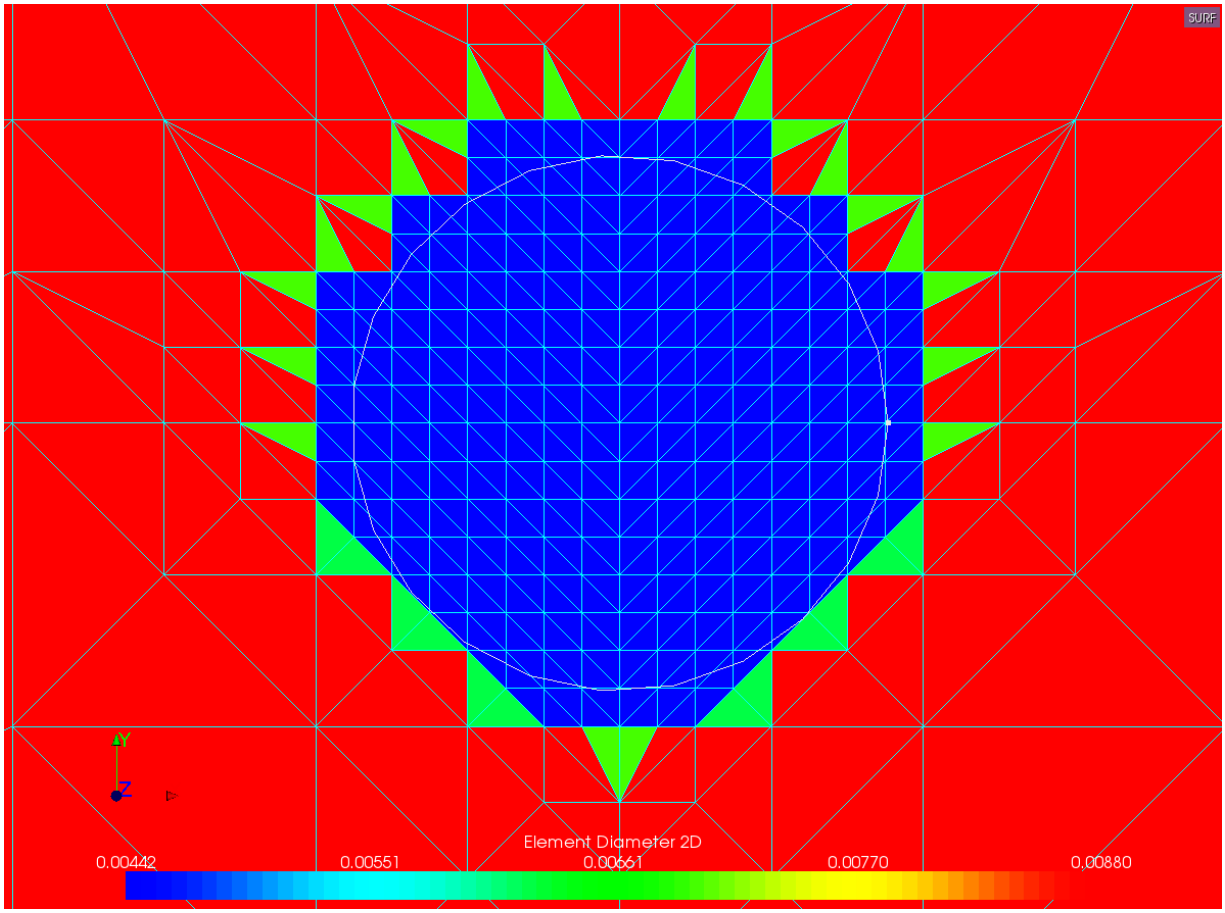


Figure 5.2-2: maillage sain raffiné - zoom autour du fond de fissure n°1 de la fissure centrée en A et carte de tailles dans la zone d'intérêt

5.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur de la taille minimale des mailles.

Identification	Référence	Type de référence	% tolérance
$min(h)$	0,004419	'ANALYTIQUE'	0,1%

Ce test sera amélioré lorsque l'on pourra mieux tester les cartes.

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

6 Synthèse des résultats

Ce test a permis de valider la macro-commande RAFF_XFEM.
Cette commande est également validée pour des interfaces.

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