

A1-1 TP3 GMSH et partitionnement de maillage

Nicolas KIELBASIEWICZ*

23 septembre 2013

1 Introduction à GMSH

Sous Windows et Mac OS, GMSH est une application native. Sous Linux, il se lance en ligne de commande, avec quelques options. Ce qu'il faut savoir au préalable, c'est que GMSH est un outil qui peut être utilisé directement en mode graphique ou purement en ligne de commande. En effet, en mode graphique, la génération des différents objets s'accompagne de la génération d'un fichier texte d'extension `.geo` qui contient la définition de l'ensemble des objets géométriques. Par ailleurs, comme son nom l'indique, GMSH est utilisé pour générer des maillages au format `msh`.

GMSH est un logiciel possédant une interface graphique minimaliste, mais assez fonctionnelle. Elle se compose de deux frames : un menu, articulé en quatre modules, et une fenêtre principale. Les boutons du menu donnent accès à des sous-menus.

2 Tutoriel 2D : une ellipse perçant un rectangle

2.1 Définition du rectangle

2.1.1 Définition des sommets

On veut définir les quatre sommets, respectivement aux coordonnées $(0, 0, 0)$, $(2, 0, 0)$, $(2, 1, 0)$ et $(0, 1, 0)$.

Pour cela :

1. Lancer GMSH sur un fichier au nom de votre choix (par exemple *test.geo*).
2. Cliquer sur **Elementary entities**.
3. Cliquer sur **Add**.
4. Cliquer sur **New**.
5. Cliquer sur **Point**.

* nicolas.kielbasiewicz@ensta-paristech.fr

Hormis les coordonnées spatiales du point, un champ très important à remplir est celui de la longueur caractéristique. Sa valeur représente la valeur du pas de maillage en ce point.

On va choisir la valeur 0.05.

On a ensuite la possibilité de positionner le point à la souris et d'appuyer sur la touche **e** pour ajouter un point, ou alors de remplir les trois champs de coordonnées et de cliquer ensuite sur le bouton **Add**. On appuie sur **q** pour sortir du mode insertion (Figure 1). Si un point n'est pas placé où vous le voulez, vous avez toujours la possibilité d'ouvrir le fichier test.geo directement et de le modifier.

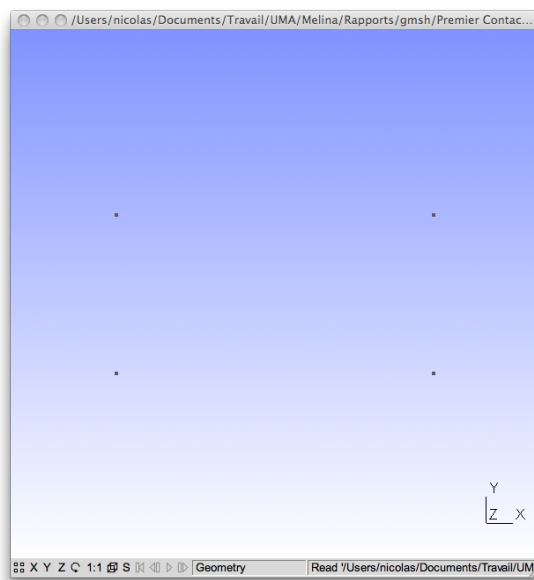


FIGURE 1 – Génération des quatre sommets du bord rectangulaire.

2.1.2 Définition des arêtes

À partir des points, on peut maintenant tracer les arêtes en reliant les sommets deux à deux :

1. Cliquer, depuis le menu **geometry**, sur **Elementary entities**.
2. Cliquer sur **Add**.
3. Cliquer sur **New**.
4. Cliquer sur **Straight Line**.
5. Cliquer sur le sommet de départ.

6. Cliquer sur le sommet d'arrivée.
7. Construire les trois autres arêtes de la même manière.
8. Cliquer sur **q** pour quitter le mode insertion (Figure 2).

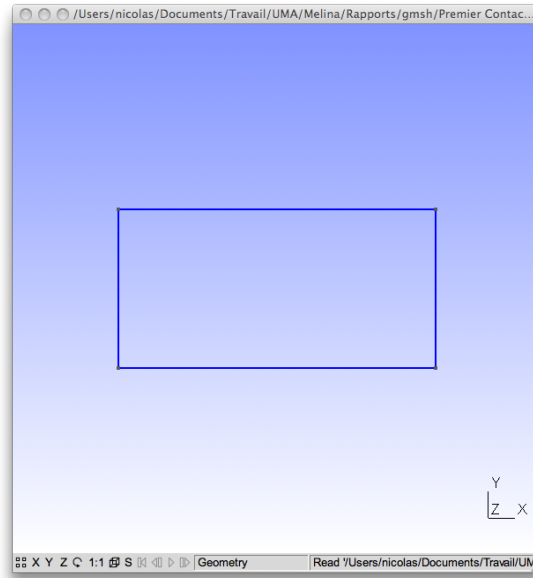


FIGURE 2 – Génération des quatre arêtes du bord rectangulaire.

2.2 Définition de l'ellipse

Pour générer une ellipse, il faut générer quatre arcs elliptiques.

2.2.1 Définition des points de construction

Pour construire les arcs elliptiques, on a besoin des points de départ et d'arrivée de chaque arc, d'un point sur le grand axe de l'ellipse, et du centre de l'ellipse. Si l'on choisit comme points de constructions les quatre « sommets », alors il y a cinq points à construire.

1. Générer les points de coordonnées $(1, 0.5, 0)$, $(1.5, 0.5, 0)$, $(1, 0.8, 0)$, $(0.5, 0.5, 0)$, $(1, 0.2, 0)$ avec pour longueur caractéristique 0.1 (Figure 3).

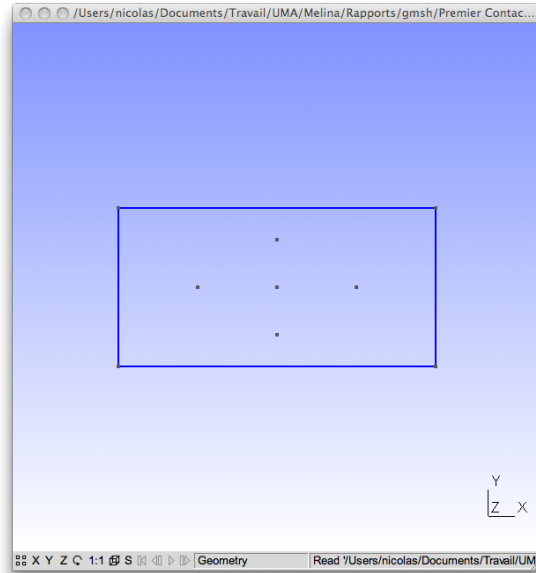


FIGURE 3 – Génération des cinq points de construction de l'ellipse.

2.2.2 Définition des arcs elliptiques

1. Cliquer, depuis le menu `geometry`, sur `Elementary entities`.
2. Cliquer sur `Add`.
3. Cliquer sur `New`.
4. Cliquer sur `Ellipse arc`.
5. Cliquer sur le point de droite.
6. Cliquer sur le centre de l'ellipse.
7. Cliquer sur le point de droite (il est sur le grand axe).
8. Cliquer sur le point du haut. Vous avez construit votre premier arc.
9. Construire les trois autres arcs de la même manière.
10. Cliquer sur `q` pour quitter le mode insertion (Figure 4).

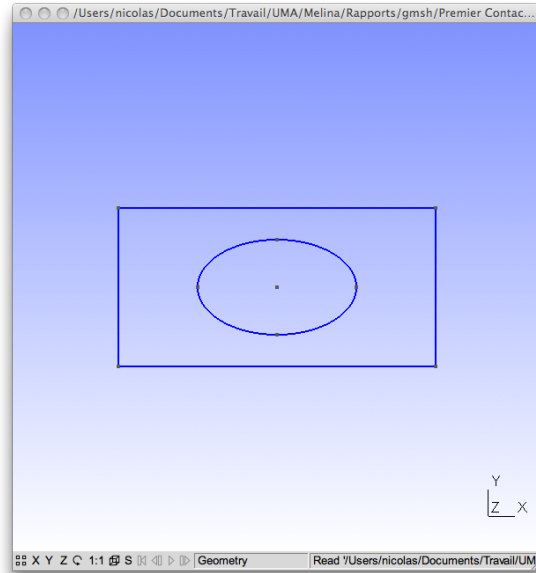


FIGURE 4 – Génération des quatre arcs elliptiques.

2.3 Définition de la surface plane

Maintenant que nous avons défini les éléments des contours, on va définir la surface du domaine.

1. Cliquer, depuis le menu **geometry**, sur **Elementary entities**.
2. Cliquer sur **Add**.
3. Cliquer sur **New**.
4. Cliquer sur **Plane surface**.
5. Cliquer sur le contour principal (le rectangle).
6. Cliquer sur le trou (l'ellipse).
7. Cliquer sur **e** pour terminer la selection. Des traits en pointillé apparaissent (Figure 5).

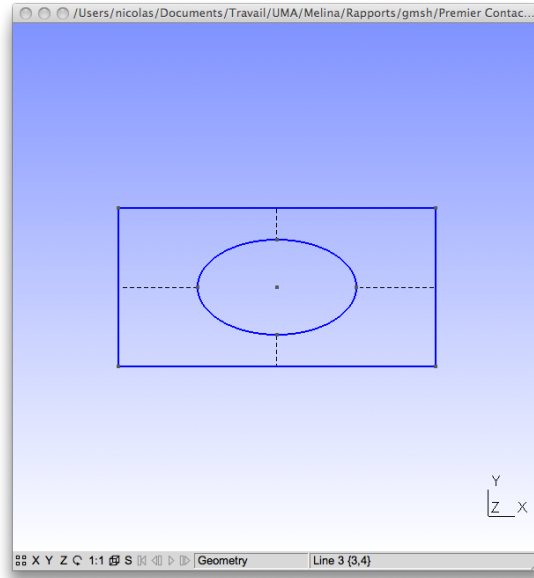


FIGURE 5 – Génération de la surface à mailler.

2.4 Définition des entités physiques

On va maintenant étiqueter les différents éléments du maillage.

1. Cliquer, depuis le menu **geometry**, sur **Physical groups**.
2. Cliquer sur **Add**.
3. Cliquer sur **Line**.
4. Cliquer sur chacune des quatre arêtes du rectangle.
5. Cliquer sur **e**.
6. Cliquer sur chacun des quatre arcs de l'ellipse.
7. Cliquer sur **e**.
8. Cliquer sur **q** pour quitter.
9. Cliquer dans le menu sur **Surface**.
10. Cliquer sur l'un des traits pointillés.
11. Cliquer sur **e**.
12. Cliquer sur **q** pour quitter.

2.5 Génération du maillage

2.5.1 Le module mesh

Nous avons maintenant généré notre domaine géométrique. On peut maintenant générer le maillage, en sélectionnant le module mesh, soit grâce à la liste de sélection dans le menu, soit avec le raccourci **m**.

1. Cliquer, dans le menu **mesh**, sur le bouton **2D**, ou appuyer sur la touche **2**.
2. Cliquer sur le bouton **Save**. Un fichier *test.msh* est créé (si le fichier de script est *test.geo*).

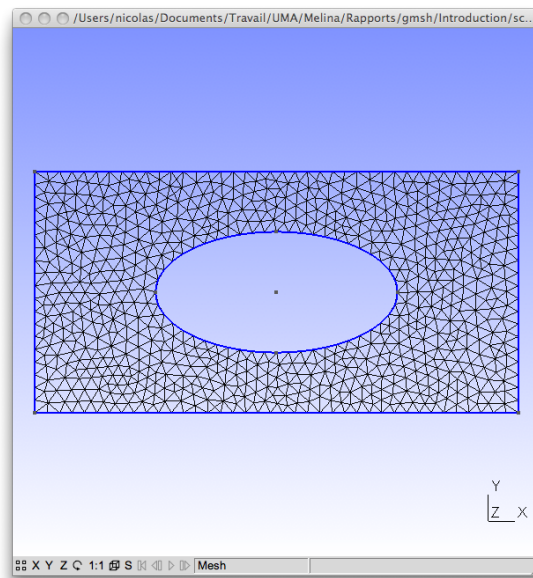


FIGURE 6 – Exemple de maillage rectangulaire avec un trou elliptique.

2.5.2 Le format msh

L'entête

```
$MeshFormat  
2.2 0 8  
$EndMeshFormat
```

L'entête, représenté par un bloc MeshFormat, spécifie la version du format msh (2.2), que le maillage est un fichier texte (0) et enfin la précision des flottants (8).

Définition des nœuds

```
$Nodes
732
1 0 0 0
2 2 0 0
3 2 1 0
4 0 1 0
5 1.5 0.5 0
6 1 0.8 0
7 0.5 0.5 0
8 1 0.2 0
9 0.05128205128192818 0 0
10 0.1025641025638564 0 0
```

Le bloc Nodes permet de spécifier le nombre de nœuds ainsi que les coordonnées de chaque nœud. Dans le maillage généré, il y a ici 732 nœuds, et le nœud 10 a pour coordonnées $(x, y, z) = (0.10256410 \dots, 0, 0)$.

Définition des éléments

```
$Elements
1464
1 1 2 12 1 1 9
2 1 2 12 1 9 10
3 1 2 12 1 10 11
4 1 2 12 1 11 12
```

Le bloc Elements permet de définir le nombre et l'ensemble des éléments du maillage (lignes, triangles, ...) à partir des références des nœuds qu'ils contiennent. Dans notre exemple, il y a donc 1464 éléments.

- La première colonne spécifie le numéro de l'élément.
- La deuxième colonne spécifie le type de l'élément (1 pour segment, 2 pour triangle, ...). Nous avons donc dans cet extrait du fichier uniquement des segments.
- La troisième colonne spécifie le nombre d'étiquettes associé à cet élément (ici, 2), correspondant aux colonnes suivantes. La première étiquette vaut ici 12, ce qui signifie que les segments présentés sont présents dans l'objet géométrique numéro 12. La seconde étiquette vaut ici 1, ce qui signifie que les segments sont sur le domaine physique numéroté 1, c'est-à-dire le rectangle.
- Les colonnes suivantes spécifient la liste des nœuds que l'élément contient. L'élément 1 est le segment reliant les nœuds 1 et 9, ...

Qu'en est-il des triangles ?

165	2	2	14	11	268	200	195
166	2	2	14	11	270	199	196
167	2	2	14	11	194	198	271
168	2	2	14	11	281	104	105
169	2	2	14	11	191	281	343
170	2	2	14	11	187	180	345

On retrouve la même structure. L'élément 165 est un triangle (2) ayant deux étiquettes : l'élément physique qui le contient (14) et l'élément géométrique qui le contient (11), à savoir la surface. Logique!!! Ce triangle a pour sommets les nœuds 268, 200 et 195.

3 Exercice 3D : la sphère

Le principe de base de GMSH est d'assembler les éléments 2D à partir des contours 1D, et par là même de définir les éléments 3D à partir de leurs contours 2D. Par ailleurs, pour définir des surfaces courbes, GMSH définira la surface minimale qui épouse le contour souhaité. Imaginez que vous coupez une sphère par un plan qui ne contient pas le centre, et que le cercle qui est l'intersection des deux est celui que vous dessinez. Alors, le morceau de sphère que GMSH choisira sera toujours le plus petit parmi les deux portés par le cercle.

1. À votre avis, quels éléments géométriques (nombre, nature et localisation) faut-il pour définir une sphère ?
2. Construire une sphère avec une démarche similaire au tutoriel (pas d'extrusion). On utilisera toutefois les surfaces réglées et non plus les surfaces planes pour définir les quarts de sphères. On prendra une fois encore un pas de 0.1.

4 Problème : choisir le bon partitionneur

Il existe un grand nombre de partitionneurs, et deux sont implémentés dans GMSH : Métis et Chaco. Chacun dispose de plusieurs jeux de paramètres concernant l'algorithme de partitionnement (Recursive ou K-Way pour Metis, MultiLevel-KL, Spectral, Linear, Random ou Scattered pour Chaco), mais aussi d'autres options, comme le type de correspondance d'arêtes et l'algorithme de raffinement pour Métis, et l'architecture de la topologie réseau, le type de divisions, le solveur modal ou l'algorithme local pour Chaco.

Dans GMSH, ces paramètres sont accessibles dans le module **mesh** en cliquant sur le bouton **partition**, et ensuite éventuellement sur le bouton **Advanced**.

Les informations concernant le partitionnement sont présentes dans le format msh dans la définition de chaque élément :

188	2	4	14	11	1	3	200	204	300
189	2	4	14	11	1	3	308	300	204
190	2	4	14	11	1	4	301	78	79
191	2	4	14	11	1	4	309	301	79
192	2	4	14	11	1	4	301	202	198
193	2	4	14	11	1	4	202	301	309

Dans l'extrait de fichier .msh ci-dessus, l'élément 188 est un triangle (2) ayant quatre étiquettes : l'élément physique qui le contient (14), l'élément géométrique qui le contient (11), le nombre de partitions le contenant (1) et la liste des partitions qui le contient (3).

L'objet de cette partie du TP consiste à étudier le partitionnement des deux maillages précédents en 64 sous-maillages, en jouant sur les différents paramètres. On pourra afficher la fenêtre de log de GMSH en cliquant sur "message console" dans le menu Tools ou en cliquant sur CTRL+L. On pourra aussi estimer le nombre d'arêtes coupées en exécutant la fonction `aretecoupees` sous MATLAB.

1. En chargeant le maillage rectangulaire avec un trou elliptique (pas 0.1), demander de calculer une partition de 64 sous-maillages avec Métis et K-way.
2. Même question avec Chaco, algorithme global Spectral, architecture 2D-mesh, bisection, solveur Lanczos et pas d'algorithme local. Comparez la qualité du partitionnement avec la question précédente, notez en particulier le nombre total d'arêtes coupées (edge cuts).
3. Même question en choisissant Kernighan-Lin comme algorithme local.
4. Même question en choisissant le solveur multilevel RQI/SYMMMLQ sans algorithme local.
5. Même question en choisissant Kernighan-Lin comme algorithme local.
6. Même question en choisissant successivement quadrissection puis octasection.
7. Reprendre les questions 1 à 7 avec un pas de maillage de 0.005. Qu'observez-vous ?
8. Reprendre les questions 1 à 7 avec le maillage 3D de la sphère et un pas de 0.1. Qu'observez-vous ?
9. Reprendre les questions 1 à 7 avec le maillage 3D de la sphère et un pas de 0.03. Qu'observez-vous ?

Vous pouvez consulter le site <http://www.ensta-paristech.fr/~kielbasi/chacosphere.html> pour voir le cas de la sphère.