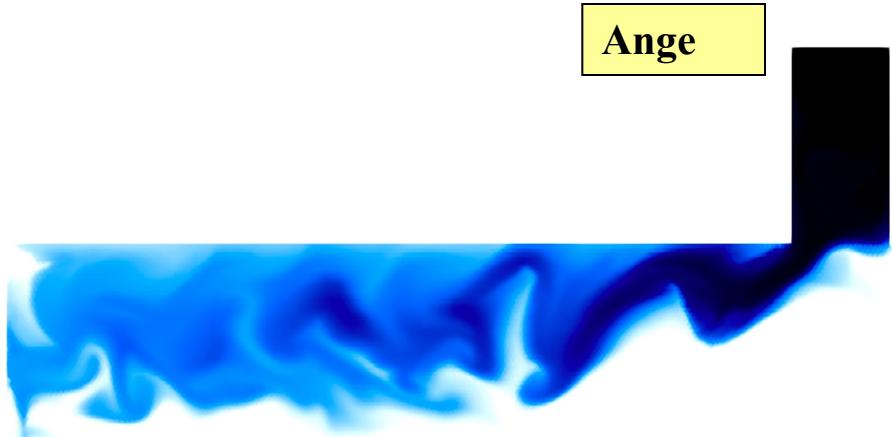


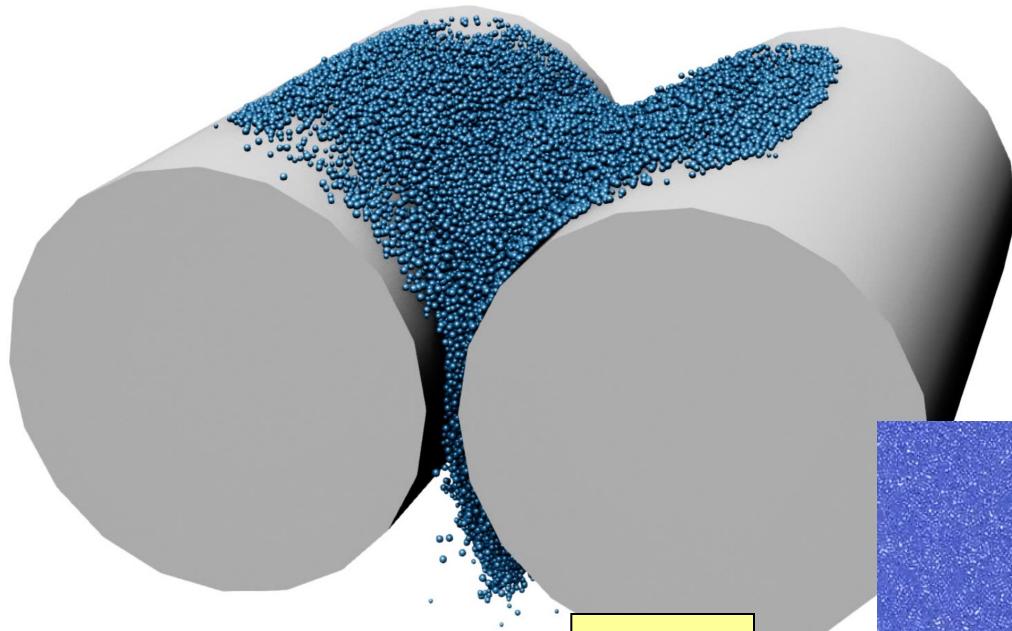
Miguel

Finite Elements

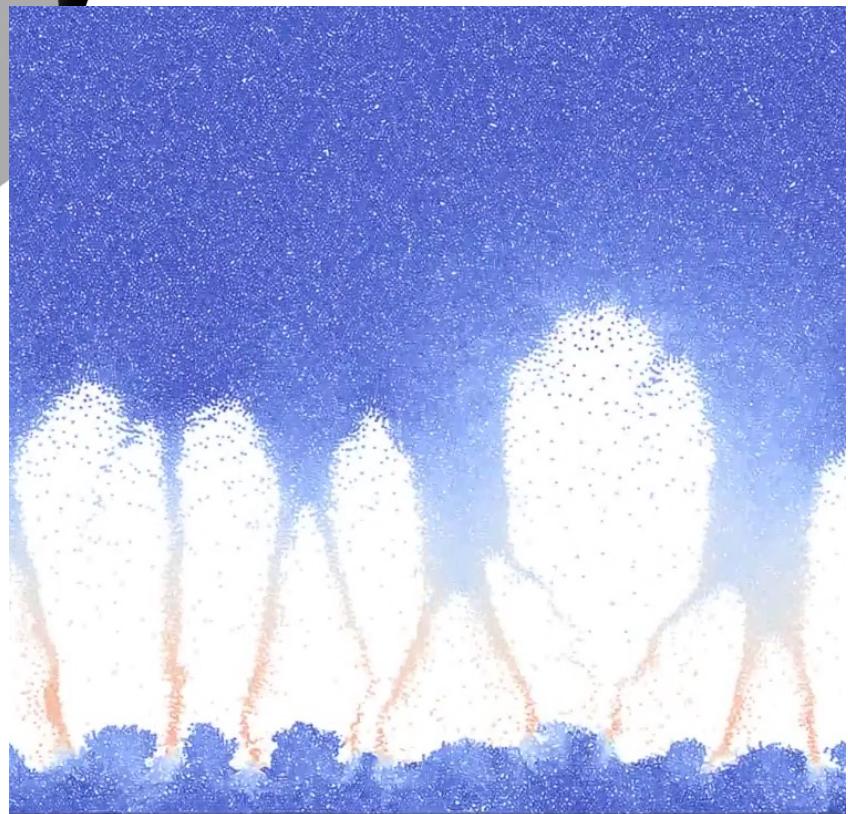


Ange

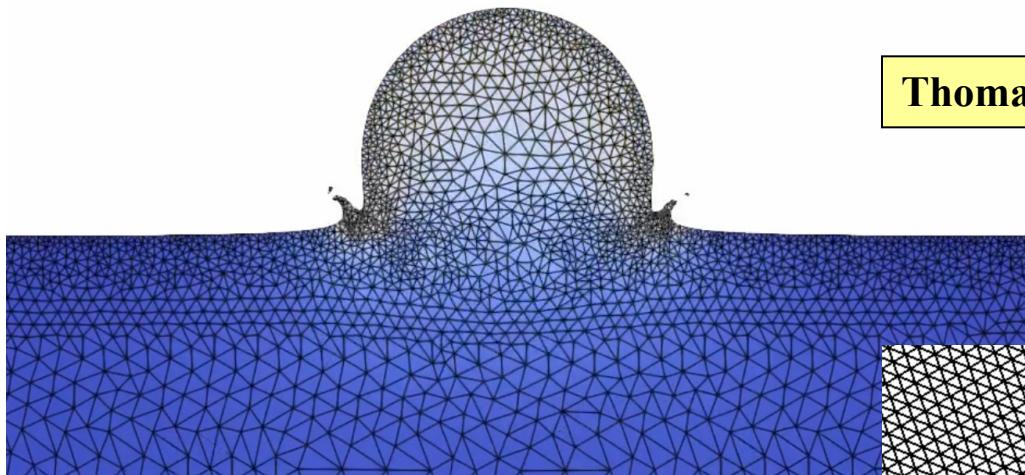
Finite Elements



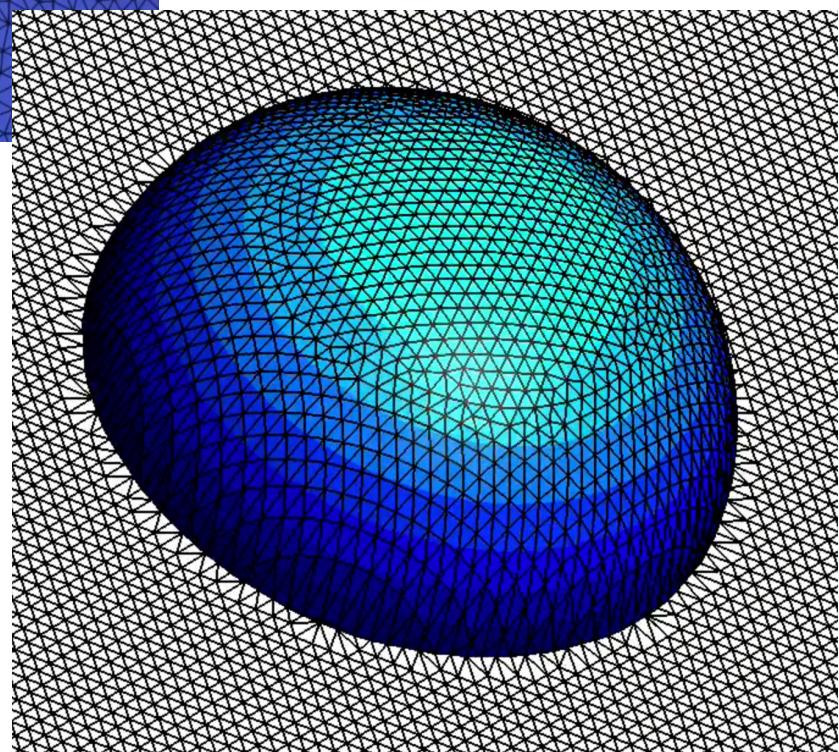
Michel



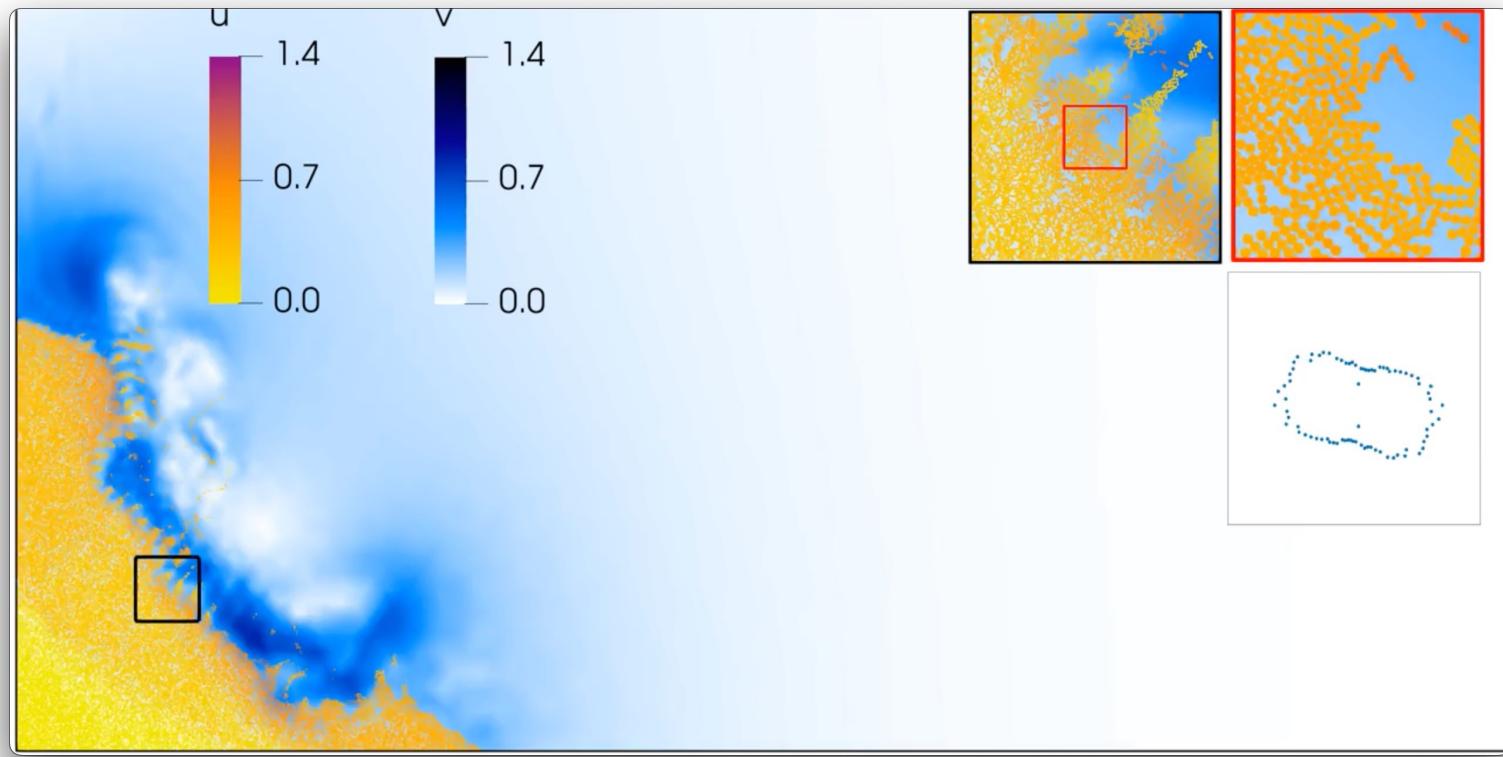
Finite Elements



Thomas



Alexandre



Finite Elements

Nathan

#elements_finis | EPL Bac & Master - Discord

FRONTIÈRES, Niveau grisish, on garde, c'était cool la variété, mais en attendant ça plus tout dans l'airait.

Niveau structure idk

2

11:55 @Martin Il est vrai mais des gens avaient quand même des meilleurs points sans cet atout là
Marbre Fair. (modifié)

12:14 Marbre btw bonjour @Ralof de Rivebois¹¹, ça fait longtemps

12:14 Ralof de Rivebois¹¹ De fait ça fait longtemps

12:14 Ralof de Rivebois¹¹ Et vu que j'ai abandonné l'idée d'aller au cours (ouais j'ai un peu la flemme de tout) ça fera encore plus longtemps 2

1 1

12:14 Ralof de Rivebois¹¹ Cela dit si j'ai pas trop de retard je veux bien y aller 2

13:17 @Ralof de Rivebois¹¹ Cela dit si j'ai pas trop de retard je veux bien y aller 2
Tomx Si t'y vas j'y vais. Seulement si tu y vas 2

13:21 Ralof de Rivebois¹¹ O no

30 janvier 2024

15:09 Matya ya moyen de suivre le cours rien qu'avec les vidéos?

15:16 Kakoooooo Comme le projet change d'année en année, t'as quand-même intérêt à suivre les CMs si tu veux comprendre la physique liée au projet

1 1

15:16 Kakoooooo Sinon les bases liées aux éléments finis sont les mêmes normalement

15:16 Kakoooooo Après comprendre la physique du projet c'est pas nécessaire, parfois c'est de la Méca bien poussée, ceux qui sont pas en Méca vont pas comprendre tout jusqu'au bout 😊 mais au moins il donne l'intuition des équations à résoudre etc

15:18 Marbre Le projet de cette année c'est même style que l'an passé: les déformations élastiques d'un solide

5 5

15:20 Kakoooooo Ah ça a pas changé!
Je sens qu'il y aura pas mal d'inspiration comme en développement durable 2

8 8

16:54 Martin <https://github.com/megaaa13/LEPL110> 2 (modifié)

3 3 2 2 3 3

Envoyer un message dans #éléments_finis

BOT — 4

Carl-bot BOT Joue à help ! carLgg

EPLBot BOT Joue à observer les SINFs f...

MathBot BOT Joue à observer les SINFs f...

LES ROIS — 1

Laaxus

MODO — 2

Ben

Potododo

DRIVE EPL — 2

Kakoooooo

Thomas ↗

SHRENDRICKX LOVE, SHRENDR...

ls25 ↗

STOFFELKING — 1

Mx_Dx

ROCKISTE — 1

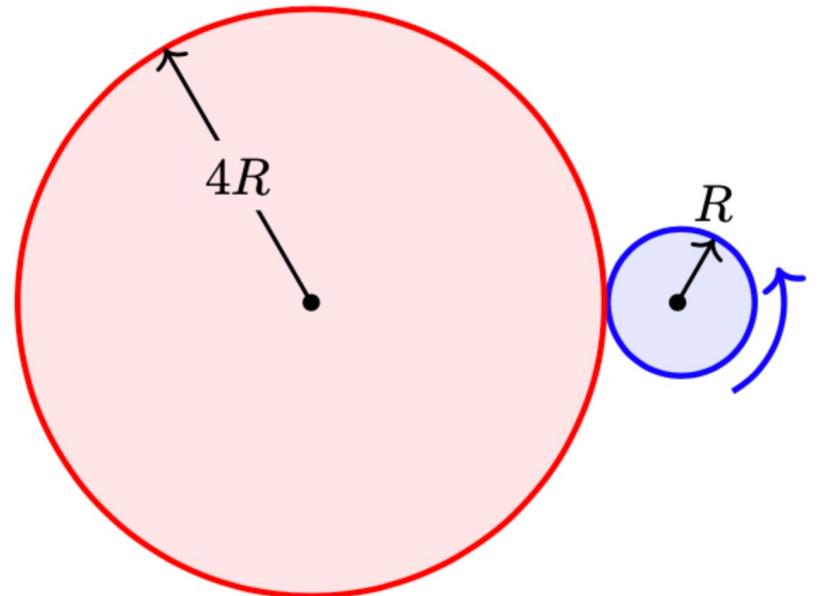
S c'est un 10 mais il est borderli...

GERUITISTE — 1

Laaarge

Faut-il seulement regarder les videos ?

Un petit test pour rire...



Allez sur wooclap.com et utilisez le code **LOYGXU**

Un disque de rayon 1 roule sans glisser autour d'un cercle de ...

- 1 n=2
- 2 n=3
- 3 n=4
- 4 n=5

0% 0 people

0% 0 people

0% 0 people

0% 0 people

wooclap

Votes 1 / 5

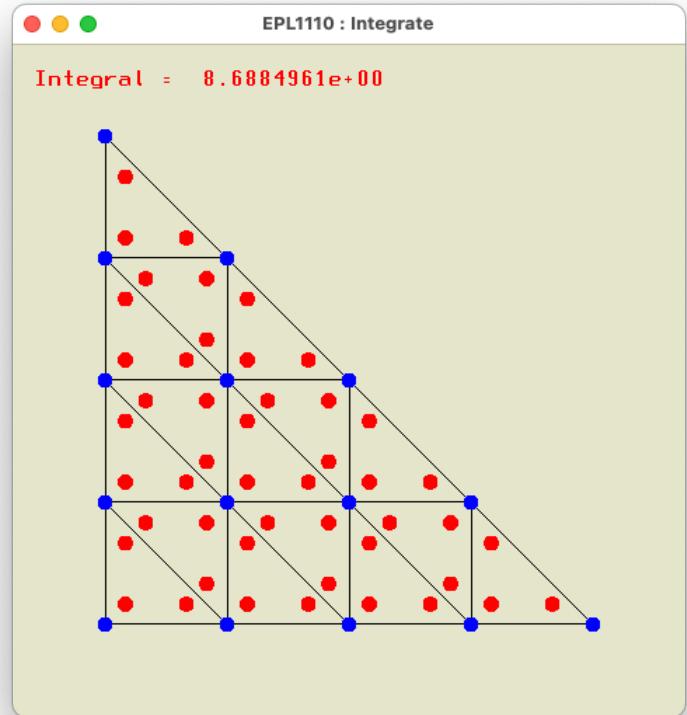
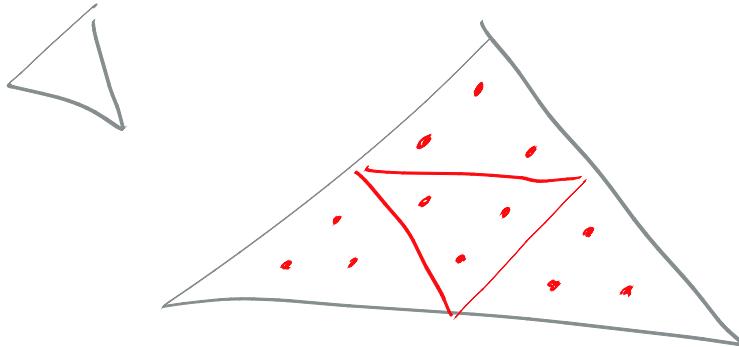
Messages

100 %

0 / 1

Homework 1

$$\underbrace{\int_{\hat{\Omega}} f(x, y) \, dx \, dy}_{I} \approx \underbrace{\sum_{k=1}^3 w_k f(x_k, y_k)}_{I_h}$$



Ecrire la règle de Hammer

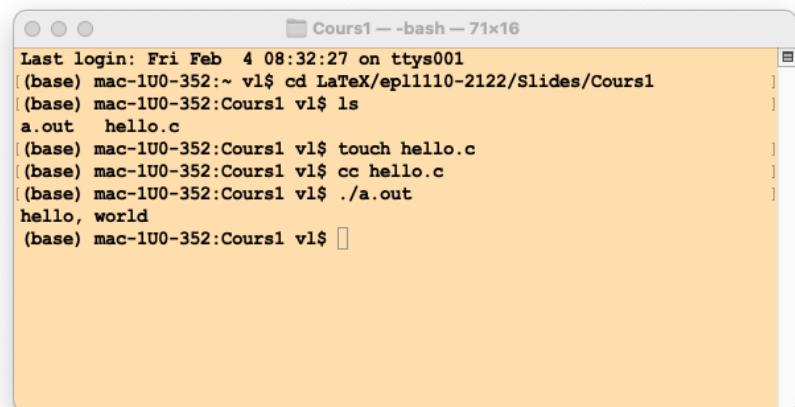
hello.c

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("hello, world\n");
    return 0;
}
```

*Vous aimeriez apprendre à programmer,
mais vous ne savez pas par où commencer ?*

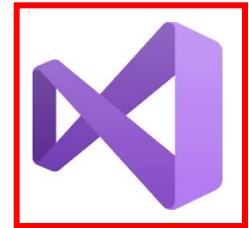
*(autrement dit : vous en avez marre des cours trop
compliqués que vous ne comprenez pas ? :-)*

A screenshot of a macOS terminal window titled 'Cours1 -- bash -- 71x16'. The window shows the following command-line session:

```
Last login: Fri Feb  4 08:32:27 on ttys001
(base) mac-1U0-352:~ vl$ cd LaTeX/ep11110-2122/Slides/Cours1
(base) mac-1U0-352:Cours1 vl$ ls
a.out  hello.c
(base) mac-1U0-352:Cours1 vl$ touch hello.c
(base) mac-1U0-352:Cours1 vl$ cc hello.c
(base) mac-1U0-352:Cours1 vl$ ./a.out
hello, world
(base) mac-1U0-352:Cours1 vl$
```

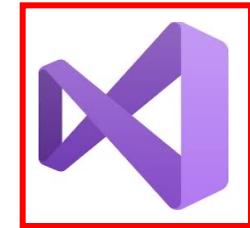
The terminal has a light orange background and a white foreground. The window title bar is black with white text.

Comment compiler hello.c sur votre ordinateur ?



```
Cours1 -- bash -- 93x27
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ touch hello.c
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ cc -c hello.c
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ ls
hello.c hello.o
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ cc -o hello hello.o
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ ./hello
hello, world
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ cc -o yep hello.o
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ ./yep
hello, world
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$
```

Avoir un compilateur sous Windows ?

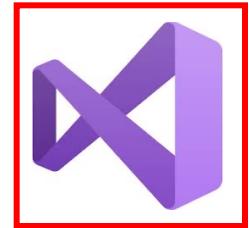


Screenshot of a web browser showing the tdm-gcc download page at <https://jmeubank.github.io/tdm-gcc/download/>. The page features the tdm-gcc logo (a stylized yellow horse head) and a 'Download' section. A red oval highlights the 'tdm64-gcc-10.3.0-2.exe' link, which is described as a 64+32-bit MinGW-w64 edition. The page also lists other download options like 'tdm-gcc-webdl.exe' and 'tdm-gcc-10.3.0.exe'.



Télécharger cmake
Télécharger le compilateur gcc (pas celui de Microsoft !)
Et ensuite, indiquer à vscode de l'utiliser !
Et tout devrait aller tout seul.... (enfin, on espère !)

Avoir un compilateur sous Windows ?

A screenshot of the Visual Studio Code (VS Code) interface. The left sidebar shows 'OPEN EDITORS' with 'Welcome' and 'Settings' selected. Below that is 'INTEGRATE' with 'gfw' and 'src' listed. A file named 'CMakeLists.txt' is also visible. The main area is titled 'cmake options' and shows '3 Settings Found'. It displays three settings under 'User' and 'Workspace': 'Cmake > Options: Advanced', 'Cmake > Options: Status Bar Visibility' (set to 'visible'), and 'Cmake: Show Options Moved Notification'. At the bottom, there's a status bar with icons for outline, timeline, and build status (0 errors, 0 warnings).

Télécharger le compilateur gcc (pas celui de Microsoft !)
Et ensuite, indiquer à vscode de l'utiliser !



Avoir un compilateur sous Mac ?



Résultats pour « xcode »

Filtres ▾

Xcode
Outils de développement
★ ★ ★ ★ 304

Ouvrir

ARTICLE
Xcode, ça sert à quoi déjà ?

GPT Code Creator for Xcode
Outils de développement

Templates for Swift
Outils de développement

Obtenir

Obtenir

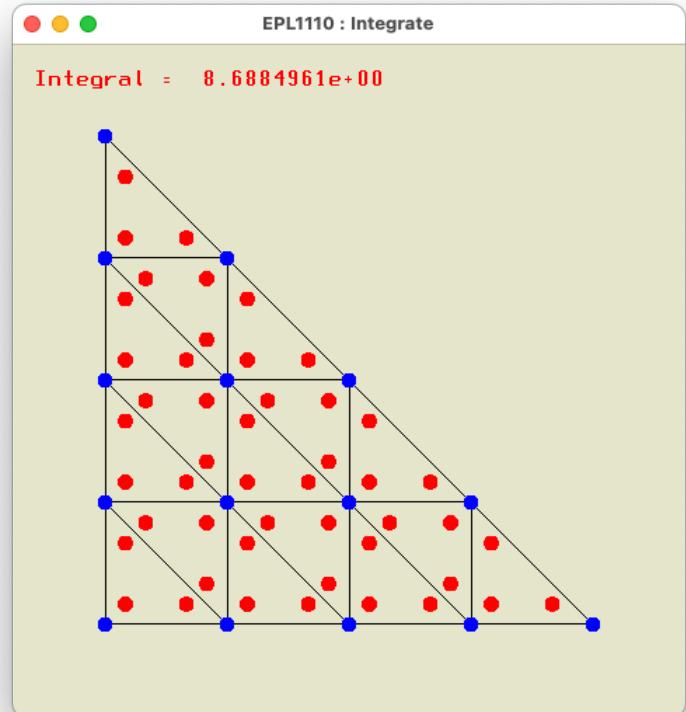
Installer Xcode
Obtenir les commandes dans le terminal
Installer cmake
Et ensuite, vscode trouvera tout cela tout seul !

VL Vincent Legat



Homework 1

$$\underbrace{\int_{\widehat{\Omega}} f(x, y) \, dx \, dy}_{I} \approx \underbrace{\sum_{k=1}^3 w_k f(x_k, y_k)}_{I_h}$$



Ecrire la règle de Hammer

mainBasic.c

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

double integrate(double x[3], double y[3], double(*f)(double,double));
double integrateRecursive(double x[3], double y[3], double(*f)(double,double), int n);

double fun(double x, double y)  { return cos(x) + y * y; }
double stupid(double x, double y)  { return 1.0; }

int main()
{
    double x[3] = {0, 1, 0};
    double y[3] = {0, 0, 1};
    int n;
    printf("Surface integration      : %14.7e \n", integrate(x,y,stupid));
    printf("More funny integration : %14.7e \n", integrate(x,y,fun));
    for (n=0;  n <= 4; n++) {
        double I = integrateRecursive(x,y,fun,n);
        printf("Recursive integration (n = %2d) : %14.7e \n", n,I);
    }
    return 0;
}
```

homework.c et mainBasic.c

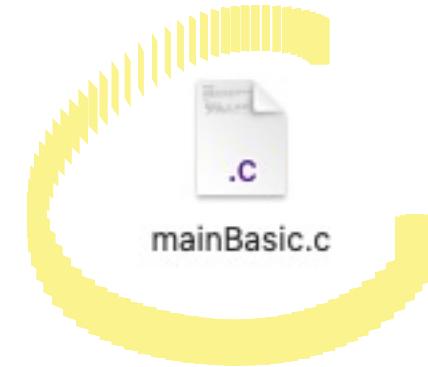
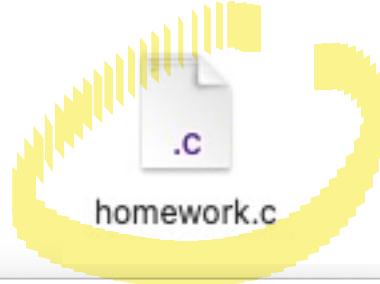
```
double integrate(double x[3], double y[3], double (*f) (double, double))
{
    double I = 3.14;
    return I;
}

double integrateRecursive(double x[3], double y[3], double (*f)(double,double), int n)
{
    double I = 0.0;
    return I;
}
```

```
double fun(double x, double y) { return cos(x) + y * y; }
double stupid(double x, double y) { return 1.0; }

int main()
{
    double x[3] = {0, 1, 0};
    double y[3] = {0, 0, 1};
    int n;
    printf("Surface integration : %14.7e \n", integrate(x,y,stupid));
    printf("More funny integration : %14.7e \n", integrate(x,y,fun));
    for (n=0; n <= 1; n++) {
        double I = integrateRecursive(x,y,fun,n);
        printf("Recursive integration (n = %2d) : %14.7e \n", n,I);
    }
    return 0;
}
```

Comment compiler le devoir sur votre ordinateur ?



```
Cours1 -- bash -- 79x29
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ cc -o myFem mainBasic.c homework.c ←
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ ./myFem
Surface integration : 3.1400000e+00
More funny integration : 3.1400000e+00
Recursive integration (n = 0) : 0.0000000e+00
Recursive integration (n = 1) : 0.0000000e+00
Recursive integration (n = 2) : 0.0000000e+00
Recursive integration (n = 3) : 0.0000000e+00
Recursive integration (n = 4) : 0.0000000e+00
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ cc -o myFem mainBasic.c homeworkSoluce.c
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$ ./myFem
Surface integration : 5.0000000e-01
More funny integration : 5.4302895e-01
Recursive integration (n = 0) : 5.4302895e-01
Recursive integration (n = 1) : 2.1721229e+00
Recursive integration (n = 2) : 8.6884961e+00
Recursive integration (n = 3) : 3.4753986e+01
Recursive integration (n = 4) : 1.3901594e+02
(base) mac-1U0-352:Cours1 v1$
```

Bon : c'est aussi simple ?

Introduction aux éléments finis (LEPL1110)

Vincent Legat
Jean-François Remacle
Louvain School of Engineering
Université catholique de Louvain

Il faut d'abord t'identifier :-)

News Documents Videos & podcasts !

Comment obtenir un exécutable sur votre ordinateur ? Programmes Python Devoirs en C

Devoirs en C...
Les énoncés seront disponibles progressivement...

Devoir 1 : Integrate (02-02-2022)
Projet à télécharger : [Integrate.zip](#)
Enoncé du devoir : [Integrate.pdf](#)
Deadline : **Lundi 14 février 2022 à 23h59**

© 2020 Vincent Legat Contact - Support

```
src -- bash -- 90x27
IntegrateWithoutBov    homework.c
hello                  homeworkSoluce.c
hello.c                mainBasic.c
(base) mac-1U0-352:Cours1 vl$ cd Integrate
(base) mac-1U0-352:Integrate vl$ ls
CMakeLists.txt  glfw      src
(base) mac-1U0-352:Integrate vl$ cd src
(base) mac-1U0-352:src vl$ ls
fem.c                 glfem.c     homework.c
fem.h                 glfem.h     main.c
(base) mac-1U0-352:src vl$ gcc -o myFem *.c
In file included from glfem.c:10:
./glfem.h:21:10: fatal error: 'GLFW/glfw3.h' file not found
#include <GLFW/glfw3.h>
^~~~~~
1 error generated.
In file included from homework.c:3:
./glfem.h:21:10: fatal error: 'GLFW/glfw3.h' file not found
#include <GLFW/glfw3.h>
^~~~~~
1 error generated.
In file included from main.c:5:
./glfem.h:21:10: fatal error: 'GLFW/glfw3.h' file not found
#include <GLFW/glfw3.h>
^~~~~~
1 error generated.
(base) mac-1U0-352:src vl$
```

Eh non !

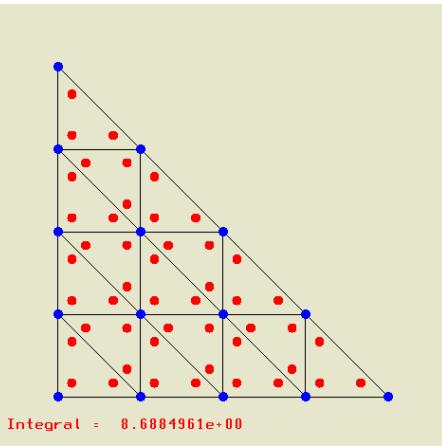
The image shows two side-by-side browser windows. The left window displays a code editor with C-like code, showing lines 1 through 11. It includes a status bar with 'Position: Ln 11, Ch 1' and 'Total: Ln 65, Ch 1656'. Below the editor are several small colored icons (red, green, blue) and three buttons: 'Exécuter le programme sur le serveur', 'Voir le diagnostic', and 'Valider son programme'. The right window shows a course page for 'EPL1110' with a navigation bar at the top. The main content area features a cartoon character inside a triangle, the title 'Introduction aux éléments finis (LEPL1110)', and the authors' names. Below this are several blue buttons for navigation: 'News', 'Documents', 'Vidéos & podcasts!', 'Comment obtenir un exécutable sur votre ordinateur ?', 'Programmes Python', 'Devoirs en C', 'Liste des étudiants', 'Liste des groupes', 'Équipe didactique', 'Former son groupe', and a large button at the bottom labeled 'Soumettre le devoir 1 Intégrale' which is circled in red. The footer of the right window includes copyright information and a 'Contact - Support' link.

Soumettre votre devoir !

Tous les devoirs seront corrigés de manière automatique !
Bien veiller à ce que la version soumise soit bien compilée !
Aucune soumission tardive ne sera admise !
Les devoirs sont réalisés individuellement !

Exécution et soumission d'un programme sur le serveur...

Groupe : 1 (vlegat-jeremacle)
 Binôme : Remacle, Jean-François
 Deadline : February 14 2022 23:59:59.
 Now : February 04 2022 09:06:11.



```

int i,j;
const int nodes[4][3] = {{0,3,5},{3,1,4},{5,4,2},{3,4,5}};
const double xsi[6] = {0.0,1.0,0.0,0.5,0.5,0.0};
const double eta[6] = {0.0,0.0,1.0,0.0,0.5,0.5};
double xLoc[3];
double yLoc[3];

if (n <= 0) return integrate(x,y,f);

double I = 0.0;
for (i=0; i<4; i++) {
    for (j=0; j<3; j++) {
        double xsiLoc = xsi[nodes[i][j]];
        double etaLoc = eta[nodes[i][j]];
        xLoc[j] = interpolate(x,xsiLoc,etaLoc);
        yLoc[j] = interpolate(y,xsiLoc,etaLoc); }
    I += integrateRecursive(xLoc,yLoc,f,n-1); }

return I;
}

```

Faire une nouvelle soumission Voir le diagnostic

© 2020 Vincent Legat

Validé son programme

© 2020 Vincent Legat Contact - Support

Valider et vérifier son devoir !

homework.c

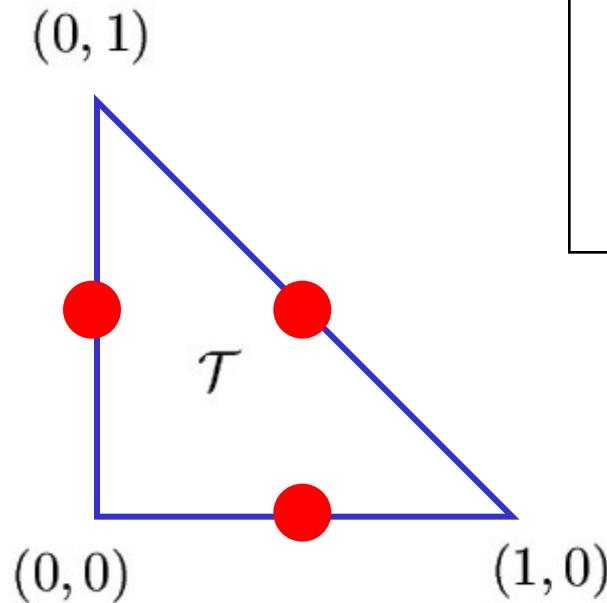
La solution doit se trouver dans le fichier homework.c uniquement.... On ne regarde jamais main.c !

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

double integrate(double x[3], double y[3], double (*f) (double, double))
{
    double I = 3.14;
    int I;
    for (i=0; i<3; i++)
        printf("    === node %d : %14.7e %14.7e \n",i+1,x[i],y[i]);
    return I;
}

double integrateRecursive(double x[3], double y[3], double (*f)(double,double), int n)
{
    double I = 0.0;
    return I;
}
```

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 |
| 2 | 0.5 | 0.5 |
| 3 | 0.0 | 0.5 |

Interrogation (mai 2003)

Démontrer que la formule de Hammer à trois points permet d'intégrer exactement n'importe quel polynôme à deux variables de degré deux : $a + bx + cy + dx^2 + ey^2 + fxy$

Question

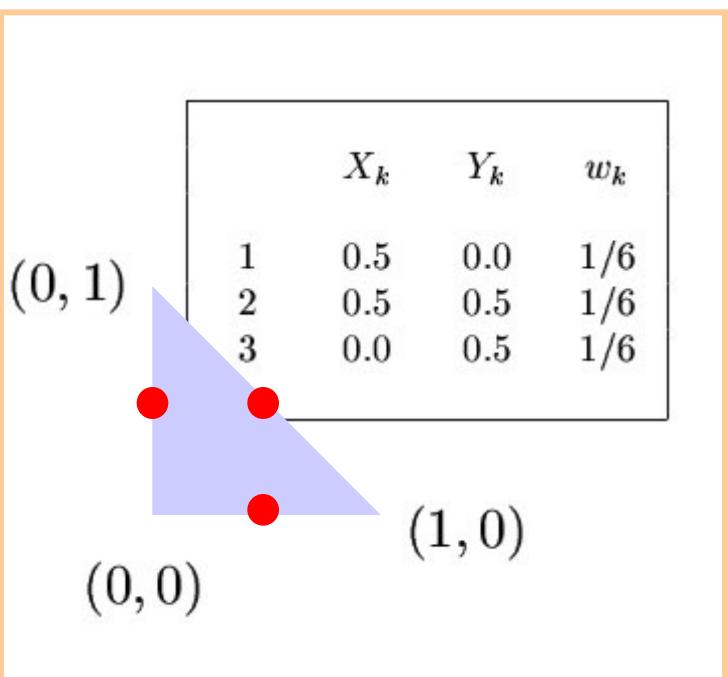
$$\begin{aligned}
 I &= \frac{a}{2} + b \int_0^1 x \int_0^{1-x} dy \, dx + c \int_0^1 y \int_0^{1-y} dx \, dy \\
 &\quad + d \int_0^1 x^2 \int_0^{1-x} dy \, dx + e \int_0^1 y^2 \int_0^{1-y} dx \, dy + f \int_0^1 x \int_0^{1-x} y \, dy \, dx \\
 &= \frac{a}{2} + b \left[\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} \right]_0^1 + c \left[\frac{y^2}{2} - \frac{y^3}{3} \right]_0^1 \\
 &\quad + d \left[\frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} \right]_0^1 + e \left[\frac{y^3}{3} - \frac{y^4}{4} \right]_0^1 + f \left[\frac{x^2}{4} - \frac{x^3}{3} + \frac{x^4}{8} \right]_0^1 \\
 &= \frac{a}{2} + \frac{b}{6} + \frac{c}{6} + \frac{d}{12} + \frac{e}{12} + \frac{f}{24} \\
 &= I^h
 \end{aligned}$$



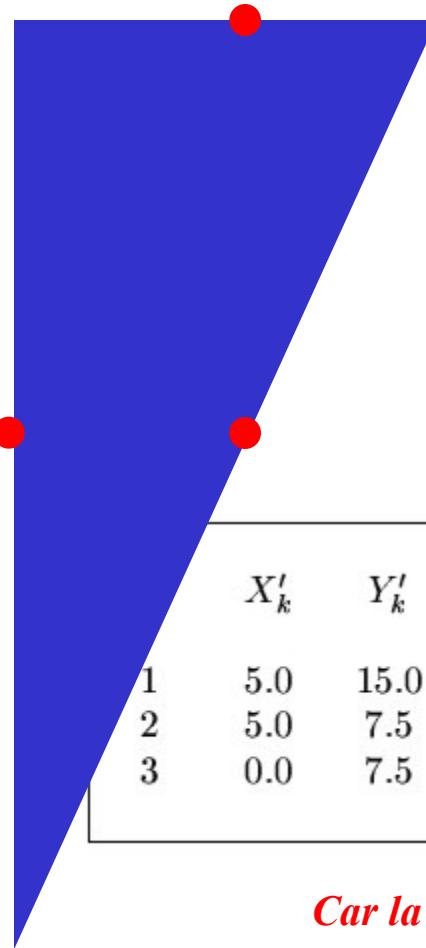
Degré de précision

Et un autre triangle ?

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



$(0, 15)$ $(10, 15)$



*Car la valeur
absolue du jacobien
= 150*

Effectuons cela ensemble !

Screenshot of a web browser showing the zouLab 1.0.0 : epl1110 website.

The browser's address bar shows: perso.uclouvain.be/vincent.legat/zouLab/epl1110

The page header includes:

- EPL1110 logo
- News
- Horaire
- Documents
- S'identifier

The main content area features several buttons:

- News
- Documents
- Videos & podcasts !
- Installer vscode et copilot sur votre ordinateur !
- Programmes Python
- Devoirs en C

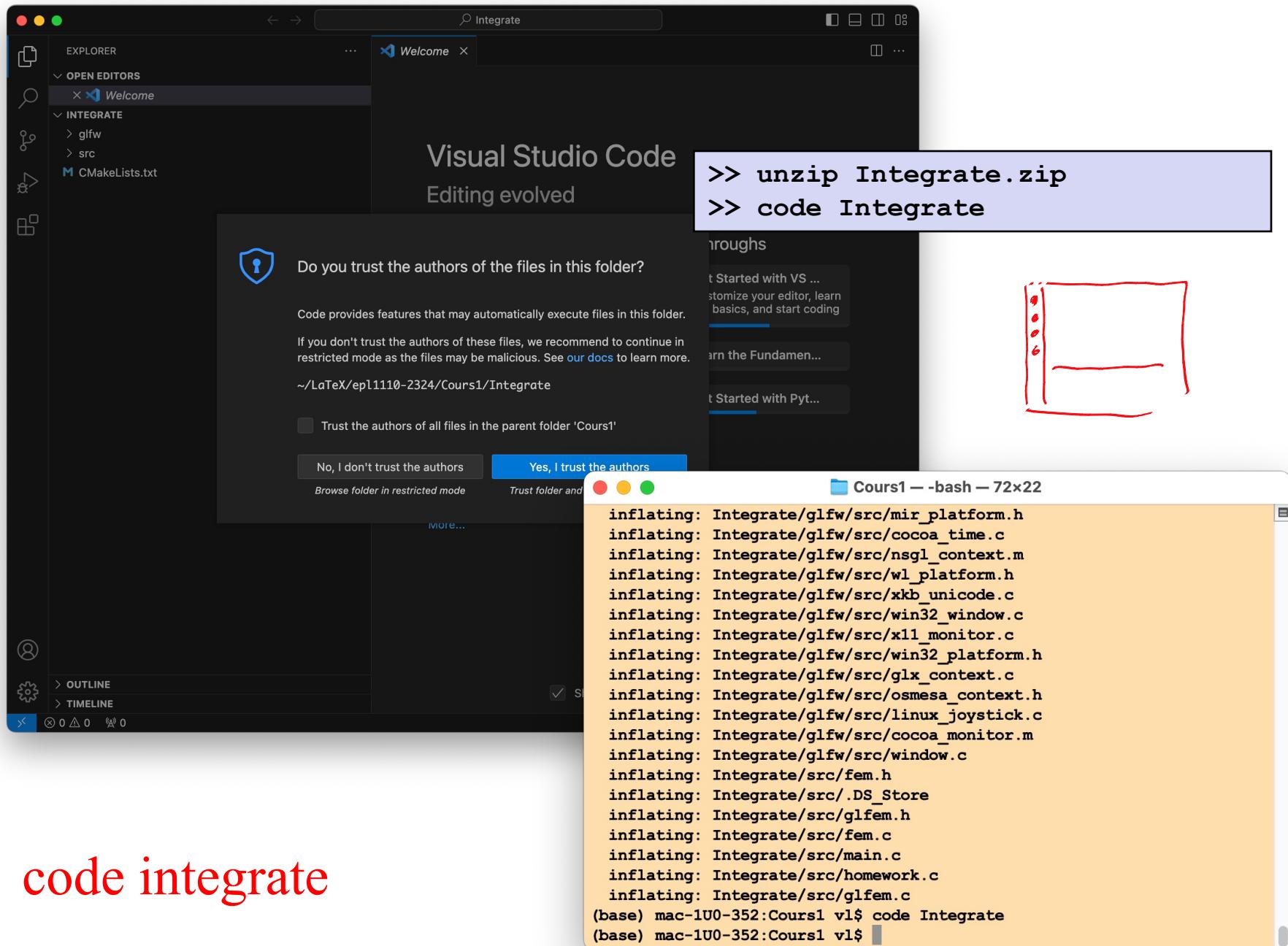
A section titled "Devoirs en C..." displays the message: "Les énoncés seront disponibles progressivement..."

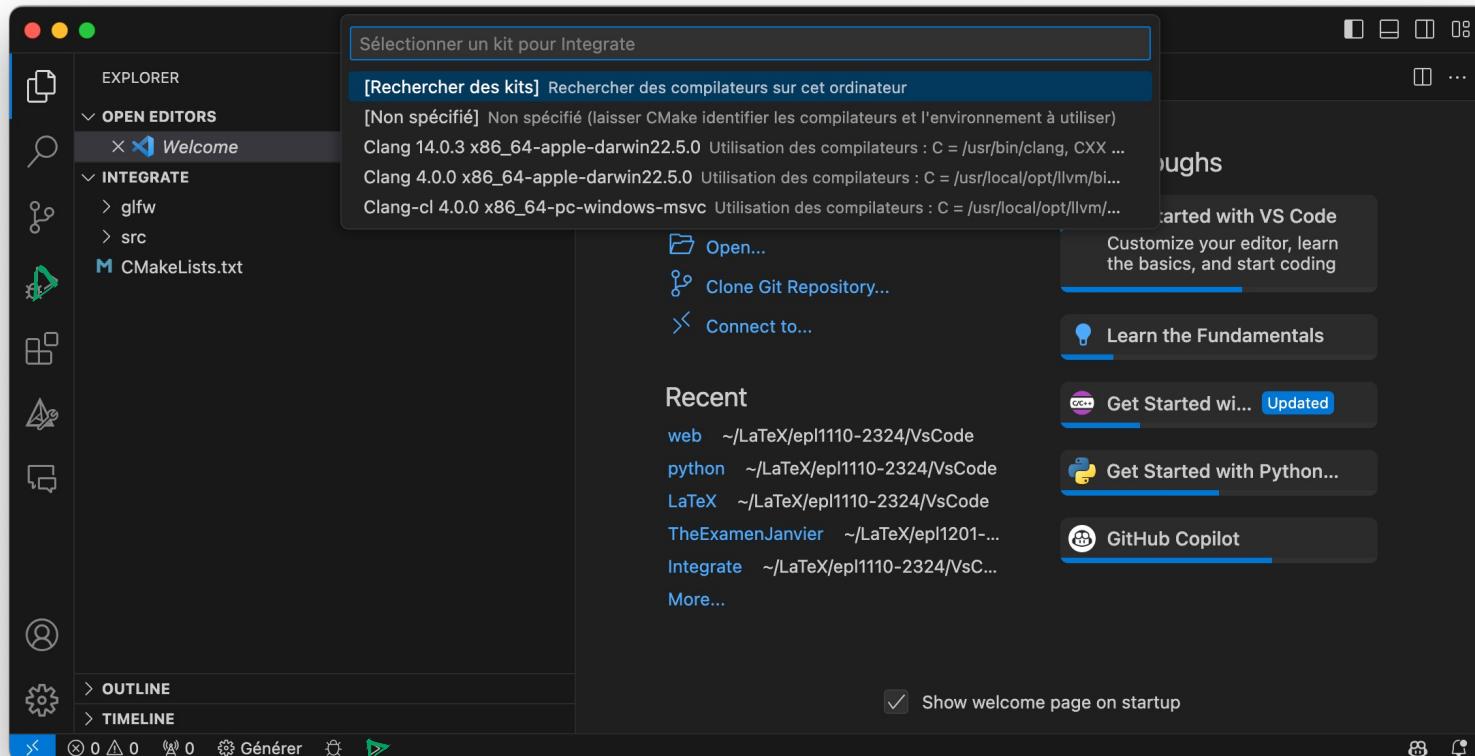
A blue box contains:

- Devoir 1 : Integrate (25/01/2024)**
- Projet à télécharger : [Integrate.zip](#)
- Enoncé du devoir : [Integrate.pdf](#)
- Deadline : **Lundi 19 février 2024 à 23h59**

At the bottom left: © 2020 Vincent Legat

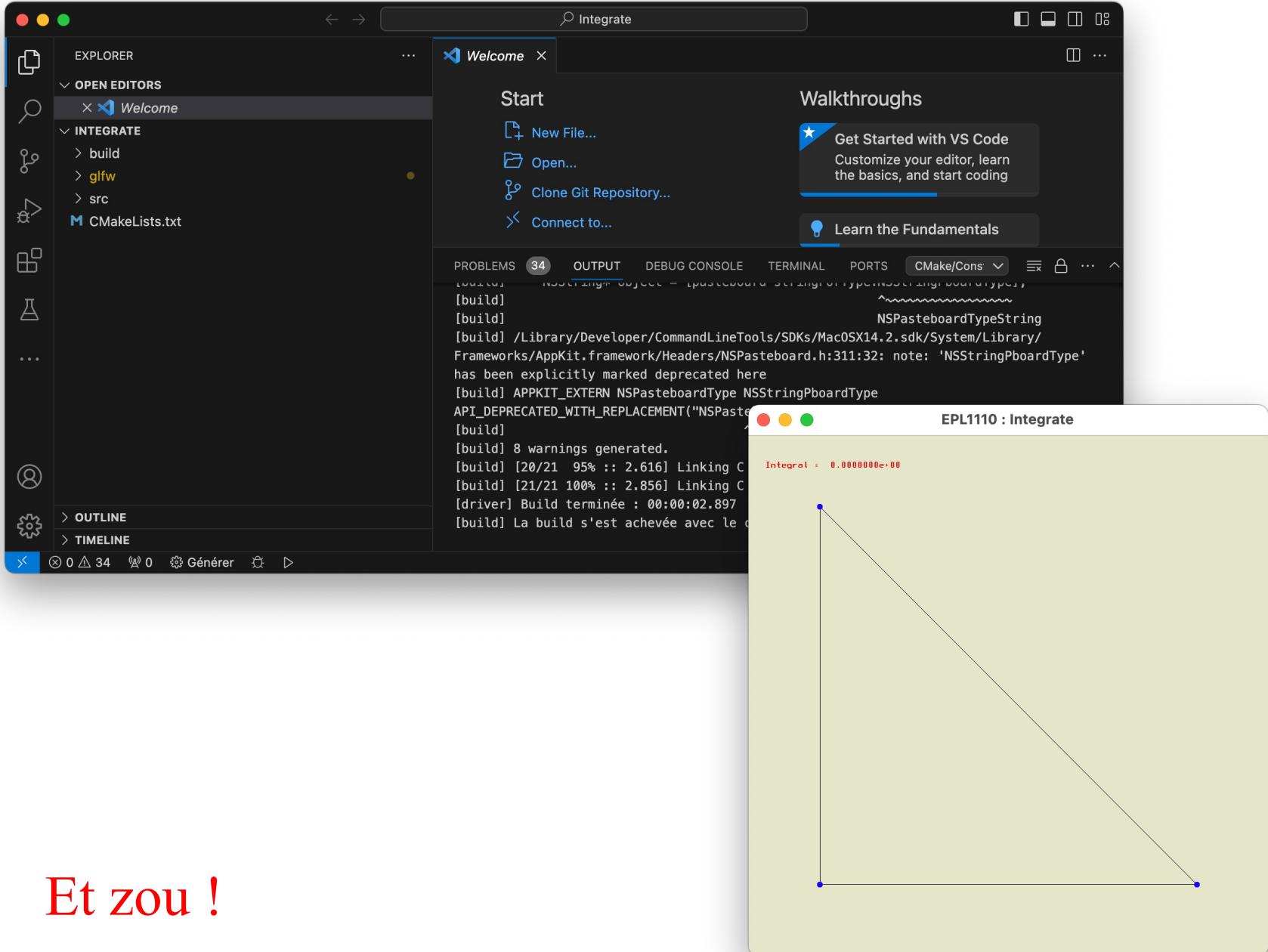
At the bottom right: Contact - Support

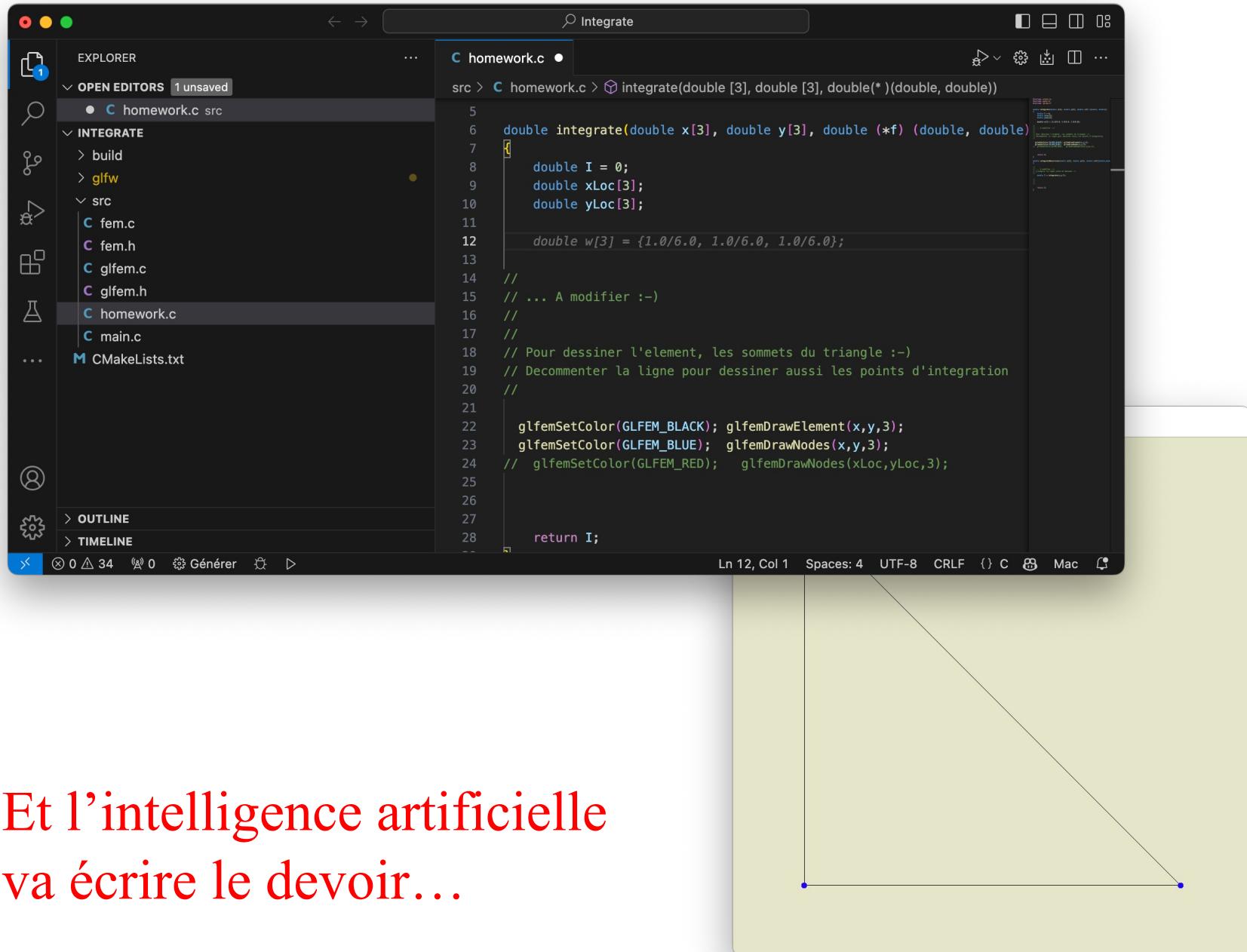




cliquer
ici ↗

Sélectionner le compilateur !
Lancer la compilation et l'exécution !





Integrate

EXPLORER

OPEN EDITORS 1 unsaved

C homework.c src

INTEGRATE

build

glfw

src

fem.c

fem.h

glfem.c

glfem.h

homework.c

main.c

CMakeLists.txt

C homework.c ●

src > C homework.c > integrate(double [3], double [3], double(*) (double, double))

```
5
6     double integrate(double x[3], double y[3], double (*f) (double, double)
7     {
8         double I = 0;
9         double xLoc[3];
10        double yLoc[3];
11
12        double w[3] = {1.0/6.0, 1.0/6.0, 1.0/6.0};
13
14        //
15        // ... A modifier :-
16        //
17        //
18        // Pour dessiner l'element, les sommets du triangle :-
19        // Decommenter la ligne pour dessiner aussi les points d'integration
20        //
21
22        glfemSetColor(GLFEM_BLACK); glfemDrawElement(x,y,3);
23        glfemSetColor(GLFEM_BLUE); glfemDrawNodes(x,y,3);
24        // glfemSetColor(GLFEM_RED); glfemDrawNodes(xLoc,yLoc,3);
25
26
27
28    return I;
--
```

Ln 12, Col 1 Spaces: 4 UTF-8 CRLF {} C Mac ⌂

Et l'intelligence artificielle va écrire le devoir...

Integrate

EXPLORER

OPEN EDITORS

homework.c src

INTEGRATE

> build

> glfw

> src

CMakeLists.txt

src > C homework.c > integrate(double [3], double [3], double(*)(double, double))

```
15     xLoc[0] = x[0] * (1 - xsi[0] - eta[0]) + x[1] * xsi[0] + x[2] * eta[0];
16     xLoc[1] = x[0] * (1 - xsi[1] - eta[1]) + x[1] * xsi[1] + x[2] * eta[1];
17     xLoc[2] = x[0] * (1 - xsi[2] - eta[2]) + x[1] * xsi[2] + x[2] * eta[2];
18     yLoc[0] = y[0] * (1 - xsi[0] - eta[0]) + y[1] * xsi[0] + y[2] * eta[0];
19     yLoc[1] = y[0] * (1 - xsi[1] - eta[1]) + y[1] * xsi[1] + y[2] * eta[1];
20     yLoc[2] = y[0] * (1 - xsi[2] - eta[2]) + y[1] * xsi[2] + y[2] * eta[2];
21
22 //
```

PROBLEMS 1

/Users/vl/LaTeX/epl1112

(base) vl@mac-1U0-352

(base) vl@mac-1U0-352

EPL1110 : Integrate

Integral = 0.000000e+00

Et copilot
a fait le job !

Integrate

EXPLORER

OPEN EDITORS

homework.c src

INTEGRATE

> build

> glfw

> src

CMakeLists.txt

PROBLEMS 1 OUT

/Users/vl/LaTeX/epl1

(base) vl@mac-1U0-3

(base) vl@mac-1U0-3

EPL1110 : Integrate

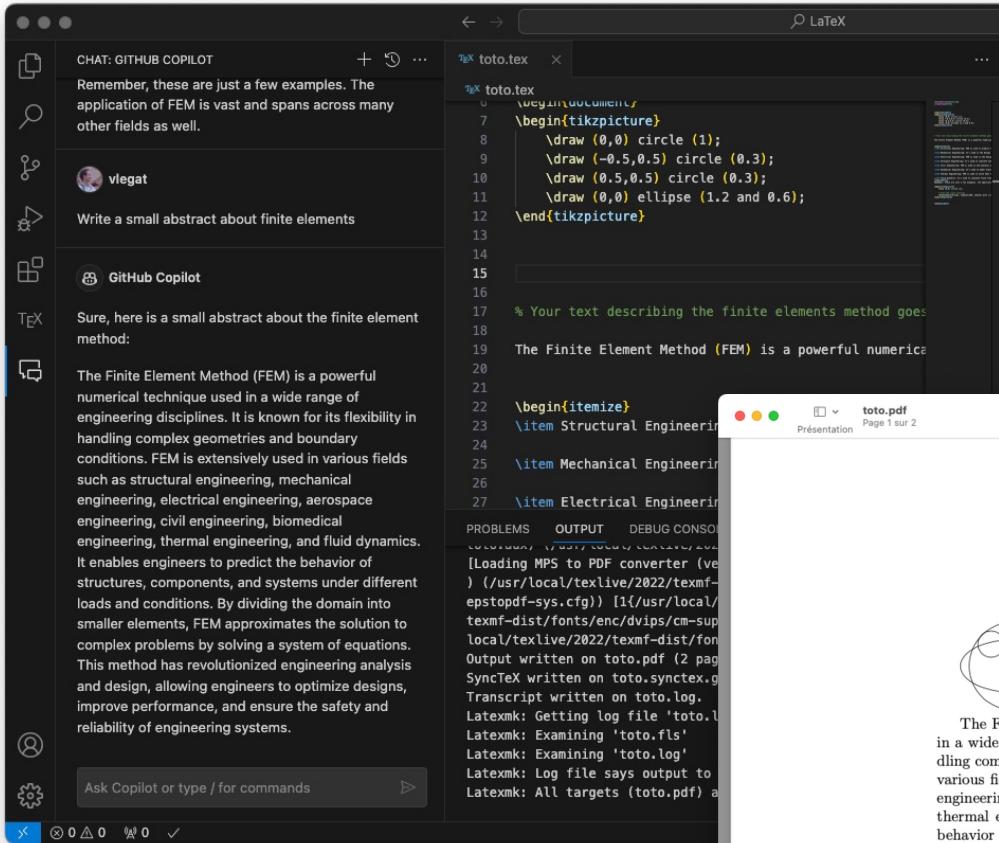
Integral = 4.9298827e+00

src > C homework.c > integrate(double [3], double [3], double(*)(double, double))

```
15     xLoc[0] = x[0] * (1 - xsi[0] - eta[0]) + x[1] * xsi[0] + x[2] * eta[0];
16     xLoc[1] = x[0] * (1 - xsi[1] - eta[1]) + x[1] * xsi[1] + x[2] * eta[1];
17     xLoc[2] = x[0] * (1 - xsi[2] - eta[2]) + x[1] * xsi[2] + x[2] * eta[2];
18     yLoc[0] = y[0] * (1 - xsi[0] - eta[0]) + y[1] * xsi[0] + y[2] * eta[0];
19     yLoc[1] = y[0] * (1 - xsi[1] - eta[1]) + y[1] * xsi[1] + y[2] * eta[1];
20     yLoc[2] = y[0] * (1 - xsi[2] - eta[2]) + y[1] * xsi[2] + y[2] * eta[2];
21
22 //
```

Enfin
plus ou moins....

Et même le rapport en LaTeX !



CHAT: GITHUB COPILOT

Remember, these are just a few examples. The application of FEM is vast and spans across many other fields as well.

vlegat

Write a small abstract about finite elements

GitHub Copilot

Sure, here is a small abstract about the finite element method:

The Finite Element Method (FEM) is a powerful numerical technique used in a wide range of engineering disciplines. It is known for its flexibility in handling complex geometries and boundary conditions. FEM is extensively used in various fields such as structural engineering, mechanical engineering, aerospace engineering, civil engineering, biomedical engineering, thermal engineering, and fluid dynamics. It enables engineers to predict the behavior of structures, components, and systems under different loads and conditions. By dividing the domain into smaller elements, FEM approximates the solution to complex problems by solving a system of equations. This method has revolutionized engineering analysis and design, allowing engineers to optimize designs, improve performance, and ensure the safety and reliability of engineering systems.

Ask Copilot or type / for commands ➤

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE

[Loading MPS to PDF converter (ve) (/usr/local/texlive/2022/texmf-epstopdf-sys.cfg)] [if/usr/local/texmf-dist/fonts/enc/dvips/cm-sup local/texlive/2022/texmf-dist/for Output written on toto.pdf (2 pag SyncTeX written on toto.synctex.g Transcript written on toto.log. Latexmk: Getting log file 'toto.l Latexmk: Examining 'toto.fl' Latexmk: Examining 'toto.log' Latexmk: Log file says output to Latexmk: All targets (toto.pdf) a

toto.pdf

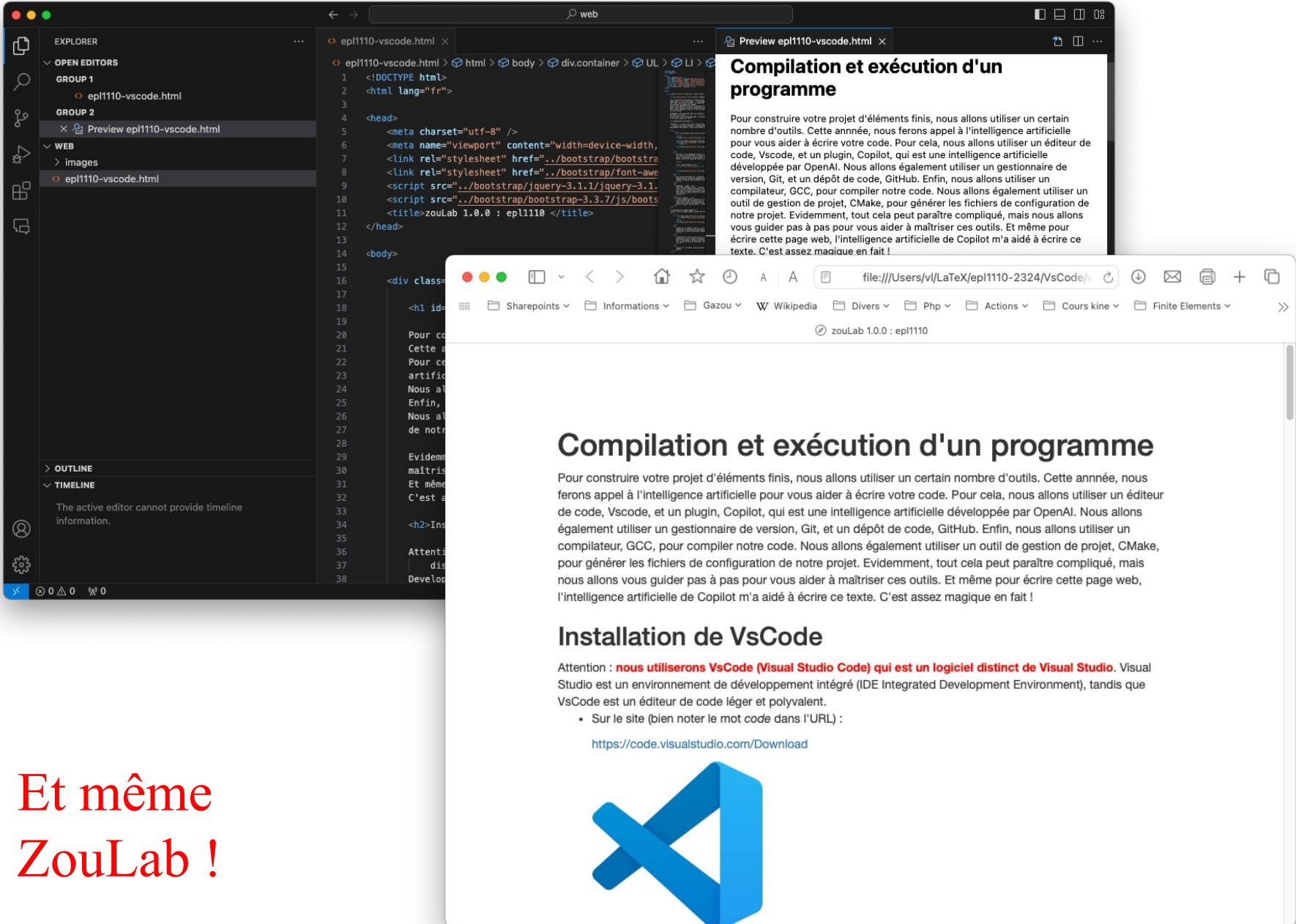
toto.pdf

toto.pdf

The Finite Element Method (FEM) is a powerful numerical technique used in a wide range of engineering disciplines. It is known for its flexibility in handling complex geometries and boundary conditions. FEM is extensively used in various fields such as structural engineering, mechanical engineering, electrical engineering, aerospace engineering, civil engineering, biomedical engineering, thermal engineering, and fluid dynamics. It enables engineers to predict the behavior of structures, components, and systems under different loads and conditions. By dividing the domain into smaller elements, FEM approximates the solution to complex problems by solving a system of equations. This method has revolutionized engineering analysis and design, allowing engineers to optimize designs, improve performance, and ensure the safety and reliability of engineering systems.

- Structural Engineering: FEM is used to predict the behavior of buildings, bridges, towers, and other structures under various loads to ensure they can safely withstand the forces they will be subjected to.
- Mechanical Engineering: It's used in the design and analysis of mechanical components and systems, such as predicting the stress and strain in mechanical parts under load.
- Electrical Engineering: FEM is used in the design and analysis of electrical and electronic components, such as antennas, waveguides, and microelectronic devices.
- Aerospace Engineering: It's used to simulate and analyze the behavior of aircraft and spacecraft structures under various conditions.
- Civil Engineering: FEM is used in the analysis and design of civil infrastructure like dams, tunnels, and roads.
- Biomedical Engineering: It's used to model biological systems, such as the flow of blood in arteries, the mechanical behavior of bones and tissues, etc.

Et même ZouLab !



Compilation et exécution d'un programme

Pour construire votre projet d'éléments finis, nous allons utiliser un certain nombre d'outils. Cette année, nous ferons appel à l'intelligence artificielle pour vous aider à écrire votre code. Pour cela, nous allons utiliser un éditeur de code, Vscode, et un plugin, Copilot, qui est une intelligence artificielle développée par OpenAI. Nous allons également utiliser un gestionnaire de version, Git, et un dépôt de code, GitHub. Enfin, nous allons utiliser un compilateur, GCC, pour compiler notre code. Nous allons également utiliser un outil de gestion de projet, CMake, pour générer les fichiers de configuration de notre projet. Evidemment, tout cela peut paraître compliqué, mais nous allons vous guider pas à pas pour vous aider à maîtriser ces outils. Et même pour écrire cette page web, l'intelligence artificielle de Copilot m'a aidé à écrire ce texte. C'est assez magique en fait !

Installation de VsCode

Attention : nous utiliserons **VsCode (Visual Studio Code)** qui est un logiciel distinct de **Visual Studio**. Visual Studio est un environnement de développement intégré (IDE Integrated Development Environment), tandis que VsCode est un éditeur de code léger et polyvalent.

- Sur le site (bien noter le mot **code** dans l'URL) :

<https://code.visualstudio.com/Download>



A l'issue de ce cours, vous serez capables de... .

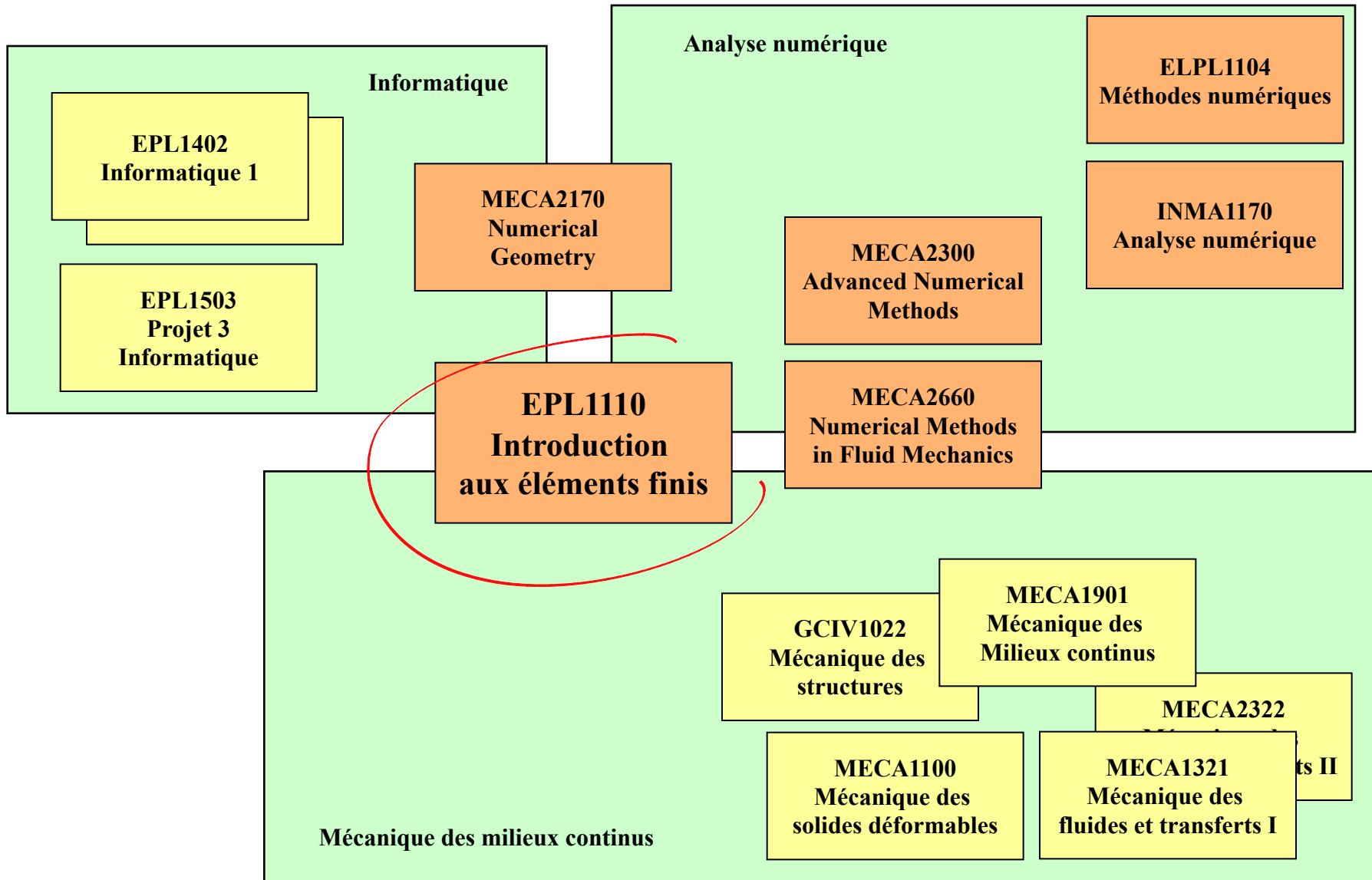
- Comprendre la méthode des éléments finis
- Réaliser un petit programme en C
- Certifier et valider une simulation
- Choisir la voie numérique la plus efficace
- Estimer la précision d'un résultat
- Découvrir les joies et les aléas du numérique
- Découvrir les joies de l'intelligence artificielle



Non, non : ceci on ne fera pas !

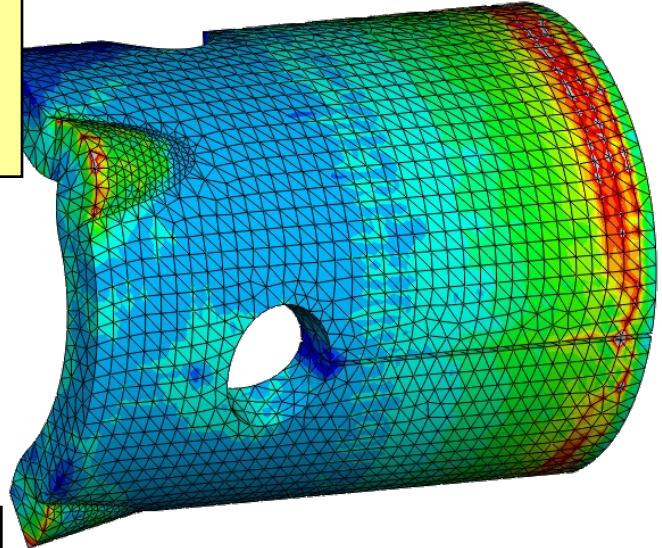
- Apprendre le génie logiciel de l'orienté-objet
- Utiliser des logiciels commerciaux
- Faire de l'analyse numérique théorique
- Faire du calcul parallèle
- Résoudre les équations de Navier-Stokes
- Créer automatiquement des maillages

Et les autres cours....



Plan du cours et évaluation

Comment intégrer
numériquement
une fonction
sur un carré ?



Evaluation continue

S1-S8 : 8 cours et 7 petits problèmes

A

Comment résoudre
l'élasticité linéaire ?

Evaluation certificative

S7-S9 : mini-projet

B

S9-S12 : 4 cours théorie éléments finis

En session : examen écrit

C

En juin, note finale $= (A+B+C)/3$ si $C > 10$
 $= C$ sinon

En septembre, examen écrit + pas de projet de rattrapage !

Evaluation

Elasticité linéaire pourquoi ?

VERS L'AVENIR
Journal quotidien
Boulevard Ernest Melot, 12 - 5000 Namur

semaine internationale

GIBIER DE POTENCE

Il y a quelques mois que le pays américain et qui a été suivi à l'étranger par le titre accrocheur du reporter Edward Behr (*), on pourra imaginer ainsi la première réaction de Jimmy Carter face à la catastrophe lorsqu'il a appris que les réacteurs de la centrale nucléaire de Tihange étaient en panne, et du peu de danger pour l'environnement humain autour de la centrale endommagée en cours.

Il y a quelques mois que plusieurs centaines d'installations et en fonctionnement, et qu'un seul réacteur souffre d'un accident et reste en bref. Il y a un peu de quoi, reconnaissent-le, faire peur, ses conséquences pouvant être imprévisibles. Mais il y a aussi une autre chose à faire : faire preuve de raison de prendre les mesures qu'il faut pour empêcher que l'accident unique qui a eu lieu ne se répète : celui de précaution.

André BOEVER.

(Suite en dernière page)

PARIS, UNE FOIS DE PLUS, CAPITALE DU PRÉT-À-PORTE

« Restructuration » à la S.N.C.B. : études toujours en cours

Répondant à une question posée dans une carte de réponse à M. André Boever, le ministre des Communications confirme que la S.N.C.B. étudie un « programme de restructuration » de ses services, tant dans

EDITION ■ ■ ■
Sam. 7 - Dim. 8 AVRIL 1979
Tél. : (081) 71.32.71 - 39 (Souscript.)
Téléx : (591) 21, 34 et 52
Abonnement 8 mois ½ : 2.070 F
EDITIONS ■ ■ ■ Namur - Waremme
■ ■ ■ Bruxelles - Charleroi
C.C.P. 000-0003120-43
62^e ANNÉE - N° 82 - 32 PAGES

LE BOURGMEESTRE DE HUY ORDONNE L'ARRÊT DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE TIHANGE I

C'est sans doute à Huy que l'accident nucléaire de Pennsylvania aura entraîné la meilleure réaction. Le 27 mars, le maire de la ville, M. Fernand Hubin, néanmoins socialiste, a pris un arrêté de préfecture interdisant l'approche de la centrale nucléaire de Tihange. L'initiative qui a permis de la planifier à la suite des événements de Three Mile Island est tout à fait堪能que très parfaitement la décision houblonnaise.

Les autorités communales se précipitent, au contraire, à faire tout ce qu'il faut faire depuis la sortie du « rapport de la Commission d'Evaluation en Matière d'Energie nucléaire », autrement dit le « rapport des sages » (1975). Notons par certains passages inquiétants de ce document, les mandataires communautaires belges demandent des explications sur les résultats d'expériences publiques. Cette instance scientifique dépendant du ministère de la Santé publique fournit au Commissaire de l'Energie nucléaire belge une analyse détaillée du résultat qui démontre qu'il résultait que l'industrie nucléaire était « admissible » à la condition que de telles mesures de sécurité soient respectées. Il était toutefois recommandé de déjà en vigueur à Tihange, mais aussi aux diverses recommandations supplémentaires émises dans le « rapport des sages ».

Vue aérienne du site nucléaire en construction à Gravelines, dans le nord de la France, une autre centrale contestée... (Photo A.P.).

(Suite en dernière page)

Des centaines d'îles scandinaves polluées

(Lire en dernière page)

Centrale nucléaire de Tihange 1

Rapport de synthèse
Long Term Operation 2015-2025
Version finale



Et la transition ? A vous de choisir quel problème simuler...

GREENPEACE

Bonjour Vincent,

Incroyable mais vrai : **TotalEnergies ne figure plus parmi les sponsors des 20 km de Bruxelles.**

Cela fait 2 ans que Greenpeace, Totallement Down, Youth for Climate, Amnesty International et Grand-Parents pour le climat organisent des actions et des pétitions pour demander à l'organisation des 20 km de Bruxelles de ne plus accepter le sponsoring de TotalEnergies.



Objectifs du projet

| | |
|-------------------|--|
| Réaliser | Créer une application pour prédire un tsunami. |
| Certifier | Tester et valider le travail de votre groupe. |
| Expliquer | Expliquer de manière efficace et rapide à l'enseignant et aux autres étudiants ce que vous avez réalisé. |
| Comprendre | Comprendre ce que vous avez réalisé. Comprendre ce que d'autres groupes ont réalisé. |

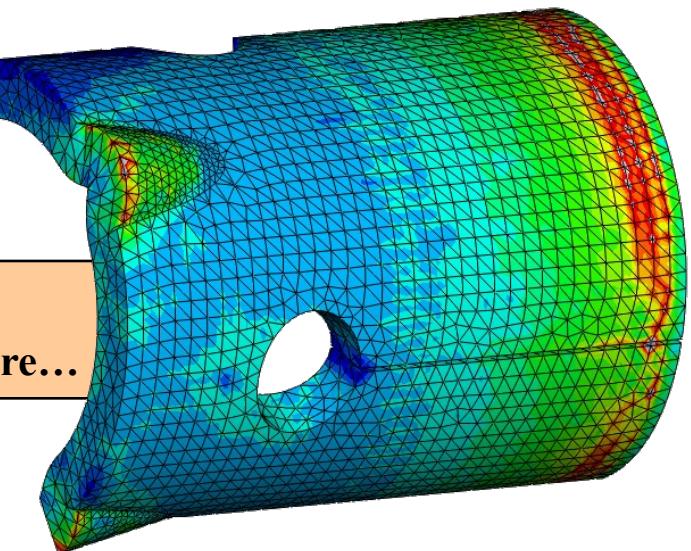
Exercices : 8 petits problèmes

Quelques petits problèmes
élémentaires pour apprivoiser le C

Projet en C :

Une petite application efficace pour l'élasticité linéaire...

*The Practice of Programming :
Simplicity, Clarity, Generality. (B.K Kernighan & R. Pike 99)*



Former un groupe de deux étudiants (pas trois) !

Screenshot of a web browser showing a list of student groups for a course. The interface includes a header with navigation links like 'News', 'Horaire', 'Documents', 'Mon profil', and 'Deconnexion'. Below this is a section titled 'Groupes' containing five groups of two students each. Each group card shows a thumbnail, name, and degree.

| Groupes | Student 1 | Student 2 |
|----------|--------------------------------------|------------------------------|
| Groupe 1 | Julien Monfils FSA 1 BA | Maud Uhoda Lomry FSA 1 BA |
| Groupe 2 | Thibaut Van Gorp FSA 1 BA | Charles Van Hees FSA 1 BA |
| Groupe 3 | Victor Carballés Cordoba FSA 1 BA | Wouter Vermeulen FSA 1 BA |
| Groupe 4 | Julien David FSA 1 BA | Arnaud Collette FSA 1 BA |
| Groupe 5 | Emilie Gantois FSA 1 BA | Zoé Dubois FSA 1 BA |

© 2020 Vincent Legat

Contact - Support

Screenshot of a web browser showing a 'Former son groupe' (Form a group) page. The interface includes a header with navigation links like 'News', 'Horaire', 'Documents', 'Mon profil', and 'Deconnexion'. Below this is a section titled 'constitution des groupes pour le projet et les devoirs' (Formation of groups for projects and assignments). It features a button labeled 'Former son groupe' and two other buttons: 'Horaire et lieux des séances d'exercices' (Schedule and location of exercise sessions) and 'Choisir sa séance d'exercices' (Select your exercise session).

© 2020 Vincent Legat

Contact - Support

Avoir une séance !

Avoir un tuteur et un assistant !



Screenshot of a web browser showing a university website for tutor selection. The URL is perso.uclouvain.be/vincent.legat/z... The page title is "EPL1110 - Choix d'une des quatre séances d'exercices".

Inscrit à la séance du mardi 14h00 : BARB03 - assistants : Nathan, Ange et Miguel

You can choose the session you want: the number of students per tutor session is strictly limited to the first 100 registered students (50 for the BARB03).
Important: it is important to choose the same session as your partner, as this will determine your tutor and teaching assistant for the group...

At the moment, all sessions are held exclusively in person.

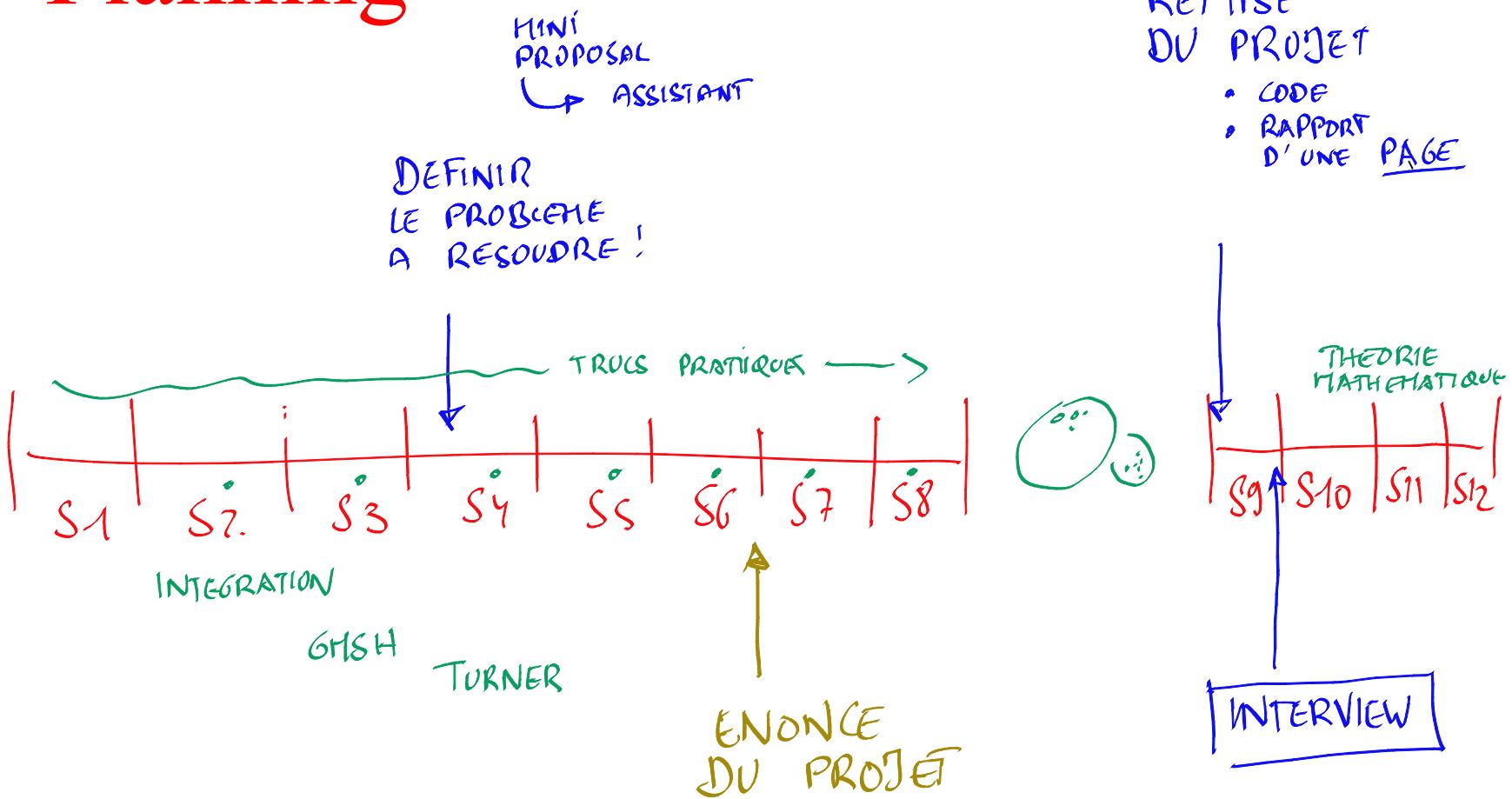
Session du mardi 14h00 : BARB91 with **Nathan, Ange et Miguel**: 99 student(s) already registered
Session du mardi 14h00 : BARB03 with **Nathan, Ange et Miguel**: 19 student(s) already registered
Session du mercredi 10h45 : BARB92 with **Alexandre, Michel et Thomas**: 78 student(s) already registered
Session du jeudi 10h45 : BARB91 with **Antoine, Simon et Christophe**: 49 student(s) already registered

Selection d'un séance de tutorat : séance du mardi 14h00 : BARB03 with Nathan, Ange et Miguel

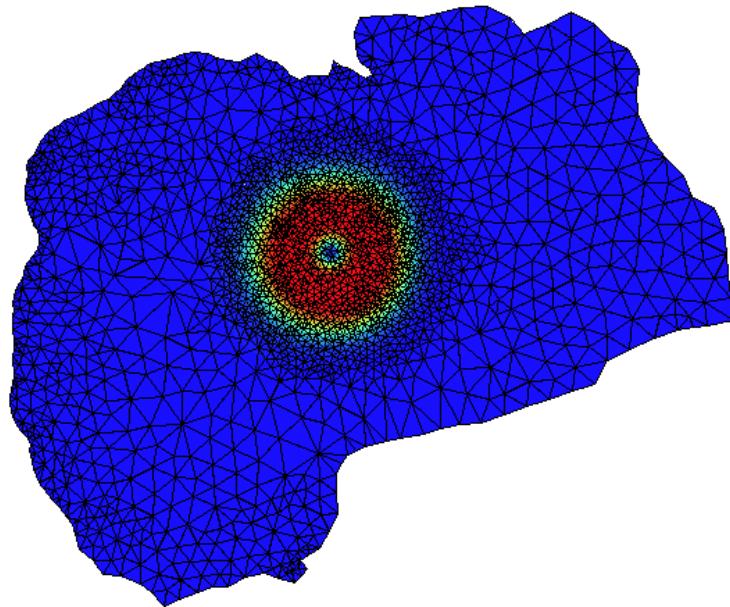
Selectionner un séance ci-dessus et cliquer sur le gros bouton ci-dessous ensuite :-)

Vincent Legat Contact - Support

Planning



The Finite Element Method



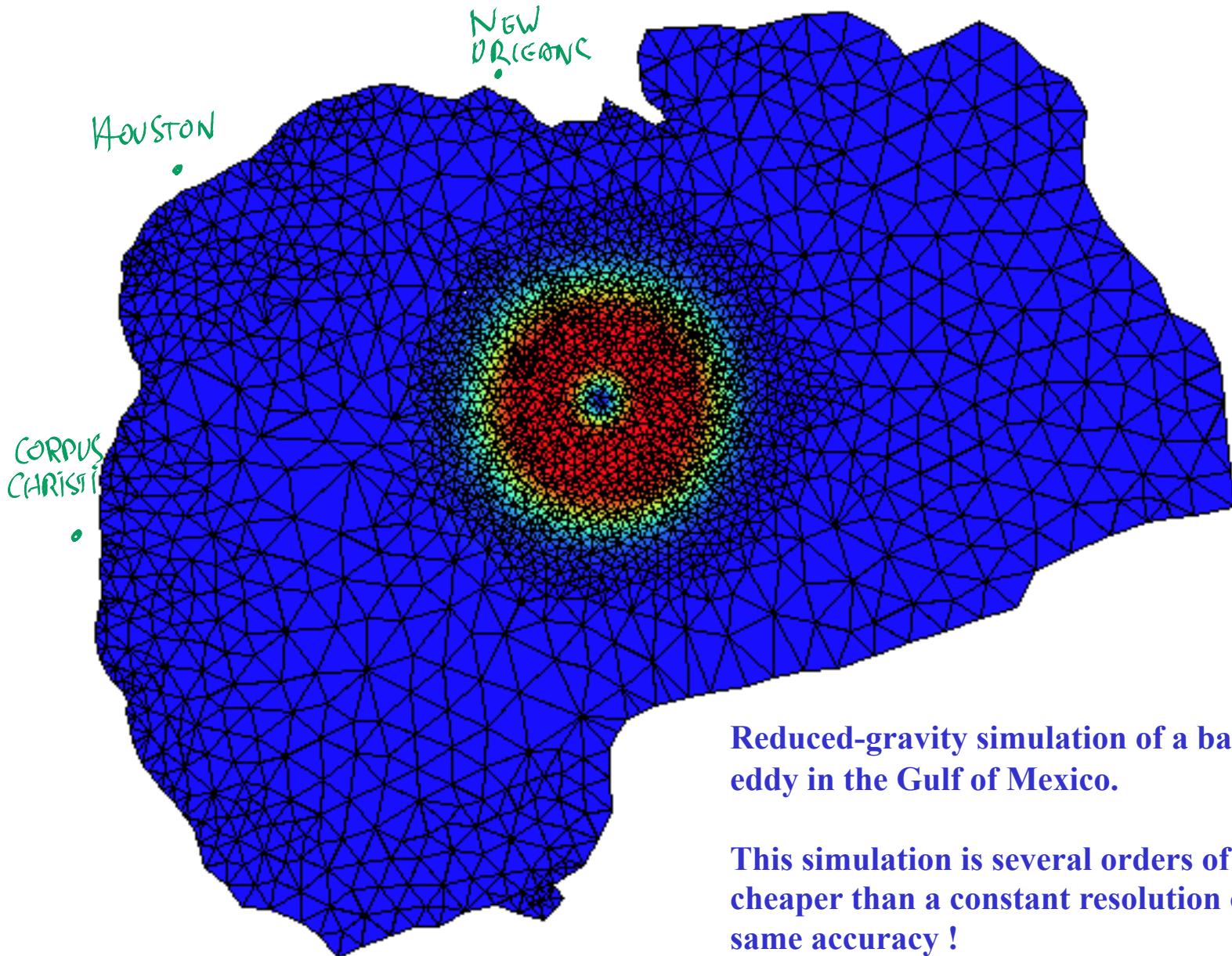
Typical applications

- Deformable solids mechanics
- Fluid dynamics (CFD)
- Electromagnetism
- Transport phenomena
- Climatology

is a way of computing approximate solutions to a mathematical model describing a physical process.

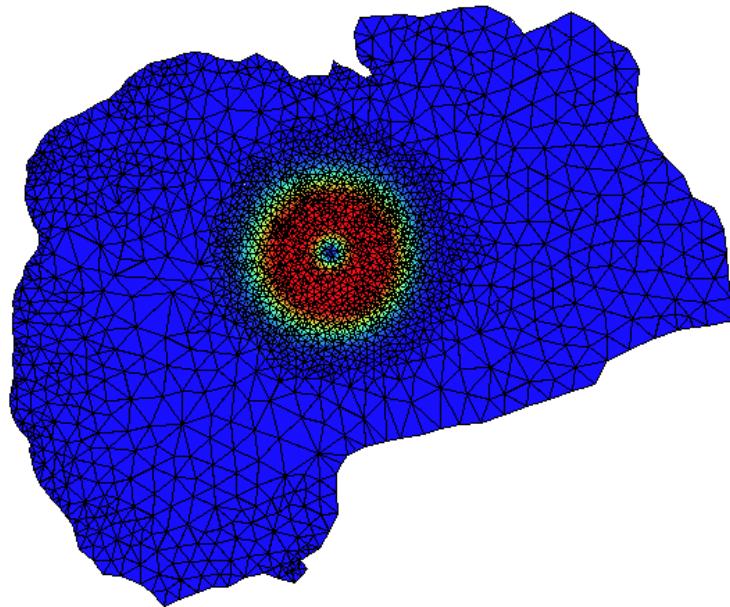
What is a mathematical model ?
A boundary value problem.

What is a boundary value problem ?
A set of partial differential equations with boundary and initial conditions.



This simulation is several orders of magnitude cheaper than a constant resolution one of the same accuracy !

The Finite Element Method



Typical applications

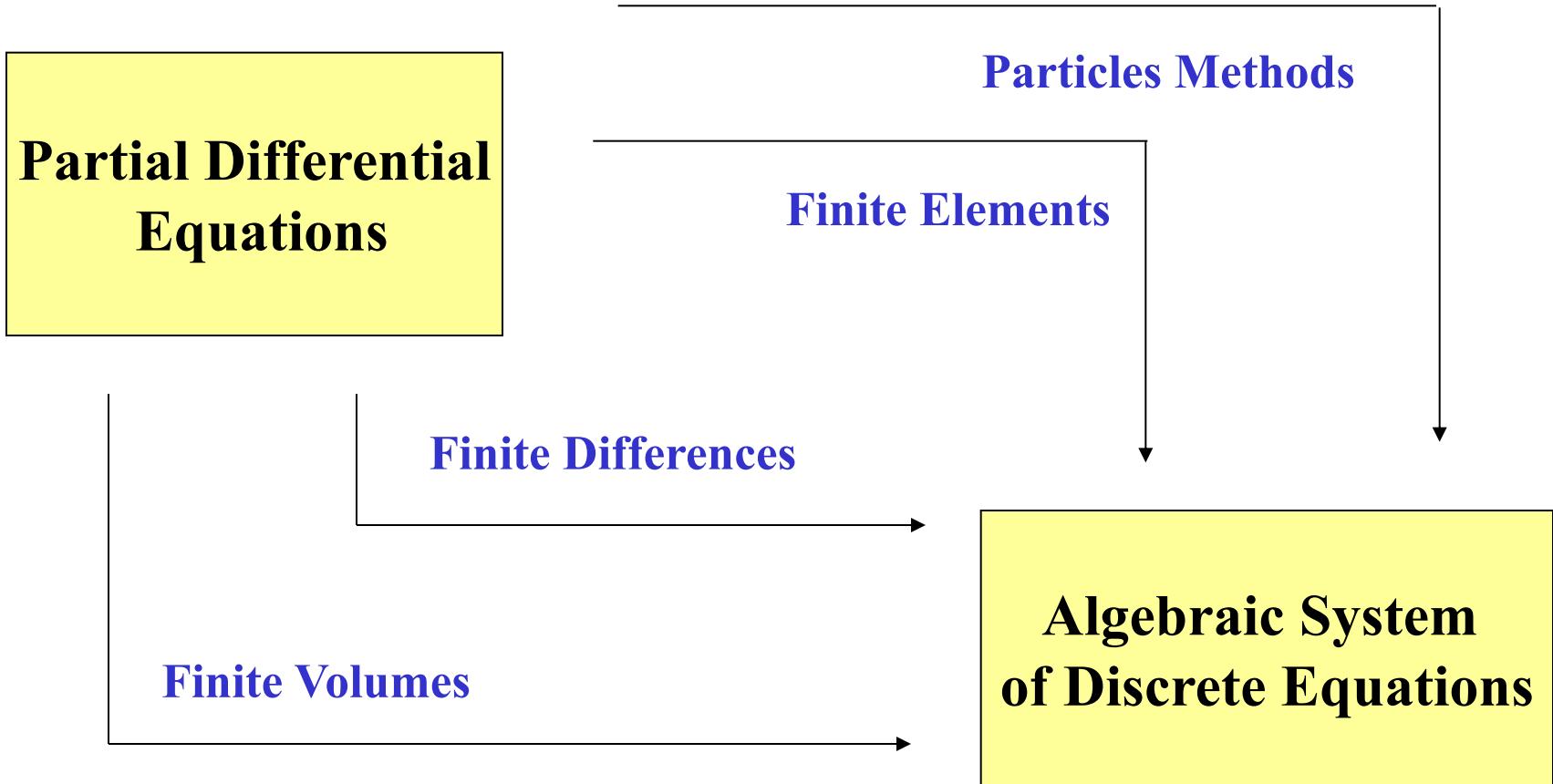
- Deformable solids mechanics
- Fluid dynamics (CFD)
- Electromagnetism
- Transport phenomena
- Climatology

is a way of computing approximate solutions to a mathematical model describing a physical process.

What is a mathematical model ?
A boundary value problem.

What is a boundary value problem ?
A set of partial differential equations with boundary and initial conditions.

Finite Elements, Finite Differences, Finite Volumes etc.

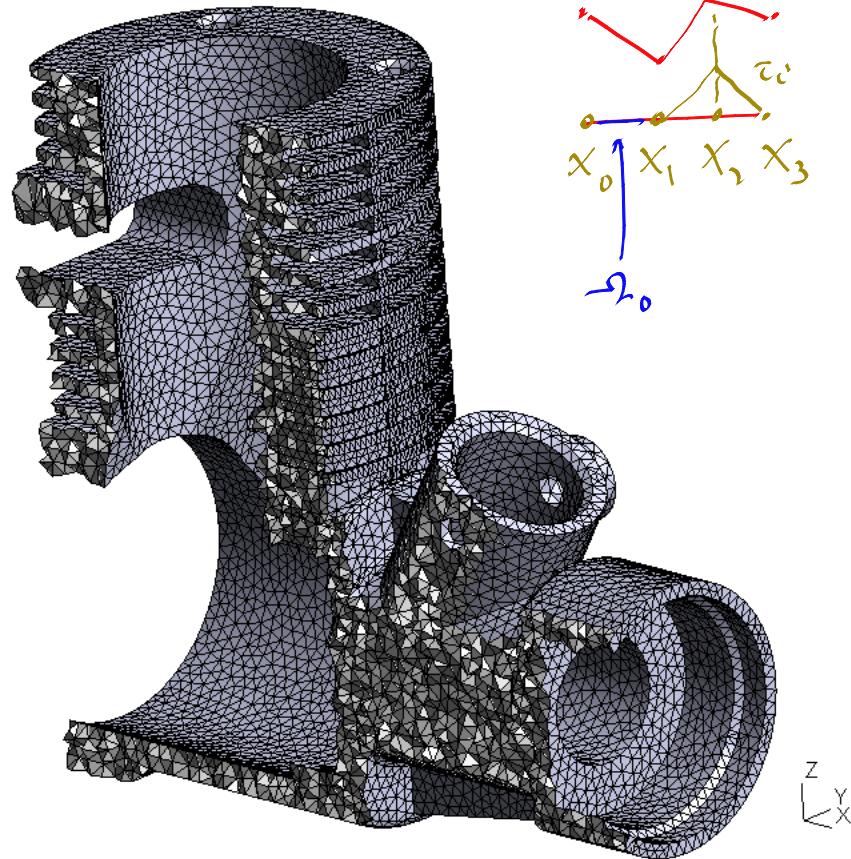


The Finite Elements Method is a discretization method

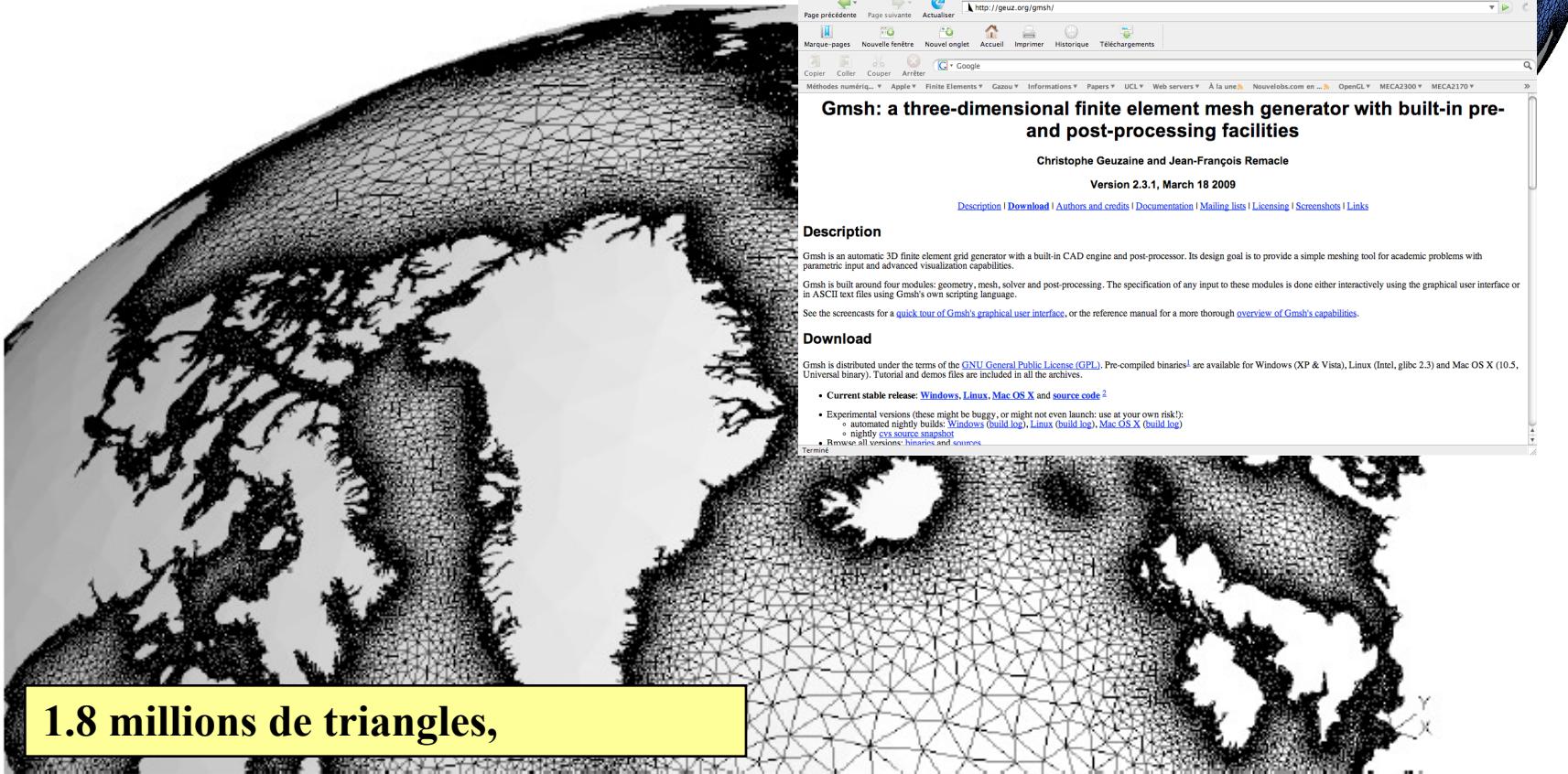
The problem geometry is divided in small finite elements.

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

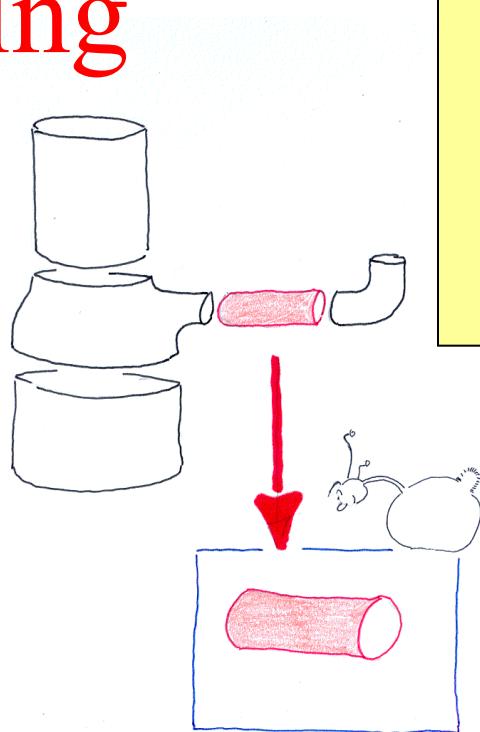
$$u(\mathbf{x}) \approx u^h(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n U_j \tau_j(\mathbf{x})$$



Second-generation Louvain-la-Neuve Ice-ocean Model



Classical Engineering Analysis



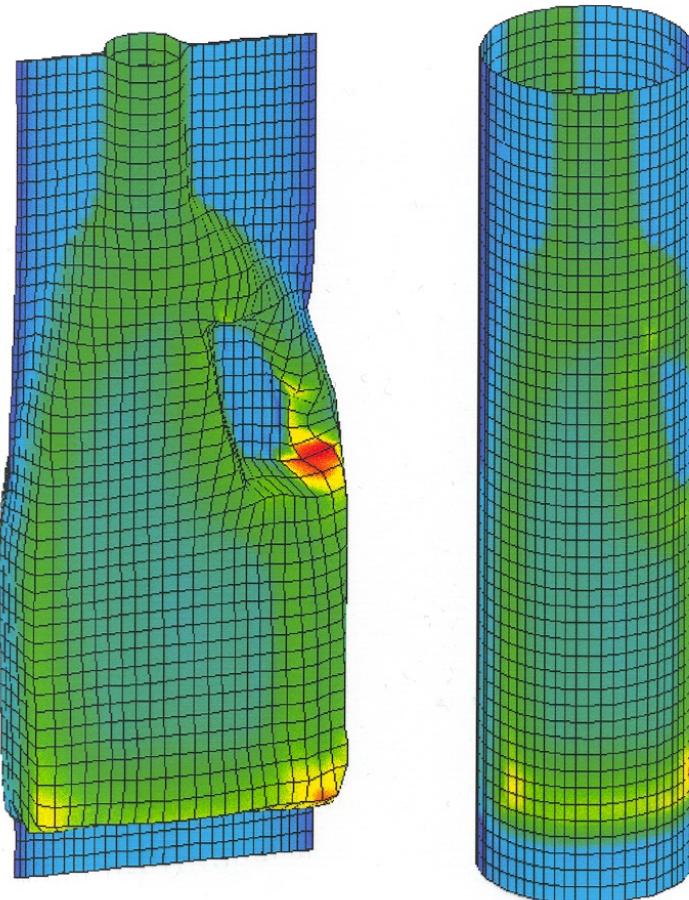
Analysis through simple geometries and a limited combination of approximate models :

Lubrication theory
Bars
Beams
Plates and shells

**Low computer's cost
Good physical understanding**

**Simplicity of models
Complex geometries and loads cannot be handled
Complex materials cannot be analyzed**

Computer Aided Engineering Analysis



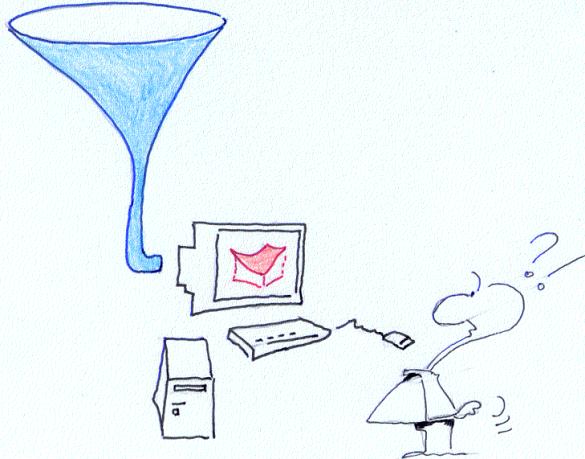
The Finite Element Method provides approximate solutions to more realistic problems

FEM developed in the sixties for linear elasticity and generalized to many other applications...

Powerful and flexible
High (cheap) computer's cost
Low (expensive) engineer's cost
Complex processes can be analyzed
Complex material laws can be included

However...

Garbage in



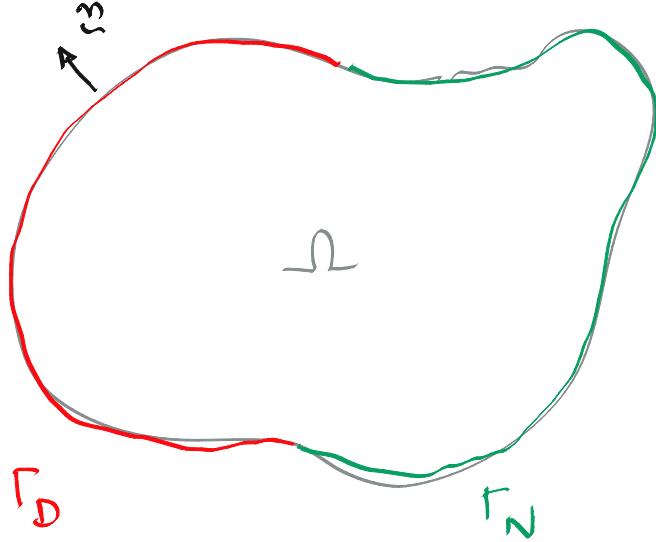
Garbage out

Illusion of non-qualified users to be able to analyze everything

New modeling issues requires
higher qualifications...

How to define complex problems in an accurate and efficient way for the computer software ?

Typical elliptic boundary value problem



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

CONDITIONS
ESSENTIELLES
DIRICHLET

CONDITIONS
NATURELLE
NEUMANN

$$\nabla \cdot \nabla v + f = 0 \quad \text{sur } \Omega$$
$$\mathfrak{m} \cdot \nabla v = g \quad \text{sur } \Gamma_N$$
$$v = t \quad \text{sur } \Gamma_D$$

Some nice spaces and notations...

$$U = \{ v \dots \text{ tel que } v = t \text{ sur } \Gamma_0 \}$$
$$\hat{U} = \{ \hat{v} \dots \text{ tel que } v = 0 \text{ sur } \Gamma_0 \}$$

ESPACE DES CANDIDATS SOLUTION

ESPACE DES FONCTIONS TEST

$$\langle f g \rangle = \int_{\Omega} f g \, d\Omega$$

$$\langle\langle f g \rangle\rangle = \int_{\partial\Omega} f g \, ds$$

$$\langle\langle f g \rangle\rangle_N = \int_N f g \, ds$$

... to do calculus !

Three tips !

$$\langle \hat{v} (\nabla \cdot \nabla v + f) \rangle = 0 \quad \forall v \in \mathcal{V}$$

$$\begin{aligned} \langle \hat{v} \nabla \cdot \nabla v \rangle &= \underbrace{\langle \nabla \cdot (\hat{v} \nabla v) \rangle}_{\text{Tip 1}} - \langle (\nabla \hat{v}) \cdot (\nabla v) \rangle \\ \langle \hat{v} \rangle &\quad \langle v \rangle \end{aligned}$$

↓

$$\text{Tip 2} \quad \langle \nabla \cdot \alpha \rangle = \langle n \cdot \alpha \rangle$$

$$\langle \langle n \cdot \nabla v \rangle \hat{v} \rangle$$

$$\text{Tip 3} \quad \hat{v} = 0 \quad \text{sur } \Gamma_D$$

$$\langle \langle n \cdot \nabla v \rangle \hat{v} \rangle_r$$

And it is all !

Strong formulation



?_u tel que

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \nabla u + f &= 0 \quad \text{sur } \Omega \\ g \cdot \nabla u &= g \quad \text{sur } \Gamma_N \\ u &= t \quad \text{sur } \Gamma_D \end{aligned}$$

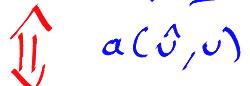
FORMULATION
FORTE



FORMULATION
FAIBLE

?_u ∈ U

$$\underbrace{\langle \nabla \hat{u}, \nabla v \rangle}_{\Downarrow \alpha(\hat{v}, v)} = \underbrace{\langle g \hat{v} \rangle_N}_{b(\hat{v})} + \langle f \hat{v} \rangle \quad \forall \hat{v} \in \hat{U}$$



?_v ∈ U

$$J(v) = \min_{r \in U} \left(\underbrace{\frac{1}{2} \alpha(r, r)}_{J(r)} - b(r) \right)$$

PROBLEME DE MINIMISATION



Weak formulation