



## EDF R&D

SIMULATION EN NEUTRONIQUE, TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET CALCUL SCIENTIFIQUE

ANALYSE ET MODELES NUMERIQUES

1 avenue du Général de Gaulle - 92141 CLAMART CEDEX, +33 (1) 47 65 43 21

7 janvier 2009

# Logiciel HOMARD - Volume 1 - Présentation générale

Gérald NICOLAS

Thierry FOUQUET

<b>H-I23-2008-04107-FR</b>	<b>1.0</b>		
<p>Le logiciel HOMARD est destiné à adapter les maillages dans le cadre des codes de calculs par éléments ou volumes finis. Ce logiciel, réalisé par EDF R&amp;D, procède par raffinement et déraffinement des maillages bidimensionnels ou tridimensionnels. Il est conçu pour être utilisé indépendamment du code de calcul auquel il est couplé. Ce document constitue le premier volume de la documentation de HOMARD. Il présente les domaines d'application du logiciel en les illustrant par quelques exemples issus des cas-tests de HOMARD ou de calculs réalisés en couplage avec Code_Aster. Pour des exemples, il est judicieux de consulter le site web qui est consacré à HOMARD : <a href="http://www.code-aster.org/outils/homard">www.code-aster.org/outils/homard</a>.</p>			



**EDF R&D**

SIMULATION IN NEUTRONICS, INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENTIFIC COMPUTATION (SINETICS)

NUMERICAL ANALYSIS AND MODELS

1 avenue du Général de Gaulle - 92141 CLAMART CEDEX, +33 (1) 47 65 43 21

January 7 2009

**HOMARD software - Volume 1 - General presentation**

Gérald NICOLAS

Thierry FOUQUET

<b>H-I23-2008-04107-FR</b>	<b>1.0</b>		
----------------------------	------------	--	--

The HOMARD software is dedicated to mesh adaptation for computational simulation with finite element or finite volume techniques. This software is designed by EDF R&D. It is based on refinement and coarsening of 2D or 3D meshes and can be used whatever the computational code linked to. This document is the first volume of the HOMARD software documentation. It presents application domain, with some examples from test cases in connection with Code\_Aster.  
For more examples, the internet site [www.code-aster.org/homard](http://www.code-aster.org/homard) should be looked on.





<b>EDF R&amp;D</b>	Logiciel HOMARD - Volume 1 - Présentation générale	<b>H-I23-2008-04107-FR</b> <b>Version 1.0</b>
--------------------	----------------------------------------------------	--------------------------------------------------

## Synthèse

Dans un calcul par éléments ou volumes finis classique, le maillage est une donnée immuable. On part du principe général que la finesse des mailles augmente la précision du calcul. Ainsi, l'ingénieur d'études analyse son problème, repère les zones où le maillage doit être fin et crée un maillage en respectant ces contraintes. Néanmoins, il est fréquent que ce maillage initial ne soit pas le mieux adapté aux conditions du calcul, pour au moins deux raisons :

- le mailleur n'a pas réussi à décrire finement la géométrie ; par exemple du fait de limitations sur le nombre de degrés de liberté acceptable pour l'ordinateur dont on dispose ;
- les conditions du calcul changent au fur et à mesure de son déroulement ; par exemple, les zones à mailler finement peuvent se déplacer au cours d'un calcul transitoire.

Utiliser une technique d'adaptation de maillage consiste à modifier le maillage au fur et à mesure du calcul, de telle sorte qu'il corresponde au mieux aux résultats escomptés.

Pour faire bénéficier de ces techniques ses principaux logiciels, EDF R&D a lancé en 1993 le développement de HOMARD, logiciel de raffinement et de déraffinement de maillages bidimensionnels et tridimensionnels. Ce document constitue le premier volume de la documentation de HOMARD. Il présente le domaine de validité du logiciel en l'illustrant par des exemples issus des cas-tests de HOMARD ou de calculs réalisés en couplage avec *Code\_Aster*.

## Sommaire

<b>PAGE DE GARDE .....</b>	<b>1</b>
<b>FRONT PAGE .....</b>	<b>2</b>
<b>CIRCUIT DE VALIDATION .....</b>	<b>3</b>
<b>PRE-DIFFUSION.....</b>	<b>3</b>
<b>LISTE DE DIFFUSION .....</b>	<b>4</b>
<b>SYNTHESE .....</b>	<b>5</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
<b>2. COMMENT FONCTIONNE HOMARD ? .....</b>	<b>7</b>
2.1. L'ADAPTATION DE MAILLAGE .....	7
2.2. LE PERIMETRE D'UTILISATION DE HOMARD .....	8
2.3. LES PRINCIPES DE BASE DE HOMARD.....	10
2.3.1. <i>Les modes de découpage des mailles</i> .....	10
2.3.2. <i>Comment gérer la conformité ?</i> .....	13
<b>3. EXEMPLES D'UTILISATION .....</b>	<b>20</b>
3.1. UN EXEMPLE ACADEMIQUE .....	20
3.2. UNE ADAPTATION AVEC SUIVI DE FRONTIERE COURBE .....	22
3.3. SUIVI DE LA PROPAGATION D'UNE FISSURE.....	24
<b>4. COMMENT UTILISER HOMARD ? .....</b>	<b>27</b>
<b>5. TABLES .....</b>	<b>28</b>
5.1. LES REFERENCES .....	28
5.2. LA LISTE DES FIGURES.....	28
5.3. INDEX.....	29

## 1. Introduction

Dans un calcul par éléments ou volumes finis classique, le maillage est une donnée immuable. On part du principe général que la finesse des mailles augmente la précision du calcul. Ainsi, l'ingénieur d'études analyse son problème, repère les zones où le maillage doit être fin et crée un maillage en respectant ces contraintes. Néanmoins, il est fréquent que ce maillage initial ne soit pas le mieux adapté aux conditions du calcul, pour au moins deux raisons :

- le mailleur n'a pas réussi à décrire finement la géométrie ; par exemple du fait de limitations sur le nombre de degrés de liberté acceptable pour l'ordinateur dont on dispose ;
- les conditions du calcul changent au fur et à mesure de son déroulement ; par exemple, les zones à mailler finement peuvent se déplacer au cours d'un calcul transitoire.

Utiliser une technique d'adaptation de maillage consiste à modifier le maillage au fur et à mesure du calcul, de telle sorte qu'il corresponde au mieux aux résultats escomptés.

EDF R&D	Logiciel HOMARD - Volume 1 - Présentation générale	H-I23-2008-04107-FR Version 1.0
---------	----------------------------------------------------	------------------------------------

Pour faire bénéficier de ces techniques ses principaux logiciels, EDF R&D a lancé en 1993 le développement de HOMARD, logiciel de raffinement et de déraffinement de maillages bidimensionnels et tridimensionnels. Ce document constitue le premier volume de la documentation de HOMARD. Il présente le domaine de validité du logiciel en l'illustrant par des exemples issus des cas-tests de HOMARD ou de calculs réalisés en couplage avec *Code\_Aster*.

Pour comprendre l'intérieur de HOMARD, il faut joindre à ce texte tous les autres documents explicatifs de la réalisation du logiciel :

- le volume 2 présente les algorithmes de raffinement et déraffinement [Réf. 0]
- le volume 3 décrit les interfaces avec les codes de calcul [Réf. 2]
- le volume 4 décrit les structures de données [Réf. 3]

On trouvera des conseils pour l'adaptation de maillage avec HOMARD dans le document [Réf. 5].

Pour en savoir davantage sur l'utilisation de HOMARD, il est judicieux de consulter le site web qui lui est consacré : [www.code-aster.org/outils/homard](http://www.code-aster.org/outils/homard). On y trouve des explications techniques et des exemples d'adaptation.

## 2. Comment fonctionne HOMARD ?

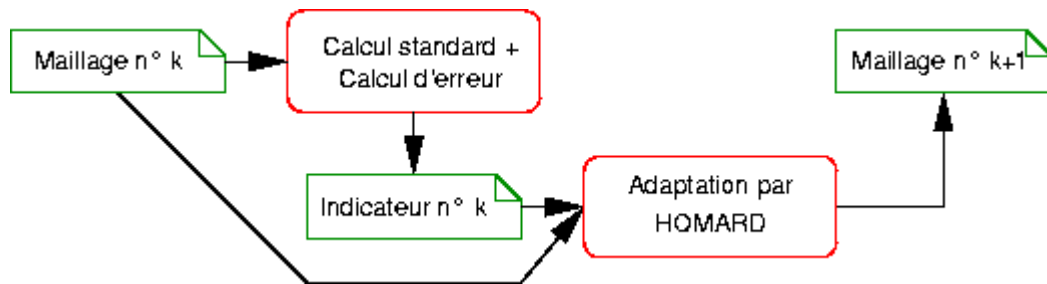
### 2.1. L'adaptation de maillage

Plusieurs motivations apparaissent pour adapter un maillage :

- le maillage est très compliqué à réaliser : on part d'une version simple et on confie à un processus automatique la charge de l'affiner.
- on veut s'assurer de la convergence de la solution numérique : plutôt que de réaliser à la main des maillages de plus en plus fins, on laisse le logiciel chercher lui-même les endroits où il faudrait affiner le maillage pour augmenter la précision du résultat.
- les conditions du calcul changent au cours de son déroulement : les zones qui doivent être maillées finement se déplacent. Si on maille fin partout dès le début, le maillage est trop gros. En adaptant au fur et à mesure, le maillage ne sera fin qu'aux endroits nécessaires : sa taille sera réduite et la qualité de la solution sera bonne.

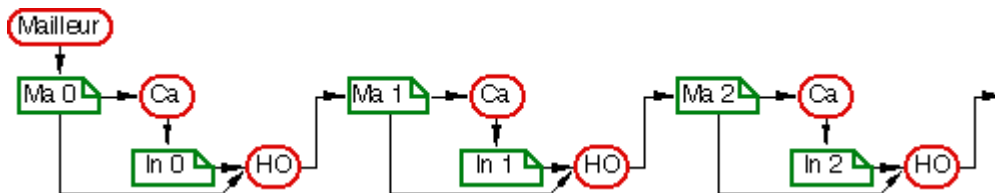
Quels que soient les logiciels utilisés, le principe de l'adaptation de maillage reste le même. Sur le maillage de départ, on réalise le calcul standard. A partir d'une analyse de la solution numérique obtenue, on estime l'erreur qui a été commise par rapport à la solution réelle. Cette estimation se représente par une valeur d'indicateur d'erreur dans chaque maille du calcul. A partir de là, on applique le principe suivant : les mailles où l'indicateur d'erreur est fort devraient être plus petites et réciproquement, les mailles où l'indicateur d'erreur est faible pourraient être plus grandes. Avec cette information, on alimente le logiciel d'adaptation qui va modifier le maillage en conséquence. Sur le nouveau maillage, on recommencera alors le calcul.

Schématiquement, une itération d'adaptation de maillage se présente comme sur la figure ci-dessous. Le logiciel calcule la solution numérique sur le maillage  $n^{\circ}k$ , puis en déduit les valeurs de l'indicateur d'erreur sur tout le maillage. A partir de la connaissance du maillage  $n^{\circ}k$  et de l'indicateur  $n^{\circ}k$ , HOMARD crée le nouveau maillage  $n^{\circ}k+1$ .



**Figure 1 – Itération d'adaptation de maillage**

Au final, la chaîne complète part du maillage initial produit par un mailleur. Elle comprend des maillons successifs (calcul d'indicateur / adaptation) comme sur la figure ci-dessous.



**Figure 2 – Chaîne d'adaptation de maillage**

Pour un calcul statique, cela revient à chercher à améliorer la solution par une succession de calculs sur des maillages différents. Pour un calcul transitoire en temps, le calcul est suspendu à un instant donné ; le maillage est adapté ; le calcul reprend au même instant sur le nouveau maillage.

## 2.2. Le périmètre d'utilisation de HOMARD

HOMARD sait traiter des maillages en 2 ou 3 dimensions et comportant les mailles suivantes :

- mailles-points
- segments
- triangles
- quadrangles
- tétraèdres
- hexaèdres
- pentaèdres

Ces éléments peuvent être présents simultanément. Par exemple, HOMARD saura adapter un maillage comportant des triangles et des quadrangles. HOMARD produit des pyramides pour assurer la conformité du raffinement d'hexaèdres. En revanche, il ne sait pas adapter un maillage qui en contiendrait au départ.

Les nœuds acceptés sont évidemment les nœuds qui sont les sommets des éléments, ce qui correspond à la description classique « en degré 1 ». Si les éléments sont décrits « en degré 2 », les nœuds complémentaires sont gérés. Ces nœuds sont placés au milieu des arêtes. En revanche, il ne peut pas y avoir cohabitation d'éléments décrits en degré 1 et d'éléments décrits en degré 2. Enfin, HOMARD sait prendre en compte des nœuds isolés, qui n'appartiendraient à aucune définition d'éléments : ils ressortiront tels quels du processus d'adaptation.



EDF R&D	Logiciel HOMARD - Volume 1 - Présentation générale	H-I23-2008-04107-FR Version 1.0
---------	----------------------------------------------------	------------------------------------

Il y a possibilité de raffinement et de déraffinement. Déraffiner consiste à revenir en arrière sur des découpages qui ont eu lieu précédemment. On ne peut donc pas obtenir un maillage plus grossier que le maillage initial [voir paragraphe 3.3].

L'adaptation est pilotée par la fourniture d'un champ d'indicateurs d'erreurs sur le maillage. Ce champ peut être exprimé sur les nœuds ou les éléments. Le choix des seuils de raffinement ou de déraffinement se fait sous trois formes :

- une valeur d'erreur en absolu : on raffinerà tous les éléments dont l'indicateur est supérieur à cette valeur
- une valeur d'erreur en relatif : on raffinerà les éléments dont l'indicateur est supérieur à x% de l'erreur maximale
- une fraction d'éléments : on raffinerà les x% d'éléments dont l'indicateur est le plus important

Le même principe s'applique au déraffinement.

On peut également piloter l'adaptation par zone : on raffinerà toutes les mailles contenues dans un groupe par exemple, ou toutes les mailles dont deux sommets appartiennent à une zone géométrique précise.

Selon les types de problèmes, l'une ou l'autre des stratégies est préférable ; c'est le savoir-faire propre à chaque discipline qui permet de définir des bonnes pratiques. Il faut néanmoins être prudent et ne pas demander trop de raffinement quand on travaille avec des maillages conformes. En effet, le seuil va déclencher le raffinement obligatoire des éléments désignés. Mais pour assurer la conformité, il y aura nécessairement des raffinements supplémentaires pour relier les zones de différents niveaux. Au final, on aura toujours plus d'éléments découpés que ceux qui avaient été demandés initialement. L'expérience nous a montré qu'il est plus efficace pour la précision de la solution d'enchaîner 3 raffinements de suite en demandant de raffiner 1% des éléments plutôt que de ne faire qu'un seul raffinement en demandant 5%.

Le maillage peut être conforme au sens des éléments finis ou non conforme. On indique à HOMARD quel type utiliser et le maillage produit respectera ces contraintes [voir paragraphe 2.3.2].

En 2 dimensions, si une des frontières du domaine de calcul est courbe et qu'un élément touchant cette frontière est raffiné, HOMARD saura placer les nouveaux nœuds sur le « vrai » bord [voir paragraphe 3.2]. En 3D, cette fonctionnalité n'est pas opérationnelle.

Les caractéristiques des éléments sont préservées : une maille qui est découpée transmet à ses fils ses propriétés d'orientation ou d'appartenance à des sous-domaines.

Le maillage peut être connexe ou être formé de plusieurs morceaux disjoints. Il peut comporter des zones en équivalence pour modéliser des symétries de répétition : si le découpage vient à toucher un tel bord, son bord homologue sera découpé dans les mêmes conditions pour respecter la périodicité.

HOMARD met à jour des champs réels de l'ancien vers le nouveau maillage lorsqu'ils sont définis sur les nœuds ou constants par mailles. Cela permet au cours d'un calcul transitoire de repartir de la solution précédemment calculée mais exprimée sur le nouveau maillage. De manière générale, il est d'ailleurs recommandé de mettre à jour les champs via HOMARD plutôt que de les projeter d'un maillage sur l'autre ensuite dans le logiciel de calcul. En effet, HOMARD mémorise la filiation de tous les nœuds et mailles : il ne fera donc que les calculs strictement nécessaires et uniquement par des formules analytiques.

Les maillages et les champs sont lus et écrits dans des fichiers respectant le standard MED [Réf. 4] .

Par ailleurs, HOMARD possède des fonctions d'analyse de maillage :

- connexité : le logiciel informe sur le nombre de blocs disjoints qui forment le maillage global.
- taille : calcul des tailles des différents sous-domaines 1D, 2D ou 3D.
- qualité : détermination de la qualité des éléments 2D ou 3D ; valeurs extrêmes et répartition
- interpénétration : contrôle du non recouvrement d'éléments

Ces fonctions sont activables au cours d'une adaptation. Elles peuvent aussi être utilisées hors de toute adaptation pour vérifier un maillage. Elles aident l'utilisateur à vérifier que son maillage est correct et à repérer des erreurs dans sa réalisation.

## 2.3. Les principes de base de HOMARD

Parmi les diverses techniques possibles pour adapter un maillage, nous avons retenu pour HOMARD le raffinement et déraffinement par découpage des éléments. Nous ne donnerons ici que les grandes lignes du processus. Pour en connaître davantage, et en particulier pour mieux appréhender les raisons des différents choix que nous avons faits, le lecteur consultera le rapport théorique [Réf. 0].

### 2.3.1. Les modes de découpage des mailles

Le découpage standard est celui qui s'applique à toute maille au cœur d'une zone à raffiner : un triangle est découpé en quatre triangles, un quadrangle est découpé en quatre quadrangles, un tétraèdre en huit tétraèdres. Chaque découpage prend appui sur les milieux des arêtes bordant l'élément.

Le découpage d'un triangle produit quatre triangles homothétiques :

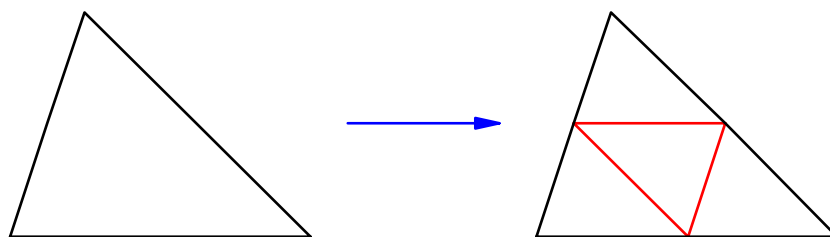
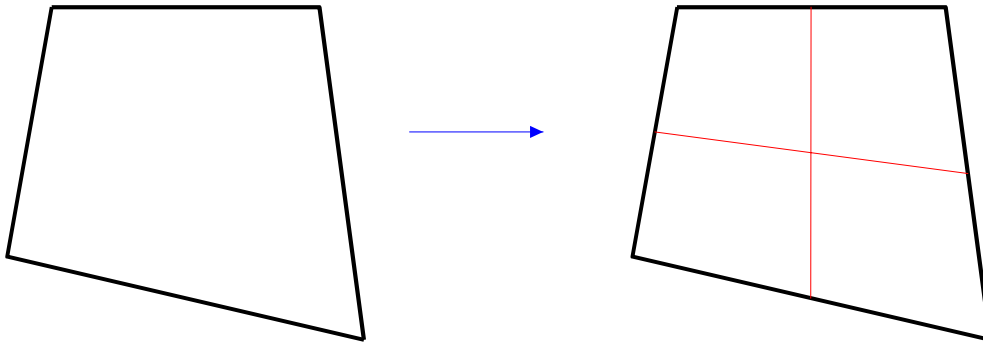


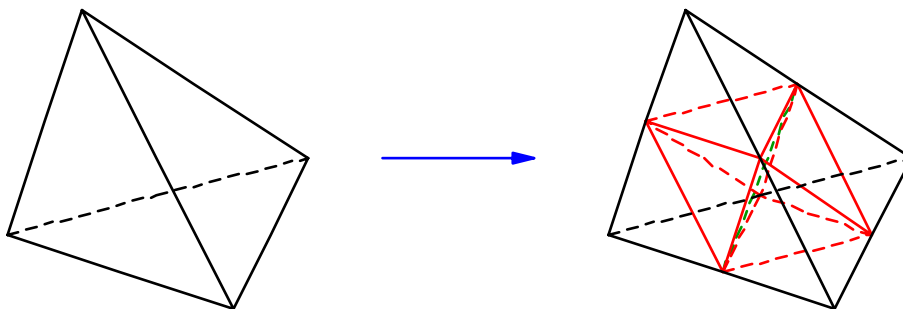
Figure 3 – Découpage standard des triangles

Le découpage en quatre d'un quadrangle prend appui sur les milieux des quatre arêtes. On insère ensuite un nœud au barycentre des quatre sommets du quadrangle. Sauf cas particuliers, les quadrangles fils ne sont pas homothétiques du père.



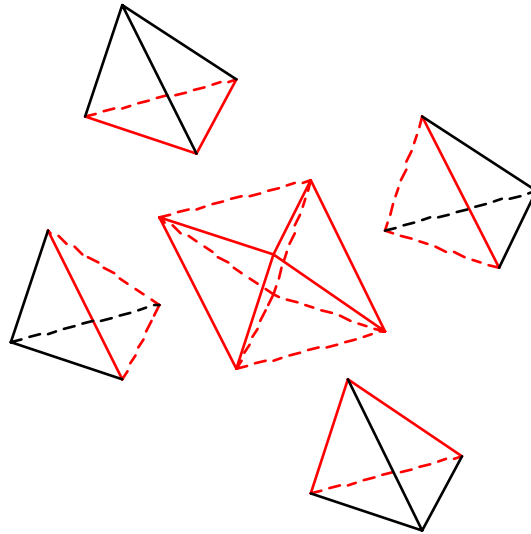
**Figure 4 - Découpage standard des quadrangles**

Le découpage en huit d'un tétraèdre est basé sur le découpage en quatre des quatre faces du tétraèdre. On crée ensuite les quatre faces qui coupent les angles.



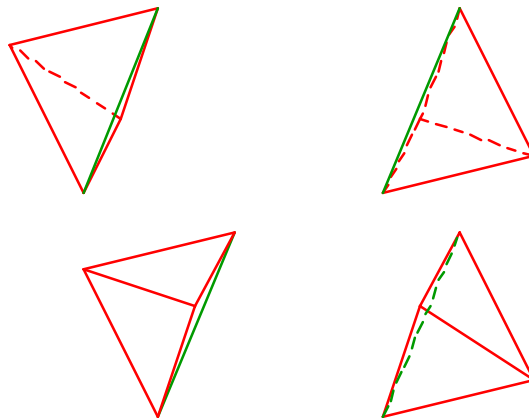
**Figure 5 - Découpage standard des tétraèdres - 1**

Cela permet d'isoler quatre tétraèdres d'angle, homothétiques du père, et un bloc interne formé de deux pyramides accolées par leur base carrée :



**Figure 6 - Découpage standard des tétraèdres - 2**

Ce bloc bi-pyramidal interne se découpe en quatre tétraèdres enroulés autour d'une de ses diagonales. Ces quatre tétraèdres ne sont jamais homothétiques du père.



**Figure 7 - Découpage standard des tétraèdres - 3**

Le découpage en huit d'un hexaèdre est basé sur le découpage en quatre des quatre faces de l'hexaèdre. On ajoute un nœud au centre de l'hexaèdre et on crée ensuite les faces intérieures.

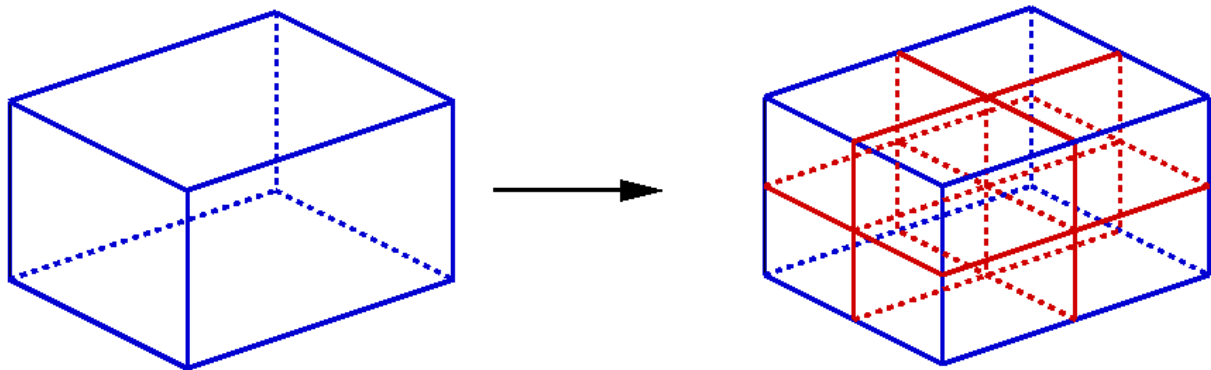


Figure 8 - Découpage standard des hexaèdres

Le découpage en huit d'un pentaèdre est basé sur le découpage en quatre des cinq faces du pentaèdre. On crée ensuite les faces intérieures.

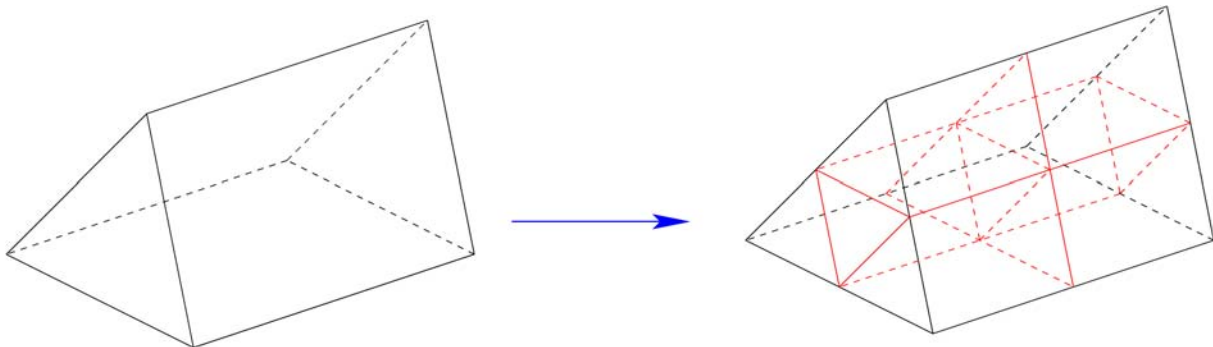
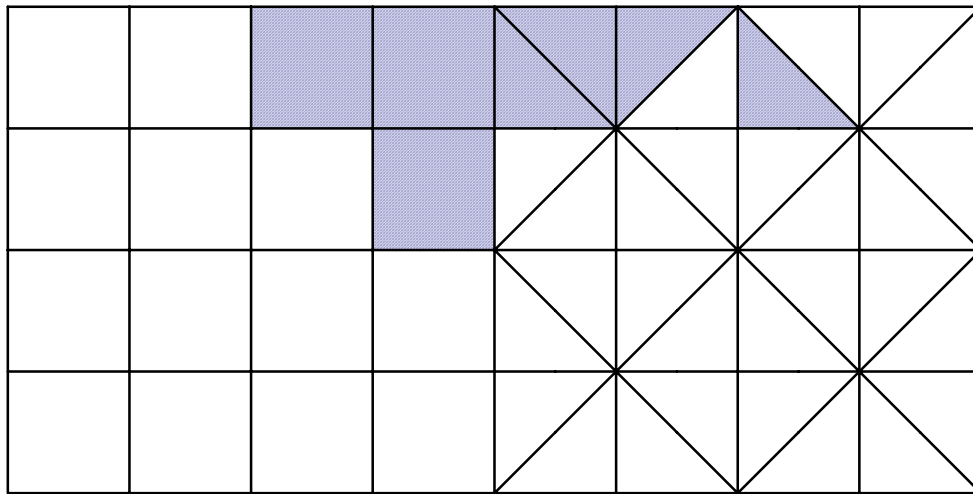


Figure 9 - Découpage standard des pentaèdres

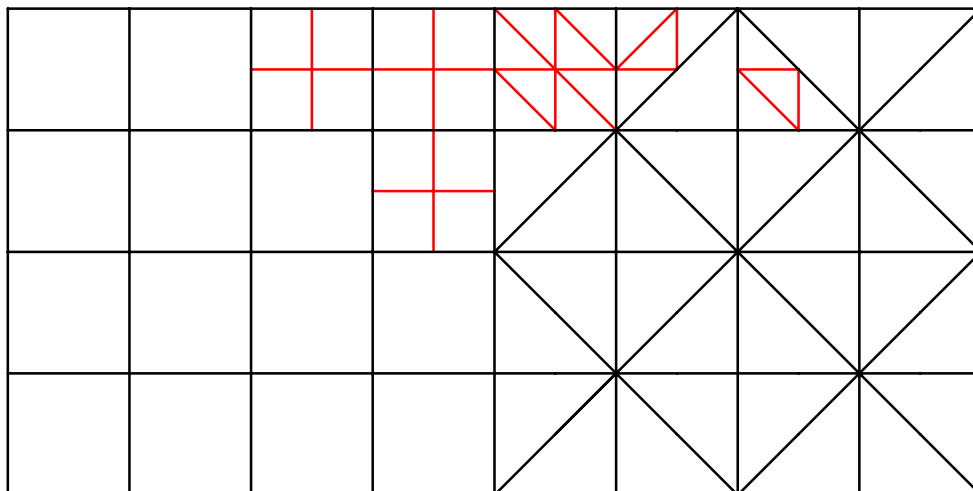
### 2.3.2. Comment gérer la conformité ?

Partons d'une situation comme celle de la figure ci-dessous représentant un maillage bidimensionnel formé de quadrangles et de triangles. L'indicateur d'erreur aura demandé un raffinement sur les zones hachurées.



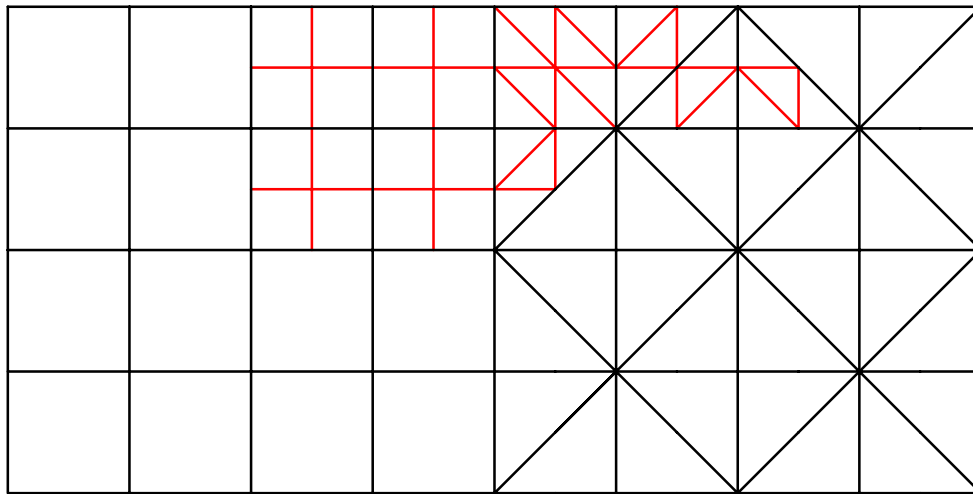
**Figure 10 – Exemple de demande de raffinement**

La stricte application du principe de découpage des éléments désignés par l'indicateur d'erreur produit le maillage ci-dessous :



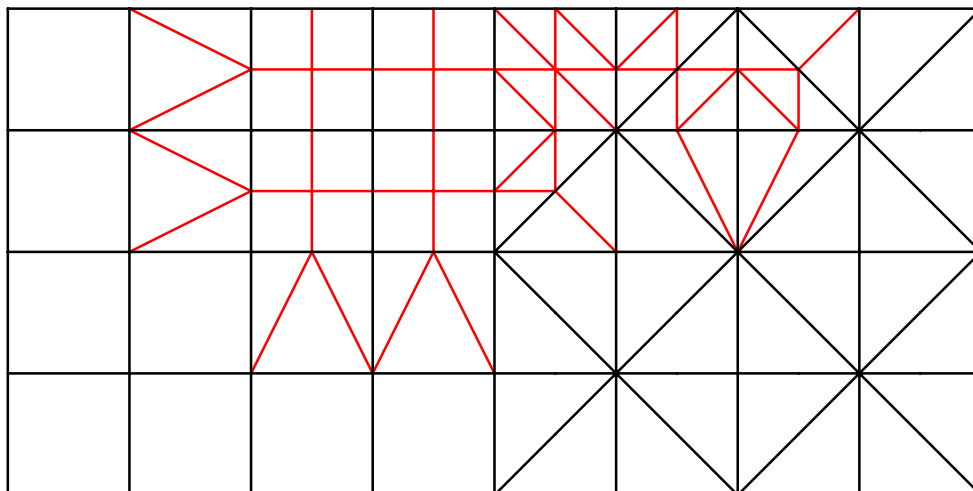
**Figure 11 – Exemple de raffinement non conforme brut**

Si le logiciel de calcul associé fonctionne avec des maillages acceptant tous les types de non conformité sur les éléments, on peut s'arrêter à ce niveau. C'est la première option de pilotage de HOMARD. Si le logiciel de calcul accepte des maillages avec au plus un point de non conformité, il faut sélectionner l'option ad-hoc de HOMARD, ce qui produira le maillage ci-dessous :



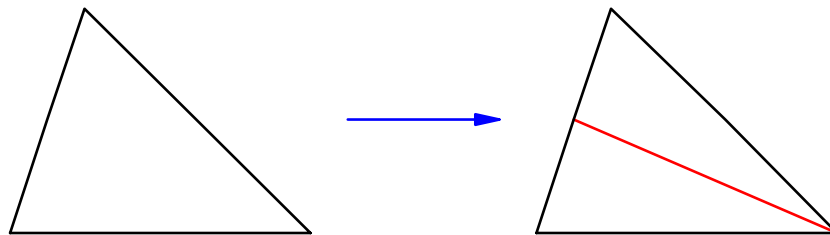
**Figure 12 – Exemple de raffinement non conforme à 1 point**

Enfin, si le logiciel de calcul associé ne fonctionne qu'avec des maillages conformes, il faut le signaler à HOMARD, ce qui produira le maillage ci-dessous :

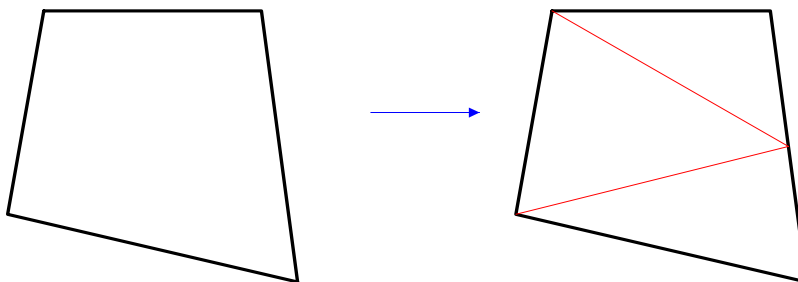


**Figure 13 – Exemple de raffinement conforme**

HOMARD sait donc traiter les trois types de raffinement : non-conforme brut, non-conforme avec au plus un point de non conformité par élément, conforme. Quand il y a une demande de maillage conforme, si on se contentait des seuls découpages standard, de proche en proche on serait conduit à découper tout le maillage ! Il n'y aurait aucun intérêt à faire de l'adaptation. Il a fallu introduire des découpages spéciaux : les triangles sont découpés en deux triangles et les quadrangles sont découpés en trois triangles. De même, en 3D, les tétraèdres sont découpés en deux ou quatre tétraèdres et les hexaèdres en pyramides et tétraèdres.

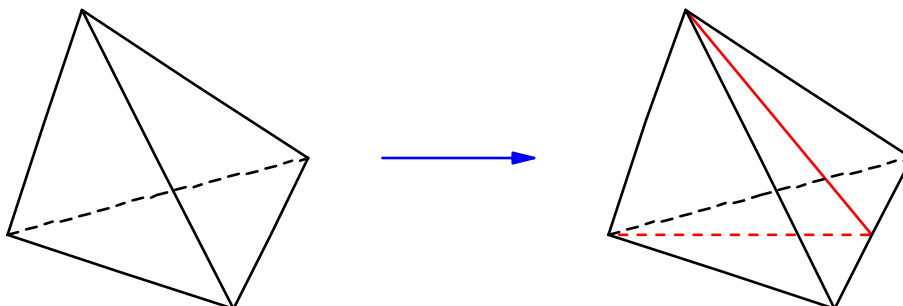


**Figure 14 - Découpage de conformité des triangles**

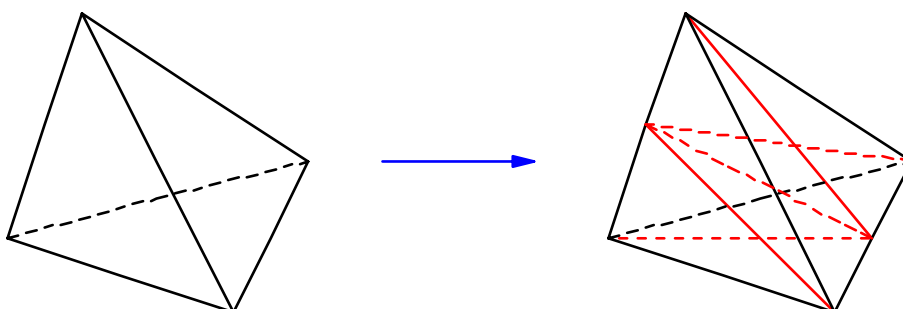


**Figure 15 - Découpage de conformité des quadrangles en 3 triangles**

Le découpage des tétraèdres est de 3 types selon que le tétraèdre est attaqué par une arête, deux arêtes en vis-à-vis ou une face.

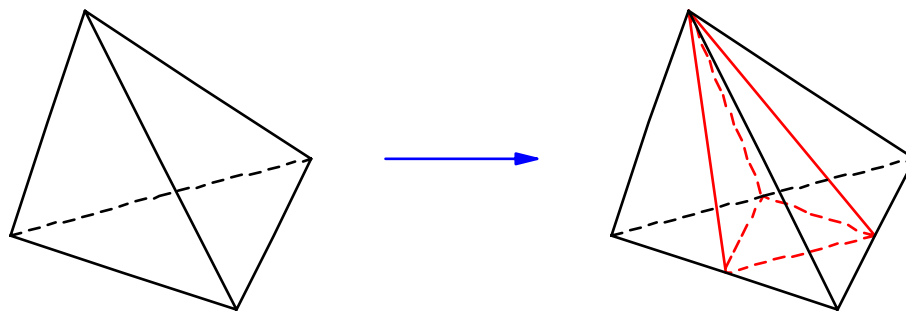


**Figure 16 - Découpage de conformité des tétraèdres – En 2**



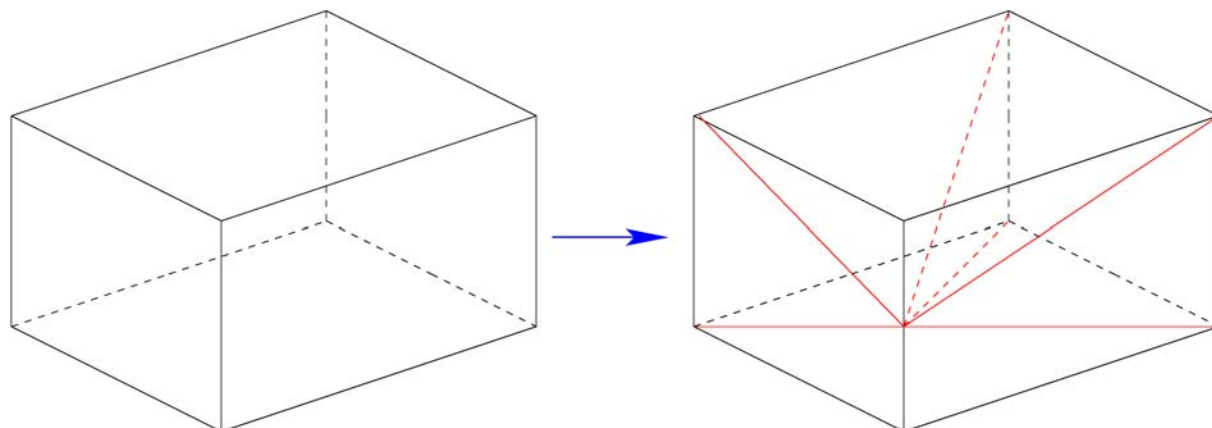
**Figure 17 - Découpage de conformité des tétraèdres – En 2 fois 2**



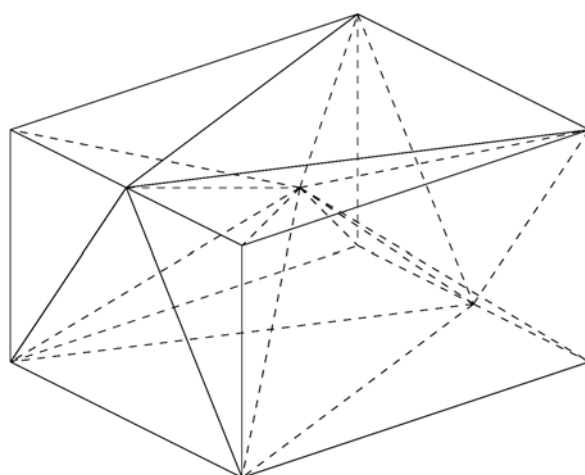


**Figure 18 - Découpage de conformité des tétraèdres – En 4 par une face**

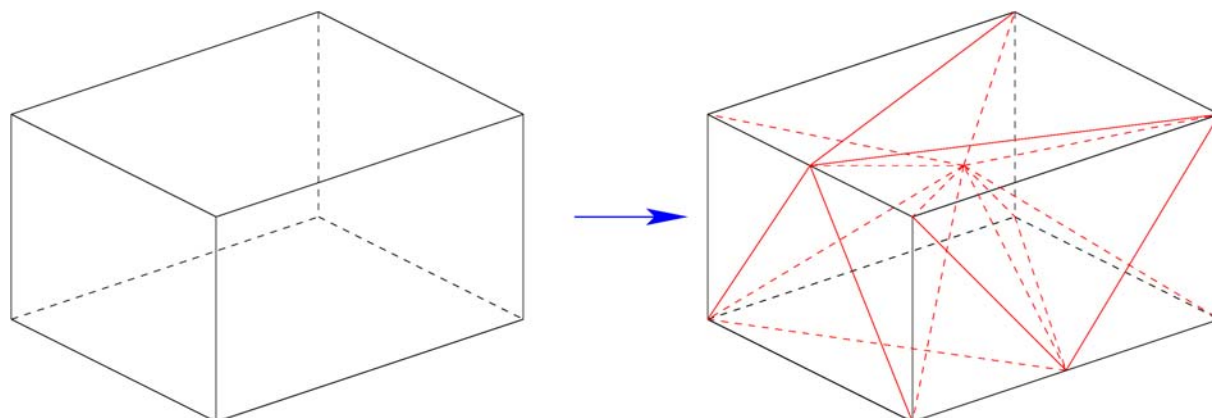
Le découpage des hexaèdres est de 4 types selon que l'hexaèdre est attaqué par une arête, deux arêtes en vis-à-vis, deux arêtes non en vis-à-vis ou une face.



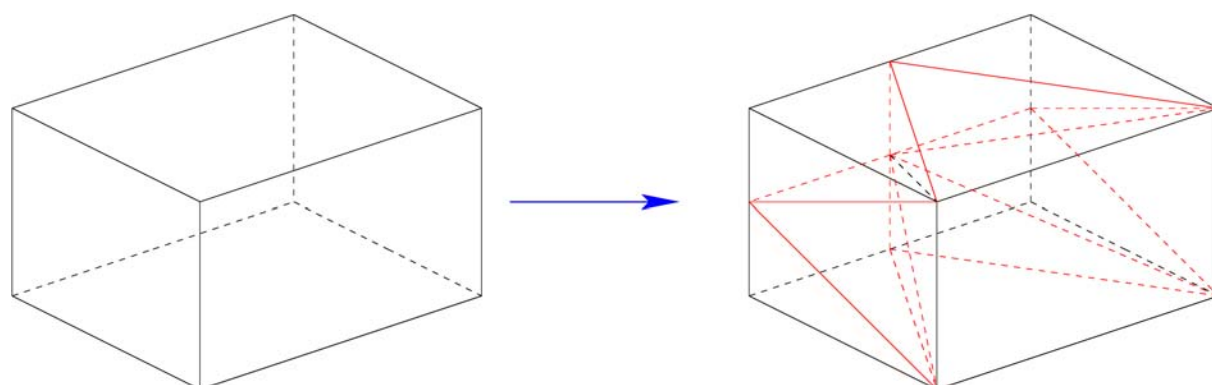
**Figure 19 – Découpage de conformité pour un hexaèdre par 1 arête – 4 pyramides**



**Figure 20 - Découpage de conformité pour un hexaèdre par 2 arêtes en vis-à-vis – 2 pyramides / 12 tétraèdres**



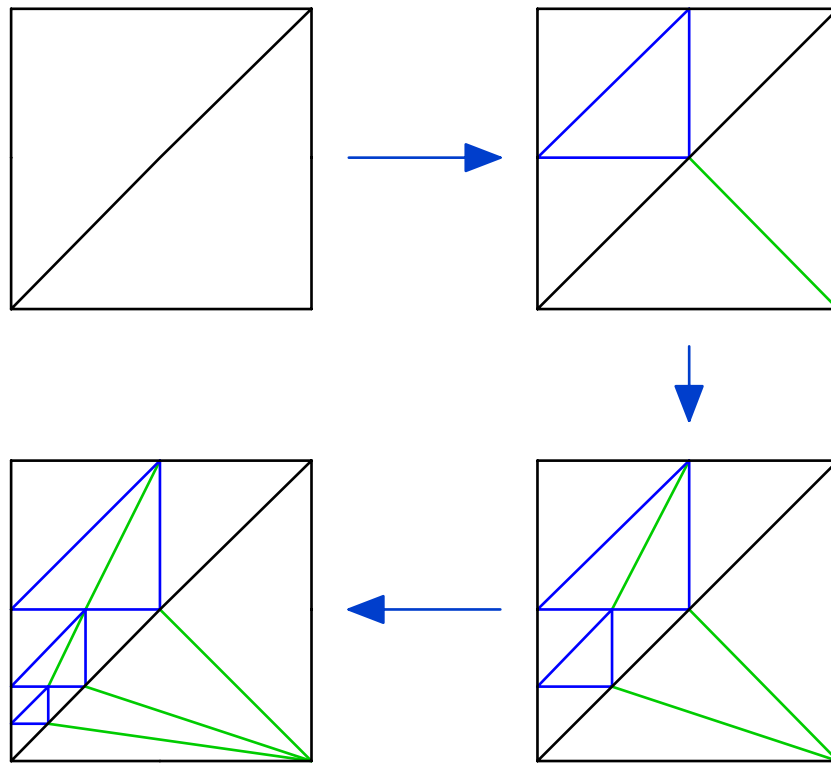
**Figure 21 - Découpage de conformité pour un hexaèdre par 2 arêtes non en vis-à-vis – 2 pyramides / 12 tétraèdres**



**Figure 22 - Découpage de conformité pour un hexaèdre par 1 face – 5 pyramides / 4 tétraèdres**

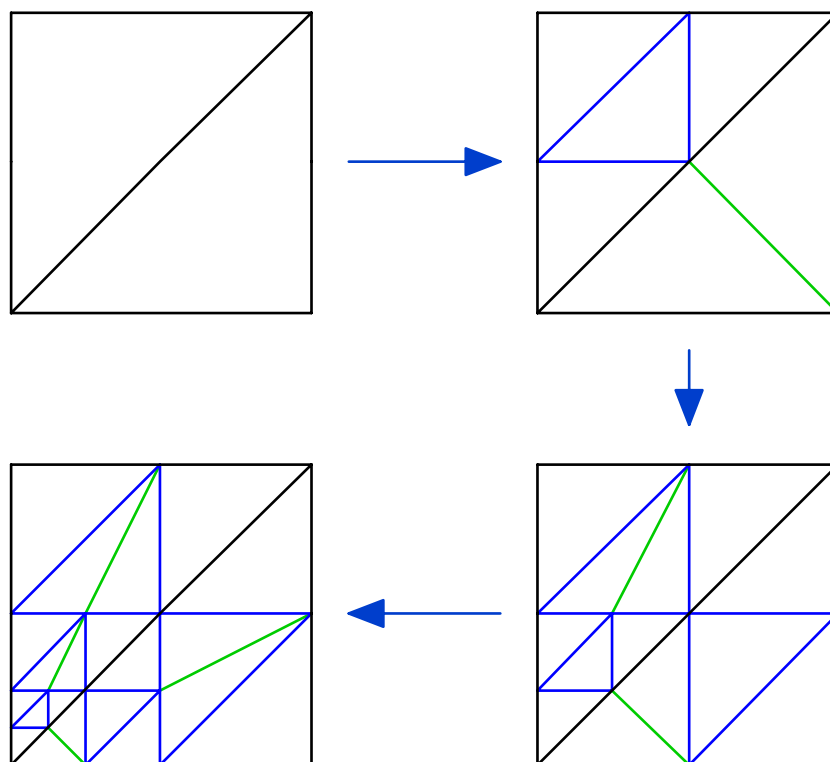
Un commentaire important est nécessaire à propos de ces découpages de mise en conformité. Il est flagrant qu'ils modifient la qualité des mailles. Un triangle équilatéral aura deux fils aplatis ; un tétraèdre régulier aura des fils effilés. Inversement un triangle aplati et coupé par son grand côté aura deux fils assez réguliers, et ainsi de suite. Nous avons donc des configurations qui sont favorables et d'autres qui le sont moins. Si nous ne faisons rien, nous courrons le risque de voir se dégrader la qualité du maillage. Imaginons en effet le cas d'une zone où les indications de raffinement conduiraient à subdiviser un triangle de mise en conformité. Au bout de quelques adaptations, la qualité du maillage serait grandement dégradée. HOMARD gère ces difficultés par un algorithme spécial qui garantit que les angles ne s'aplatissent pas au fil des itérations. Nous limitons ainsi les modifications du niveau de qualité du maillage : la qualité du maillage, à un niveau quelconque d'adaptation, reste comparable à la qualité du maillage de départ.

Très schématiquement, nous pouvons illustrer la mauvaise solution dans le cas de trois adaptations successives par la figure ci-dessous :



**Figure 23 – Mauvaise méthode : aplatissement des angles**

Alors que la bonne façon de procéder adoptée par HOMARD est illustrée ci-dessous. Via une gestion appropriée des découpages de conformité successifs, on n'écrase jamais les mailles. Leur aplatissement est borné par les caractéristiques du maillage initial.



**Figure 24 – Bonne méthode dans HOMARD : contrôle de l’aplatissement des angles**

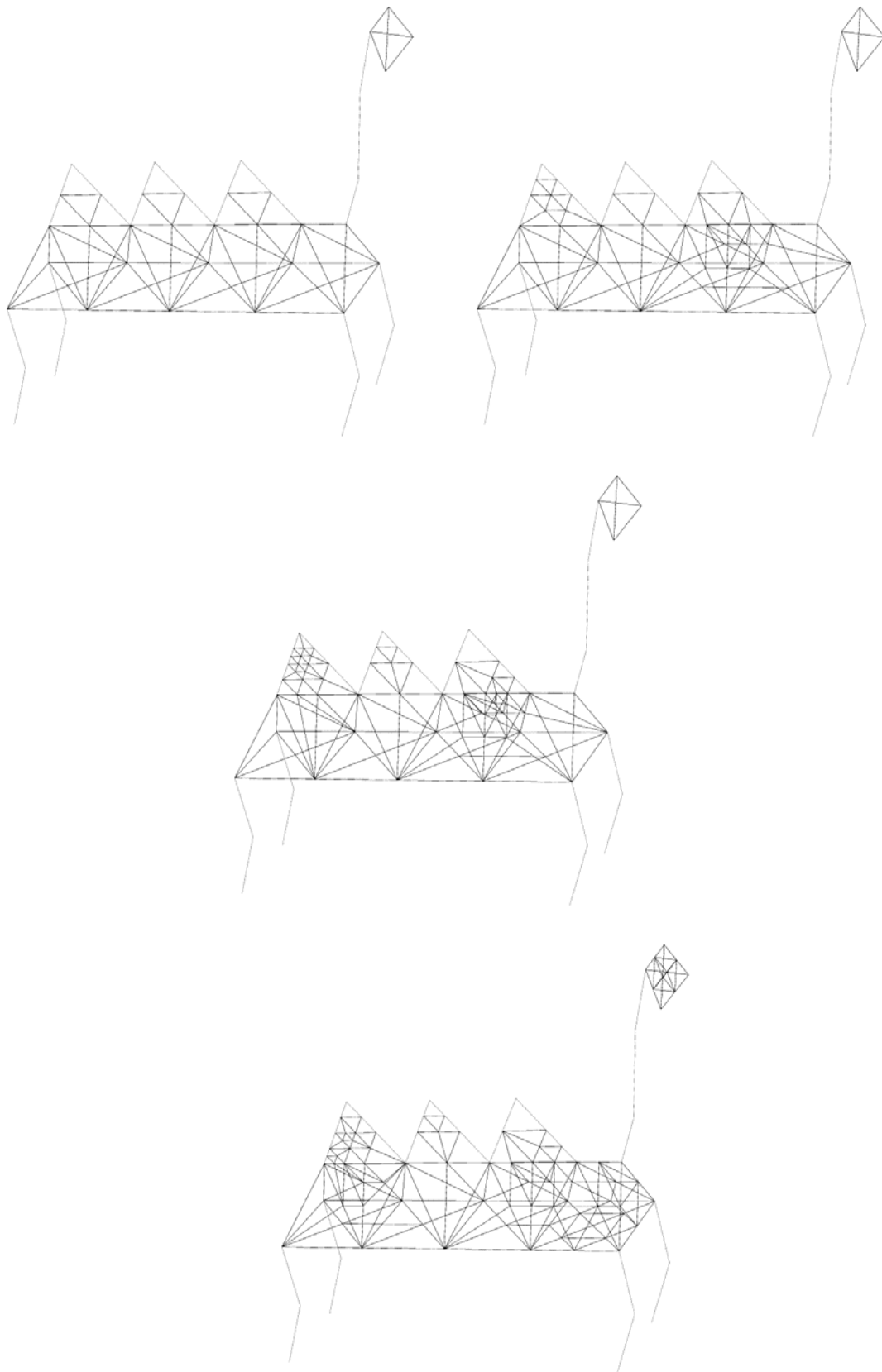
Pour les détails techniques de cette opération et des tableaux sur l’évolution de la qualité des maillages adaptés, le lecteur est renvoyé au rapport théorique [Réf. 0].

### 3. Exemples d’utilisation

Le document [Réf. 5] contient des exemples décrits en tenant compte de l’impact de l’adaptation de maillage sur les résultats de calcul. Il propose des conseils sur le pilotage de l’adaptation. Nous ne reprendrons ici que quelques illustrations.

#### 3.1. Un exemple académique ...

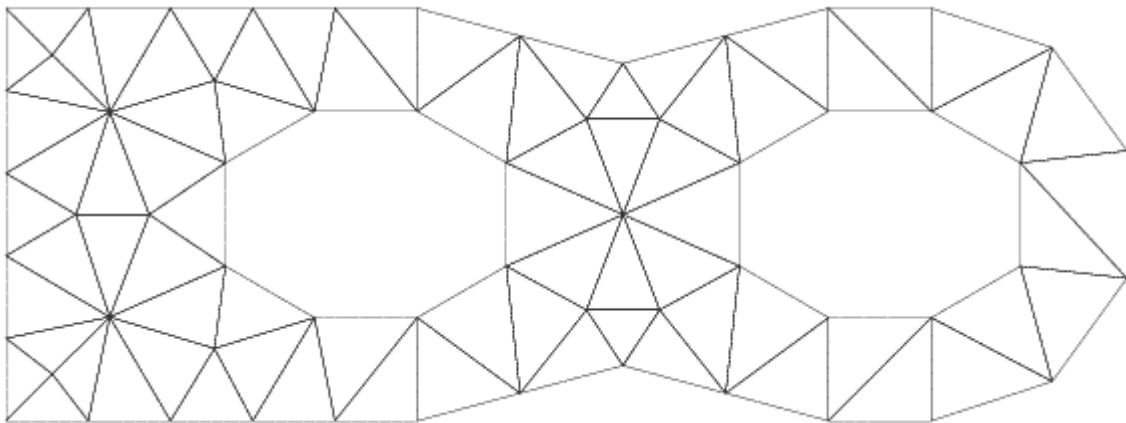
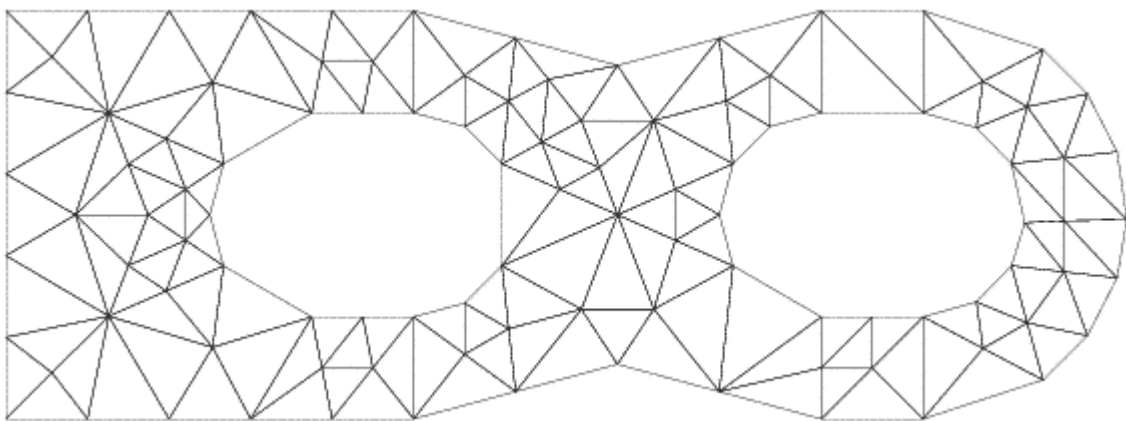
En 1993 sortait la première version de HOMARD, mais aussi le film « Jurassic Park ». Cela nous a donné l’idée d’un cas-test qui permet d’illustrer la capacité de HOMARD à traiter des maillages comportant simultanément des zones maillées en 1D, en 2D et en 3D. Ces zones de dimensions variées peuvent être disjointes ou non. Dans tous les cas, HOMARD saura gérer les propagations de raffinement d’une zone à l’autre.

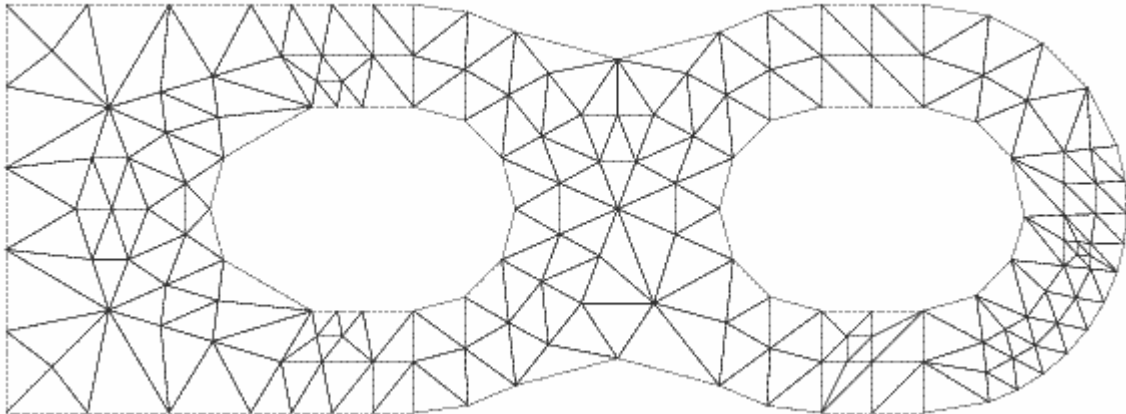


**Figure 25 – Exemple d'adaptation en plusieurs dimensions**

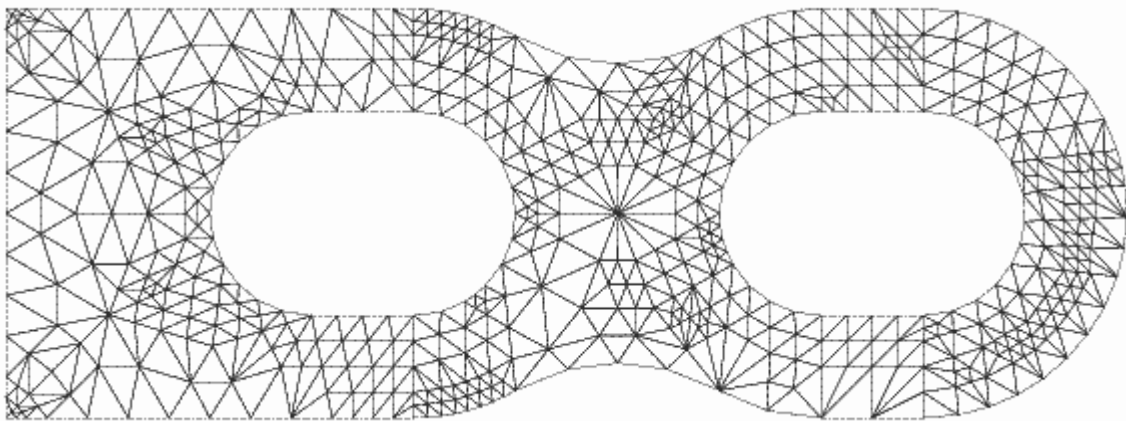
### 3.2. Une adaptation avec suivi de frontière courbe

Ce cas est issu d'un calcul de mécanique non linéaire avec *Code\_Aster*. Le maillage de départ est volontairement très grossier. En particulier, il ne respecte pas la géométrie de la pièce, aux bords arrondis. On constate qu'au fil des itérations d'adaptation, le maillage épouse la forme réelle, limitant ainsi les singularités numériques du problème.

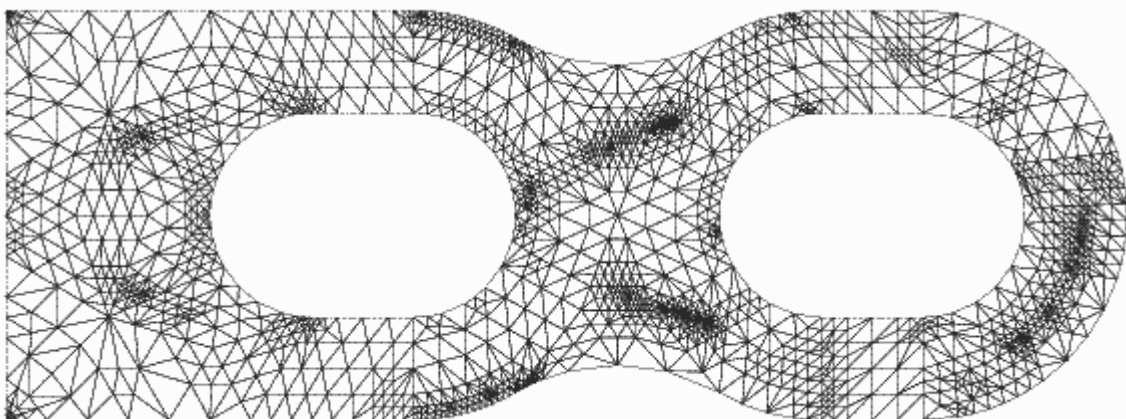
**Figure 26 – Frontière courbe – Maillage de départ****Figure 27 – Frontière courbe – Maillage après 5 adaptations**



**Figure 28 – Frontière courbe – Maillage après 10 adaptations**



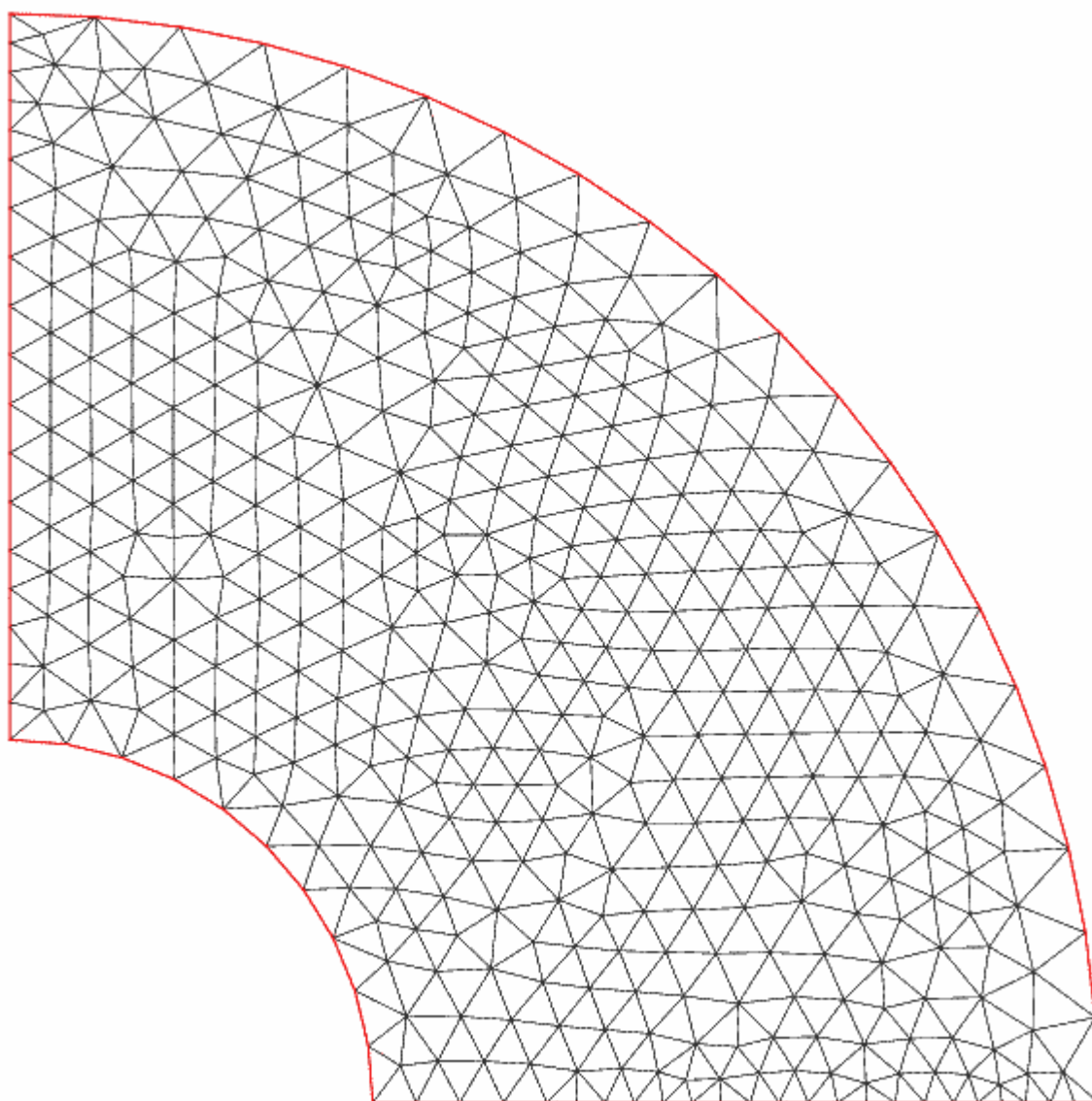
**Figure 29 – Frontière courbe – Maillage après 20 adaptations**



**Figure 30 – Frontière courbe – Maillage après 30 adaptations**

### 3.3. Suivi de la propagation d'une fissure

Dans cet exemple, le calcul mené avec *Code\_Aster* vise à étudier la propagation d'une fissure dans un environnement bidimensionnel. La fissure est située sur un axe de symétrie, qui est situé sur la frontière horizontale du maillage étudié. Le fond de fissure initial est situé à environ  $\frac{1}{4}$  du rayon vis-à-vis du bord extérieur.

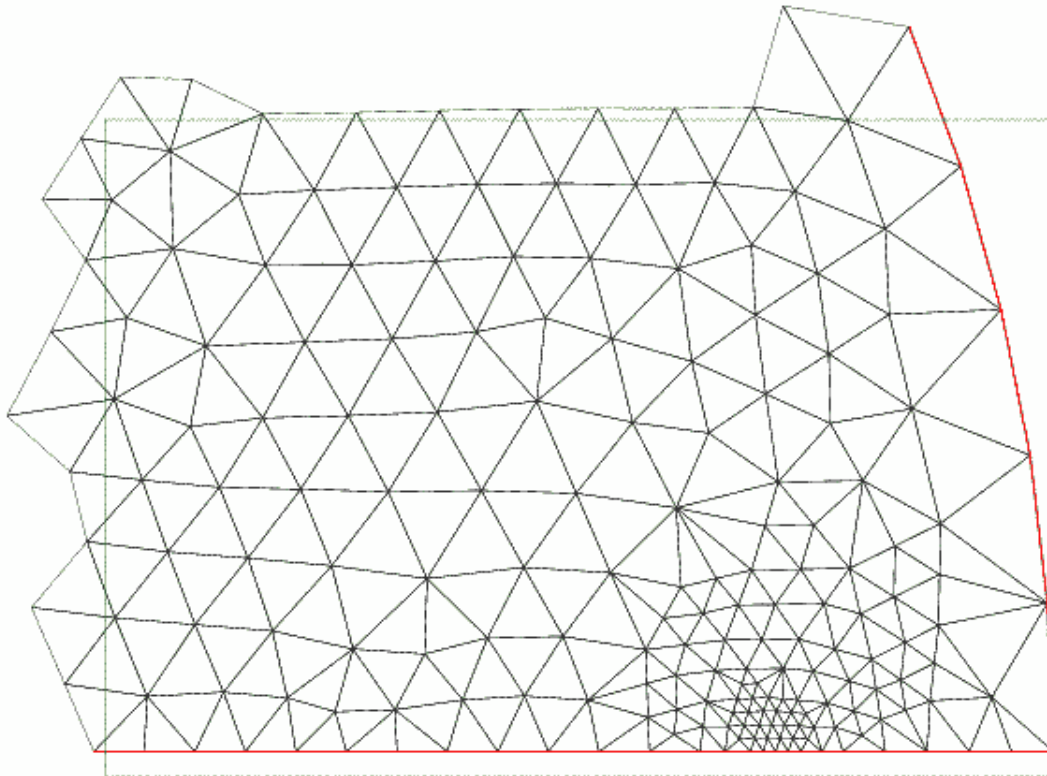


**Figure 31 – Fissure – Maillage initial**

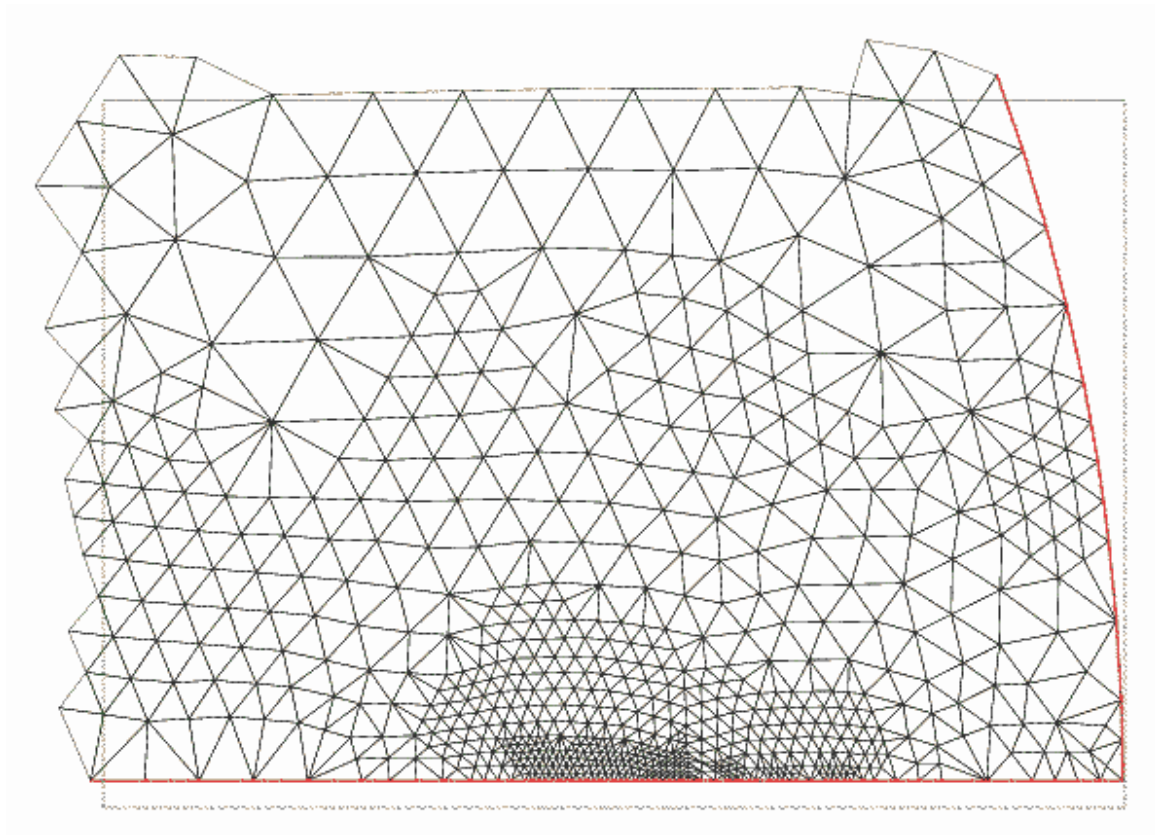
La simulation de la propagation du fond de fissure de l'extérieur vers l'intérieur du disque est faite en relâchant successivement les encastrements du bord inférieur. Au fur et à mesure de cette propagation, l'indicateur d'erreur prend des valeurs importantes dans une zone qui se déplace. Le



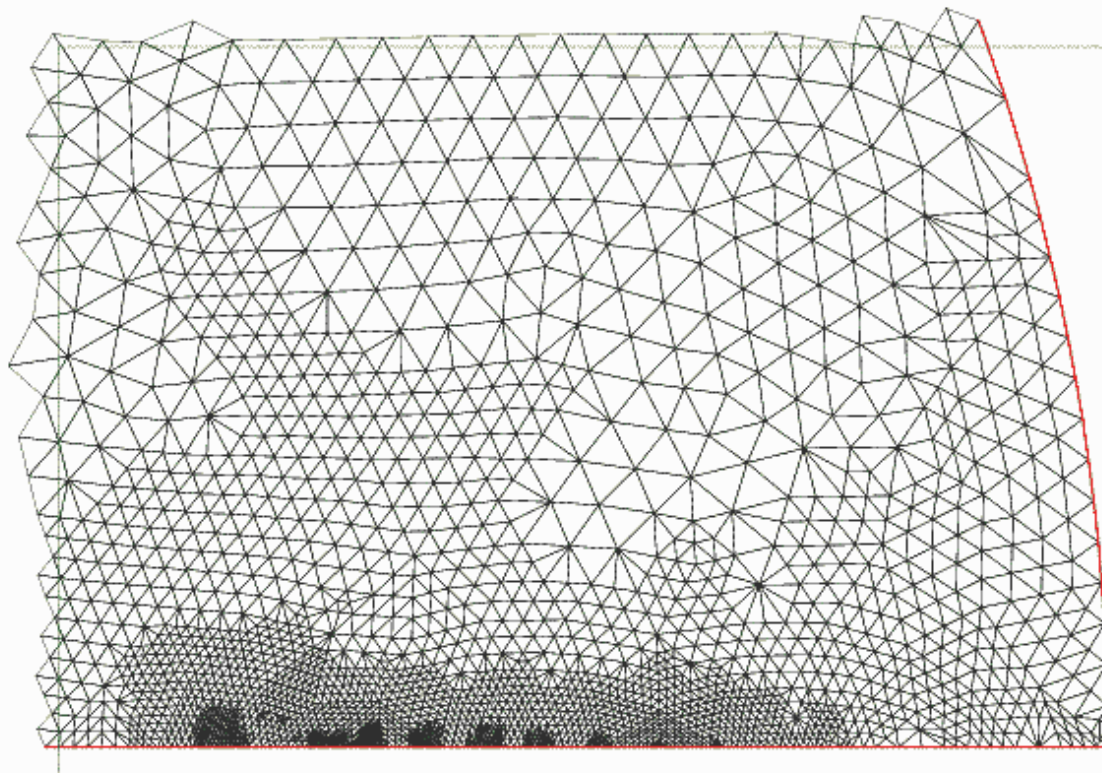
maillage se raffine donc en suivant l'avancée du front de fissure. Cela est illustré sur les figures ci-dessous, où nous avons fait un zoom sur la région concernée.



**Figure 32 – Avancée du fond de fissure – Maillage après 2 adaptations**



**Figure 33 – Avancée du fond de fissure – Maillage après 7 adaptations**



**Figure 34 – Avancée du fond de fissure – Maillage après 12 adaptations**

On aura noté que le bord extérieur s'appuie sur une courbe au fil des raffinements : les nouveaux nœuds ajoutés le sont sur la courbe définissant finement la frontière du domaine.

## 4. Comment utiliser HOMARD ?

HOMARD est interfacé avec le logiciel de mécanique *Code\_Aster*. L'utilisation se fait par la commande `MACR_ADAP_MAIL`, dont le mode d'emploi est détaillé dans la documentation générale du logiciel. Dans ce cas, inutile de se préoccuper de lancer le programme, de transmettre les maillages et les champs, etc. : l'utilisateur décrit les caractéristiques de son adaptation avec le langage habituel de *Code\_Aster* et le couplage est réalisé automatiquement. De même, on peut activer l'analyse d'un maillage indépendamment de toute adaptation par la commande `MACR_INFO_MAIL`.

Pour utiliser HOMARD avec un autre logiciel, il faut fournir deux fichiers : celui au format MED qui contient le maillage à adapter, le champ d'indicateur d'erreur, les éventuels champs à mettre à jour sur le nouveau maillage, et un fichier au format texte qui contient les directives de pilotage de HOMARD telle que les seuils de raffinement, le nom du maillage en sortie, les champs à mettre à jour, etc.. Ces directives fonctionnent par un jeu de mot-clés. Le mode d'emploi est disponible dans le paquet d'installation.

Une formation à l'utilisation de HOMARD est organisée en général une fois par an. Elle présente les points essentiels de l'adaptation de maillage, les notions d'analyse de maillage et les illustre par divers exercices d'application.

## 5. Tables

### 5.1. Les références

1. G. Nicolas, T. Fouquet, "Logiciel HOMARD - Volume 2 - Algorithmes de raffinement et de déraffinement des maillages", rapport EDF H-I23-2008-04108-FR, novembre 2008
2. G. Nicolas, T. Fouquet, "Logiciel HOMARD - Volume 3 – Interfaces avec les codes de calcul", rapport EDF H-I23-2008-04118-FR, novembre 2008
3. G. Nicolas, T. Fouquet, "Logiciel HOMARD - Volume 4 – Structures de données", rapport EDF HI-23/04/008, H-I23-2008-04120-FR, novembre 2008
4. V. Lefebvre, E. Fayolle, "Projet PAL : définition du modèles d'échange de données MED V2.2", rapport EDF HI-26/03/012/A, décembre 2003
5. V. Cano, « Stratégies d'adaptation avec HOMARD », document U2.08.01 de *Code\_Aster*, juin 2007.

### 5.2. La liste des figures

Figure 1 – Itération d'adaptation de maillage .....	8
Figure 2 – Chaîne d'adaptation de maillage.....	8
Figure 3 – Découpage standard des triangles .....	10
Figure 4 - Découpage standard des quadrangles .....	11
Figure 5 - Découpage standard des tétraèdres - 1 .....	11
Figure 6 - Découpage standard des tétraèdres - 2 .....	12
Figure 7 - Découpage standard des tétraèdres - 3 .....	12
Figure 8 - Découpage standard des hexaèdres .....	13
Figure 9 - Découpage standard des pentaèdres.....	13
Figure 10 – Exemple de demande de raffinement.....	14
Figure 11 – Exemple de raffinement non conforme brut.....	14
Figure 12 – Exemple de raffinement non conforme à 1 point .....	15
Figure 13 – Exemple de raffinement conforme .....	15
Figure 14 - Découpage de conformité des triangles .....	16
Figure 15 - Découpage de conformité des quadrangles en 3 triangles .....	16
Figure 16 - Découpage de conformité des tétraèdres – En 2 .....	16
Figure 17 - Découpage de conformité des tétraèdres – En 2 fois 2 .....	16
Figure 18 - Découpage de conformité des tétraèdres – En 4 par une face .....	17
Figure 19 – Découpage de conformité pour un hexaèdre par 1 arête – 4 pyramides .....	17
Figure 20 - Découpage de conformité pour un hexaèdre par 2 arêtes en vis-à-vis – 2 pyramides / tétraèdres .....	12 17
Figure 21 - Découpage de conformité pour un hexaèdre par 2 arêtes non en vis-à-vis – 2 pyramides / 12 tétraèdres .....	18
Figure 22 - Découpage de conformité pour un hexaèdre par 1 face – 5 pyramides / 4 tétraèdres .....	18
Figure 23 – Mauvaise méthode : aplatissement des angles .....	19
Figure 24 – Bonne méthode dans HOMARD : contrôle de l'aplatissement des angles .....	20

Figure 25 – Exemple d’adaptation en plusieurs dimensions.....	22
Figure 26 – Frontière courbe – Maillage de départ.....	22
Figure 27 – Frontière courbe – Maillage après 5 adaptations.....	22
Figure 28 – Frontière courbe – Maillage après 10 adaptations.....	23
Figure 29 – Frontière courbe – Maillage après 20 adaptations.....	23
Figure 30 – Frontière courbe – Maillage après 30 adaptations.....	23
Figure 31 – Fissure – Maillage initial.....	24
Figure 32 – Avancée du fond de fissure – Maillage après 2 adaptations.....	25
Figure 33 – Avancée du fond de fissure – Maillage après 7 adaptations.....	26
Figure 34 – Avancée du fond de fissure – Maillage après 12 adaptations.....	27

### 5.3. Index

analyse.....	10, 27	dimension.....	8
champ.....	9	frontière.....	9, 22, 27
conformité.....	9, 13	indicateur.....	7
connexité.....	10	interpénétration.....	10
découpage.....	10	MED.....	9, 27
conformité.....	15, 16, 17	nœud.....	8
hexaèdre.....	12	périodicité.....	9
pentaèdre.....	13	qualité.....	10, 18, 20
quadrangle.....	11, 16	seuil.....	9
tétraèdre.....	11	sous-domaine.....	9
triangle.....	10, 15	taille.....	10
degré.....	8	transitoire.....	5, 6, 8
déraffinement.....	8		