

Rapport Hydrogrid

Gridmesh : un mailleur pour le code INTRUSION D'EAU SALÉE

Édouard CANOT*

2003-2005

*Équipe SAGE, CNRS/IRISA, Rennes



Action Concertée Incitative [ACI]
Globalisation des Ressources Informatiques
et des Données [GRID]



Introduction

Gridmesh est un outil interactif permettant la construction d'un type de maillage spécifique, requis par le code INTRUSION D'EAU SALÉE (couplage écoulement/transport) du projet HYDROGRID. Même si ce dernier code utilise des mailles rectangulaires, la description interne du maillage est de type "non structuré", comme dans le cas des mailles triangulaires. À ce titre, outre la définition des coordonnées des nœuds (géométrie 2D plane), le maillage doit fournir la description de tables de connectivité entre les numéros de ces nœuds, ceux des mailles et ceux de leurs facettes. Enfin, dans notre cas particulier, le fichier de maillage contient de plus l'ensemble des conditions limites du problème, écrite aux frontières du domaine, ainsi que les propriétés physiques du sous-sol, qui peuvent être définies par zones.

Ce document n'est pas à proprement parler un "guide de l'utilisateur" de *Gridmesh* ; il décrit plutôt les caractéristiques principales du mailleur et met l'accent sur la mise en œuvre interne de certaines de ses particularités.

Deux versions du mailleur ont été développées : la première est une interface graphique de Matlab® ; la seconde est un programme écrit en Fortran 90, ayant une partie graphique interactive (fondée sur la bibliothèque PGPLOT) certes plus rudimentaire que la première mais en revanche plus rapide et moins gourmande en mémoire. Chacune de ces versions fait l'objet d'une partie descriptive ; elles seront comparées entre elles dans une troisième partie.

1 L'interface sous Matlab

Voici comment se présente le mailleur quand on lance la commande gridmesh sous Matlab :

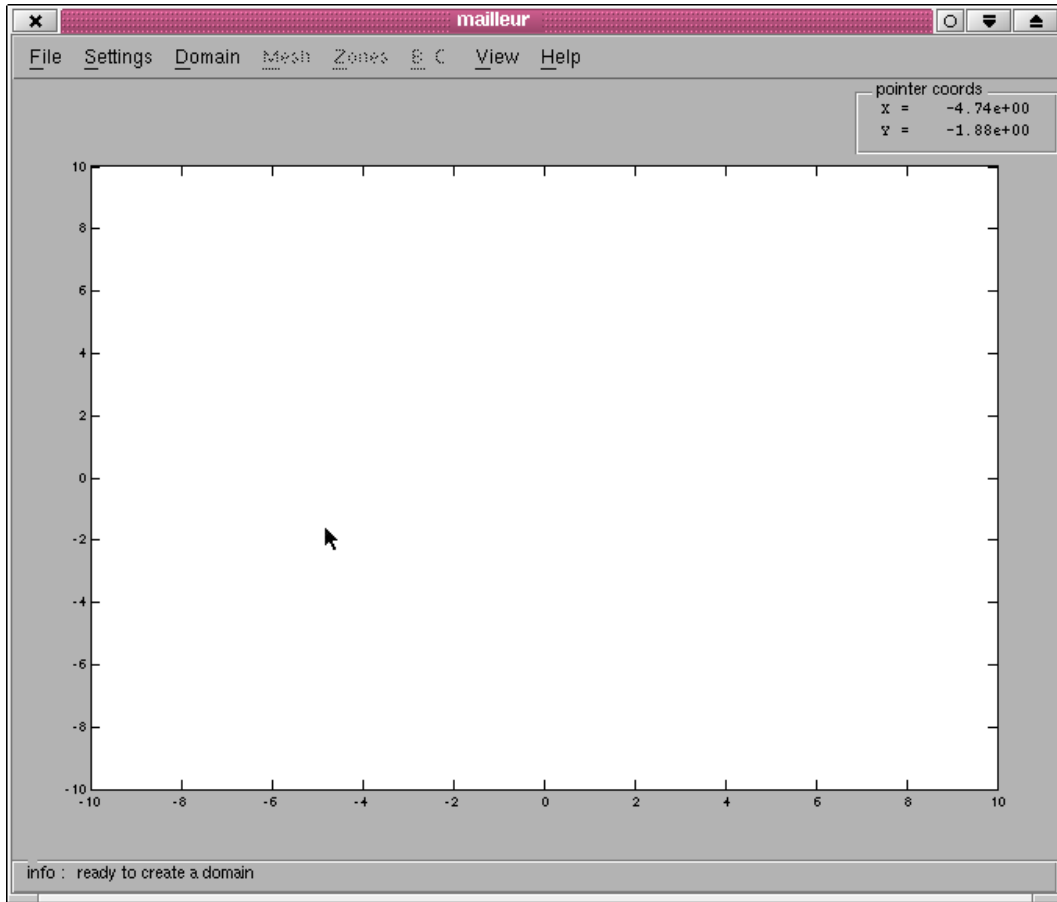


FIG. 1 – la fenêtre initiale de gridmesh

On remarque, outre la partie centrale pour le graphique, quatre zones d'informations pour l'utilisateur et une barre de menus. Deux zones sont nommées et toujours visibles : celle dans le bandeau du bas, intitulée "info", apporte des informations diverses, souvent liées à l'enchaînement des opérations à effectuer ; l'autre, intitulée "pointer coords", affiche en permanence les coordonnées du pointeur lorsque ce dernier est à l'intérieur de la zone graphique. Les deux autres zones (anonymes) sont cachées initialement et n'apparaissent que suivant le contexte : l'une affiche le nom et les caractéristiques du maillage en cours d'édition ; l'autre affiche en rouge les erreurs lorsqu'elles ont lieu.

Du côté des menus, la barre supérieure en contient huit qui regroupent chacun des types d'opérations semblables (au total, 43 opérations différentes). Ils sont disposés de telle manière que, lors d'une utilisation standard, ils doivent être activés successivement de gauche à droite. Les menus interdits (c'est-à-dire ceux pouvant donner lieu, suivant le contexte, à une erreur) sont désactivés et apparaissent grisés.

Une dizaine d'articles de menus possèdent des raccourcis clavier, si bien que construire un maillage rectangulaire à partir de zéro peut s'effectuer rapidement en trois touches et trois clics :

- Ctrl-D (D : Domain) permet tout d'abord de choisir le positionnement et les dimensions globales du domaine ; ces dernières sont prédéfinies à $[0,1] \times [0,1]$ et peuvent être validées ou modifiées dans une fenêtre flottante automatique ;
- Ctrl-U (U : Uniform mesh) permet de définir la résolution du maillage rectangulaire uniforme ; un maillage 16x16 est proposé initialement ; une fois choisi, les mailles sont aussitôt dessinées (cf. figure 2)
- Ctrl-B (B : Build mesh) calcule les coordonnées des nœuds et construit les tables de connectivité.

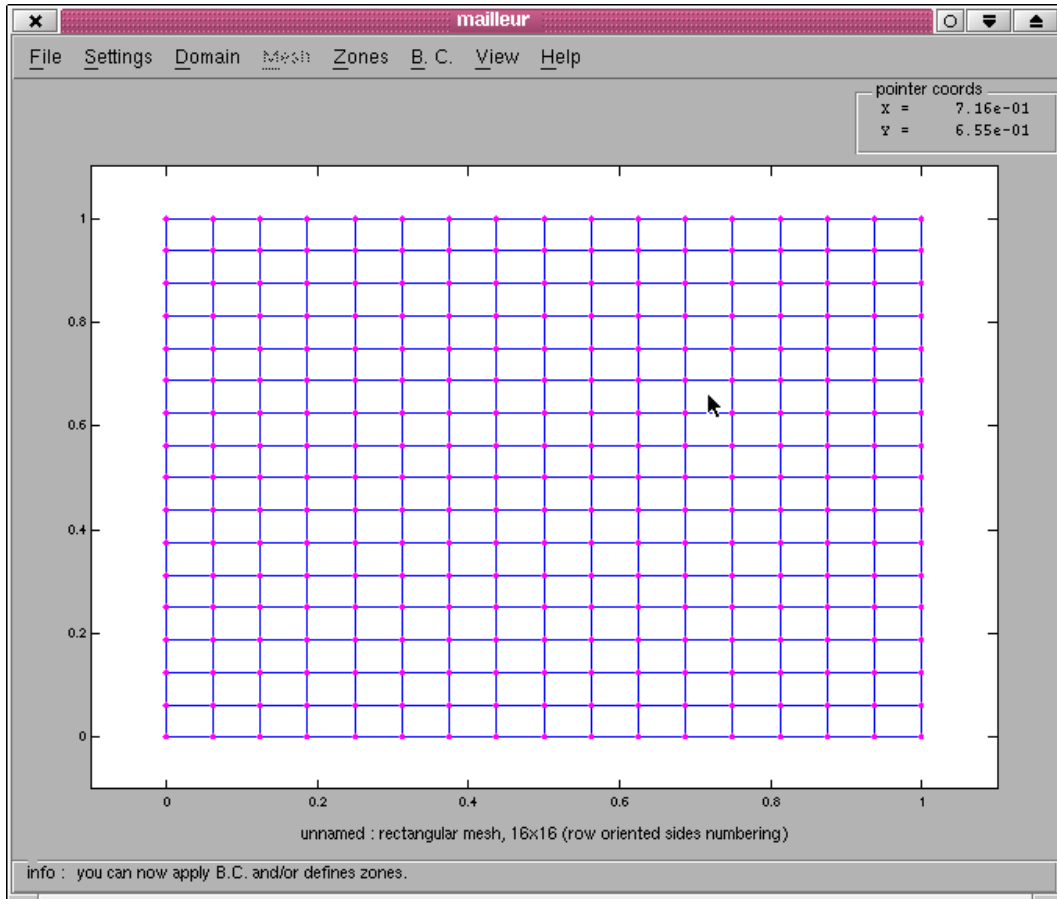


FIG. 2 – maillage 16x16 initial : uniforme

On peut bien entendu ouvrir et modifier un maillage existant.

Un raffinement du maillage est possible ; cependant, soit il doit être effectué avant la construction des tables de connectivité (mesh/build : troisième point de la liste ci-dessus), soit il faut effacer les tables de connectivité (B.C./erase), ce qui redonne accès au menu "Mesh". Ce raffinement permet d'insérer des lignes verticales ou horizontales de manière interactive, aux endroits souhaités, par exemple comme indiqués sur la figure 3.

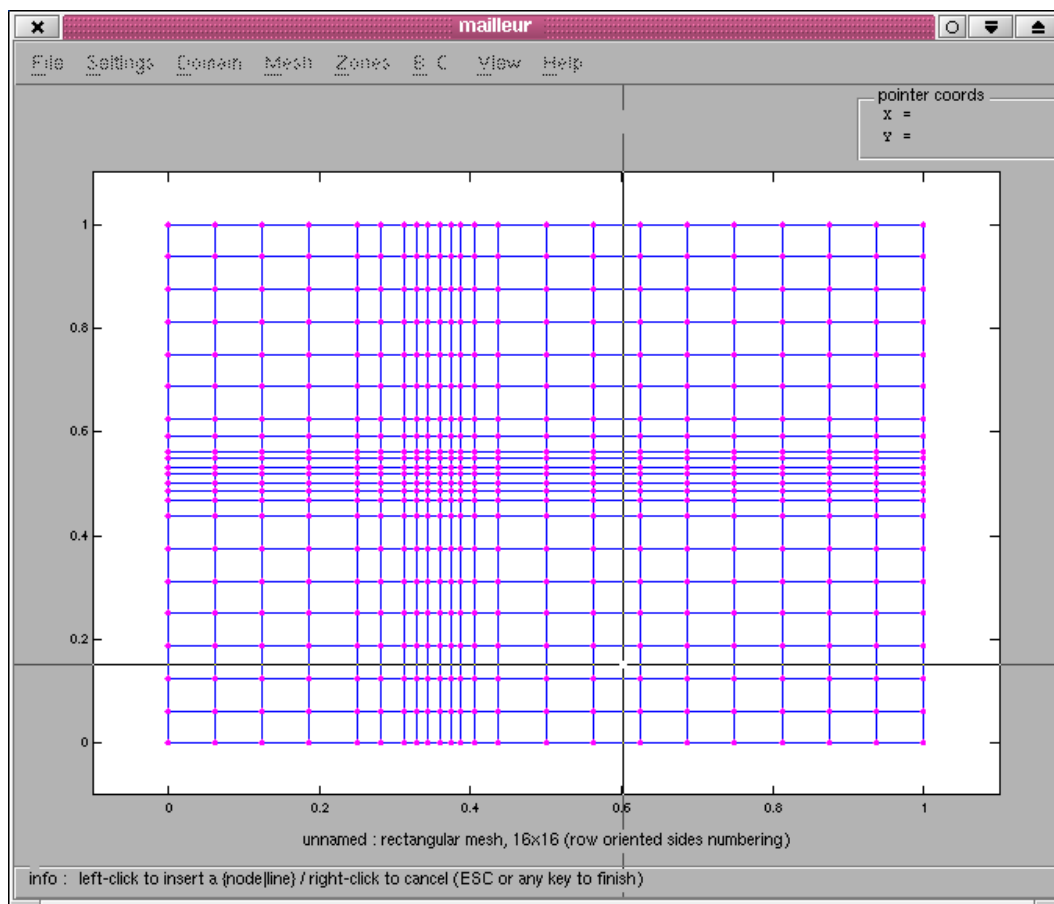


FIG. 3 – maillage raffiné

On peut ensuite définir différentes zones de propriétés physiques distinctes (cf. figure 4)

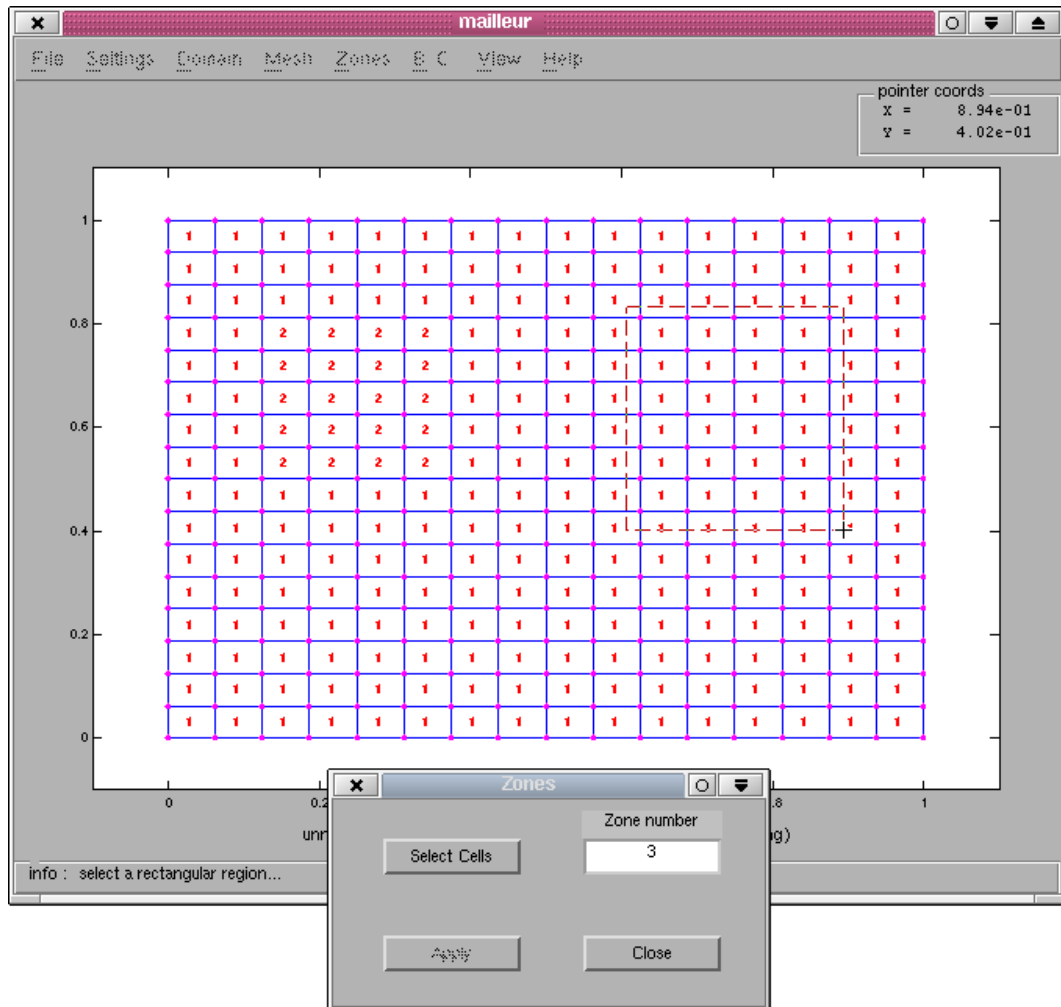


FIG. 4 – maillage raffiné

Cependant, les propriétés physiques attachées à chaque zone devront être ajoutées dans le fichier "elder.hyd", donc en dehors du fichier de maillage.

Il est possible également d'afficher la numérotation des noeuds, mailles et facettes (cf. figure 5); cependant ces trois possibilités (trois articles différents sous le menu "View") ne sont exploitables qu'après avoir agrandi (au moyen du "zoom" incorporé) une partie du maillage.

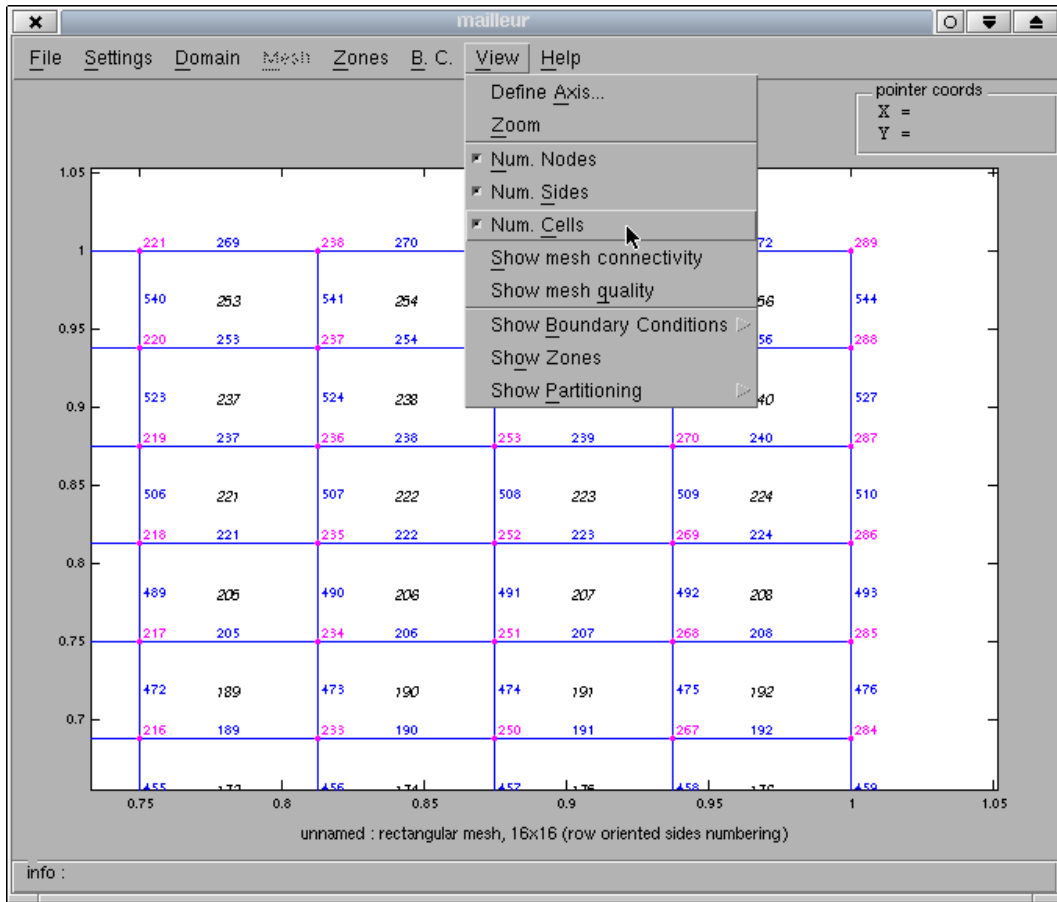


FIG. 5 – affichage de la numérotation des différentes entités

Cette possibilité est utile lors du débogage de l'application "intrusion d'eau salée".

Les conditions limites s'ajoutent en activant les différents articles du menu "B.C." (Boundary Conditions), et elles peuvent s'appliquer aussi bien à la partie "flow" (écoulement) qu'à la partie "transport". Par défaut, à l'activation d'un de ces articles, des conditions de Neumann sont choisies, avec une valeur nulle pour le flux de la variable correspondante (charge ou concentration), comme le montre la figure suivante :

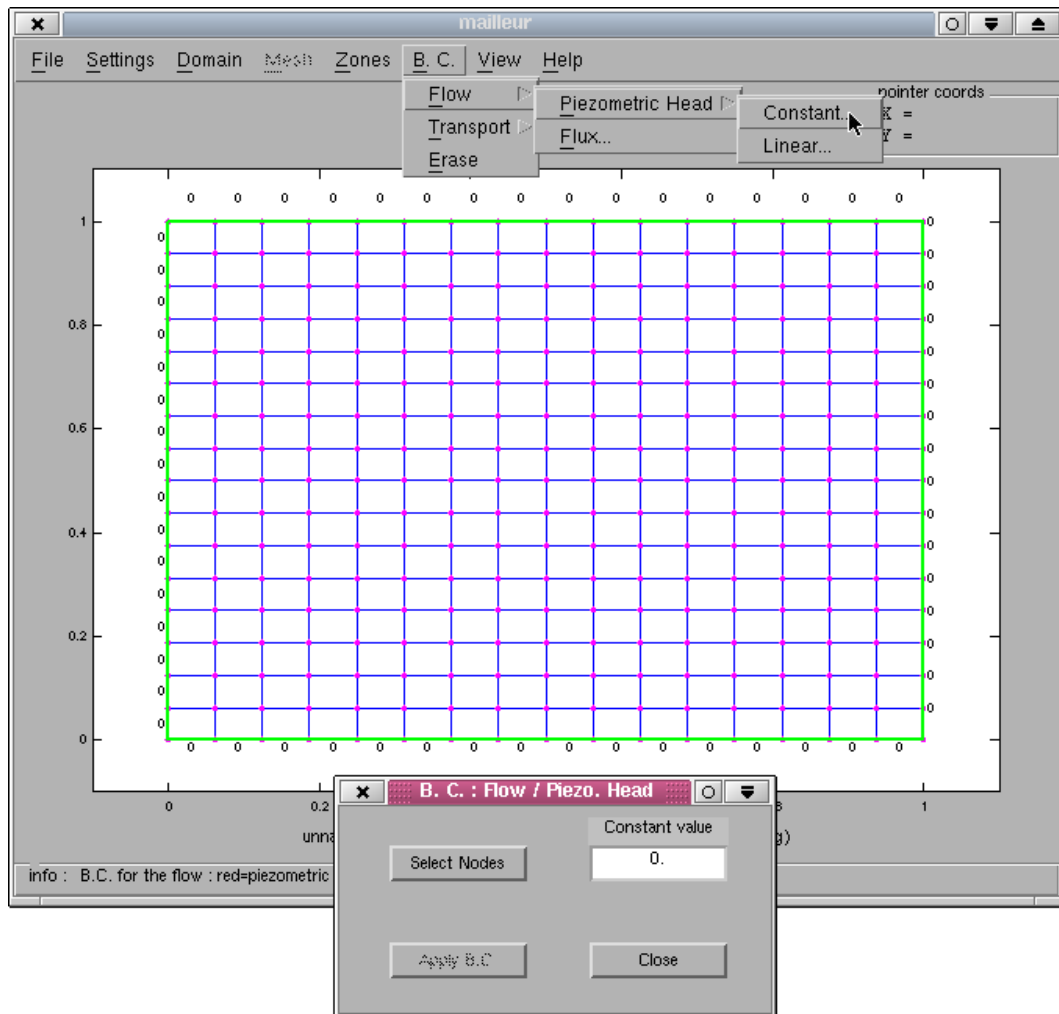


FIG. 6 – choix des conditions limites pour l'écoulement

La valeur numérique des conditions limites est toujours affichée lorsqu'on est en cours de modification dans le menu "B.C." et un système de couleurs permet à l'utilisateur de distinguer les deux types de conditions : vert pour Neumann, rouge pour Dirichlet (voir aussi, par exemple, la figure 7).

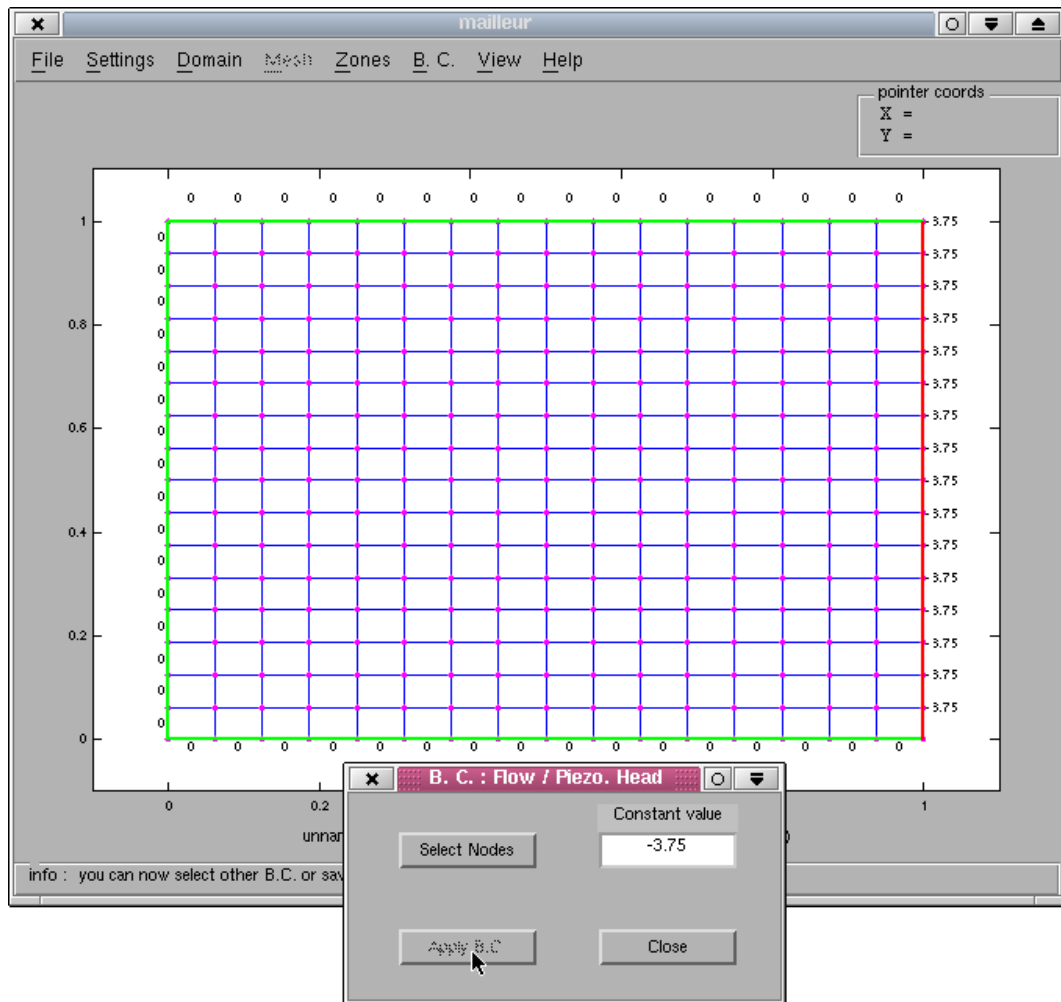


FIG. 7 – choix des conditions limites pour l'écoulement : condition de Dirichlet (rouge) pour le bord droit, avec une valeur imposée constante pour la charge

Dans le cas particulier d'une condition de Dirichlet pour l'écoulement, on peut aussi imposer une valeur variant linéairement entre deux bornes, comme le montre la figure suivante :

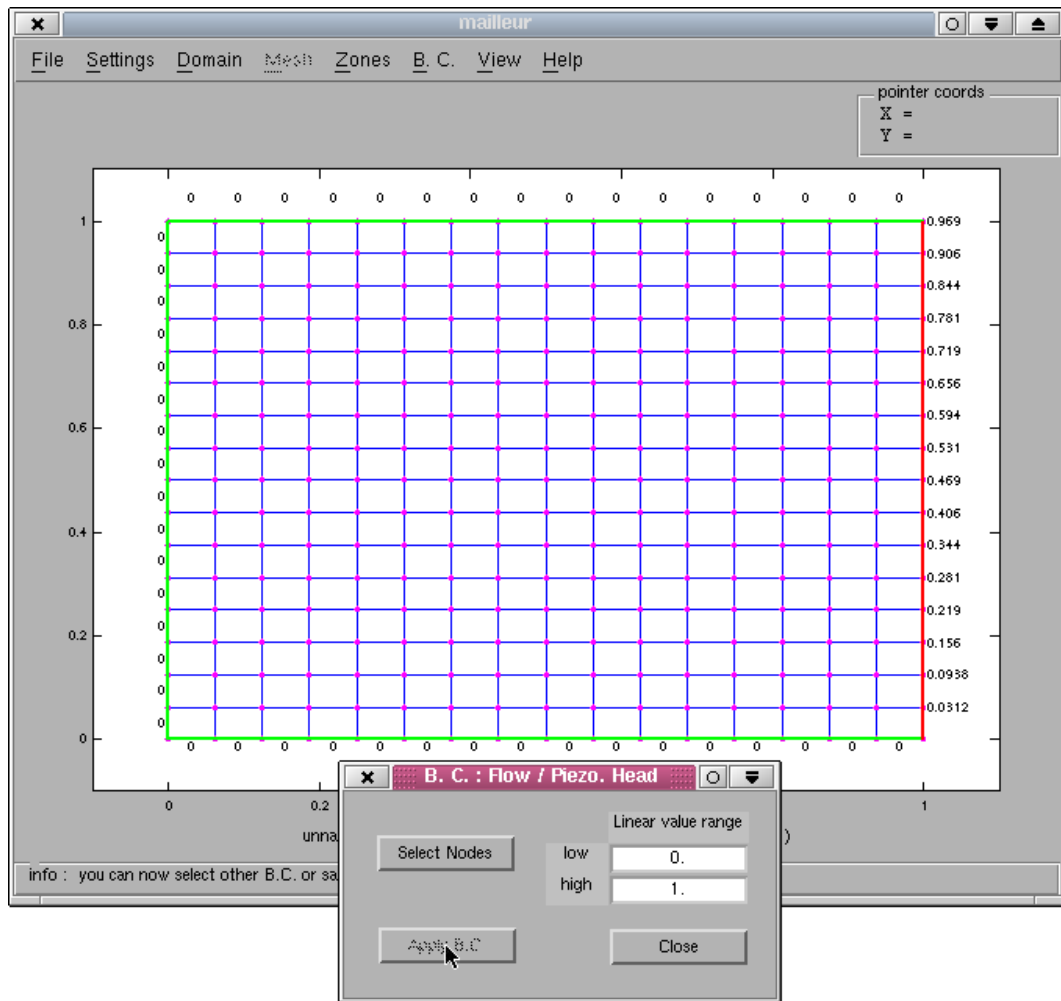


FIG. 8 – choix des conditions limites pour l'écoulement : condition de Dirichlet (rouge) pour le bord droit, avec une valeur imposée linéaire pour la charge

Cette possibilité est en fait exploitée dans le cas du test d'Henry.

Pour les conditions limites concernant le transport, le fonctionnement est analogue, comme le montre la figure suivante ; seuls les codes de couleurs changent : cyan pour Neumann, magenta pour Dirichlet.

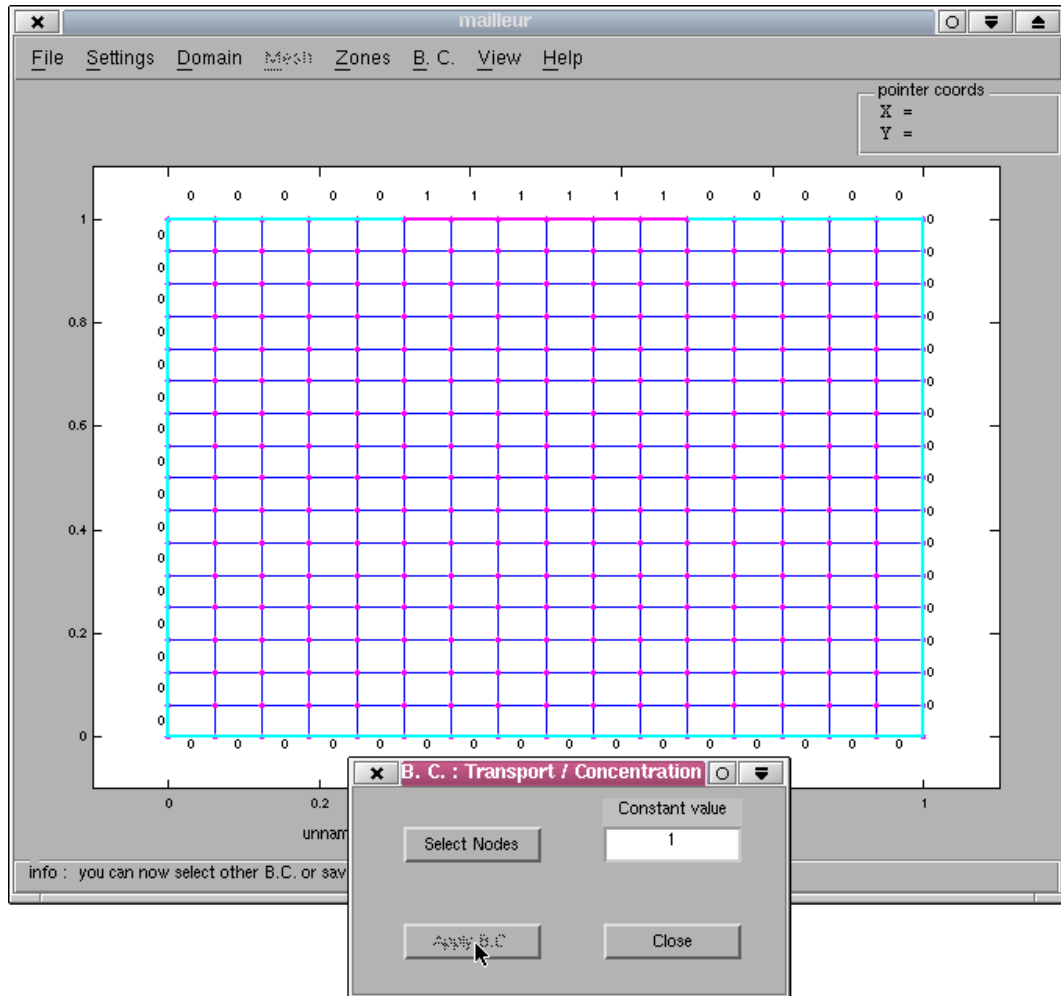


FIG. 9 – choix des conditions limites pour le transport : condition de Dirichlet (rouge) appliquée à la partie supérieure, avec une valeur imposée pour la concentration

Les différents affichages réalisés dans *Gridmesh* sont réellement créés en mémoire (comme objets graphiques) par Matlab lors de la première requête. Les objets graphiques correspondants sont ensuite cachés lors de l'activation des différents articles de menus, mais restent en mémoire. L'affichage ultérieur est alors immédiat ; ce point est sensible surtout pour les gros maillages (typiquement, à partir de 128x128 mailles).

Le menu "View/Show mesh connectivity" affiche la structure creuse de la matrice de connectivité entre les facettes ; cela correspond aussi à celle de la matrice utilisée lors de la résolution du système linéaire dans le code "intrusion d'eau salée".

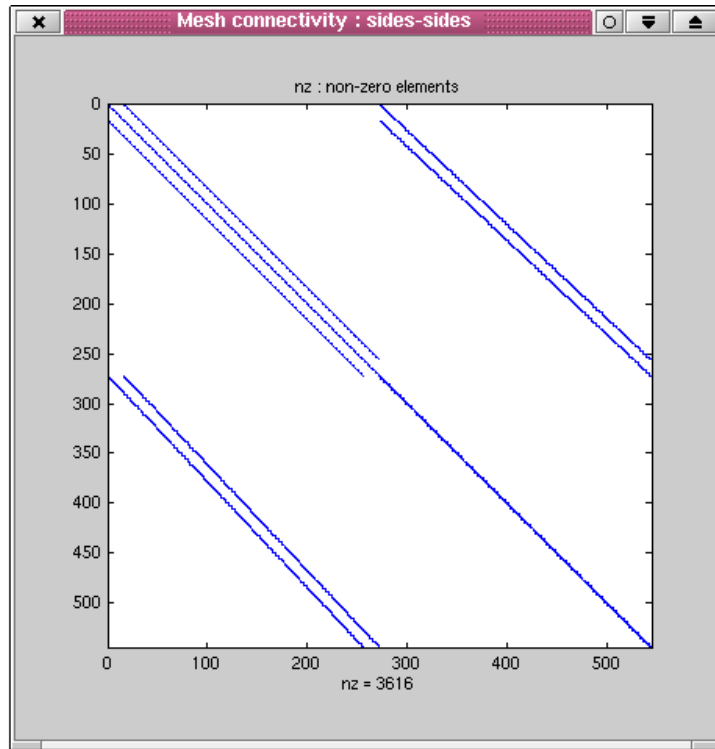


FIG. 10 – connectivité des facettes : structure creuse de la matrice du système linéaire. Numérotation "row oriented"

La structure creuse obtenue dépend essentiellement du type de numérotation appliqué aux facettes. Le menu "Settings/Type of Sides numbering" permet de faire d'autres choix, celui-là devant être effectué soit au début de la session *Gridmesh*, soit après avoir effacé les tables de connectivité par le menu "B.C./Erase".

Les deux figures suivantes (figures 11 et 12) montrent d'autres structures obtenues en changeant cette numérotation.

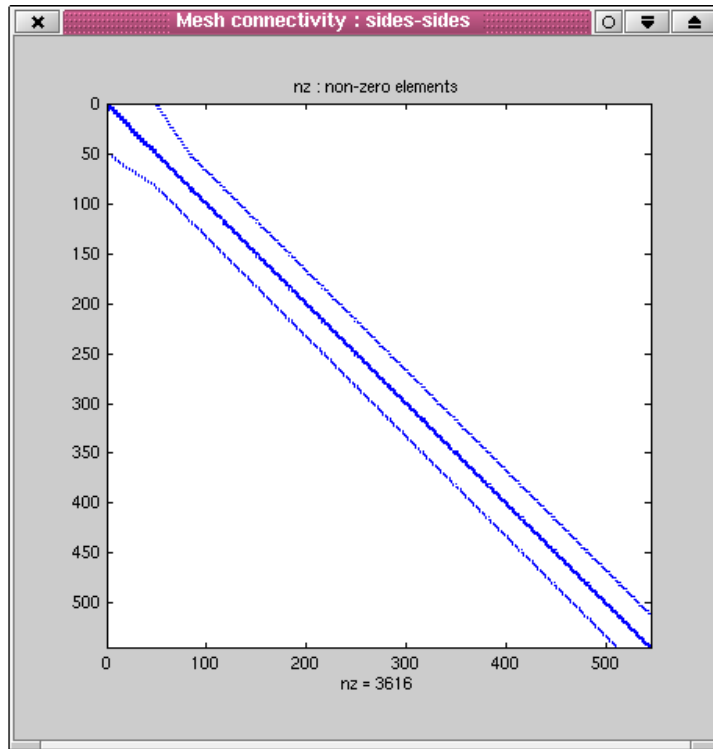


FIG. 11 – connectivité des facettes : structure creuse de la matrice du système linéaire. Numérotation "compacte".

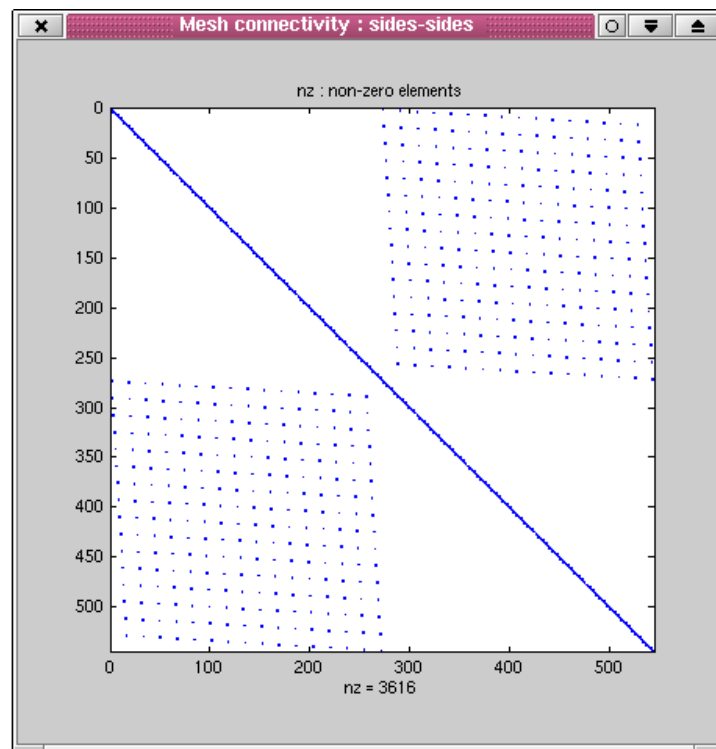


FIG. 12 – connectivité des facettes : structure creuse de la matrice du système linéaire. Numérotation d'origine ("dispersed").

Enfin, le mailleur comporte une renumérotation des facettes par dissection emboîtée ; initialement conçue pour tester l'emploi de solveurs linéaires parallèles nécessitant un partitionnement, cette possibilité est toujours activable (menu "Settings/Apply renumbering"), mais reste limitée à un seul type de numérotation sur les trois proposés. On peut, par ailleurs, vérifier l'équilibrage de l'arbre d'élimination de la matrice en activant le menu "View/Show Partitioning/Auto-detect" (figure suivante).

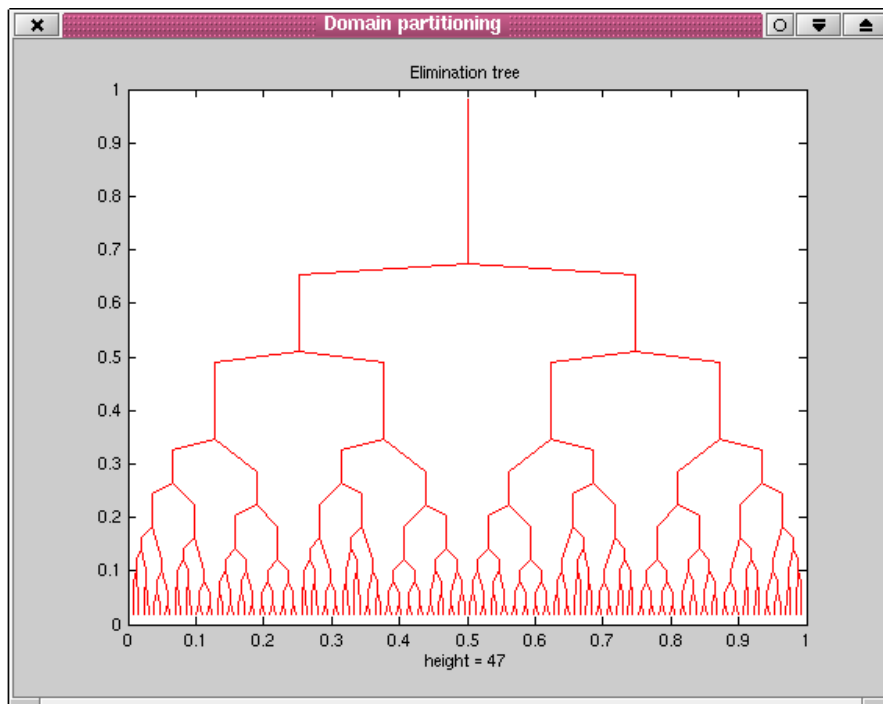


FIG. 13 – Arbre d'élimination de la matrice, après renumérotation par dissection emboîtée

Une colorisation automatique de la dissection emboîtée (colorisation des mailles) est implémentée mais ne fonctionne pas de manière satisfaisante.

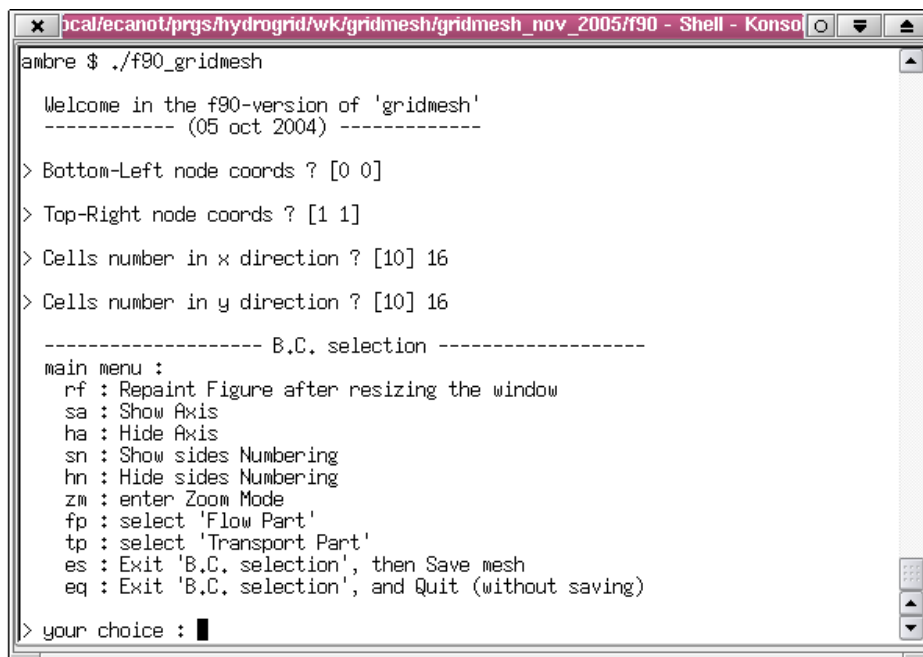
Il existe une page d'aide en ligne, succincte cependant, disponible dans le menu "Help".

En interne, le mailleur *Gridmesh* est composé d'une centaine de fonctions-script Matlab. Le noms de ces fonctions, ainsi que ceux des variables globales utilisées, ont été choisis pour que les opérations de corrections et de mise à jour de l'ensemble soient facilitées. L'interface graphique a été développée en utilisant l'outil GUIDE de Matlab. Le script de tête `gridmesh.m` vérifie la version courante de Matlab et lance un script secondaire adapté ; en effet, *Gridmesh* est actuellement pleinement compatible avec les releases R12, R13 et R14 de Matlab (numéros de version respectifs : 6.0, 6.5 et 7.0).

Un soin tout particulier a été apporté à la construction de cette interface graphique pour que son utilisation soit logique et la plus simple possible. Toutes les informations et les noms de menus sont en anglais.

2 f90_gridmesh : version Fortran 90

La figure suivant montre, sous Linux, le terminal dans lequel on vient juste de lancer l'exécutable ./f90_gridmesh :



```
pcal/ecanot/prgs/hydrogrid/wk/gridmesh/gridmesh_nov_2005/f90 - Shell - Konsole
ambre $ ./f90_gridmesh

Welcome in the f90-version of 'gridmesh'
----- (05 oct 2004) -----

> Bottom-Left node coords ? [0 0]
> Top-Right node coords ? [1 1]
> Cells number in x direction ? [10] 16
> Cells number in y direction ? [10] 16

----- B.C. selection -----
main menu :
rf : Repaint Figure after resizing the window
sa : Show Axis
ha : Hide Axis
sn : Show sides Numbering
hn : Hide sides Numbering
zm : enter Zoom Mode
fp : select 'Flow Part'
tp : select 'Transport Part'
es : Exit 'B.C. selection', then Save mesh
eq : Exit 'B.C. selection', and Quit (without saving)

> your choice : █
```

FIG. 14 – terminal au lancement de ./f90_gridmesh

L'utilisateur est invité à rentrer les valeurs pour définir les dimensions du domaine, ainsi que la résolution du maillage. Les valeurs entre crochets sont celles proposées par défaut. Un système de menus s'affiche ensuite permettant à l'utilisateur de définir les conditions limites, puis d'enregistrer sur fichier le maillage obtenu. Parallèlement, la figure 15 s'ouvre et montre uniquement les facettes du bord du domaine.

On voit sur la figure 14 toutes les possibilités offertes à l'utilisateur : agrandissement de la fenêtre, fonction zoom, numérotation des facettes, etc. Le choix des menus s'effectue toujours par un code de deux lettres rappelant l'opération à réaliser.

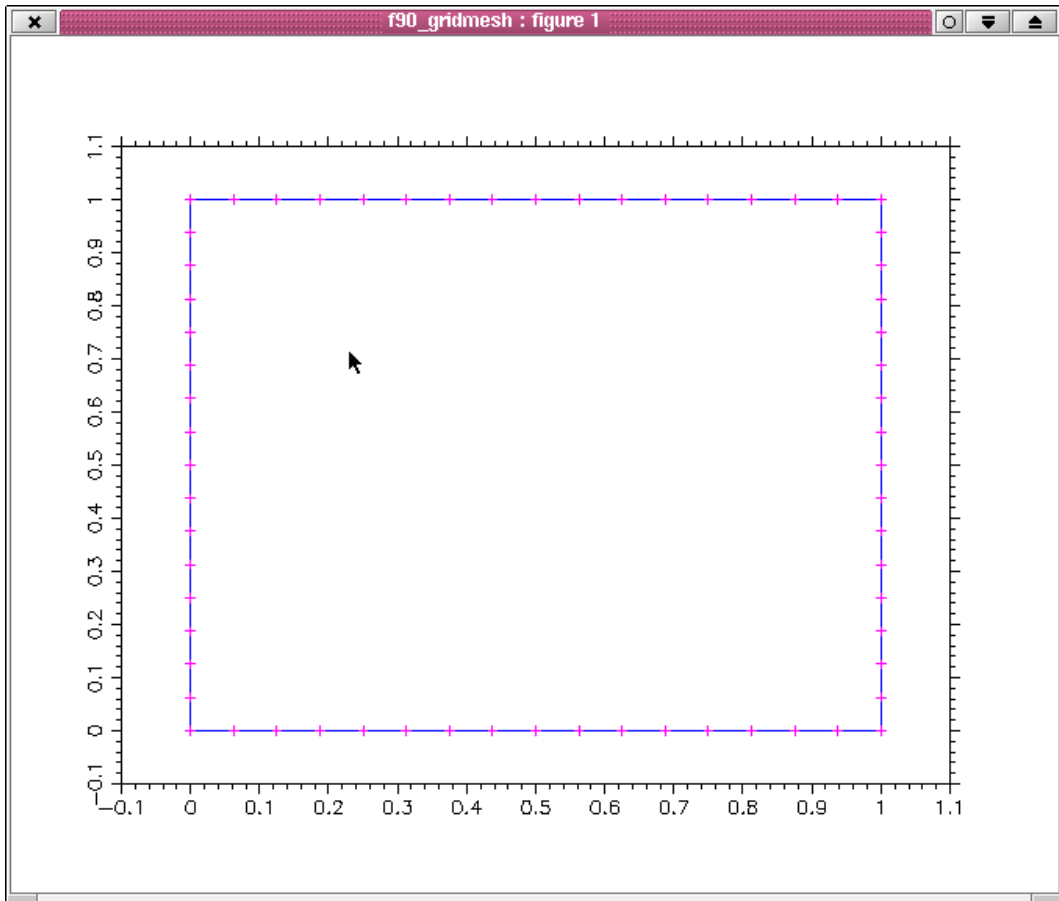


FIG. 15 – fenêtre graphique initiale, montrant uniquement la frontière du domaine

Le code des couleurs utilisées est le même que dans la version MATLAB décrite précédemment.

Les figures 16 et 17 montrent l'activation de la numérotation des facettes du bord du domaine.

```
pcal/ecanot/prgs/hydrogrid/wk/gridmesh/gridmesh_nov_2005/f90 - Shell - Konso
rf : Repaint Figure after resizing the window
sa : Show Axis
ha : Hide Axis
sn : Show sides Numbering
hn : Hide sides Numbering
zm : enter Zoom Mode
fp : select 'Flow Part'
tp : select 'Transport Part'
es : Exit 'B.C. selection', then Save mesh
eq : Exit 'B.C. selection', and Quit (without saving)

> your choice : sn

----- B.C. selection -----
main menu :
rf : Repaint Figure after resizing the window
sa : Show Axis
ha : Hide Axis
sn : Show sides Numbering
hn : Hide sides Numbering
zm : enter Zoom Mode
fp : select 'Flow Part'
tp : select 'Transport Part'
es : Exit 'B.C. selection', then Save mesh
eq : Exit 'B.C. selection', and Quit (without saving)

> your choice : █
```

FIG. 16 – terminal après activation de la numérotation des facettes du bord

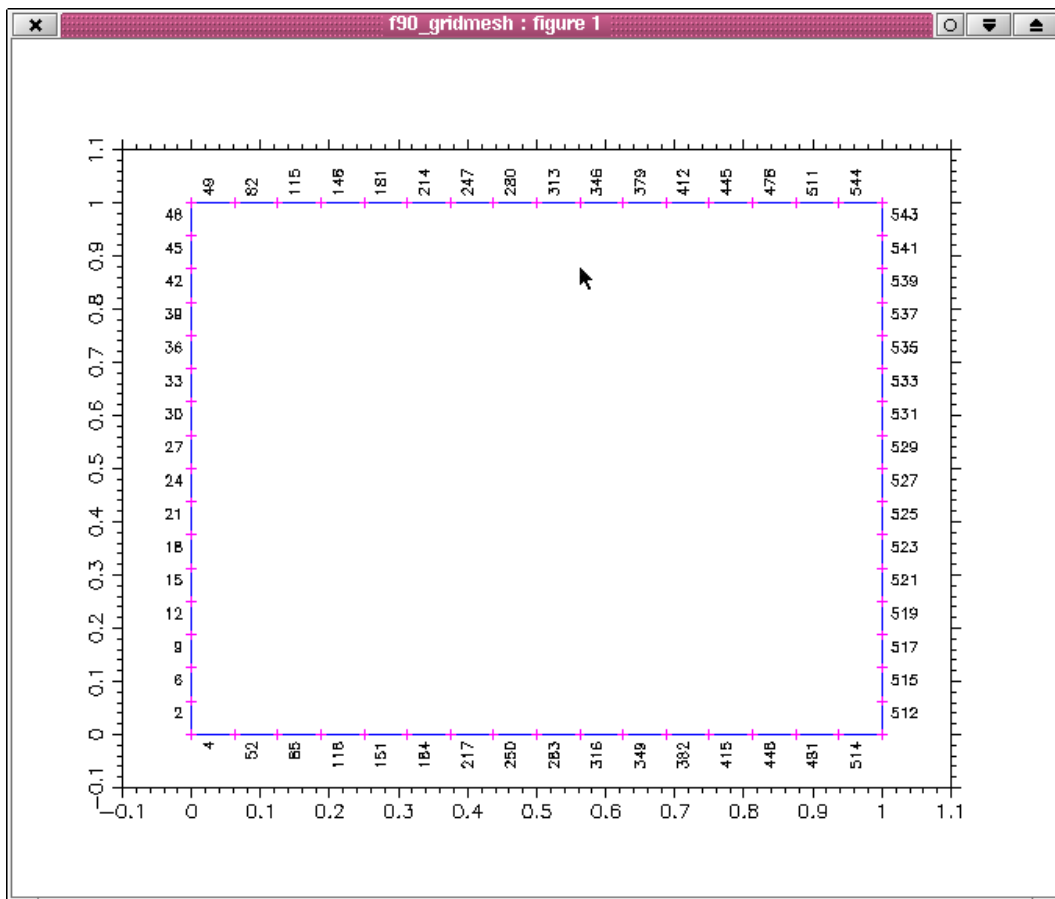


FIG. 17 – fenêtre graphique : numérotation des facettes du bord

La figure suivante montre l'activation du menu permettant de définir les conditions limites pour l'écoulement.

```

x bcal/ecanot/prgs/hydrogrid/wk/gridmesh/gridmesh_nov_2005/f90 - Shell - Konso
> your choice : ha
----- B.C. selection -----
main menu :
  rf : Repaint Figure after resizing the window
  sa : Show Axis
  ha : Hide Axis
  sn : Show sides Numbering
  hn : Hide sides Numbering
  zm : enter Zoom Mode
  fp : select 'Flow Part'
  tp : select 'Transport Part'
  es : Exit 'B.C. selection', then Save mesh
  eq : Exit 'B.C. selection', and Quit (without saving)
> your choice : fp
----- Flow part -----
main menu :
  rf : Repaint Figure after resizing the window
  sa : Show Axis
  ha : Hide Axis
  zm : enter Zoom Mode
  nc : select Neuman Condition (Flux)
  dc : select Dirichlet Condition (Piezo, Head)
  up : Up, quit 'Flow part', returning to 'B.C. selection'
> your choice : █

```

FIG. 18 – terminal après activation du menu 'Flow Part'

Par défaut, les conditions limites sont de type flux nul sur toute la frontière :

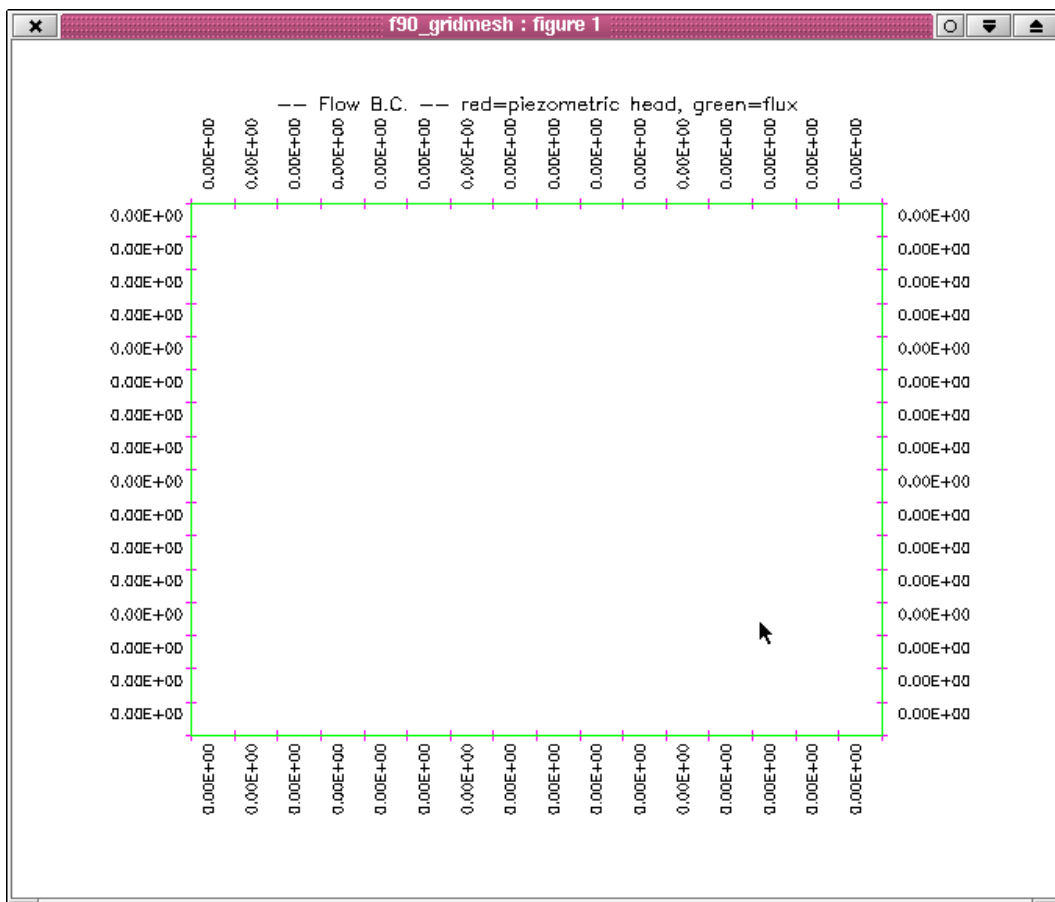


FIG. 19 – conditions limites initiales : flux nul sur la frontière

L'écriture des valeurs des conditions limites prenant une largeur non négligeable, les axes ont été précédemment cachés avec le menu 'ha'. Une fois le menu 'dc' (Dirichlet Condition) choisi, l'utilisateur délimite la zone d'application à la souris, puis donne la valeur de la pression (2.500).

```

x pcal/ecanot/prgs/hydrogrid/wk/gridmesh/gridmesh_nov_2005/f90 - Shell - Konsole
rf : Repaint Figure after resizing the window
sa : Show Axis
ha : Hide Axis
zm : enter Zoom Mode
nc : select Neuman Condition (Flux)
dc : select Dirichlet Condition (Piezo. Head)
up : Up, quit 'Flow part', returning to 'B.C. selection'

> your choice : dc
*** Dirichlet condition ***
please select a rect. area

entering graphic selection mode... (ESC to quit)
[click and drag to get a domain]

Pressure value : 2.500
----- Flow part -----
main menu :
rf : Repaint Figure after resizing the window
sa : Show Axis
ha : Hide Axis
zm : enter Zoom Mode
nc : select Neuman Condition (Flux)
dc : select Dirichlet Condition (Piezo. Head)
up : Up, quit 'Flow part', returning to 'B.C. selection'

> your choice : █

```

FIG. 20 –

Les conditions de Dirichlet apparaissent alors en rouge, avec les valeurs correspondantes.

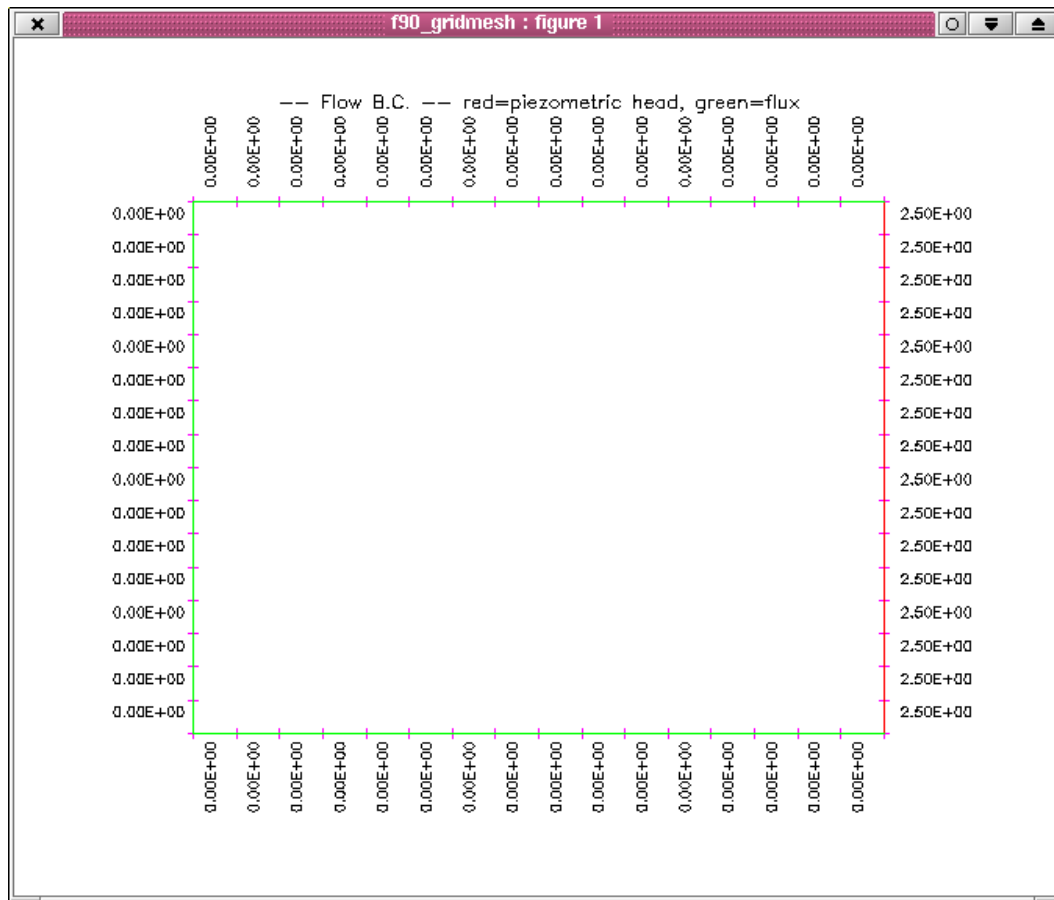
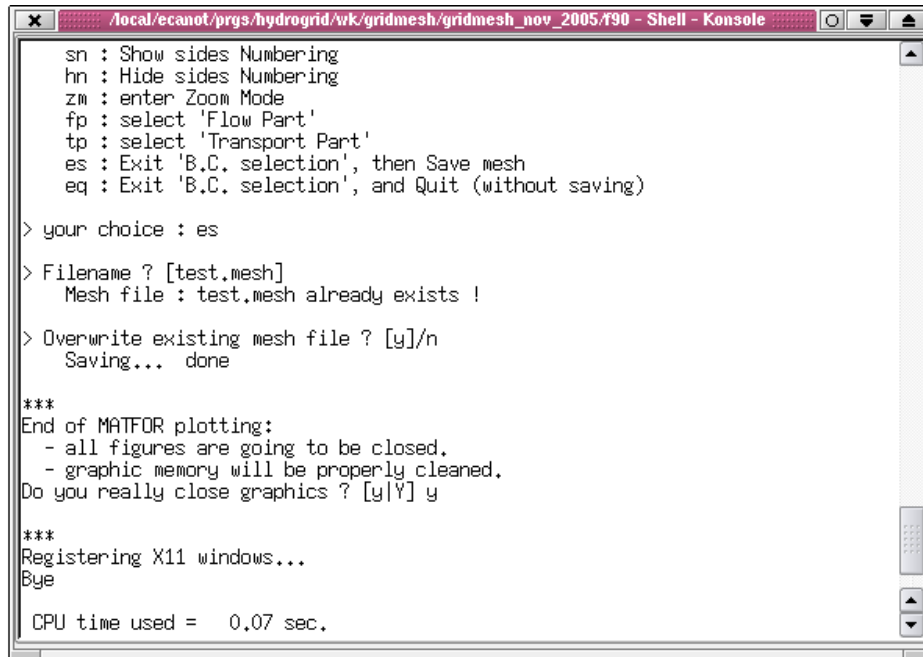


FIG. 21 – Affichage des conditions de Dirichlet pour l'écoulement

La définition des conditions limites pour la partie transport s'effectue de manière similaire.

Enfin, on enregistre par le menu 'es' (Exit and Save); on choisit alors un nom de fichier.



```

x /local/ecanot/prgs/hydrogrid/wk/gridmesh/gridmesh_nov_2005/t90 - Shell - Konsole
sn : Show sides Numbering
hn : Hide sides Numbering
zm : enter Zoom Mode
fp : select 'Flow Part'
tp : select 'Transport Part'
es : Exit 'B.C. selection', then Save mesh
eq : Exit 'B.C. selection', and Quit (without saving)

> your choice : es

> Filename ? [test.mesh]
  Mesh file : test.mesh already exists !

> Overwrite existing mesh file ? [y]/n
  Saving... done

***
End of MATFOR plotting:
- all figures are going to be closed.
- graphic memory will be properly cleaned.
Do you really close graphics ? [y|Y] y

***
Registering X11 windows...
Bye

CPU time used =  0.07 sec.
```

FIG. 22 –

3 Comparaison des deux versions

La version MATLAB du mailleur a été développée la première : on a obtenu assez rapidement une interface facile et agréable à utiliser. Cependant, dès qu'on vise la création de gros maillages, elle révèle aussitôt ses limites : des temps d'attente apparaissent entre l'activation des menus (rafraîchissement de la zone de dessin) et la lenteur des calculs internes devient gênant. En fait, pour chaque objet graphique élémentaires (dessin d'un noeud, d'une facette, de son numéro, etc.), MATLAB stocke une structure en mémoire comportant un très grand nombre de champs (multiples propriétés de l'objet graphique).

Les comparaisons qui suivent ont été effectuées sur la même machine (Pentium Mobile Centrino, 2GHz), sous Linux. Elles concernent un maillage de taille 1024x640, correspondant à un fichier ASCII d'environ 215 Mo.

	MATLAB	Fortran 90
taille	ensemble des scripts MATLAB : 270 Kb	programme seul : 41 Kb (environ 1370 lignes, sans la bibliothèque graphique)
fonctionnalités	lecture/modification/écriture ; conditions limites : constante ou linéaire	lecture/modification/écriture ; conditions limites : constante seulement
performances	10 min. pour afficher le maillage et les deux types de C.L. ; 1 min pour sauver sur disque	2 à 3 sec. pour afficher la frontière du maillage et les deux types de conditions limites ; 30 s. pour sauver sur disque
mémoire utilisée	360 Mo de RAM (dont 23 Mo pour MATLAB core)	103 Mo de RAM (dont 256 Ko pour l'exe et 3.7 Mo pour la partie graphique)