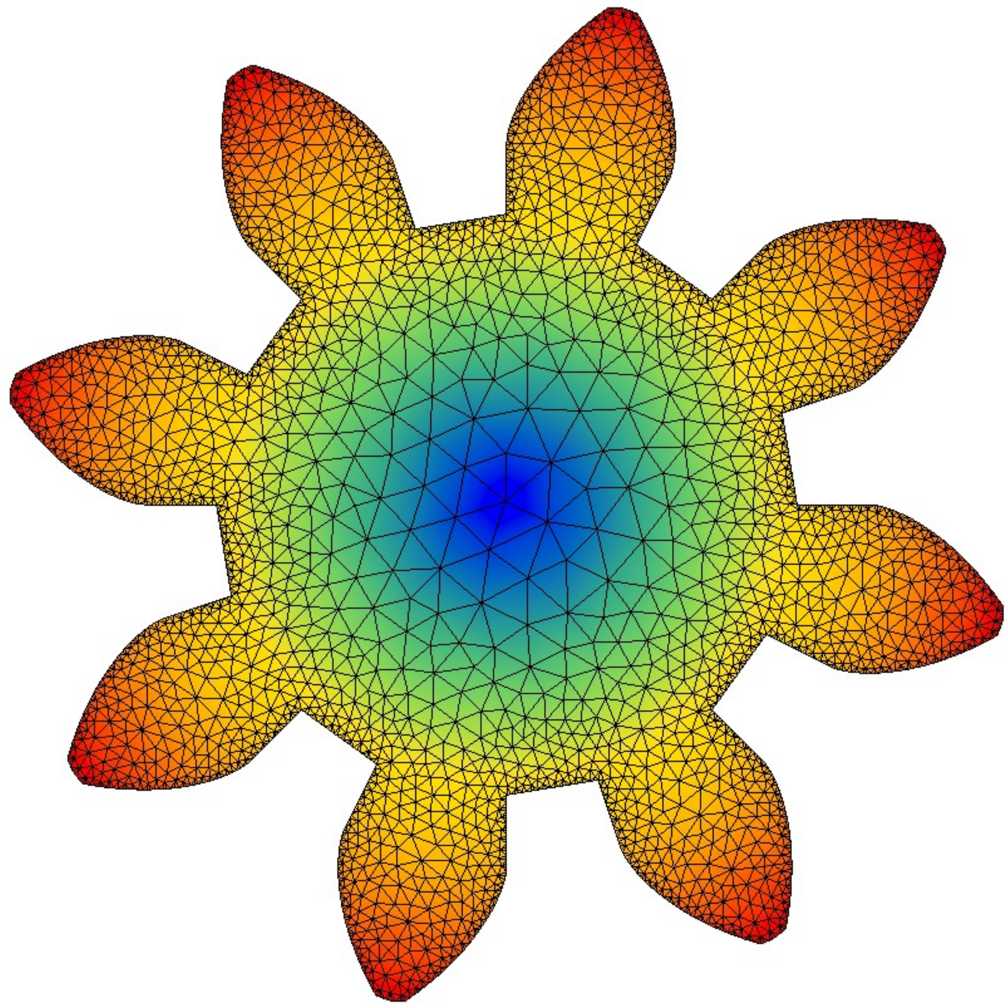
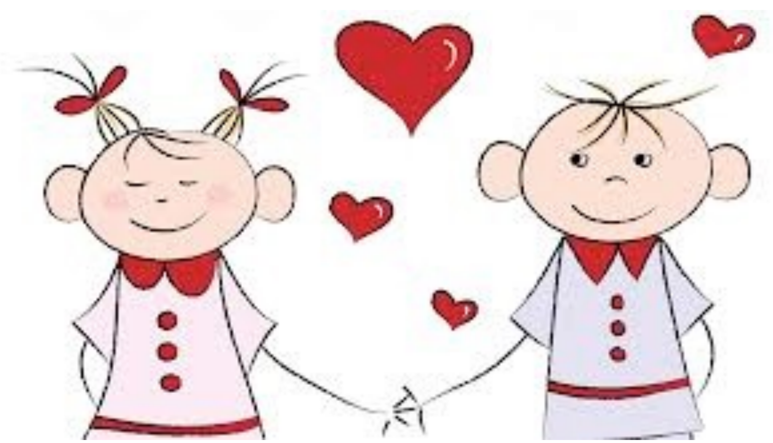


Ne pas oublier de trouver votre Valentin(e) !



161 :	Lassoie, Romain	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(groupe : 103)
162 :	Leblanc, Christophe	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 95)
163 :	Leboutte, Pierre	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(groupe : 7)
164 :	Lebras, Floriane	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 8)
165 :	Lebrun, Léa	FSA 1 BA	(Mardi-BA03)	(groupe : 145)
166 :	Lecomte, Antonin	FSA 1 BA	(pas de séance :-)	(pas de groupe :-)
167 :	Lederer, Louis	FSA 1 BA	(Mardi-BA03)	(groupe : 80)
168 :	Leemans, Jade	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 14)
169 :	Lefebvre, Camille	FSA 1 BA	(Mardi-BA03)	(groupe : 93)
170 :	Legrand, Mattéo	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 138)
171 :	Lemaigre, Alexandre	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 29)
172 :	Lemy Storme, Noam	FSA 1 BA	(Mardi-BA03)	(groupe : 79)
173 :	Lentz, Bernard	FSA 1 BA	(Jeudi-BA91)	(groupe : 108)
174 :	Lequeu, Sophie	MAP 2 MS/G	(pas de séance :-)	(pas de groupe :-)
175 :	Lesire, Célestin	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 131)
176 :	Levaque, Jonathan	FSA 1 BA	(Mardi-BA03)	(groupe : 37)
177 :	Liesse, Simon	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(groupe : 86)
178 :	Lizée, Simon	FSA 1 BA	(Jeudi-BA91)	(groupe : 43)
179 :	Luyckx, Nicolas	FSA 1 BA	(Mardi-BA03)	(groupe : 119)
180 :	Maissin, Matteo	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 101)
181 :	Makhlouf, Rebecca	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(groupe : 59)
182 :	Malevé, Hugo	FSA 1 BA	(Jeudi-BA91)	(groupe : 51)
183 :	Marotta, Romain	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(groupe : 39)
184 :	Marsily, Victor	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(groupe : 87)
185 :	Martin, Antoine	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 16)
186 :	Mary, Théo	FSA 1 BA	(Jeudi-BA91)	(groupe : 33)
187 :	Massart, Edouard	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 63)
188 :	Mathy, Sacha	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 95)
189 :	Mauro, Matteo	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 92)
190 :	Maus de Rolley, Sosthène	FSA 1 BA	(Mardi-BA03)	(groupe : 67)
191 :	Mbengue, Khaly	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 92)
192 :	Meli Ngueunkeung, François	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 136)
193 :	Mesaros, Alex	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(groupe : 83)
194 :	Mesbahi, Adam	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(pas de groupe :-)
195 :	Mestach, Cyprien	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(pas de groupe :-)
196 :	Michaux, Bastien	FSA 1 BA	(Mardi-BA03)	(groupe : 81)
197 :	Michiels, Edouard	FSA 1 BA	(Mardi-BA91)	(groupe : 113)
198 :	Monfils, Julien	FSA 1 BA	(Jeudi-BA91)	(groupe : 1)
199 :	Moons, Perrine	FSA 1 BA	(Mercredi-BA92)	(groupe : 76)

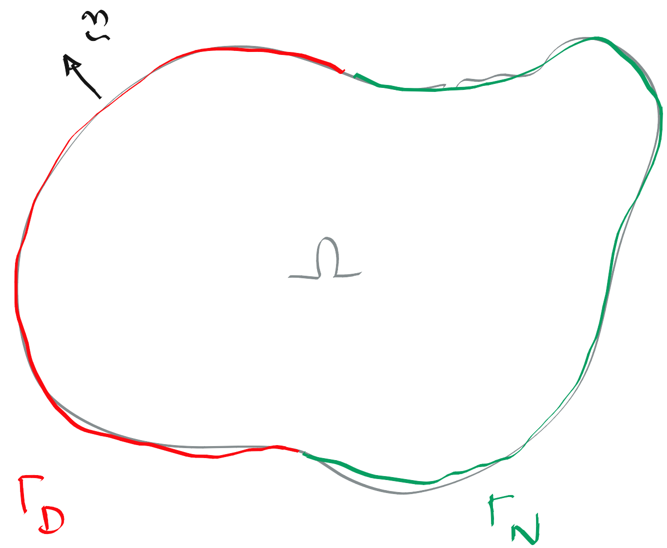
Plus sérieusement,
A partir de ce soir, il sera possible de rester célibataire !
Mais, ce n'est pas la meilleure idée !

Typical elliptic boundary value problem

$$\nabla \cdot \nabla u + f = 0 \quad \text{sur } \Omega$$

$$n \cdot \nabla u = g \quad \text{sur } \Gamma_N$$

$$u = t \quad \text{sur } \Gamma_D$$



Conditions essentielles
Conditions de Dirichlet

$$\partial\Omega = \Gamma_D \cup \Gamma_N$$

Conditions naturelles
Conditions de Neumann

En général, la fonction n'est pas connue…
Mais, c'est la solution d'une équation aux dérivées partielles !

Commençons par une équation de Poisson

Some nice spaces and notations…

$$\mathcal{U} = \left\{ v \ldots\ldots \text{ tels que } v = t \text{ sur } \Gamma_D \right\}$$

$$\hat{\mathcal{U}} = \left\{ \hat{v} \ldots\ldots \text{ tels que } v = 0 \text{ sur } \Gamma_D \right\}$$

ESPACE DES CANDIDATS SOLUTION

ESPACE DES FONCTIONS TEST

$$< f \, g > = \int_\Omega f g \, d\Omega$$

$$\ll f \, g \gg = \int_{\partial\Omega} f g \, ds$$

$$\ll f \, g \gg_N = \int_{\Gamma_N} f g \, ds$$

Ne faisons pas comme les mathématiciens…
On ne va pas être rigoureux maintenant !
On fera cela plus tard…

D'ailleurs, est-ce que cela est utile ?
Et pourtant, oui !

… to do calculus !

Three tips !

TIP 1: $(fg)' = f g' + f g'$

$$\underbrace{\langle \underbrace{\hat{v}}_{\in \hat{\mathcal{U}}} \, \nabla \cdot \nabla \underbrace{v}_{\in \mathcal{U}} \rangle}_{} = \langle \nabla \cdot (\hat{v} \, \nabla v) \rangle - \langle (\nabla \hat{v}) \cdot (\nabla v) \rangle$$

TIP 2: $\langle \nabla \cdot a \rangle = \langle\langle n \cdot a \rangle\rangle$

$$\langle\langle (n \cdot \nabla v) \, \hat{v} \rangle\rangle$$

TIP 3: $\hat{v} = 0$ SUR Γ_D

$$\langle\langle \underbrace{(n \cdot \nabla v)}_{g} \, \hat{v} \rangle\rangle_{\Gamma}$$

And it is all !

Strong formulation

$?\, u$ tel que

$$\underline{\nabla} \cdot \underline{\nabla} u + f = 0 \quad \text{sur } \Omega$$
$$\underline{n} \cdot \underline{\nabla} u = g \quad \text{sur } \Gamma_N$$
$$u = t \quad \text{sur } \Gamma_D$$

FORMULATION FORTE

FORMULATION FAIBLE

$?\, u \in \mathcal{U}$

$$\underbrace{\langle \underline{\nabla} \hat{v} \cdot \underline{\nabla} u \rangle}_{a(\hat{v},u)} = \underbrace{\langle\!\langle g \hat{v} \rangle\!\rangle_N + \langle f \hat{v} \rangle}_{b(\hat{v})} \quad \forall \hat{v} \in \hat{\mathcal{U}}$$

$\Updownarrow$

$$?\, u \in \mathcal{U} \quad J(u) = \min_{v \in \mathcal{U}} \underbrace{\left(\frac{1}{2} a(v,v) - b(v) \right)}_{J(v)}$$

PROBLEME DE MINIMUM

Weak formulation

La formulation faible c'est un problème de minimum !

FORMULATION FAIBLE

$$? u \in \mathcal{U}$$

$$\underbrace{\langle \underset{\sim}{\nabla} \hat{v} \cdot \underset{\sim}{\nabla} u \rangle}_{a(\hat{v},u)} = \underbrace{\langle\langle g \, \hat{v} \rangle\rangle_N + \langle f \, \hat{v} \rangle}_{b(\hat{v})} \quad \forall \hat{v} \in \hat{\mathcal{U}}$$

$$\Updownarrow$$

$$? u \in \mathcal{U} \qquad J(u) = \min_{v \in \mathcal{U}} \Big(\underbrace{\tfrac{1}{2}\, a(v,v) - b(v)}_{J(v)} \Big)$$

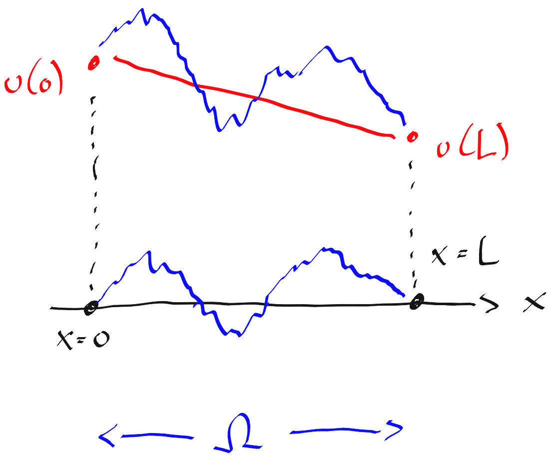
PROBLEME DE MINIMUM

Variational Calculus

$$\underset{\in \mathbb{R}}{\alpha} = J(\underset{\in U}{v})$$

$$\underbrace{\overset{\in U}{u} + \underset{\in \mathbb{R}}{\varepsilon}\, \overbrace{\underset{\in \hat{U}}{\hat{u}}}^{\delta u \text{ VARIATION}}}$$

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = 0$$
$$u(0) = u_0$$
$$u(L) = u_L$$



$$\underbrace{\left.\frac{dJ(u+\varepsilon\hat{u})}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=0} = 0 \qquad \forall \hat{u} \in \hat{U}}_{\delta J = 0}$$

$$J(u) = \frac{1}{2}\langle \nabla u , \nabla u \rangle - \langle f u \rangle - \langle\langle \underbrace{\cancel{g u}}_{=0\ \text{SPOG}} \rangle\rangle_N$$

$$\boxed{\left.\frac{dJ(u+\varepsilon\hat{u})}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=0} = 0 \qquad \forall \hat{u} \in \hat{\mathcal{U}}}$$

$$J(u+\varepsilon\hat{u}) = \frac{1}{2}\langle \nabla u , \nabla u \rangle + \varepsilon \langle \nabla u \cdot \nabla \hat{u} \rangle + \frac{1}{2}\varepsilon^2 \langle \nabla \hat{u} \cdot \nabla \hat{u} \rangle - \langle f u \rangle - \varepsilon \langle f \hat{u} \rangle$$

$$\left.\frac{dJ(u+\varepsilon\hat{u})}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=0} = \langle \nabla u , \nabla \hat{u} \rangle - \langle f \hat{u} \rangle \qquad \forall \hat{u} \in \hat{\mathcal{U}}$$

$$\boxed{\underbrace{\left.\frac{dJ(u+\varepsilon\hat{u})}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=0}}_{=} = \langle \nabla u , \nabla \hat{u} \rangle - \langle f, u \rangle \qquad \forall \hat{u} \in \hat{\mathcal{U}}}$$

$\Rightarrow$

$$J(u+\hat v) = \underbrace{\tfrac{1}{2}\langle \nabla u \; \nabla u \rangle - \langle f u \rangle}_{J(u)} + \underbrace{\langle \nabla u \; \nabla \hat v \rangle - f(\hat v)}_{=0} + \underbrace{\tfrac{1}{2}\langle \nabla \hat v \; \nabla \hat v \rangle}_{\geq 0}$$

$$\geq J(u)$$

$$\langle \nabla u \, \nabla \hat v \rangle = \langle f \hat v \rangle \quad \forall \hat v \in \hat{\mathcal{U}}$$

The Finite Element is a variational method

$u \simeq u^h \in U^h \subset U$

$= \sum^{n} U_i \, \tau_i$

VALEURS NODALES INCONNUES

FONCTIONS DE FORME DEFINIES A PRIORI $\in U$

$$J(u^h) = \min_{v \in U^h} \underbrace{\tfrac{1}{2} a(v,v) - b(v)}_{J(v)}$$

$$J(u) \leq J(u^h)$$

$$J(u^h) = \underbrace{\tfrac{1}{2} \langle (\nabla \textstyle\sum U_i \tau_i) . (\nabla \sum U_j \tau_j) \rangle}_{\frac{1}{2} \sum_i \sum_j U_i U_j \underbrace{\langle \nabla \tau_i . \nabla \tau_j \rangle}_{A_{ij}}} + \langle f (\textstyle\sum U_i \tau_i) \rangle$$

$$+ \sum U_i \underbrace{\langle f \tau_i \rangle}_{B_i}$$

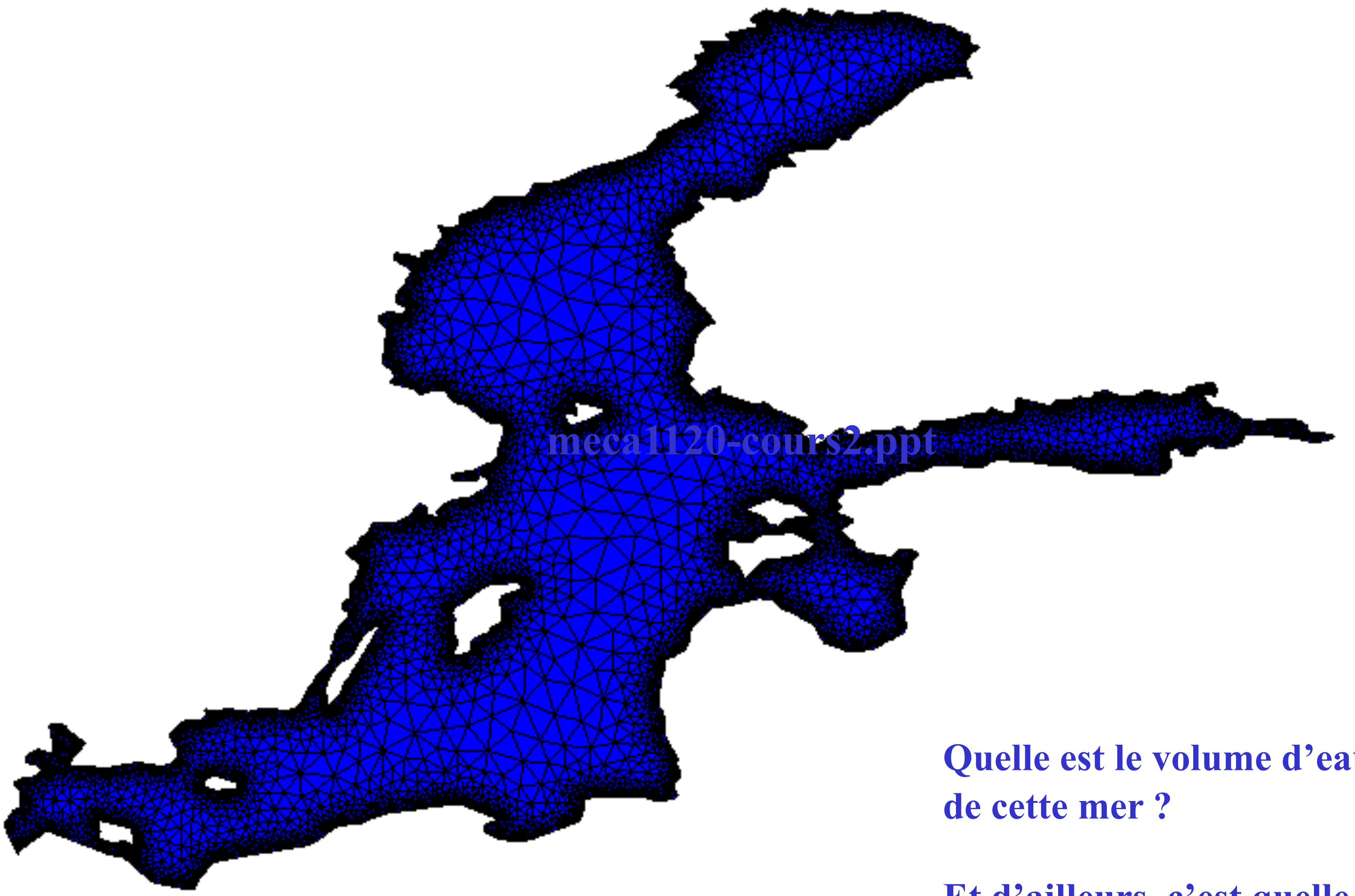
The discrete system is just a linear system !

$$J(u^h) = \frac{1}{2}\underbrace{\left\langle \left(\nabla \sum U_i \tau_i\right) \cdot \left(\nabla \sum U_j \tau_j\right)\right\rangle}_{\frac{1}{2}\sum_i \sum_j U_i U_j \underbrace{\langle \nabla \tau_i \cdot \nabla \tau_j \rangle}_{A_{ij}}} + \left\langle f \left(\sum U_i \tau_i\right)\right\rangle$$

$$+ \sum U_i \underbrace{\langle f \tau_i \rangle}_{B_i}$$

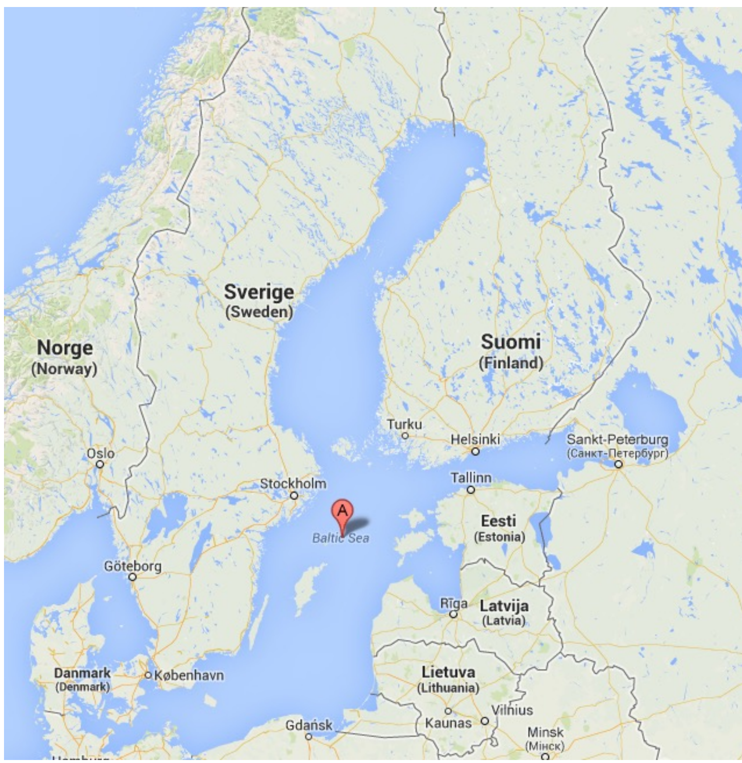
$$\frac{\partial J}{\partial U_i} = 0$$

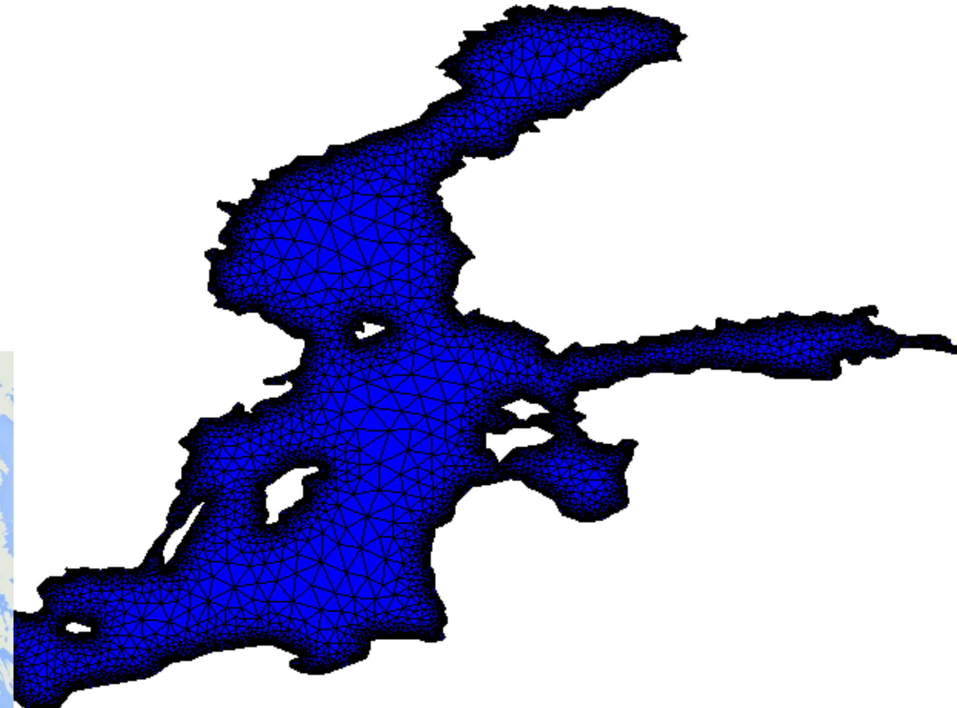
$$\boxed{\sum_j A_{ij} U_j = B_i}$$



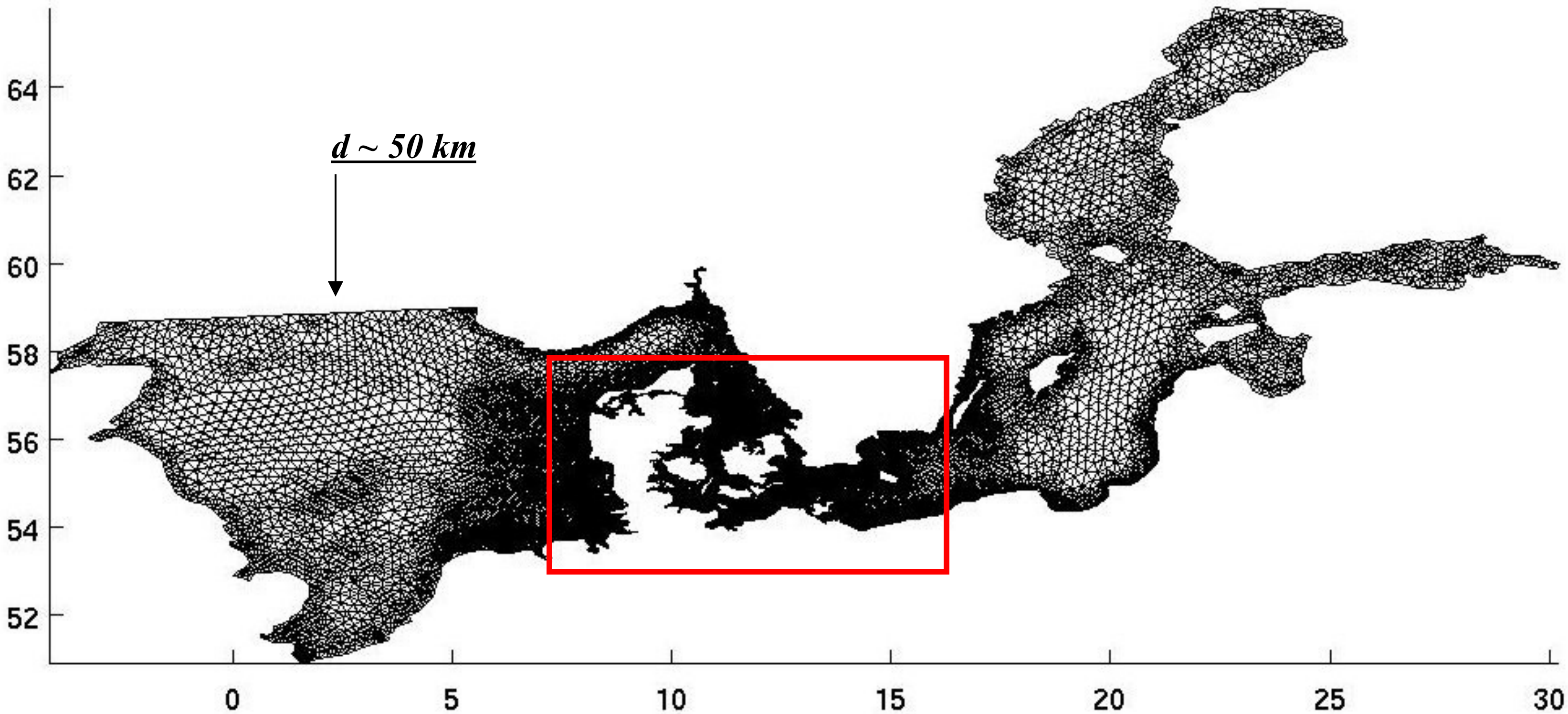
Quelle est le volume d'eau
de cette mer ?

Et d'ailleurs, c'est quelle mer ?


Sverige
(Sweden)
Norge
(Norway)
Suomi
(Finland)
Turku
Helsinki
Sankt-Peterburg
(Санкт-Петербург)
Oslo
Stockholm
Tallinn
A
Baltic Sea
Eesti
(Estonia)
Göteborg
Rīga
Latvija
(Latvia)
Danmark
(Denmark)
København
Lietuva
(Lithuania)
Vilnius
Kaunas
Gdańsk
Minsk
(Минск)

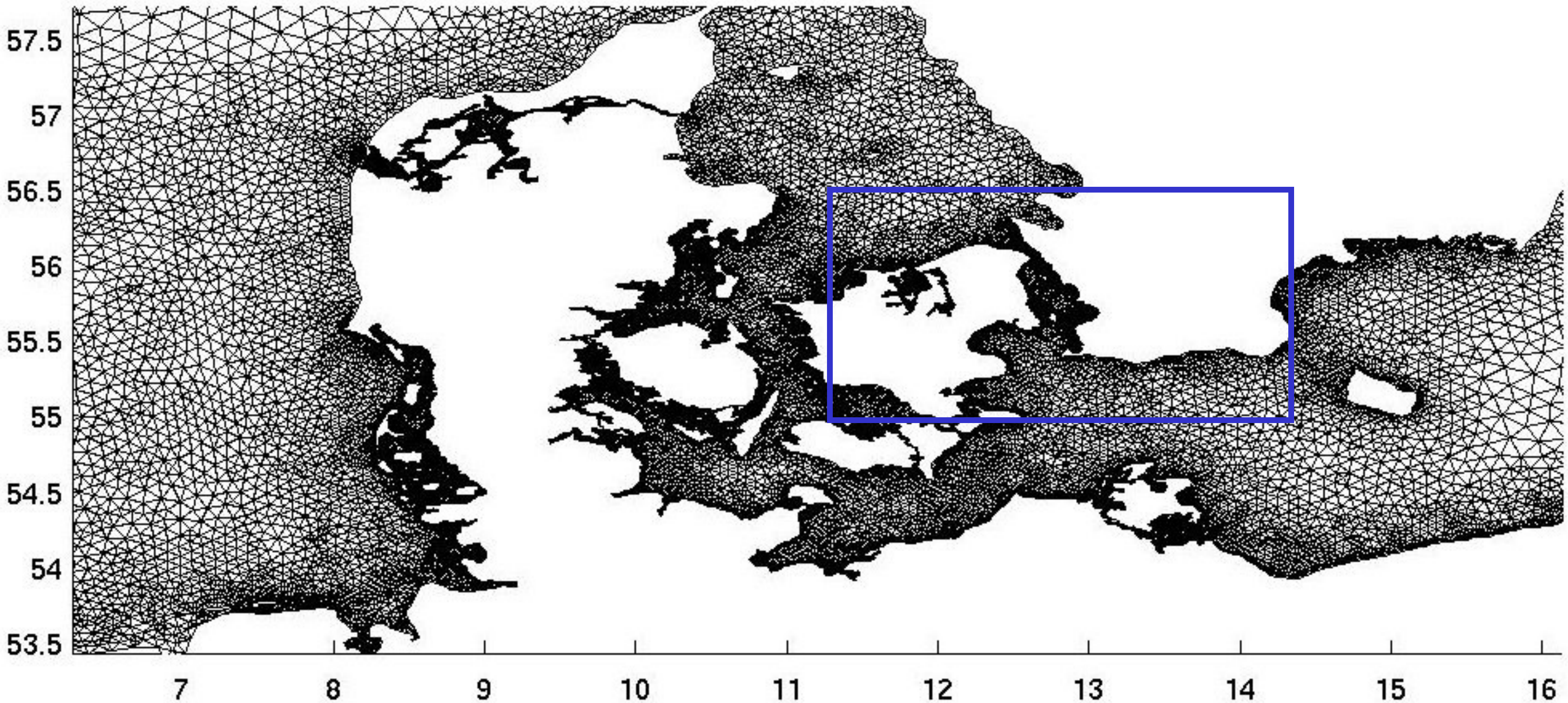


Pourquoi des maillages non structurés ?



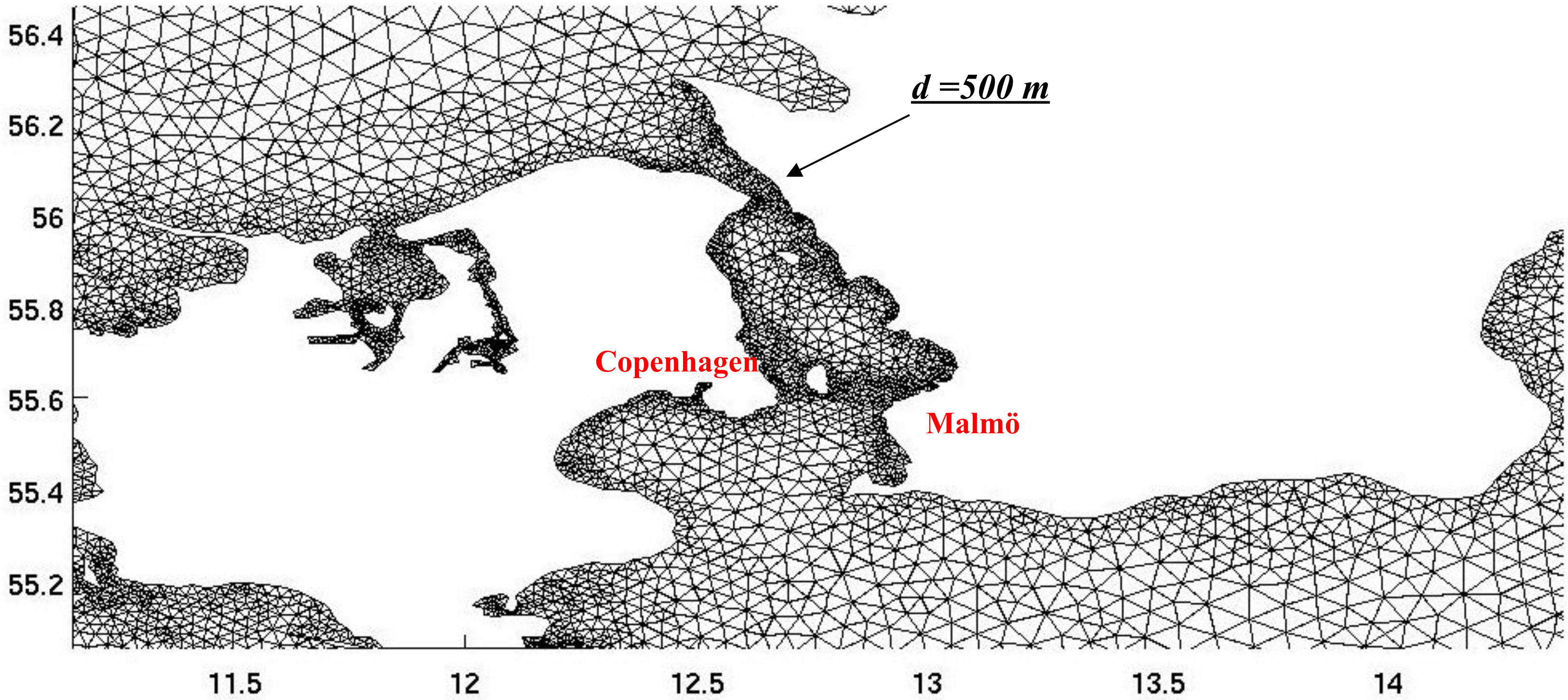
Courtesy of Dr. N. Kliem

Pourquoi des maillages non structurés ?



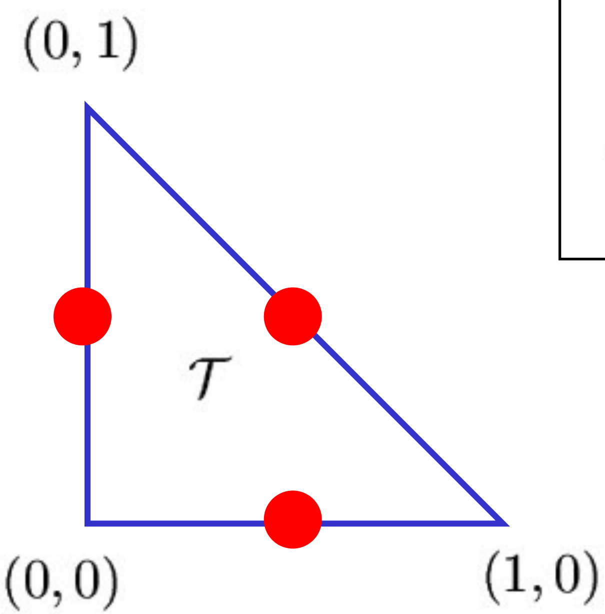
Courtesy of Dr. N. Kliem

Pourquoi des maillages non structurés ?



Courtesy of Dr. N. Kliem

Intégration sur un triangle : Règle de Hammer à 3 points

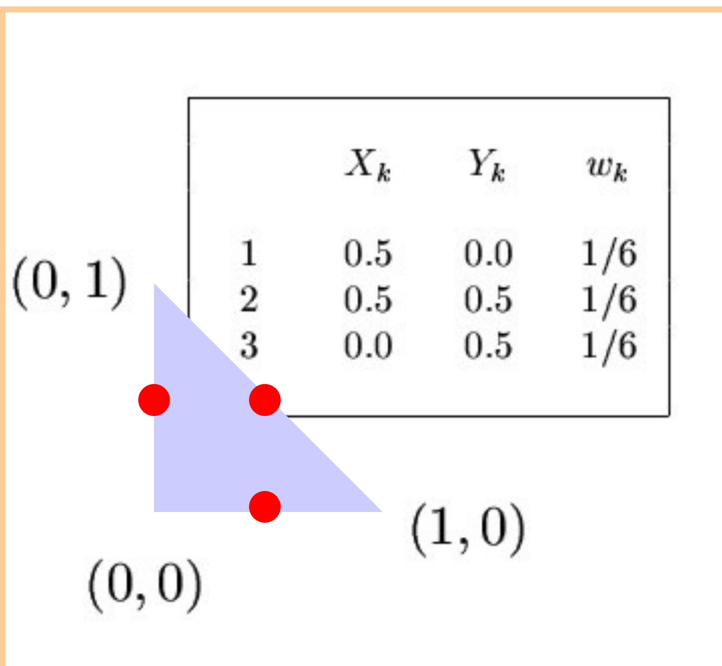


$$\underbrace{\int_{\mathcal{T}} f(x,y)\ dx\ dy}_{I} \approx \underbrace{\sum_{k=1}^{3} w_k f(X_k, Y_k)}_{I^h}$$

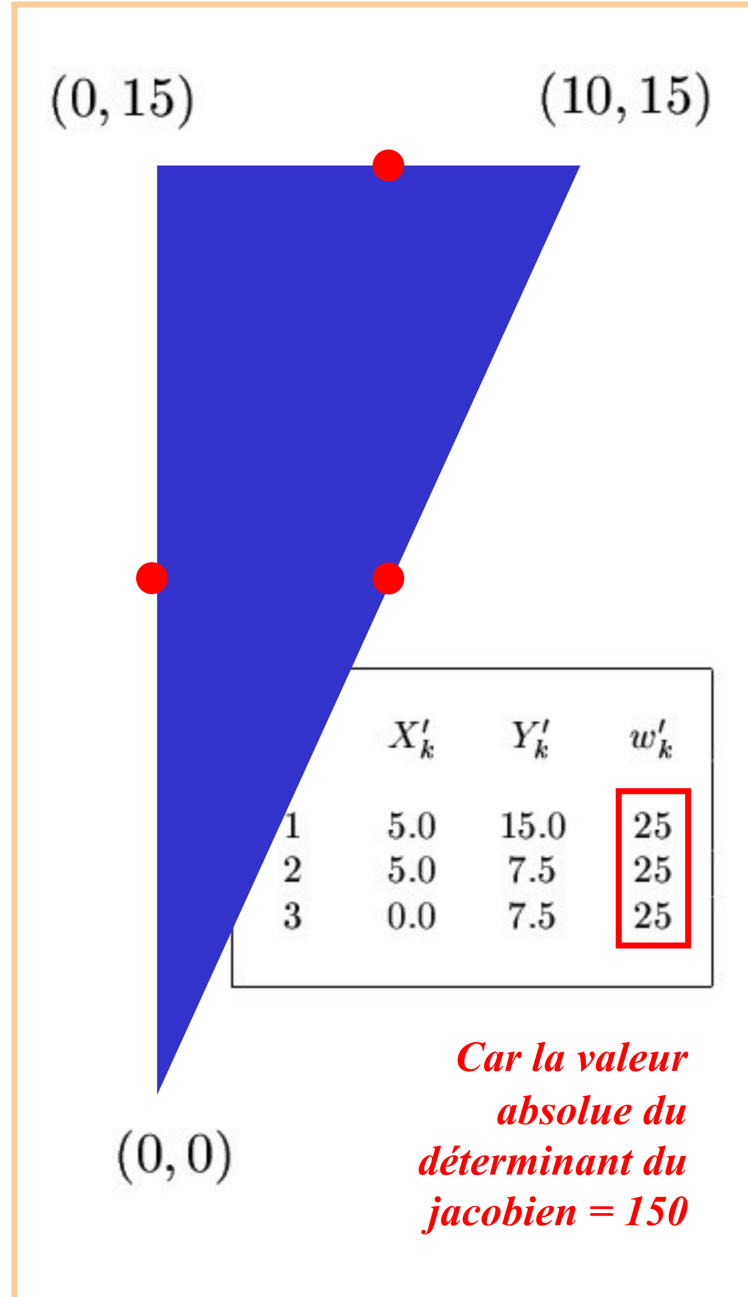
	X_k	Y_k	w_k
1	0.5	0.0	1/6
2	0.5	0.5	1/6
3	0.0	0.5	1/6

Et un autre triangle ?

$$
\begin{aligned}
x' &= 10x \\
y' &= 15 - 15y
\end{aligned}
$$



	X_k	Y_k	w_k
1	0.5	0.0	1/6
2	0.5	0.5	1/6
3	0.0	0.5	1/6

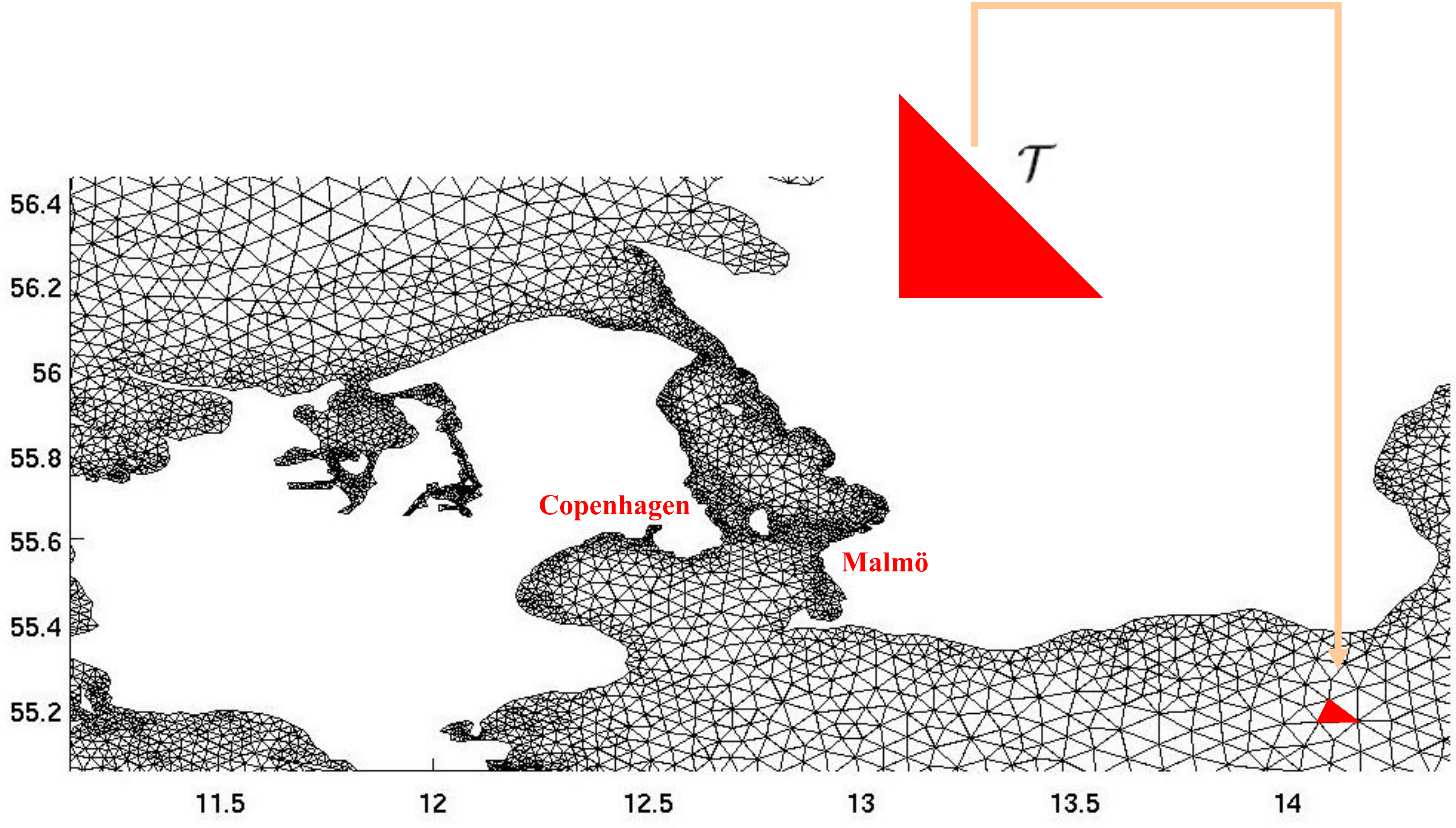


	X'_k	Y'_k	w'_k
1	5.0	15.0	$\boxed{25}$
2	5.0	7.5	$\boxed{25}$
3	0.0	7.5	$\boxed{25}$

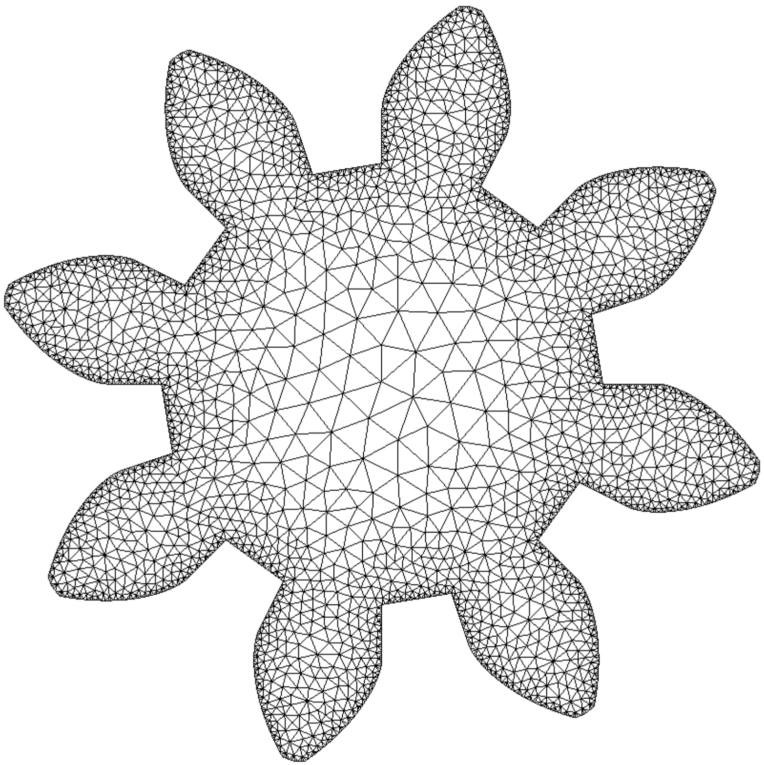
Car la valeur absolue du déterminant du jacobien = 150

Application to Finite Elements

Each triangle can be transformed in the parent element through a linear trasnformation.



Définir un maillage



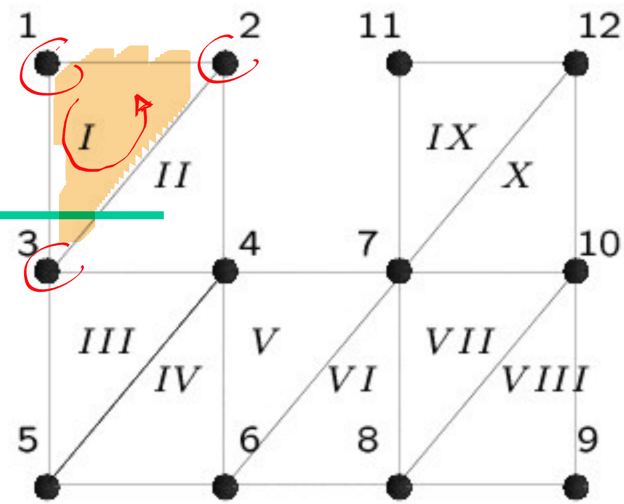
Coordonnées de noeuds
Tableau d'appartenance des triangles
Nombre de noeuds : nNode
Nombre de triangles : nElem

```
typedef struct
{
    int *elem;
    double *X;
    double *Y;
    int nElem;
    int nNode;
} femMesh;
```

$$\overline{\Omega} = \bigcup_{e=1}^{N_1} \{\overline{\Omega}_e\}, \quad \Omega_e \cap \Omega_f = \emptyset, \quad \text{si } e \neq f.$$

http://www.geuz.org/gmsh/

Et concrètement c'est quoi un maillage ?

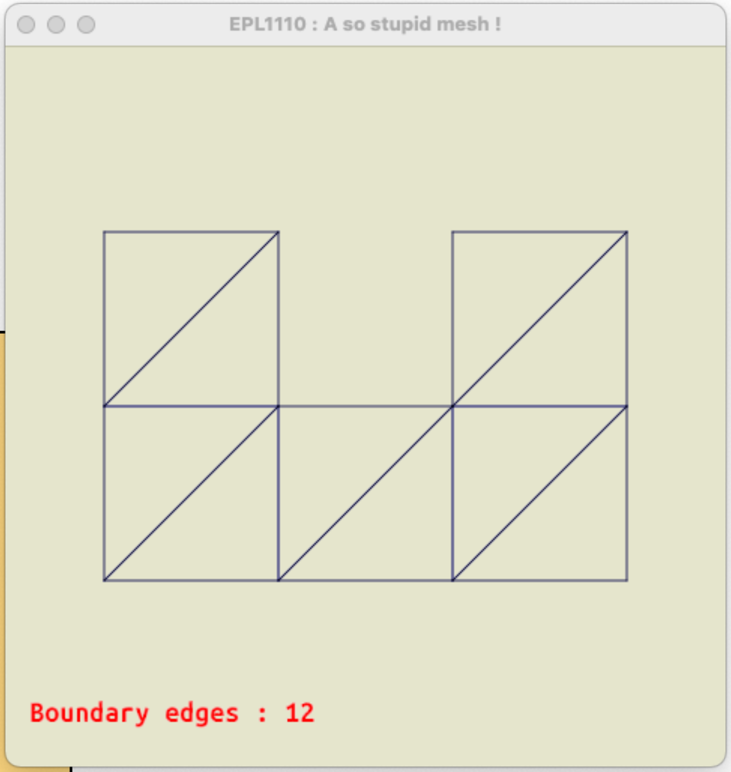


Triangle	Sommets		
1	1	3	2
2	3	4	2
3	5	4	3
4	5	6	4
5	6	7	4
6	6	8	7
7	8	10	7
8	8	9	10
9	7	12	11
10	10	12	7

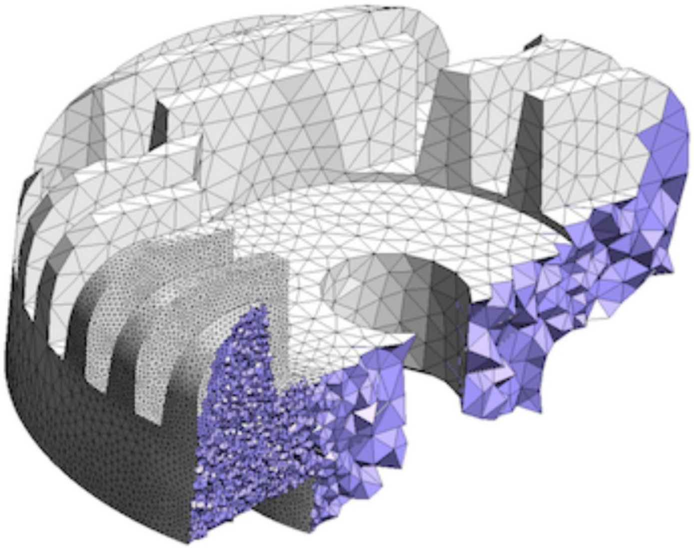
Sommet	X_i	Y_i
1	0.0	2.0
2	1.0	2.0
3	0.0	1.0
4	1.0	1.0
5	0.0	0.0
6	1.0	0.0
7	2.0	1.0
8	2.0	0.0
9	3.0	0.0
10	3.0	1.0
11	2.0	2.0
12	3.0	2.0

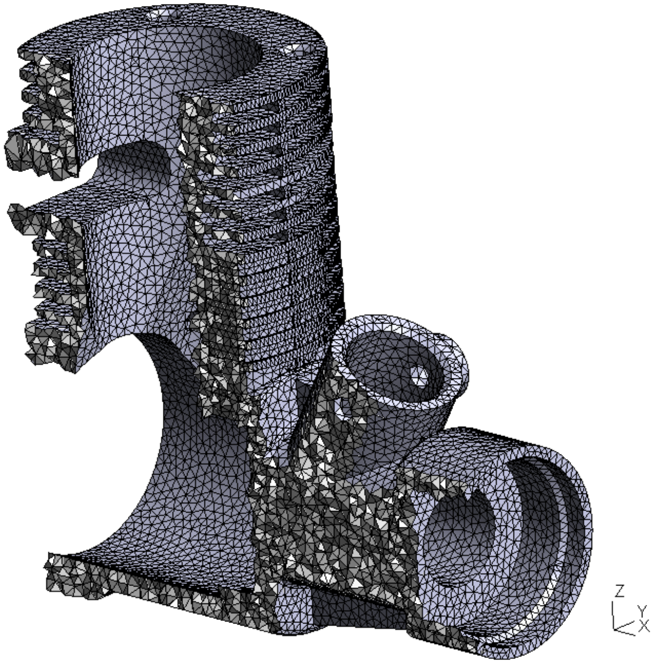
Et vraiment concrètement ?

```
Number of nodes 12
      0 :  0.0000000e+00  2.0000000e+00
      1 :  1.0000000e+00  2.0000000e+00
      2 :  0.0000000e+00  1.0000000e+00
      3 :  1.0000000e+00  1.0000000e+00
      4 :  0.0000000e+00  0.0000000e+00
      5 :  1.0000000e+00  0.0000000e+00
      6 :  2.0000000e+00  1.0000000e+00
      7 :  2.0000000e+00  0.0000000e+00
      8 :  3.0000000e+00  0.0000000e+00
      9 :  3.0000000e+00  1.0000000e+00
     10 :  2.0000000e+00  2.0000000e+00
     11 :  3.0000000e+00  2.0000000e+00
Number of triangles  10
      0 :        0       2       1
      1 :        2       3       1
      2 :        4       3       2
      3 :        4       5       3
      4 :        5       6       3
      5 :        5       7       6
      6 :        7       9       6
      7 :        7       8       9
      8 :        6      11      10
      9 :        9      11       6
```



Et vraiment très très très concrètement ?



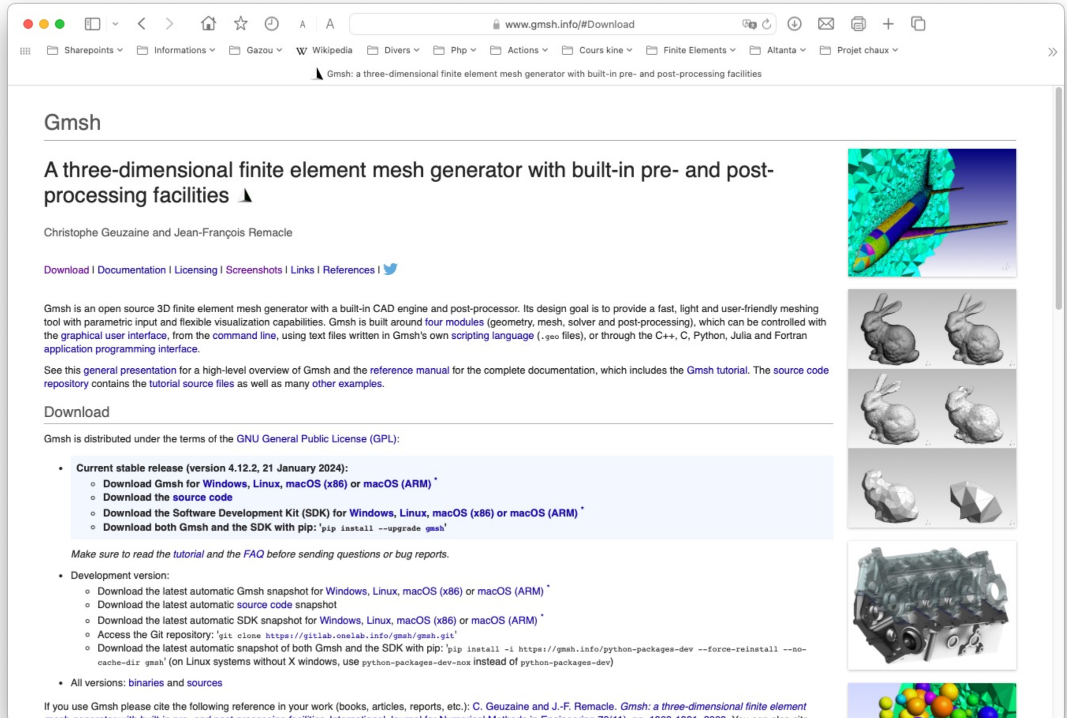


Il existe des algorithmes pour générer automatiquement les maillages.

Cours de géométrie numérique LMECA2170

http://www.geuz.org/gmsh/

https://www.gmsh.info



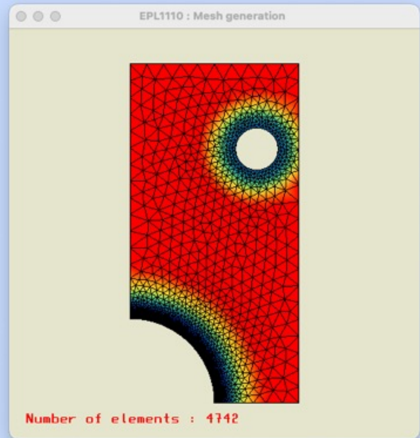
Installer
le *Software Development Kit*
de gmsh

https://www.gmsh.info

- **Current stable release (version 4.12.2, 21 January 2024):**
  - **Download Gmsh for Windows, Linux, macOS (x86) or macOS (ARM)** *
  - **Download the source code**
  - **Download the Software Development Kit (SDK) for Windows, Linux, macOS (x86) or macOS (ARM)** *
  - **Download both Gmsh and the SDK with pip:** '`pip install --upgrade gmsh`'

Make sure to read the tutorial and the FAQ before sending questions or bug reports.

Il faut choisir la bonne version !

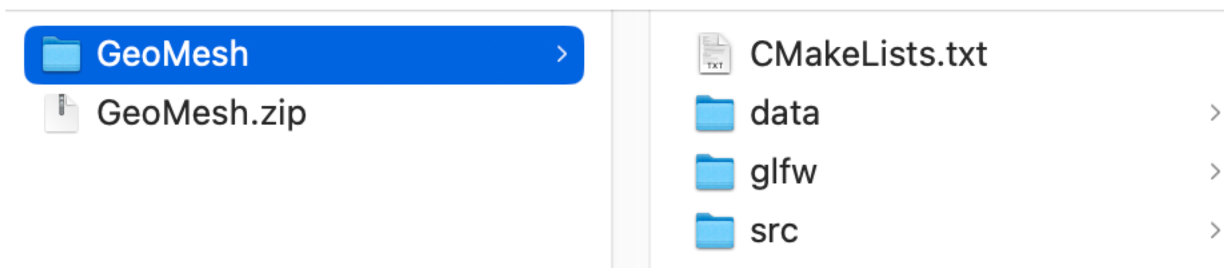


Devoir 2 : GeoMesh (12/02/2024)

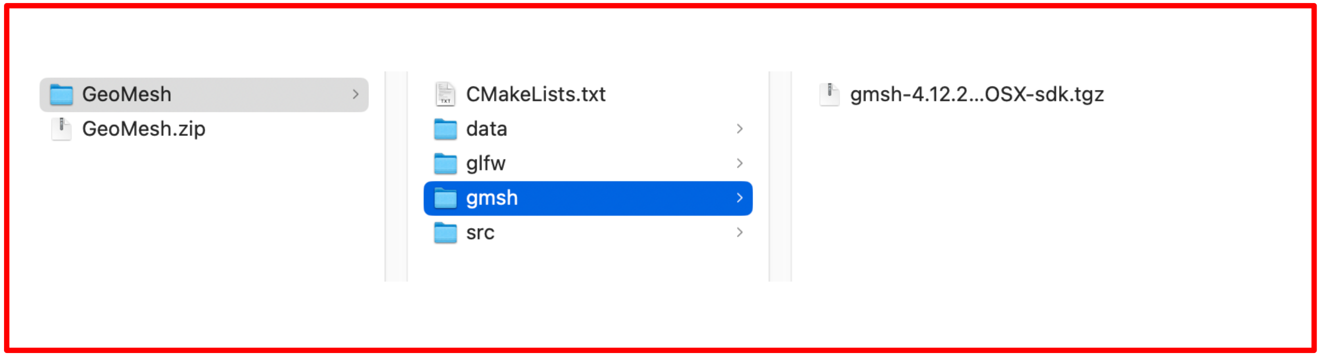
Projet à télécharger : GeoMesh.zip

Enoncé du devoir : GeoMesh.pdf

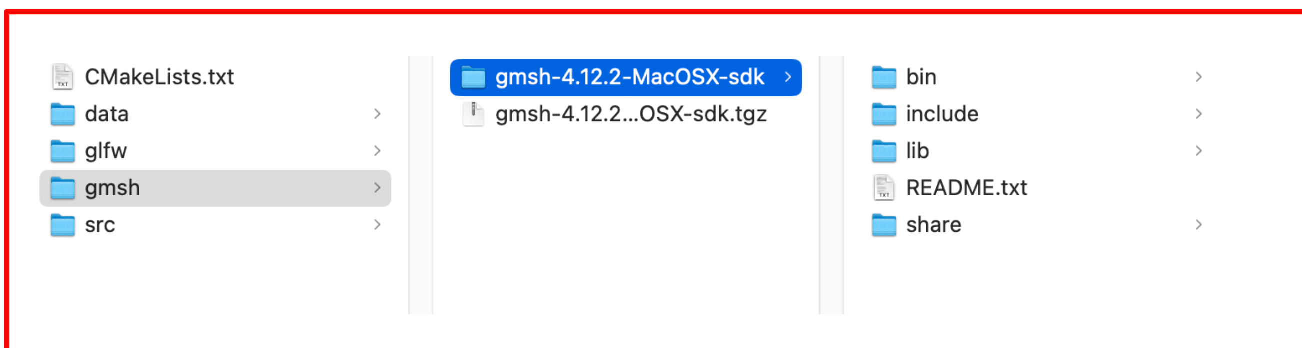
Deadline : **Lundi 26 février 2024 à 23h59**



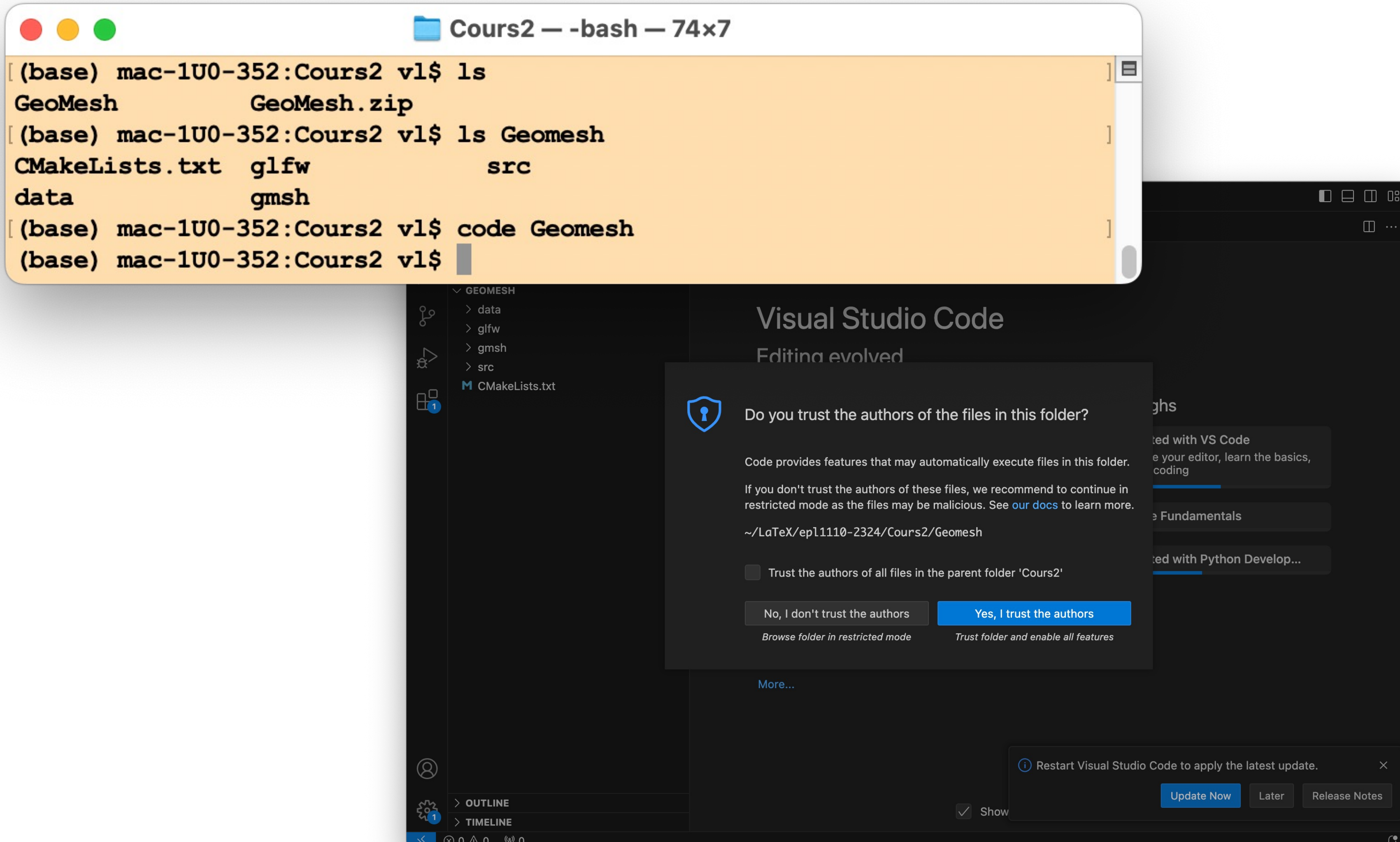
Comment compiler le second devoir ?



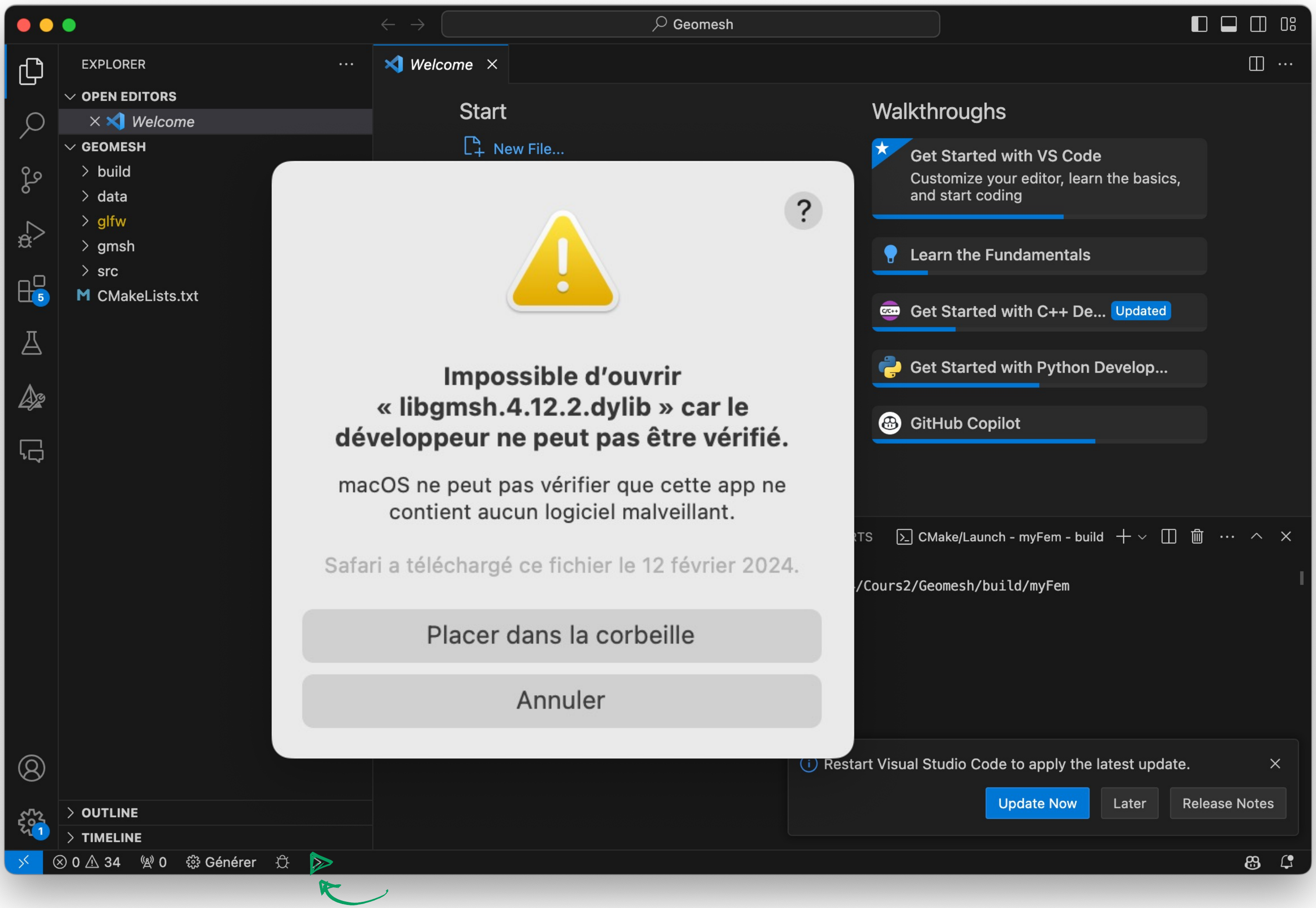
Ajouter la librairie gmsh dans un répertoire gmsh



Et lancer vscode

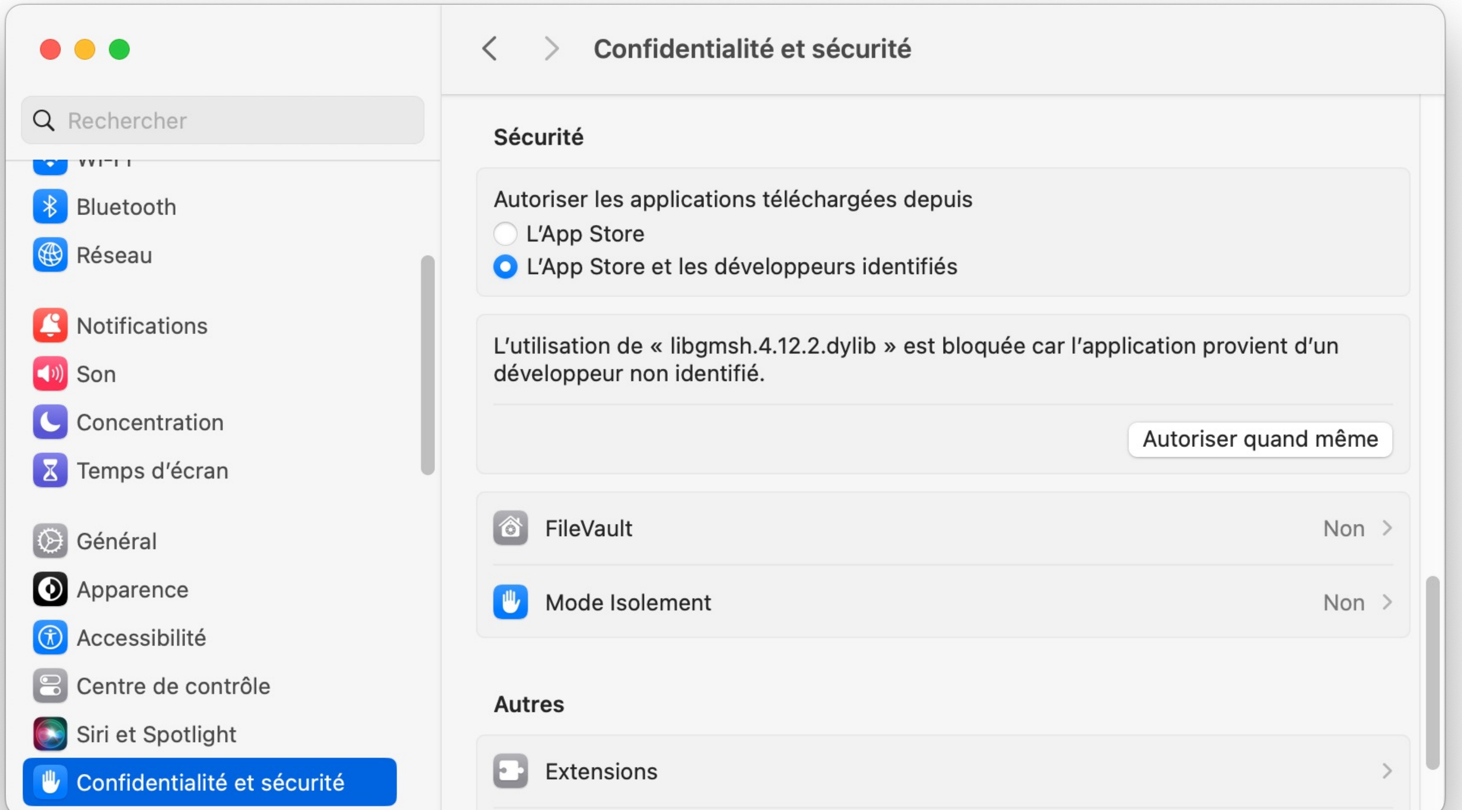


Et zou !

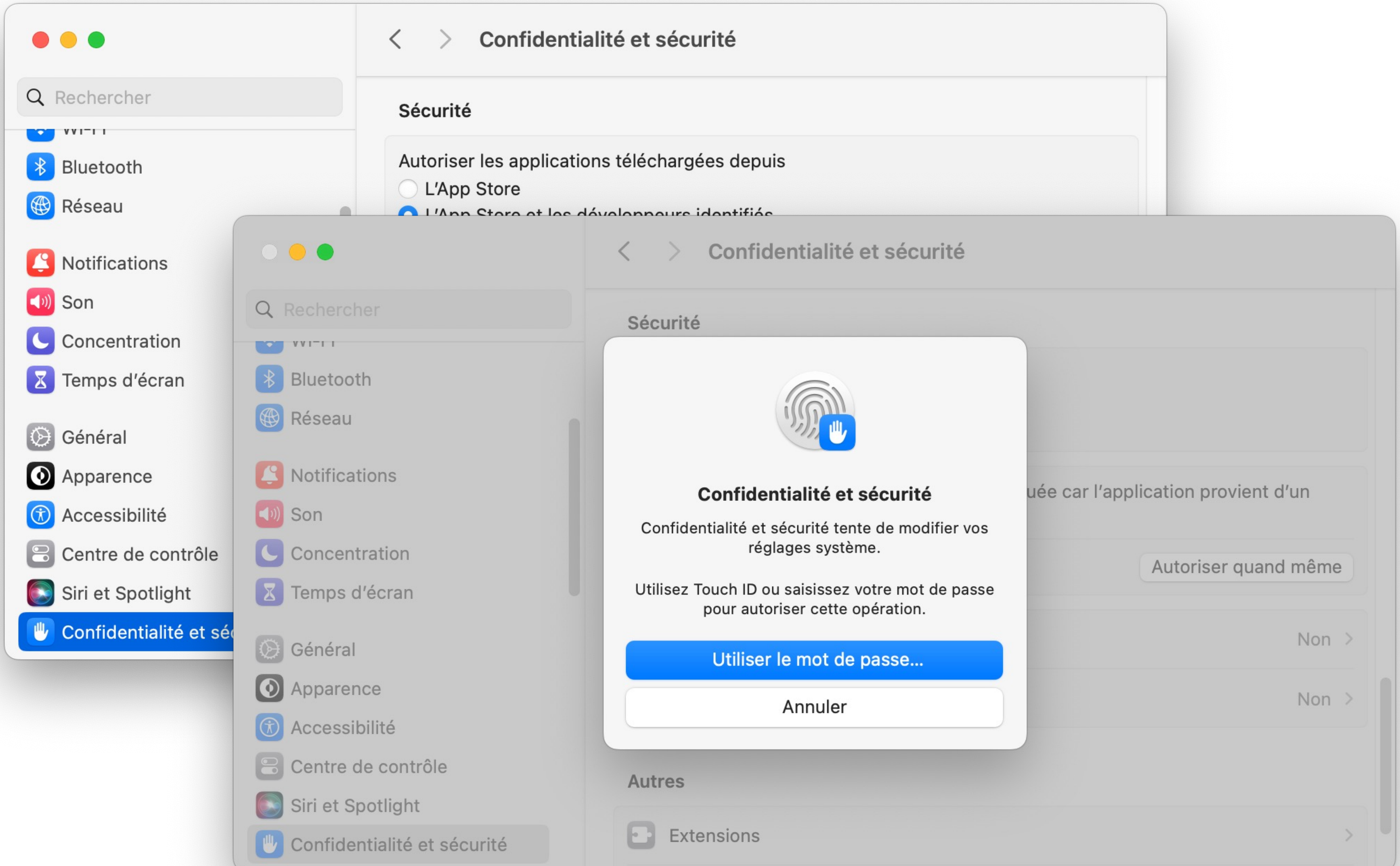


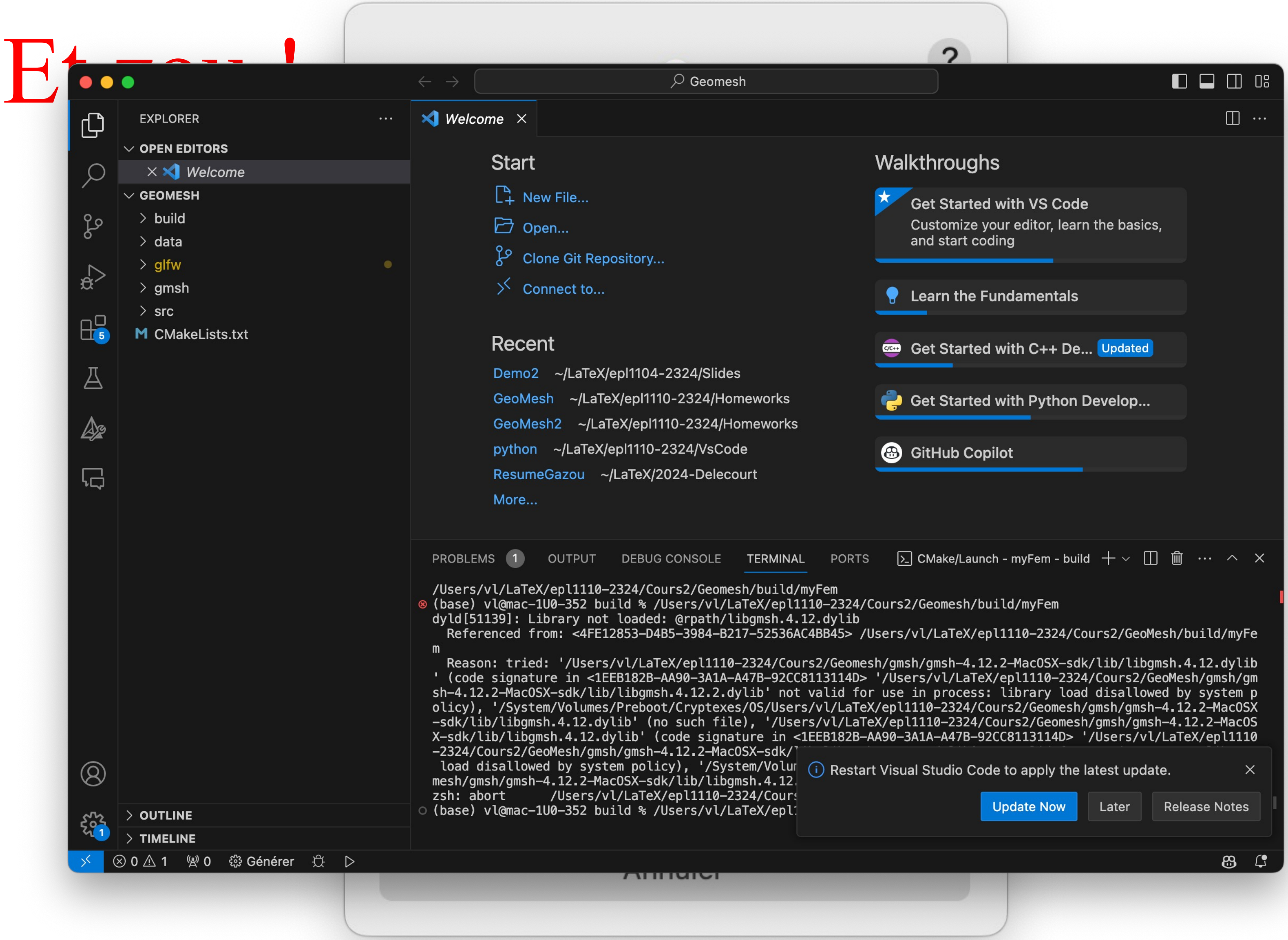
Geomesh
EXPLORER
OPEN EDITORS
Welcome
GEOMESH
build
data
glfw
gmsh
src
CMakeLists.txt
Start
New File...
Walkthroughs
Get Started with VS Code
Customize your editor, learn the basics, and start coding
Learn the Fundamentals
Get Started with C++ De...
Updated
Get Started with Python Develop...
GitHub Copilot
Impossible d'ouvrir « libgmsh.4.12.2.dylib » car le développeur ne peut pas être vérifié.
macOS ne peut pas vérifier que cette app ne contient aucun logiciel malveillant.
Safari a téléchargé ce fichier le 12 février 2024.
Placer dans la corbeille
Annuler
CMake/Launch - myFem - build
/Cours2/Geomesh/build/myFem
Restart Visual Studio Code to apply the latest update.
Update Now
Later
Release Notes
OUTLINE
TIMELINE
Générer

Non, non :
Remacle n’est pas malveillant !

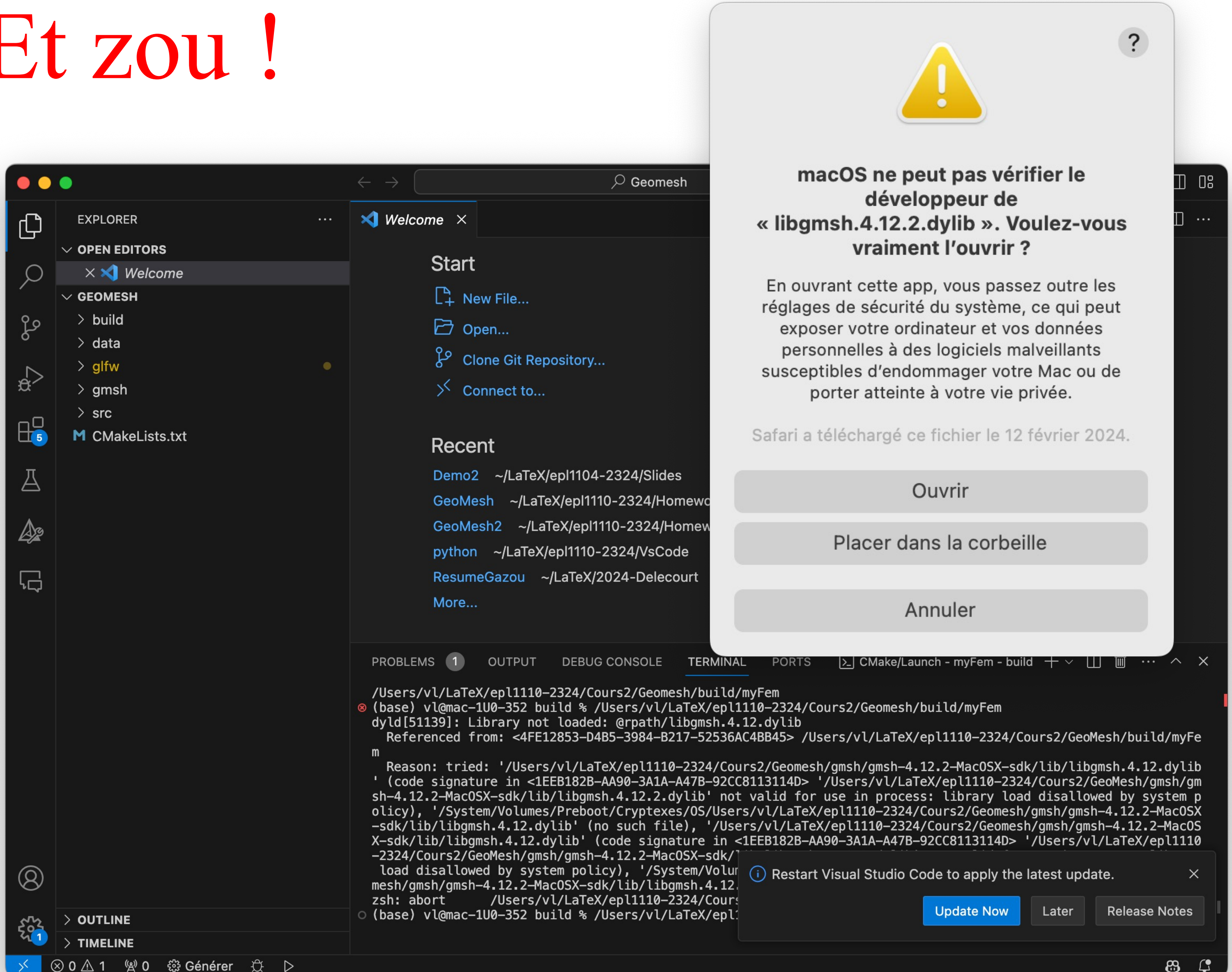


Non, non :
Remacle n’est pas malveillant !



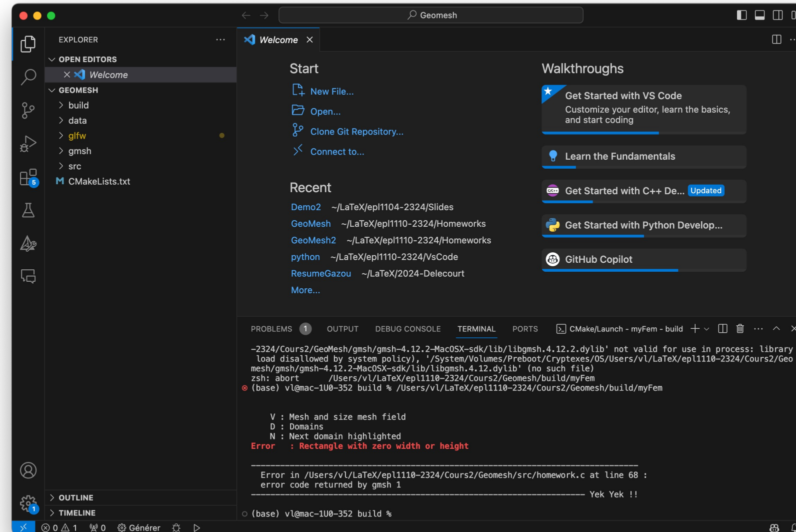

Geomesh
EXPLORER
OPEN EDITORS
Welcome
GEOMESH
build
data
glfw
gmsh
src
CMakeLists.txt
Welcome
Start
New File...
Open...
Clone Git Repository...
Connect to...
Recent
Demo2 ~/LaTeX/epl1104-2324/Slides
GeoMesh ~/LaTeX/epl1110-2324/Homeworks
GeoMesh2 ~/LaTeX/epl1110-2324/Homeworks
python ~/LaTeX/epl1110-2324/VsCode
ResumeGazou ~/LaTeX/2024-Delecourt
More...
Walkthroughs
Get Started with VS Code
Customize your editor, learn the basics, and start coding
Learn the Fundamentals
Get Started with C++ De... Updated
Get Started with Python Develop...
GitHub Copilot
PROBLEMS 1 OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS CMake/Launch - myFem - build
/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/build/myFem
(base) vl@mac-1U0-352 build % /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/build/myFem
dyld[51139]: Library not loaded: @rpath/libgmsh.4.12.dylib
Referenced from: <4FE12853-D4B5-3984-B217-52536AC4BB45> /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/GeoMesh/build/myFem
Reason: tried: '/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.dylib' (code signature in <1EEB182B-AA90-3A1A-A47B-92CC8113114D> '/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/GeoMesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.2.dylib' not valid for use in process: library load disallowed by system policy), '/System/Volumes/Preboot/Cryptexes/OS/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.dylib' (no such file), '/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.dylib' (code signature in <1EEB182B-AA90-3A1A-A47B-92CC8113114D> '/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/GeoMesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/
load disallowed by system policy), '/System/Volu
mesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.
zsh: abort /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours
(base) vl@mac-1U0-352 build % /Users/vl/LaTeX/epl
Restart Visual Studio Code to apply the latest update.
Update Now
Later
Release Notes
OUTLINE
TIMELINE
0 1 0 Générer

Et zou !

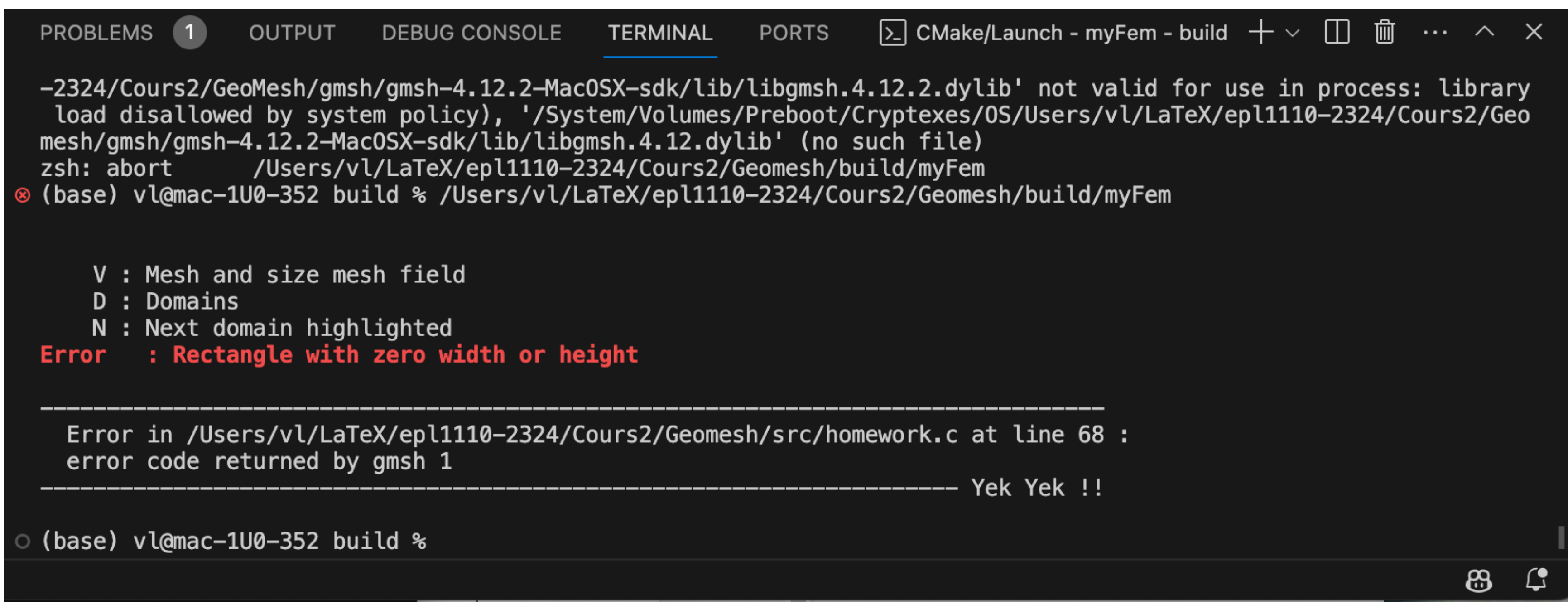


Geomesh
EXPLORER
OPEN EDITORS
Welcome
GEOMESH
build
data
glfw
gmsh
src
CMakeLists.txt
Welcome
Start
New File...
Open...
Clone Git Repository...
Connect to...
Recent
Demo2 ~/LaTeX/epl1104-2324/Slides
GeoMesh ~/LaTeX/epl1110-2324/Homewo
GeoMesh2 ~/LaTeX/epl1110-2324/Homew
python ~/LaTeX/epl1110-2324/VsCode
ResumeGazou ~/LaTeX/2024-Delecourt
More...
macOS ne peut pas vérifier le développeur de « libgmsh.4.12.2.dylib ». Voulez-vous vraiment l'ouvrir ?
En ouvrant cette app, vous passez outre les réglages de sécurité du système, ce qui peut exposer votre ordinateur et vos données personnelles à des logiciels malveillants susceptibles d'endommager votre Mac ou de porter atteinte à votre vie privée.
Safari a téléchargé ce fichier le 12 février 2024.
Ouvrir
Placer dans la corbeille
Annuler
PROBLEMS 1
OUTPUT
DEBUG CONSOLE
TERMINAL
PORTS
CMake/Launch - myFem - build
/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/build/myFem
(base) vl@mac-1U0-352 build % /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/build/myFem
dyld[51139]: Library not loaded: @rpath/libgmsh.4.12.dylib
Referenced from: <4FE12853-D4B5-3984-B217-52536AC4BB45> /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/GeoMesh/build/myFem
Reason: tried: '/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.dylib' (code signature in <1EEB182B-AA90-3A1A-A47B-92CC8113114D> '/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/GeoMesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.2.dylib' not valid for use in process: library load disallowed by system policy), '/System/Volumes/Preboot/Cryptexes/OS/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.dylib' (no such file), '/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.dylib' (code signature in <1EEB182B-AA90-3A1A-A47B-92CC8113114D> '/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/GeoMesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/
load disallowed by system policy), '/System/Volu
mesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.
zsh: abort /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours
(base) vl@mac-1U0-352 build % /Users/vl/LaTeX/epl
Restart Visual Studio Code to apply the latest update.
Update Now
Later
Release Notes
OUTLINE
TIMELINE
Générer

Et bof !

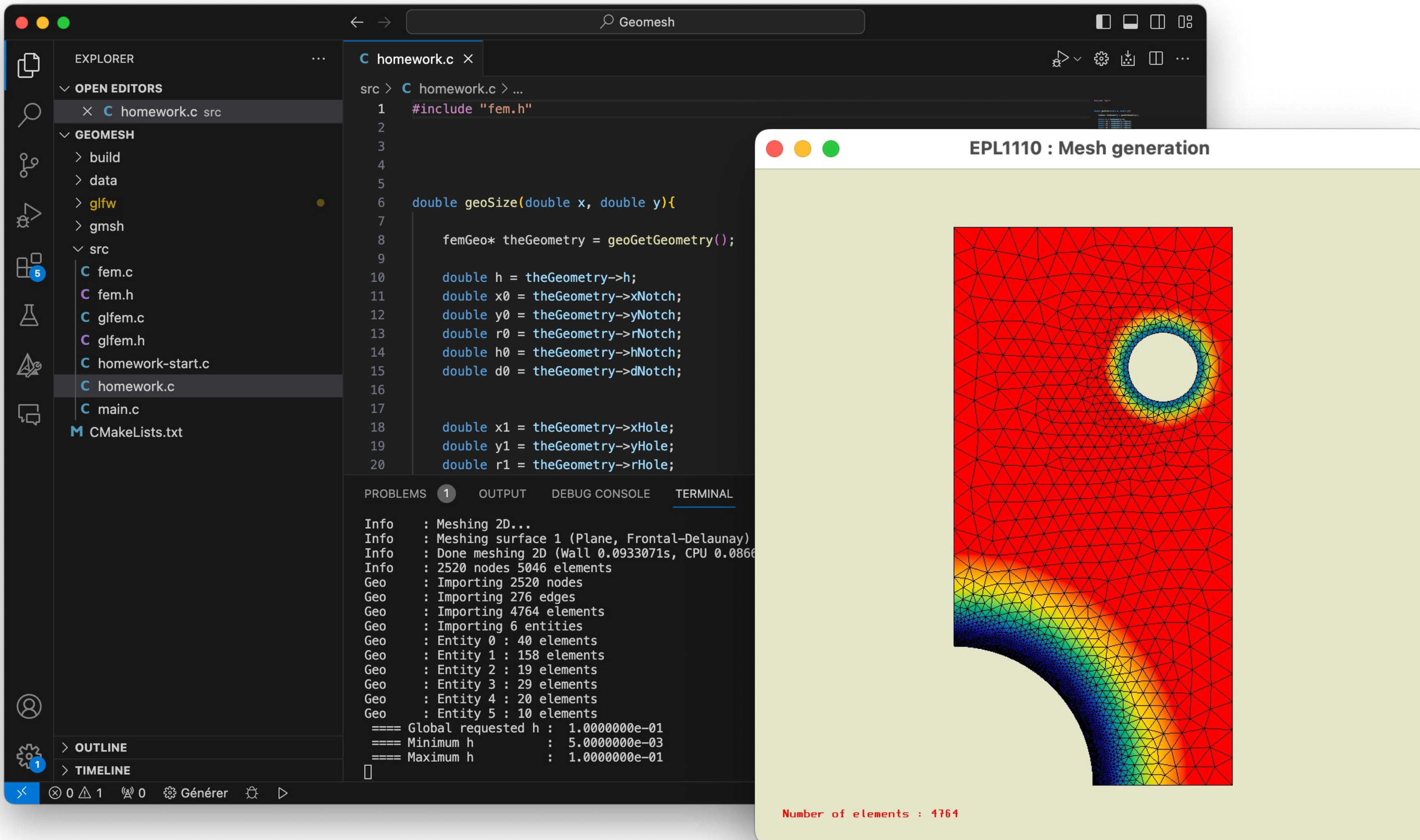


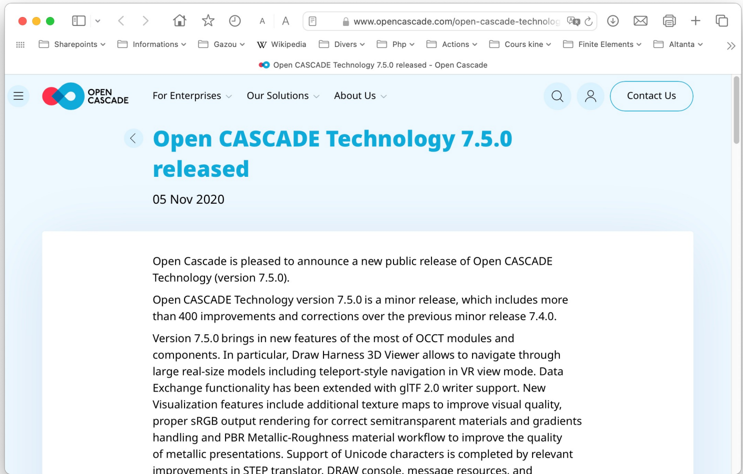
Geomesh
EXPLORER
OPEN EDITORS
Welcome
GEOMESH
build
data
glfw
gmsh
src
CMakeLists.txt
Start
New File...
Open...
Clone Git Repository...
Connect to...
Recent
Walkthroughs
Get Started with VS Code
Learn the Fundamentals
GitHub Copilot
OUTLINE
TIMELINE



PROBLEMS 1
OUTPUT
DEBUG CONSOLE
TERMINAL
PORTS
CMake/Launch - myFem - build
-2324/Cours2/GeoMesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.2.dylib' not valid for use in process: library
load disallowed by system policy), '/System/Volumes/Preboot/Cryptexes/OS/Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geo
mesh/gmsh/gmsh-4.12.2-MacOSX-sdk/lib/libgmsh.4.12.dylib' (no such file)
zsh: abort /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/build/myFem
(base) vl@mac-1U0-352 build % /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/build/myFem
V : Mesh and size mesh field
D : Domains
N : Next domain highlighted
Error : Rectangle with zero width or height
Error in /Users/vl/LaTeX/epl1110-2324/Cours2/Geomesh/src/homework.c at line 68 :
error code returned by gmsh 1
Yek Yek !!
(base) vl@mac-1U0-352 build %

Et après avoir fait le devoir !





Open CASCADE Technology 7.5.0 released - Open Cascade

For Enterprises · Our Solutions · About Us · Contact Us

Open CASCADE Technology 7.5.0 released

05 Nov 2020

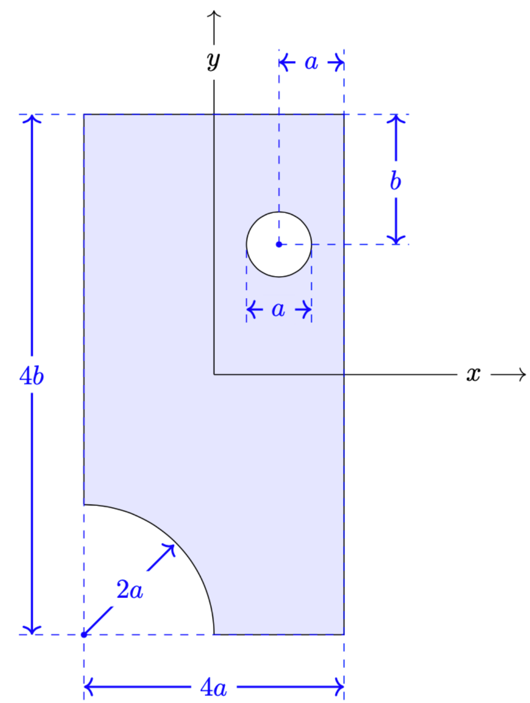
Open Cascade is pleased to announce a new public release of Open CASCADE Technology (version 7.5.0).

Open CASCADE Technology version 7.5.0 is a minor release, which includes more than 400 improvements and corrections over the previous minor release 7.4.0.

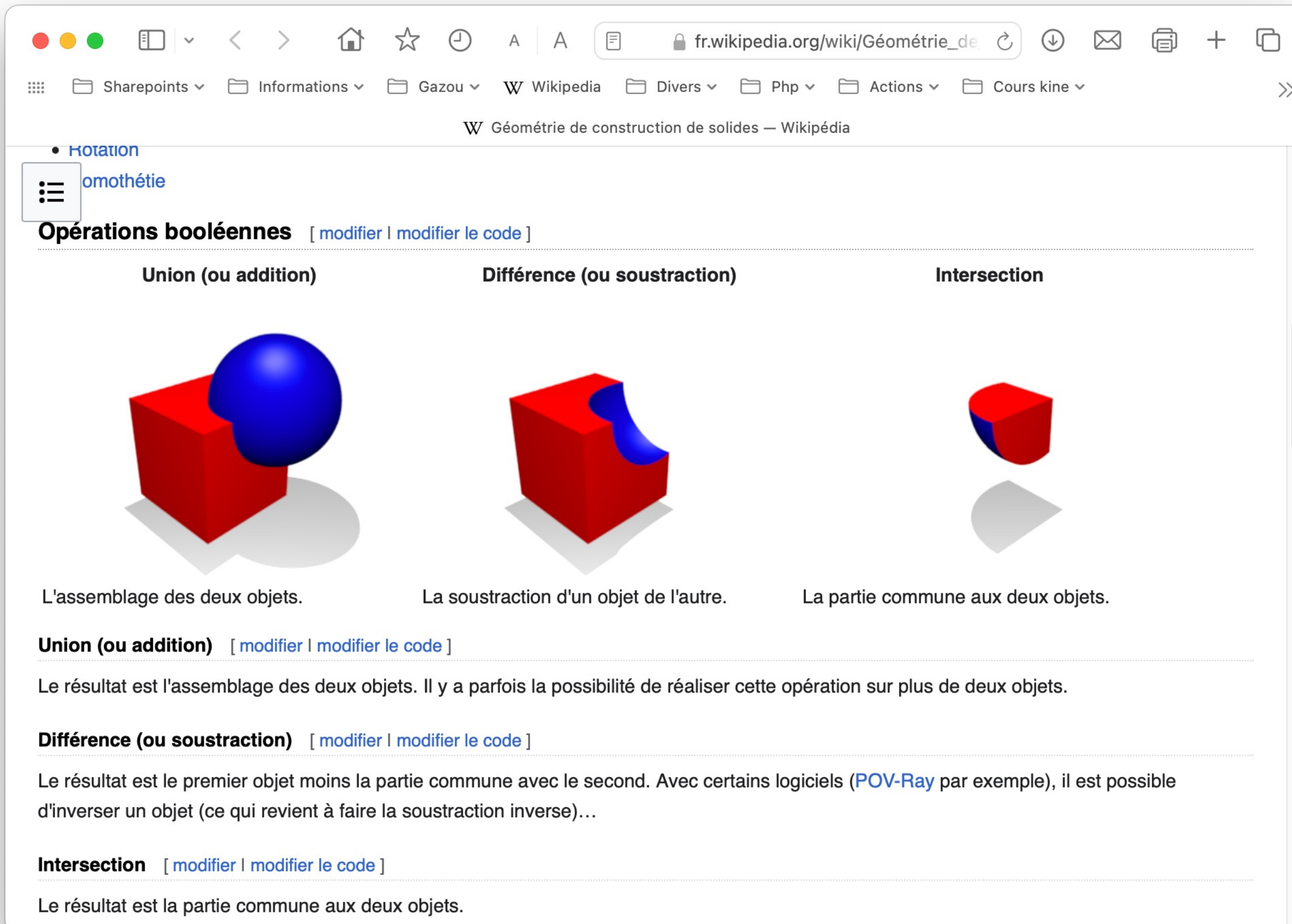
Version 7.5.0 brings in new features of the most of OCCT modules and components. In particular, Draw Harness 3D Viewer allows to navigate through large real-size models including teleport-style navigation in VR view mode. Data Exchange functionality has been extended with glTF 2.0 writer support. New Visualization features include additional texture maps to improve visual quality, proper sRGB output rendering for correct semitransparent materials and gradients handling and PBR Metallic-Roughness material workflow to improve the quality of metallic presentations. Support of Unicode characters is completed by relevant improvements in STEP translator, DRAW console, message resources, and

Définir la géométrie avec OpenCascade !

```
double Lx = 1.0;
double Ly = 2.0;
theGeometry->LxPlate =  Lx;
theGeometry->LyPlate =  Ly;
theGeometry->xPlate  =  0.0;
theGeometry->yPlate  =  0.0;
theGeometry->xHole   =  Lx / 4.0;
theGeometry->yHole   =  Ly / 4.0;
theGeometry->rHole   =  Lx / 8.0;
theGeometry->xNotch  = -Lx / 2.0;
theGeometry->yNotch  = -Ly / 2.0;
theGeometry->rNotch  =  Lx / 2.0;
```



Utiliser la géométrie constructive !



- Rotation
- Homothétie

Opérations booléennes [modifier | modifier le code]

Union (ou addition)	Différence (ou soustraction)	Intersection
L'assemblage des deux objets.	La soustraction d'un objet de l'autre.	La partie commune aux deux objets.

Union (ou addition) [modifier | modifier le code]

Le résultat est l'assemblage des deux objets. Il y a parfois la possibilité de réaliser cette opération sur plus de deux objets.

Différence (ou soustraction) [modifier | modifier le code]

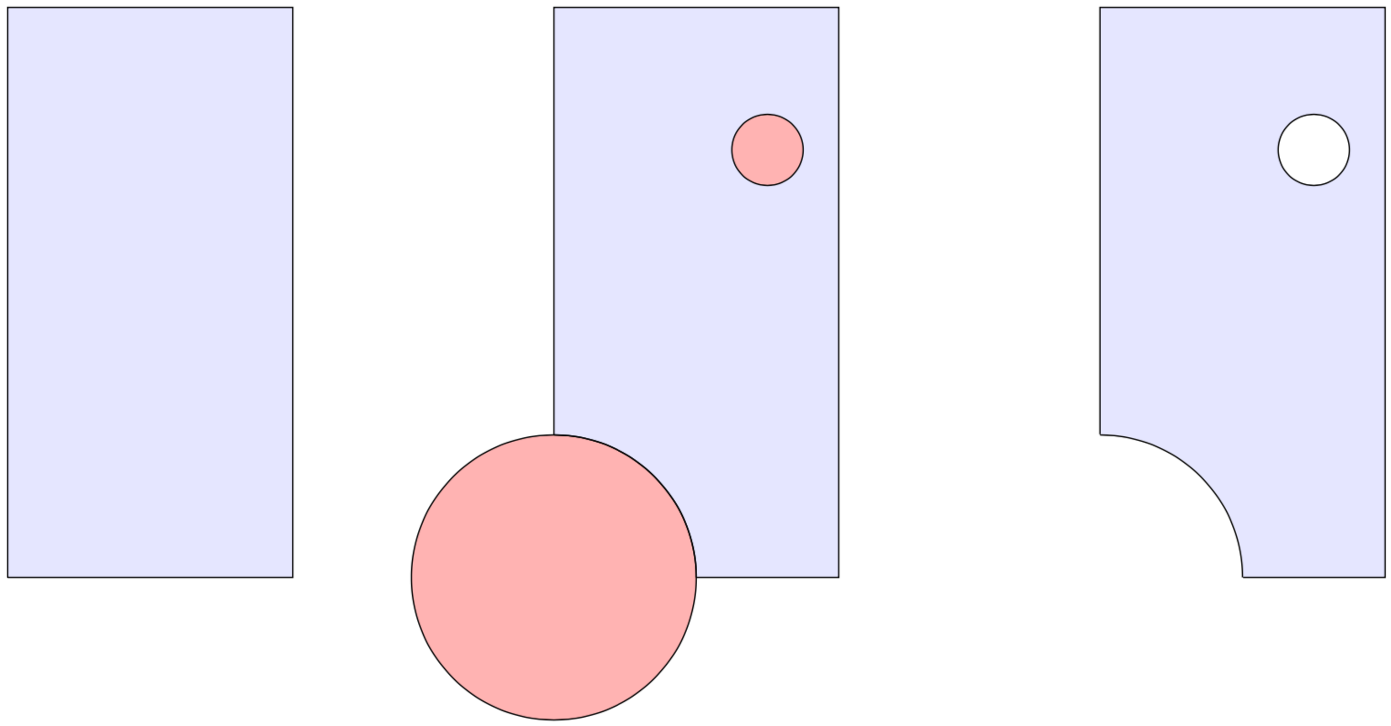
Le résultat est le premier objet moins la partie commune avec le second. Avec certains logiciels (POV-Ray par exemple), il est possible d'inverser un objet (ce qui revient à faire la soustraction inverse)…

Intersection [modifier | modifier le code]

Le résultat est la partie commune aux deux objets.

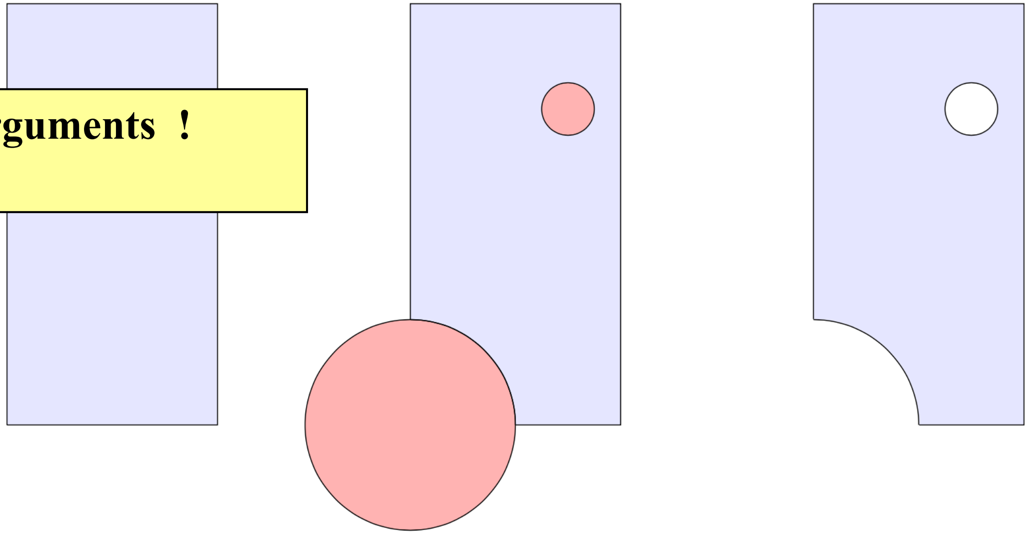
Utiliser la géométrie constructive !

- Créer le rectangle avec la fonction `gmshModelOccAddRectangle`.
- Créer les deux disques avec la fonction `gmshModelOccAddDisk`.
- Retirer chaque disque du rectangle avec la fonction `gmshModelOccCut`.



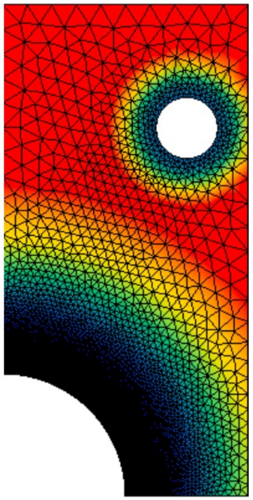
Utiliser l'API de Gmsh
pour accéder à OpenCascade !

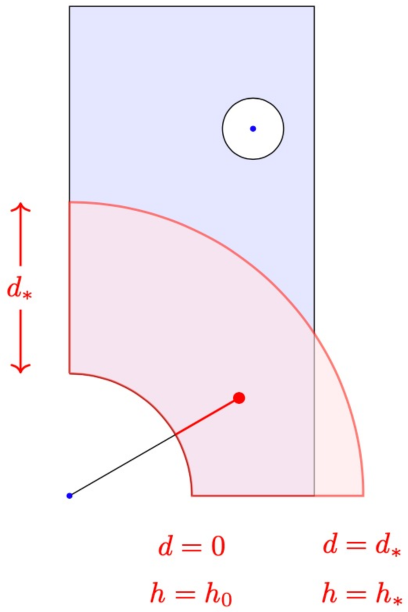
Il faut juste trouver les arguments !
Avec l'aide de copilot ?



```
int ierr;
int idPlate = gmshModelOccAddRectangle(___, ___, ___, ___, ___, ___, ___,&ierr);
int idNotch = gmshModelOccAddDisk(___, ___, ___, ___, ___, ___,NULL,0,NULL,0,&ierr);
int idHole  = gmshModelOccAddDisk(___, ___, ___, ___, ___, ___,NULL,0,NULL,0,&ierr);

int plate[] = {___,___};
int notch[] = {___,___};
int hole[]  = {___,___};
gmshModelOccCut(___,___,___,___,NULL,NULL,NULL,NULL,NULL,-1,1,1,&ierr);
gmshModelOccCut(___,___,___,___,NULL,NULL,NULL,NULL,NULL,-1,1,1,&ierr);
```

Construire le maillage avec une carte de taille !



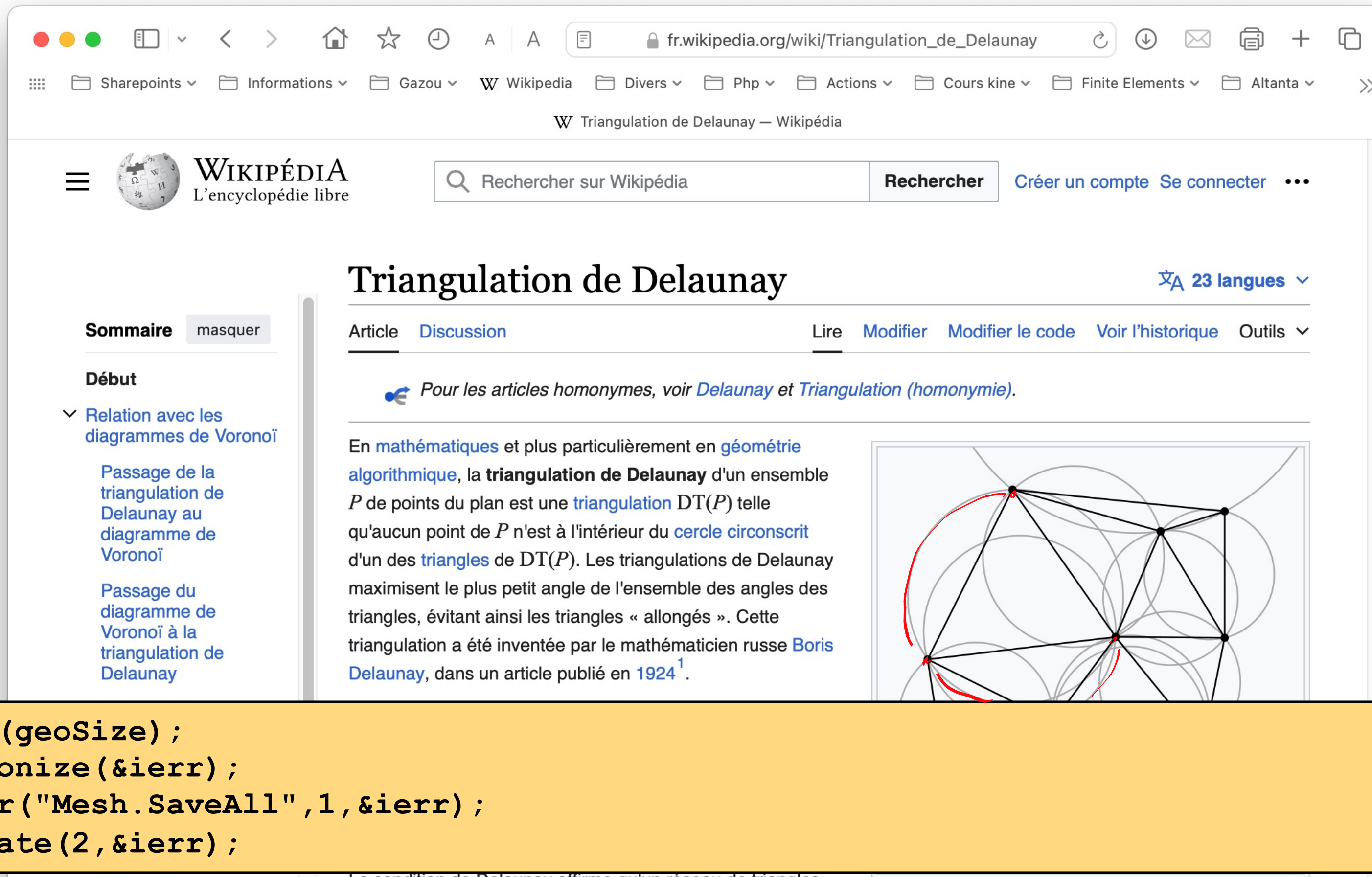


Les données pour construire la carte de taille se résument en cinq paramètres.

```
double h = theGeometry->h;
double h0 = theGeometry->hNotch;
double d0 = theGeometry->dNotch;
double h1 = theGeometry->hHole;
double d1 = theGeometry->dHole;
```

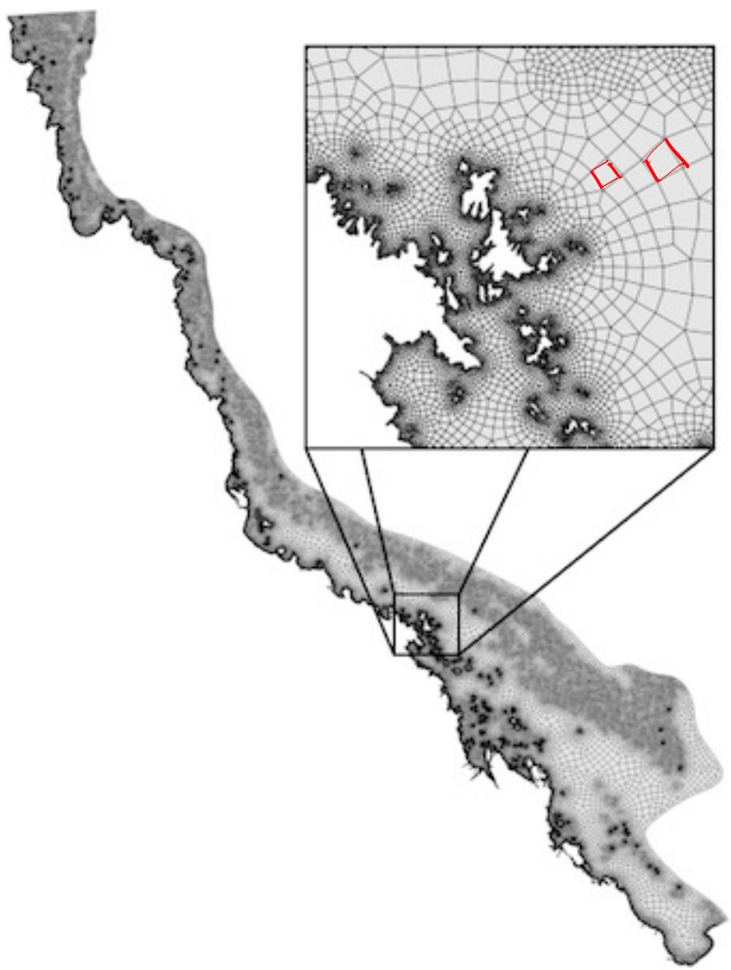
```
geoSetSizeCallback(geoSize);
gmshModelOccSynchronize(&ierr);
gmshOptionSetNumber("Mesh.SaveAll",1,&ierr);
gmshModelMeshGenerate(2,&ierr);
```

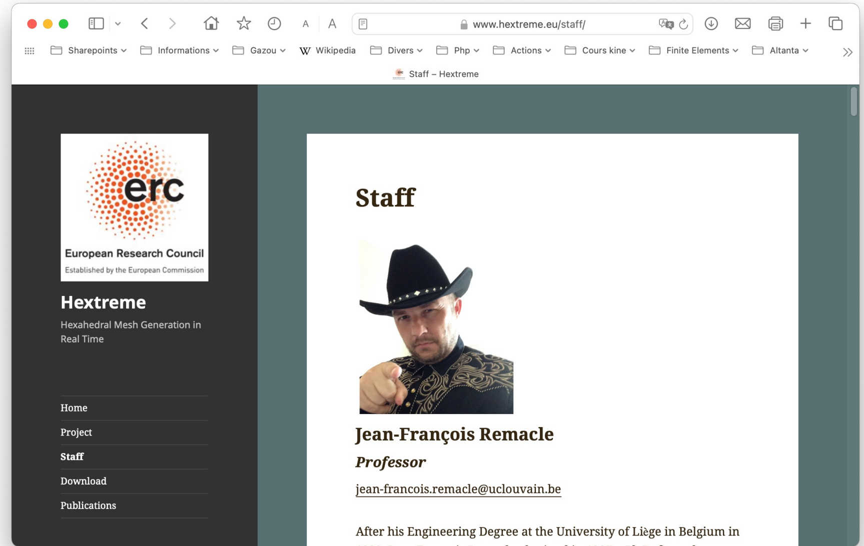
Ensuite, on construit le plus joli maillage possible
avec la densité spécifiée par la carte de taille
avec une triangulation de Delaunay !

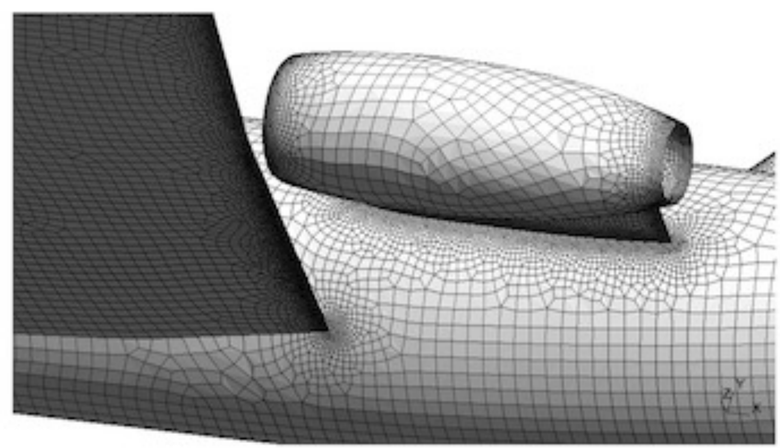



```
geoSetSizeCallback(geoSize);
gmshModelOccSynchronize(&ierr);
gmshOptionSetNumber("Mesh.SaveAll",1,&ierr);
gmshModelMeshGenerate(2,&ierr);
```

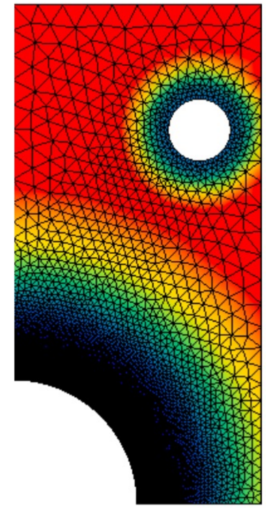
Triangles, quadrilatères, tétraèdres, hexaèdres ?

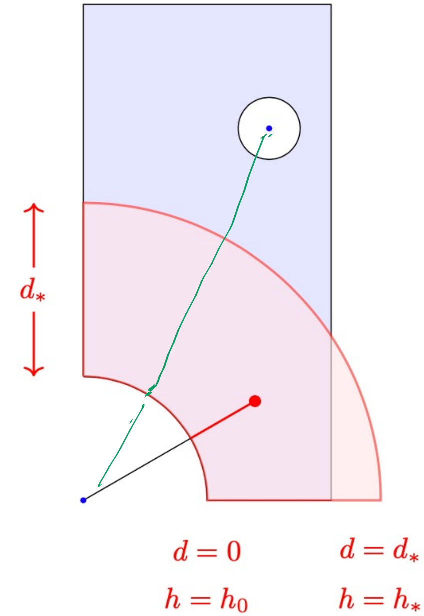


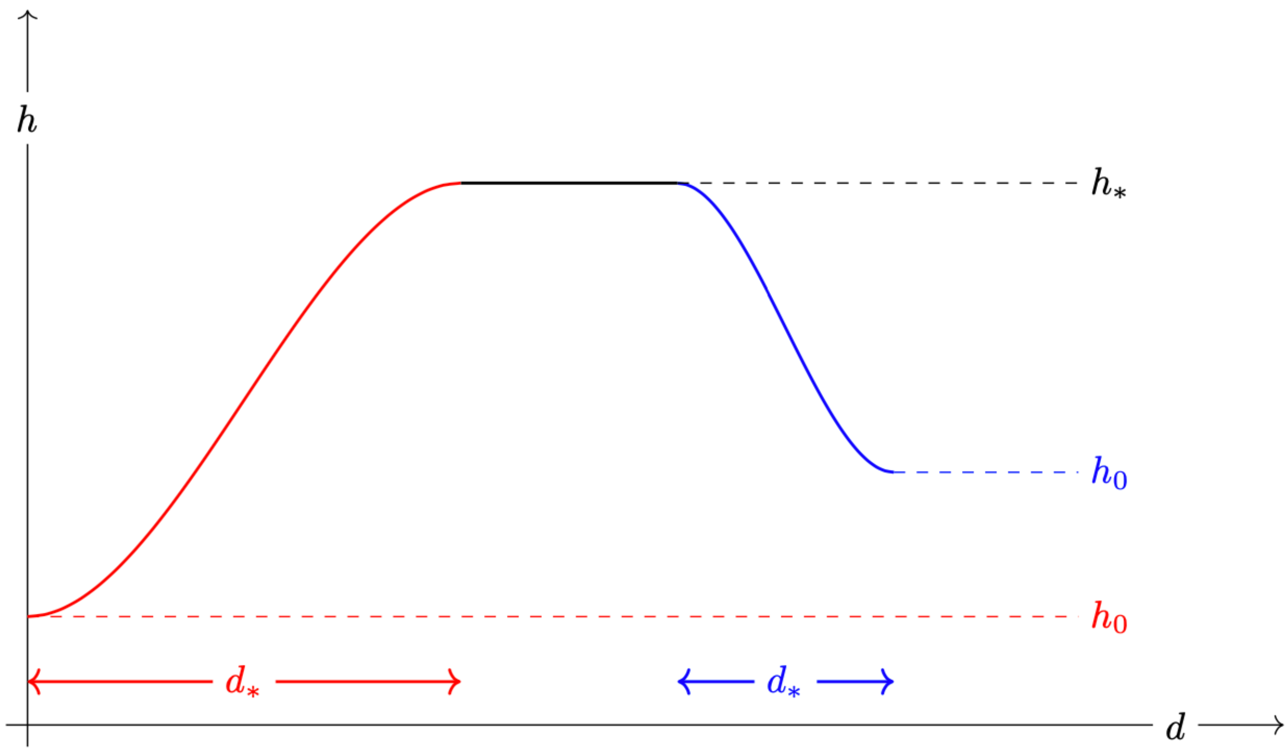




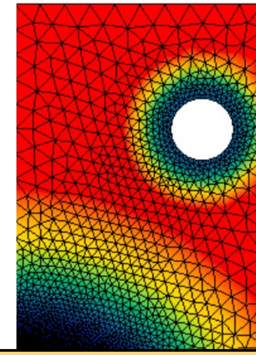
Définir une carte de taille !

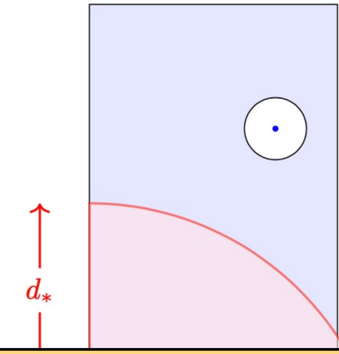


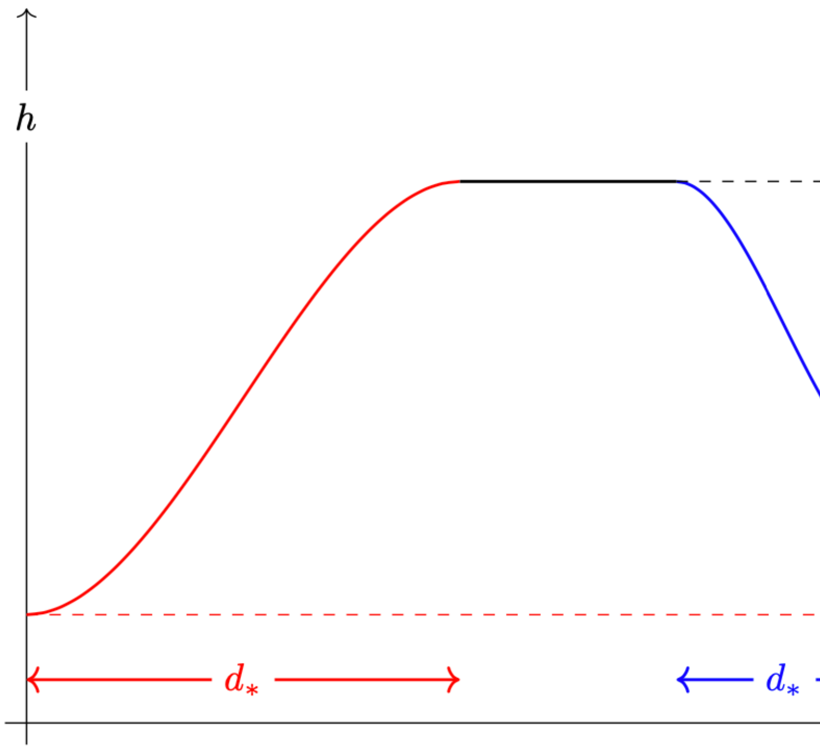




Définir une carte de taille !



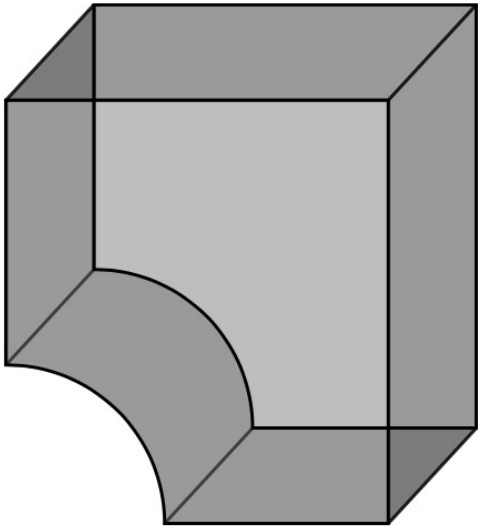





```
double geoSize(double x,double y)
{
    femGeo* theGeometry = geoGetGeometry();

    double h = theGeometry->h;
    double x0 = theGeometry->xNotch;
    double y0 = theGeometry->yNotch;
    double r0 = theGeometry->rNotch;
    double h0 = theGeometry->hNotch;
    double d0 = theGeometry->dNotch;

    double x1 = theGeometry->xHole;
    double y1 = theGeometry->yHole;
    double r1 = theGeometry->rHole;
    double h1 = theGeometry->hHole;
    double d1 = theGeometry->dHole;

//
//     A modifier !
//

    return h;
}
```

Et tout cela pourquoi ?

La géométrie est une construction abstraite définie par une structure hiérarchique qui décrit la connectivité.



Construction abstraite :

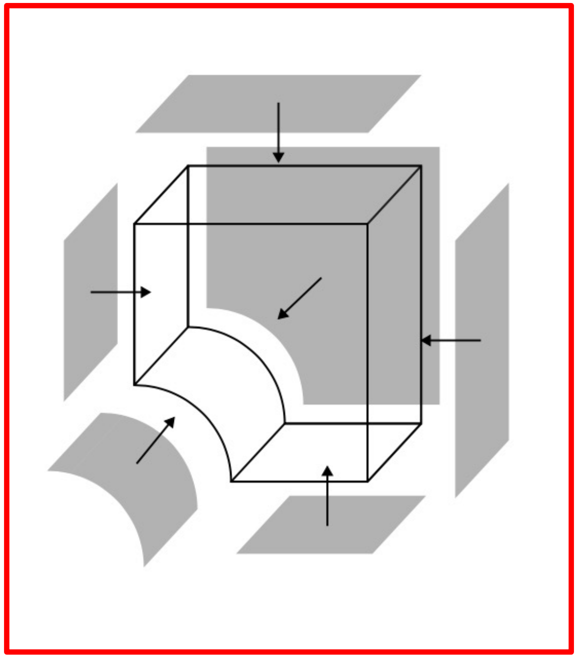
$\mathcal{V}$: volume décrit par ses surfaces

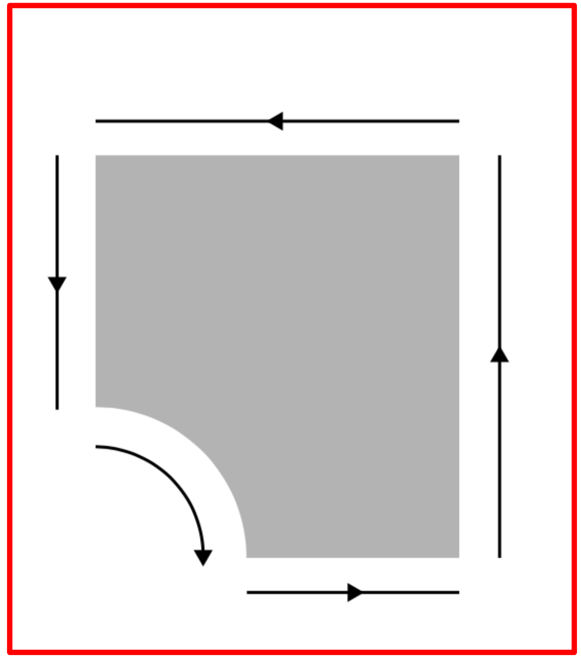
$\mathcal{S}$: surface décrit par ses arêtes

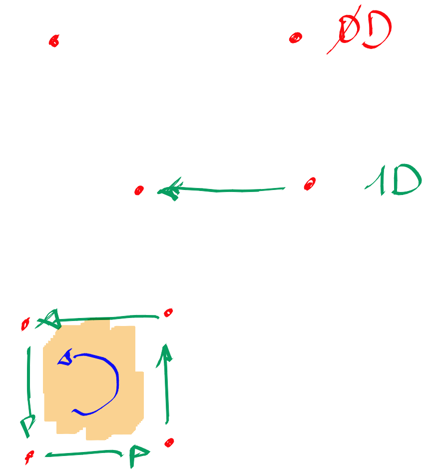
$\mathcal{A}$: arête décrit par ses noeuds

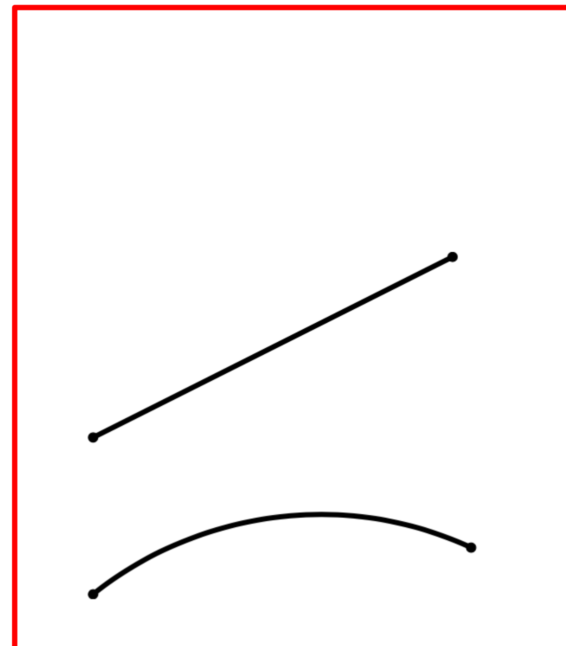
$\mathcal{N}$: noeud décrit par un indice

Topologie d'une géométrie

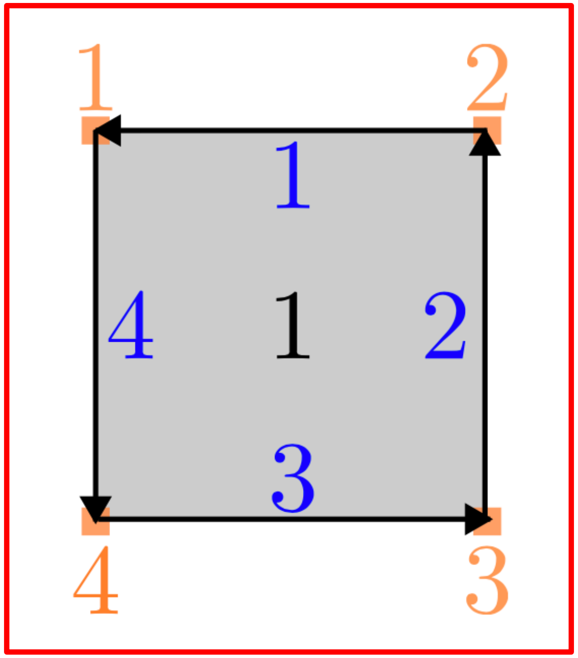


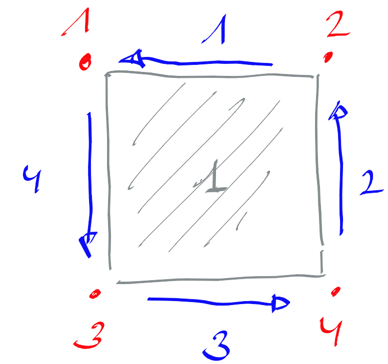






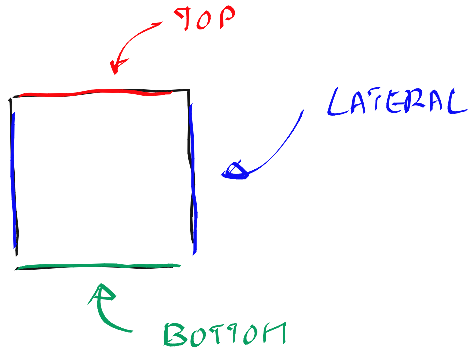
Entités topologiques





Dim	Tag	Dim	Tag	Dim	Tag
0	1	1	1	2	1
0	2	1	2		
0	3	1	3		
0	4	1	4		

Exemple simple !



Dim	Tag	x	y
0	1	-1.0	1.0
0	2	1.0	1.0
0	3	1.0	-1.0
0	4	-1.0	-1.0

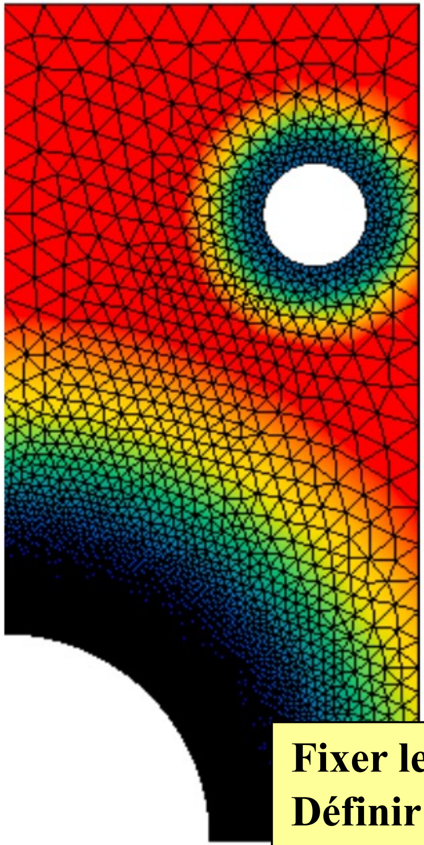
Trois tableaux
décrivent la géométrie

Dim	Tag	Dim	Tag	Dim	Tag
0	1	1	1	2	1
0	2	1	2		
0	3	1	3		
0	4	1	4		

Dim	Tag	Nom
1	1	Top
1	2	Lateral
1	3	Bottom
1	4	Lateral

Fixer les coordonnées des points
Définir la topologie ou connectivité des éléments
Associer des domaines physiques à des éléments

Trois tableaux décrivent le maillage final



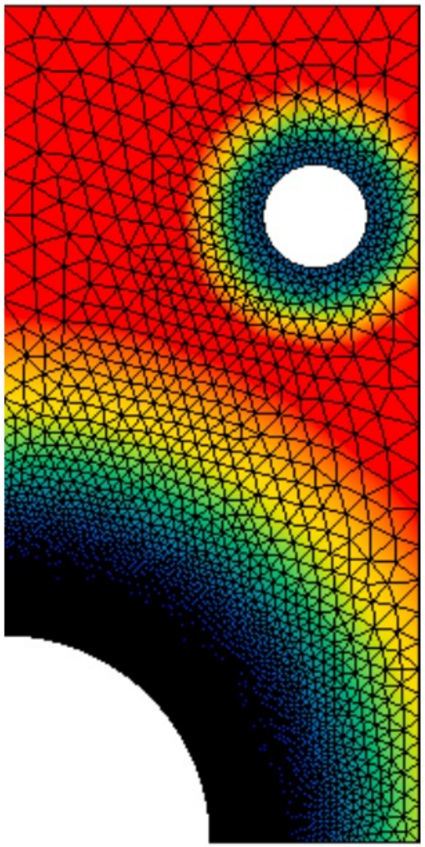
```
typedef struct {
    int nNodes;
    double *X;
    double *Y;
} femNodes;
```

```
typedef struct {
    int nLocalNode;
    int nElem;
    int *elem;
    femNodes *nodes;
} femMesh;
```

```
typedef struct {
    femMesh *mesh;
    int nElem;
    int *elem;
    char name[MAXNAME];
} femDomain;
```

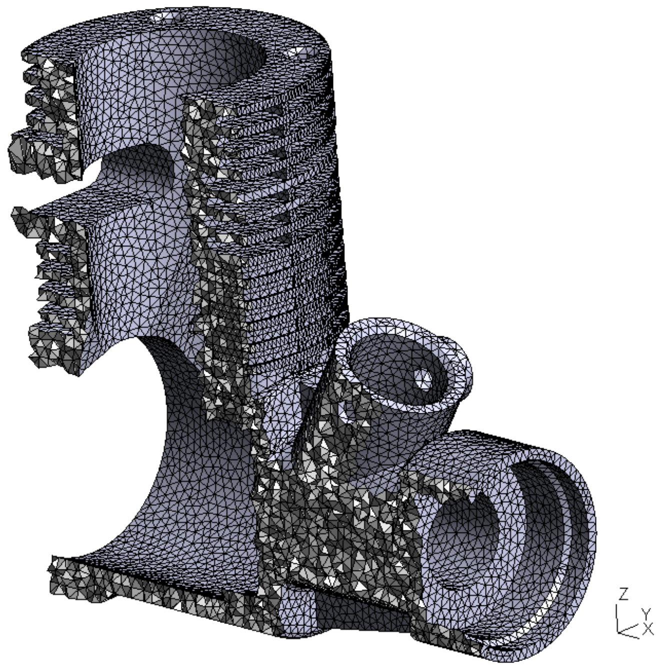
Fixer les coordonnées des points
Définir la topologie ou connectivité des éléments
Associer des domaines physiques à des éléments

Et voilà
le maillage !



```
Number of nodes 2520
     0 :  3.7500000e-01  5.0000000e-01
     1 :  0.0000000e+00 -1.0000000e+00
     2 : -5.0000000e-01 -5.0000000e-01
     3 :  5.0000000e-01 -1.0000000e+00
     4 : -5.0000000e-01  1.0000000e+00
     5 :  5.0000000e-01  1.0000000e+00

  2517 : -1.5626551e-01 -6.2635267e-01
  2518 : -3.6669678e-02 -7.9420329e-01
  2519 : -4.8014465e-03 -8.1397000e-01
Number of edges 276
     0 :       0      6
     1 :       6      7

   274 :     274    275
   275 :     275      4
Number of triangles 4764
     0 :     513    514    484
     1 :    1291   2281   1589

  4762 :    2081   2212   1466
  4763 :    1675   1913   1668
Number of domains 6
  Domain :       0
  Name : Outer Disk
  Number of elements :      40
     0     1     2     3     4     5     6     7     8     9
    10    11    12    13    14    15    16    17    18    19
    20    21    22    23    24    25    26    27    28    29
    30    31    32    33    34    35    36    37    38    39
  Domain :       1
```

Définir localement une fonction sur un maillage



Fonctions de base spécifiées a priori

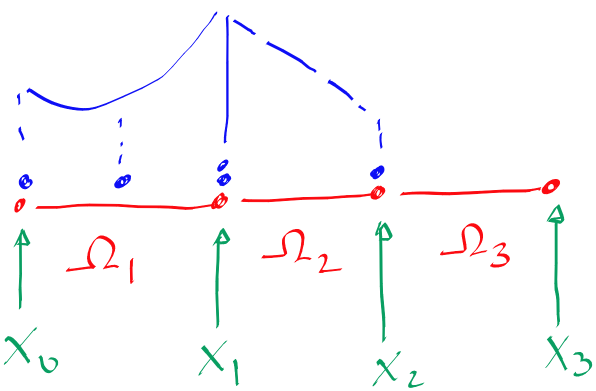
$$u(\mathbf{x}) \approx u^h(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^{n} U_j \tau_j(\mathbf{x})$$

Valeurs nodales inconnues

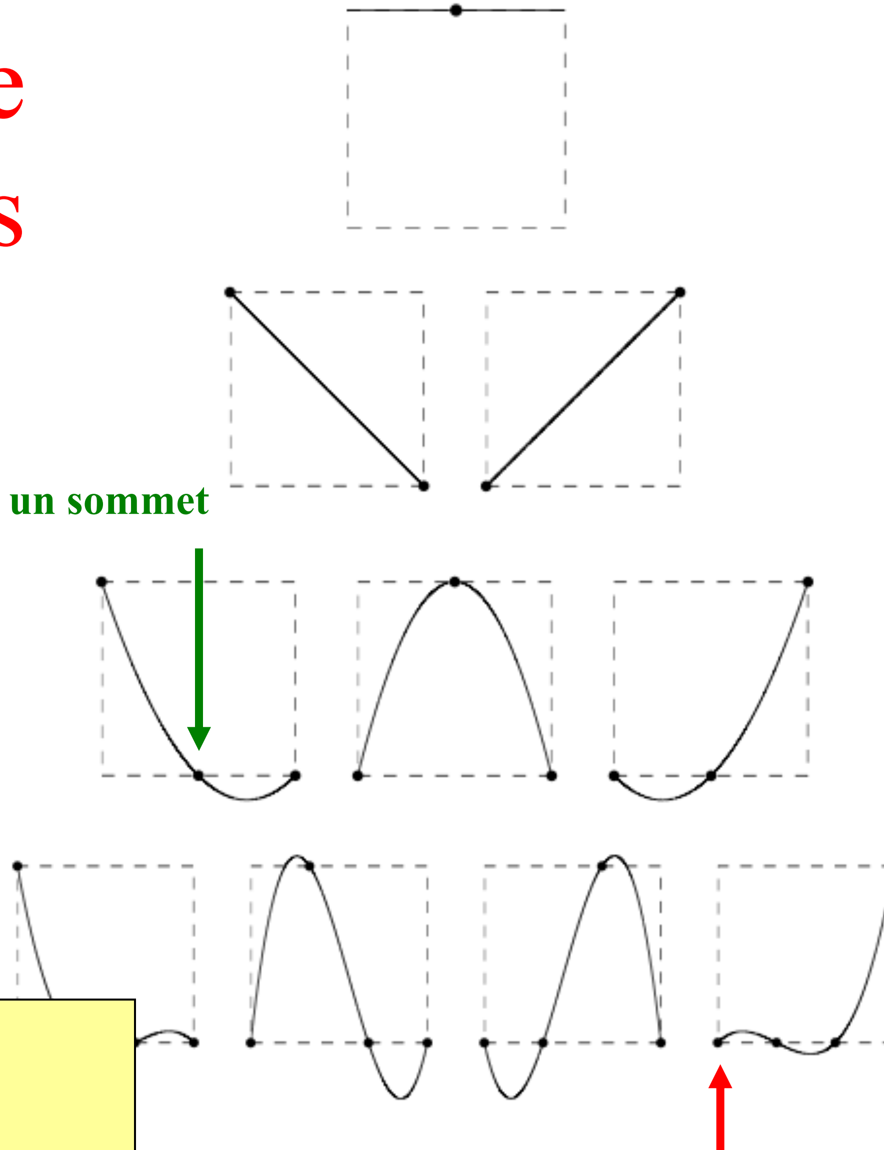
The problem geometry is divided in small finite elements.

On each element, the solution is approximated by means of unknown nodal values and given polynomials

Fonctions de forme unidimensionnelles de Lagrange



Ce nœud n'est pas un sommet



Sommet

Nodes and other nodes :-)

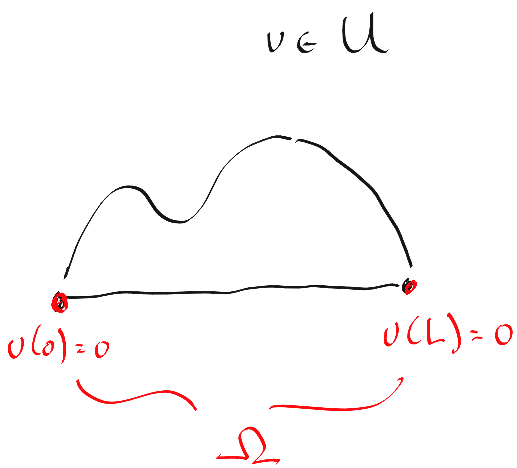
Nodes of the meshes = vertices
Location of nodal values = nodes
For linear piecewise interpolation, all nodes are vertices

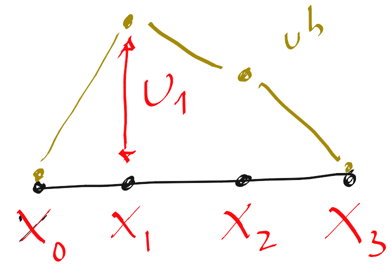
Interpolation linéaire par morceaux : so easy !

$$\tau_i(X_j) = \underbrace{\delta_{ij}}$$

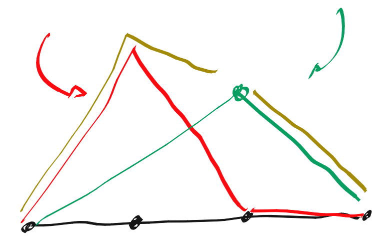
$i = j \rightarrow \delta_{ij} = 1$

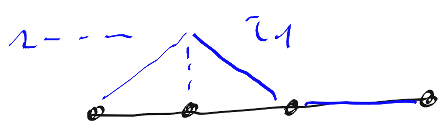
$i \neq j \rightarrow \delta_{ij} = 0$

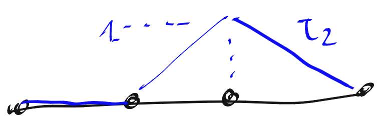




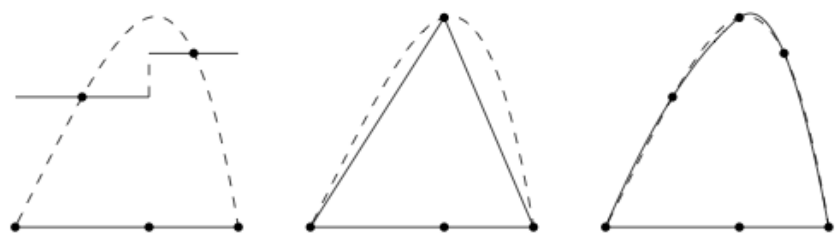
$u^h = \underbrace{U_1}\,\underbrace{\tau_1} + \underbrace{U_2}\,\underbrace{\tau_2}$

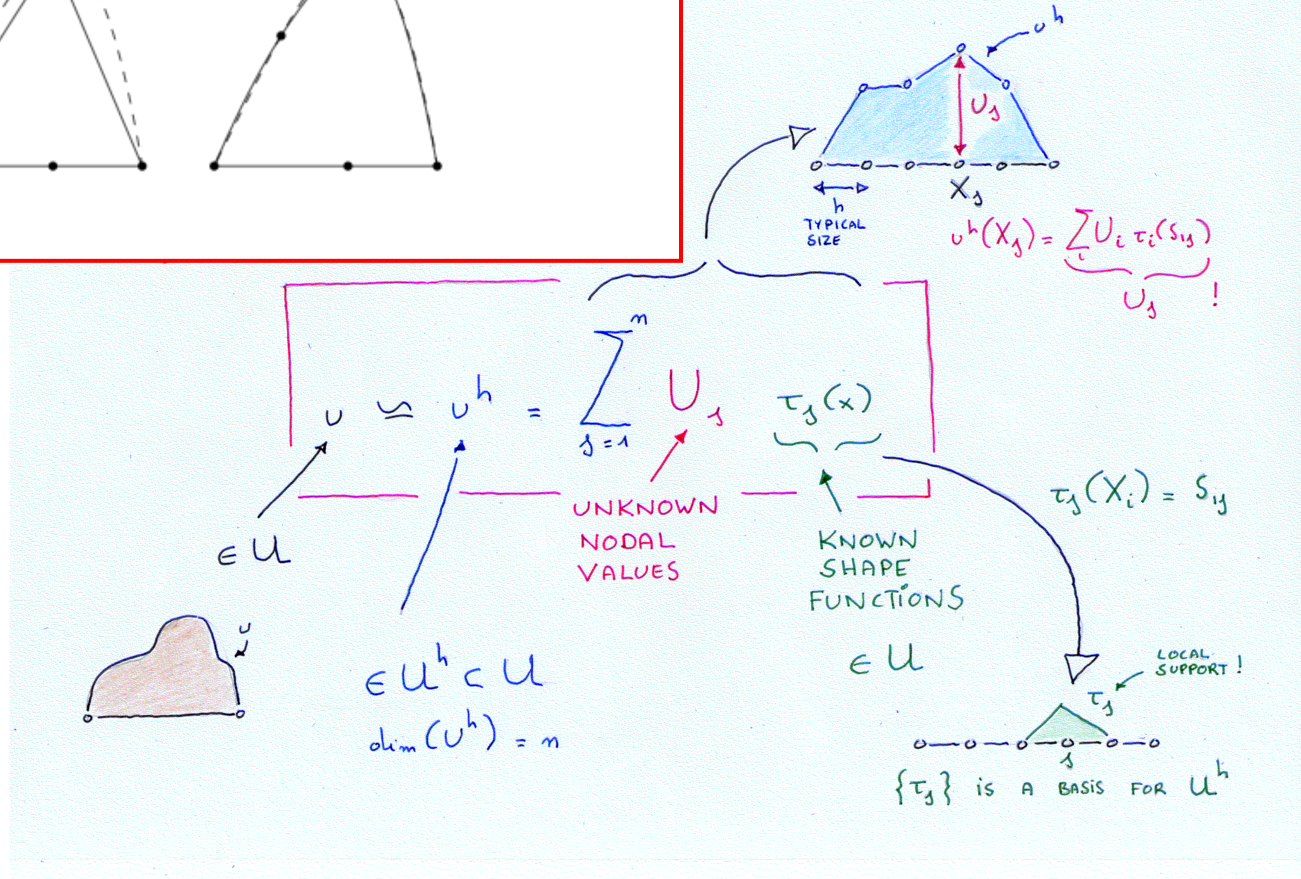




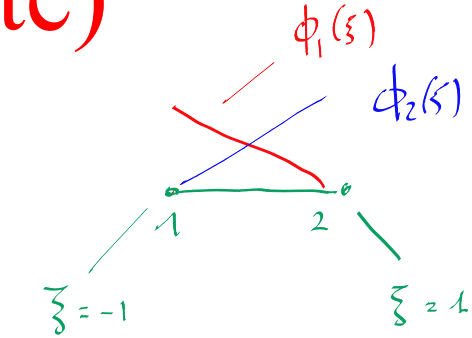


En une dimension…





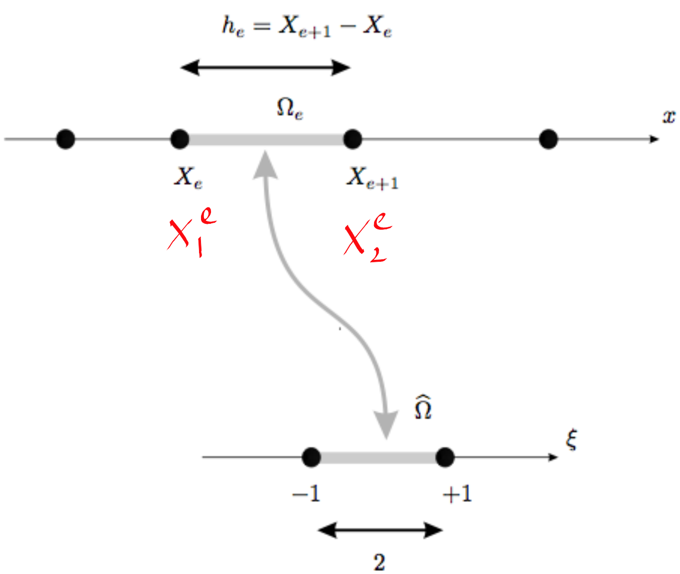
Un élément parent (template) pour définir les fonctions de forme



$x(\xi) = X_1^e \, \phi_1(\xi) + X_2^e \, \phi_2(\xi)$

$\phi_1(\xi) = (1-\xi)/2$

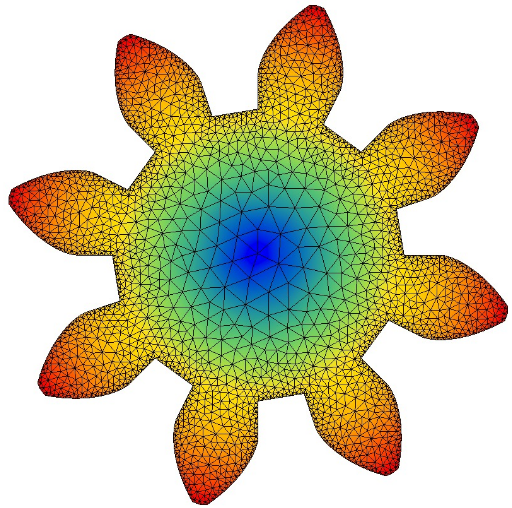
$\phi_2(\xi) = (1+\xi)/2$

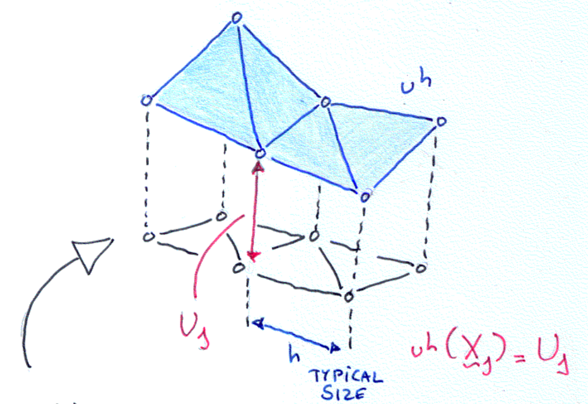


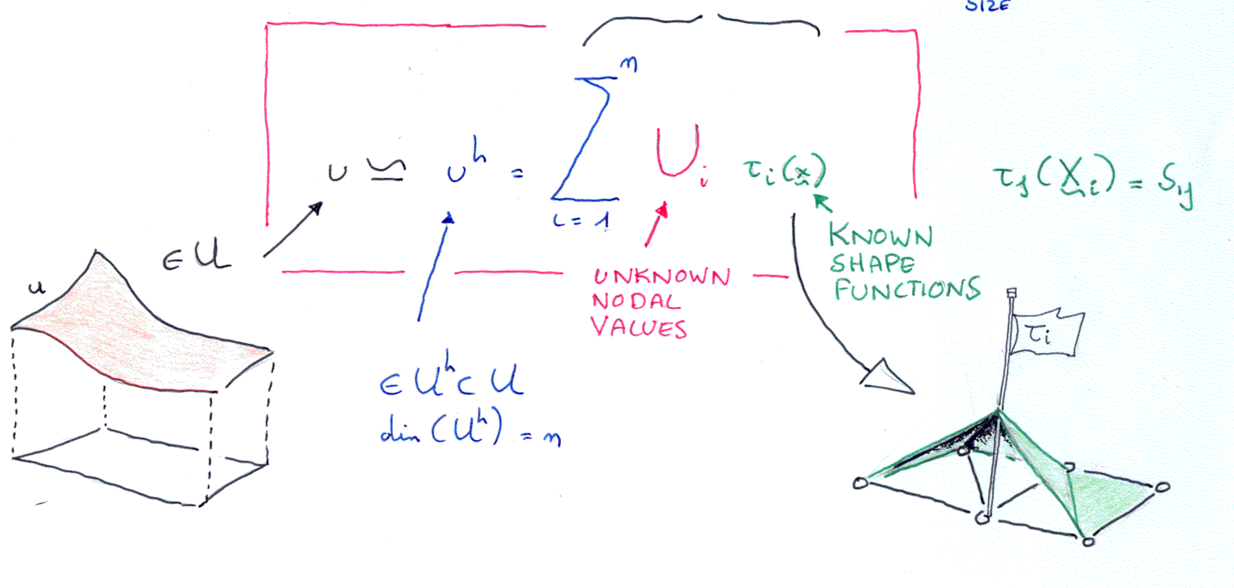
$$\boxed{\begin{aligned} x(\xi) &= \xi\frac{(X_{e+1}-X_e)}{2} + \frac{(X_{e+1}+X_e)}{2}, \\ \xi(x) &= \frac{2x-(X_{e+1}+X_e)}{(X_{e+1}-X_e)}. \end{aligned}}$$

Isomorphisme linéaire entre l'élément parent et tous les autres éléments…

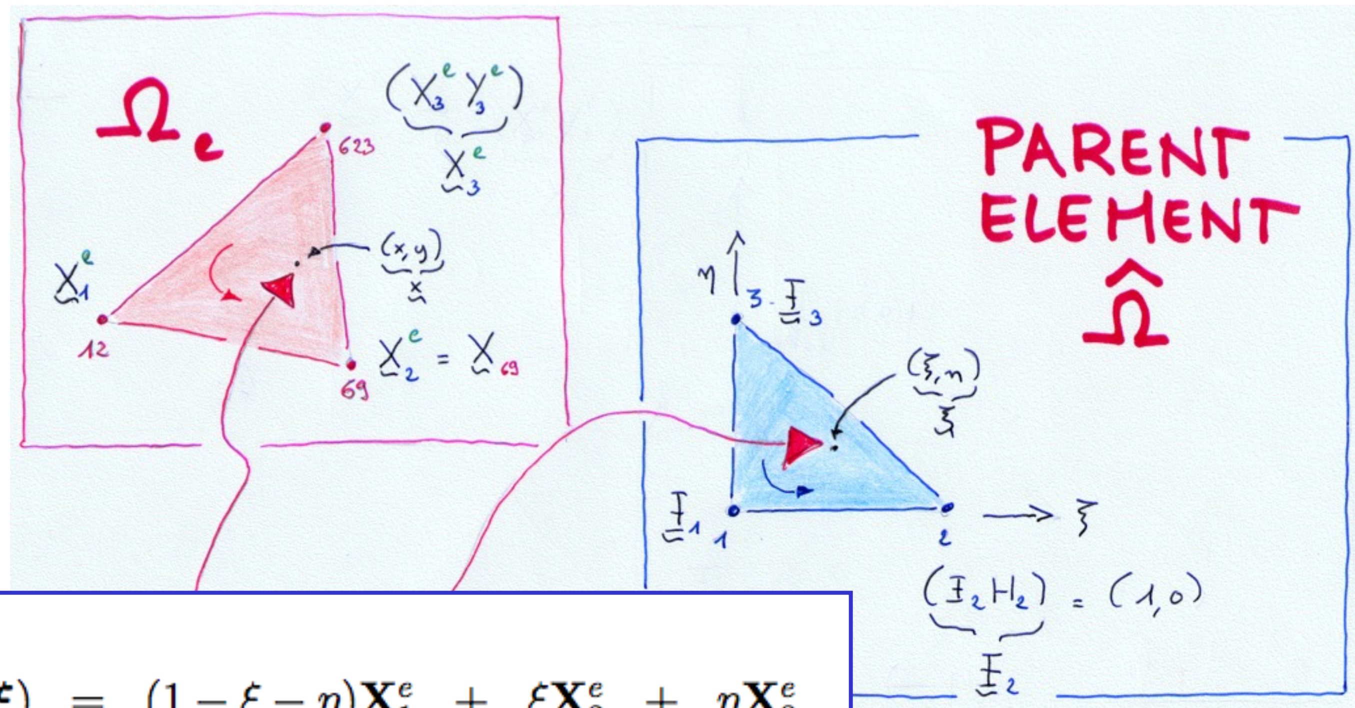
En deux dimensions







Un triangle parent pour définir toutes les fonctions de forme

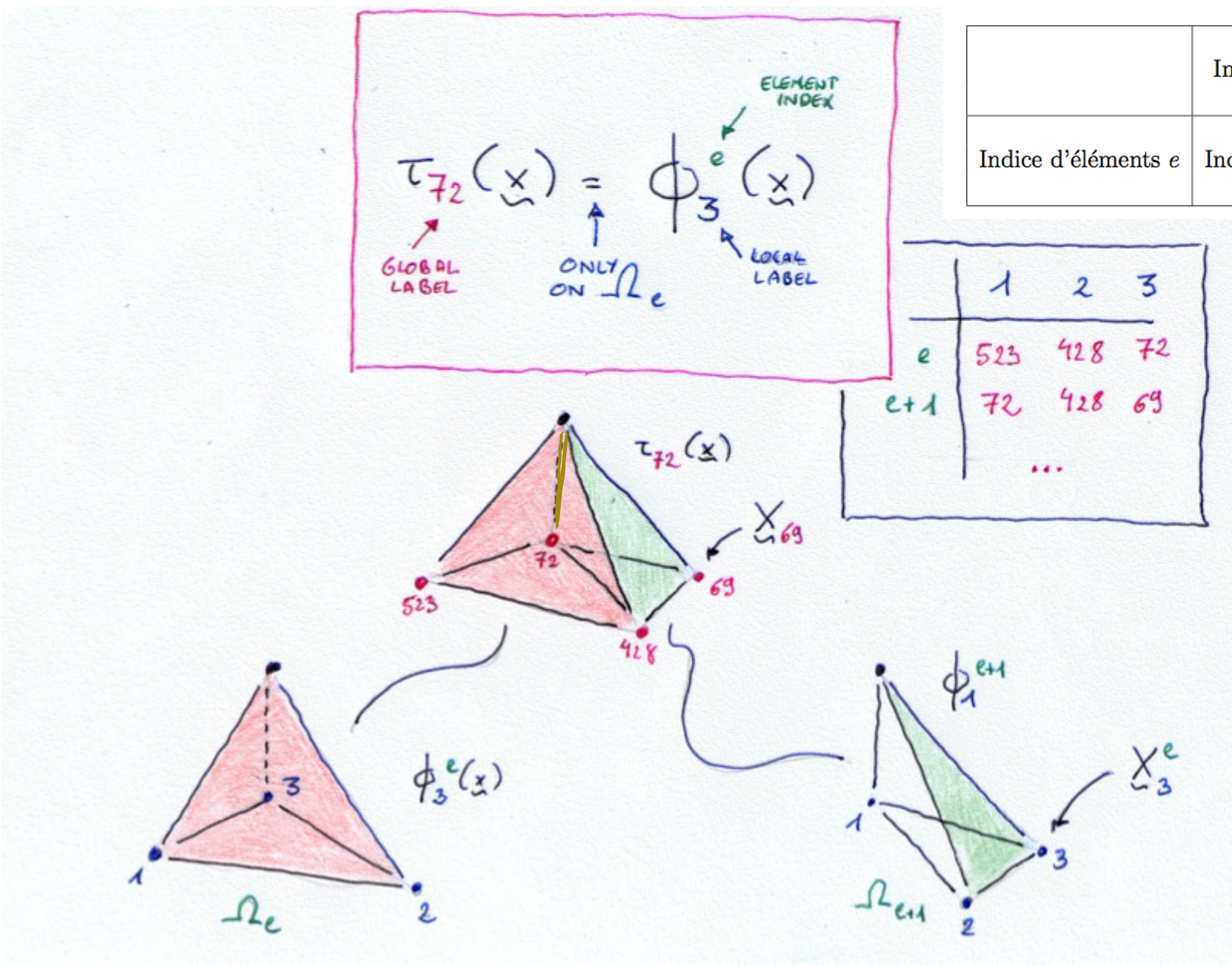


$$\mathbf{x}(\boldsymbol{\xi}) \;=\; (1-\xi-\eta)\mathbf{X}_1^e \;+\; \xi\mathbf{X}_2^e \;+\; \eta\mathbf{X}_3^e.$$

Isomorphisme linéaire entre le triangle parent et tous les autres triangles…

Global shape functions…

	Indice local de noeud i
Indice d'éléments e	Indice global de noeud j



… and local shape functions