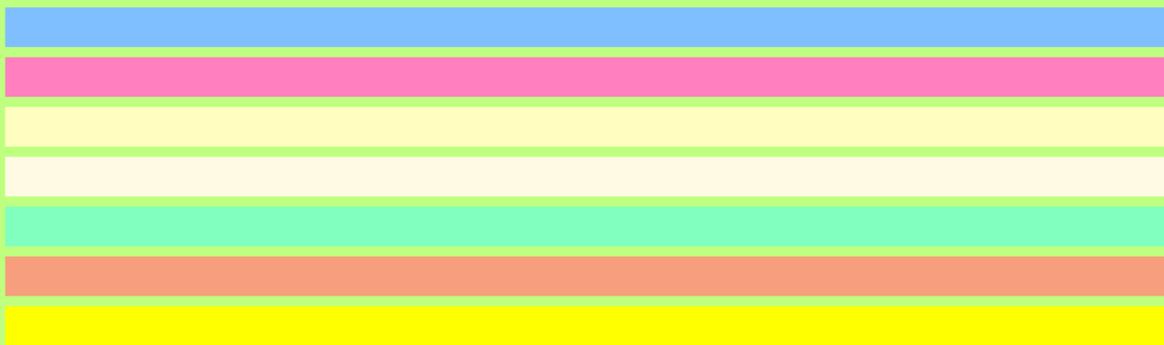


M A R S

Version 0.0

Guide de l'utilisateur



MARS Version 0.0

Guide de l'utilisateur

Ricardo Camarero

École Polytechnique de Montréal
E-mail : ricardo.camarero@polymtl.ca

17 janvier 2024

Sommaire

Table des matières

Sommaire	iii
Table des matières	iv
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	ix
1 Introduction	1
1.1 <i>L'interface usager</i>	2
2 Construction de la géométrie	5
2.1 <i>Construction générale d'une courbe</i>	5
2.1.1 Construction générale	6
2.1.2 Constructeurs pour courbes fermées élémentaires	6
2.1.3 Constructeurs pour courbes ouvertes élémentaires	6
2.1.4 Constructeurs pour profils aérodynamiques	6
2.2 <i>Courbes ouvertes</i>	7
2.3 <i>Courbes fermées</i>	11
2.3.1 <i>Rectangle</i>	12
2.3.2 <i>Coude</i>	13
2.3.3 <i>Cercle</i>	13
2.3.4 <i>Ellipse</i>	14
2.4 <i>Profils</i>	14
2.5 <i>Editer une géométrie</i>	15
2.6 <i>Tesselation</i>	16
3 Domaine de calcul	17
3.1 <i>Construction des FACE</i>	17
3.2 <i>Domaine multi-face</i>	20
3.3 <i>Domaines non-simplement connexes</i>	21

3.4	<i>Configurations pré-définies : type canal</i>	23
3.4.1	<i>La marche</i>	24
3.4.2	<i>Le coude</i>	24
3.4.3	<i>Configurations canal</i>	25
3.5	<i>Configurations profils</i>	25
3.5.1	<i>Profils en H</i>	26
3.5.2	<i>Profils en C</i>	28
3.5.3	<i>Profile en O</i>	29
4	Discrétisation des frontières	31
5	La génération du maillage	35
5.1	<i>Maillages algébriques</i>	35
5.2	<i>Maillages de triangulation</i>	36
5.3	<i>Maillages différentiels</i>	37
5.4	<i>Triangulation de Delaunay</i>	38
5.5	<i>Maillages de Delaunay</i>	38
5.6	<i>Maillages d'avance de front</i>	40
	Liste des variables	41
.1	Géométrie	41
.2	Topologie	41
.3	Maillage	41
.4	Avance de front	42
	Liste des fonctions	43

Table des figures

1.1	Méthodologie de la résolution numérique	1
1.2	Intégration du maillage dans la simulation numérique	2
1.3	Architecture de l'environnement	3
1.4	Interface usager de MARS	4
2.1	Structure du modèle géométrique	5
2.2	Edition d'un point de contrôle	7
2.3	Construction de fonctions de Bézier	8
2.4	Construction de fonctions splines	9
2.5	Construction d'un arc circulaire	9
2.6	Construction d'un arrondi	10
2.7	Construction d'un rectangle	12
2.8	Coude : soustraction booléenne de deux rectangles	13
2.9	Construction d'une ellipse : sens antihoraire (domaine à l'intérieur)	14
2.10	Caractérisation de l'intérieur et extérieur d'une courbe fermée	15
3.2	Menu pour la construction d'un domaine.	18
3.3	Construction d'une face structurée.	19
3.4	Représentation d'une <i>FACE</i>	20
3.5	Différents modèles topologiques pour un domaine	21
3.6	Construction d'un domaine partitionné multi-face	22
3.7	Construction d'une <i>FACE</i> non-simplement connexe	22
3.1	Représentation d'un domaine non simplement connexe	23
3.9	Paramètres de la géométrie de la marche.	24
3.10	Paramètres de la géométrie pour la configuration du coude.	24
3.11	Paramètres de la géométrie pour la configuration du Canal avec bosse	25
3.12	Construction du profil C et H	26
3.13	Canal inter-aube non-structuré à partir d'un profil	26
3.14	Configuration en H	27
3.15	Configuration en C	28
3.16	Construction de la configuration profil C	29

3.8	Configurations pré-définies	29
4.1	Représentation d'un domaine	31
4.2	Partage uniforme donné par un espacement δ	32
4.3	Partage par un nombre de points	32
4.4	Edition d'une discrétisation existante : concentration vers un point	33
4.5	Edition d'une discrétisation existante : concentration vers les extrémités du bord	33
5.1	Menu racine pour les maillages algébriques	36
5.2	Menu racine pour les maillages de triangulation	36
5.3	Menu racine pour les maillages différentiels	37
5.4	Triangulations diverses pour une tessellation donnée	38
5.5	Triangulation unique	39
5.6	Critère de la sphère vide	39
5.7	Menu racine pour les maillages Delaunay	40

Liste des tableaux

Chapitre 1

Introduction

La résolution numérique de problèmes comprend diverses étapes ; de la modélisation physique, la formulation mathématique et la discrétisation, à la résolution numérique des systèmes d'équations, et finalement, l'analyse par des techniques de visualisation. Cette méthodologie du calcul scientifique, basée sur la formulation par équations différentielles est illustrée à la Fig. 1.1.

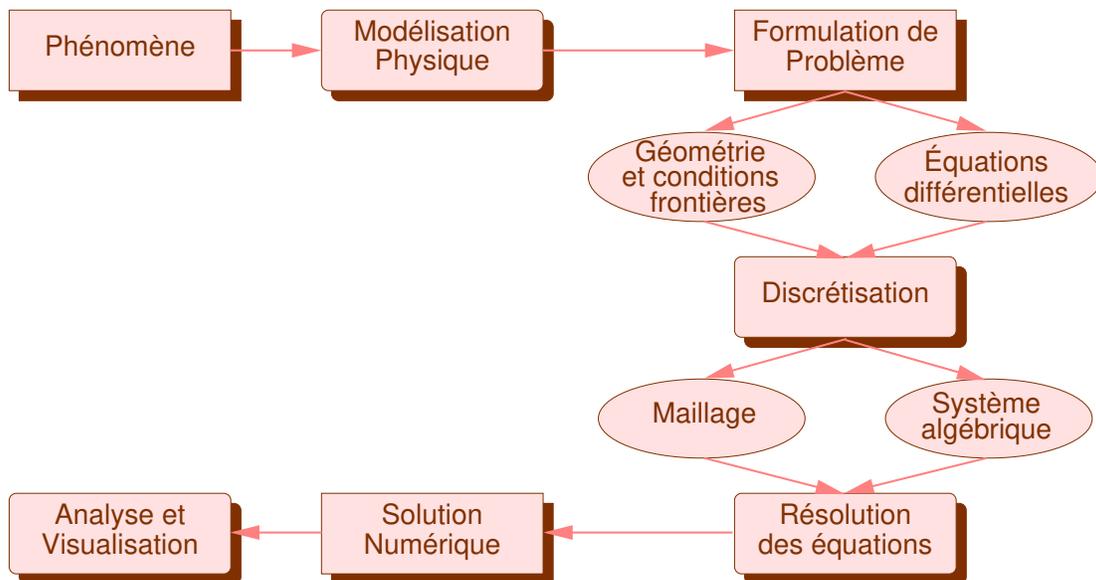


FIGURE 1.1 – Méthodologie de la résolution numérique

Ce document décrit un environnement logiciel pour les étapes de la modélisation géométrique et de la discrétisation du domaine de calcul qui font le lien entre la formulation d'un problème dans l'espace continu et la résolution numérique

Plus spécifiquement, ce logiciel comprend plusieurs modules qui intègrent diverses techniques pour la représentation géométrique, la construction et la discrétisation du domaine et la génération de divers types de maillages. La Fig. 1.2 illustre les liens entre ces étapes, ainsi que la spécification des conditions frontières et autres paramètres dans le but d'une résolution numérique.

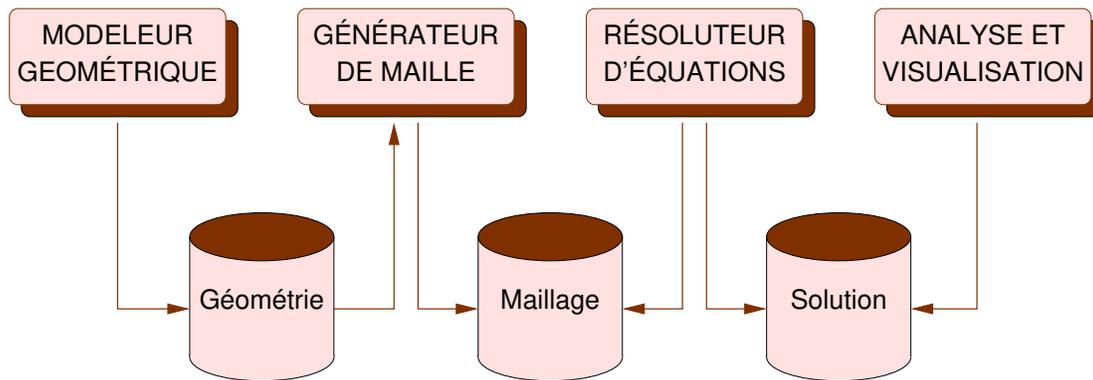


FIGURE 1.2 – Intégration du maillage dans la simulation numérique

1.1 L'interface usager

Une interface graphique gère le dialogue entre l'utilisateur et l'application. Cette communication se fait par le biais de l'écran pour les sorties alphanumériques et graphiques, et par le clavier et la souris pour des saisies alphanumériques et graphiques, respectivement.

La fonctionnalité de cet environnement est réalisée par le biais de divers menus gérés par l'interface graphique qui donne l'accès aux diverses opérations et formes de représentation comme illustré à la Fig. 1.3. Dans cette architecture, chaque module interagit avec les données de la façon illustrée à la Fig. 1.2. Dans le contexte de la méthodologie de la simulation numérique, et l'ensemble permet une approche générique et intégrée pour,

- la définition géométrique et topologique du domaine de calcul;
- la génération d'un maillage structuré ou non structuré selon différentes techniques.
- la description formelle du problème numérique par des conditions frontières et autres paramètres;
- l'analyse et visualisation.

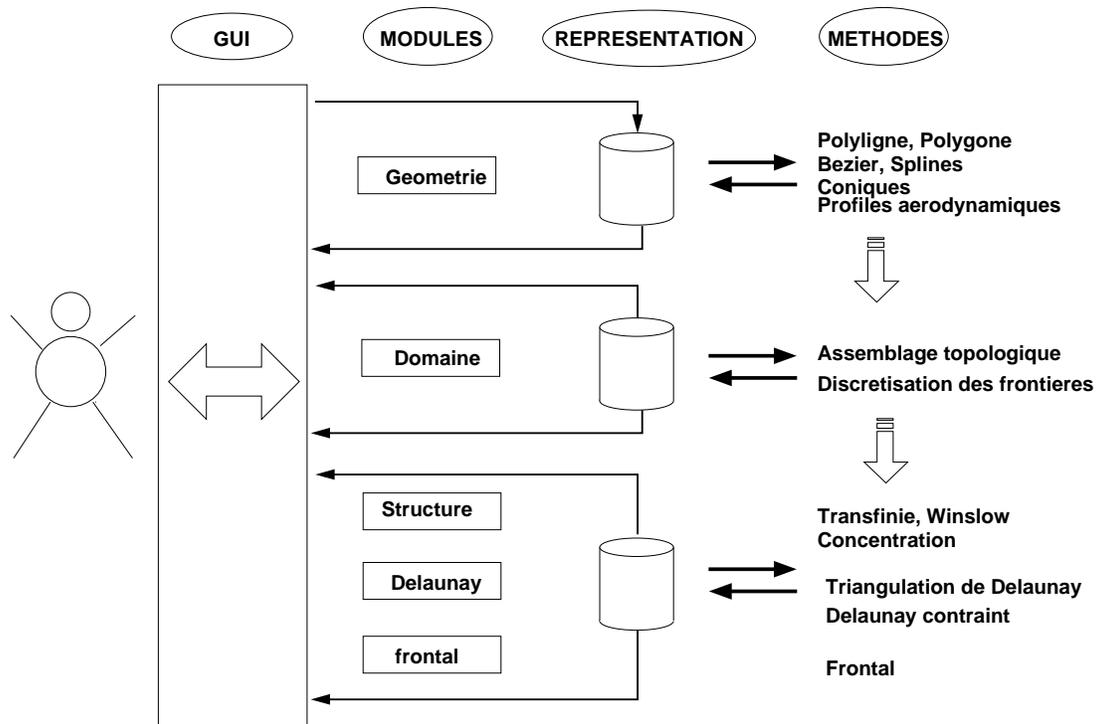


FIGURE 1.3 – Architecture de l'environnement

Dans le cadre d'un apprentissage, les différents algorithmes ou méthodes peuvent être substitués par l'utilisateur.

L'interface usager à la Fig. 1.4 montre la disposition des différents composants de l'interaction illustrée à la Fig. 1.3.

Menu racine

Zone interaction graphique

Panneau de menus contextuels

Messages

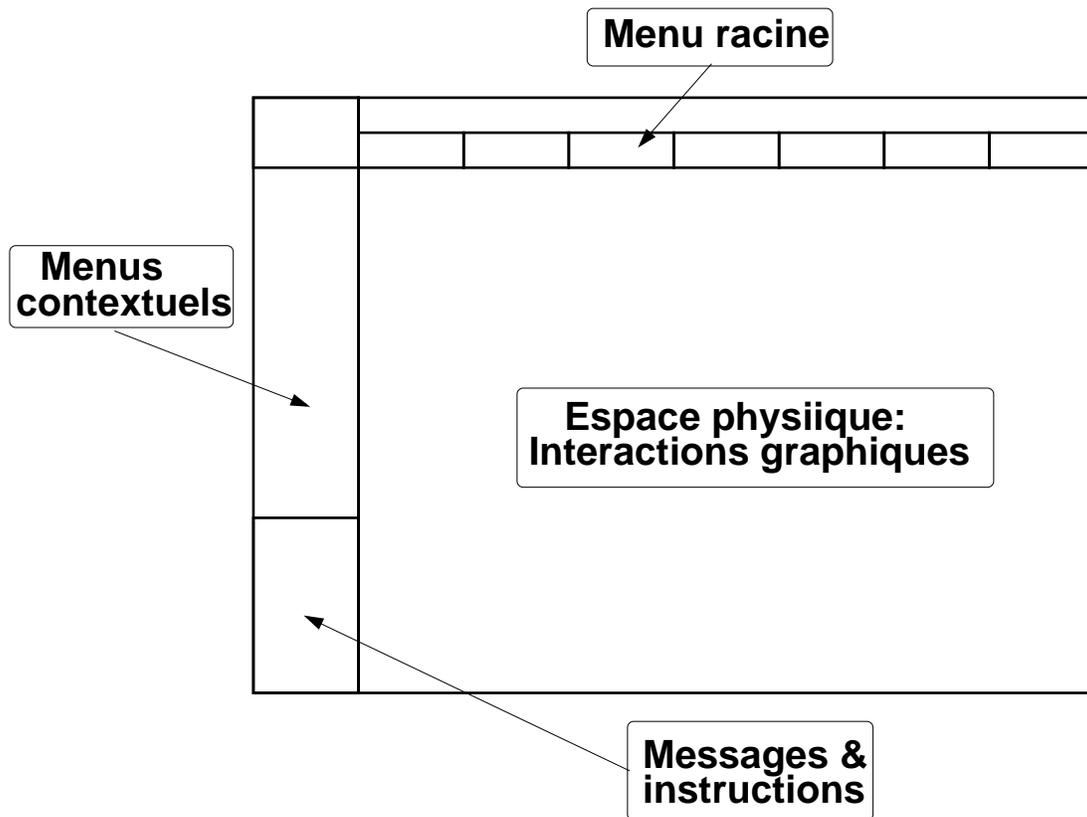


FIGURE 1.4 – Interface usager de MARS

Chapitre 2

Construction de la géométrie

Le module géométrique comprend un ensemble d'outils pour la construction, l'édition et la manipulation de courbes, notées *CRB*, qui forment la géométrie. Celles-ci sont construites par des combinaisons de segments élémentaires (identifiés par *SEG*), soit des segments de droites, des arcs de cercle, des fonctions d'He-rmite, courbes de Bézier et fonctions splinaires, qui sont représentés par des points de contrôle, *PLN*.

Cette hierarchie représentée à la Fig. 2.1 constitue le modèle géométrique.

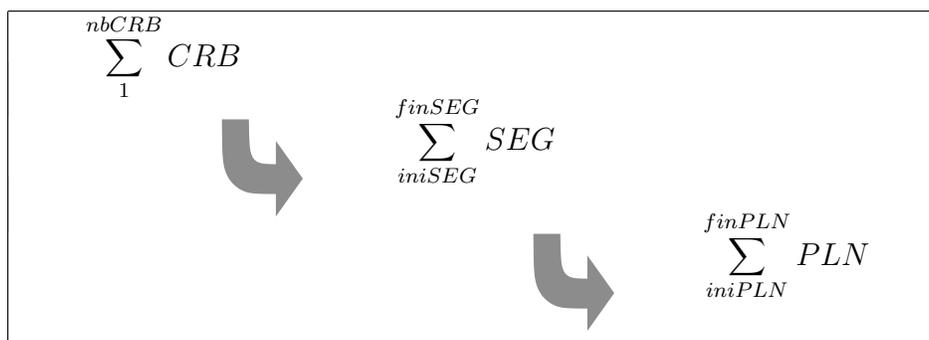


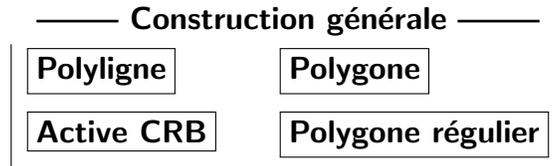
FIGURE 2.1 – Structure du modèle géométrique

2.1 Construction générale d'une courbe

À partir du bouton *Geometrie* dans le **menu racine**, on obtient divers panneaux pour la construction d'une géométrie, qui peut être composée de plusieurs courbes. Ces panneaux proposent plusieurs méthodes de construction :

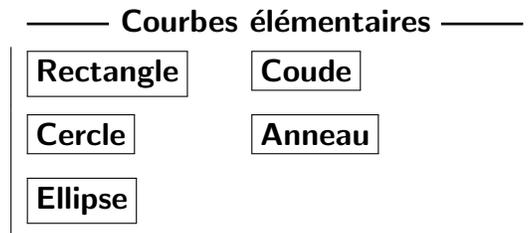
2.1.1 Construction générale

Les constructeurs pour des courbes quelconques, ouvertes ou fermées, sont basés sur une suite de points de contrôle consécutifs sous la forme d'une polyligne ou un polygone.

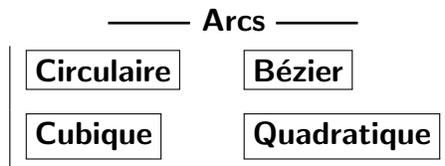


Les constructeurs *Polyligne/Polygone* permettent de sélectionner une suite ordonnée de points de contrôle (*PLN*) qui servent à représenter une courbe. Avec le curseur, on ajoute séquentiellement les points de contrôle utilisant le bouton gauche de la souris. On termine l'opération avec le bouton droit de la souris. Le résultat est une suite de segments de droites qui peuvent être transformés en une courbe quelconque, plus complexe en utilisant les fonctions proposées dans un nouveau panneau selon le choix d'une courbe fermée (bouton **Polygone**) ou une courbe ouverte (bouton **Polyligne**).

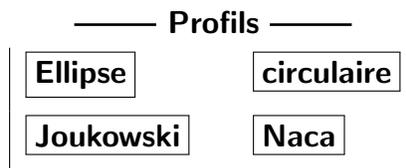
2.1.2 Constructeurs pour courbes fermées élémentaires



2.1.3 Constructeurs pour courbes ouvertes élémentaires

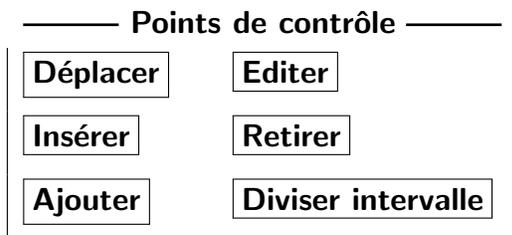


2.1.4 Constructeurs pour profils aérodynamiques



2.2 Courbes ouvertes

Initialement, la représentation est une suite de segments de droites représentant la courbe active que l'on modifiera par les actions de l'un des trois panneaux suivants :



Déplacer : déplace un *PLN* en le sélectionnant et en indiquant sa nouvelle position à l'aide du curseur.

Insérer : insère un nouveau *PLN* dans l'intervalle entre deux *PLN* à l'aide du curseur.

Retirer : retire le *PLN* sélectionné.

Ajouter : ajoute un *PLN* à la polygline, à l'une des extrémités sélectionnée.

Editer : modifie les coordonnées du *PLN* sélectionné vers une nouvelle position (x, y) , spécifiée au clavier (Fig. 2.2).

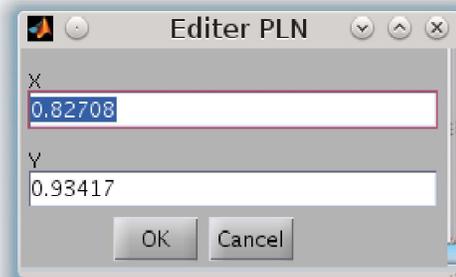
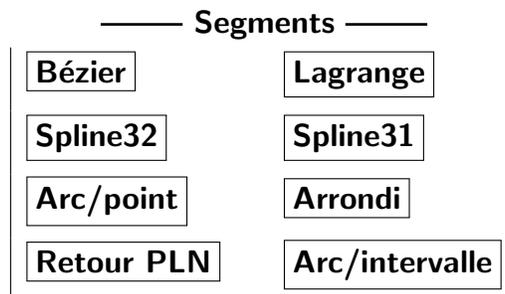


FIGURE 2.2 – Edition d'un point de contrôle

On peut modifier la polygline courante (la courbe active) localement par un regroupement de points de contrôle (*PLN*), appelé segment (*SEG*). Ces sous-ensembles d'une polygline permettent de construire des courbes complexes qui sont continues, mais dont le vecteur tangent peut être discontinu.



Les différents types de segments sont de type polynomial (les splines, fonctions de Bézier, et les polynômes de Lagrange), de type quadratique (arcs circulaires et arrondis) que l'on exécute à partir des boutons du panneau **Segments** de la figure ci-dessus.

On crée un nouveau segment sur une polyligne en sélectionnant au curseur les *PLN* du début et de la fin, qui regroupent une partie ou la totalité de la polyligne.

Bezier : On construit un segment de type Bezier à partir d'une polyligne composée des points de contrôle, P_{ini} à P_{fin} , en sélectionnant un sous-ensemble de ceux-ci, allant d'un premier, P_1 , à un dernier, P_n . Le résultat montré ci-contre, est une nouvelle courbe composée d'un segment de Bézier, précédé et suivi de deux segments de droite. On note à partir de la Fig. 2.3 que ce segment ne passe pas au travers des *PLN*.

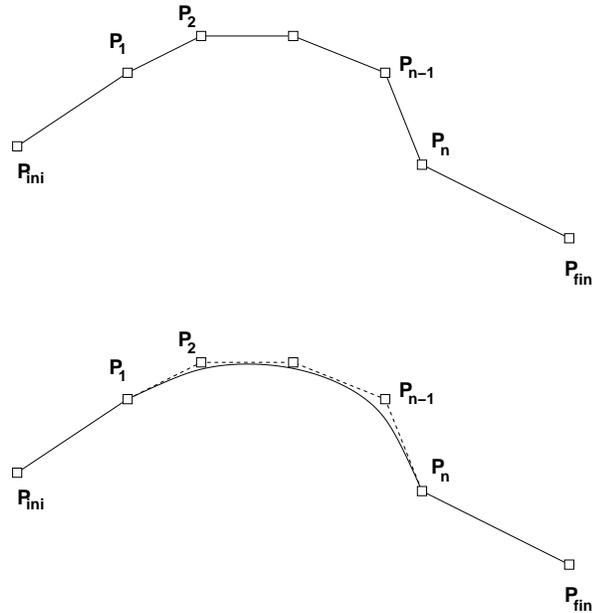


FIGURE 2.3 – Construction de fonctions de Bézier

Lagrange : la construction est identique à celle du segment de Bézier.

Spline : La construction d'une fonction splinaire nécessite, outre les *PLN*, une condition additionnelle. Ce qui donne lieu à deux variantes,

Spline-31 : on impose le vecteur tangent aux extrémités, calculé avec les segments de droite aux extrémités respectives ;

Spline-32 : on extrapole la courbure aux extrémités.

Cette procédure est identique à celle décrite pour les fonctions de Bézier. Le résultat montré ci-contre, est une nouvelle courbe qui, comparant avec le segment Bézier, passe au travers de tous les points de contrôle. On note également, que la courbe est continue, mais admet une discontinuité dans le vecteur tangent lorsque seulement une partie des segments sont utilisés.

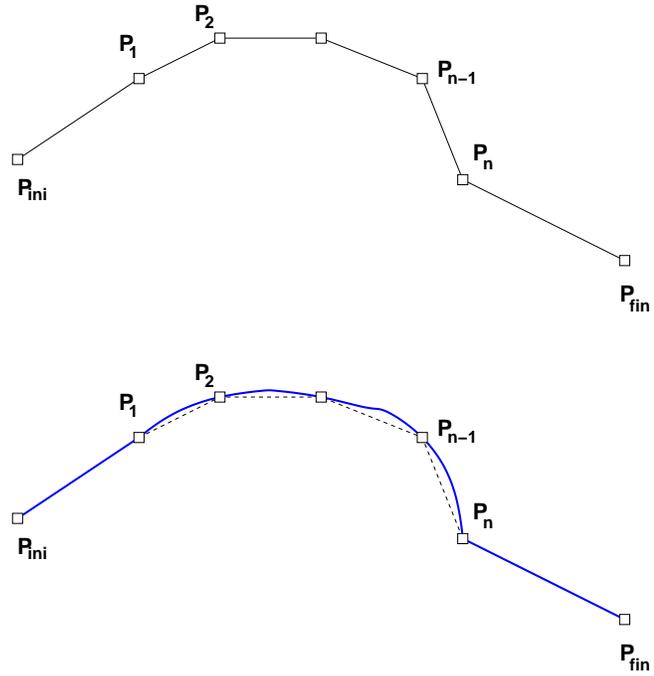


FIGURE 2.4 – Construction de fonctions splines

Arc : segment passant au travers de trois points du polygone de contrôle. On sélectionne un point de contrôle et un segment circulaire est créé en reliant les points précédent, le point sélectionné et le point suivant.

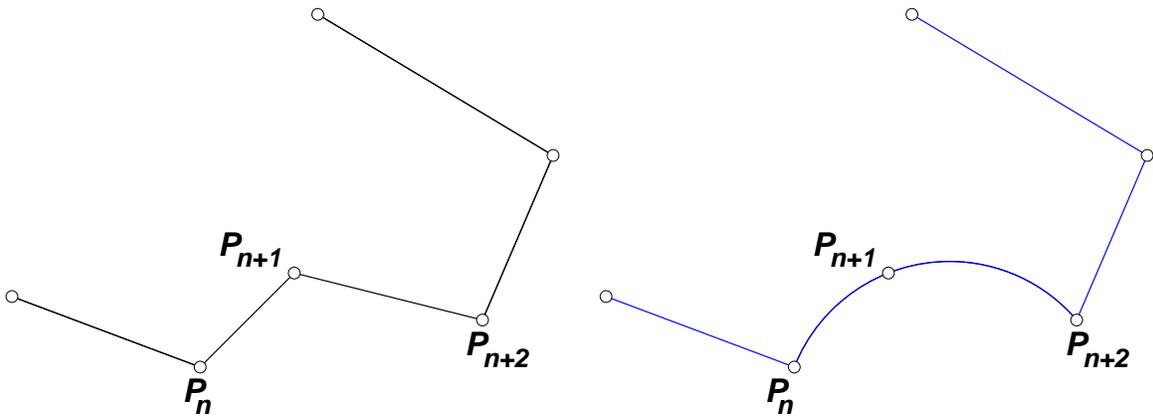


FIGURE 2.5 – Construction d'un arc circulaire

Arrondi : variante qui produit un arc de cercle tangent au deux droites issues du point de contrôle sélectionné. La construction géométrique est illustrée à la Fig. 2.6. Le *PLN* est sélectionné au curseur, et un panneau sollicite la valeur du rayon pour fins de validation.

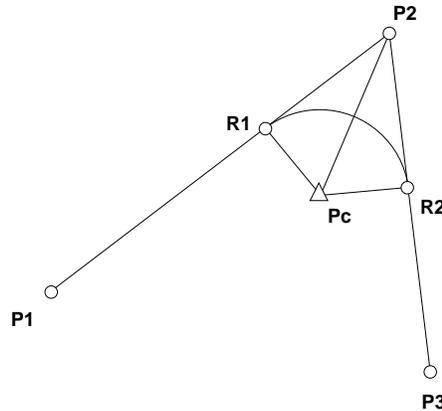
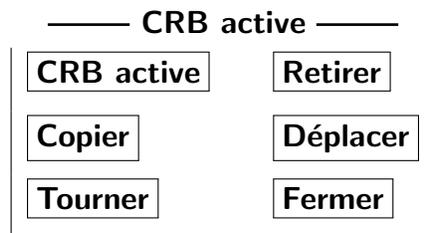


FIGURE 2.6 – Construction d'un arrondi

Retour polyligne : Pour tous ces segments, le bouton

Retour PLN : permet de revenir aux points de contrôle d'origine.

Gestion d'une géométrie : Une géométrie est un ensemble de courbes qui peut être éditée en modifiant individuellement les courbes qui le constituent.



Avec le bouton **Active CRB**, on sélectionne la courbe à modifier à partir du panneau ci-dessus.

La courbe sélectionnée avec le bouton **Active CRB**, apparaît en rouge et devient la courbe active qui peut être éditée en modifiant ses points de contrôle avec les fonctions suivantes qui apparaissent dans le panneau **Courbe active** aux différents menus :

On note que l'on ne peut pas insérer de nouveaux points de contrôle sur les segments de type arc circulaires (**cercle**, **arc** ou **arrondi**). Un nouveau point de contrôle inséré sur une courbe prend le type du segment au point d'insertion (Voir Section 2.1), et pour plus de précision dans la localisation du point, on utilisera la fonction *Editer* qui permet de préciser les coordonnées directement au clavier.

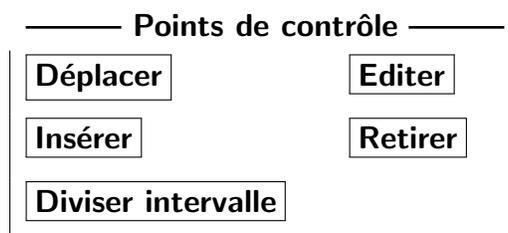
D'autres fonctions s'appliquent de façon générale à la courbe courante (courbe active) (Voir Section 2.5).

2.3 Courbes fermées

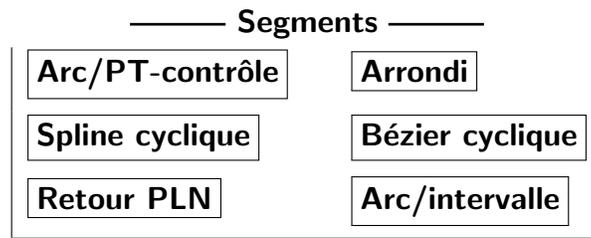
Des courbes fermées peuvent être créées en :

- en fermant la polyligne d'une courbe ouverte. (Voir le panneau **Active CRB** de la page précédente)
- en utilisant directement les constructeurs du panneau courbes fermées élémentaires du panneau à la Section 2.1.2
- en partant du bouton **Polygone**, plutôt que **Polyligne** comme c'est le cas d'une courbe ouverte. On spécifie les points de contrôle de ce polygone de la même manière, avec la souris.

On spécifie et modifie les points de contrôle :



La construction d'une courbe fermée à partir de ces points de contrôle se fait avec des segments de différents types.



Ces constructeurs sont semblables à leurs analogues pour les courbes ouvertes, mais forment un ensemble fermé. Cette particularité amène à distinguer entre l'intérieur et l'extérieur d'un domaine. Par convention, on pose que le domaine se situe à gauche lorsqu'on parcourt une courbe. Donc, le sens du parcours pour une courbe qui forme la frontière d'un domaine sera dans le sens trigonométrique (positif), tandis que pour une courbe formant un trou dans un domaine, le parcours sera dans le sens horaire. Ainsi pour les courbes fermées on devra préciser l'une de ces deux possibilités. Dans l'ensemble, pour un usager, la gestion d'une courbe fermée utilise les mêmes boutons et panneaux que ceux d'une courbe ouverte. Pour les détails, on réfère le lecteur à la Section 2.2 fonctions

Les différences sont présent en compte par les fonctions.

2.3.1 Rectangle

La construction d'un rectangle se fait en spécifiant les deux extrémités de la diagonale orientée comme montré à la Fig. 2.7.

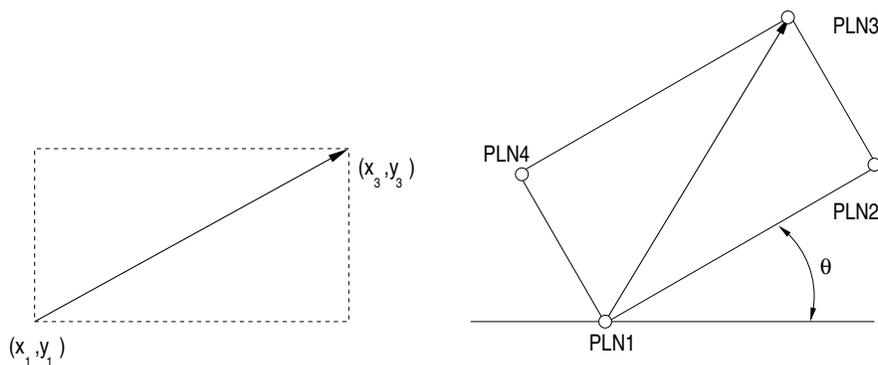


FIGURE 2.7 – Construction d'un rectangle

Les caractéristiques du rectangle sont calculées et affichées pour fins de validation

et/ou correction. On note que le panneau permet de spécifier une rotation de la courbe.

2.3.2 Coude

Le coude est une variante des courbes polygonales, définie par deux diagonales qui spécifient les deux coins tel qu'illustré à la Fig, 2.8, ce qui revient à définir deux rectangles. Ainsi, le coude est obtenu comme une soustraction booléenne de ces derniers.

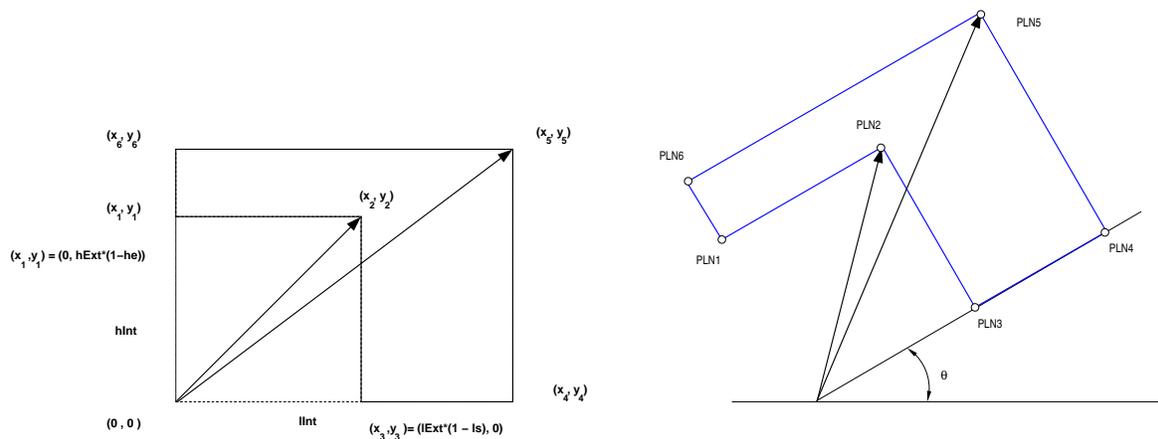


FIGURE 2.8 – Coude : soustraction booléenne de deux rectangles

Les caractéristiques du coude sont calculées et affichées pour fins de validation et/ou correction, avec l'option d'une rotation comme pour le rectangle de la section précédente.

2.3.3 Cercle

La construction d'un cercle est réalisé en spécifiant deux positions avec la souris : son centre et une position sur la conférence, ce qui donne le rayon. Avec ces paramètres, on calcule les caractéristiques du cercle et qui sont affichées pour fins de validation et/ou correction.

Comme la courbe est fermée, on doit préciser le point de début, qui par défaut est la position (nommée orientation) donnée pour indiquer le rayon.

2.3.4 Ellipse

On crée une ellipse à partir d’une ligne orientée sur le plan $x - y$, définissant l’axe majeur. On saisit les coordonnées des extrémités, (x_1, y_1) et (x_3, y_3) , suivi d’un troisième point, (x_2, y_2) , situé sur l’ellipse, tel qu’illustré à la Fig. 2.9.

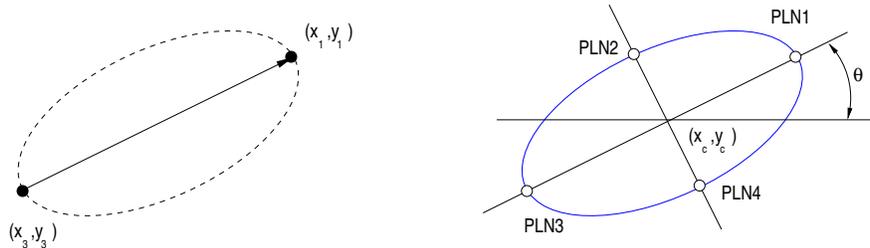


FIGURE 2.9 – Construction d’une ellipse : sens antihoraire (domaine à l’intérieur)

De ces points de contrôle, *PLN*, on tire les paramètres de l’ellipse ; le centre (x_c, y_c) , l’excentricité, l’orientation et les deux axes. Les caractéristiques de l’ellipse sont calculées et affichées pour fins de validation et/ou correction. On note deux options,

- l’excentricité est posée à .5 par défaut, et peut être modifiée sur le panneau de validation/correction ;
- comme pour le cercle, on peut préciser la position du début de la courbe par la valeur du paramètre angulaire, sur le panneau de validation/correction, (nommé orientation). .

On identifie deux variantes qui donne lieu à des constructions différentes selon le sens + ou – et qui donne des *CRBtype= 2 ou 3* correspondant à l’extérieur ou l’intérieur, respectivement.

2.4 Profils

Les profils sont un type particulier de courbe fermée qui seront définis par deux points (bord de fuite et bord d’attaque) saisis à l’écran. On accède aux différents types à partir du menu racine :

	Extérieur	Intérieur
Sens	+	-
Pas angulaire	$dA = +\pi/2$	$dA = -\pi/2$
<i>CRBtype</i>	2	3
<i>SEGtype</i>	55	55

FIGURE 2.10 – Caractérisation de l'intérieur et extérieur d'une courbe fermée

Geometrie =>	Profils =>	Ellipse-H
		=> ARC Double-H
		=> Joukowski-H
		=> Naca-H

À l'aide de ces deux points on déduit la corde et l'angle d'incidence. La courbe du profil est composée de deux segments, l'intrados et l'extrados. Toutes ces quantités peuvent être modifiées au clavier dans un panneau de validation/édition affiché à cette fin (Fig. ??). Pour les courbes type profil, l'option trou sera par défaut.

2.5 Editer une géométrie

On peut modifier une géométrie en manipulant ses courbes constituantes avec les fonctions du panneau **CRB active** du menu racine **Geometrie**.

Deplacer : déplace la courbe sélectionnée vers une nouvelle position indiquée au curseur.

Editer : déplace la courbe sélectionnée vers une nouvelle position indiquée au clavier ($\delta X, \delta Y$).

Rotation : tourne la courbe sélectionnée d'un angle entré au clavier.

Copier : fait une copie de la courbe sélectionnée.

Retirer : retire la courbe sélectionnée

Fermer : ferme la polygline active en joignant ses deux extrémités par un segment de droite, ce qui donne alors une courbe fermée (**Polygone**) ;

Select CRB : remplace la courbe courante par une autre courbe qui devient la courbe active de la géométrie pour fins d'édition.

2.6 Tessellation

Une tessellation est un ensemble non ordonné de points de contrôle qui peut être créée et éditée comme une polyligne. L'ensemble des actions possibles est essentiellement le même que pour une polyligne, comme illustré à la Fig. ??, que l'on accède à partir du bouton **Triangulation** du menu racine.

Chapitre 3

Domaine de calcul

Un domaine de calcul est constitué de zones ou faces bornées par des bords qui reposent sur les courbes de la géométrie décrite à la section précédente.

DOMAINE ==> FACES ==> BOUCLES ==> COTES/BORDS ==> COINS

Le domaine comprend une ou plusieurs faces, qui peuvent être contigües ou non. Il y a deux types de faces : non structurées ou structurées. Le procédé pour la construction de celles-ci est semblable, sauf que le nombre de cotés/bords doit être égal à quatre dans le premier cas.

Une *FACE* est constituée d'une boucle (*BCL*) externe, et, s'il y a lieu, des trous (boucles internes ou fentes) pour un domaine non simplement connexe.

La boucle externe se construit, dans le sens trigonométrique, par une suite de *COTE* formant un ensemble fermé. A chacun des *COTE* correspond un *BORD*, borné par deux *COIN*, et qui est composé d'un ou plusieurs *BRD*.

3.1 Construction des FACE

Après le choix *Stuct*, *NonStuct*, *IMDF* ou *IMVF*, un nouveau panneau est affiché, et la construction du domaine et des *FACE* qui le composent est lancée à partir du bouton *Domaine* du menu principal qui affiche le panneau illustré à la Fig. 3.2, qui est composé d'un ensemble d'actions pour la construction de la face selon le type choisi, et son édition. A partir d'une géométrie composée de courbes (Voir Chapitre 2), on construit une *FACE* en créant successivement une suite de *COIN* formant ainsi les *COTE/BORD* qui bornent le domaine. Les *COIN* sont de plusieurs types et sont construits à l'aide des boutons dans le panneau de la Fig. 3.3 :

==> Point(x,y) : un point libre dans l'espace, c-à-d non contraint ;

==> Point/CRB : une position sur une courbe ;

Face Ce panneau propose les actions pour ajouter au domaine une face structurée/nonstructurée avec les boutons *StructNonStruct*, ou bien une face construite avec des frontières immergées pour des méthodes aux différences/volumes finis avec les boutons *IMDF/IMVF*. On trouve également des actions pour l'édition/modification de la *FACE* courante.

Discrétisation des frontières

Diverses options pour la discrétisation des frontières du domaine courant.

Info domaine Ce panneau donne les informations sur les entités topologiques constituant le domaine, ainsi que des fonctions pour la production de rapports et graphiques envoyés, respectivement, dans la fenêtre de commande et une figure qui peut être annotée.



FIGURE 3.2 – Menu pour la construction d'un domaine.

==> CRB/CRB : une position à l'intersection de deux courbes.

On enchaîne ces diverses actions dans le sens trigonométrique. Ceci forme une boucle composée d'entités *COIN* et *BORD*. On ferme la boucle en sélectionnant l'entité *COIN* de départ de la boucle courante, donnant typiquement, pour des *FACE* structurées avec quatre *COTE/BORD*, ou non structurées, avec un nombre quelconque de *COTE/BORD*. On illustre ces représentations à la Fig. 3.4.

Alors, trois actions sont possible :

Le bouton **Stuct** affiche le menu ci-contre :

Construction boucle Structuree Ce panneau propose les actions pour la construction générale d'une face structurée sur la géométrie courante. On note de le nombre de cotés doit être égal à quatre.

Configurations Pour faciliter la construction de configurations complexes, on propose diverses options telles que décrites aux sections suivantes. La topologie (nombre de coins/cotés) sera conforme au type de face, i.e. structuré.

Info boucle Ce panneau donne les informations sur les entités topologiques constituant la face lors de sa construction.

Les boutons **NonStuct**, **IMDF** ou **IMVF** affichent des menus semblables produisant des topologies avec des différences reliées au type choisi. Par exemple, le nombre de cotés peut être quelconque, contrairement à une face structurée.

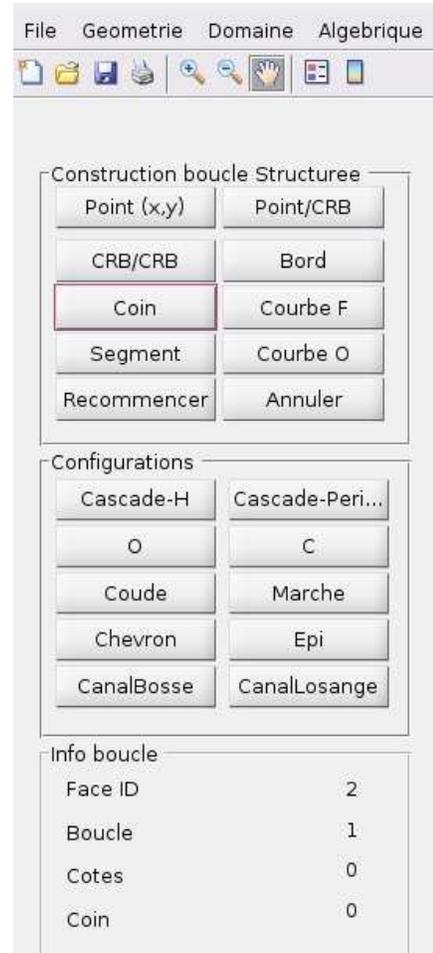


FIGURE 3.3 – Construction d'une face structurée.

Fermer : On ferme la face avec une seule boucle, c-à-d une face simplement connexe.

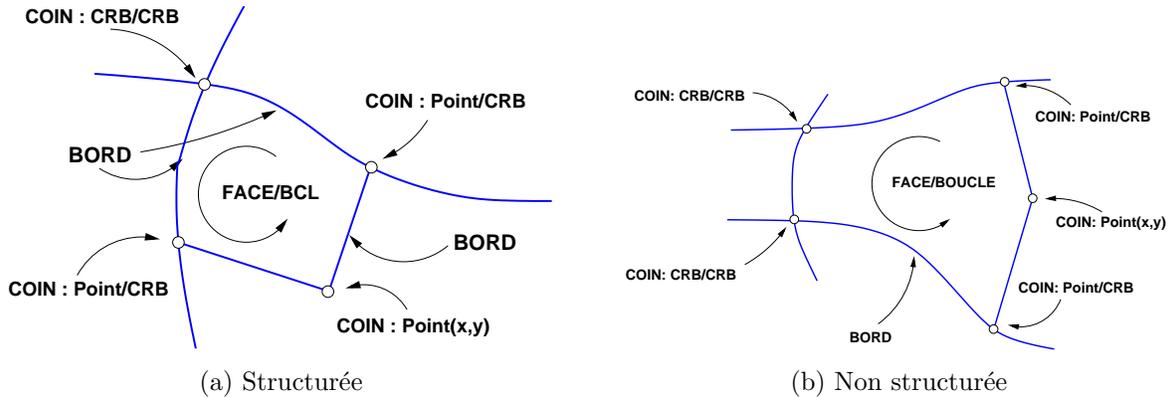
Trou : On crée un trou en sélectionnant une courbe fermée existante qui se trouve à l'intérieur de la boucle courante.

Fente : On crée une fente en sélectionnant une courbe ouverte existante qui se trouve à l'intérieur de la boucle courante.

Dans la construction d'une *FACE*, on peut aussi utiliser des entités existantes,

==> **Coin** : un *COIN* existant ;

==> **Bord** : un *BORD/COTE* existant ;

FIGURE 3.4 – Représentation d'une *FACE*

==> Courbe fermée : une *Courbe* pré-définie.

On peut également construire une boucle en une seule étape, utilisant les entités suivantes, définies préalablement :

==> Courbe Fermée :

==> Boucle :

Pendant la construction d'une face, on peut, en cas d'erreur,

==> Recommencer : Toutes les entités de la *FACE* courante sont effacées et une nouvelle *FACE* peut être construite.

==> Annuler : La dernière action est annulée et on peut continuer la construction de la *FACE* courante.

3.2 Domaine multi-face

Pour des géométries complexes, il n'est pas toujours possible de former une seule *FACE* avec un maillage structuré. On doit alors recourir à une subdivision/partition du domaine en plusieurs *FACE/BLOC* comme illustré à la Fig. 3.5. On note qu'un ~~Domaine peut comporter plusieurs faces, COIN, figures et boucle.~~ On peut également former plusieurs faces, COIN, figures et boucle. la construction d'une nouvelle face contigue en sélectionnant un *COIN* ou *BORD* existant pour former les *COIN/BORD* de la nouvelle boucle.

Domaine ==> [Structure / [Non structure] ==> Construction boucle ==> [Coin]]

Domaine ==> [Structure / [Non structure] ==> Construction boucle ==> Bord]

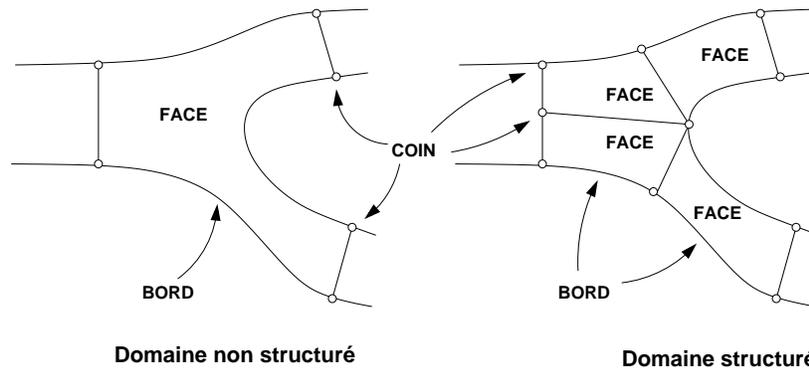


FIGURE 3.5 – Différents modèles topologiques pour un domaine

On complète avec de nouvelles entités, $Point(x,y)$, $Point/CRB$, CRB/CRB etc (Voir le menu à la Fig. 3.3) afin de créer des $COIN$ ou $BORD$, et on ferme la BCL .

On illustre avec l'exemple de la Fig. 3.6 :

1. $FACE$ initiale (en vert) : On construit avec une suite de $COIN$ avec l'option,
 - ==> $Point/CRB$
 - et on ferme la BCL
 - ==> $Coin$
2. $FACE$ adjacente (en rouge) : On amorce la nouvelle $FACE$ en sélectionnant soit un $BORD$ ou $COIN$ sur la $FACE$ initiale, avec les boutons,
 - ==> $Bord/Coin$ suivi de plusieurs
 - ==> $Point/CRB$:
 - et on complète avec,
 - ==> $Coin$:

3.3 Domaines non-simplement connexes

Une face peut être simplement connexe ou non-simplement connexe (avec un ou plusieurs trous ou fentes) comme dans l'exemple illustré à la Fig. 3.7.

On construit d'abord la BCL extérieure par une suite de $COIN$ sélectionnant des positions sur les courbes avec l'option $Point/CRB$ et en fermant avec l'option $Coin$.

On a alors trois actions possibles : fermer la boucle, introduire un trou ou une fente, en sélectionnant une courbe fermée (ici un cercle) préalablement créé.

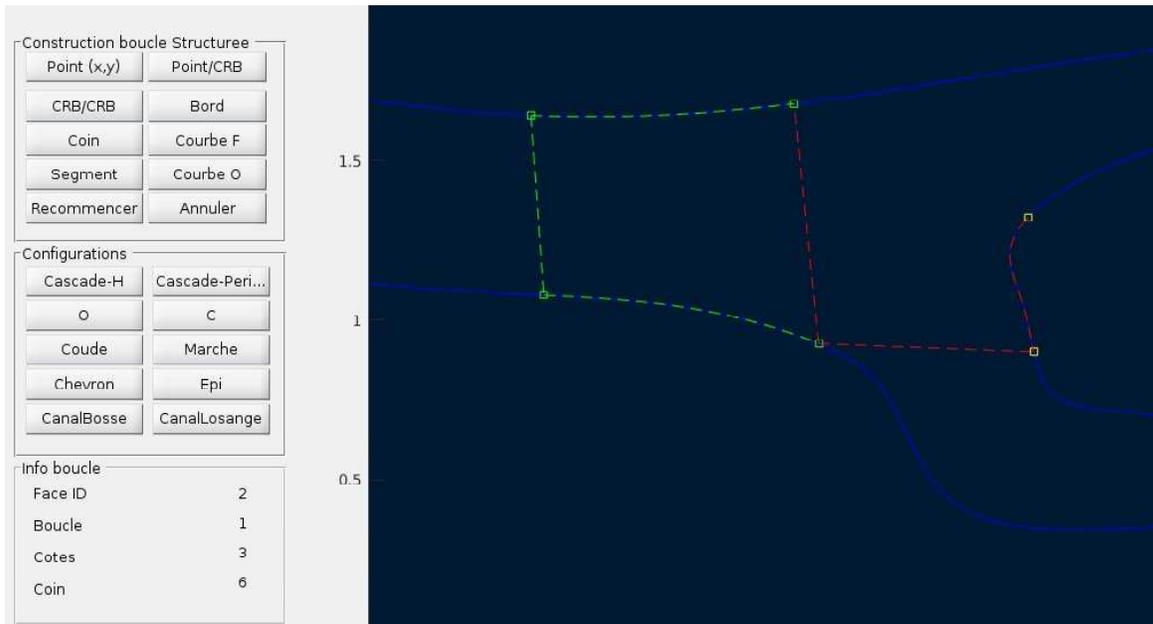
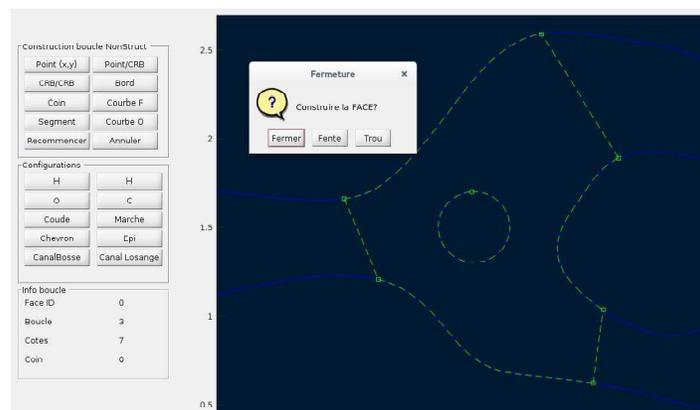


FIGURE 3.6 – Construction d'un domaine partitionné multi-face

FIGURE 3.7 – Construction d'une *FACE* non-simplement connexe

3.4 Configurations pré-définies : type canal

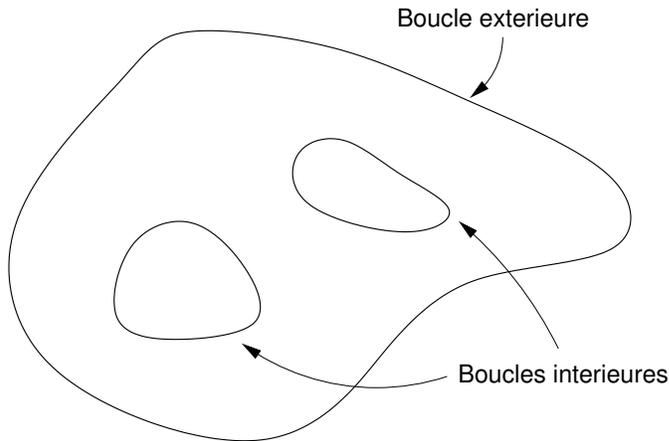


FIGURE 3.1 – Représentation d'un domaine non simplement connexe

Dans le menu *Domaine*, après la sélection `Stuct`, `NonStuct`, `IMDF` ou `IMVF`, on propose la construction automatique de quelques configurations que l'on peut associer à un canal, c'est-à-dire une entrée, une sortie et deux parois solides. On accède à ces configurations avec le panneau,

=> **Configurations**

du menu ci-contre pour le choix *NonStruct*.

On spécifie au curseur, la géométrie par deux coins (x_1, y_1) et (x_2, y) formant la diagonale englobant le canal, et avec quelques paramètres géométriques additionnels, on obtient les différentes variantes suivantes :

<i>Configuration</i>	Géométrie
<i>La marche</i>	2 CRB ouvertes
<i>Le coude</i>	2 CRB ouvertes
<i>Canal bosse</i>	Une CRB fermée
<i>Canal losange</i>	Une CRB fermée
<i>Chevron</i>	Points libres

3.4.1 La marche

Pour la variante de la marche, la géométrie comprend deux courbes créées automatiquement, comme illustré à la Fig. 3.9.

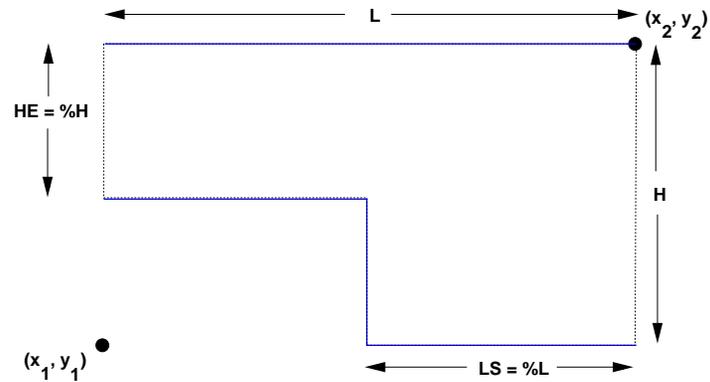


FIGURE 3.9 – Paramètres de la géométrie de la marche.

3.4.2 Le coude

De manière semblable, la Figs. 3.10 montre la définition de la configuration du coude.

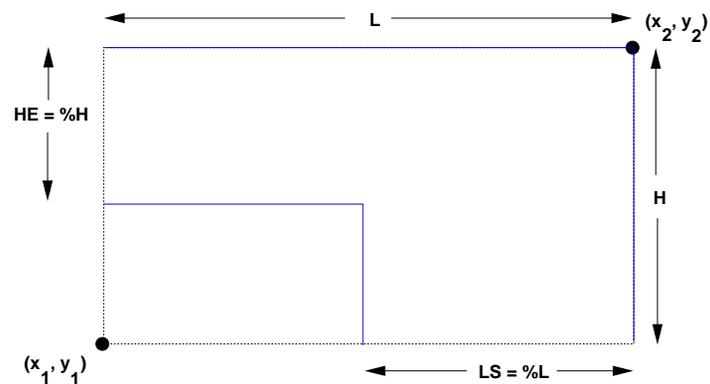


FIGURE 3.10 – Paramètres de la géométrie pour la configuration du coude.

3.4.3 Configurations canal

Les variantes *Canal avec bosse* et *Canal losange* sont également semblables. On illustre le cas *Canal avec bosse* à la Fig. 3.11

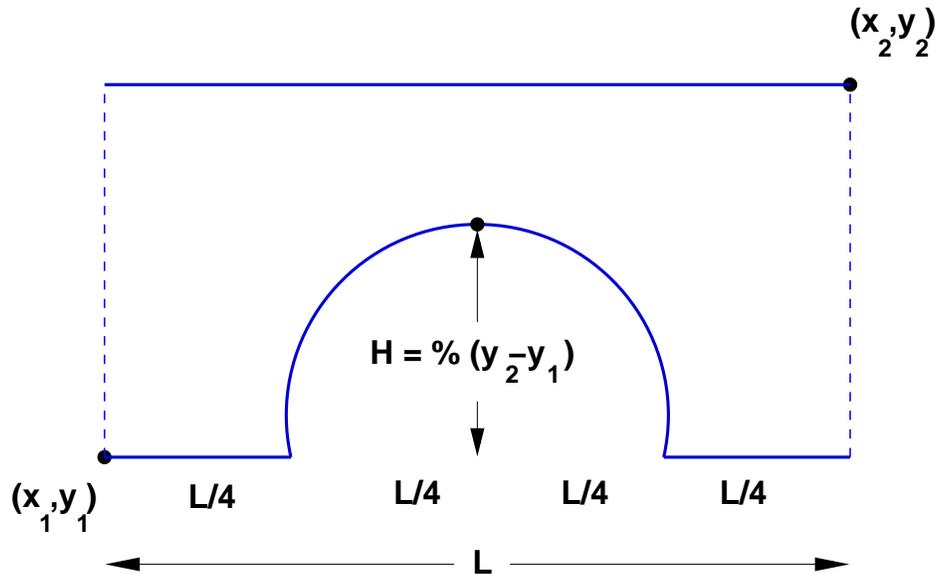


FIGURE 3.11 – Paramètres de la géométrie pour la configuration du Canal avec bosse

3.5 Configurations profils

Dans ce panneau, on trouve un deuxième groupe de boutons pour les domaines en H et C, qui sont des constructions spécifiques à des profils qui permettent la construction rapide de domaines complexes. On accède à ces constructeurs avec :

Domaine => **Configurations** => Cascade H
=> C

Un panneau contextuel propose un choix de profils pour la construction de la configuration choisie, soit :

=> **Profils** => Ellipse-H
=> ARC Double-H
=> Joukowski-H
=> Naca-H

Tous les profils sont construits comme une courbe fermée comprenant deux

segments : l'intrados et l'extrados qui se rejoignent aux bords de fuite et d'attaque, comme illustré à la Fig. 3.12. Un panneau permet de spécifier les caractéristiques pour chacun des types ci-dessus.

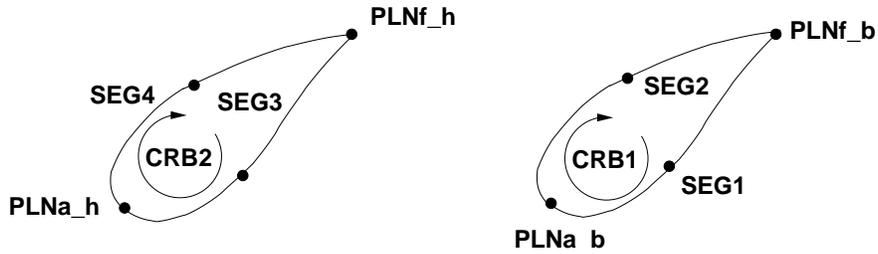


FIGURE 3.12 – Construction du profil C et H

3.5.1 Profils en H

Les configurations de type cascade sont construites à partir d'une courbe, un profil, qui est dupliqué pour donner un canal inter-aube, tel qu'illustré à la Fig. 3.13.

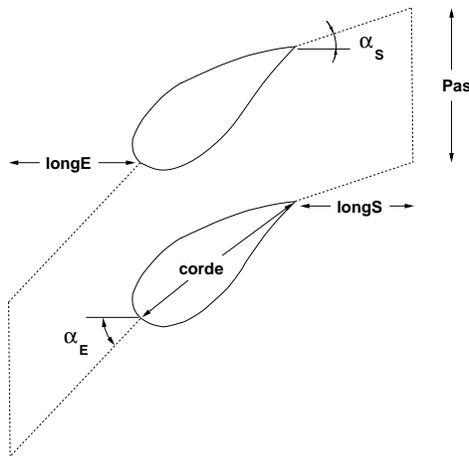
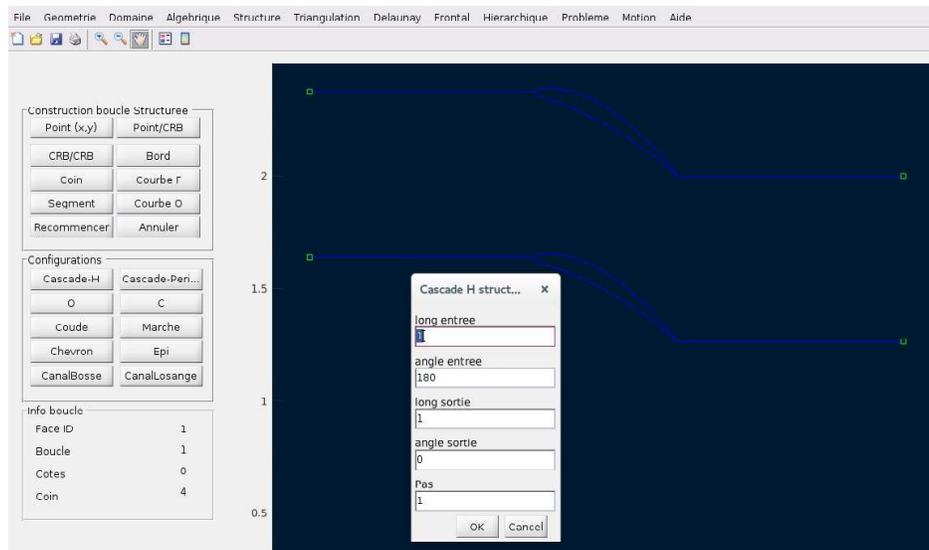


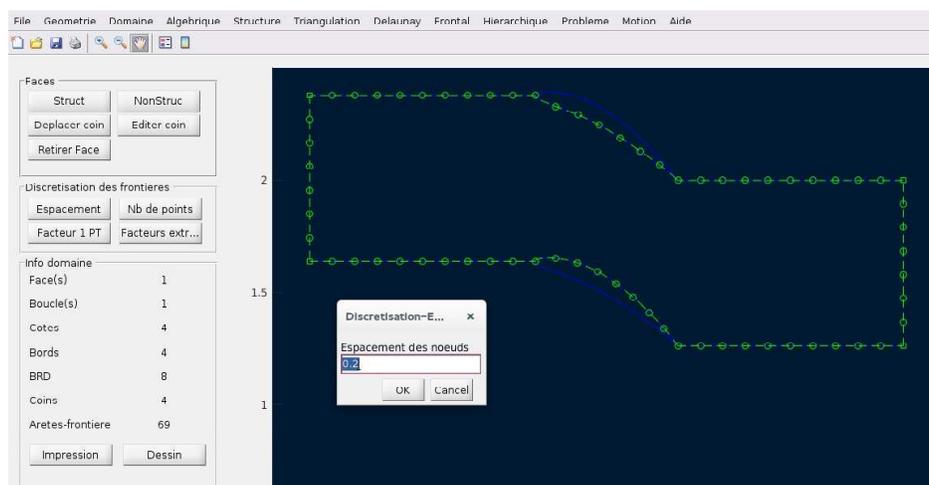
FIGURE 3.13 – Canal inter-aube non-structuré à partir d'un profil

Un domaine en H est illustré à la Fig. 3.14b et sert à la représentation de grilles

d'aubes dans des turbines. Ce domaine est caractérisé par le positionnement des plans de l'entrée et de la sortie, ainsi que le pas, c'est-à-dire l'espacement des profils. Ces quantités sont saisies dans un menu secondaire et exprimées en fraction de la corde du profil, Fig. 3.14a.



(a) Saisie des paramètres

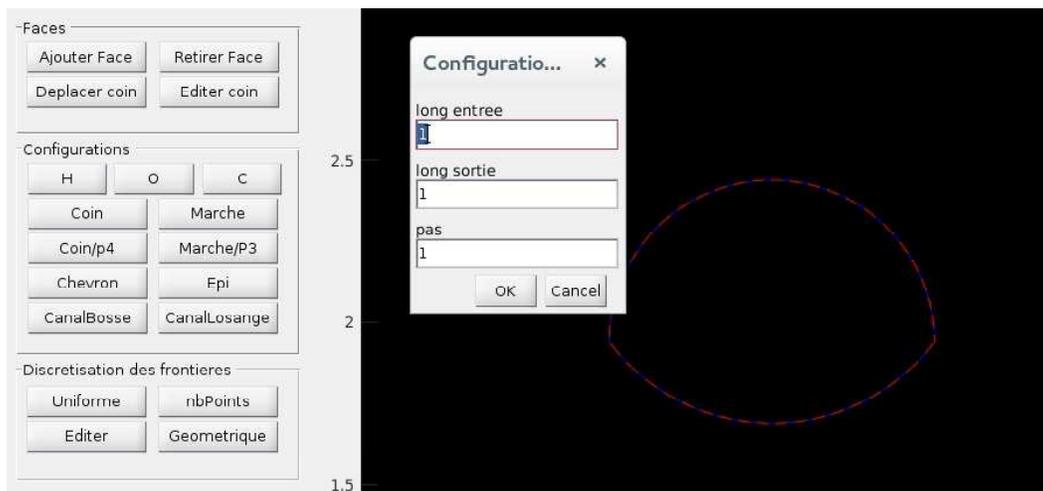


(b) Définition des paramètres

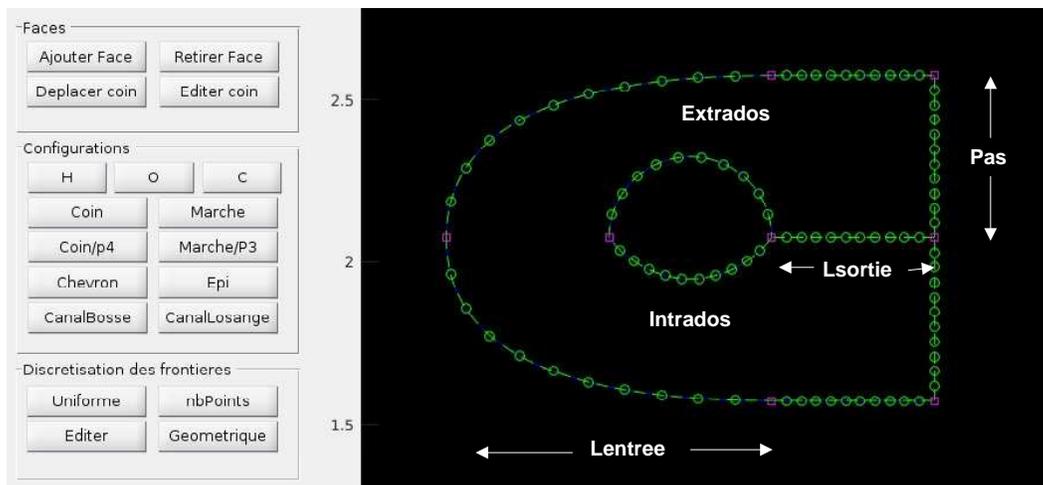
FIGURE 3.14 – Configuration en H

3.5.2 Profils en C

Un domaine en C est illustré à la Fig. 3.15b à partir d'un profil préalablement défini . Ce type de domaine forme un C autour du profil dont les dimensions sont saisies et montrées à la Fig. 3.15a.



(a) Saisie des paramètres



(b) Définition des paramètres

FIGURE 3.15 – Configuration en C

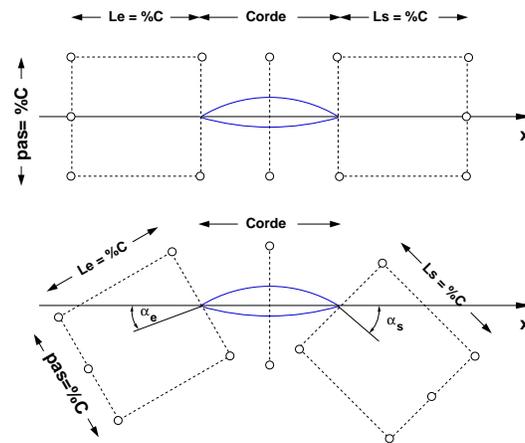


FIGURE 3.16 – Construction de la configuration profil C

3.5.3 Profile en O

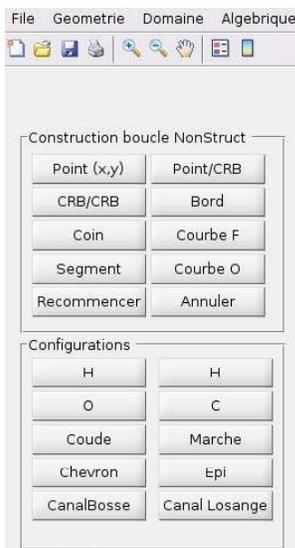


FIGURE 3.8 – Configurations pré-définies

Chapitre 4

Discrétisation des frontières

Après la construction d'un domaine de calcul tel que décrit à la Section 3, on dispose d'une représentation composée de faces bornées par des boucles, composées de bords.

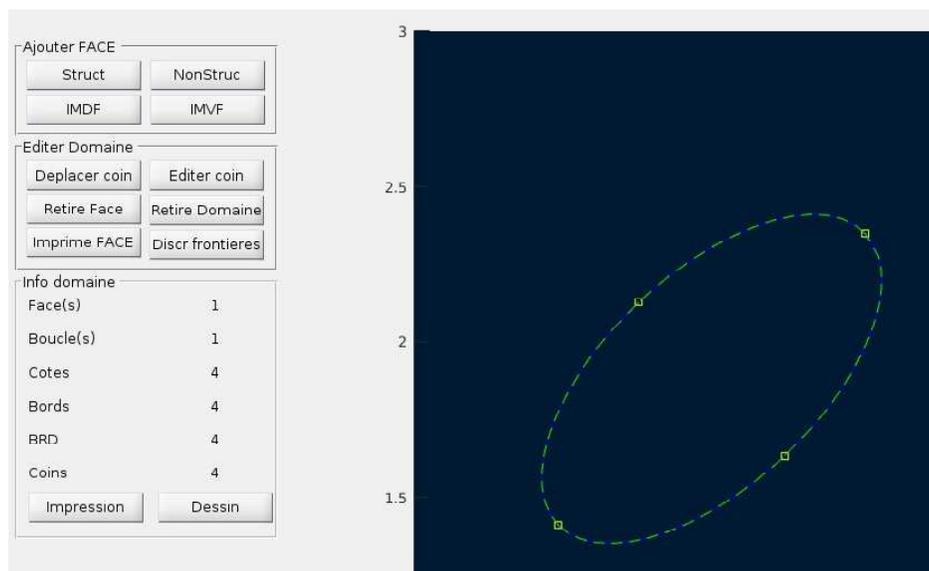


FIGURE 4.1 – Représentation d'un domaine

On discrétise les frontières avec la fonction **Discrétisation des frontières** à partir du panneau **Editer domaine**,

Domaine => Editer domaine => Discrétisation des frontières

qui propose les options suivantes :

Espacement Les bords du domaine sont discrétisés avec un espacement uniforme spécifié par l'utilisateur à partir d'une boîte de dialogue qui propose par défaut, la valeur $\delta = .2$.

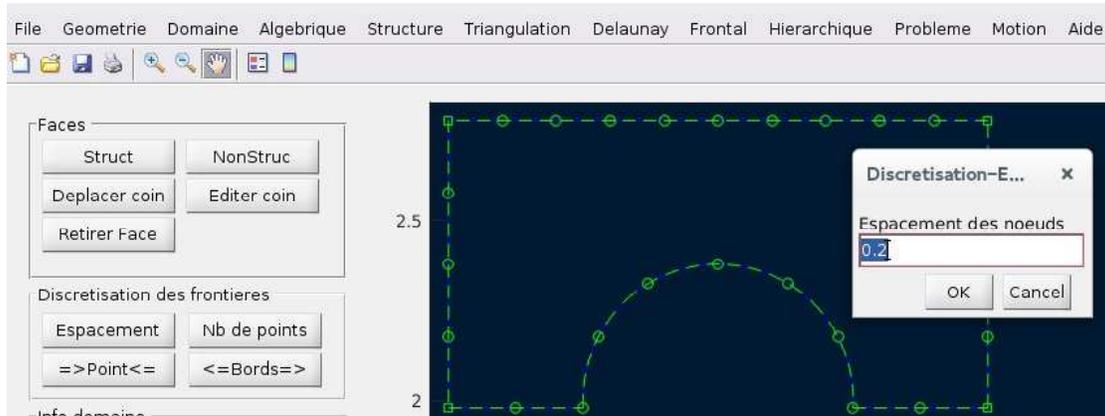


FIGURE 4.2 – Partage uniforme donné par un espacement δ

Nb de points Le bord du domaine est discrétisé avec un espacement régulier spécifié par un nombre de sommets à partir d'une boîte de dialogue qui propose 10 points par défaut.

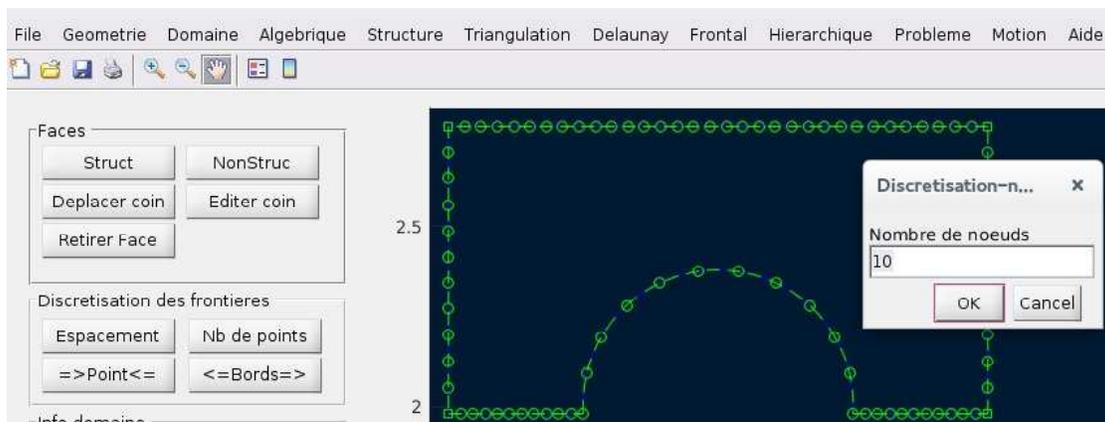


FIGURE 4.3 – Partage par un nombre de points

La discrétisation obtenue par les boutons précédents peut être modifiée en spécifiant un nouveau partage, avec les boutons \Rightarrow *Point* \Leftarrow ou \Leftarrow *Extremities* \Rightarrow . On spécifiant des nouvelles valeurs pour le nombre de sommets, et les paramètres d'une discrétisation nonuniforme (concentration) des points sous la forme d'un polynôme cubique.

Concentration vers une position sur la frontière On spécifie la position du point ($0 < u < 1$) vers lequel les sommets seront concentrés, et un facteur de concentration.

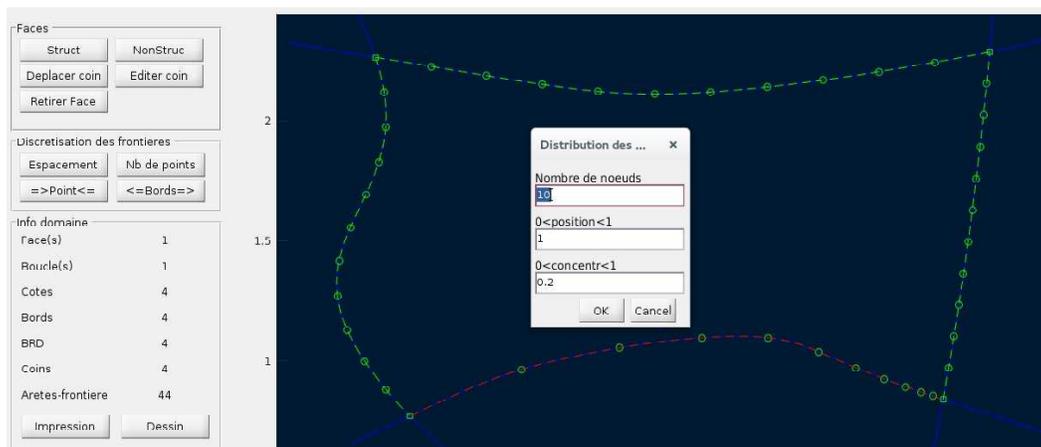


FIGURE 4.4 – Edition d’une discrétisation existante : concentration vers un point

Concentration vers des deux extrémités d’un bord On donne un facteur de concentration pour chacune des deux extrémités du bord.

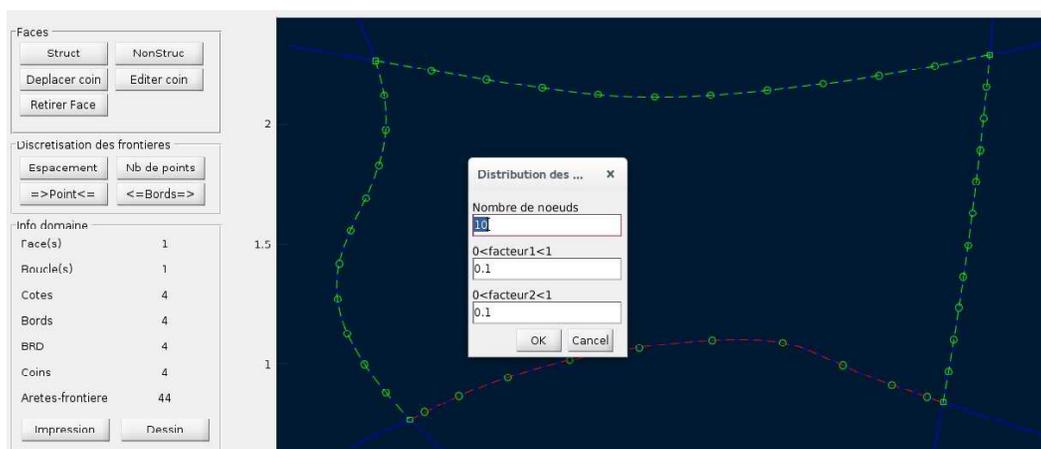


FIGURE 4.5 – Edition d’une discrétisation existante : concentration vers les extrémités du bord

Ces facteurs, compris entre 0 et 1, représentent la fraction par rapport à la répartition uniforme.

Chapitre 5

La génération du maillage

Dans l'environnement *MARS*, on propose cinq familles de maillages :

Maillages structurés :

- *Algébriques*
- *Différentiels*

Maillages non-structurés :

- *Triangulation*
- *Delaunay*
- *Avance de front*

Ces différents algorithmes prennent en entrée un domaine discrétisé obtenu avec les fonctions de discrétisation de la frontière, présentées à la Section suivante (Sec. 5.1). On doit s'assurer que le mailleur utilisé correspond au type de domaine.

5.1 Maillages algébriques

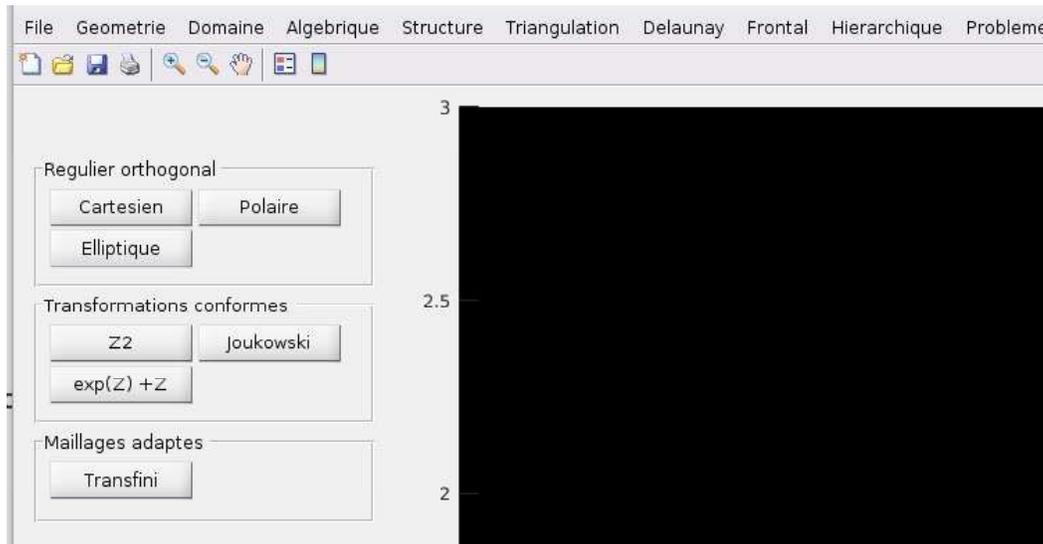


FIGURE 5.1 – Menu racine pour les maillages algébriques

5.2 Maillages de triangulation

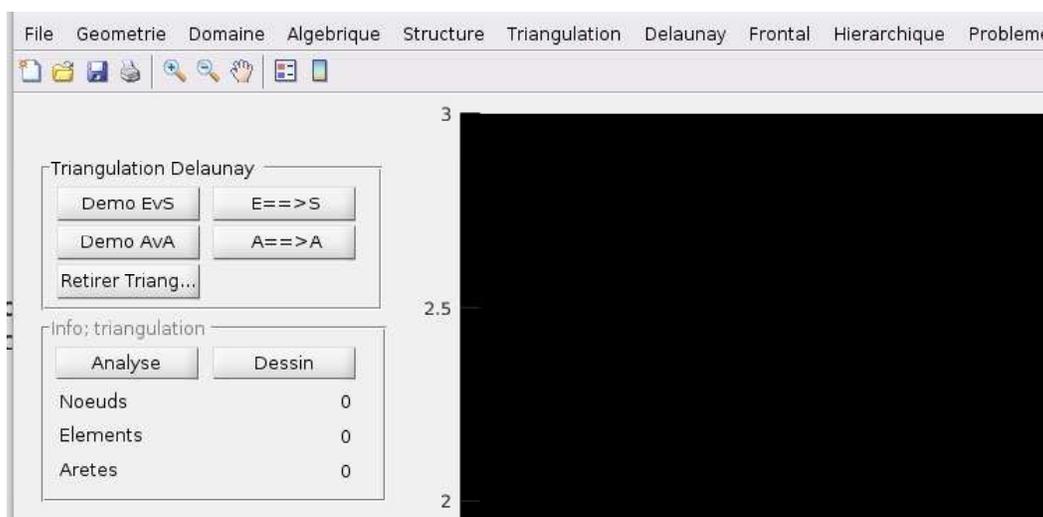


FIGURE 5.2 – Menu racine pour les maillages de triangulation

5.3 Maillages différentiels

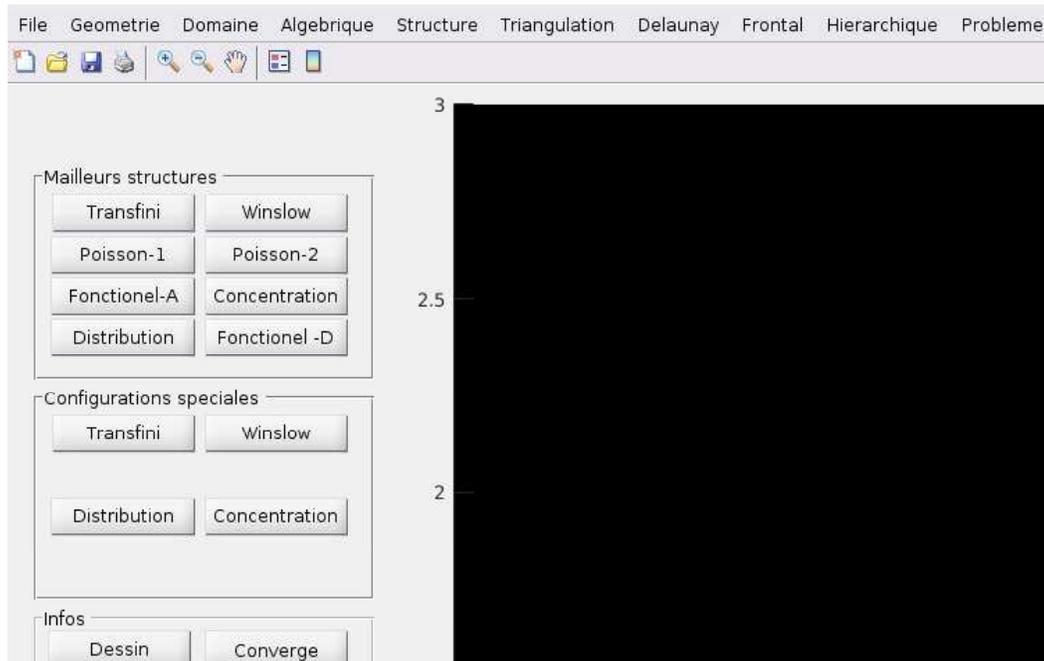


FIGURE 5.3 – Menu racine pour les maillages différentiels

5.4 Triangulation de Delaunay

Soit une distribution régulière¹ de N sommets $\mathcal{S} = \{S_i\}_{i=1,\dots,N}$, qui peut se trianguler de plusieurs façons différentes, dont quelques exemples sont illustrés à la Fig. 5.4.

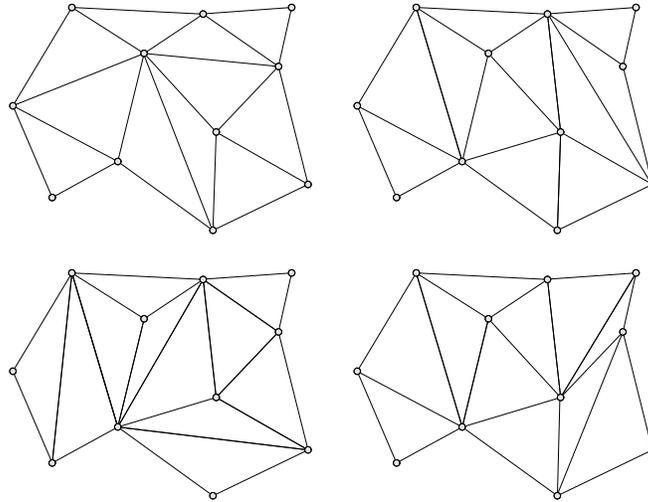


FIGURE 5.4 – Triangulations diverses pour une tessellation donnée

Parmi toutes ces façons de connecter les sommets d'un ensemble de points $\mathcal{S} = \{S_i\}_{i=1,\dots,N}$, la triangulation de Delaunay de l'enveloppe convexe est unique. Il en découle plusieurs propriétés dont le critère de la sphère vide qui est à la base de l'algorithme de génération de maillages de Delaunay.

Un simplexe K satisfait le critère de la sphère vide si la boule ouverte circonscrite au simplexe K est vide (i.e., ne contient aucun sommet de la triangulation).

5.5 Maillages de Delaunay

L'algorithme de Delaunay sert à connecter un ensemble donné de noeuds. En pratique, le point de départ est un domaine borné par des frontières discrétisées qui constituent un front. Ceci est la base de plusieurs algorithmes comme la méthode de Delaunay contraint ou la méthode d'avance de front.

La méthode de Delaunay Contraint est une technique de génération de mailles

1. On suppose qu'il n'y a pas trois sommets colinéaires, ni quatre sommets cocycliques

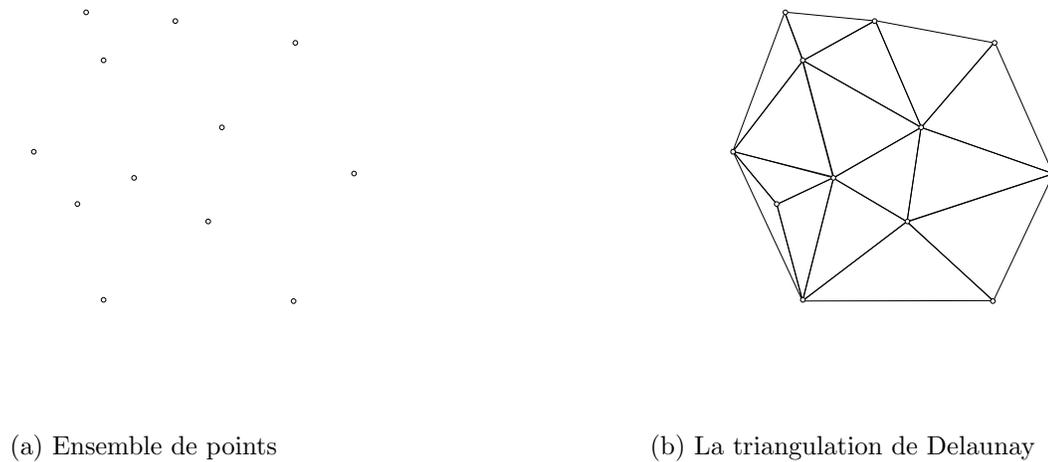


FIGURE 5.5 – Triangulation unique

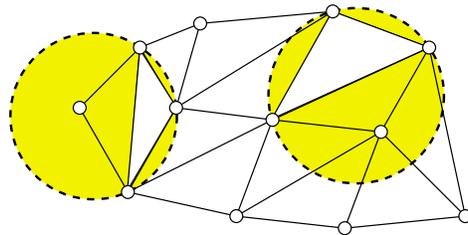


FIGURE 5.6 – Critère de la sphère vide

incrémentale où une triangulation initiale est modifiée en insérant des noeuds et les reconnectant par l'algorithme de Delaunay. Le maillage initial est obtenu par une triangulation des noeuds sur les frontières du domaine ce qui donne un premier recouvrement.

Plusieurs stratégies d'insertion de points sont envisageables. Ici, on utilisera l'arête la plus longue.

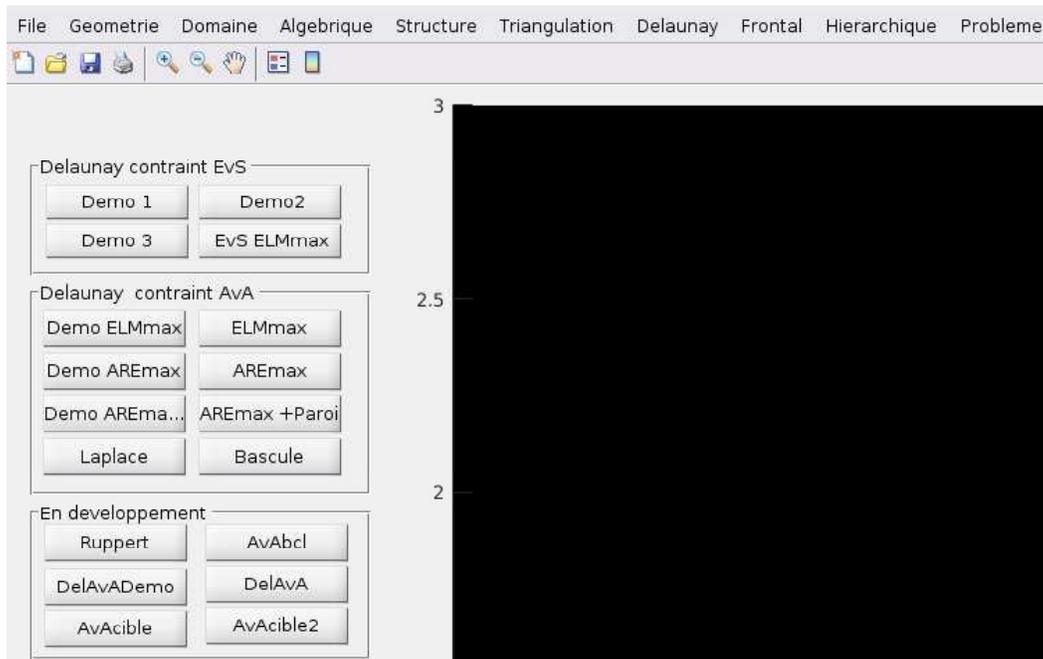


FIGURE 5.7 – Menu racine pour les maillages Delaunay

5.6 Maillages d'avance de front

Liste des variables

.1 Géométrie

CRB :

GEO :

nbCRB :

PLN :

PT :

SEG :

.2 Topologie

COIN :

nbCOIN :

FACE :

nbFACE :

BORD :

PT :

SEG :

.3 Maillage

(x,y) : Coordonnées d'un sommet

ARE :

E :

PLN :

PT :

SEG :

.4 Avance de front

FRNT :

FRNTdim :

FRNTactif :

ANGL :

LONG :

ANGLindex :

Liste des fonctions

configApi2 :

FRNTconstr :