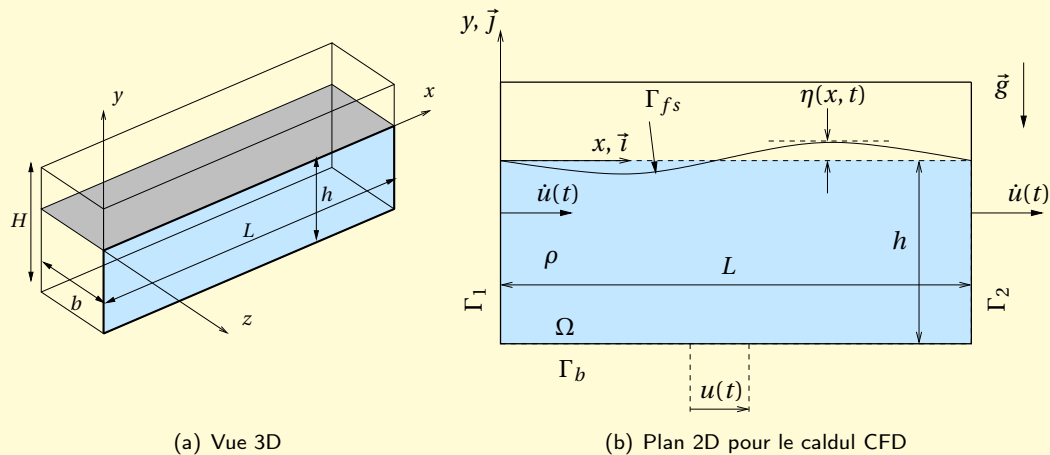


Séance de Travaux Dirigés 6

Calcul Volume Of Fluid (VOF) appliqué au sloshing

Objectifs de cette séance :

1. la mise en place d'un calcul VOF,
2. la réponse de l'interface air-liquide à trois sollicitations différentes,
3. l'historique du relevé des efforts de pression exercés et des hauteurs de liquide sur les parois internes du réservoir.

Figure 1 – Etude d'un effet de *sloshing* d'un liquide contenu dans un réservoir mobile

Ce réservoir sera successivement sollicité en imposant :

1. une sollicitation périodique de telle sorte que sa composante horizontale en vitesse s'écrive :

$$\dot{u}(t) = -\dot{u}_0 \times \sin(2\pi f t)$$

avec $\dot{u}_0 = 0.05 \text{ m/s}$ l'amplitude et f une fréquence propre de réponse de l'interface qui peut être prédite à l'aide de :

$$f_{\text{théorique}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\pi g \frac{m}{L} \tanh\left(\pi h \frac{m}{L}\right)} \quad [\text{Hz}],$$

où m est le numéro du mode, $L = 0.5 \text{ m}$ la longueur du réservoir et $h = 0.225 \text{ m}$ la hauteur de remplissage. L'objectif est de vérifier que la forme de l'interface se cale sur la forme modale en sinus.

m	1	2	3	4	5	6	7
$f_{\text{théorique}}$	1.17	1.76	2.16	2.49	2.79	3.06	3.30

Cette formulation étant linéaire, elle n'est donc valable que pour de faibles oscillations de l'interface.

2. une décélération constante telle que :

$$\dot{u}(t) = -a \times t,$$

avec $a = 2 \text{ m/s}^2$ la décélération. Le but de cet exercice est de vérifier que la solution stationnaire correspond bien à une inclinaison de la surface libre dont la tangente à l'horizontale vaut $-a/g$ avec $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ la constante de gravité.

3. une décélération complète : $\dot{u}(t) = -g/2 \times t \quad \forall t \in [0, 0.2]$ puis $\dot{u}(t) = 0 \quad t > 0.2 \text{ s}$ pour simuler la réponse du liquide suite à un freinage complet. L'objectif est le niveau d'effort maximum enregistré par les forces de pression exercées sur les deux parois verticales.

1 Génération de la CAO

Générer une CAO du réservoir aux dimensions affichées ($L = 0.5\text{ m}$ et $H = 0.4\text{ m}$) en respectant les deux points suivants :

1. CAO exclusivement 2D car les phénomènes observés sont de cette nature (vérifié expérimentalement),
2. prévoir une zone de raffinement autour de la position de l'interface pour un niveau de remplissage $h = 0.225\text{ m}$,
3. dans la suite de ce tutoriel, les frontières sont nommées *droite*, *gauche*, *fond* et *sup*, le volume *fluid* et la zone de raffinement *Refinement zone*.

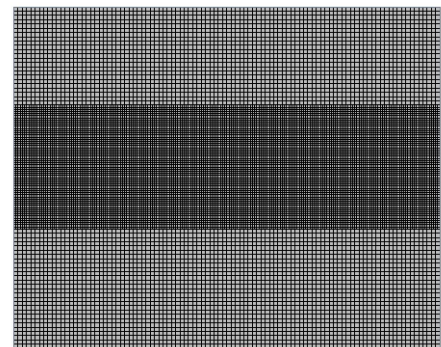
Ne pas oublier de nommer le plan ($z = 0$) d'où sera extrait le plan 2D servant au maillage !

2 Génération du maillage : approche *trimmée*

C'est un nouveau type de maillage, maillage *trimmé* (empilement de quadrangles rectangles), particulièrement bien adapté à cette géométrie simple, qui est ici retenu.

Le processus reste malgré tout classique et seules les grandes étapes sont rappelées ci-après :

- ▷ Creation de **New Geometry Part**,
- ▷ Créer et exécuter une opération **Badge for 2D Meshing**,
- ▷ Etape **Assign Parts to Regions** et bien vérifier que dans l'onglet **Regions**, les plans de symétrie n'apparaissent plus,
- ▷ Création du maillage avec **Operation > Automated Mesh**¹ seule possibilité pour bénéficier du meilleur *trimmé*.
- ▷ Sélectionner l'option **Trimmed Cell Mesher** (on ne cherchera pas à capter les effets de couches limites),
- ▷ Spécifier *Fluid* en tant que **Part** à mailler,
- ▷ Modifier les paramètres suivants :
 - Cocher l'option **Perform Mesh Alignment** dans **Automated Mesh > Meshers > Trimmed Cell Mesher**,
 - **Base Size** : 0.005 m ,
 - **Mesh Alignment Location** : $[0, 1, 0]\text{ m}$ (pour aligner le maillage selon l'axe des y),
- ▷ Définir **Operations > Automated Mesh > Custom Controls > New > Volumetric Control**
 - cocher la **Parts Refinement Zone** (si nommée ainsi),
 - cocher **Customize Isotropic Size**,
 - spécifier un **Custom Size > Percentage of Base** de 50%.
- ▷ Le réservoir étant fermé, les frontières sont toutes laissées de type *Wall*,
- ▷ Générer le maillage et visualiser,
- ▷ Vérifier à l'aide de l'outil *Measure Distance* la bonne dimension des cellules.



3 Mise en données

Les étapes suivantes vont permettre de mettre en place le calcul VOF basé sur une approche **Eulerian Multiphase**.

Question : que signifient les options *Eulerian* et *Multiphase*?

1. Et non pas **Automated Mesh (2D)** qui ne permet d'accéder à ce type de maillage

Sélectionner les modèles physiques :

- ▷ **2D**,
- ▷ **Implicit Unsteady** (car approche instationnaire),
- ▷ **Eulerian Multiphase** (car deux phases),
- ▷ **Volume Of Fluid (VOF)**,
- ▷ **Laminar** (ou **Turbulent** + $k-\epsilon$ à votre convenance),
- ▷ **Gravity** (fondamental !),
- ▷ **Segregated Fluid Isothermal**.

3.1 Déclaration des deux phases : Eau et Air

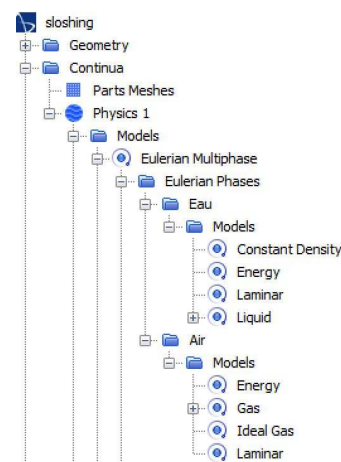
L'étape suivante consiste alors à définir les deux phases fluide **Eau** et **Air**. Il est **IMPORTANT** de définir en premier la phase liquide PUIS la phase gazeuse afin de rester compatible avec l'ordre des instruction de ce tutoriel !

- ▷ Sélectionner **Models > Eulerian Multiphase > Eulerian Phases** et créer une nouvelle phase,
- ▷ Renommer cette phase **Eau**,
- ▷ Spécifier **Liquid** et **Constant Density**,
- ▷ Fermer.

Procéder de la même manière pour la seconde phase :

- ▷ Sélectionner **Models > Eulerian Multiphase > Eulerian Phases** et créer une nouvelle phase,
- ▷ Renommer cette phase **Air**,
- ▷ Spécifier **Gas** et **Ideal Gas**,
- ▷ Fermer.

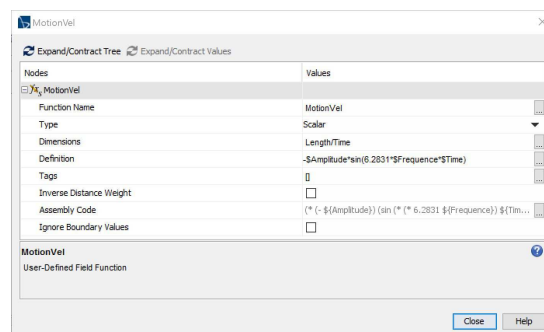
Les fluides par défaut sont de l'eau et de l'air : leur propriétés sont donc conservées telles quelles.



3.2 Imposition d'une loi de vitesse périodique

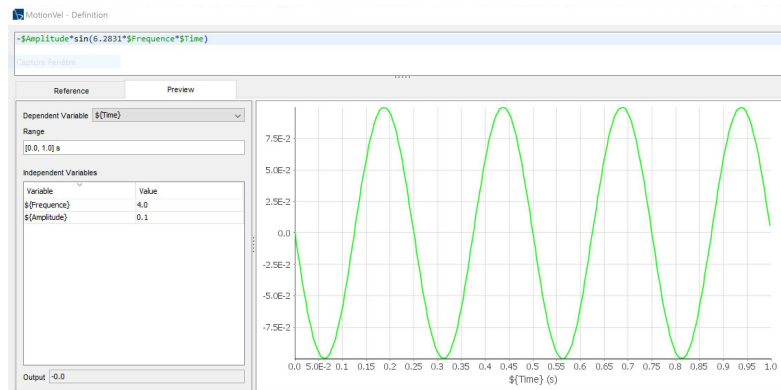
Pour imposer une loi de vitesse périodique d'amplitude donnée sur la composante selon x , procéder selon les trois étapes suivantes :

1. Créer la liste des *Field Functions* suivantes avec **Tools > Field Functions > New > Scalar** :
 - ▷ **Amplitude** : $(\$Time \leq 10) ? 0.05 : 0$
 - ▷ **Frequence** : valeur à votre convenance !
 - ▷ **MotionVel** : $-\$Amplitude * \sin(6.283185 * \$Frequence * \$Time)$

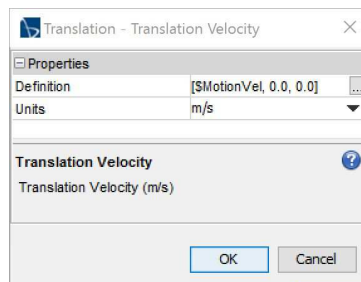


Il est important de renommer (deux fois donc) aussi la fonction en renseignant l'option **Function Name**.

Il est possible de tracer la fonction ainsi programmée en ouvrant l'éditeur de la *Field Function*, en sélectionnant l'onglet **Preview** et en renseignant les valeurs requises par l'affichage :



2. Créer une fonction **Translation** pour définir le champ de vitesse à imposer sur les trois composantes :
 - ▷ Clic-droit **Tools > Motion > New > Translation**
 - ▷ Cliquer sur l'icône pour mettre à jour le champ par défaut $[0, 0, 0]$ à remplacer par $[\$MotionVel, 0, 0]$



3. Assigner ce mouvement avec :
 - Clic-droit **Regions > Fluid > Physical Values > Motion Specification**
 - Deux solutions possibles s'offrent alors à vous :
 - (a) Sélectionner Translation dans le menu **Motion**
 - (b) Sélectionner ReferenceFrame For Translation dans **Reference Frame**

Ces deux modes conduisent au même résultat à la différence près que le premier choix permet de visualiser le mouvement du réservoir alors que le second utilise un référentiel attaché au réservoir donnant une illusion d'immobilité (utile si déplacement risquant de faire sortir le réservoir de la *Scene/Plot*).

4 Initialisation du calcul

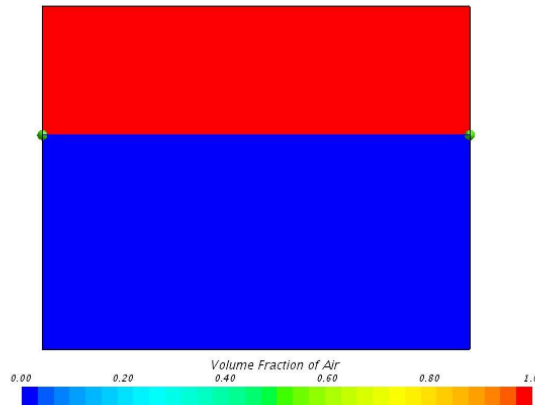
L'objectif est d'imposer une hauteur de liquide $h = 0.225\text{ m}$ mesurée depuis le fond. La procédure consiste alors à imposer un champ de **Volume Fraction** α qui doit valoir $\alpha = 1$ (eau) en dessous de h et $\alpha = 0$ (air) au dessus.

La procédure passe par la création d'une nouvelle *Field Function* :

- ▷ **Tools > Field Functions > New > Scalar**
- ▷ La renommer Initial Distribution
- ▷ La définir en spécifiant : $(\$Position[1] \leq 0.225) ? 1 : 0$

Le \$\$ signifie que la donnée manipulée Position est un vecteur, une fonction scalaire n'étant précédée que de \$. Le chiffre entre crochets peut valoir 0, 1 ou 2 selon que l'on cherche à extraire les composantes x, y ou z.
- ▷ Associer cette *Field Function* à la condition initiale :
 - Continua > Physics 1 > Initial Conditions > Volume Fraction** et spécifier

- **Method** : Composite (pour indiquer que l'on impose deux phases),
- **Composite** > **Eau** > **Method** *Field Function*,
Sélectionner Initial Distribution dans la liste.
- Cliquer sur l'icône d'initialisation de la solution (Pavillon vert), afficher une *Scalar Scene* pour visualiser le champ **Volume Fraction of Air** et vérifier la bonne séparation des deux phases.

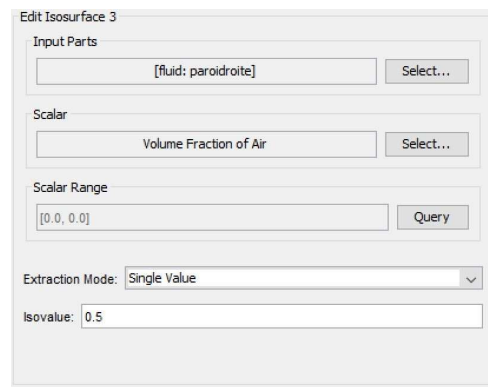


5 Préparation des *plots*

L'idée est de préparer le calcul afin de pouvoir visualiser au cours du temps, l'évolution de la position de l'interface sur les deux parois droite et gauche et relever le niveau des efforts de pression exercés sur les deux parois. Par définition, l'interface correspond à une valeur de fraction volumique $\alpha = 0.5$.

Pour extraire la position de l'interface sur la paroi *droite* (par exemple) :

- Créer une isosurface attachée à la paroi :
Derived Parts > **New Parts** > **Isosurface**
- La renommer isoDroite
- Sélectionner la paroi dans **Input Parts**
- Sélectionner **Volume Fraction of Air** dans **Scalar**
- Sélectionner **Single Value** dans **Extraction Mode**
- Taper la valeur 0.5 dans **Isovalue**
- **Apply** puis **Close**



On crée ensuite un **Report** pour extraire la position verticale de l'isovalue créée :

- Clic-droit **Reports** > **New Report** > ... > **Maximum**
- Renommer LevelWaterDroite
- Sélectionner **Position[Y]** dans **Field Function**
- Dans **Parts** sélectionner l'isosurface isoDroite

Procéder de même pour la paroi de gauche en générant l'isosurface isoGauche et le report LevelWaterGauche.

Pour créer un graphique commun aux deux positions de l'interface et afin de visualiser leurs évolutions dans le temps, sélectionner (touche Shift) les deux reports LevelWaterDroite et LevelWaterGauche puis clic-droit **Create Monitor and Plot From Report**. Valider l'affichage sur une seule figure.

6 Calculs

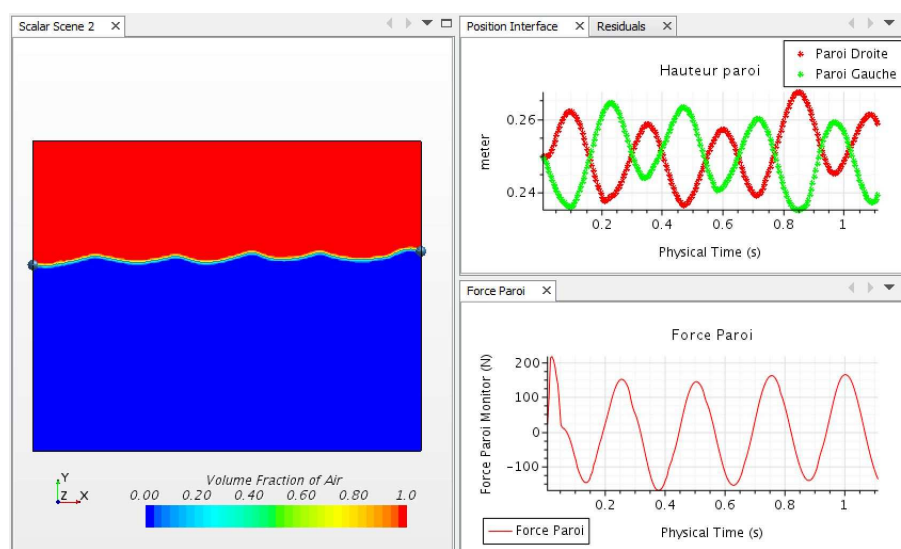
- ▷ Calculer un incrément en temps Δt respectant le nombre de Courant calculé pour l'interface :

$$CFL = \frac{U \Delta t}{\Delta x} \leq 0.5 - 0.7 \quad \text{où} \quad U = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g \lambda}{2\pi}},$$

avec λ une longueur d'onde caractéristique de l'interface.

- ▷ L'imposer dans **Solvers > Implicit Unsteady** où vous avez aussi la possibilité de contrôler l'ordre de précision.
- ▷ Lancer le calcul en ayant au préalable levé la limite imposée sur le temps de calcul fixé à 1 sec. par défaut dans :
Stopping Criteria > Maximum Physical Time.
- ▷ Pour affiner l'affichage de l'interface et éviter des effets visuels de diffusion numérique, réduire la table des couleurs à 2 voire 3 valeurs.

La mise en place de la forme sinusoïdale de l'interface n'est pas immédiate et requiert de dérouler le calcul sur un temps significatif.



- ▷ Reprendre la mise en données du problème en imposant une décélération constante $a = -2m/s^2$ pour vérifier que la solution stationnaire vers laquelle tend le calcul, présente une pente de l'interface dont la tangente avec l'horizontale est égale à $-a/g$ où g la constante de gravité.

Pour accélérer la convergence vers la solution stationnaire, on sélectionnera un schéma en temps à l'ordre 1 plus dissipatif des aspects transitoires.

- ▷ Modifier le champ de vitesse imposé pour simuler un freinage complet :

$$\dot{u}(t) = -g/2 \times t \quad \forall t \in [0, 0.2] \quad \text{puis} \quad \dot{u}(t) = 0 \quad t > 0.2 \text{ s.}$$

L'objectif est la mesure du niveau d'effort maximum enregistré par les forces de pression exercées sur les deux parois verticales.

Ce que vous aurez appris à l'issue de cette session *TD6*

- A mettre en place un calcul VOF,
- A mener un calcul instationnaire,
- A définir des *Field Functions*, véritable *couteau Suisse* de StarCCM+, pour imposer des mouvements de translation périodique ou non,
- A mettre en place une méthodologie pour extraire des signaux en temps de hauteurs d'interface et de mesure d'efforts.