

# PRÉSENTATION du COURS

Ricardo Camarero  
Département de génie mécanique  
12 janvier 2023



## Table des matières

- 1 Contexte et objectifs
- 2 Concepts de base
- 3 Historique
- 4 Une technologie nouvelle
- 5 Rôle d'une formation fondamentale
- 6 Contenu et déroulement du cours
- 7 Architecture de l'environnement informatique
- 8 Ce que vous saurez et saurez faire à la fin du cours

©Ricardo Camarero 2019

3 / 63

Contexte et objectifs

## Le but du cours MEC6212

Former des ingénieurs qui,

- **maîtrisent les fondements scientifiques de la génération de maillage ;**
- **ont fait l'acquisition d'habilités pour le développement et la mise en oeuvre d'algorithmes de diverses techniques de la pratique courante ;**
- **peuvent les appliquer dans un cadre de recherche ou de développement dans des entreprises de haute technologie.**

©Ricardo Camarero 2019

4 / 63

Contexte et objectifs

## Approche pédagogique

**Un enseignement de la génération de maillages qui vise,**

- *l'acquisition de connaissances de pointe du domaine ;*
- *le développement d'aptitudes pour des réalisations concrètes.*

**s'appuyant une structure organisationnelle qui prend en compte le contexte suivant :**

- *le positionnement de cette matière dans le cadre d'une formation aux études supérieures ;*
- *un environnement d'apprentissage basé sur une approche équilibrée entre la matière fondamentale et la mise en oeuvre informatique ;*
- *l'identification des difficultés rencontrées dans l'enseignement des développements les plus récents.*

©Ricardo Camarero 2019

5 / 63

## Le contexte

La nature technologique de cette matière soulève quelques défis :

- Comment enseigner cette matière ? → Exigences de la communauté technique/scientifique dans ce domaine
- Quel modèle de formation universitaire ? → Intégration dans un programme d'étude moderne
- Concevoir un cadre pédagogique → Structure et organisation d'un environnement d'apprentissage plutôt qu'un de recherche.

## Une approche pratique

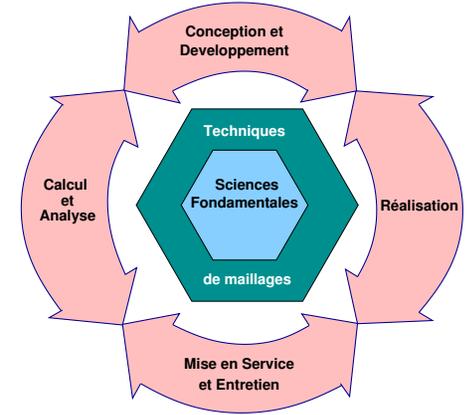
A partir des acquis antérieurs de l'étudiant dans les sciences de l'ingénieur, on vise un complément de savoirs et savoir-faires spécifiques à la génération de maillages :

### Connaissances :

étude détaillée des principes fondamentaux des diverses techniques en génération de maillages, en lien avec la simulation numérique ;

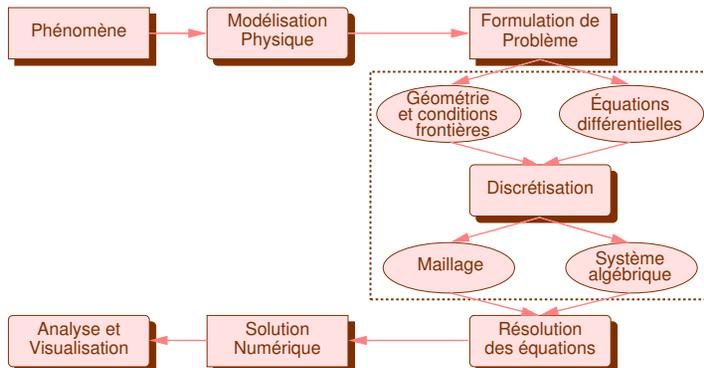
### Réalisation de maillages :

développement de compétences numériques et informatiques pour la mise en oeuvre d'algorithmes de la pratique courante.



## Simulation numérique : positionnement du maillage

Méthodologie basée sur la démarche de discrétisation qui transforme un problème d'un espace continu en un problème équivalent dans un espace discret.



→ Ce procédé est appliqué aux équations pour la physique du phénomène, ainsi qu'à la géométrie qui borne le domaine.

## Approximations discrètes d'un modèle physique

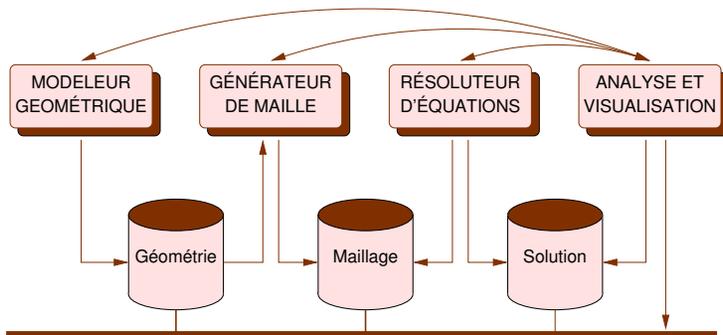
**Différences finies** On approxime les opérateurs des EDP dans un espace continu par des différences divisées à l'aide de développements de Taylor dans les différences directions spatiales et temporelle, à l'ordre de précision approprié.

**Éléments finis** Dans cette approche, c'est la solution plutôt que les opérateurs différentiels qui est approximée par des polynômes de degrés divers sur un élément de référence pour les dimension spatiales et des différences finies pour la dimension temporelle.

**Volumes finis** On applique les différentes lois de conservation sur un volume de contrôle avec un bilan des flux pour représenter la valeur moyenne des variables.

## Intégration du maillage

→ Le résultat de la discrétisation est un maillage qui sert de support à la discrétisation des équations différentielles du problème ainsi que des conditions frontières.



→ L'utilisation efficace des outils du calcul appliqué repose sur une bonne intégration du volet maillage et notamment sur le transfert des informations pertinentes entre le modèle géométrique et le résolveur.

- 1 Contexte et objectifs
- 2 Concepts de base
- 3 Historique
- 4 Une technologie nouvelle
- 5 Rôle d'une formation fondamentale
- 6 Contenu et déroulement du cours
- 7 Architecture de l'environnement informatique
- 8 Ce que vous saurez et saurez faire à la fin du cours

## Qu'est-ce qu'un maillage ?

- 1 **Un partitionnement** de l'espace physique en un ensemble d'entités élémentaires qui possèdent,
  - des propriétés géométriques (les coordonnées, dimensions (2D/3D)).... ;
  - des informations topologiques (la connectivité, voisinage ;)

et, qui s'imbriquent hiérarchiquement selon leur dimension :

**Sommets** → **Arêtes** → **Faces** → **Volumes**

pour former un domaine de calcul.

- 2 **Un recouvrement** de l'espace physique constitué,
  - d'éléments (**Faces** en 2D, **Volumes** en 3D) qui recouvrent complètement le domaine ;
  - sans chevauchement (ni de vide) entre les éléments.

**Il s'agit d'un mécanisme pour l'organisation et la structuration d'un domaine géométrique pour fins de calculs numériques.**

## Le rôle d'un maillage

**La simulation numérique de phénomènes physiques est réalisée par la résolution d'équations aux dérivées partielles sur des domaines à géométrie complexe.**

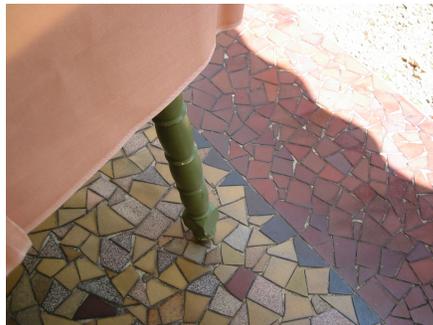
→ Quelle que soit la méthode retenue, éléments finis, volumes finis ou différences finies, toutes nécessitent une discrétisation du domaine.

→ Comme support à la discrétisation des équations différentielles, le maillage doit rencontrer un certain nombre d'exigences :

- représenter une discrétisation fidèle de l'espace et des frontières du domaine de calcul,
- discrétiser l'intérieur du domaine en fonction des équations et du phénomène simulé,
- permettre un contrôle sur la répartition, ainsi que la forme et la taille des éléments.

- 1 Contexte et objectifs
- 2 Concepts de base
- 3 **Historique**
- 4 Une technologie nouvelle
- 5 Rôle d'une formation fondamentale
- 6 Contenu et déroulement du cours
- 7 Architecture de l'environnement informatique
- 8 Ce que vous saurez et saurez faire à la fin du cours

## Savoir-faire



## Recouvrement de l'espace

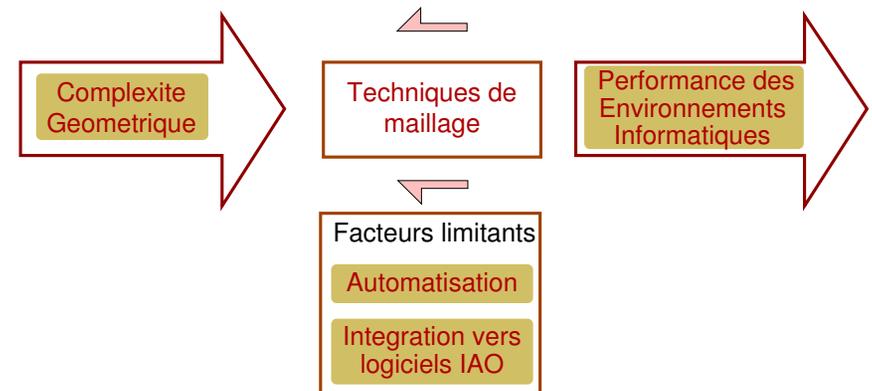
Au cours de son histoire, l'humanité a développé une longue et riche expérience dans le recouvrement et partitionnement de l'espace.



## Les progrès de la génération de maillages

Les développements dans ce domaine ont :

- évolués sous l'impulsion des besoins des applications industrielles,
- suivi les progrès en modélisation géométrique et en informatique.



Cette discipline doit son existence à la complexité géométrique.

## Évolution des Logiciels

Entrepris par des groupes de recherche, les premiers mailleurs :

- sont réalisés sur mesure pour un problème spécifique, et écrit par l'utilisateur même ;
- manquent de généralité, tant sur le plan de la fonctionnalité que sur les possibilités d'extensions ;
- tracent la voie dans la définition des besoins et orientations futures.

→ Cette première phase a permis l'identification des diverses fonctions et de les isoler en tant que modules distincts.

→ Suite à ces développements sont apparus des logiciels commerciaux,

- avec des mises en oeuvre professionnelles ;
- et, une généralisation indépendante du domaine d'application.

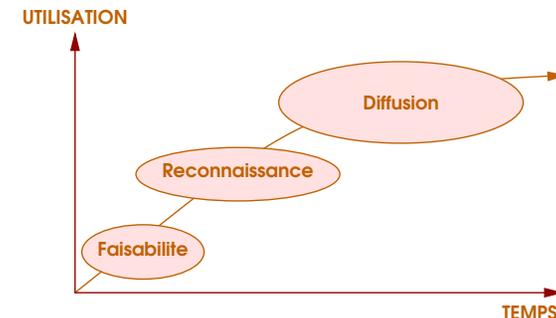
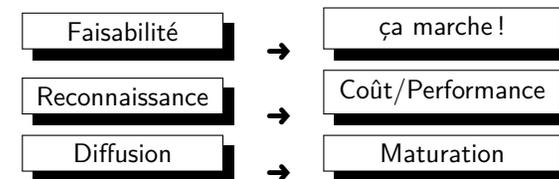
## Évolution de la génération de maillages

Cartésien	→	Curviligne
Structuré	→	Nonstructuré
Isotrope	→	Adapté
2D	→	3D
Statique	→	Mobile

- 1 Contexte et objectifs
- 2 Concepts de base
- 3 Historique
- 4 Une technologie nouvelle
- 5 Rôle d'une formation fondamentale
- 6 Contenu et déroulement du cours
- 7 Architecture de l'environnement informatique
- 8 Ce que vous saurez et saurez faire à la fin du cours

## Émergence d'une technologie nouvelle

Les progrès dans la discipline de la génération de maillage, ont suivis l'émergence du calcul appliqué.



## Perspectives

- 1 Ces développements ont donné lieu à la modularisation de la méthodologie et l'émergence de logiciels bien définis pour chacune des étapes de la méthodologie.
- 2 La collaboration avec des professionnels de l'informatique et des analystes dans de nombreuses disciplines a permis de les généraliser et de prévoir une plus grande variété d'algorithmes et méthodes.
- 3 Les techniques de maillage actuels sont les résultats de développements réalisés par des experts avec une formation avancée dans le domaine.

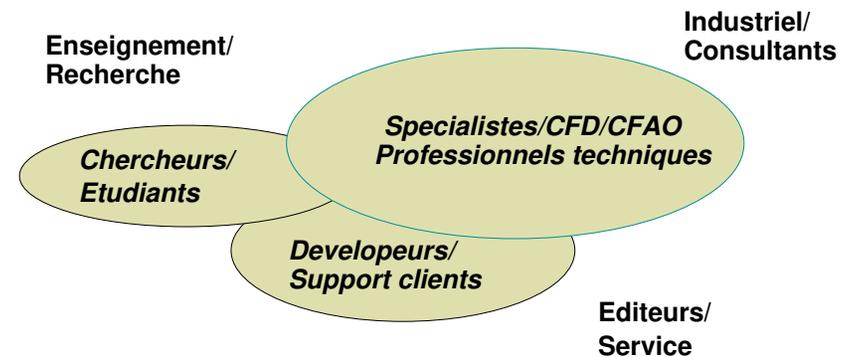
Algorithmes de recherche	Logiciels du commerce
Spécifiques au problème Intégration géométrique limitée Gestion des données par l'utilisateur Modifications par programmation	Applications générales Support étendu des normes CAO Architectures entièrement intégrées Flexibilité à l'aide de fonctions-utilisateur

- 1 Contexte et objectifs
- 2 Concepts de base
- 3 Historique
- 4 Une technologie nouvelle
- 5 Rôle d'une formation fondamentale
- 6 Contenu et déroulement du cours
- 7 Architecture de l'environnement informatique
- 8 Ce que vous saurez et saurez faire à la fin du cours

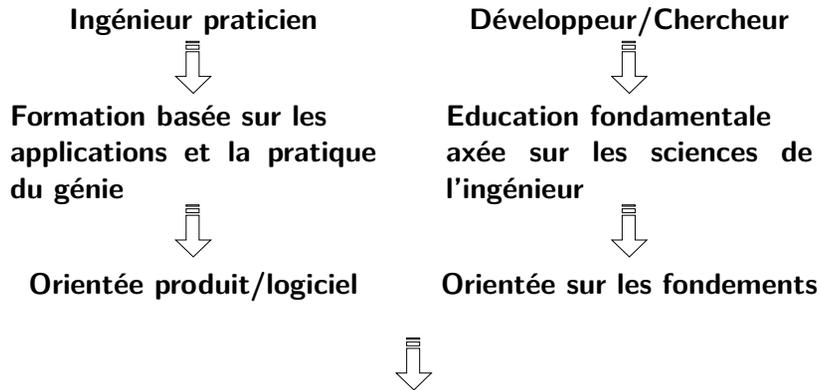
## Comment font-ils ?



## Les milieux ciblés



## Modèles de formation universitaire



Dans un cas comme dans l'autre, une **connaissance pratique** des fondements techniques, et les **habilités** dans l'utilisation et l'exploitation de nouveaux outils d'analyse sont essentiels.

- 1 Contexte et objectifs
- 2 Concepts de base
- 3 Historique
- 4 Une technologie nouvelle
- 5 Rôle d'une formation fondamentale
- 6 Contenu et déroulement du cours
- 7 Architecture de l'environnement informatique
- 8 Ce que vous saurez et saurez faire à la fin du cours

## Objectifs spécifiques du cours

Le but est de transmettre à l'étudiant des connaissances et aptitudes dans la génération de maillages qui lui permettront de :

- situer le rôle et le positionnement du maillage dans la démarche globale de résolution de problèmes par simulation numérique ;
- connaître les divers types de maillages et leurs caractéristiques ;
- concevoir et réaliser la mise en oeuvre des principales méthodes utilisées dans la pratique ;
- pouvoir accéder à la littérature technique et scientifique.

## Activités pédagogiques

Une approche qui favorise le développement du savoir-faire :

### En classe

- Présentations générales des fondements des diverses techniques de maillage sous forme de pseudo algorithmes détaillés ;
- Démonstrations informatiques pour illustrer le fonctionnement des ces algorithmes, leurs propriétés et limites.

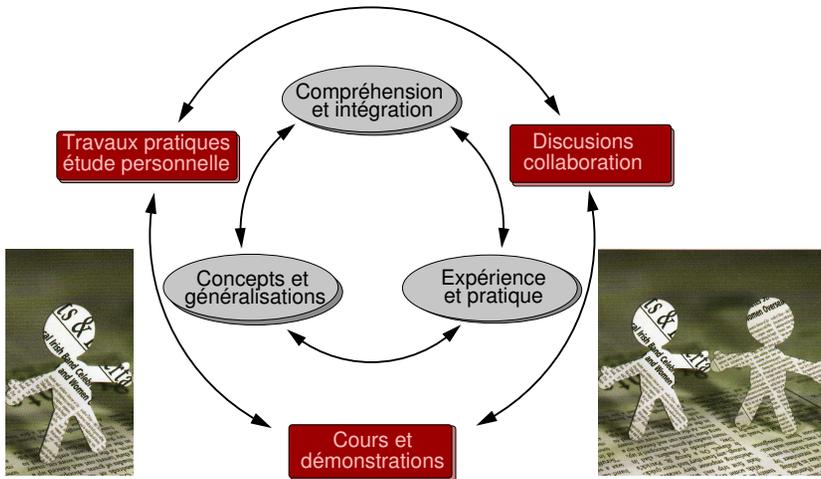
### Lectures et exercices

### Travaux pratiques

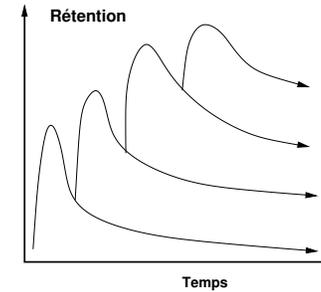
- Mise oeuvre et validation des techniques présentées en classe sur des configurations générales ;
- Acquisition de compétences variées sur le plan informatique et de bonnes pratiques de développement logiciel.

### Evaluation et synthèse

## Apprentissage actif



## Rétention



Présentations en classe
Lectures et exercices
Projets
Evaluations et synthèse

## Retombées d'apprentissage

À la fin du cours, il est attendu de l'étudiant qu'il :

- apprécie le rôle et le positionnement du maillage dans la démarche globale de résolution de problèmes par simulation numérique,
- puisse contribuer dans l'application de ces techniques à l'intérieur de cadres variés :
  - un contexte industriel qui implique l'utilisation de logiciels du commerce pour la résolution d'un problème particulier ;
  - en recherche dans le développement de nouveaux algorithmes.

→ Implicitement, une dernière exigence est que les étudiants à la fin du cours doivent être capables d'aborder la génération de maillages avec maturité et discernement.

## Niveau de compétence

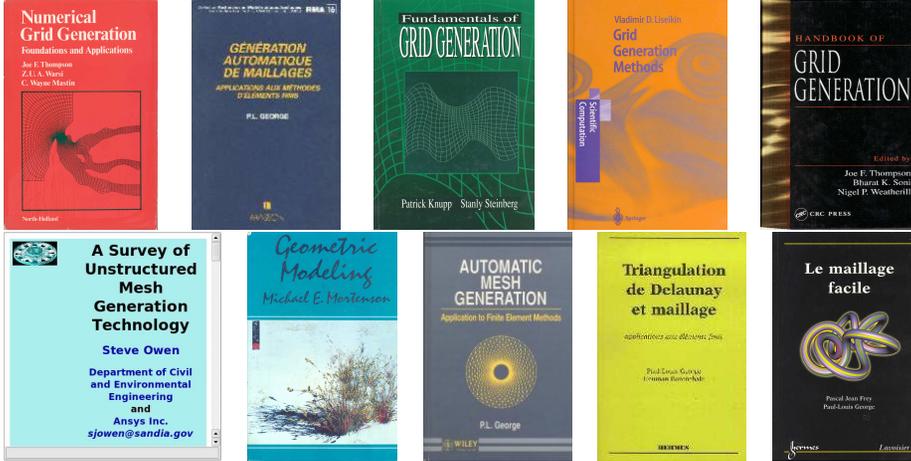
À partir de la taxonomie de Bloom du domaine de la pédagogie, on élabore une échelle de compétences conçue pour faire correspondre cinq paliers avec des niveaux d'activités, qui s'apparentent au développement progressif des habiletés chez l'ingénieur professionnel, allant de,

**l'apprentis → au dirigeant supérieur**

- |   |   |
|---|---|
| 1 | Avoir fait l'expérience de ou avoir vu....                      |
| 2 | Être capable de participer à et de contribuer à....             |
| 3 | Être capable de comprendre et d'expliquer....                   |
| 4 | <b>Avoir l'habilité de pratiquer ou de mettre en oeuvre....</b> |
| 5 | Être capable de diriger ou d'innover dans....                   |

→ En adoptant un niveau de compétence à quatre, on établit un certain équilibre entre l'acquisition de connaissances techniques et le développement d'habiletés en réalisation.

## Documentation



- 1 Contexte et objectifs
- 2 Concepts de base
- 3 Historique
- 4 Une technologie nouvelle
- 5 Rôle d'une formation fondamentale
- 6 Contenu et déroulement du cours
- 7 Architecture de l'environnement informatique
- 8 Ce que vous saurez et saurez faire à la fin du cours

## Environnements de calcul scientifique

Grâce à une communauté technique et un secteur commercial dynamisés, ces techniques novatrices sont à la portée de l'ingénieur par le biais de :

### Logiciels commerciaux :

- architecture clef-en-main avec intégration complète des modules ;
- fonctionnalité fixe ;
- aucune programmation nécessaire.

### Logiciels de recherche :

- aucune intégration des fonctions ;
- très flexible moyennant un certain effort de développement ;
- programmation nécessaire selon les modifications souhaitées ;
- idéal pour le prototypage et usagers experts.

Qu'en est-il pour les environnements d'apprentissage ?

Ni l'un ni l'autre n'est adapté comme environnement d'apprentissage

## Approche

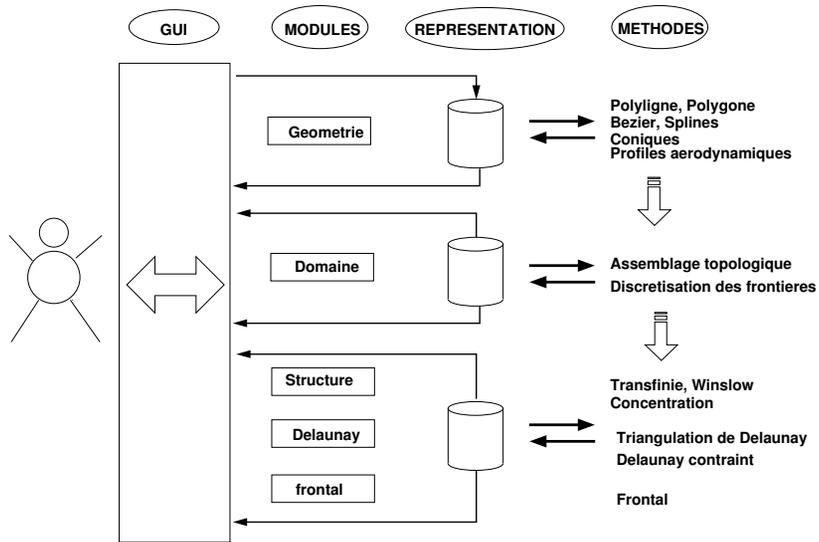
L'acquisition de compétences dans les aspects numériques ainsi qu'informatiques doit se faire :

- par la réalisation de plusieurs algorithmes ;
- avec des configurations signifiantes, mais épurées.
- avec un équilibre de l'effort consacré à la corvée informatique vs la génération de maillages proprement dit.

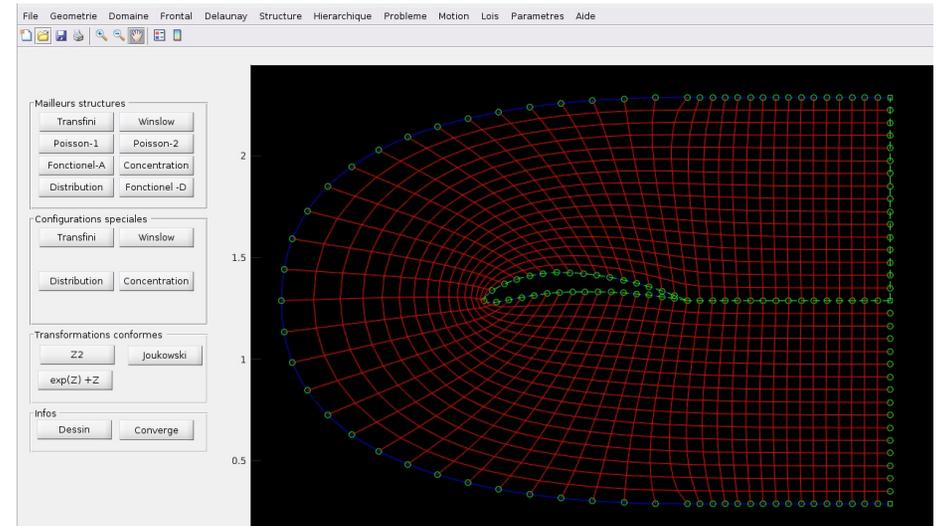
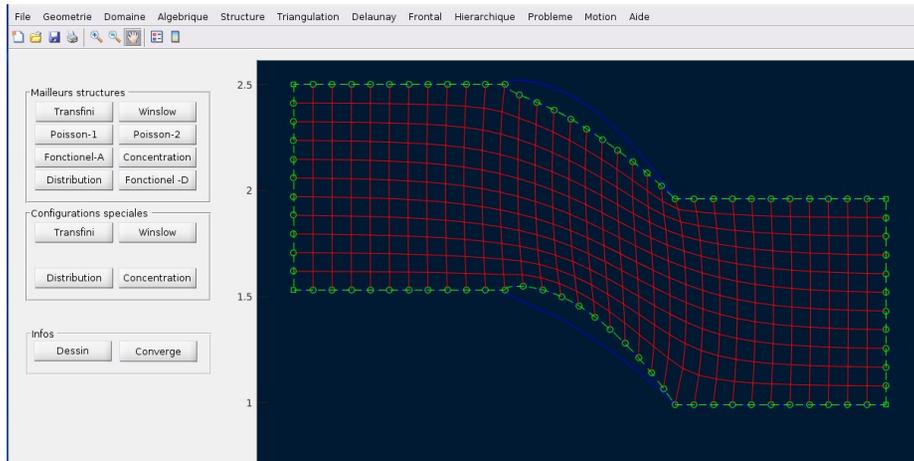
Les attentes vis-à-vis un environnement d'apprentissage s'expriment en fonction de sa généralité et fonctionnalité :

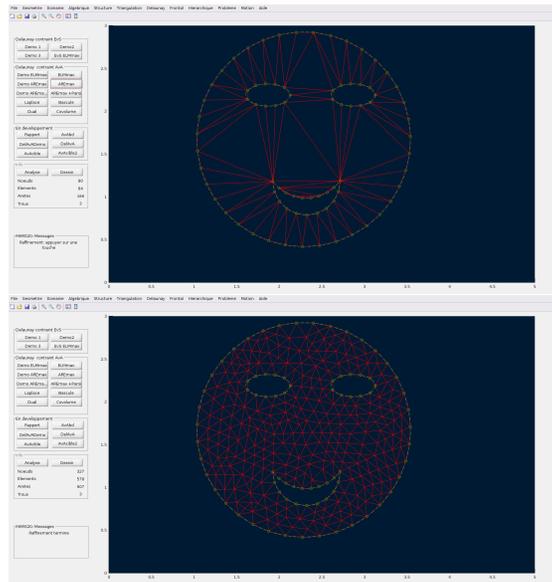
- générique adapté à une grande variété de classe de maillages ;
- architecture ouverte avec intégration complète des modules ;
- mise en place de ressources informatiques polyvalentes et fonctionnelles ;
- programmation géométrique riche.

# Architecture de MARS



- 1 Contexte et objectifs
- 2 Concepts de base
- 3 Historique
- 4 Une technologie nouvelle
- 5 Rôle d'une formation fondamentale
- 6 Contenu et déroulement du cours
- 7 Architecture de l'environnement informatique
- 8 Ce que vous saurez et saurez faire à la fin du cours





## Projet pédagogique

Lien direct entre les objectifs de formation et des retombées d'apprentissage validées

### Connaissances et habilités

- transformation des buts généraux vers des unités d'enseignements qui peuvent être évaluées ;
- reproduit la progression de l'apprenti vers l'expert ;

### Qualifications :

- liste des retombées d'apprentissage en tant que ce que un apprenant connaît, comprend et est capable de faire à la fin du cours ;
- vérification de la conformité avec les normes d'accréditation ;
- validation que les qualifications ont été atteintes.

## Impact sur le processus éducatif

