
Macro-commande MACR_ADAP_MAIL

1 But

Adapter un maillage avec le logiciel HOMARD.

Cette opération est possible pour un maillage formé de mailles-points, segments, triangles, quadrangles, tétraèdres, d'hexaèdres, de pentaèdres. Un indicateur de l'erreur aura éventuellement été calculé. En fonction de sa valeur maille par maille ou d'une directive géométrique, le logiciel HOMARD modifiera le maillage. Il est également possible d'interpoler des champs aux nœuds ou constants par éléments, de l'ancien maillage vers le nouveau.

On peut enchaîner calcul et adaptation au fur et à mesure dans un processus d'amélioration du calcul. Toutefois, ce processus ne peut pas être interrompu puis repris par une "POURSUITE". Tout doit avoir lieu en une passe.

Le logiciel HOMARD est présenté sur le site : <http://www.code-aster.org/outils/homard>

On y trouve une description de la technique utilisée pour modifier les maillages ainsi que des exemples.

Pour en savoir plus sur HOMARD, on peut se référer aux documents cités en bibliographie.

Table des matières

1 But.....	1
2 Syntaxe.....	4
3 Description d'une adaptation de maillage.....	7
3.1 Schéma général d'une adaptation.....	7
3.2 Fonctionnement de la macro-commande.....	7
4 Opérandes.....	8
4.1 Opérande ADAPTATION.....	8
4.2 Opérande MAILLAGE_N.....	8
4.3 Opérande MAILLAGE_NP1.....	9
4.4 Opérande MAILLAGE_NP1_ANNEXE.....	9
4.5 Choix du champ de pilotage de l'adaptation.....	9
4.5.1 Opérande RESULTAT_N.....	9
4.5.2 Opérande CHAM_GD.....	9
4.5.3 Opérande NOM_CMP_INDICA.....	9
4.5.4 Opérande SENSIBILITE.....	10
4.5.5 Sélection du paramètre temporel de l'indicateur.....	10
4.5.6 Opérande TYPE_VALEUR_INDICA.....	10
4.5.7 Opérande TYPE_OPER_INDICA.....	10
4.6 Opérande CRIT_RAFF_xxxx.....	10
4.6.1 Opérande CRIT_RAFF_PE.....	10
4.6.2 Opérande CRIT_RAFF_ABS.....	11
4.6.3 Opérande CRIT_RAFF_REL.....	11
4.7 Opérande CRIT_DERA_xxxx.....	11
4.7.1 Opérande CRIT_DERA_PE.....	11
4.7.2 Opérande CRIT_DERA_ABS.....	11
4.7.3 Opérande CRIT_DERA_REL.....	11
4.8 Mot clé ZONE.....	12
4.8.1 Cas d'une boîte parallélépipédique.....	12
4.8.2 Cas d'une boîte sphérique.....	12
4.9 Opérandes GROUP_MA / GROUPE_NO.....	12
4.10 Opérande NIVE_MAX.....	12
4.11 Opérande NIVE_MIN.....	13
4.12 Mot clé MAILLAGE_FRONTIERE.....	13
4.12.1 Opérande GROUP_MA_FRONT.....	15
4.13 Mot clé MAJ_CHAM.....	15
4.13.1 Opérande RESULTAT.....	15
4.13.2 Opérande CHAM_GD.....	15
4.13.3 Opérande SENSIBILITE.....	15
4.13.4 Sélection du paramètre temporel du champ à mettre à jour.....	15

4.13.5 Opérande CHAM_MAJ	15
4.13.6 Opérande TYPE_CHAM	15
4.14 Opérande NOMBRE	16
4.15 Opérande QUALITE	16
4.16 Opérande INTERPENETRATION	16
4.17 Opérande TAILLE	16
4.18 Opérande CONNEXITE	16
4.19 Opérande LANGUE	17
4.20 Opérande VERSION_HOMARD	17
4.21 Opérande ELEMENTS_NON_HOMARD	17
4.22 Opérande INFO	17
5 Exemple.....	18
6 Bibliographie.....	22

2 Syntaxe

```
MACR_ADAP_MAIL (
#  choix du type d'adaptation
♦  ADAPTATION =
    / 'RAFF_DERA'
    / 'RAFFINEMENT'
    / 'DERAFFINEMENT'
    / 'RAFFINEMENT_ZONE'
    / 'RAFFINEMENT_UNIFORME'
    / 'DERAFFINEMENT_UNIFORME'
    / 'RIEN'

#  le maillage à modifier
♦  MAILLAGE_N = man [maillage]

#  le nouveau maillage
♦  MAILLAGE_NP1 = co (manp1) [K8]

#  un maillage annexe
◊  MAILLAGE_NP1_ANNEXE = co (manplann) [K8]

#  Si l'adaptation est libre, (RAFFINEMENT, DERAFFINEMENT ou RAFF_DERA),
choix de la structure contenant le champ indicateur :
♦  / RESULTAT_N = resun [resultat]
    ♦  INDICATEUR = indic [K16]
    / CHAM_GD = cham_gd_i [cham_gd]
♦  NOM_CMP_INDICA = cmp [K8]
◊  Sélection d'un champ dérivé
    SENSIBILITE =
        / theta [theta_geom]
        / para [para_sensi]
◊  Sélection du paramètre temporel
    / NUME_ORDRE = ordre [I]
    / INST = instant [R]
    ◊  | PRECISION = / prec [R]
        / 1.0E-3 [DEFAULT]
        | CRITERE = / 'RELATIF' [DEFAULT]
        / 'ABSOLU'
◊  TYPE_VALEUR_INDICA =
    / V_ABSOLUE [DEFAULT]
    / V_RELATIVE
◊  TYPE_OPER_INDICA =
    / MAILLE [DEFAULT]
    / SAUT

#  Finsi

#  Si l'adaptation a lieu selon des zones géométriques, (RAFFINEMENT_ZONE),
définition de ces zones :
◊  ZONE = _F (
#  si la zone est une boîte rectangulaire ou parallélépipédique ; on
donne les coordonnées extrêmes de la boîte :
♦  X_MINI = x_mini [R]
♦  X_MAXI = x_maxi [R]
♦  Y_MINI = y_mini [R]
♦  Y_MAXI = y_maxi [R]
♦  Z_MINI = z_mini [R]
♦  Z_MAXI = z_maxi [R]
```

```
# ou si la zone est une boîte circulaire ou sphérique ; on
# donne les coordonnées du centre et le rayon :
#   ♦ X_CENTRE = x_centre [R]
#   ♦ Y_CENTRE = y_centre [R]
#   ♦ Z_CENTRE = z_centre [R]
#   ♦ RAYON = rayon [R]
# Finsi
#
# Finsi
#
# Si l'adaptation inclut le raffinement libre (RAFFINEMENT ou RAFF_DERA) :
#   ♦ / CRIT_RAFF_PE = crp [R]
#     / CRIT_RAFF_REL = crr [R]
#     / CRIT_RAFF_ABS = cra [R]
# Finsi
#
# Si l'adaptation inclut le déraffinement libre (DERAFFINEMENT ou
# RAFF_DERA) :
#   ♦ / CRIT_DERA_PE = cdp [R]
#     / CRIT_DERA_REL = cdr [R]
#     / CRIT_DERA_ABS = cda [R]
# Finsi
#
# Si l'adaptation inclut du raffinement :
#   ♦ NIVE_MAX = nivmax [I]
# Finsi
#
# Si l'adaptation inclut du déraffinement :
#   ♦ NIVE_MIN = nivmin [I]
# Finsi
#
# Si l'adaptation inclut du raffinement ou du déraffinement :
#   ♦ GROUP_MA = l_grma [l_gr_maille]
#   ♦ GROUP_NO = l_grno [l_gr_noeud]
# Finsi
#
# Suivi d'une frontière
#   ♦ MAILLAGE_FRONTIERE = maf [maillage]
#   ♦ GROUP_MA_FRONT = l_grma [l_gr_maille]
#
# Mise à jour de champs sur le nouveau maillage
#   ♦ MAJ_CHAM = _F(
#     # choix de la structure contenant le champ à mettre à jour
#     ♦ / RESULTAT = resu [resultat ]
#       ♦ NOM_CHAM = nomsymb [K16]
#       / CHAM_GD = cham_gd [cham_gd]
#     ♦ Sélection d'un champ dérivé
#       SENSIBILITE =
#         / theta [theta_geom]
#         / para [para_sensi]
#     ♦ Sélection du paramètre temporel
#       / NUME_ORDRE = ordre [I]
#       / INST = instant [R]
#       ♦ / CRITERE = 'RELATIF' [DEFAULT]
#         ♦ PRECISION = / prec [R]
#           / 1.0E-3 [DEFAULT]
#       / CRITERE = 'ABSOLU'
#         ♦ PRECISION = prec [R]
#     ♦ CHAM_MAJ = co (chpmaj) [K8]
#     ♦ TYPE_CHAM = / 'NOEU_TEMP_R'
#                   / 'NOEU_DEPL_R'
#                   / etc ...
```

```

)

◇  NOMBRE      =  /  'OUI '           [DEFAULT]
                        /  'NON '
◇  QUALITE     =  /  'OUI '           [DEFAULT]
                        /  'NON '
◇  CONNEXITE   =  /  'OUI '           [DEFAULT]
                        /  'NON '
◇  TAILLE      =  /  'OUI '           [DEFAULT]
                        /  'NON '
◇  INTERPENETRATION =  /  'OUI '           [DEFAULT]
                        /  'NON '

◇  ELEMENTS_NON_HOMARD =  /  'REFUSER ' [DEFAULT]
                        /  'IGNORER '

◇  LANGUE      =  /  'FRANCAIS '      [DEFAULT]
                        'FRENCH '
                        'ANGLAIS '
                        'ENGLISH '
◇  VERSION_HOMARD =  /  'V9_5 '       [DEFAULT]
                        /  'V9_N '
                        /  'V9_N_PERSO '
◇  INFO      =  /  1                 [DEFAULT]
                        /  2
                        /  3
                        /  4
)

```

3 Description d'une adaptation de maillage

3.1 Schéma général d'une adaptation

Le principe général d'un calcul avec adaptation de maillage est le suivant :

- Phase 1 : Lecture du maillage initial, `M0`
Définition des matériaux
- Phase 2 :
- définition du modèle, des chargements sur ce maillage `M0`
 - calcul produisant un résultat `RESU0`
 - calcul éventuel d'un indicateur de raffinement, `ERR0`

Cette phase initiale est la phase standard de tout calcul

- Phase 3 : Adaptation du maillage `M0`. On récupère un nouveau maillage, `M1`
- Phase 4 :
- définition du modèle, des chargements sur le maillage `M1`,
 - calcul produisant un résultat `RESU1`,
 - calcul éventuel d'un indicateur de raffinement, `ERR1`.

La phase 4 est similaire à la phase 2. La seule chose qui a changé est le maillage. De ce fait, tous les concepts en dépendant doivent être repris. Aujourd'hui, il n'y a pas de possibilité ni de réutiliser les anciens concepts, ni de les détruire automatiquement.

Ensuite, on peut poursuivre, autant de fois que l'on veut, le tandem phase 3/phase 4. Cela se fait soit en dupliquant les instructions, soit en écrivant une boucle python.

Voir la référence [bib1] pour une présentation générale de l'adaptation de maillage et de HOMARD, accompagnée d'exemples.

Attention :

Cet enchaînement de calculs et d'adaptations ne doit pas être interrompu puis repris par une "POURSUITE".

3.2 Fonctionnement de la macro-commande

La phase 3 réalise l'adaptation du maillage. Elle est activée par la macro-commande `MACR_ADAP_MAIL`, décrite dans ce document. Elle a pour argument essentiel le nom du concept du maillage courant et le nom que l'on donnera au concept du futur maillage. L'autre donnée obligatoire est le type d'adaptation que l'on souhaite : du raffinement ou du déraffinement libre, c'est-à-dire en fonction des valeurs que prend un champ indicateur sur les mailles du maillage ou d'une zone géométrique, ou du raffinement ou du déraffinement uniforme, c'est-à-dire que toutes les mailles sont traitées de la même manière.

Les autres données dépendent ensuite des options retenues.

En complément à l'adaptation, HOMARD peut fournir sur demande des bilans sur la qualité des mailles du maillage, la connexité du domaine de calcul, les tailles caractéristiques ou un contrôle de la non-interpénétration des mailles. Ces renseignements s'obtiennent par l'activation des mots-clés associés. On regardera avec profit la commande `MACR_INFO_MAIL` [U7.03.02] qui permet d'obtenir toutes ces informations, indépendamment de tout calcul.

De manière générale, les impressions essentielles fournies par HOMARD sont insérées dans le fichier "mess" à l'exécution. En cas d'erreur ou en mode d'information 3 ou 4, des impressions plus détaillées ont lieu.

4 Opérandes

4.1 Opérande ADAPTATION

```
♦ ADAPTATION = / 'RAFF_DERA'  
               / 'RAFFINEMENT'  
               / 'DERAFFINEMENT'  
               / 'RAFFINEMENT_ZONE'  
               / 'RAFFINEMENT_UNIFORME '  
               / 'DERAFFINEMENT_UNIFORME '  
               / 'RIEN'
```

Cet opérande permet de définir le type d'adaptation souhaité.

En premier lieu, on trouve les modes d'adaptations qui sont pilotées par un champ indicateur. En d'autres termes, la décision de (dé) raffiner une maille se prend en fonction de la valeur d'un indicateur de raffinement calculé auparavant sur cette maille. Le choix peut se faire entre trois variantes :

- 'RAFF_DERA' : le maillage est raffiné et déraffiné en fonction de l'indicateur,
- 'RAFFINEMENT' : seule la fonction de raffinement est activée. Aucun élément ne sera déraffiné,
- 'DERAFFINEMENT' : c'est l'inverse ; seule la fonction de déraffinement est activée. Aucun élément ne sera raffiné.

En second lieu, on peut décider de raffiner le maillage dans des zones géométriques définies par des boîtes. Toutes les mailles dont un des nœuds est présent dans l'une de ces boîtes seront raffinées. Cela permet de faire des raffinements *a priori*, sans avoir fait de calcul.

- 'RAFFINEMENT_ZONE' : les éléments de chacune des boîtes définies sont raffinés.

Enfin, on peut activer une adaptation uniforme d'un maillage. En d'autres termes, tous les éléments du maillage sont traités de la même manière, sans tenir compte d'un indicateur d'erreur. Le choix peut se faire entre trois variantes :

- 'RAFFINEMENT' : tous les éléments sont raffinés,
- 'DERAFFINEMENT' : tous les éléments sont déraffinés,
- 'RIEN' : tous les éléments sont conservés ; le maillage est le même à la sortie qu'à l'entrée.

Remarque :

Quand on applique une option de déraffinement, on ne fait que revenir en arrière sur des raffinements antérieurs. Il faut comprendre cette option comme du dé-raffinement. En particulier, on ne pourra jamais obtenir un maillage plus grossier que le maillage initial.

Remarque :

Les options de raffinement ou de déraffinement peuvent ne s'appliquer que sur une partie du maillage. Cela s'obtient par l'option GROUP_MA ou GROUP_NO.

4.2 Opérande MAILLAGE_N

```
♦ MAILLAGE_N = man
```

Maillage de type [maillage] à adapter. Attention, l'adaptation ne peut porter que sur les mailles suivantes : mailles-points, segments, triangles, quadrangles, tétraèdres, hexaèdres ou pentaèdres. Si on fournit un maillage comportant d'autres mailles, deux cas de figure sont possibles : soit un arrêt en erreur, soit une adaptation sur la zone autorisée et une restitution à l'identique du reste du maillage. Le choix entre ces deux modes de fonctionnement est fait par le mot-clé ELEMENTS_NON_HOMARD.

Le maillage est en degré 1 ou 2, mais il n'est pas possible de mélanger les deux.

Remarque :

Dans la version actuelle de HOMARD, un pentaèdre ne peut pas se trouver à l'interface entre deux zones de niveau de raffinement différent : soit il est dans une zone non découpée, soit il est dans une zone à découper.

4.3 Opérande **MAILLAGE_NP1**

◇ `MAILLAGE_NP1 = co (manpl1)`

Le nom du concept de type [maillage] qui contiendra le maillage issu de l'adaptation. Ce nom doit respecter les contraintes habituelles des noms de concept (8 caractères au maximum) et ne pas être utilisé.

4.4 Opérande **MAILLAGE_NP1_ANNEXE**

◆ `MAILLAGE_NP1_ANNEXE = co (manplann)`

Cette opérande permet de produire un maillage analogue au maillage obtenu par l'opérande `MAILLAGE_NP1`, mais de degré différent. C'est utile en thermo-mécanique où le calcul thermique a lieu sur le maillage en degré 1 et la mécanique sur le même maillage mais en degré 2. Ce nom doit respecter les contraintes habituelles des noms de concept (8 caractères au maximum) et pas être utilisé.

4.5 Choix du champ de pilotage de l'adaptation

Dans le cas d'une adaptation libre, le pilotage des mailles à raffiner ou déraffiner peut se faire avec un champ indicateur, exprimé maille par maille ou nœud par nœud.

4.5.1 Opérande **RESULTAT_N**

/ ◇ `RESULTAT_N = resun`

Cet opérande permet de désigner le concept de type [resultat] qui contient l'indicateur d'erreur à utiliser pour de l'adaptation libre.

4.5.1.1 Opérande **INDICATEUR**

◇ `INDICATEUR = indic`

On précise ici quel est le champ d'indicateur qui est utilisé pour l'adaptation. Ce champ est contenu soit dans une structure de résultat, soit dans un champ de grandeurs. Ce champ peut être un champ d'indicateur d'erreur au sens conventionnel du terme (`ERRE_ELEM_SIGM` par exemple) mais ce n'est pas obligatoire ; n'importe quel type de champ peut être utilisé. Il suffit qu'il soit défini par son nom tel que décrit dans les documents [U4.81.01], [U4.81.02] ou [U4.81.03].

Si le champ est un champ aux nœuds, la décision de raffinement/déraffinement sera prise sur chaque arête en fonction des valeurs du champ sur ses nœuds.

Si le champ est un champ constant par élément, c'est cette valeur qui pilotera le raffinement/déraffinement de la maille.

Si le champ est un champ aux nœuds par élément ou aux points de Gauss, l'algorithme se basera sur la valeur maximale dans la maille pour décider du raffinement/déraffinement.

Attention :

Le champ doit être présent dans le résultat ; s'il est absent, il n'est pas calculé d'office.

4.5.2 Opérande **CHAM_GD**

/ ◇ `CHAM_GD = cham_gd_i`

Cet opérande permet de désigner le concept de type [cham_gd] qui contient l'indicateur à utiliser pour de l'adaptation libre.

4.5.3 Opérande **NOM_CMP_INDICA**

◆ `NOM_CMP_INDICA = cmp`

Nom de la composante du champ indicateur qui doit être utilisée pour piloter l'adaptation de maillage.

4.5.4 Opérande SENSIBILITE

```
/  ◇  SENSIBILITE  =  
      / para          [para_sensi]  
      / theta         [theta_geom]
```

Cet opérande permet de fournir comme indicateur la dérivée du champ désigné par les opérandes [RESULTAT_N/CHAM_GD/NOM_CMP_INDICA] par rapport à un paramètre. Voir [U4.50.02] pour les détails associés à ce paramètre.

4.5.5 Sélection du paramètre temporel de l'indicateur

Si la structure de résultat ne contient le champ d'indicateur que pour un seul numéro d'ordre, rien n'est à préciser. Ce sont les valeurs du champ à ce numéro d'ordre qui seront utilisées.

Sinon, il faut préciser de quel numéro il s'agit. Cela se fait par la désignation d'un numéro d'ordre ou d'une valeur d'instant. Se référer au document [U4.71.00] pour les détails sur ces mots-clés.

4.5.6 Opérande TYPE_VALEUR_INDICA

```
/  ◇  TYPE_VALEUR_INDICA  =  / 'V_ABSOLUE'          [DEFAULT]  
                             / 'V_RELATIVE'
```

On précise ici comment traiter les valeurs de l'indicateur. Par défaut, on filtrera le raffinement et le déraffinement en examinant les valeurs absolues du champ sur les différents mailles ou nœuds. On peut choisir l'alternative qui consiste à s'intéresser aux valeurs relatives du champ.

4.5.7 Opérande TYPE_OPER_INDICA

```
/  ◇  TYPE_OPER_INDICA  =  / 'MAILLE'          [DEFAULT]  
                             / 'SAUT'
```

Par défaut, le pilotage de l'adaptation se fait par le tri des valeurs du champ transmis en tant qu'indicateur, maille par maille.

Avec la variante SAUT, HOMARD on triera sur le saut du champ entre mailles, selon le procédé suivant. Pour chaque maille, HOMARD commence par calculer le maximum de l'écart absolu entre la valeur du champ sur la maille courante et sa valeur sur chacune des mailles voisines. Ce maximum est attribué à la maille courante. Ensuite, on trie les mailles sur ces écarts maximums selon les critères habituels.

En 2D, les voisins examinés sont les triangles/quadrangles qui partagent une arête avec la maille en cours.

En 3D, ce sont les mailles volumiques qui partagent une face triangulaire ou quadrangulaire avec la maille courante.

4.6 Opérande CRIT_RAFF_xxxx

Dans le cas d'adaptation libre impliquant du raffinement de maillage, il faut définir un critère haut de raffinement. Tous les éléments pour lesquels l'indicateur est supérieur à ce critère seront raffinés. Il est important de regarder a posteriori l'allure de la répartition de l'erreur. Cela est possible grâce aux impressions réalisées par HOMARD dans le fichier mess. On y trouvera en particulier un tableau présentant cette répartition sous forme d'histogramme ; voir le chapitre 5 pour un exemple commenté.

Pour le choix du critère, trois variantes sont possibles :

4.6.1 Opérande CRIT_RAFF_PE

```
◇  /  CRIT_RAFF_PE  =  crp
```

Le critère est défini par une proportion d'éléments à raffiner. C'est un nombre réel compris entre 0 et 1. Le processus est le suivant :

- calcul du nombre d'éléments n correspondant à la proportion définie par crp soit $n = crp \times \text{nombre total d'éléments}$

- raffinement des n éléments avec la plus forte erreur.

4.6.2 Opérande CRIT_RAFF_ABS

/ CRIT_RAFF_ABS = cra

Le critère est défini par une valeur absolue du champ. Tous les éléments avec une erreur supérieure à cette valeur seront raffinés.

4.6.3 Opérande CRIT_RAFF_REL

/ CRIT_RAFF_REL = crr

Le critère est défini par une valeur relative du champ. C'est un nombre compris entre 0 et 1. Le processus est le suivant :

- calcul des valeurs minimales et maximales de l'indicateur,
- calcul de la valeur correspondant à la proportion requise : $v = v_{min} + crr (v_{max} - v_{min})$,
- raffinement de tous les éléments où le champ est supérieur à cette valeur.

4.7 Opérande CRIT_DERA_xxxx

Dans le cas d'adaptation libre impliquant du déraffinement, il faut définir un critère bas de déraffinement. Tous les éléments où le champ est inférieur à ce critère seront d raffin s. Trois variantes sont possibles.

4.7.1 Opérande CRIT_DERA_PE

  / CRIT_DERA_PE = cdp

Le critère est défini par une proportion d'éléments à déraffiner. C'est un nombre compris entre 0 et 1. Le processus est le suivant :

- calcul du nombre d'éléments n correspondant à la proportion définie par cdp soit $n = cdp \times \text{nombre total d'éléments}$
- déraffinement des n éléments avec la plus faible valeur de champ.

4.7.2 Opérande CRIT_DERA_ABS

  / CRIT_DERA_ABS = cda

Le critère est défini par une valeur absolue du champ. Tous les éléments avec une valeur de champ inférieure à cette valeur seront d raffin s.

4.7.3 Opérande CRIT_DERA_REL

  / CRIT_DERA_REL = cdr

Le critère est défini par une valeur relative du champ. C'est un nombre compris entre 0 et 1. Le processus est le suivant :

- calcul des valeurs minimales et maximales de l'indicateur,
- calcul de la valeur d'erreur V correspondant à la proportion cdr telle que : $v = v_{min} + cdr (v_{max} - v_{min})$,
- déraffinement de tous les éléments où le champ est inférieur à cette valeur.

4.8 Mot clé ZONE

◇ ZONE = _F (

Ce mot-clé est à employer autant de fois que l'on veut définir de zones de raffinement. Le principe est le suivant : on définit une zone par des coordonnées puis toutes les mailles dont au moins une des arêtes se trouve dans cette zone seront raffinées.

On a le choix entre deux types de zones : un parallélépipède ou une sphère.

Attention :

Pour un calcul qui serait 2D, les types de zone sont de fait des rectangles ou des cercles. Mais comme la notion de maillage 2D est inconnu dans Code_Aster au moment de la création des commandes, l'utilisateur donnera toujours la 3^{ème} coordonnée, en lui donnant dans ce cas une valeur nulle.

4.8.1 Cas d'une boîte parallélépipédique

4.8.1.1 Opérandes X_MINI, X_MAXI, Y_MINI, Y_MAXI, Z_MINI, Z_MAXI

◆ X_MINI = x_mini
◆ X_MAXI = x_maxi
◆ Y_MINI = y_mini
◆ Y_MAXI = y_maxi
◆ Z_MINI = z_mini
◆ Z_MAXI = z_maxi

Ce sont les valeurs des coordonnées extrêmes de la boîte englobant les mailles à raffiner.

4.8.2 Cas d'une boîte sphérique

4.8.2.1 Opérandes X_CENTRE, Y_CENTRE, Z_CENTRE

◆ X_CENTRE = x_centre
◆ Y_CENTRE = y_centre
◆ Z_CENTRE = z_centre

Ce sont les valeurs des coordonnées du centre de la boîte englobant les mailles à raffiner.

4.8.2.2 Opérandes RAYON

◆ RAYON = rayon

C'est le rayon de la boîte sphérique englobant les mailles à raffiner.

4.9 Opérandes GROUP_MA / GROUPE_NO

◇ GROUP_MA = l_grma
◇ GROUP_NO = l_grno

Si cette option est absente, le pilotage de l'adaptation s'applique à tout le maillage. Si on souhaite restreindre ce pilotage à une partie du maillage, on donne ici la liste des groupes qui définissent cette partie.

Exemple 1, pour raffiner uniformément une région du maillage. On demande du raffinement uniforme et on donne la liste des groupes de mailles formant cette région.

Exemple 2, pour n'appliquer le champ d'indicateur que sur certaines régions. On demande du raffinement/déraffinement et on fournit la liste des groupes de mailles formant cette région.

Remarques :

Pour toutes les mailles 1D, 2D ou 3D contenues dans les groupes de la liste, il y a raffinement selon les critères retenus. Pour les mailles 0D ou les nœuds contenus dans les groupes, on retient les arêtes dont les deux extrémités sont dans ces listes.

Les mailles retenues sont adaptées, mais l'adaptation ira certainement plus loin pour pouvoir fournir un maillage conforme en sortie.

4.10 Opérande NIVE_MAX

◇ NIVE_MAX = nivmax

C'est le niveau maximal de raffinement du maillage. Autrement dit une maille du maillage initial ne pourra pas être divisée plus de `nivmax` fois dans l'ensemble du processus.

4.11 Opérande NIVE_MIN

◇ NIVE_MIN = nivmin

C'est le niveau minimal de déraffinement du maillage. C'est-à-dire que seules les mailles issues d'au moins `nivmin` découpages de maillage peuvent être déraffinées.

4.12 Mot clé MAILLAGE_FRONTIERE

◇ MAILLAGE_FRONTIERE = maf

En dimension 2, le choix de cette option permet au processus d'adaptation de suivre la courbure des bords du maillage. On fournit ici un concept *Code_Aster* de type `maillage` qui contient un maillage fin des bords de la géométrie. Ce maillage n'est donc formé *a priori* que de segments. Leurs longueurs sont très inférieures à celles des segments de bord du maillage à adapter. Si le processus d'adaptation est amené à couper un segment de bord, le nouveau nœud sera placé sur le maillage de la frontière. Ainsi les angles seront adoucis au fur et à mesure des adaptations.

Le repérage des différents bords se fait par les groupes avec les règles suivantes :

- les bords sont décrits par des groupes de segments ;
- un bord est décrit par le même nom de groupe dans le maillage de calcul et dans le maillage de la frontières ;
- un bord ne peut avoir que deux extrémités ;
- un bord ne peut pas être une ligne fermée (cercle entier par exemple) ;
- il n'est ni indispensable ni déconseillé d'inclure les bords rectilignes ;
- le bord peut aussi bien être externe, le plus courant, qu'interne, pour séparer deux matériaux.

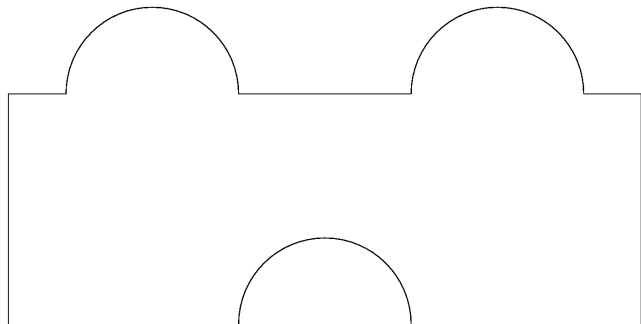
Dit autrement, un groupe de segments de bord doit comporter une liste de segments formant une ligne ayant un début et une fin.

Remarques :

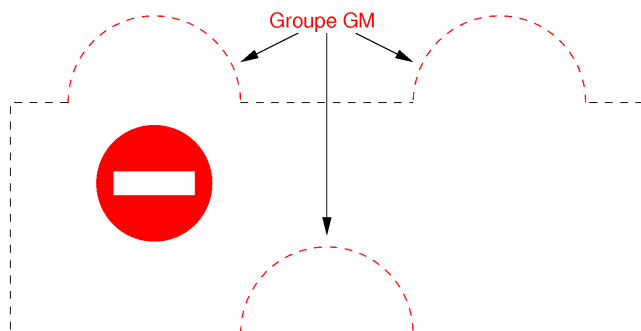
On regardera les cas-tests `zzzz121d` et `zzzz175a` pour des exemples de pilotage du suivi de frontière et le site WEB de HOMARD pour une illustration graphique du résultat obtenu.

Exemple :

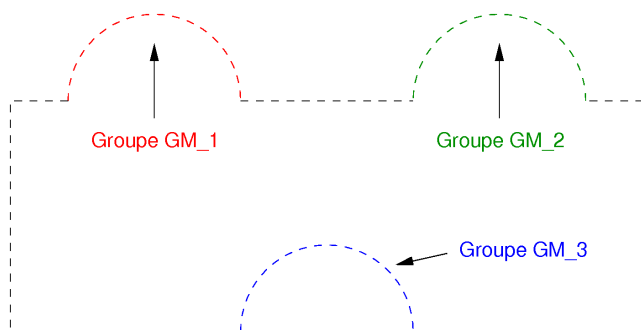
Considérons un objet bidimensionnel dont la frontière n'est pas toujours rectiligne. Cette frontière aura été maillée par des éléments SEG2 ou SEG3 aussi bien dans le maillage de calcul que dans le maillage annexe. Ces mailles de bord sont mises dans les mêmes groupes.



La mauvaise solution est celle-ci : repérer les mailles des bords courbes et les stocker toutes dans le même groupe. HOMARD ne sait pas gérer un bord fractionné ; il y aura arrêt avec un message signifiant que la ligne est en plusieurs morceaux.

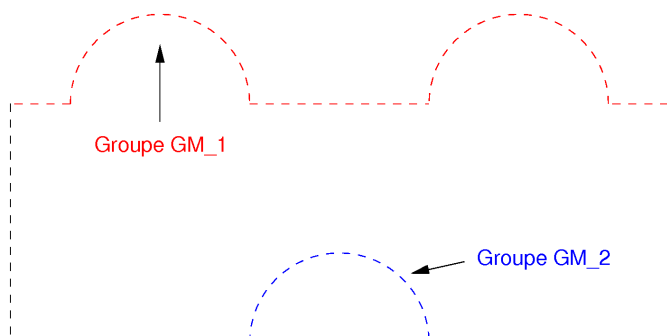


Une première façon de faire consiste à créer autant de groupes que de zones d'intérêt.



Une autre solution acceptable consiste à regrouper par tronçon.

Entre les deux méthodes, pas de différence pour HOMARD : l'essentiel est de ne pas faire le tour complet (sinon, pas d'extrémité) et de ne pas couper (sinon, trop d'extrémités). On choisira la méthode la plus facile à réaliser dans le maillage.



4.12.1 Opérande GROUP_MA_FRONT

◇ GROUP_MA_FRONT = l_grma

Si cette option est absente, le suivi de la frontière se fait pour tous les groupes définis dans le maillage de la frontière. Si on souhaite restreindre ce suivi à une partie de la frontière, on donne ici la liste des groupes de segments qui définissent cette partie de frontière.

4.13 Mot clé MAJ_CHAM

◇ MAJ_CHAM = _F (

Ce mot-clé est à employer autant de fois que l'on a de champs à mettre à jour de l'ancien maillage vers le maillage adapté. Ce champ est contenu soit dans une structure de résultat soit dans un champ de grandeurs.

4.13.1 Opérande RESULTAT

/ ◇ RESULTAT = resu

Nom du concept [resultat] contenant le champ à mettre à jour.

4.13.1.1 Opérande NOM_CHAMP

◇ NOM_CHAMP = nomsymb [K16]

Nom symbolique du champ que l'on souhaite exprimer sur le nouveau maillage.

4.13.2 Opérande CHAM_GD

/ ◇ CHAM_GD = cham_gd

Nom du concept [cham_gd] contenant le champ à mettre à jour.

4.13.3 Opérande SENSIBILITE

/ ◇ SENSIBILITE =
 / para [para_sensi]
 / theta [theta_geom]

Cet opérande permet de choisir comme champ à mettre à jour la dérivée du champ désigné par les opérandes [RESULTAT/CHAM_GD] par rapport à un paramètre. Voir [U4.50.02] pour les détails associés à ce paramètre.

4.13.4 Sélection du paramètre temporel du champ à mettre à jour

La sélection du numéro d'ordre associé au champ à interpoler se fait par la désignation d'un numéro d'ordre ou d'une valeur d'instant. Se référer au document [U4.71.00] pour les détails sur ces mots-clés.

4.13.5 Opérande CHAM_MAJ

◆ CHAM_MAJ = co (chpmaj) [K8]

Nom du concept qui contiendra le champ exprimé sur le nouveau maillage. Ce concept ne doit pas exister. Il sera automatiquement créé.

4.13.6 Opérande TYPE_CHAM

◆ TYPE_CHAM = / 'NOEU_DEPL_R'
 / 'NOEU_TEMP_R'
 / etc ...

On désigne ici le type du concept à mettre à jour sur le nouveau maillage. Le nom de ce type est construit avec la logique habituelle de *Code_Aster*. Les 4 premiers caractères sont 'NOEU', 'ELEM', 'ELNO' ou 'ELGA'. On trouve ensuite '_'. La séquence suivante définit le type de champ : 'TEMP', 'DEPL', etc. Le nom se termine par '_R' pour un champ réel.

Exemple : 'NOEU_TEMP_R', 'NOEU_DEPL_R', etc.

Attention :

Il n'y a pas de contrôle de cohérence entre le type demandé et le type véritable du champ à interpoler.

4.14 Opérande NOMBRE

Remarque :

On consultera le document [U7.03.02] décrivant la commande MACR_INFO_MAIL pour des commentaires sur les restitutions des opérandes QUALITE , INTERPENETRATION , NOMBRE , CONNEXITE et TAILLE .

◇ NOMBRE = / 'OUI' [DEFAULT]
/ 'NON'

Si le choix est 'NON', rien ne se passe.

Si le choix est 'OUI', un bilan des nombres de nœuds et d'éléments est imprimé sur le fichier de messages.

4.15 Opérande QUALITE

◇ QUALITE = / 'OUI' [DEFAULT]
/ 'NON'

Si le choix est 'NON', rien ne se passe.

Si le choix est 'OUI', un bilan de la qualité des éléments est imprimé sur le fichier de message.

La qualité d'un triangle est définie comme étant le rapport entre la longueur du plus grand côté et le rayon du cercle inscrit. La qualité d'un quadrangle est définie comme le quotient du produit de la plus grande longueur et des moyennes sur les côtés et les diagonales par la plus petite des surfaces des triangles internes aux quadrangles. De même, la qualité d'un tétraèdre est définie comme étant le rapport entre la longueur du plus grand côté et le rayon de la sphère inscrite. Ces rapports sont normalisés pour valoir 1 dans le cas d'un triangle équilatéral, d'un carré, d'un tétraèdre ou d'un hexaèdre équilatéral. Pour tout élément non équilatéral, la qualité est supérieure à 1. Voir la référence [bib1] pour des explications détaillées.

Le résultat est présenté sous forme de tableaux, avec les valeurs extrêmes.

4.16 Opérande INTERPENETRATION

◇ INTERPENETRATION = / 'OUI' [DEFAULT]
/ 'NON'

Si le choix est 'NON', rien ne se passe.

Si le choix est 'OUI', on vérifie que le maillage est correct du point de vue du recouvrement : aucune maille n'entre dans une autre.

4.17 Opérande TAILLE

◇ TAILLE = / 'OUI' [DEFAULT]
/ 'NON'

Si le choix est 'NON', rien ne se passe.

Si le choix est 'OUI', un bilan des tailles des sous-domaines est imprimé sur le fichier de messages. Un sous-domaine est défini comme un ensemble de mailles de même dimension et appartenant aux mêmes groupes.

4.18 Opérande CONNEXITE

◇ CONNEXITE = / 'OUI' [DEFAULT]
/ 'NON'

Si le choix est 'NON', rien ne se passe.

Si le choix est 'OUI', un bilan des connexités est imprimé sur le fichier de messages. On saura alors si les segments, les éléments 2D (triangles et quadrangles réunis) ou les tétraèdres et les hexaèdres sont d'un seul tenant ou répartis en plusieurs blocs. On connaîtra également le nombre de trous de la structure.

4.19 Opérande **LANGUE**

```
◇  LANGUE                =  /  'FRANCAIS'                [DEFAULT]
                               'FRENCH'
                               'ANGLAIS'
                               'ENGLISH'
```

Cet opérande précise la langue dans laquelle sont imprimés les messages issus de HOMARD.

4.20 Opérande **VERSION_HOMARD**

```
◇  VERSION_HOMARD =      'V9_5'                        [DEFAULT]
                          'V9_N'
                          'V9_N_PERSO'
```

Cet opérande permet de sélectionner la version de HOMARD qui est utilisée pour l'adaptation. Par défaut, HOMARD 9.5 est lancé. C'est la version de référence. Le choix 'V9_N' active la version 9.n de HOMARD qui est la version de développement. Le choix 'V9_N_PERSO' active une version de développement propre à l'utilisateur. Cette option est de fait réservée à l'équipe de développement de HOMARD pour mettre au point de nouvelles fonctionnalités.

4.21 Opérande **ELEMENTS_NON_HOMARD**

```
◇  ELEMENTS_NON_HOMARD =  /  'REFUSER'                  [DEFAULT]
                          /  'IGNORER'
```

Dans sa version actuelle, HOMARD sait lire tous les types de mailles mais ne fait porter l'adaptation que sur certaines : mailles-points, segments, triangles, quadrangles, tétraèdres, hexaèdres ou pentaèdres. Le maillage est en degré 1 ou 2, mais il n'est pas possible de mélanger les deux.

En retenant l'option 'REFUSER', la transmission d'un maillage contenant autre chose que ces types de mailles entraînera un arrêt en erreur. C'est l'option par défaut.

En choisissant l'option 'IGNORER', on pourra transmettre un maillage comportant n'importe quel type de maille. L'adaptation ne portera que sur les zones autorisées par HOMARD. Si par suite de propagation du raffinement, une zone interdite vient à être touchée, il y a un arrêt en erreur. Sinon, quand le raffinement se limite à la zone autorisée, les autres mailles sont restituées sans changement.

4.22 Opérande **INFO**

```
◇  INFO =                /  1
                          /  2
                          /  3
                          /  4
```

Si INFO vaut 1, les impressions sont minimales ; on n'obtient que celles qui ont explicitement été demandées, la qualité des mailles par exemple, et les éventuels messages d'erreur.

Si INFO vaut 2, on obtiendra les messages émis par les commandes sous-jacentes à la macro-commande : IMPR_RESU, LIRE_MALLAGE, LIRE_RESU.

Si INFO vaut 3, on aura les messages standard de HOMARD, récapitulant l'exécution.

Si INFO vaut 4, on aura tous les messages émis par HOMARD, en vue de débogage.

5 Exemple

On regardera avec profit les fichiers de commandes associés aux cas-tests `zzzz121a`, `b`, `c`, `d`. Ils expriment les processus d'adaptation de maillage sous la forme d'une boucle en langage Python.

Voici un exemple de paramétrage de la macro-commande.

```
MACR_ADAP_MAIL (
    ADAPTATION      'RAFF_DERA',
    MAILLAGE_N = mun,
    MAILLAGE_NP1 = CO ("mdeux"),
    RESULTAT_N = remeun,
    INDICATEUR = 'ERRE_ELEM_SIGM',
    NOM_CMP_INDICA = 'ERREST'
    NUME_ORDRE = 3,
    CRIT_RAFF_PE = 0.01,
    CRIT_DERA_PE = 0.25,
    NIVE_MAX = 5
    MAJ_CHAM      = _F (
        RESULTAT = rethun,
        NOM_CHAM = 'TEMP',
        TYPE_CHAM = 'NOEU_TEMP_R',
        INST = 12.5,
        CHAM_MAJ = CO ("tempdeux")
    ),
    QUALITE = 'OUI',
    INTERPENETRATION = 'NON'
)
```

Cette séquence va adapter le maillage contenu dans le concept `mun` et restituer un concept maillage de nom `mdeux`. L'adaptation se fait par raffinement et déraffinement libre, selon l'indicateur d'erreur contenu dans le champ `ERRE_ELEM_SIGM` du résultat `remeun`, au 3^{ème} instant ; la composante utilisée est `ERREST`. Les éléments seront classés en fonction de leur niveau d'erreur décroissant. Le premier % sera raffiné ; les 25% derniers seront candidats au déraffinement. Aucun élément du maillage final ne devra être issu de plus de 5 raffinements.

Le champ `TEMP` du résultat `rethun` à l'instant 12,5 est exprimé sur le maillage `mun`. Il sera exprimé sur le maillage `mdeux` sous la forme du champ de température aux nœuds `tempdeux`.

Un récapitulatif de la qualité des éléments du nouveau maillage est produit. On ne contrôle pas l'interpénétration des éléments.

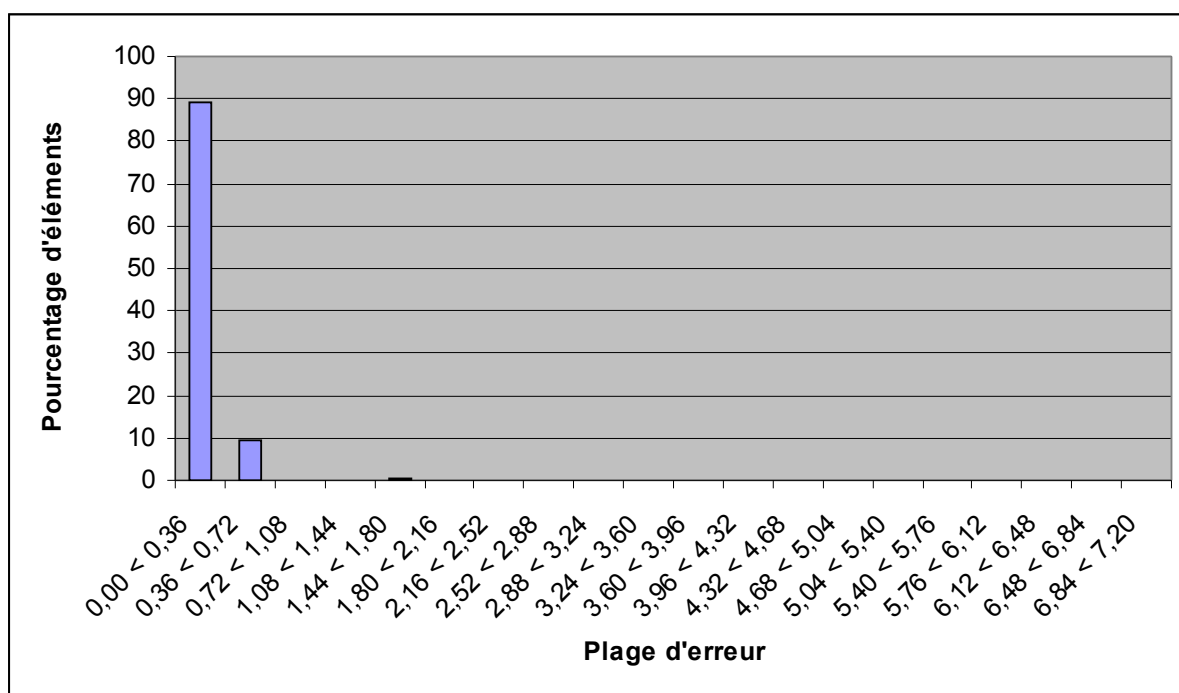
Voici un exemple du tableau présentant la répartition de l'indicateur d'erreur sur le maillage.

```

*****
*      Indicateurs d'erreur sur le maillage de calcul      *
*      Erreur sur les          956 triangles              *
*****
*  Minimum :    40.577                Maximum :    71888.    *
*****

*****
*                      Fonction de repartition              *
*                      *                                     *
*      Valeurs          *      Nombre d'elements          *
*  Mini < < Maxi *      par classe          *      cumul          *
*      * 10**4          *      en % . nombre          *      en % . nombre          *
*****
*  0.00 < 0.36 * 89.33 .      854 * 89.33 .      854 *
*  0.36 < 0.72 * 9.62 .      92 * 98.95 .      946 *
*  0.72 < 1.08 * 0.21 .      2 * 99.16 .      948 *
*  1.08 < 1.44 * 0.10 .      1 * 99.27 .      949 *
*  1.44 < 1.80 * 0.31 .      3 * 99.58 .      952 *
*  1.80 < 2.16 * 0.10 .      1 * 99.69 .      953 *
*  2.16 < 2.52 * 0.00 .      0 * 99.69 .      953 *
*  2.52 < 2.88 * 0.00 .      0 * 99.69 .      953 *
*  2.88 < 3.24 * 0.00 .      0 * 99.69 .      953 *
*  3.24 < 3.60 * 0.00 .      0 * 99.69 .      953 *
*  3.60 < 3.96 * 0.00 .      0 * 99.69 .      953 *
*  3.96 < 4.32 * 0.00 .      0 * 99.69 .      953 *
*  4.32 < 4.68 * 0.10 .      1 * 99.79 .      954 *
*  4.68 < 5.04 * 0.00 .      0 * 99.79 .      954 *
*  5.04 < 5.40 * 0.00 .      0 * 99.79 .      954 *
*  5.40 < 5.76 * 0.00 .      0 * 99.79 .      954 *
*  5.76 < 6.12 * 0.00 .      0 * 99.79 .      954 *
*  6.12 < 6.48 * 0.00 .      0 * 99.79 .      954 *
*  6.48 < 6.84 * 0.10 .      1 * 99.90 .      955 *
*  6.84 < 7.20 * 0.10 .      1 * 100.00 .      956 *
*****

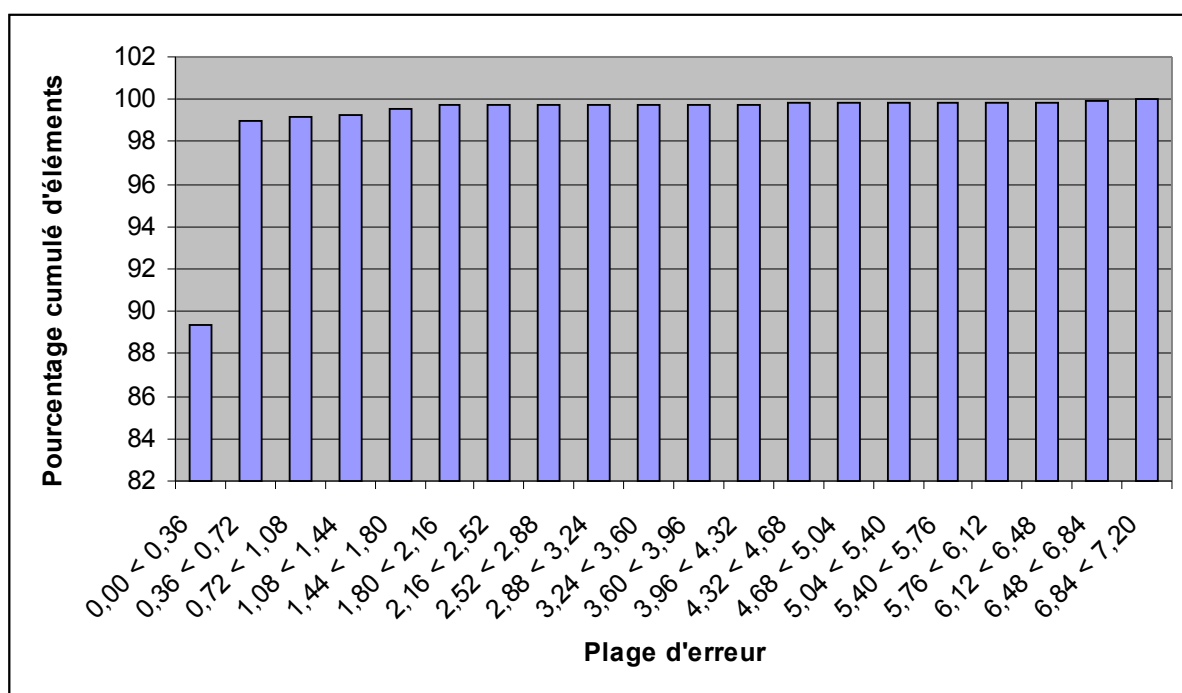
```



Le diagnostic sur la répartition de l'indicateur d'erreur sur le maillage rappelle d'abord les valeurs extrêmes rencontrées dans le calcul en cours. Ici le minimum est de 40,577 et le maximum de 71888. Ensuite on présente la répartition par tranche équidistante à partir de la valeur optimum, 0. On voit que 854 triangles ont une erreur inférieure à $0,36 \cdot 10^4$, soit 89,33 % du nombre total de triangles. 92 triangles ont une erreur comprise entre $0,36 \cdot 10^4$ et $0,72 \cdot 10^4$, soit 9,62 % du nombre total de triangles. En cumulé, on constate donc que 946 (=854+92) triangles ont une erreur inférieure à $0,72 \cdot 10^4$, soit 98,95 % du total. Et ainsi de suite. Par exemple, 99,58 % des éléments ont une erreur inférieure à $1,80 \cdot 10^4$.

Sur la figure précédente, on peut voir la représentation sous forme d'histogramme des pourcentages d'éléments dans chacune des plages de d'erreur concernées. Comme on pouvait également le constater dans le tableau pr c dent, on constate que très peu d'éléments concentrent une forte erreur.

En visualisant une représentation du pourcentage cumulé d'éléments dans une plage d'erreur donnée, on a la figure suivante.



De cette répartition de l'erreur, on peut déduire deux conséquences sur les stratégies de raffinement. Si on demande un raffinement sur un critère relatif de l'erreur, mot-clé `CRIT_RAFF_REL`, cela revient à sélectionner les éléments qui se trouvent à droite de la ligne verticale passant par ce critère. Par exemple si on demande `CRIT_RAFF_REL = 0.85`, on sélectionnera tous les éléments dont l'erreur est supérieure à $0,85 \cdot 71888$, soit 61105. On constate que cela correspond à très peu d'éléments : 2 seulement dépassent cette valeur, soit 0,2% du total.

Si on demande un raffinement sur un pourcentage d'éléments, mot-clé `CRIT_RAFF_PE`, cela revient à sélectionner les éléments qui se trouvent au-dessus de la ligne horizontale passant par ce critère. Par exemple si on demande `CRIT_RAFF_PE = 0.85`, on sélectionnera les 15% d'éléments les pires, soit 143 éléments. Parmi ceux-là, les « moins pires » ont une erreur inférieure à 3600, soit 20 fois plus petite que le maximum.

La conséquence de ces remarques est qu'il convient de faire une première analyse de la répartition de l'erreur avant de choisir le type et les valeurs des critères de raffinement. Il est en effet inutile, voire coûteux en terme d'augmentation de la taille de maillage, de raffiner dans des zones où l'erreur n'est pas très forte. L'adaptation sera d'autant plus performante que l'on aura su réduire les éléments à forte erreur jusqu'à obtenir un équilibre de la répartition de l'erreur dans le maillage.

6 Bibliographie

- 1) G. Nicolas ; T. Fouquet : “Logiciel HOMARD - Volume 1 - Présentation générale”, rapport EDF H-I23-2008-04107-FR, décembre 2008.
- 2) G. Nicolas ; T. Fouquet : “Logiciel HOMARD - Volume 2 – Algorithmes de raffinement et déraffinement de maillages”, rapport EDF H-I23-2008-04108-FR, décembre 2008.
- 3) G. Nicolas ; T. Fouquet : “Logiciel HOMARD - Volume 3 – Interfaces avec les codes de calcul”, rapport EDF H-I23-2008-04118-FR, décembre 2008.
- 4) G. Nicolas ; T. Fouquet : “Logiciel HOMARD - Volume 4 – Structures de données”, rapport EDF H-I23-2008-04120-FR, décembre 2008.