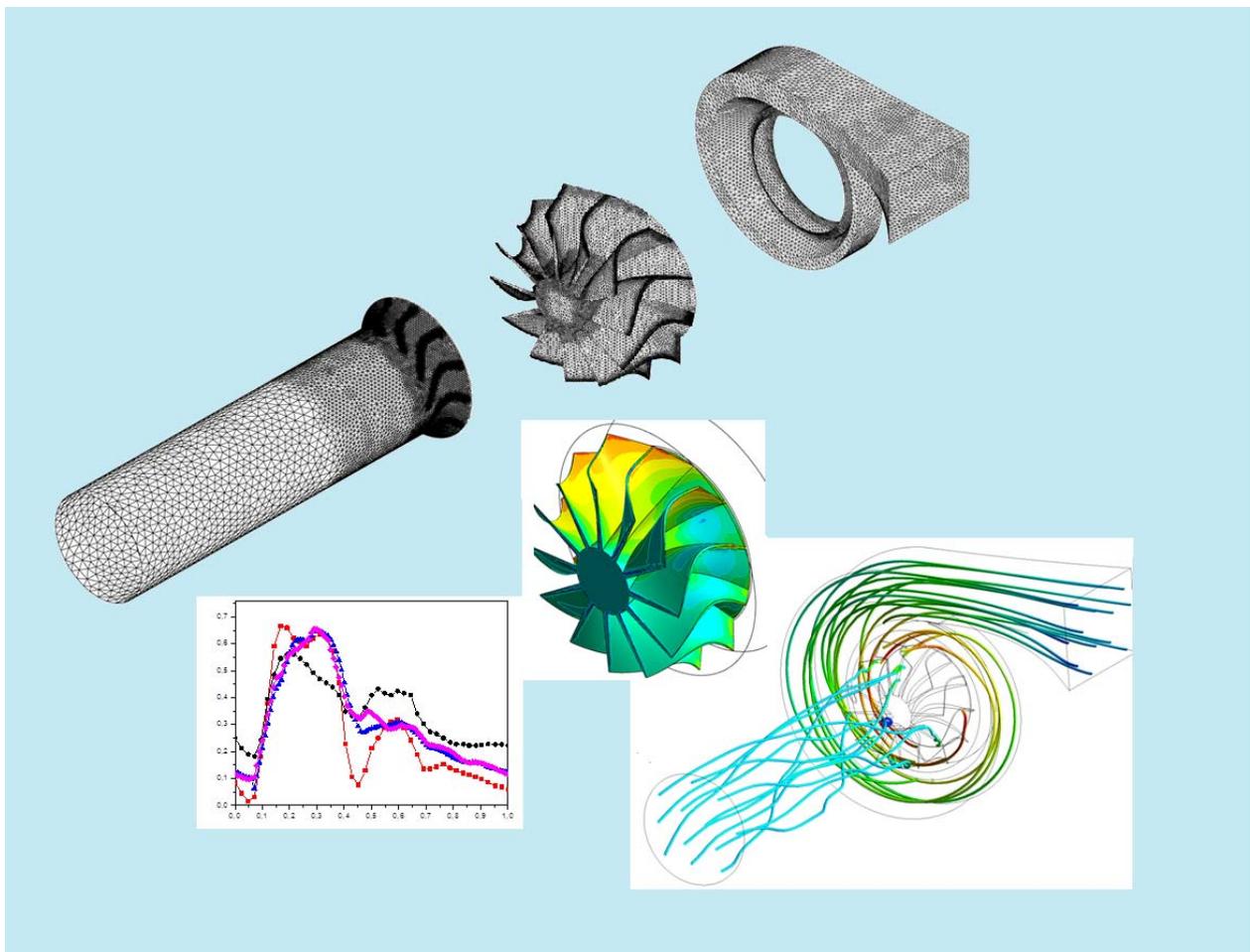


# INITIATION A LA SIMULATION NUMERIQUE DES ECOULEMENTS DE FLUIDES (CFD)

## Introduction à l'ANSYS ICEM CFD et ANSYS CFX



**Auteur : Dr. Hamel Mohammed<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>- E-Mail : [hamel\\_moh78@yahoo.fr](mailto:hamel_moh78@yahoo.fr) ou [mohammed.hamel@univ-usto.dz](mailto:mohammed.hamel@univ-usto.dz)

## Table des matières

Table des matières	1
1. Introduction	2
2. Première partie : Géométrie et Maillage	2
2.1. La géométrie étudiée	2
2.2. Présentation de l'ANSYS ICEM CFD	3
2.2.1. Menu principal	3
2.2.2. Utilitaires	5
2.2.3. Fonctions	5
2.2.4. L'arbre de commande d'affichage	8
2.2.5. Fenêtre de message	9
2.2.6. Fenêtre d'histogramme	10
2.3. Commencer un nouveau projet	11
2.4. Dessin de la géométrie	12
2.4.1. Les surfaces	12
2.4.2. Nommer les surfaces	13
2.4.3. Réparer la géométrie	14
2.4.4. Créer le volume	16
2.5. Le Maillage	16
2.5.1. Paramètres globaux du maillage	17
2.5.2. Sélection des régions pour le prisme	17
2.5.3. Paramètres du prisme	18
2.5.4. Paramètres du maillage dans les surfaces	18
2.5.5. Générer le maillage	20
2.5.6. Couches de prismes	21
2.6. Exporter le fichier du maillage	22
3. Deuxième partie : Simulation numérique	24
3.1. Conduction d'une simulation numérique	24
3.1.1. Pré processing	24
3.1.2. La résolution	24
3.1.3. Post processing	24
3.2. Structure du code ANSYS CFX	24
3.2.1. CFX-Pre	25
3.2.2. CFX-Solver	25
3.2.3. CFX- Solver Manager	26
3.2.4. CFX-Post	26
3.3. Lancement du logiciel	26
3.3.1. Lancement du module CFX-Pre	26
3.3.2. Ouvrir et sauvegarder une nouvelle simulation	27
3.3.3. Déroulement classique	28
3.3.4. Importer le maillage	31
3.3.5. Définir le domaine de calcul	31
3.3.6. Définition des conditions aux limites	34
3.3.7. Lancement du module CFX Solver Manager	41
3.3.8. Lancement du module CFX Post et traitement des résultats	43
Références	51

## 1. Introduction

Depuis quelques années, l'accroissement de la puissance des ordinateurs et le développement des méthodes numériques ont permis de conduire des calculs tridimensionnels de l'écoulement dans plusieurs configurations, tout en tenant compte de l'effet de la viscosité et de la turbulence. Ce progrès a fait de la modélisation numérique de l'écoulement ou CFD (Computational Fluid Dynamic) un outil de plus en plus important pour le développement et l'optimisation du dimensionnement de différents procédés industriels. Parmi le large éventail des codes de calcul de l'écoulement connus on peut citer : CFX, Fluent, Numeca, Star-CD, Openfoam etc...

Dans ce document on présentera deux outils de simulation numérique qui peuvent être utilisés indépendamment l'un de l'autre. Le premier est le logiciel ANSYS ICEM CFD qui est utilisé pour le dessin de la géométrie et la génération du maillage. Le deuxième est le code ANSYS CFX qui permet la simulation numérique de l'écoulement ; l'utilisation du pré-prossecing, la résolution et le poste-prossecing est démontrée par l'exemple de l'écoulement dans une conduite à changement brusque de section.

## 2. Première partie : Géométrie et Maillage

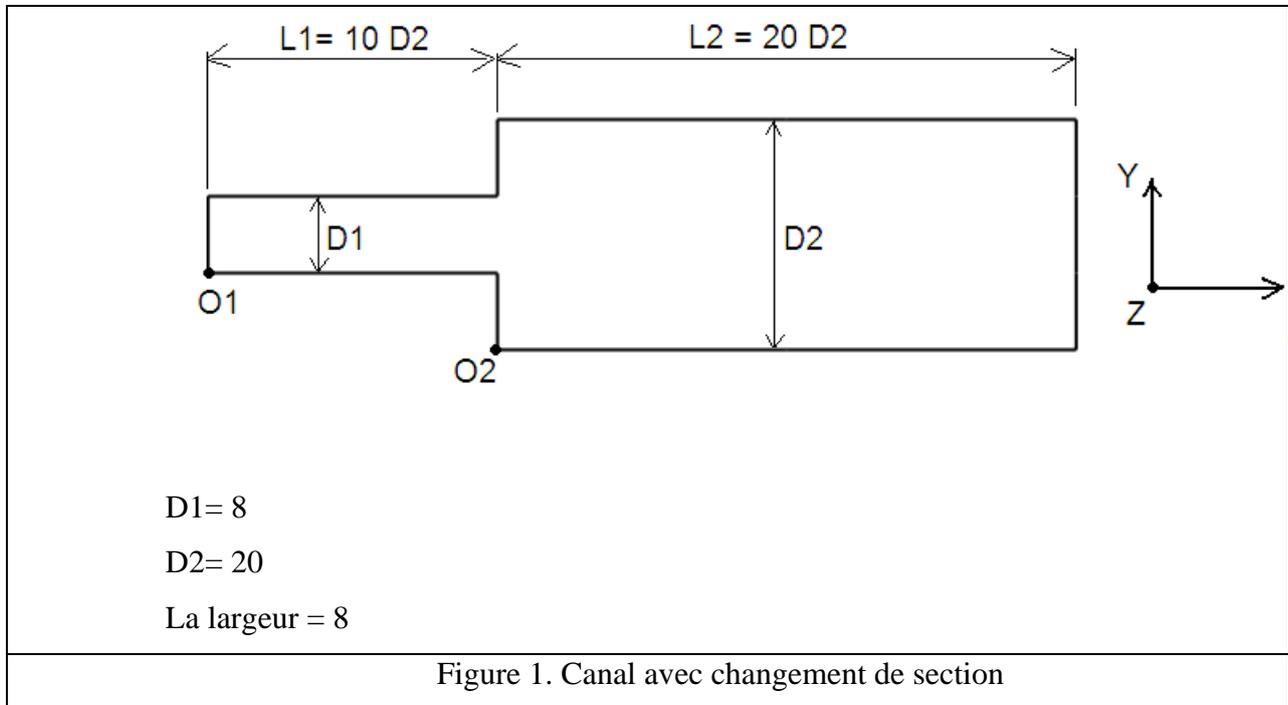
### 2.1. La géométrie étudiée

Ce cours fournit les instructions utilisées pour chaque étape dans le procédé de génération de la géométrie et du maillage d'une conduite avec un changement brusque de section (figure 1) en utilisant le logiciel ANSYS ICEM CFD. L'utilisateur apprend non seulement l'ordre des commandes, mais vient également de comprendre le concept derrière les différentes commandes.

Plusieurs méthodes peuvent être employées pour arriver au résultat final ainsi l'auteur choisit la méthode qui peut être la plus aisée pour un débutant.

Après le passage par ces instructions, l'utilisateur sera capable d'étendre sa connaissance des fonctions dans des projets similaires.

La géométrie de la figure 1 sera construite à l'aide de deux parallélépipèdes, le premier avec une hauteur  $D1$  et longueur  $L1$  tandis que le deuxième avec une hauteur  $D2$  et longueur  $L2$ .



## 2.2. Présentation de l'ANSYS ICEM CFD

Ce module permet de préparer la configuration géométrique du problème étudié et de générer le maillage de manière assez conviviale bien qu'assez simple. Dans le cas de notre travail on a fait recours à l'ICEM CFD, l'un des avantages de ce logiciel, est sa simplicité ainsi que sa robustesse envers la réalisation des géométries les plus complexes. Pour le maillage, ICEM CFD utilise des structures mono ou multi-blocs en fonction de la géométrie, il permet de générer deux types de maillages, entre autre le maillage tetrahedral et le maillage hexahedral. Pour chaque configuration (géométrie - maillage) un fichier de données (\*.cfx5) doit être exporté vers CFX.

L'interface graphique de l'ANSYS ICEM CFD est montrée sur la figure 2 et contient les éléments suivants.

### 2.2.1. MENU PRINCIPAL

Plusieurs des éléments de menu suivants sont accessibles sous forme d'icônes dans le coin supérieur gauche.

- a. *Fichier* : Le menu Fichier permet de créer ou d'ouvrir des projets existants, de charger et d'enregistrer des fichiers, d'importer et d'exporter des géométries et d'initialiser les scripts.

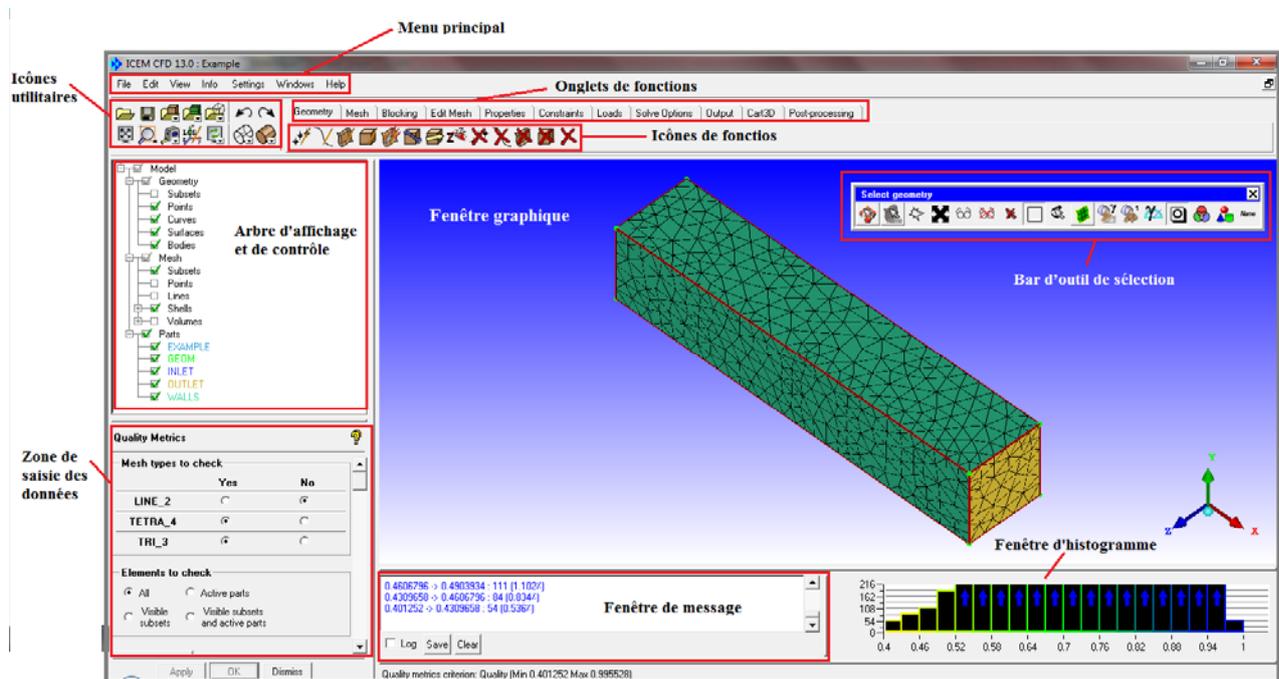


Figure 2. Interface graphique de l'ANSYS ICEM CFD

- b. *Modifier* : Ce menu contient Annuler / Rétablir, l'option d'ouvrir une fenêtre de shell et diverses commandes internes de conversion de maillage / géométrie.
- c. *Affichage* : contient diverses options pour la vue standard, les contrôles et les annotations.
- d. *Info* : Ce menu permet à l'utilisateur d'obtenir diverses informations concernant la géométrie, le maillage et les entités individuelles.

- e. *Paramètres* : contient les paramètres par défaut pour les performances, les graphiques et autres paramètres les plus susceptibles d'être utilisés plus de 90% du temps par un utilisateur spécifique.
  
- f. *Aide* : Contient des liens vers des didacticiels, des guides d'utilisation et des informations sur la version.

### 2.2.2. UTILITAIRES

Représentation des icônes de certaines des fonctions les plus couramment utilisées représentées dans le menu principal, y compris l'ouverture / la fermeture d'un projet, l'annulation / refaire, et les options d'affichage. Il comprend également la mesure et la configuration des systèmes de coordonnées locales.

### 2.2.3. FONCTIONS

La fonctionnalité principale pour l'ensemble du processus de génération de grille est accessible via les onglets de fonctions qui incluent: la géométrie, le maillage, le blocage, l'édition du maillage, la sortie, le post-traitement, etc.

#### a. Le menu géométrie :

Le menu Géométrie comprend des fonctions pour la création, l'édition et la réparation de la géométrie.



Les fonctions et utilitaires de ce menu incluent :

Créer un point

Créer / Modifier la courbe

Créer / Modifier la surface

Créer un corps

Réparation de géométrie

Transformer la géométrie

Restaurer les entités dormantes

Supprimer le point, supprimer la courbe, supprimer la surface, supprimer le corps et supprimer toute entité.

### **b. Le menu maillage :**

Le menu Mesh contient les modules de maillage CFD ANSYS ICEM ainsi que des options pour définir des tailles de mail.



Les boutons suivants conduiraient à différents modules de génération de maillage, que la société ANSYS ICEM CFD conserve et développe:

Configuration du maillage global

Configuration du maillage partiel

Configuration du maillage de surface

Configuration du maillage de la courbe

Créer une densité de maillage

Définir les connecteurs

Mailler une Courbe

Compute Mesh.

### **c. Le menu Maillage par bloc :**

Le menu Blocage contient les fonctions nécessaires pour créer une topologie pour les mailles hexaédriques structurées en blocs. Un fichier de bloc doit être chargé ou un bloc initial créé pour rendre tous les éléments actifs.



Les fonctions et utilitaires de ce menu incluent :

Créer un bloc

Bloc fractionné

Fusionner les sommets

Modifier le bloc

Associer

Déplacer des nœuds

Transformer des blocs

Modifier le bord

Paramètres de pré-maillage

Histogramme de qualité pré-maillage

Pré-maillage lisse

Vérification des blocs

Supprimer le bloc

#### d. Le menu Edit Mesh:

Le menu Éditer le maillage contient les outils nécessaires au montage du maillage, à la fois automatisé et manuel.



Les opérations comprennent :

Créer des éléments

Extruder le maillage

Vérifier le maillage

Qualité de maillage

Maillage lisse globalement

Lisse Hexaédrique maille orthogonale

Réparation du maillage

Fusionner les nœuds

Déplacer les nœuds

Transformer le maillage

Convertir le type de maille

Ajuster la densité du maillage

Renommer le maillage

Supprimer les nœuds

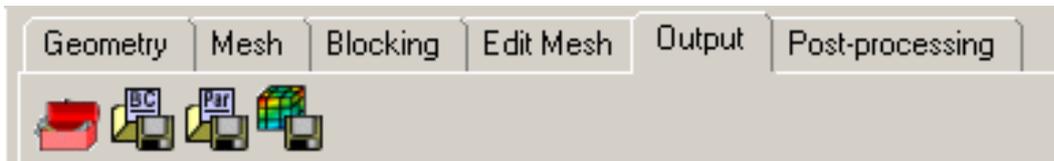
Supprimer les éléments

**Remarque**

L'édition de maillage est nécessaire pour améliorer sa qualité. Pour le maillage Hexa, l'élément idéal sera un cuboïde, et dans le cas du maillage Tetra, l'élément idéal est un tétra avec des longueurs de côtés égales et des triangles équilatéraux pour chaque face. Edit Mesh possède les outils nécessaires pour modifier tous les éléments qui ne sont pas similaires à l'élément idéal.

**e. Le menu Sortie**

Le menu Sortie contient tous les outils nécessaires pour configurer le modèle et écrire au solveur :



Ce menu permet de :

Sélectionner le Solveur

Déterminer les Conditions aux limites

Modifier les paramètres

Ecriture du fichier d'Entrée

**2.2.4. L'arbre de commande d'affichage**

L'arborescence de contrôle d'affichage, également appelée l'arborescence d'affichage, dans la partie inférieure gauche de l'écran, permet de contrôler l'affichage par partie, entité géométrique, type d'élément et sous-ensembles définis par l'utilisateur.

L'arbre est organisé par catégories. Chaque catégorie peut être activée ou désactivée en cochant la case. Si la coche est fanée, certaines sous-catégories sont activées et certaines désactivées. Chaque catégorie peut être agrandie en sélectionnant le symbole "+" pour révéler les sous-catégories. Sélectionnez "-" pour réduire l'arborescence.

Étant donné que certaines fonctions ne sont exécutées que sur les entités représentées, l'arbre de modèle est une caractéristique très importante à utiliser pour isoler les entités particulières à modifier.

Le bouton droit de la souris sélectionne une catégorie ou un type particulier révèle plusieurs options d'affichage et de modification.

### **Géométrie**

Contrôle l'affichage des points, des courbes, des surfaces et des corps (volumes de matériau). Les sous-ensembles peuvent également être créés, affichés et modifiés. Un sous-ensemble donné peut contenir un nombre quelconque de différents types de géométrie. Une entité donnée peut appartenir à plus d'un sous-ensemble.

### **Maillage**

Contrôle l'affichage de tous les types de maille: points (noeuds), lignes (barres), coquilles (tris ou quads) et volumes (tetras, pyramides, prismes, hexas). Les sous-ensembles de cette catégorie sont les mêmes que pour la géométrie, mais ne contiennent que des types d'éléments maillés.

### **Partes**

Toutes les entités, géométrie ou maillage, sont associées à une partie donnée. Une entité ne peut appartenir à plus d'une partie. Avec cette association, les groupes d'entités, quel que soit leur type, peuvent être activés et désactivés. Les pièces ont une couleur spécifique pour les distinguer des autres pièces. Les pièces peuvent être faites sous-catégories d'assemblages, créées par la sélection de la souris droite sur "Pièces". Les pièces individuelles peuvent ensuite être glissées et déposées dans l'assemblage. L'activation ou la désactivation de l'ensemble active ou désactive toutes les pièces de l'ensemble comme pour toute catégorie / sous-catégorie.

### 2.2.5. Fenêtre de message

La fenêtre Message contient tous les messages que l'ANSYS ICEM CFD écrit pour garder l'utilisateur informé des processus internes. La fenêtre Message affiche le communicateur entre l'interface graphique et les fonctions de géométrie et de maillage. Il est important de garder un oeil sur la fenêtre de message, car il gardera l'utilisateur informé de l'état des opérations.

Toute information demandée, telle que la distance de mesure, la surface, etc., sera signalée dans la fenêtre de message.

En outre, les commandes internes peuvent également être tapées et appelées dans la fenêtre de message.

Les commandes Enregistrer enregistreront tous les contenus de la fenêtre Message dans un fichier. Ce fichier sera écrit à n'importe quel endroit où ANSYS ICEM CFD a été déclenché.

Le commutateur de changement de registre permet d'enregistrer uniquement les messages spécifiés par l'utilisateur dans un fichier.

Il est important de noter que le fichier journal est unique à partir du fichier créé avec le bouton Enregistrer. Ce fichier sera écrit dans le répertoire de démarrage et il sera mis à jour de manière interactive à mesure que d'autres messages sont enregistrés. Une fois que la bascule est désactivée, vous pouvez continuer à ajouter au fichier en activant la bascule et en acceptant le même nom de fichier (qui est la valeur par défaut). Il continuera ensuite à ajouter ce fichier.

### 2.2.6. Fenêtre d'histogramme

La fenêtre Histogramme montre un graphe représentant la qualité du maillage. L'axe des X représente la qualité de l'élément (habituellement normalisé entre 0 et 1) et l'axe Y représente le nombre d'éléments.

D'autres fonctions qui utilisent cet espace deviendront des menus contextuels si la qualité ou l'histogramme est activé.

### 2.3. Commencer un nouveau projet :

Premièrement il faut ouvrir le logiciel ANSYS ICEM CFD soit en double cliquant sur son raccourci dans le bureau  ou par l'instruction **Démarrer/Tous les programmes/ ANSYS NN.N/Meshing/ ICEM CFD.**

Pour lancer un nouveau projet utiliser le bouton gauche de la souris pour appliquer les instructions de la figure 3.

Dans la fenêtre qui apparaît (figure 4), choisissez un dossier pour votre projet et un nom.

*Attention : Pour chaque projet le logiciel génère plusieurs fichiers, il est donc préférable de créer un nouveau dossier pour chaque projet.*

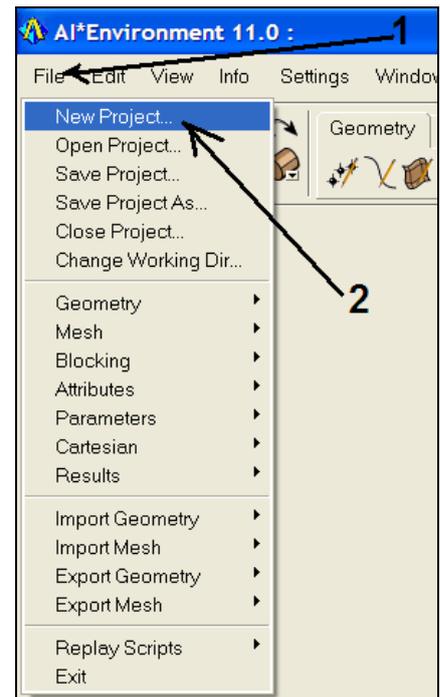


Figure 3

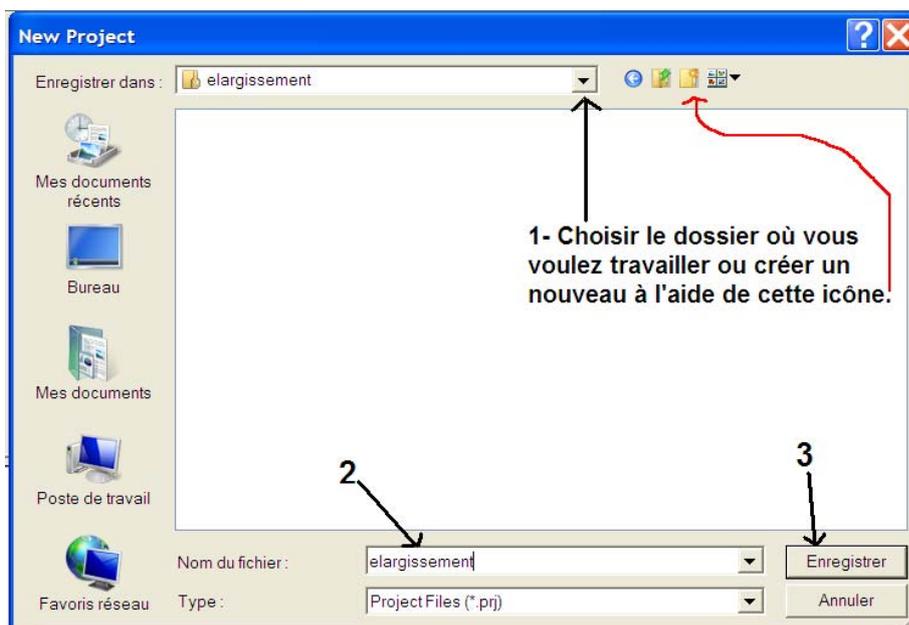


Figure 4

## 2.4. Dessin de la géométrie :

### 2.4.1. Les surfaces :

La fonction **Géométrie/créer ou modifier des surfaces** (figure 5) permet de dessiner les surfaces d'un parallélépipède. Suivre les instructions des figures 6 et 7 pour dessiner les deux parallélépipèdes.



Figure 5



Figure 6

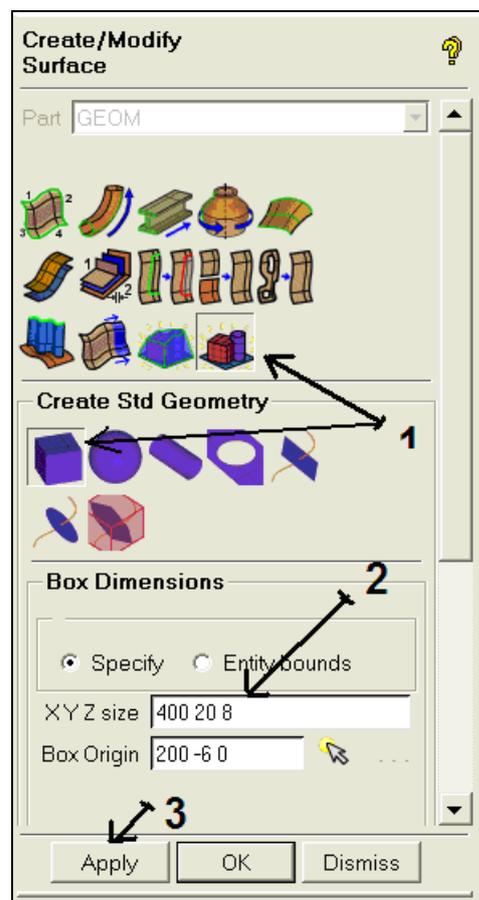


Figure 7

**Explication :** Les valeurs tapées dans la boîte de dialogue **XYZ size** correspondent respectivement à la longueur suivant l'axe X, la hauteur suivant l'axe Y et la largeur suivant l'axe Z.

Les coordonnées cartésiennes des points O1 et O2 de la figure 1 sont tapées dans la boîte de dialogue **Box Origin** ; le choix du point O1 est arbitraire, dans notre cas il correspond au point d'origine du repère cartésien tandis que pour la position du point O2, elle est calculée (simplement) à partir des dimensions données à la figure 1.

### 2.4.2. Nommer les surfaces :

Avant de nommer les surfaces supprimer toutes les lignes en suivant les instructions de la figure 8.

Suivre les instructions de la figure 9 pour nommer les différentes surfaces de la géométrie.

Les noms sont donnés dans la figure 10-a et b; les noms seront affichés dans la branche **Parts** de l'arbre d'affichage comme vous le voyez dans la figure 9.

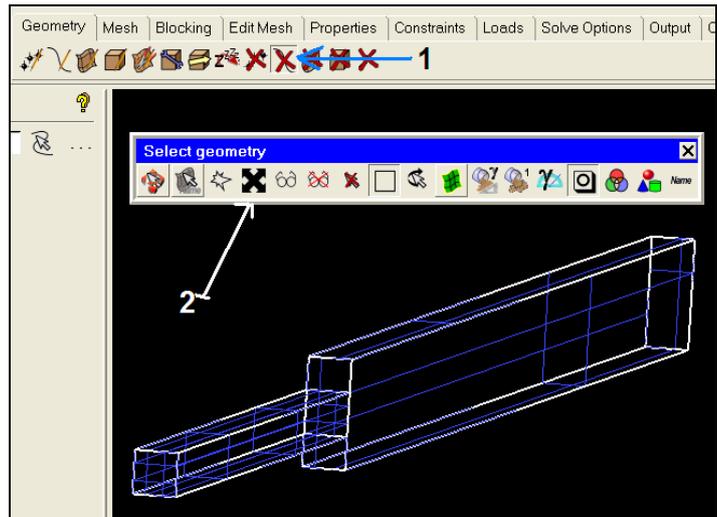


Figure 8

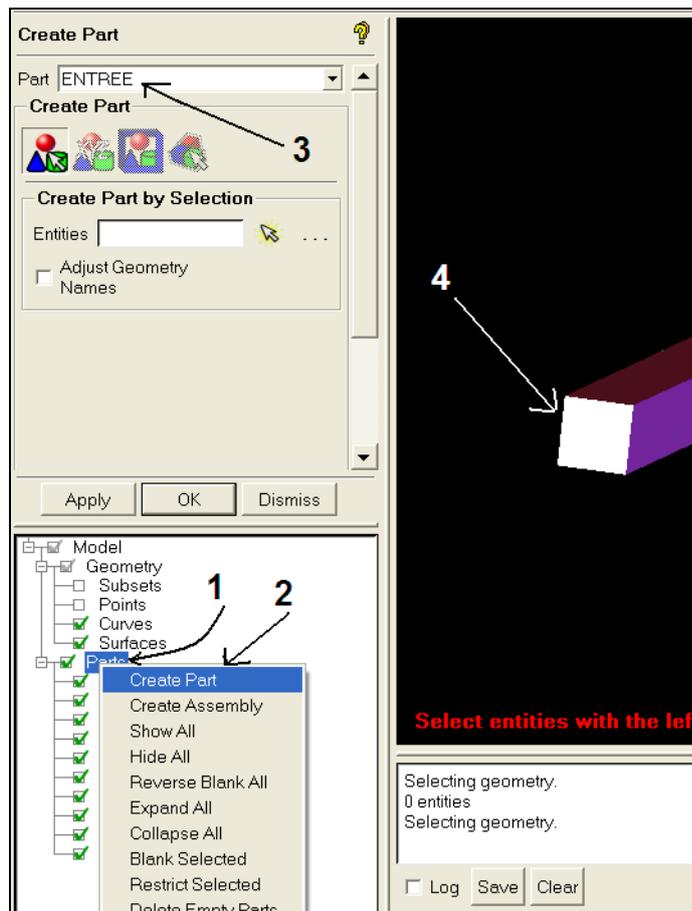


Figure 9

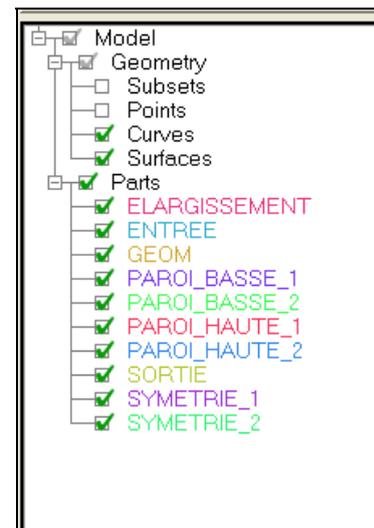


Figure 10-a

*Remarque* : En ce qui concerne la commande 1 de la figure 8 il faut cliquer avec le bouton droit de la souris sur **Parts** pour faire apparaître la liste déroulante.

En ce qui concerne la commande 4 presser la roue de la souris pour valider la sélection.

**Important :** Utiliser les outils de la bar **d'Outils Utilitaires** qui se trouve en haut à gauche de l'interface graphique de l'ICEM pour vous faciliter la tâche de sélection.

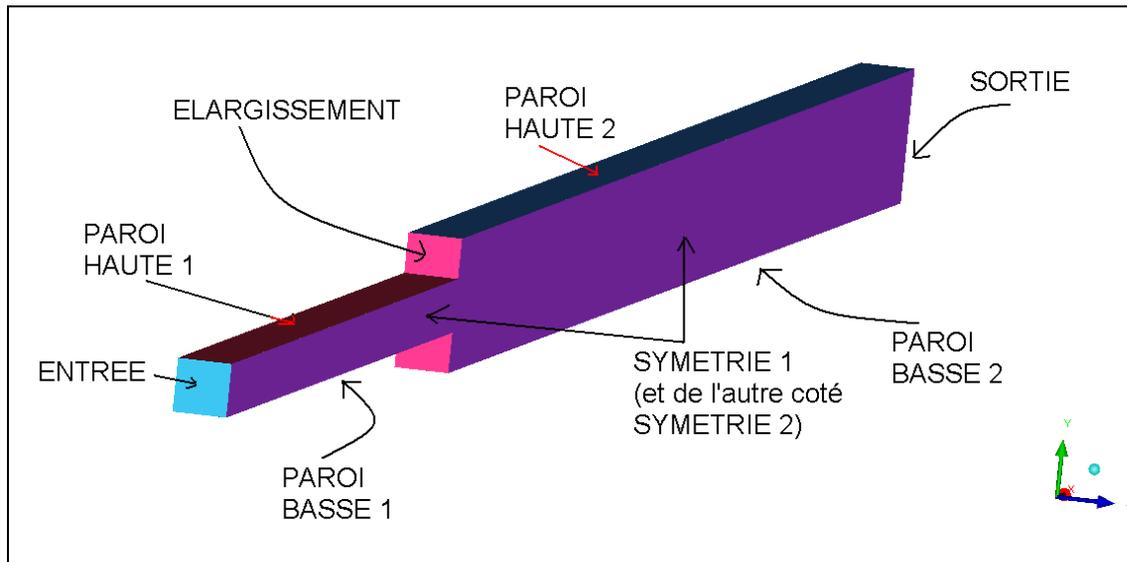
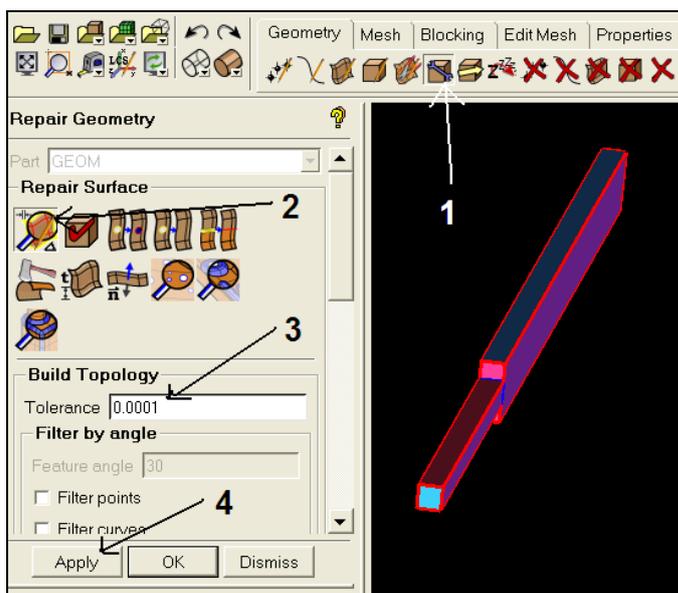


Figure 10-b : Les différents noms utilisés pour les surfaces de la géométrie

### 2.4.3. Réparer la géométrie

Suivre les instructions des figures 11, 12 et 13 pour réparer la géométrie.



*Note :* Remarquer la ligne bleu dans la géométrie, elle signifie qu'il y a une intersection de plus que deux surfaces.

Figure 11 : Réparer la géométrie

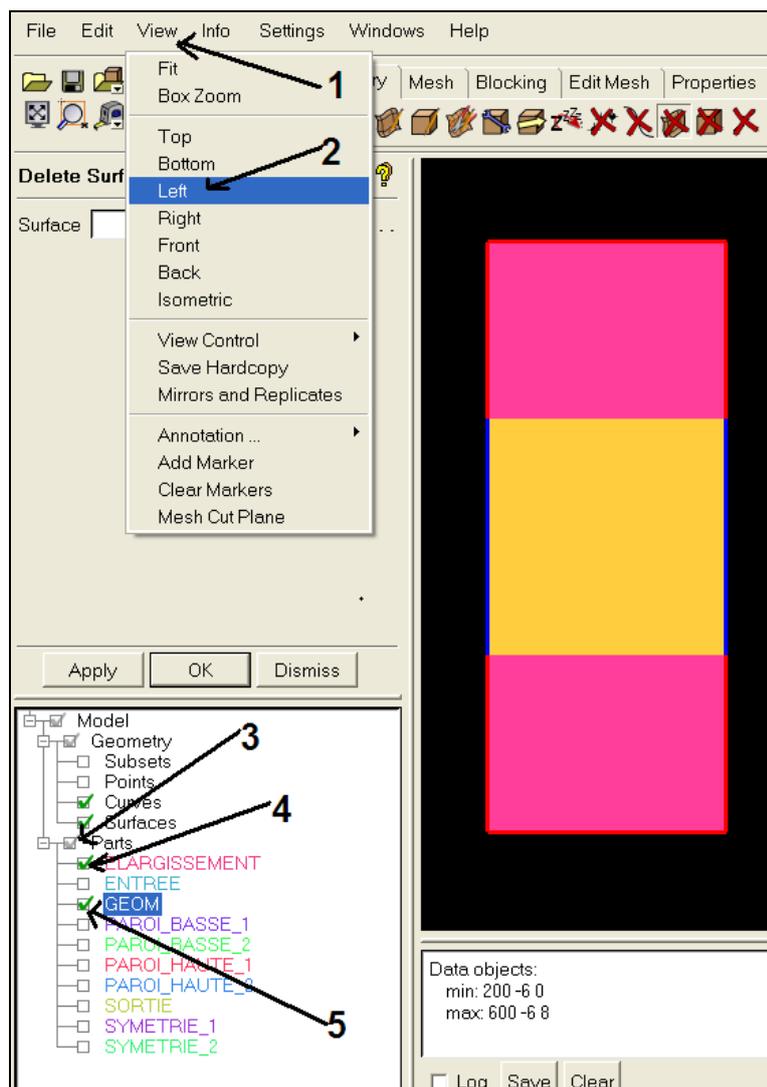
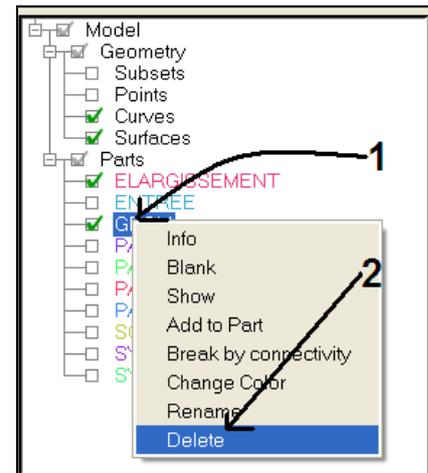


Figure 12



Remarque : En ce qui concerne la commande 1 de la figure 8 il faut cliquer avec le bouton droit de la souris sur **GEOM** pour faire apparaître la liste déroulante.

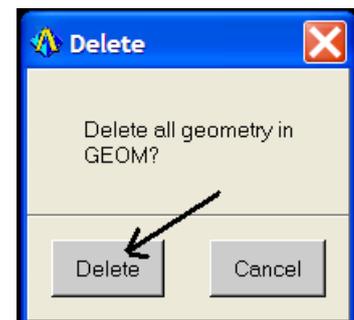


Figure 13

La fonction "**Build Topology**" Crée une série de courbes et de points à partir des bords extérieurs et des coins selon la proximité des bords des surfaces entre eux. Si les courbes sont en dessous d'une tolérance géométrique, elles sont fusionnées ensemble en tant qu'une. Les courbes sont alors colorées différemment pour illustrer leur connectivité aux surfaces, ces couleurs peuvent être employées pour déterminer tous les lacunes ou trous dans la géométrie.

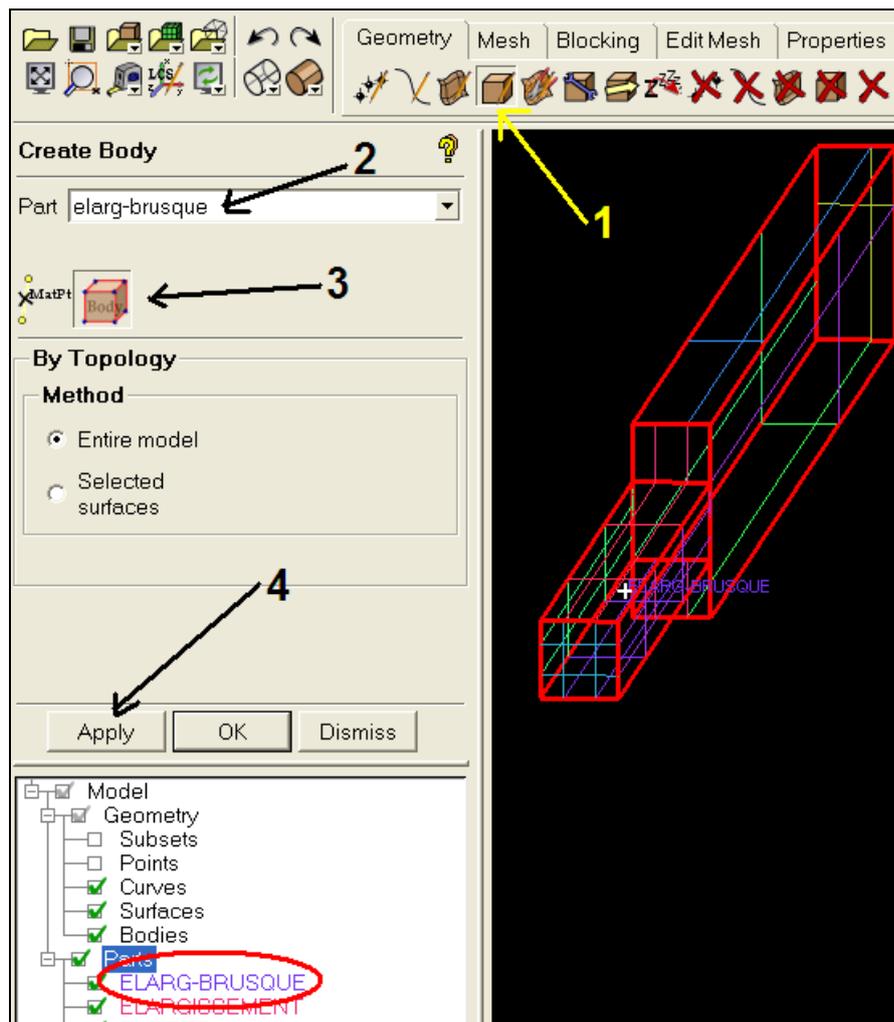
<b>Jaune</b>	Courbes simples ou à bord libres (ceux adjacentes à une surface seulement)
<b>Rouge</b>	Courbes à double bord (courbes à côté de deux surfaces)
<b>Bleu</b>	Courbes à bord multiples (courbes à côté de trois surfaces ou plus)
<b>Vert</b>	Courbes non attachées à la surface.

## Tolérance

Cette tolérance est définie dans les unités du modèle, et commande comment exactement l'utilisateur veut traiter la proximité de surface à surface.

### 2.4.4. Créer le volume :

Suivre les instructions de la figure 14 pour créer un volume.



Quand vous cliquez sur **Apply**, un nouveau nom représentant le volume apparaîtra dans la partie **Parts** de l'arbre d'affichage.

Figure 14

## 2.5. Le Maillage :

Le domaine de calcul est divisé en une série de sous domaines appelés volumes de contrôle. Ces volumes de contrôle enveloppent tout le domaine de calcul sans chevauchement, de telle façon que la somme de leurs volumes soit égale au volume du domaine de calcul. Un point est positionné au centre de chaque volume de contrôle où les variables inconnues doivent être calculées.

Dans ce qui suit nous allons montrer comment faire un maillage tétraédrique avec prisme. Le maillage sera raffiné dans la région de changement de section et près des parois.

### 2.5.1. Paramètres globaux du maillage :

Suivre les instructions de la figure 15.

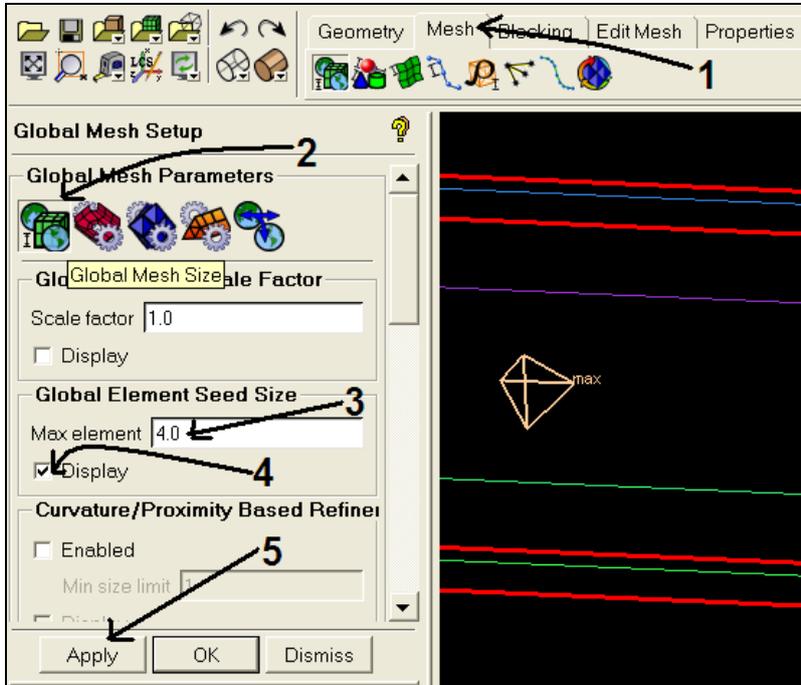


Figure 15

### 2.5.2. Sélection des régions pour le prisme :

Suivre les instructions de la figure 16.

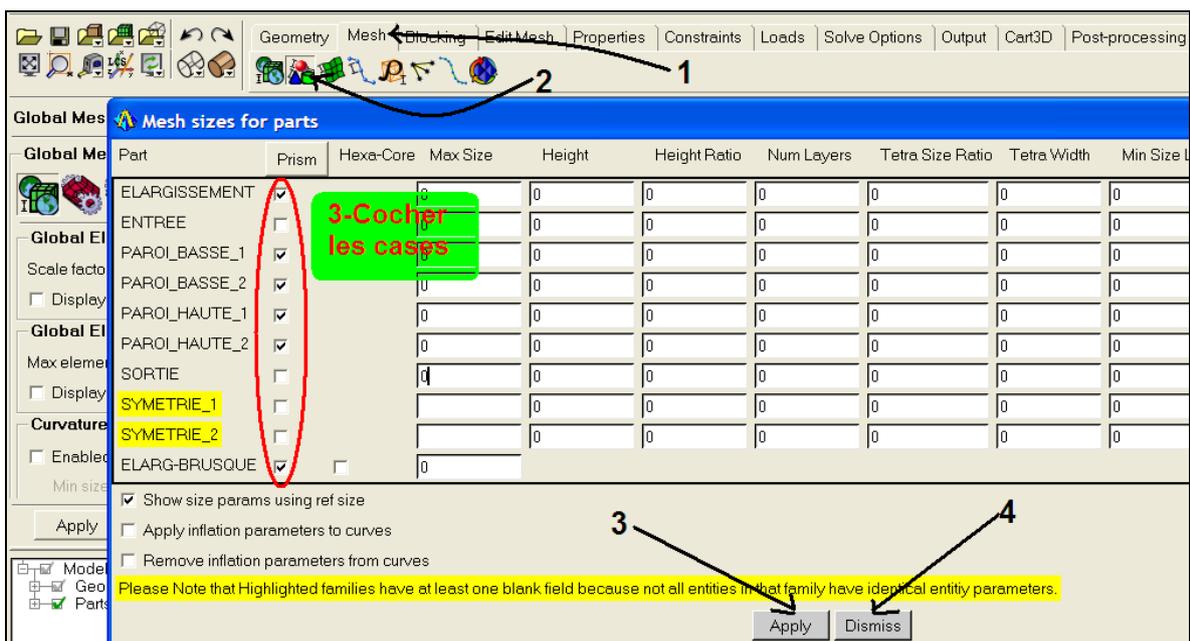
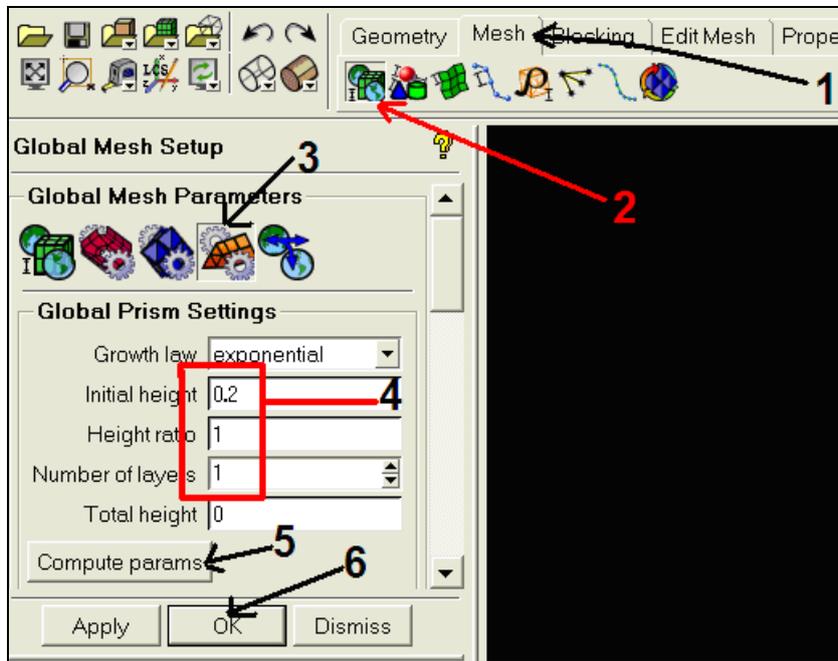


Figure 16

### 2.5.3. Paramètres du prisme :

Suivre les instructions de la figure 17.



Avec ces paramètres on construira une seule couche de prisme avec une épaisseur de 0.2.

Figure 17

### 2.5.4. Paramètres du maillage dans les surfaces :

Pour définir les paramètres du maillage à chaque surface suivre les instructions des figures 18, 19, 20 et 21.

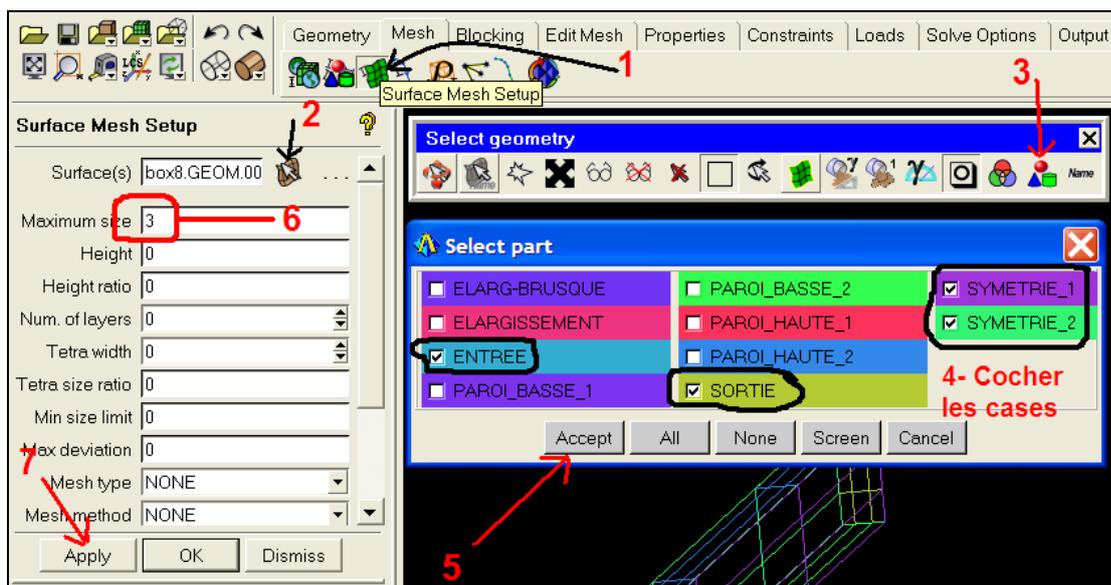
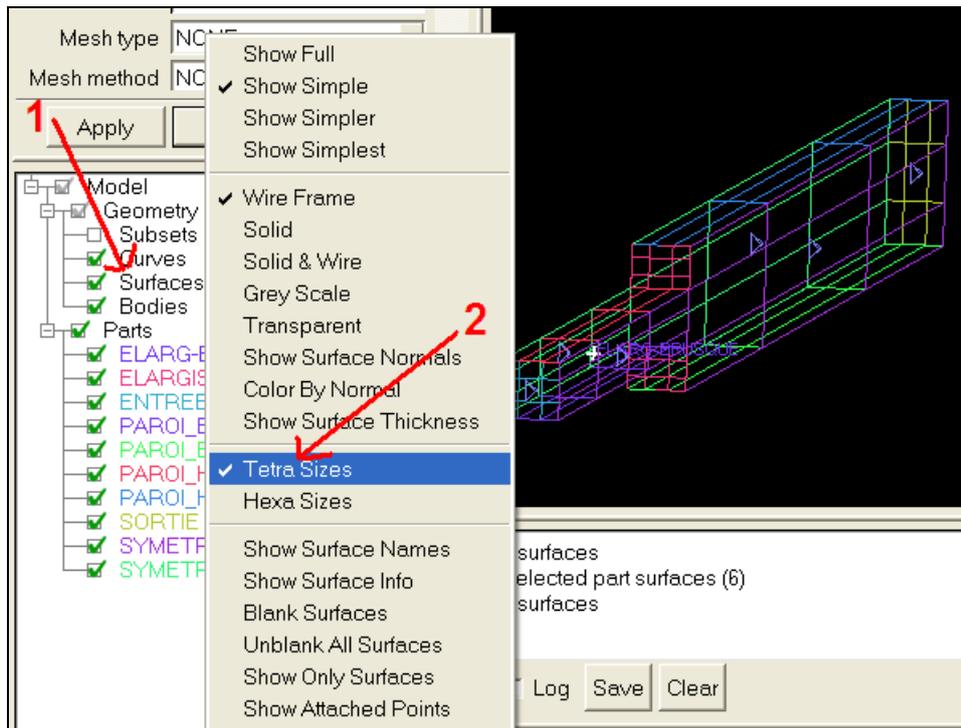


Figure 18



Remarque : En ce qui concerne la commande **1** de la figure 19 il faut cliquer avec le bouton droit de la souris sur **Surfaces** pour faire apparaître la liste déroulante.

Figure 19

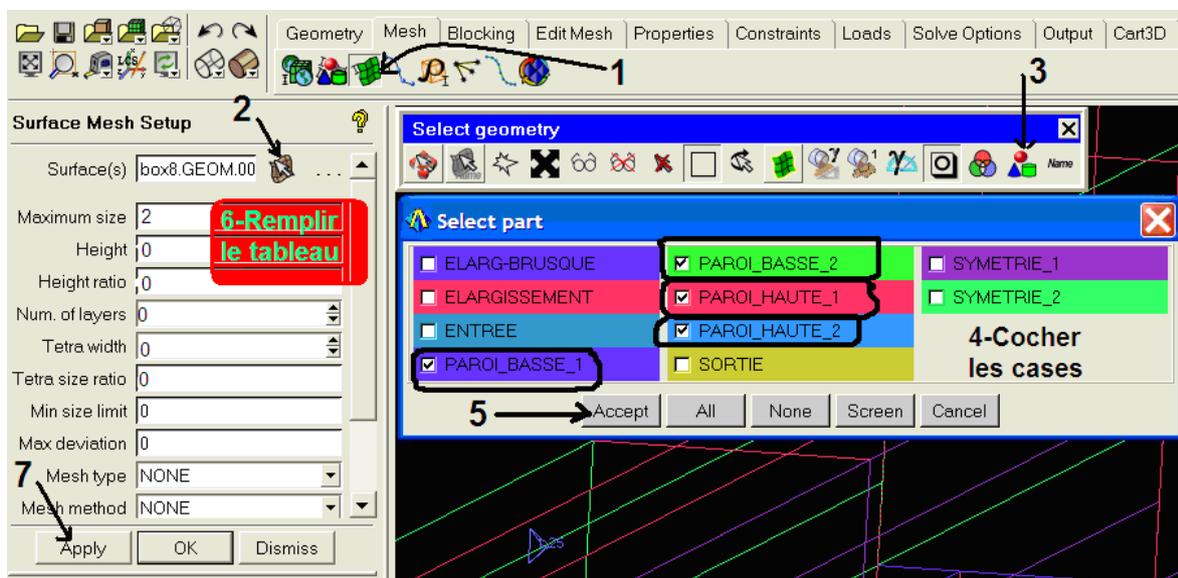


Figure 20

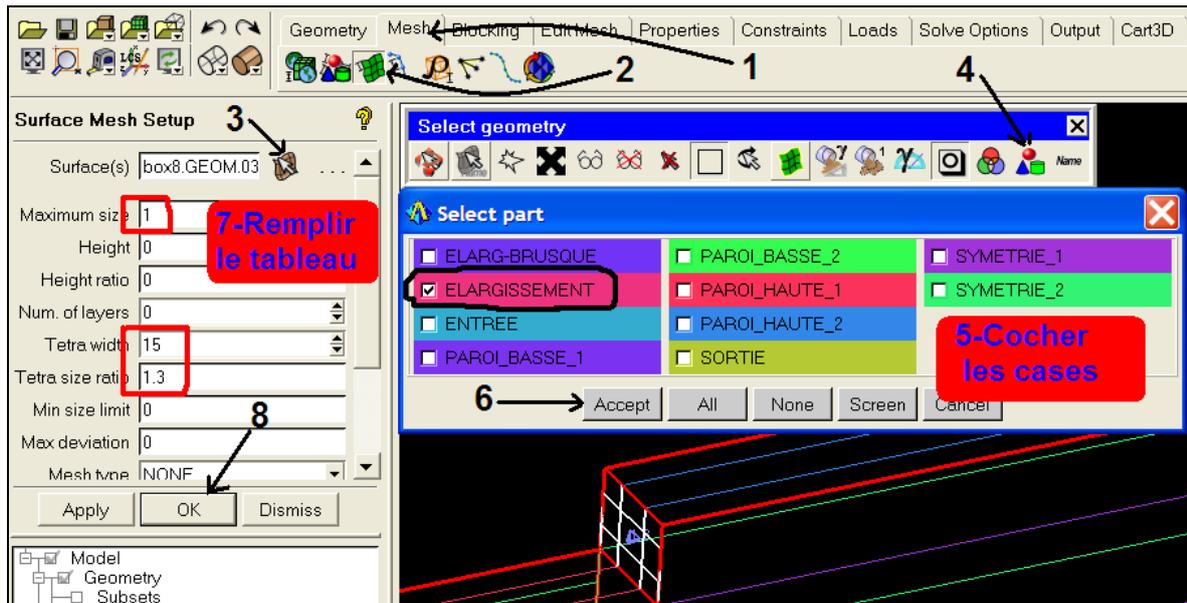


Figure 21

Les instructions de la figure 21 conduisent à raffiner le maillage tétraédrique perpendiculairement à la surface choisie (ELARGISSEMENT).

### 2.5.5. Générer le maillage :

Suivre les instructions de la figure 22 pour générer le maillage.

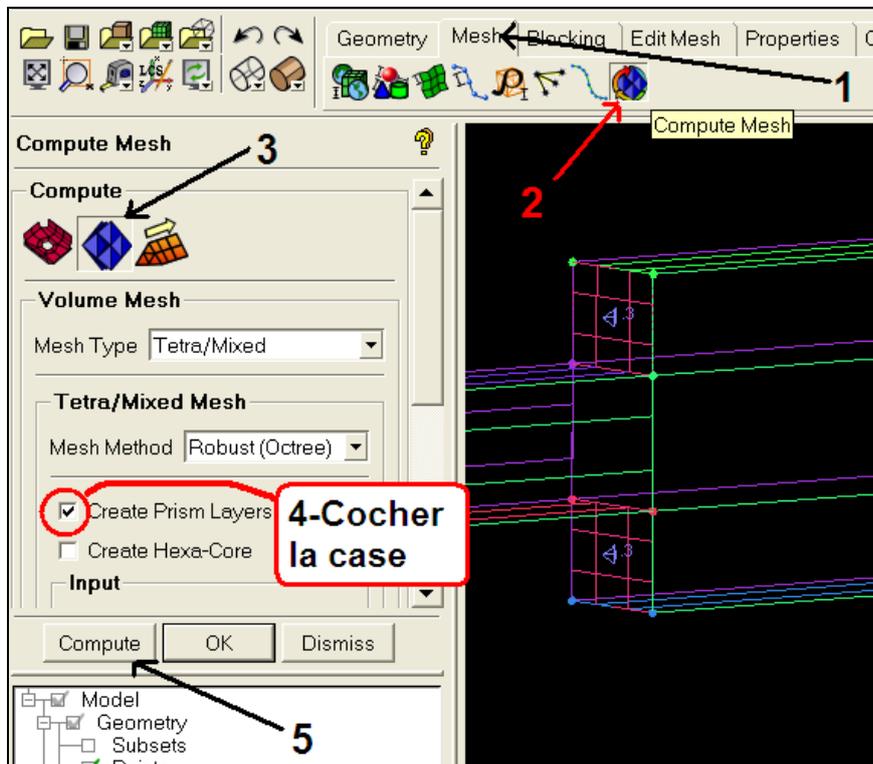


Figure 22

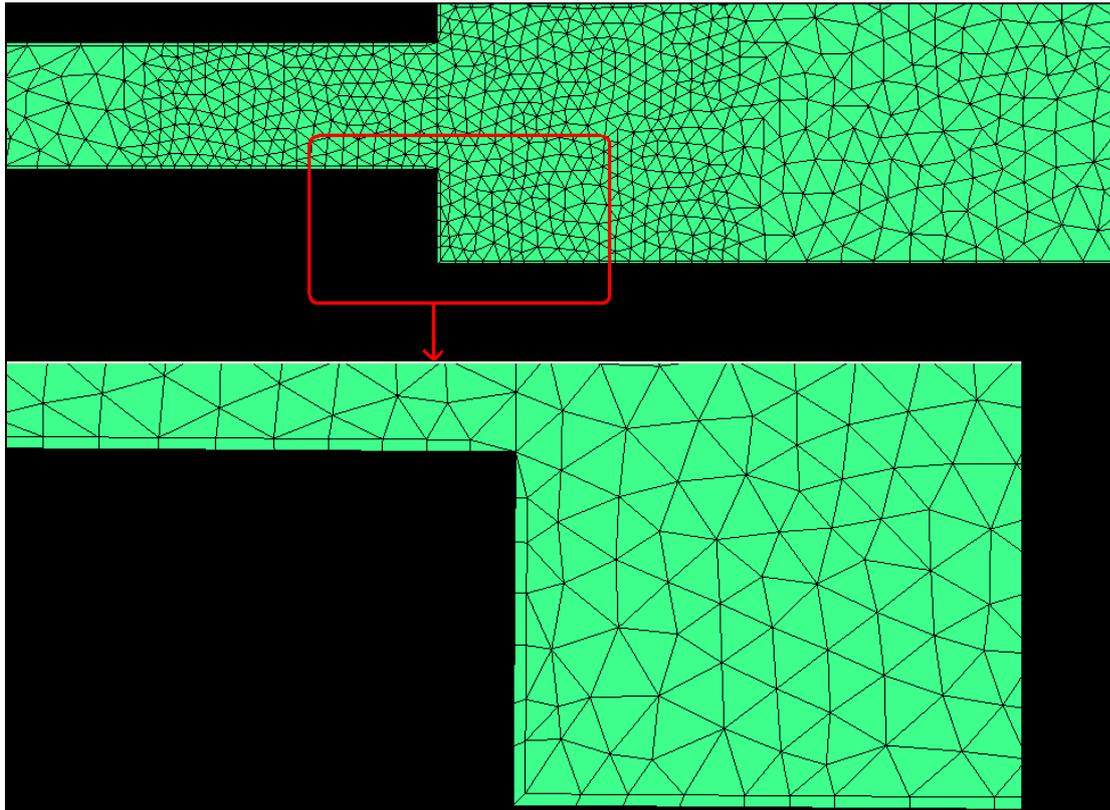


Figure 23

### 2.5.6. Couches de prismes :

Pour terminer on va raffiner davantage le maillage près des parois, la couche mince des prismes de la figure 23 sera découpée en 5 sous couche, la première sous couche aura une épaisseur de 0.02.

Suivre les instructions de la figure 25 pour raffiner le maillage près des parois, la grille finale doit ressembler à celle de la figure 24.

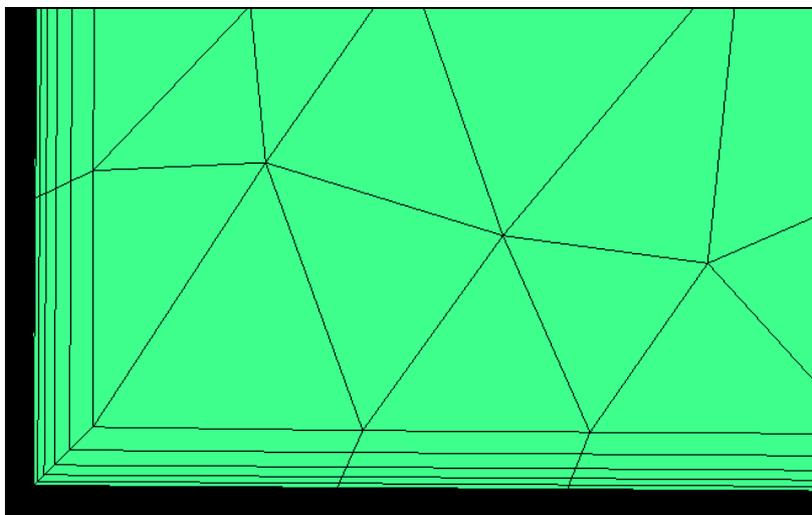


Figure 24

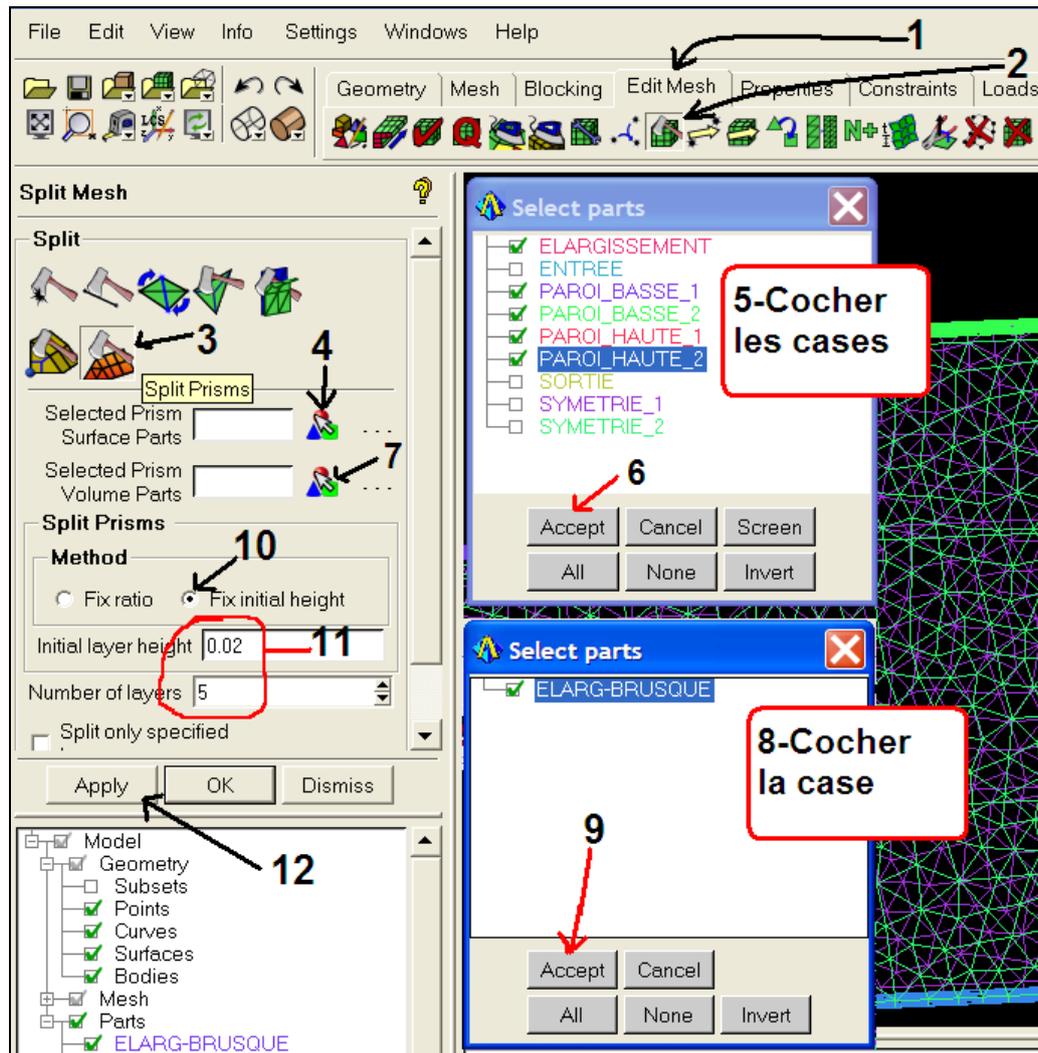


Figure 25

## 2.6. Exporter le fichier du maillage :

Finalement, il faut exporter un fichier de données vers un code CFD, dans notre cas il sera ANSYS CFX.

Suivre les instructions de la figure 26 et 27 pour exporter le fichier de données.

Les principaux fichiers produits par l'ANSYS ICEM sont les suivants :

elargissement.prj	Fichier d'arrangement du projet.
elargissement.tin	Fichier de la géométrie.
elargissement.uns	Fichier du maillage non structure.
elargissement.cfx5	Fichier d'entrée pour l'ANSYS CFX.

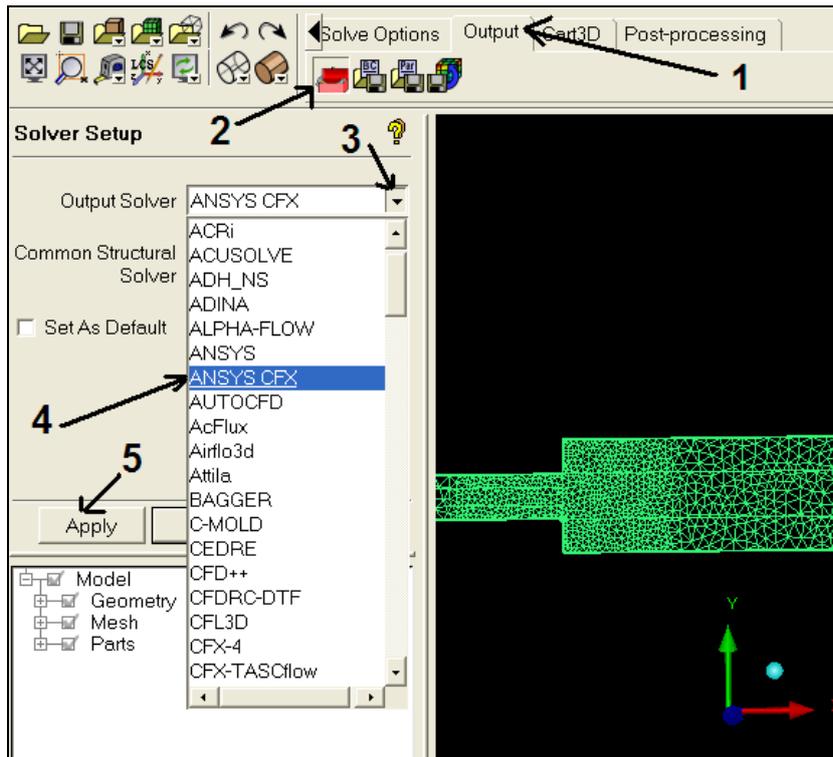


Figure 26

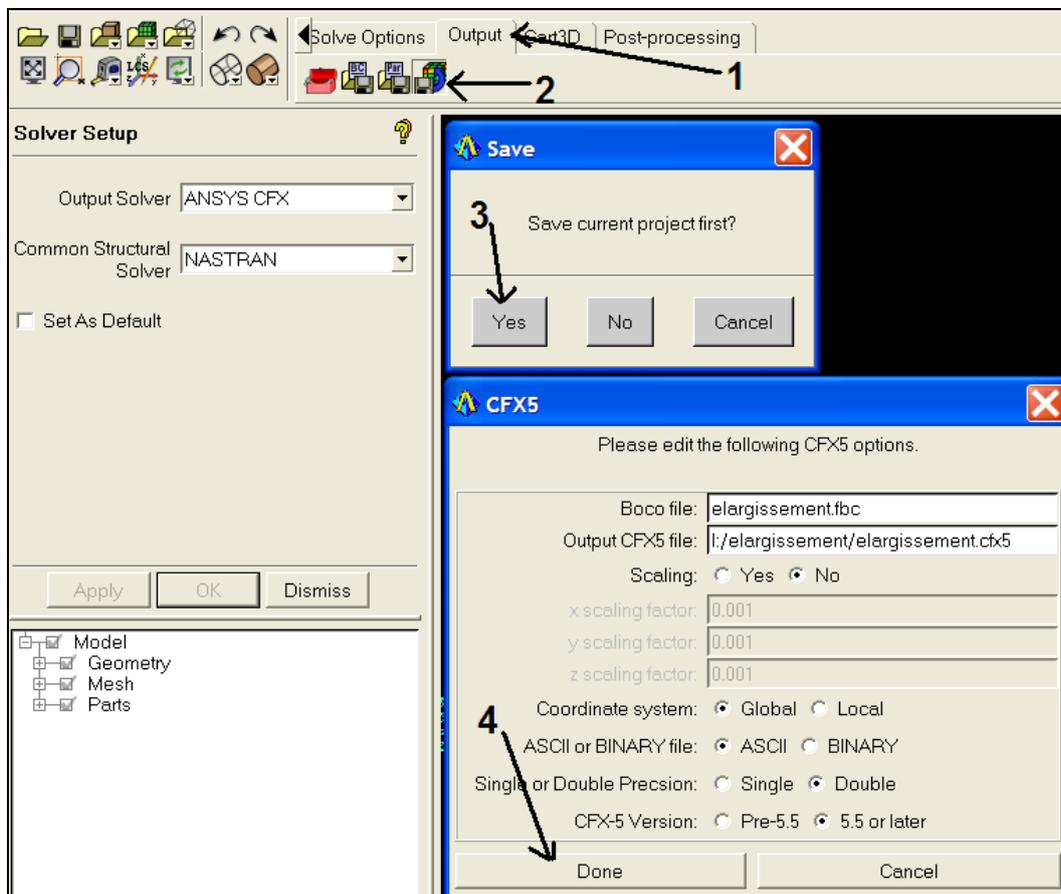


Figure 27

### 3. Deuxième partie : Simulation numérique

Dans cette partie nous allons employer un problème spécifique pour enseigner l'approche générale adoptée en travaillant avec une maille existante.

Les principes généraux pour utiliser ANSYS CFX seront montrés, y compris l'installation des modèles physiques, lancer l'ANSYS-CFX-Solver et visualiser les résultats.

Votre but dans ce cours d'instruction est de comprendre comment employer ANSYS CFX pour déterminer la vitesse et la pression de l'eau quand il passe dans un canal avec un changement brusque de section.

#### 3.1. Conduction d'une simulation numérique

Une simulation numérique passe par trois étapes principal, à savoir :la preparation, la solution et le traitement des résultats.

##### 3.1.1. Pré processing

Préparation des données du problème (géométrie du domaine de calcul, génération du maillage de discrétisation, définition des phénomènes physiques et chimique du processus, détermination des propriétés du fluide, spécification des conditions aux limites).

##### 3.1.2. La résolution

Ces la solution du problème par un méthode numérique.

##### 3.1.3. Post processing

Visualisation du domaine de calcul et du maillage, tracé des vecteurs de vitesse et des lignes de courant, contours, extractions de surfaces bien définis, manipulation des graphes (translation, rotation, et re-dimensionnement), exportation des figures sous format Windows Meta Files (wmf) et pst script (ps).

#### 3.2. Structure du code ANSYS CFX

ANSYS CFX se compose de trois modules qui communiquent entre eux comme montré sur la figure 28. Un logiciel qui permet la réalisation de la géométrie et du maillage est nécessaire pour exécuter une analyse de CFD. Dans notre cas le logiciel ANSUS ICEM CFD est utilisé.

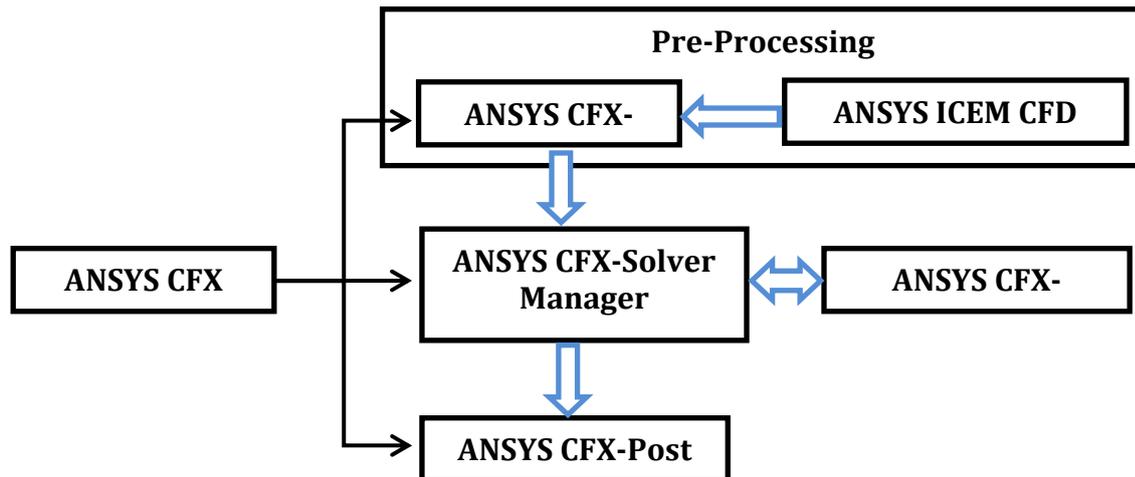


Figure 28 : Structure du code ANSYS CFX

### 3.2.1. CFX-Pre

CFX-Pre offre une interface moderne, cohérente et intuitive pour la définition des problèmes complexes de CFD. CFX-Pre peut lire plusieurs maillages d'une variété de sources.

L'utilisateur est guidé dans la définition physique en se déplaçant le long de la barre d'outils 'Define', qui présente les étapes principales dans la définition du problème. La création et la modification des objets physiques sont présentées par une interface utilisateur avec les panneaux tabulés fournissant l'accès facile aux détails des modèles. La définition en évolution des problèmes est montrée dans le 'object selector', qui montre les objets principaux qui peuvent être choisis pour accéder à n'importe quelle étape de la définition du problème. Les erreurs qui se produisent pendant la définition ou la modification du problème sont montrées à l'aide d'un codage de couleur dans le 'object selector', ou par l'intermédiaire des messages descriptifs dans le panneau de message physique. Une fois que la définition de problème est complète, il faut exporter un fichier de définition (\*.def) vers le module CFX-Solver pour avoir la solution du problème.

### 3.2.2. CFX-Solver

Il permet de résoudre les équations de l'hydrodynamique modélisant le problème physique étudié. Toutes les spécifications du problème produites dans le module CFX-Pre sont résolues par CFX Solver pour une erreur bien définie ou un nombre d'itération maximale. Tous les résultats sont stockés dans un fichier (\*.res).

### 3.2.3. CFX- Solver Manager

Il fournit une interface graphique au CFX-Solver afin de fournir des informations sur l'évolution de la solution et une manière facile de le commander (figure IV-8). Ces fonctions principales sont les suivantes :

- Indiquer les dossiers d'entrée au solver CFX-5;
- Lancer ou arrêter la simulation avec le solver CFX-5 ;
- Modifier certains paramètres dans le fichier de définition ;
- Surveiller la progression de la solution avec le solver CFX-5 ;
- Lancer une autre simulation en parallèle.

### 3.2.4. CFX-Post

Il est conçu pour permettre la visualisation facile et le traitement quantitatif des résultats de simulations . (figure IV-9). Il dispose d'outils graphiques très puissants permettant la présentation et l'analyse des résultats en forme :

- Lignes de courant, Champ de vitesse...
- Visualiser différents paramètres définis par l'utilisateur
- Définir et calculer des nouvelles variables
- Exporter les résultats en différents formats, pour tracer l'évolution des variables avec d'autres logiciels graphiques.

## 3.3. Lancement du logiciel

Premièrement il faut ouvrir le logiciel ANSYS CFX 11.0 par l'instruction **démarrer/Tous les programmes/ ANSYS 11.0/ CFX/ANSYS CFX 11.0.**

### 3.3.1. Lancement du module CFX-Pre

Les définitions physiques et numériques doivent se faire dans le module CFX-Pre.

Tout d'abord il faut spécifier le dossier de travail puis lancer CFX-Pre à partir de la fenêtre de l'ANSYS CFX Launcher comme montré à la figure 29.

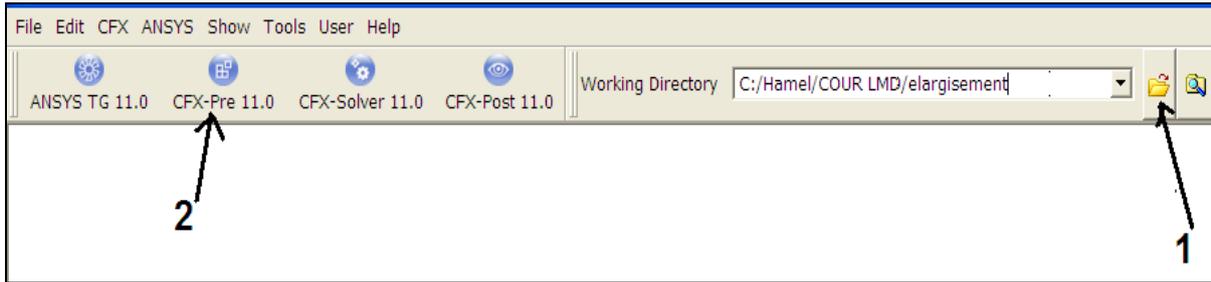


Figure 29

### 3.3.2. Ouvrir et sauvegarder une nouvelle simulation:

Suivre les instructions de la figure 30 pour ouvrir une nouvelle simulation en mode général et les instructions de la figure 31 pour la sauvegarder sous un nom spécifié.

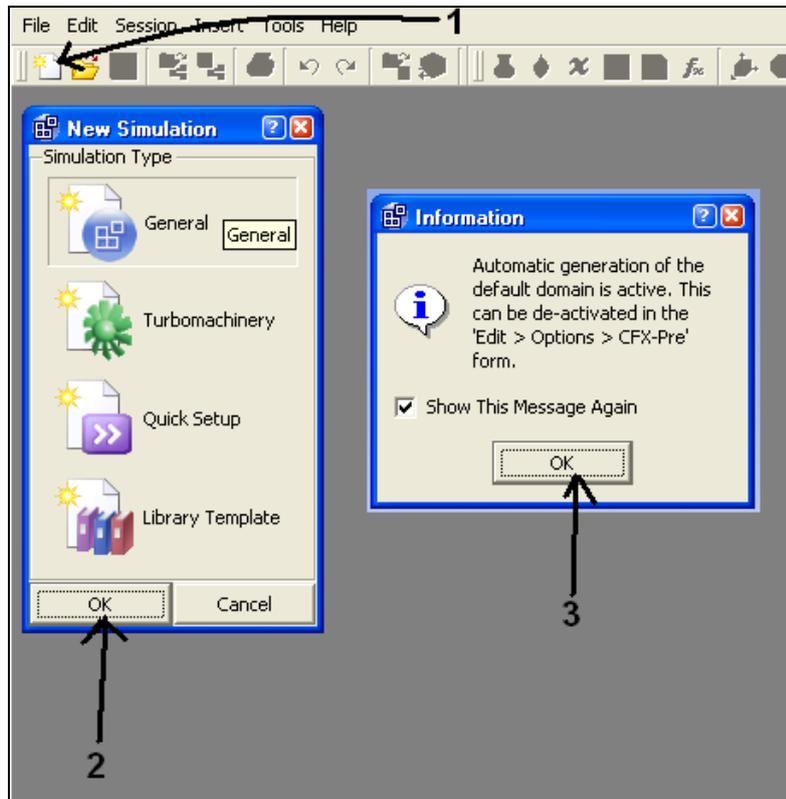


Figure 30

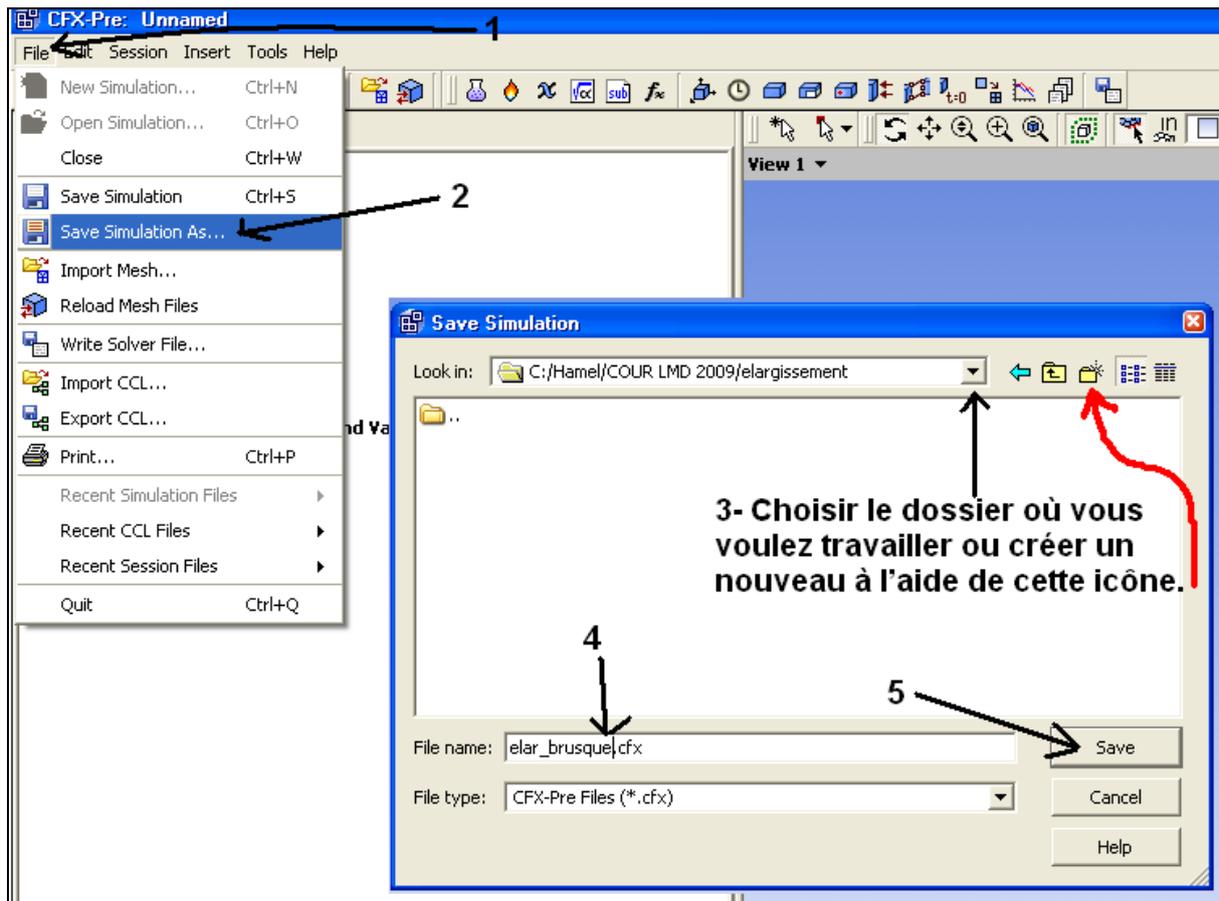


Figure 31

### 3.3.3. Déroulement classique

Il s'agit tout d'abord de créer une nouvelle simulation dans CFX-Pré de type générale.

1. On commence par importer le maillage que l'on souhaite étudier à l'aide de l'icône **Import Mesh** .

2. Ensuite on définit à l'aide de l'icône **Simulation Type** , le type de simulation et le mode. Pour une simulation en mode stationnaire on choisit dans **Simulation Type** l'option **Steady State**.

Pour une simulation en mode transitoire, on choisit l'option **Transient**, il faut alors définir la durée totale de la simulation en choisissant dans **Time Duration** l'option **Total Time** et en entrant la valeur du temps souhaité. Il faut aussi définir dans **Time steps**, avec l'option **Timesteps** le temps que dure chaque étape de calcul, en entrant soit une valeur identique pour

chaque étape ou bien une liste de valeurs. On peut aussi choisir le temps initial de la simulation dans **Initial Time**.

3. Avec **Create a Domain**  on crée un domaine que l'on nomme. Apparaissent alors les détails de ce domaine en trois volets.

Le premier onglet **General Options**, permet de définir la localisation du domaine : il faut sélectionner l'ensemble du maillage, le type de domaine : dans **Fluid Domain**, le type de fluide. Ce volet permet aussi de définir la pression de référence, le déplacement du domaine (**Domain motion**) qui est nulle pour notre étude et la déformation du maillage (**Mesh Deformation**) qui est aussi inexistante ici.

Le second onglet **Fluid Models** permet de définir la présence ou non de transfert de chaleur (**Heat Transfer**) : ici nous choisissons l'option **Non**, et le modèle de turbulence que l'on doit saisir dans **Turbulence Option**. Dépendamment du modèle des options sont accessibles comme la **Wall Function**, et le model de transition (**Transitional Turbulence**) qu'il faut activer pour avoir accès aux différentes possibilités.

Le dernier onglet **Initialisation** propose des options pour l'initialisation du calcul.

On valide ces différents choix en cliquant sur **Apply** puis sur **Ok**.

4. Avec l'icone **Create a Boundary Condition**  on insert les différentes conditions limites.

5. La condition **Inlet** permet de définir les propriétés aux surfaces d'entrée. Apparaît alors les détails sur Inlet en différents onglets suivant le type de frontière. Ici on sélectionne dans **Basic Settings** pour **Boundary Type** : **Inlet**. Ensuite il faut choisir la localisation dans **Location** : il suffit de sélectionner l'ensemble de face de l'entrée, sinon il faut sélectionner les faces servant d'**Inlet** les unes après les autres.

Dans le volet **Boundary Details**, on définit le régime du fluide dans **Flow Regime**. On définit aussi une variable d'entrée dans **Mass and Momentum**. Puis on choisit la turbulence d'entrée dans **Turbulence**, que l'on met à **Medium** (Intensity = 5%). Les onglets Sources et Plot Option sont laissé intacts.

6. La condition limite **Outlet** correspondra à la surface de sortie. On sélectionne donc dans **Basic Settings**, **Boundary Type** : **Outlet**, de même que précédemment on sélectionne la surface qui

servira de sortie. Dans l'onglet **Boundary Details**, on définit la pression de sortie dans **Mass and Momentum** avec l'option **Average Static Pressure**, que l'on impose (en pression relative).

Les autres volets sont laissés intacts.

7. La troisième condition limite **Wall** correspond à la paroi. Dans **Basic Settings**, **Boundary Type** on choisit **Wall**, et dans **Location** on choisit les parois du canal.

Dans l'onglet **Boundary Details**, on définit dans **Wall Influence On Flow** l'influence du mur sur le flux avec l'option **No Slip**, les autres onglets sont laissés intacts.

8. Les deux dernières conditions limites sont les conditions de symétrie. Dans **Basic Settings**, **Boundary Type** on choisit **Symmetry**, et dans **Location** on choisit les plans de symétrie.

9. Il faut aussi définir les conditions initiales à l'aide de l'icône **Define the Global Initial Conditions** . Ainsi on doit définir le type de vitesse dans **Velocity Type** on choisit. Ensuite on définit les composantes de cette vitesse dans **Cartesian Velocity Components**, avec l'option **Automatic with Value**, puis on entre les valeurs en U, V et W. On définit aussi la pression statique initiale dans **Static Pressure** avec l'option **Automatic with Value** en entrant la valeur de la pression relative. Enfin dépendamment du modèle choisi on doit définir la turbulence soit à l'aide de l'option **Turbulence Eddy Dissipation** ou bien de l'option **Turbulence Eddy Frequency**.

10. On définit aussi les contrôles de résolution dans **Solver Control** . Dans l'onglet **Basic Settings**, on choisit les contrôles de la convergence (**Convergence Control**) en choisissant dans le cas d'une simulation transitoire un nombre minimal et un nombre maximal d'itération intermédiaire (**Minimum and Maximum Number of Coefficient Loops**) pour chaque étape de temps. Dans le cas d'une simulation stationnaire on choisit le critère de convergence (**Convergence Criteria**) en choisissant le type de résidu considéré (**Residual Type**) ici on prend **RMS**, et la cible à atteindre (**Residual Target**), nous avons choisi  $10^{-5}$ .

Les autres onglets sont laissés intacts.

11. Dans le cas d'une simulation transitoire on doit aussi définir les résultats intermédiaires que

l'on souhaite récupérer à l'aide de **Create Output Files and Monitor Points** . On choisit dans l'onglet **Trn Results**, de créer un nouveau résultat transitoire. On choisit dans **Option** les variables que l'on compte récupérer (le plus simple étant de laisser sur Standard), et dans **File Compression** le niveau de compression des résultats (ici aussi le plus simple étant de laisser sur **Default**). On doit enfin définir la fréquence à laquelle on veut que les variables soient récupérées (**Output Frequency**). Un grand nombre d'options s'offre alors à l'utilisateur, les deux que nous retiendront sont **Every Timestep** où les résultats sont retenus pour chaque étape, et **Time List**, pour laquelle il faut définir le temps auquel on souhaite voir les résultats retenus.

12. Enfin il est temps d'enregistrer  la simulation au format \*.cfx

13. Puis on écrit un fichier d'entrée pour le solveur à l'aide de l'icône **Write Solver File** . Ainsi on enregistre notre simulation au format \*.def

### 3.3.4. Importer le maillage:

En suivant les instructions de la figure 32 importez le maillage créé dans la partie précédente.

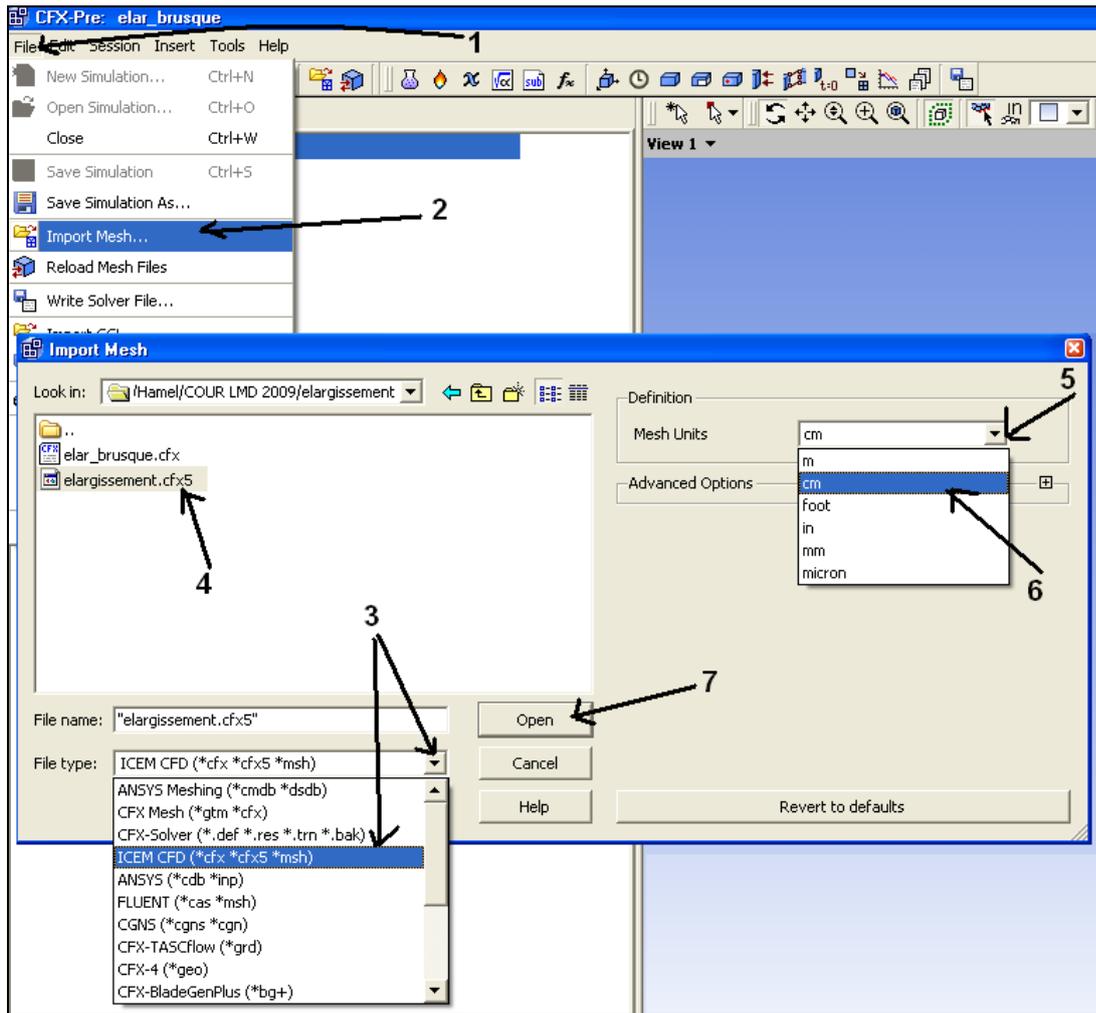


Figure 32

### 3.3.5. Définir le domaine de calcul

Créer un domaine comme montré à la figure 33, puis déterminer les paramètres physiques en suivant les instructions des figures 33 et 34.

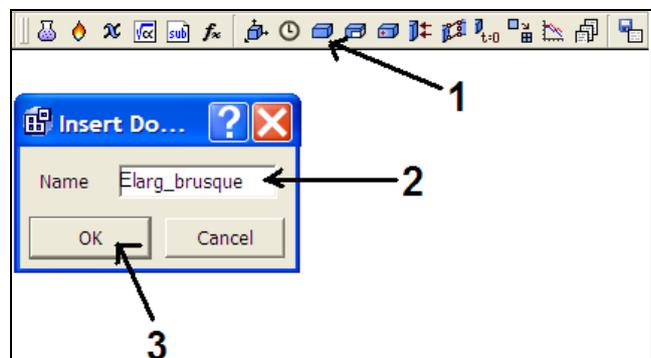


Figure 33

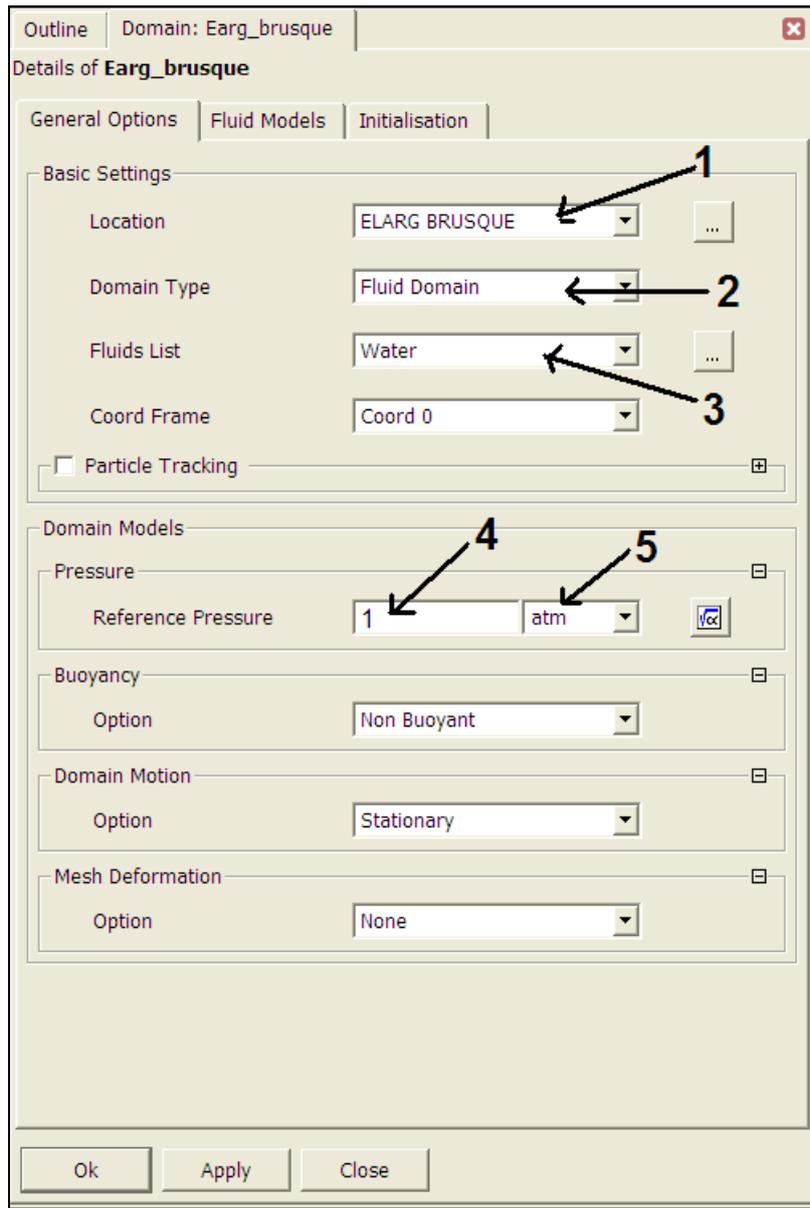


Figure 34

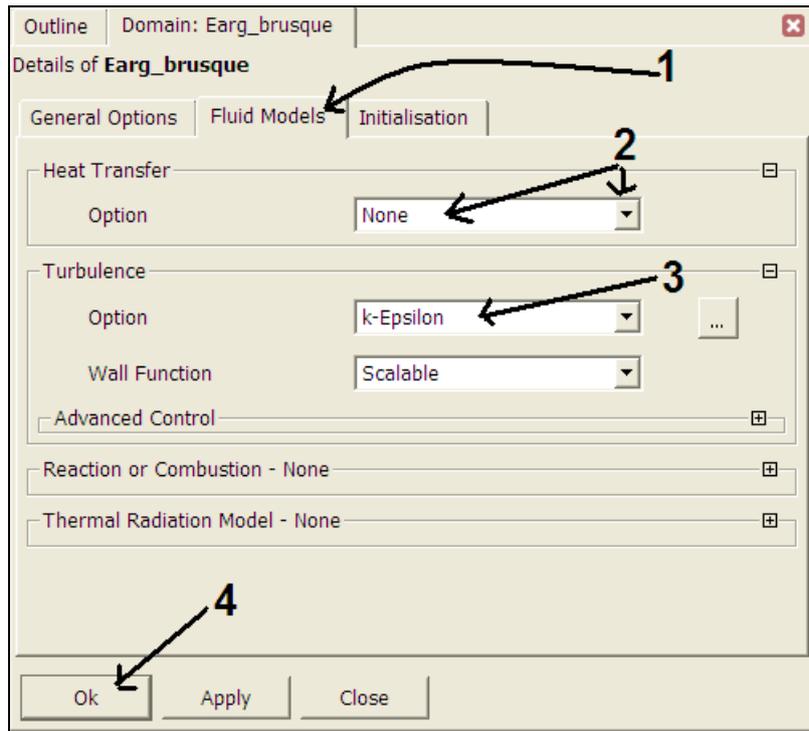


Figure 35

### 3.3.6. Définition des conditions aux limites:

**a- Entrée:** On supposera que l'écoulement entre perpendiculairement au plan de la surface d'entrée avec une vitesse de 20 m/s.

Suivre les instructions des figures 36, 37 et 38 pour définir une condition d'entrée.

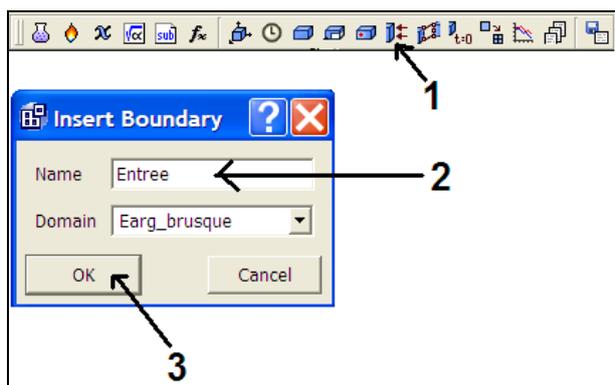


Figure 36

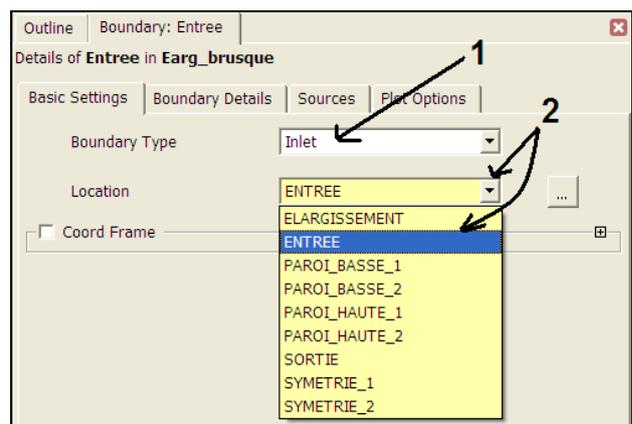


Figure 37

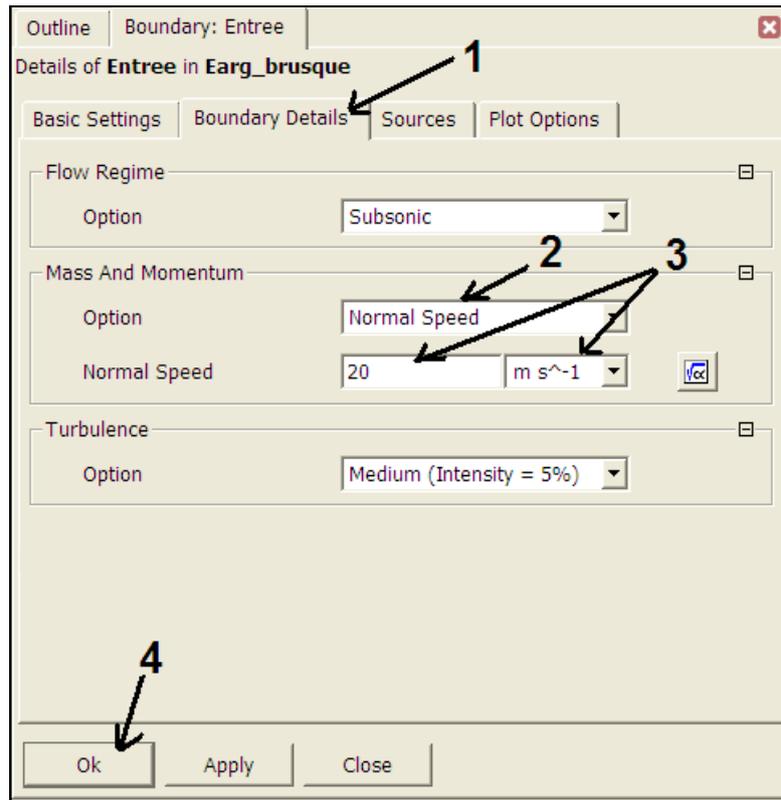


Figure 38

**b- Sortie :** On supposera que l'écoulement quitte la conduite avec une pression atmosphérique. Suivre les instructions des figures 39, 40 et 41 pour définir une condition de sortie.

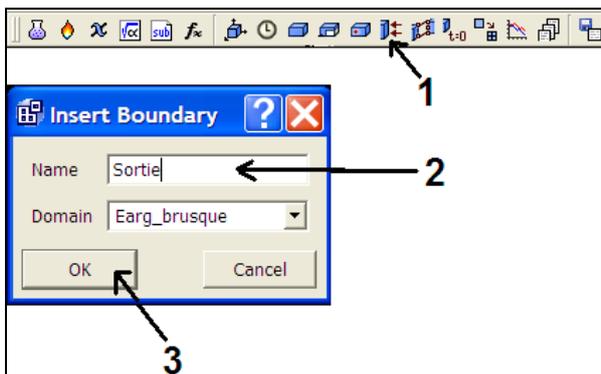


Figure 39

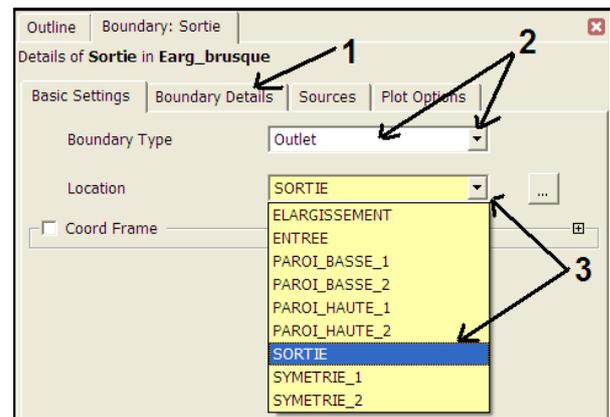


Figure 40

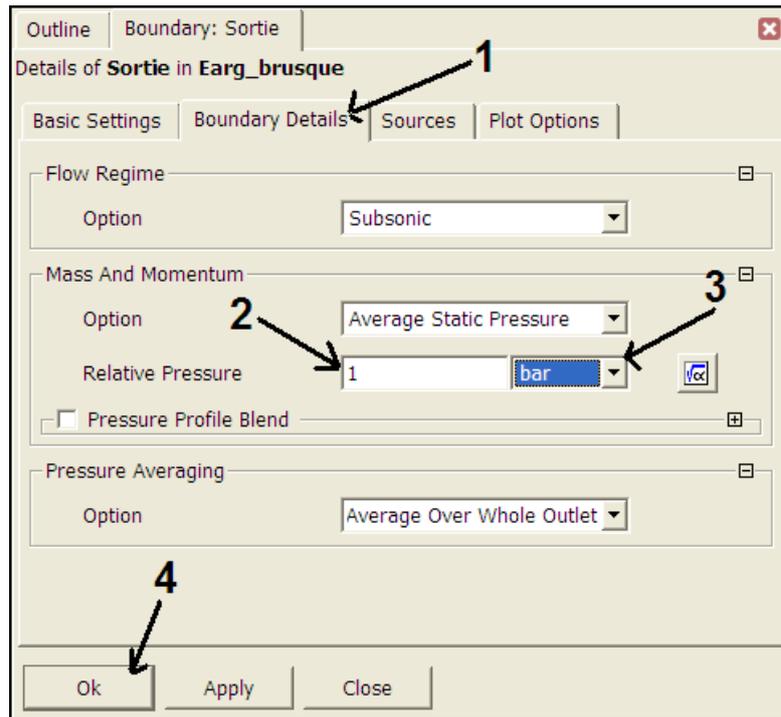


Figure 41

### c- Les parois

Suivre les instructions des figures 42 à 47 pour définir les parois.

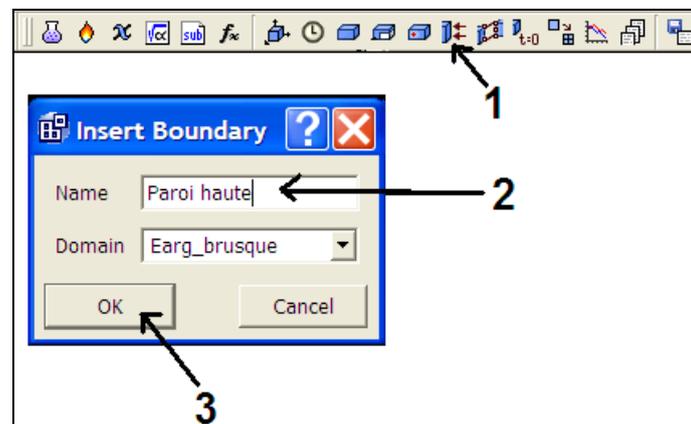


Figure 42

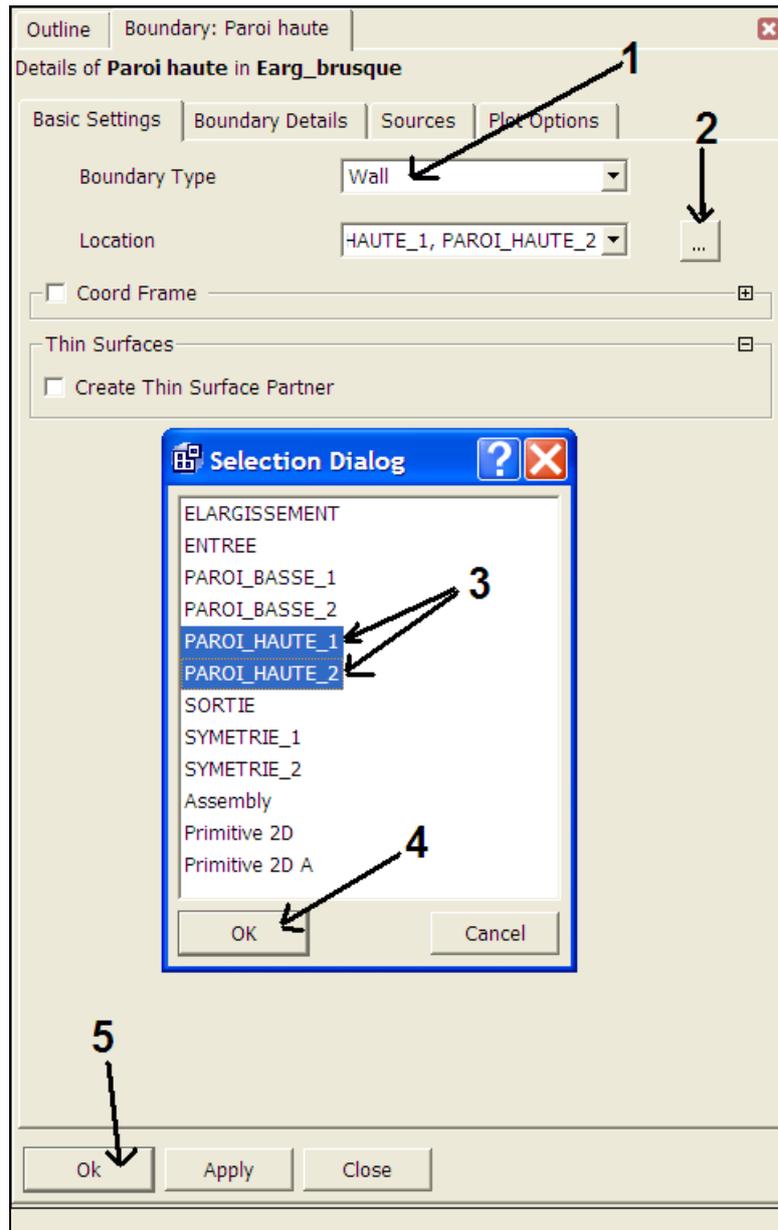


Figure 43

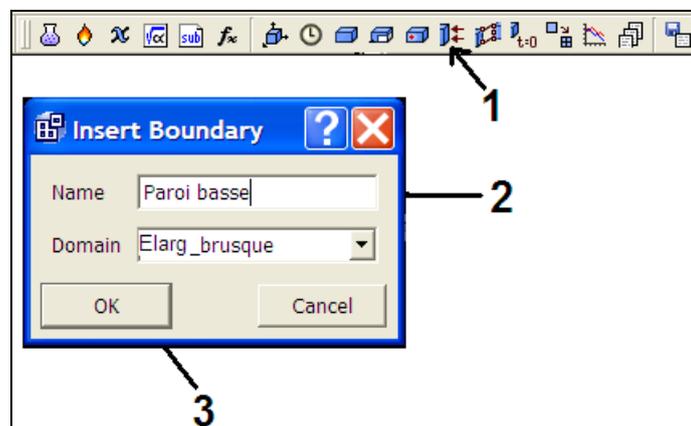


Figure 44

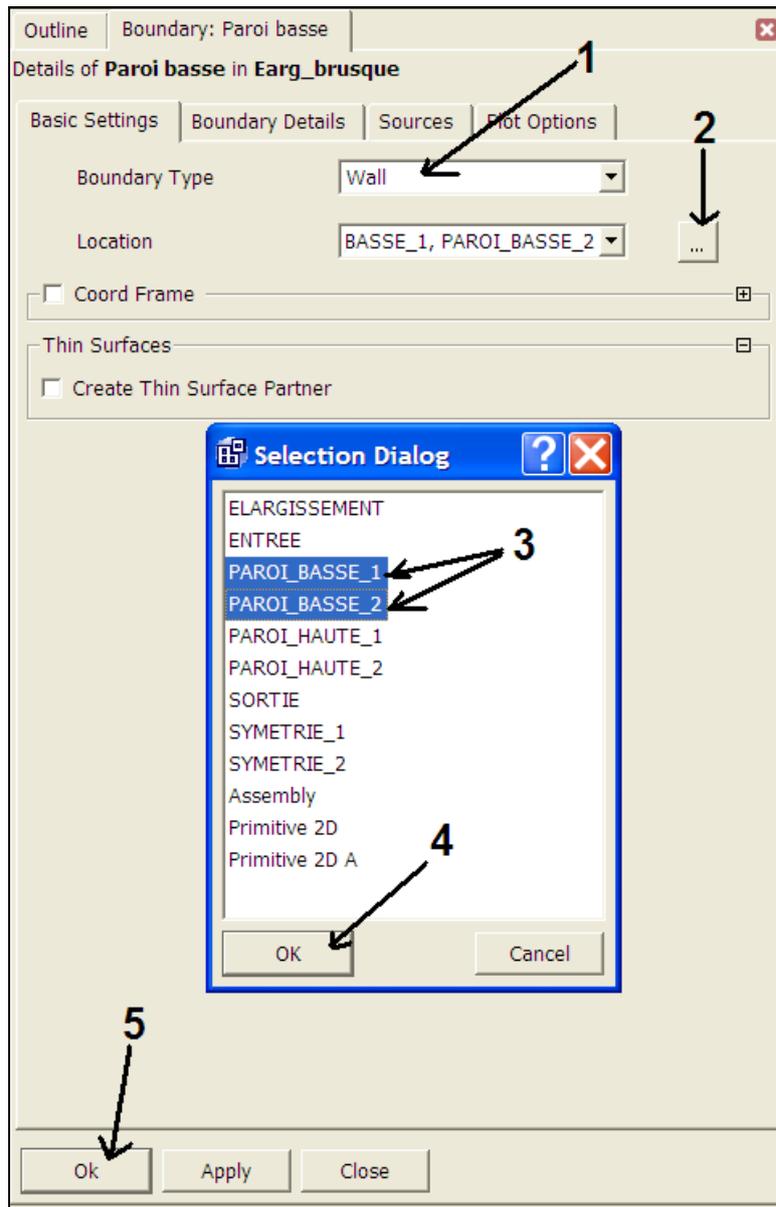


Figure 45

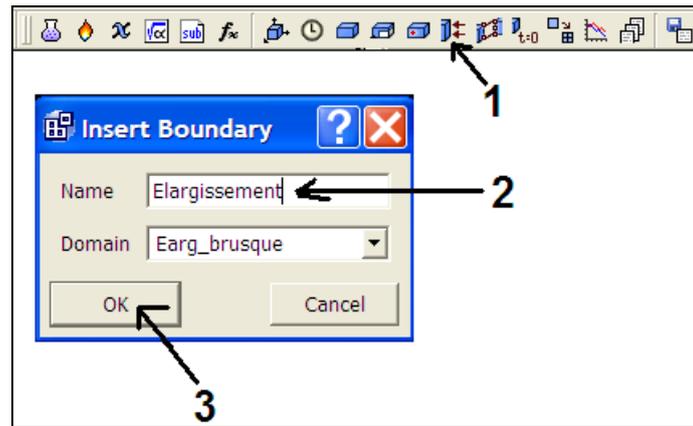


Figure 46

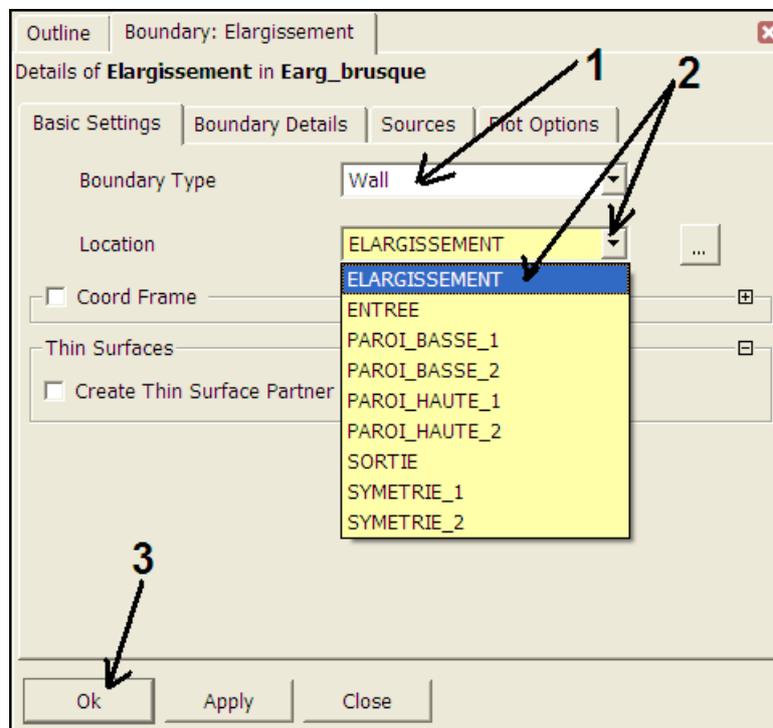


Figure 47

#### d- Les symétries

Suivre les instructions des figures 48 à 52 pour définir les symétries.

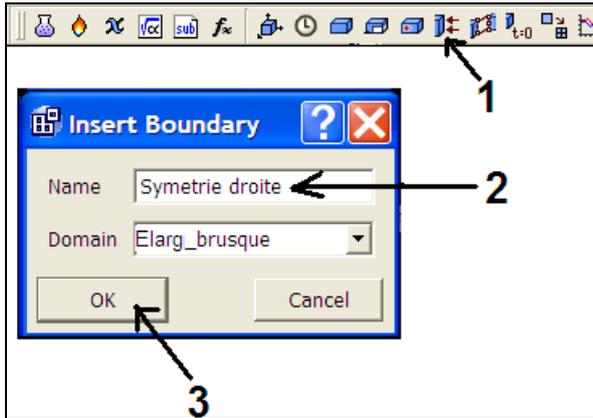


Figure 48

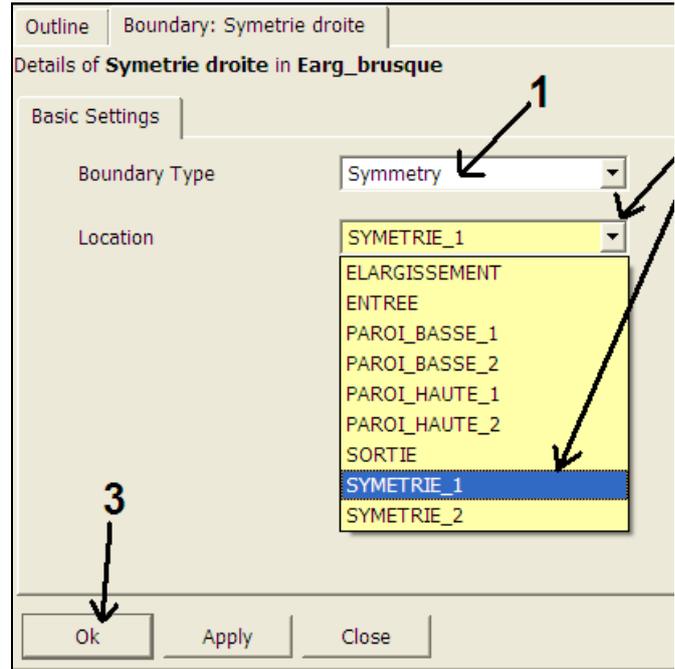


Figure 49

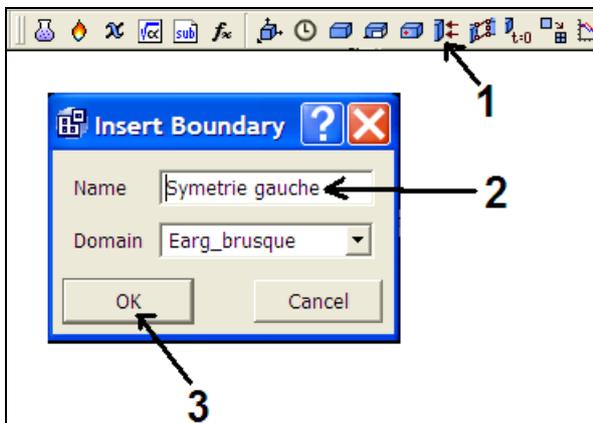


Figure 50

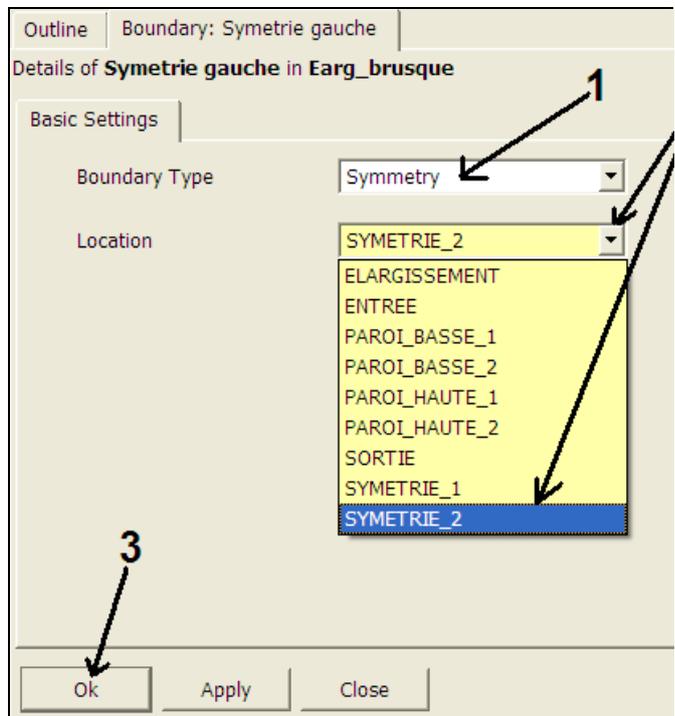


Figure 51

Le domaine et les différentes conditions sont affichés dans l'arbre d'affichage sous la branche Simulation (figure 52).

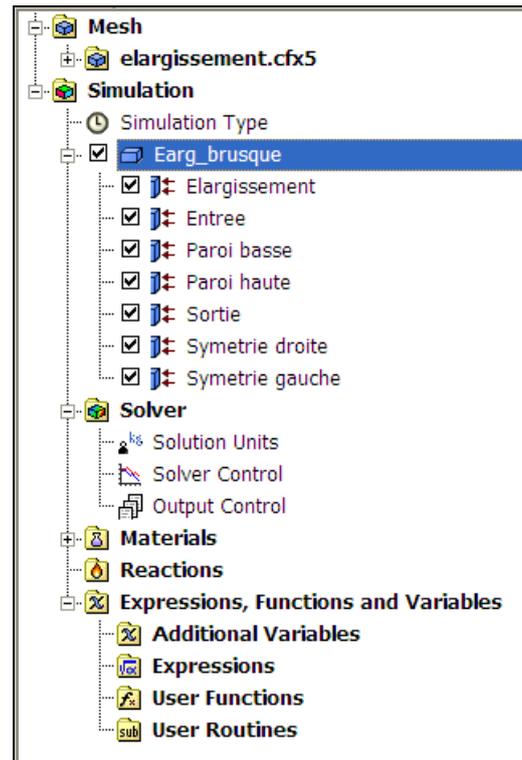


Figure 52

### 3.3.7. Lancement du module CFX Solver Manager

Une fois la simulation enregistrée au format \*.def le solveur se met en route.

Suivre les instructions de la figure 53 pour lancer le CFX Solver Manager et les instructions des figures 54 pour commencer le calcul.

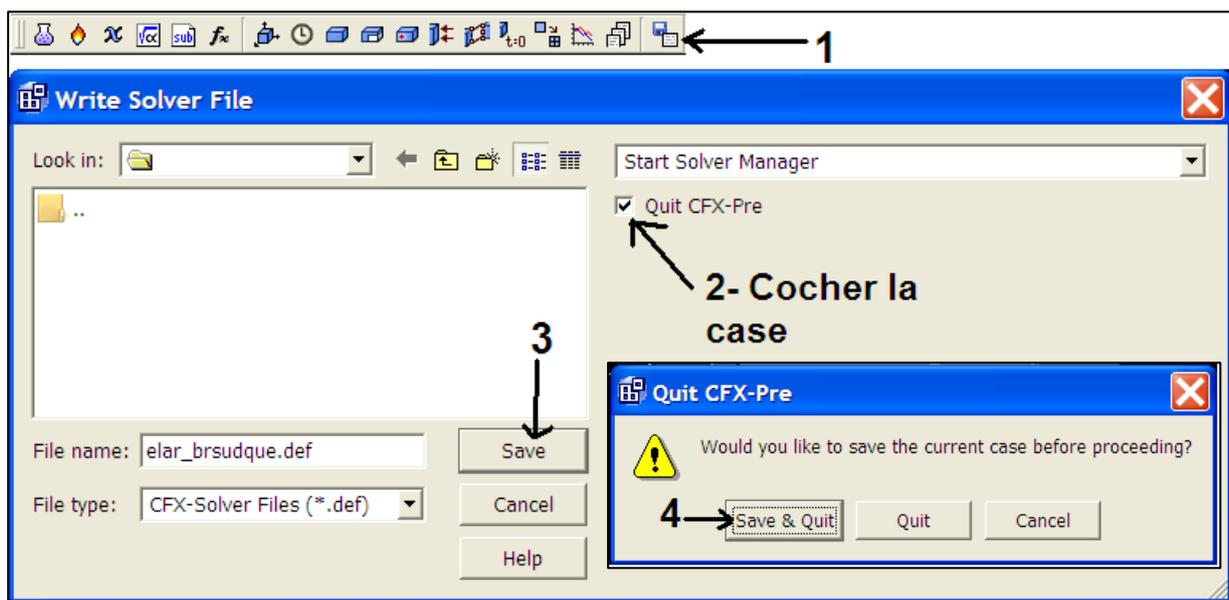


Figure 53

1. Dans **Definition File** apparaît la simulation précédemment enregistré
2. On peut définir si on le veut un fichier de valeurs initiales dans **Initial Values File**.
3. Il faut aussi définir l'espace de travail, afin que le solveur enregistre les données dans un répertoire connu. Pour cela on le définit dans **Working Folder**.
4. Enfin on lance le calcul (Start Run), apparaissent alors différents onglets dont **Mass and Momentum** permettant de voir l'évolution des résidus, **Turbulence** permettant de voir l'évolution des résidus de turbulence, et **User Points** qui nous permet de voir l'évolution des **Monitor Points** choisis.
4. A la fin du calcul le solveur propose de lancer CFX-Post

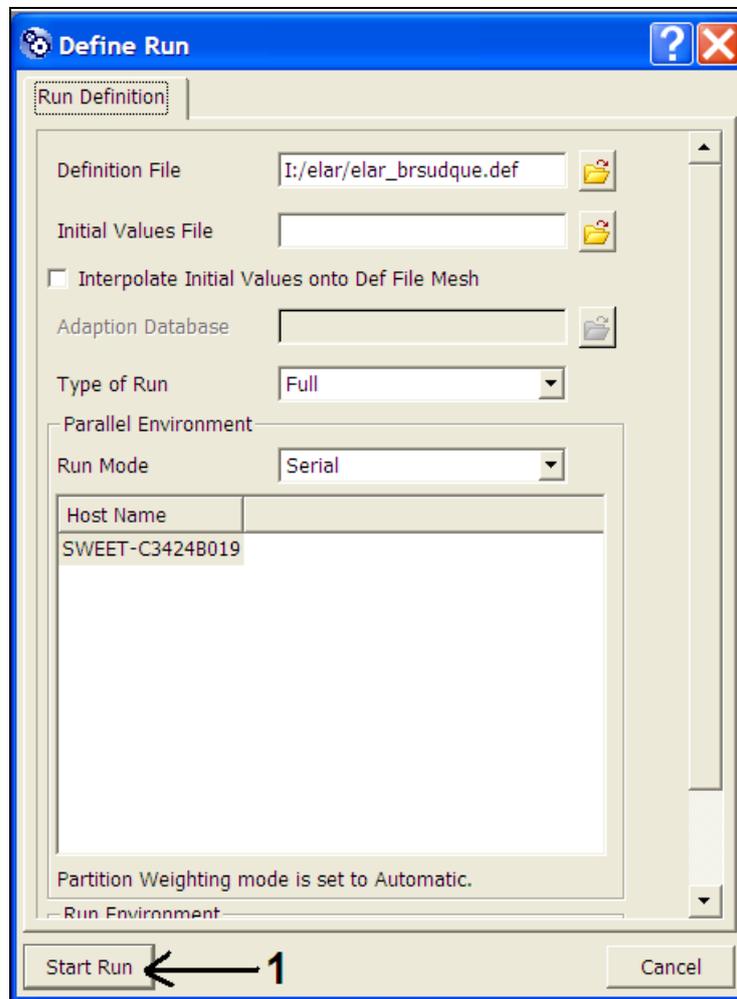


Figure 54

### 4.1.1. Lancement du module CFX Post et traitement des résultats

A la fin du calcul appuyer sur le bouton YES de la figure 55 pour lancer automatiquement le CFX Post.

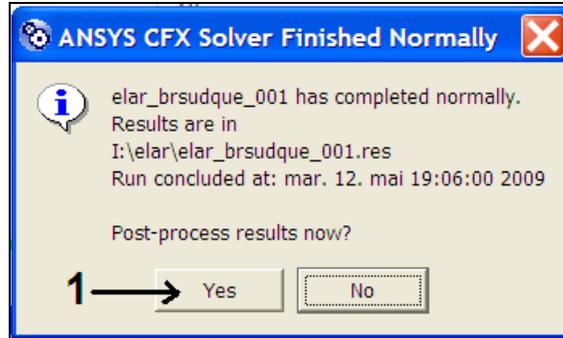


Figure 55

Par la suite on va voir quelques outils essentiels pour exploiter les résultats.

#### Créer un plan

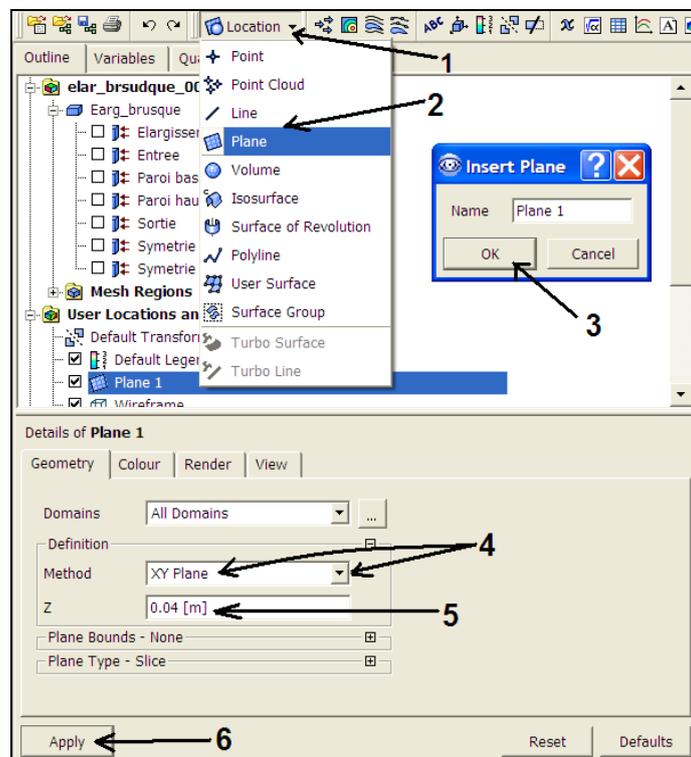


Figure 56

*Créer un contour*

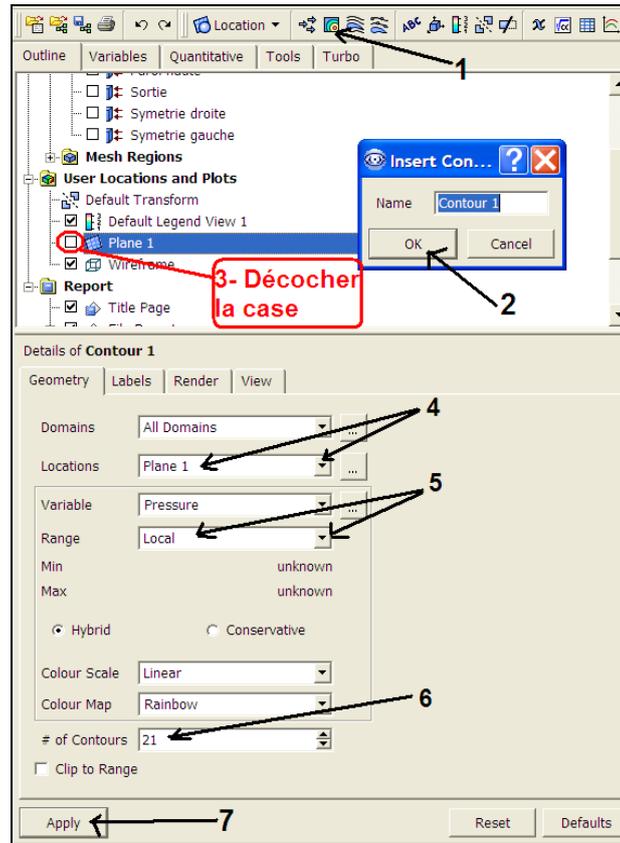


Figure 57

*Manipulation de la vue*

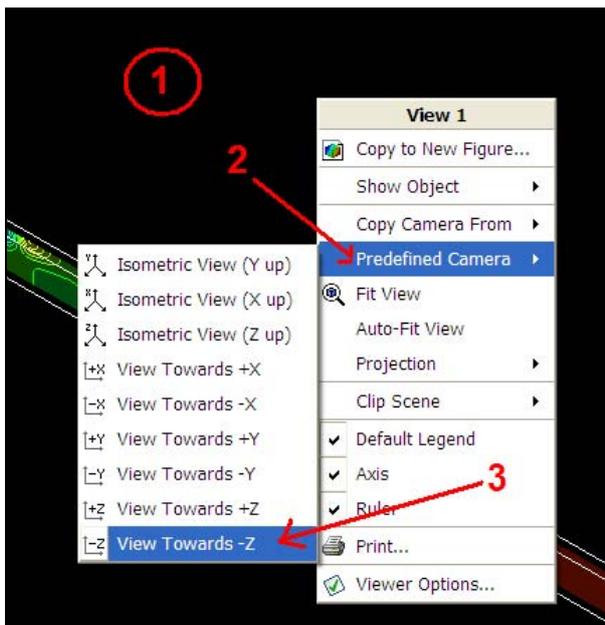


Figure 58

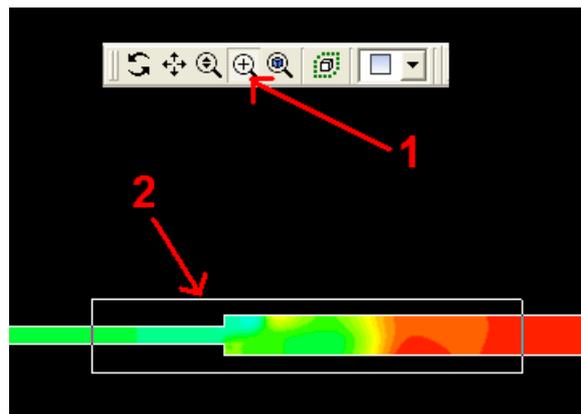


Figure 59

*Outils de visionnement*

	rotation		déplacement		redimensionnement
	agrandissement		vue convenable		

*Imprimer une vue*

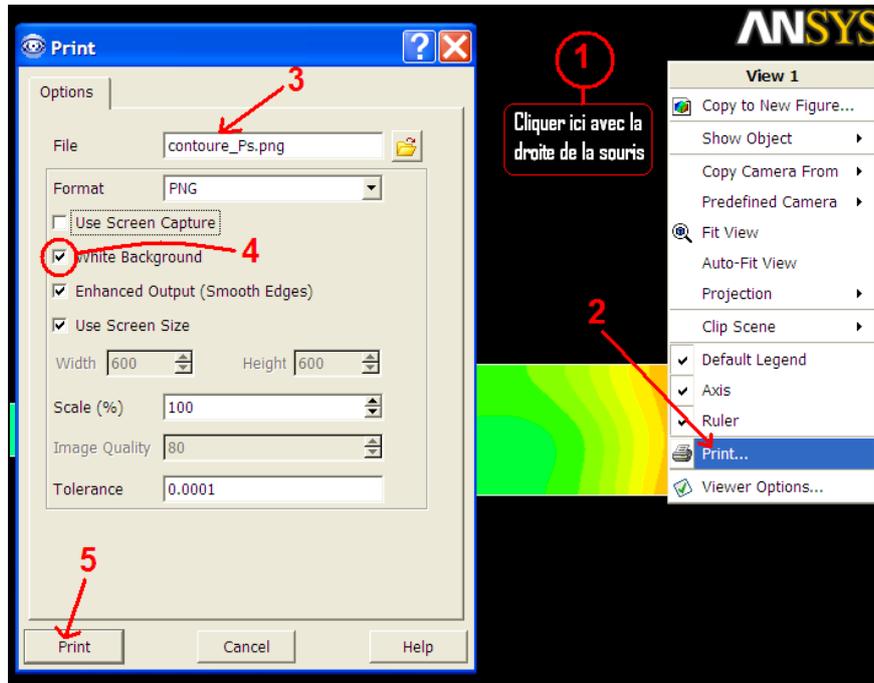


Figure 60

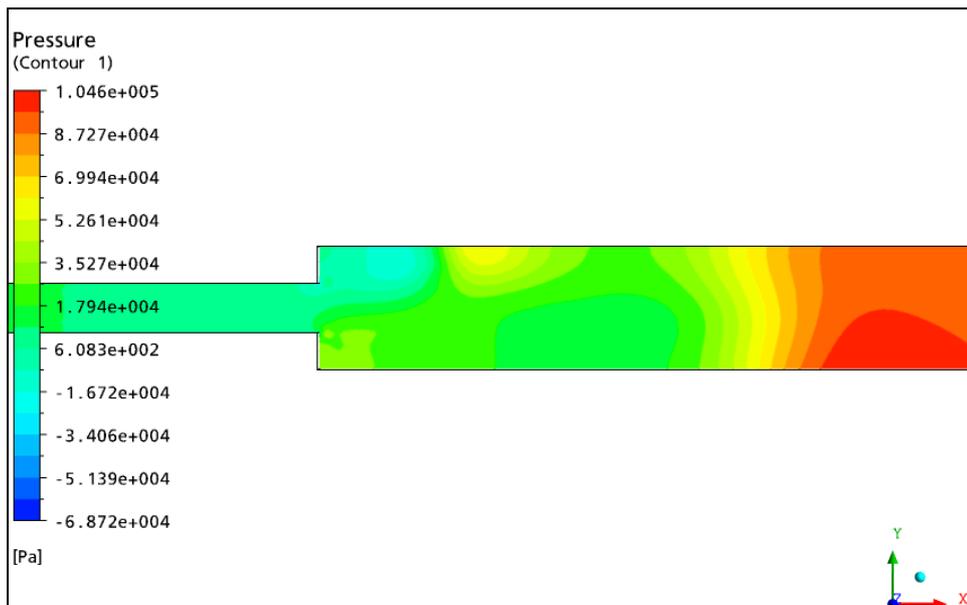


Figure 61

*Tracer les vecteurs de vitesse*

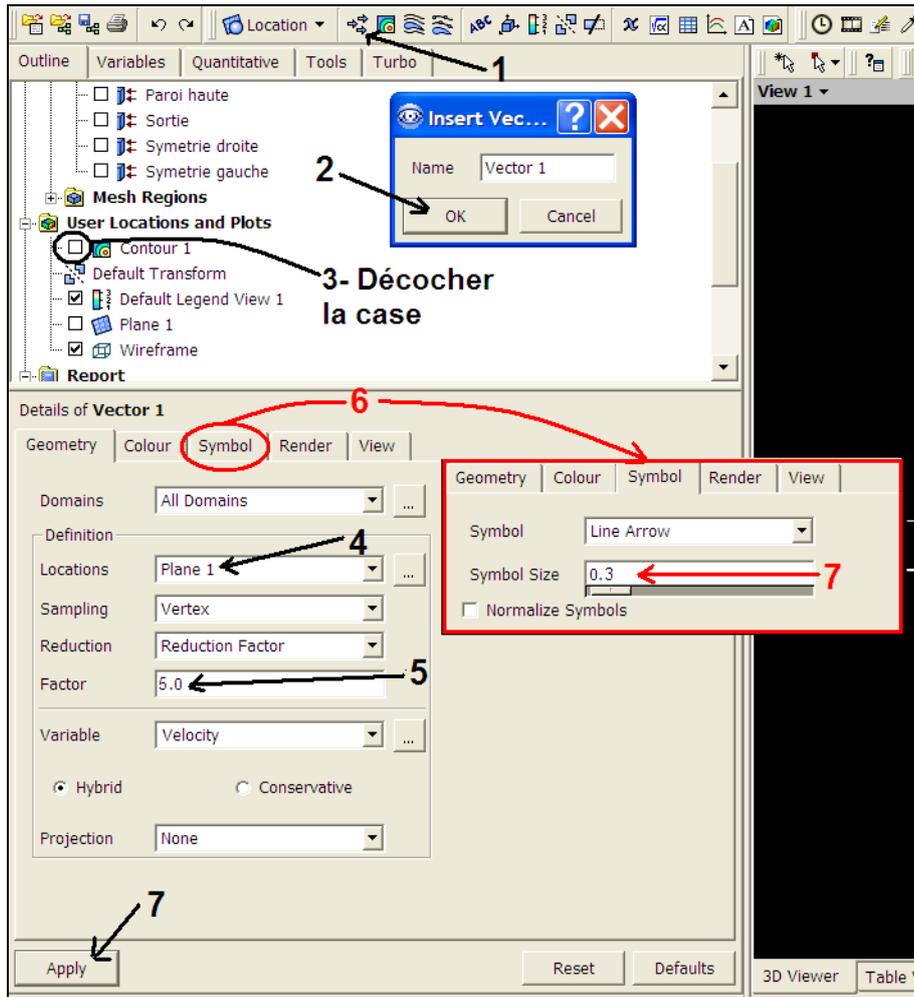


Figure 62

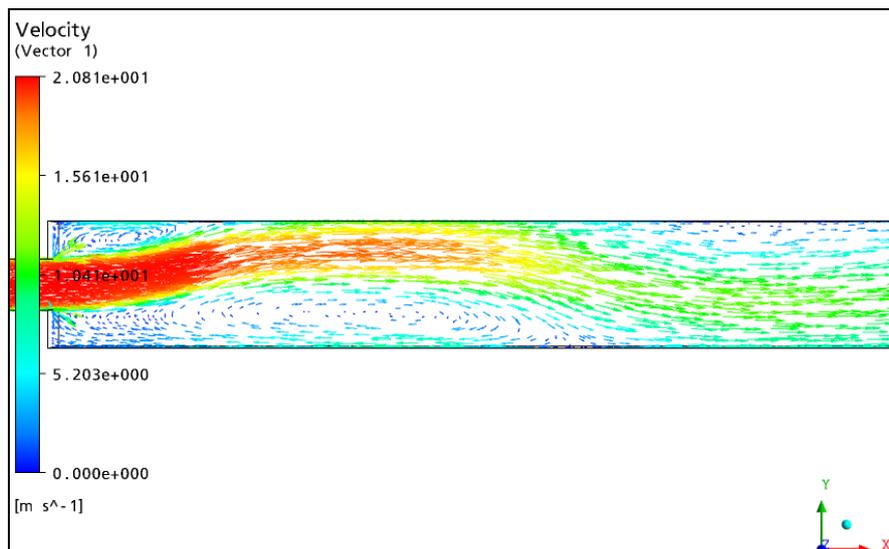


Figure 63

*Tracer une courbe*

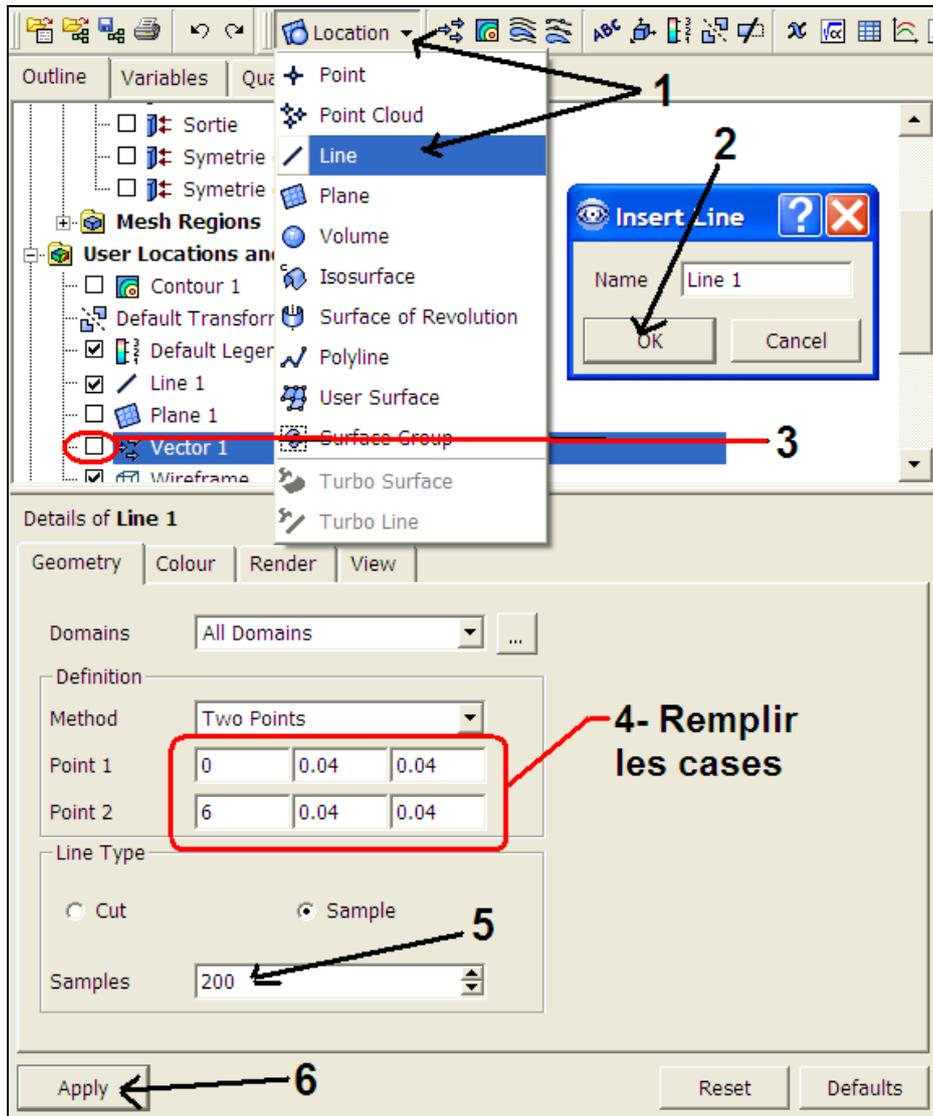


Figure 64

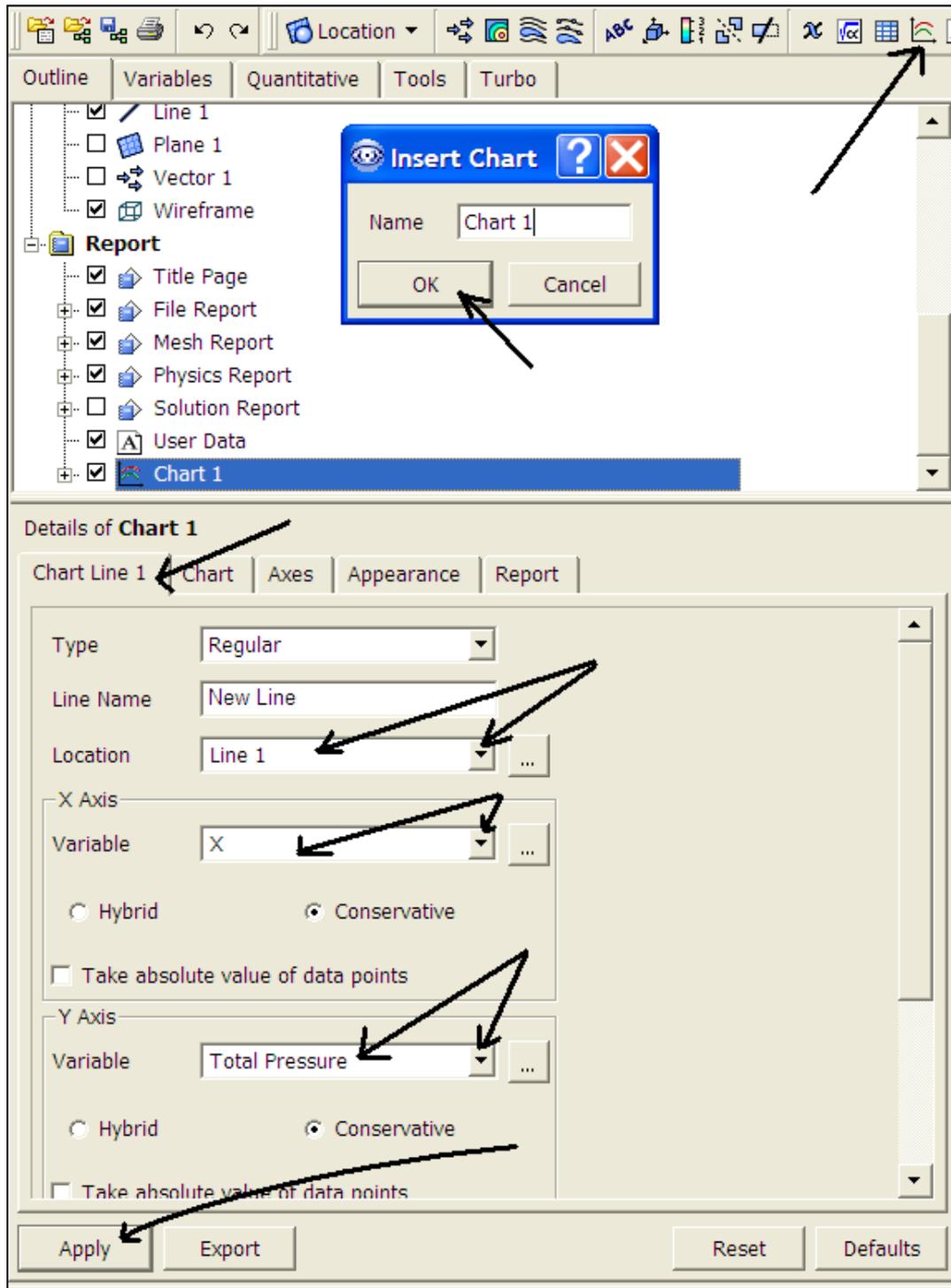


Figure 65

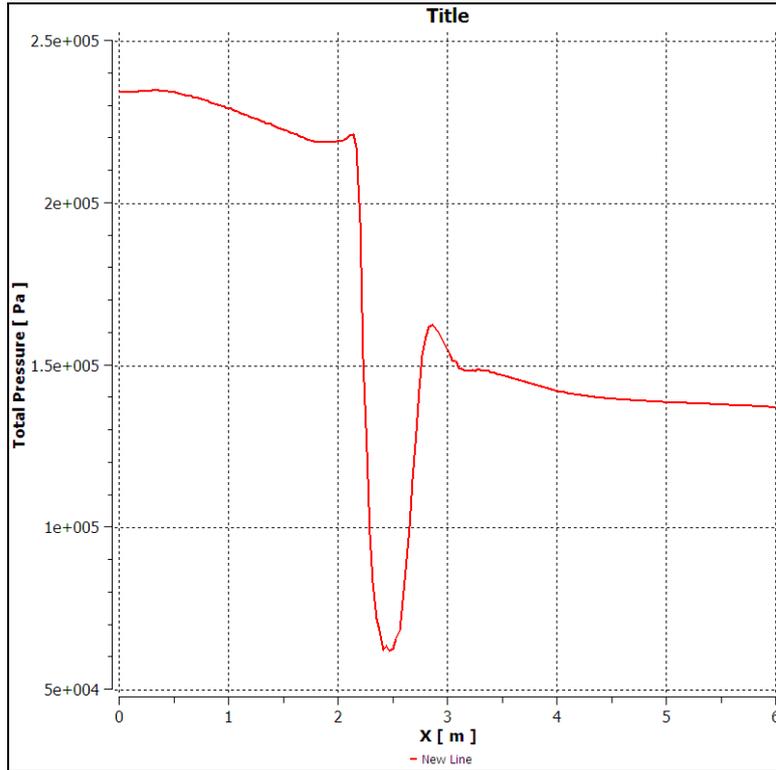


Figure 66

*Utiliser la calculatrice*

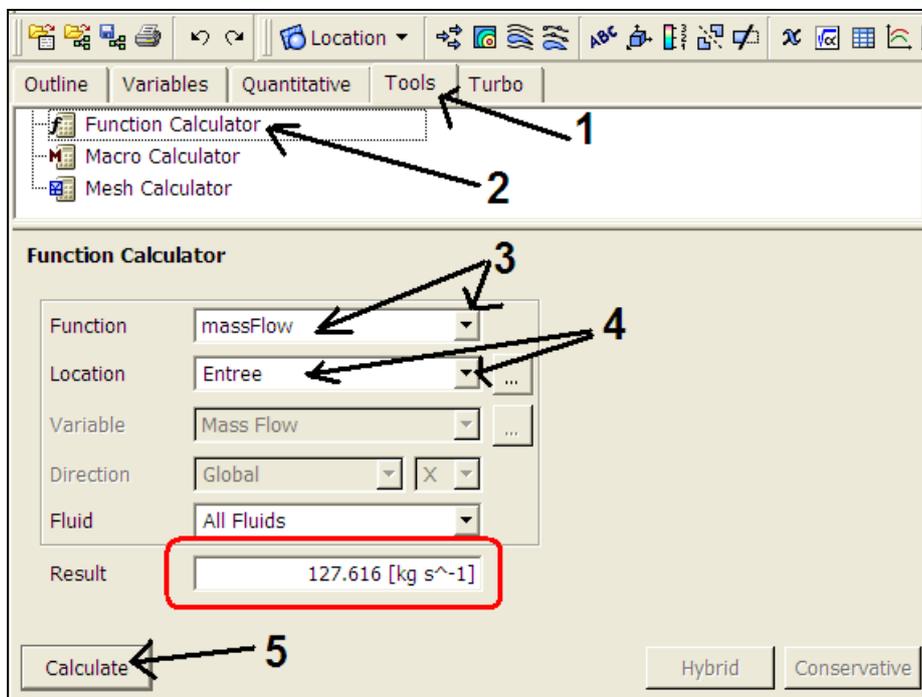


Figure 67

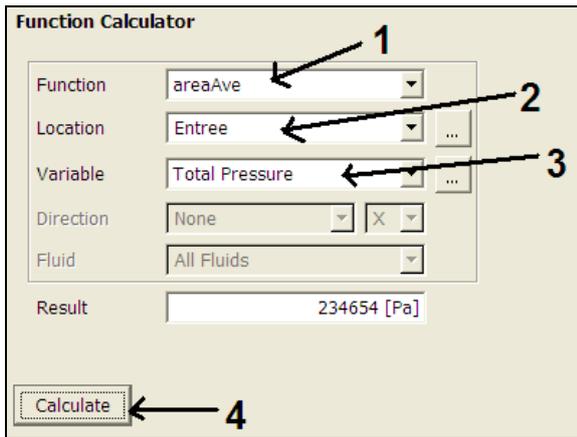


Figure 68

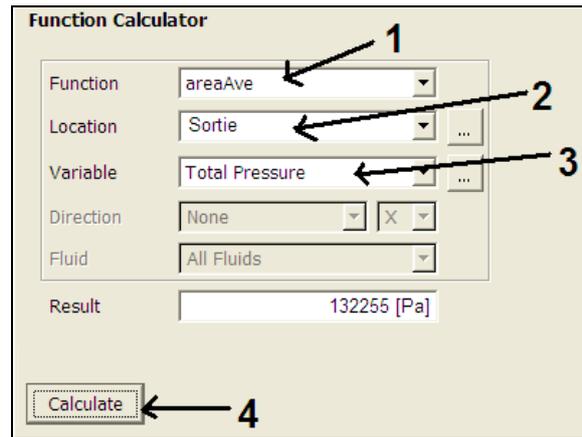
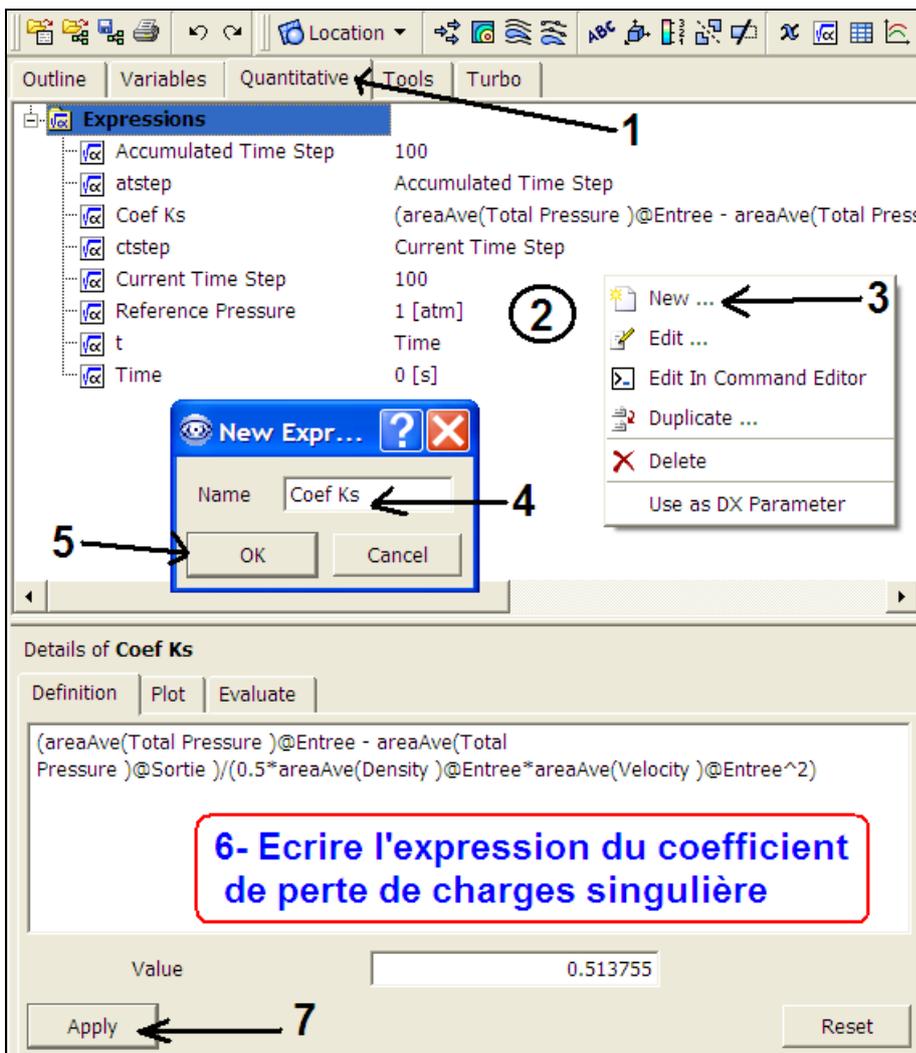


Figure 69

*Utilisation du CEL (CFX Expression Language)*



*Remarque : Pour la commande 2 cliquer avec la droite de la souris.*

Figure 70

## Références

[1] ANSYS Release 11.0 (ICEM CFD and ANSYS CFX Documentations), 2011.

[2] HAMEL Mohammed. *Etude numérique des performances d'une turbine semi axiale en régime pulsé*, Thèse de Doctorat, USTO MB, 2013.

[3] D'HAMONVILLE Thierry TARDIF et ILINCA Adrian. *Modélisation de l'écoulement d'air autour d'un profil de pale d'éolienne*. Rapport interne Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne LREE-05 –2008.