

Ceci est un guide d'utilisation pour Star CCM+. Le but est de guider l'utilisateur lors de la préparation d'un calcul, en le guidant dans les différents menus durant les différentes étapes, et en l'aidant dans ces choix.

Ce guide ne peut toutefois pas couvrir tous les cas de calcul et décrire toutes les fonctionnalités du logiciel. L'utilisateur est donc invité à utiliser l'aide s'il désire plus de détails concernant certaines options.

## **Préparation d'un calcul sous Star CCM+**

### **1. Maillage**

Concernant le maillage 2 possibilités s'offrent à l'utilisateur :

- Importer un maillage existant au format CD Adapco CCM files, Pro Star, Fluent (msh ou cas) ou Plot 3D ;
- Générer un maillage non-structuré sous Star CCM+.

Il est important de savoir que :

- Un maillage importé ne peut pas être modifié sous Star CCM+ ;
- Il est possible de combiner un maillage généré sous Star CCM+ et un maillage importé. On importera le maillage après avoir généré celui sous Star CCM+. Une interface devra alors être définie pour relier les deux maillages.

#### Importation d'un maillage volumique

Pour importer un maillage volumique, aller dans :

File / Import / Import Volume Mesh ...

On peut vérifier que le maillage soit à la bonne échelle en lançant un diagnostique dans :

Mesh / Diagnostics, choisir « Volume Mesh »

Les valeurs min et max des trois coordonnées du maillage sont alors affichées en début de diagnostique. Le reste du diagnostique donne la qualité du maillage. D'après CD Adapco, la qualité du maillage est correcte tant que :

- $0.9 < \text{Face validity}$
- $10^{-4} < \text{Volume change}$

Si un petit nombre de cellules ont une qualité légèrement inférieure à ces critères, le calcul peut toutefois converger. Dans le cas contraire, on pourra activer l'option « Cell Quality Remediation » dans la définition du modèle physique (expliquée plus loin).

#### Génération d'un maillage volumique

Il est possible de générer une géométrie simple sous Star CCM+, mais ce logiciel n'est pas dédié à la CAO et il est recommandé de générer une géométrie plutôt sur un véritable logiciel CAO. Plusieurs formats CAO peuvent être lus sous Star CCM+ comme les fichiers Catia (à condition d'avoir la licence nécessaire), Parasolid, Step, IGES ... On pourra alors ensuite importer la géométrie : File / Import / Import Surface Mesh ...

Lorsque l'on importe une géométrie sous Star CCM+, on parle d'importation de maillage surfacique car les surfaces importées sont triangularisées et donc converties en maillage surfacique. Evidemment ce maillage surfacique est de mauvaise qualité et l'utilisateur ne peut pas choisir la taille des cellules. Il pourra être remaillé plus tard.

Deux types d'importation de maillage surfacique s'offrent à l'utilisateur :

- importation sous forme de « parts ». On importe des surfaces qui n'existent pas « physiquement » (c'est à dire qui ne définiront pas de conditions limites). On peut considérer cela comme un lot de surfaces stockées dans « Geometry/Parts ». Elles sont alors mises à disposition pour les convertir en « Regions » pour que ces surfaces existent alors physiquement ou alors être utilisées pour contrôler le maillage (volume controls expliqués plus loin) ;
- importation sous forme de « Regions ». Cette fois, les surfaces existent physiquement. Elles serviront de conditions limites.

Comme dit précédemment, il est nécessaire de remailler ces surfaces importées. Pour cela, on utilisera le « surface Remesher », qui consiste à remailler les surfaces avec les tailles de maille définies par l'utilisateur. Au préalable, il peut être nécessaire d'utiliser le « surface wrapper » qui consiste à « réparer » les surfaces si aucun volume fermé n'est détecté par le logiciel. Une fois qu'un volume fermé est détecté (en utilisant ou non le « surface wrapper ») et que les surfaces ont été remaillées, un maillage volumique est généré.

Globalement pour générer un maillage volumique, il est nécessaire de créer un « Mesh continuum ». Par défaut, il est créé lors de l'importation d'un maillage surfacique. S'il est nécessaire d'en créer un, aller dans « Continua », clic droit, choisir « New » puis « Mesh Continuum ».

Dans le « Mesh Continuum » ainsi créé, aller dans « Models ». Deux fonctions sont disponibles pour le maillage surfacique :

- « Surface Remesher », qui remaille les surfaces afin d'améliorer la qualité du maillage et de respecter les tailles de maille définies ;
- « Surface Wrapper », qui répare les surfaces pour définir un volume fermé qui pourra être maillé.

Pour le maillage volumique, Plusieurs types de maillage non-structurés sont disponibles :

- « Polyhedral Mesher », qui utilise des polyèdres (composés de 7 à 18 faces, 12 en moyenne) ;
- « Tetrahedral Mesher », qui utilise des tétraèdres ;
- « Thin Mesher », qui maille les volumes de faibles épaisseurs en lui imposant le nombre de cellules dans cette épaisseur ;
- « Trimmer », qui utilise des éléments généralement hexaédriques. Pour faire varier la taille des cellules, celles-ci sont successivement divisées par 2 sur différentes couches.

Une fois qu'un type de maillage a été choisi. Deux autres choix apparaissent pour le maillage volumique :

- « Prism Layer Mesher », qui génère des couches de prismes pour le maillage des couches limites ;
- « Extruder », comme son nom l'indique il extrude un maillage surfacique pour réaliser un maillage avec des couches de prismes. Il ne faut pas utiliser ce genre de maillage pour les couches limites, mais plutôt pour mailler des volumes dont la section reste constante sur une certaine longueur (ex : tuyau, ou extrusion d'entrée ou de sortie d'un domaine de calcul). Une direction et une loi de progression de taille de maille sont alors définies par l'utilisateur.

Si l'option « Prism Layer Mesher » est activée, il est nécessaire de définir le type de condition limite choisie pour chaque condition limite du domaine de calcul, afin que les couches prismes ne soient générées qu'à partir des parois. En effet, par défaut, toutes les surfaces sont par défaut des parois lors de l'importation. Si l'utilisateur ne change pas le type de condition limite avant de lancer la génération du maillage volumique. Des couches de prismes seront générées à partir de toutes les surfaces.

Une fois les différents types de « Mesher » choisis, il est possible de changer les paramètres globaux de maillage (applicables à l'ensemble du domaine) en dessous de Models dans l'arborescence (voir guide d'utilisation).

Il est maintenant nécessaire de définir les valeurs de référence pour le maillage. Elles seront appliquées sur tout le domaine, sauf si d'autres valeurs sont appliquées sur les surfaces de conditions limites ou des volumes de contrôles sont définis (voir plus loin). Dans « Reference Values », on trouve :

- « Base size », taille de base pour certaines autres valeurs présentées ci-après ;
- « Maximum Cell Size », taille maximale du maillage volumique du « Trimmer » ;
- « Maximum Core/Prism Transition Ratio » (présent dans les versions récentes de Star CCM+), rapport maximum entre les tailles du maillage volumique du « Trimmer » et de la dernière couche de prisme du « Prism Layer Mesher » ;
- « Number of Prism Layers », nombre de couche de prismes du « Prism Layer Mesher » ;
- « Prism Layer Stretching », facteur de croissance de l'épaisseur des couches de prismes du « Prism Layer Mesher » ;
- « Prism Layer Thickness », épaisseur de l'ensemble des couches de prismes du « Prism Layer Mesher » ;
- « Surface Curvature », nombre de points pour discrétiser un cercle. Cela permet de paramétrer la discrétisation des surfaces courbes ;
- « Surface Growth Rate », facteur de croissance de la taille de maille pour le maillage surfacique ;
- « Surface proximity », nombre minimal de cellules du maillage que l'on peut mettre entre deux surfaces proches (sans compter les cellules des couches de prismes). Cette option est active que si le seuil de recherche « Search Floor » est différent de 0 (valeur par défaut) ;
- « Surface Size », permet de définir les tailles du maillage surfacique ;
- « Template Growth Rate », permet de définir le taux de croissance des cellules du « Trimmer » ;
- « Wrapper Feature Angle », angle (en degrés) à partir duquel le « Wrapper » détecte une « Feature Edge ». La valeur minimale est de 30° ;
- « Wrapper Scale Factor », pourcentage appliqué aux valeurs entrées dans « Surface Size » afin de diminuer ces tailles pour le « Surface Wrapper ». Cela permet à ce dernier de mieux définir la géométrie et d'éviter de la détériorer lors de la génération de la surface « wrappée ». Plus ce pourcentage est faible, plus la surface « wrappée » sera fidèle à la surface importée, mais plus cela nécessitera de la mémoire vive.

Comme précisé précédemment, ces paramètres s'appliquent à l'ensemble du domaine. Toutefois il est possible dans « Volumic Controls » de définir des volumes de contrôle dans les lesquels on applique des paramètres de maillage différents. Ces volumes de contrôle sont définis à partir de « Parts » qui sont, pour rappel, définis par des surfaces qui ne sont pas physiques (c'est à dire qui ne

sont pas des conditions limites).

Il est également possible d'appliquer des paramètres différents sur les conditions limites (dans la partie « Regions » de l'arborescence).

La génération du maillage étant semi-automatique, il est fortement recommandé de vérifier le maillage généré. Tout d'abord, on génère le maillage surfacique que l'on peut vérifier après chaque génération (il faut souvent plusieurs tests avant d'obtenir un maillage surfacique correct). Ensuite on génère le maillage volumique et on fait des coupes du maillage pour le vérifier.

#### Qualité du maillage volumique

Il est possible de contrôler la qualité du maillage en lançant un diagnostic dans :  
Mesh / Diagnostics, choisir « Volume Mesh »

D'après CD Adapco, la qualité du maillage est correcte tant que :

- $0.9 < \text{Face validity}$
- $10^{-4} < \text{Volume change}$

Si un petit nombre de cellules ont une qualité légèrement inférieure à ces critères, le calcul peut toutefois converger. Dans le cas contraire, on pourra activer l'option « Cell Quality Remediation » dans la définition du modèle physique (expliquée plus loin).

#### Définition de la physique

Pour définir la physique, aller sur « Continua ». Si aucune « Physics » n'existe, clic droit et choisir « New / Physics Continuum ». Double clic sur « Models ». On peut alors choisir les différentes options (qui apparaissent successivement en fonction des choix) :  
2D ou 3D  
stationnaire ou instationnaire  
type de matériau  
solver « Segregated » ou « Coupled »  
équation d'état pour la densité  
régime de viscosité  
modèle de turbulence  
modèles optionnels

Le Solver « Segregated » est recommandé pour les écoulements incompressibles ou faiblement compressibles. Pour les écoulements compressibles et supersoniques, on préférera le solver « Coupled ».

Parmi les modèles optionnels, on notera le modèle « Cell Quality Remediation », cité plus haut, qui permet au calcul de converger plus facilement si le maillage comporte quelques cellules de mauvaise qualité (dans la limite du raisonnable).

Ensuite, on pourra définir les valeurs de référence et les conditions initiales.

#### Conditions de référence

La pression dans les conditions limites ou les conditions initiales sont des pressions relatives (« gauge pressure »). C'est à dire qu'il faut ajouter la pression de référence pour obtenir la pression absolue. Il est conseillé de choisir comme valeur pour la pression de référence :

Pour un écoulement incompressible, une valeur représentative de la pression dans le domaine de calcul (par exemple, la pression atmosphérique pour de l'aérodynamique externe ou la pression de la chambre dans une chambre de combustion). Ainsi les pressions relatives résolues par le solver sont faibles.

Pour un écoulement compressible, deux choix s'offrent à l'utilisateur :

- si les fluctuations de pression sont faibles, définir comme pression de référence une valeur représentative de la pression dans le domaine de calcul (comme pour un écoulement incompressible). Les pressions relatives alors résolues par le solver sont faibles;
- si les fluctuations de pression sont élevées, mettre 0 Pa comme pression de référence. Les pressions relatives alors résolues par le solver sont égales aux pressions absolues.

## 2. Conditions initiales

Rappel : la valeur initiale de la pression est une pression relative (Gauge Pressure) par rapport à la pression de référence (voir Reference Pressure). Il faut donc bien prendre en compte que la pression de référence sera ajoutée à la pressions relative définie dans les conditions initiales. Par exemple, pour entrer la pression atmosphérique de 101 325 Pa, il faut entrer en condition limite la valeur de 0 Pa si la pression de référence est de 101 325 Pa.

Pour converger plus rapidement vers la bonne solution, voir même ne pas diverger dès le début du calcul, il est important d'initialiser correctement le calcul. Il est conseillé d'initialiser le calcul par des champ de valeurs le plus proche possible de la solution finale. Dans certains cas, où plusieurs solutions physiques stables sont possibles, la solution finale peut dépendre de l'initialisation.

### 3. Conditions limites

Rappel : les conditions limites de pression sont toutes des pressions relatives (Gauge Pressure) par rapport à la pression de référence (voir Reference Pressure). Il faut donc bien prendre en compte que la pression de référence sera ajoutée aux pressions relatives définies dans les conditions limites. Par exemple, pour entrer la pression atmosphérique de 101 325 Pa, il faut entrer en condition limite la valeur de 0 Pa si la pression de référence est de 101 325 Pa.

Les conditions limites peuvent être définies pour chaque surface dans « Regions ». Il est possible de choisir entre :

- Flow Split Outlet, pour définir la répartition des débits en sortie ;
- Mass Flow Inlet pour définir un débit massique en entrée, dans ce cas le profil de vitesse en entrée n'est pas forcément uniforme. Cette condition est très utilisée pour des écoulements internes quand on connaît le débit ;
- Overset Mesh, à utiliser pour les maillages mobiles utilisant la technique « Overset Mesh », également appelé « Chimera Mesh ». Voir le guide d'utilisation pour cette technique ;
- Pressure Outlet, pour définir la pression statique relative en sortie. Il est intéressant de noter, qu'un débit massique peut être fixé en sortie via cette condition limite en activant « Target Mass Flow ». La pression définie par l'utilisateur sert alors de pression initiale. La pression en sortie varie durant le calcul pour converger peu à peu vers le débit défini;
- Stagnation Inlet, pour définir la pression totale relative en entrée ;
- Symmetry Plane, pour définir des conditions de symétrie. Elle est parfois utilisée pour définir des parois non-adhérente (condition de glissement) ;
- Velocity Inlet, pour définir des conditions de vitesse en entrée;
- Wall, pour définir les conditions de parois.

### 4. Interfaces

Dans la partie « Interfaces », apparaissent l'ensemble des interfaces définies par l'utilisateur. Pour en créer une, il faut sélectionner deux surfaces dans « Regions » (utiliser la touche Ctrl pour la sélection multiple), clic droit, choisir « Create Interface » et choisir le type d'interface voulue (In-place, Periodic ...).

Il est conseillé, lors de la sélection des deux surfaces, de d'abord choisir celle par laquelle le fluide entre puis celle par laquelle le fluide sort.

Comme dit précédemment, les surfaces importées sont par défaut des parois. Donc si l'on réalise le maillage volumique avec des couches de prismes avant de définir les interfaces, des couches de prismes seront générées sur ces surfaces (puisqu'elles sont des parois par défaut). Avant de réaliser le maillage volumique, il est donc conseillé de :

- soit définir toutes les interfaces ;
- soit désactiver le maillage des couches de prismes sur ces surfaces.

### 5. Solver

On peut y définir :

- les schémas de discrétisation ;
- les coefficients de sous-relaxation ;
- couplage pressure-vitesse ;
- le nombre de Courant pour un solver « Coupled » ;
- le pas de temps pour un calcul instationnaire ;
- ...

Concernant les coefficients de sous-relaxations, s'il est parfois nécessaire d'en diminuer les valeurs (par exemple, si on a une ou plusieurs cellules du maillage de mauvaise qualité), il est toutefois recommandé de limiter au maximum ces diminutions et de ne pas modifier le coefficient de sous-relaxation pour la pression. Si le calcul diverge malgré la diminution des coefficients, il faut résoudre ce problème de divergence autrement.

Pour un schéma de pression-vitesse couplé, il est également possible de changer le nombre de Courant (CFL).

Au départ d'un calcul stationnaire, il est vivement recommandé de le diminuer (à 1 par exemple) pour réduire le risque de divergence, puis de remonter sa valeur à 5 par la suite. Si malgré la diminution du nombre de Courant le calcul continue de diverger, il est nécessaire de chercher la raison de la divergence ailleurs.

Pour un calcul instationnaire, il est préconisé de le fixer à 1.

## 6. Stopping criteria

Par défaut, Star CCM+ arrête le calcul au bout de 1 000 itérations, ce qui est peu. Dans une large majorité des cas, il faut plusieurs milliers d'itérations pour converger. Pour changer le nombre d'itérations, aller dans :

Stopping criteria / Maximum number of iterations

Si l'utilisateur n'est pas sûr du nombre d'itérations nécessaires, il peut définir un grand nombre d'itérations (bien plus que nécessaire) et arrêter lui-même le calcul lorsqu'il juge que le calcul a convergé.

Pour un calcul instationnaire, il est possible de définir le temps maximal de simulation (Maximum Simulation Time) ou le nombre maximal de pas de temps (Maximum Time Steps). Le calcul s'arrêtera par défaut lorsque le 1er de ces critères est atteint, ce qui peut être pratique si le pas de temps varie durant la simulation.

Pour passer d'un pas de temps à l'autre, il est possible de choisir le nombre d'itérations à l'intérieur de chaque pas de temps (Maximum Inner Iterations). Il est également possible d'ajouter d'autres critères pour passer d'un pas de temps à l'autre.

## 7. Monitoring

La visualisation des résidus peut aider l'utilisateur à juger de la convergence d'un calcul, mais n'est pas un critère suffisant. En effet, même en atteignant des faibles valeurs de résidus et que ces valeurs ne diminuent plus depuis plusieurs milliers d'itérations (c'est à dire qu'un palier apparaît), il arrive fréquemment que le calcul ne soit pas encore convergé. Pour juger de la convergence d'un calcul, il est nécessaire, en plus des résidus, d'effectuer un monitoring d'une ou de plusieurs autres valeurs. Le plus judicieux est de choisir un monitoring d'une grandeur qui nous intéresse. Par exemple, si l'on s'intéresse aux coefficients de trainée et de portance, on réalise un « monitoring » de ces coefficients. Si l'on s'intéresse à des pertes de charges dans un système, on choisira plutôt de suivre la pression totale en entrée et en sortie de ce système. On peut également suivre une vitesse ou une pression en un ou plusieurs points du système.

Pour créer un « Monitor », il faut d'abord créer un « Report ». Une fois créé, avec un clic droit sur ce « Report ». On peut créer un « Monitor » (stockage des valeurs à chaque itération ou pas de temps) ou un « Monitor and Plot ».

Si l'utilisateur souhaite réaliser un « Monitor » à partir d'une surface différente d'une condition limite ou à partir d'un point, il faut d'abord les créer dans « Derived parts » (clic droit puis choisir).

### Problèmes de convergence

Les problèmes de convergence du calcul peuvent être multiples. Lorsque le calcul s'arrête après avoir divergé, il est difficile d'en connaître la cause car les grandeurs physiques ont souvent atteint des valeurs totalement aberrantes. Par contre, lorsque le calcul ne diverge pas, mais ne converge pas non plus, il est intéressant d'observer l'écoulement obtenu. En effet, il peut montrer différentes choses, par exemple :

- une erreur dans les conditions limites;
- un maillage non adapté au phénomène que l'on veut étudier (ex : maillage trop grossier pour modéliser des gradients élevés, phénomène non physique où le maillage est de mauvaise qualité);
- un phénomène instationnaire apparaît lors d'un calcul stationnaire (ex : lâcher de tourbillons derrière un cylindre).

La plupart du temps, l'origine de la non-convergence ne peut être déterminée juste en visualisant l'écoulement. Voici quelques pistes pour tenter de résoudre le problème :

- pour un calcul avec un schéma de pression-vitesse « couplé », vérifier que le nombre de Courant (aller dans Solver) a été diminué à 1 et non laissé à 5 (valeur par défaut) dès le lancement du calcul, puis le remettre à 5 après plusieurs centaines d'itérations;
- lorsqu'il existe dès l'initialisation un fort gradient généré par une grande différence de valeur entre celle d'une condition limite et celle de l'initialisation du domaine, diminuer la valeur de la condition limite et l'augmenter au fur et à mesure jusqu'à la valeur souhaitée. Par exemple, dans une tuyère avec une pression de 100 bars en entrée, 1 bar en sortie et un domaine initialisé à 1 bar, on peut commencer le calcul avec une pression de 1,1 bar et augmenter cette pression (à la main ou via une « Field Function » (voir Guide d'utilisation Star CCM+)) sur 1000 itérations puis laisser le calcul converger. On peut imaginer la même chose avec une vitesse (forte vitesse en entrée mais domaine initialisé avec des vitesses nulles) ou un débit;
- lorsqu'un calcul stationnaire est lancé alors que la solution est instationnaire, le calcul ne convergera pas vers une solution stable. On observe souvent une évolution périodique des résidus et des éventuels monitorings. Dans ce cas, il faut basculer le calcul vers le

mode instationnaire.

Il est important de savoir que :

- l'évolution instable obtenue en stationnaire peut être très différente de la véritable solution instationnaire;
- écraser l'instabilité en stationnaire en diminuant les coefficients de sous-relaxation ne donnera pas l'écoulement moyen de la solution instationnaire.

#### Critères de convergence du calcul

On pense souvent à tort que la convergence est forcément atteinte lorsque les valeurs des résidus atteignent un palier en dessous de  $10^{-3}$ . Comme il a été dit plus haut, il est nécessaire d'ajouter d'autres critères de convergence en suivant l'évolution de certaines variables « Monitoring » comme par exemple :

- si l'on s'intéresse aux coefficients de trainée et de portance, on réalise un « monitoring » de ces coefficients ;
- si l'on s'intéresse à des pertes de charges dans un système, on choisira plutôt de suivre la pression totale en entrée et en sortie de ce système ;
- si l'on s'intéresse à une valeur en un point particulier, on suivra l'évolution de cette valeur.

## Ajout d'un maillage dynamique (Dynamic Mesh)

Cette partie explique comment ajouter un maillage dynamique. Seuls les cas les plus génériques sont décrits ci-dessous.

### 1. Les différents types de maillage dynamique

Un maillage mobile (ou dynamique) peut prendre plusieurs formes :

- Le maillage glissant ou "Sliding Mesh" est, comme son nom l'indique, un maillage qui glisse sur un autre. Ces maillages communiquent entre eux grâce à des interfaces. Il est simple à mettre en oeuvre, mais il ne permet pas de réaliser des mouvements complexes. En effet, les interfaces doivent toujours rester en contact et donc au même endroit. Il s'agit donc souvent de systèmes tournants (avec une seule rotation) ;
- Le maillage chimère ou maillage "overset" pour lequel un maillage mobile, dit "overset", est introduit dans un autre maillage qui est fixe et plus volumineux. Dans ce dernier, certaines cellules du maillage sont alors désactivées pour faire place au maillage "overset". Entre les deux maillages, il reste tout de même quelques cellules qui se "chevauchent" en périphérie du maillage overset. Ce "chevauchement" de cellules permet ainsi aux deux maillages de communiquer entre eux via des interpolations. A chaque pas de temps, suivant le mouvement du maillage overset, l'activation et la désactivation des cellules est mise à jour, ainsi que le "chevauchement" des cellules. Cette méthode permet des mouvements bien plus complexes comme par exemple des combinaisons de mouvements ;
- Le maillage déformant ou "Morphing Mesh" permet de déformer des maillages. En fait, on déplace les noeuds des conditions limites et le maillage de la région se déforme en conséquence. Cette méthode peut être utilisée, si les déplacements restent faibles. Dans le cas contraire, la qualité du maillage peut se dégrader (et conduire à une divergence du calcul), voire même l'apparition d'éléments de volume négatif. Suivant le déplacement des noeuds des conditions limites, on peut simuler des déformations d'objet. Cette méthode peut être utilisée pour des simulations "Interaction Fluide-Structure" en couplant Star CCM+ à un code structure, mais ce n'est pas le but de cette partie.

Dans les maillages glissants et chimères, il est évident que la simulation doit contenir au moins deux maillages, donc deux régions différentes. L'une sera généralement fixe, l'autre se déplacera.

### 2. Création d'un mouvement

La première étape est de créer un mouvement que l'on affectera ensuite à un maillage (ou à une partie du maillage pour le morphing).

Dans Tools -> Motions, clic droit, New

Plusieurs types de mouvements (Motions) sont alors possibles. Ils sont nombreux et peuvent être combinés. Ils ne seront donc pas tous décrits ici. Mais on peut tout d'abord distinguer deux types de mouvements :

- Les mouvements contrôlés par l'utilisateur. On fixe donc des vitesses ou des déplacements qui peuvent être constants ou dépendants du temps.
- Les mouvements dont les accélérations sont calculées à partir des efforts et des moments appliqués sur les parois. Ils sont appelés DFBI (Dynamical Fluid Body Interaction) dans Star CCM+, mais on parle plus souvent de solver 6DOF (6 Degrees Of Freedom) dans d'autres logiciels. Cela nécessite donc de connaître la position du centre de gravité de l'objet étudié, ainsi que sa masse s'il y a translation, ou sa matrice des moments d'inertie s'il y a rotation.

Pour les mouvements contrôlés par l'utilisateur, on trouve :

- Rotation

- Translation
- Rotation and Translation
- Morphing

Pour les trois premiers mouvements, on peut définir les vitesses (de translation et/ou de rotation). A noter que l'on peut utiliser des "User Field Functions" dépendant du temps, mais pas de la position. On peut également définir dans quel repère est défini le mouvement.

Il est très intéressant de remarquer que l'on peut demander à Star CCM+ qu'un repère suive lui aussi le mouvement. On crée d'abord ce repère dans Tools -> Coordinate Systems -> Laboratory -> Local Coordinate Systems, clic droit, New. Puis on choisie ce repère, dans "Managed Coordinate Systems" du mouvement.

Ce repère qui se déplace avec le mouvement peut par exemple servir à superposer un second mouvement au premier, en allant dans Superposing Motion -> New.

Pour les "DFBI Motions", on trouve :

- DFBI Translations and Rotation, c'est le cas le plus classique, permettant de définir des translations et des rotations dans toutes les directions.
- DFBI Embedded Rotation, il s'agit d'une sphere qui tourne en glissant dans un maillage.
- DFBI Morphing, comme le morphing supporte mal les déplacements importants et que l'on ne contrôle pas ces déplacements en DFBI, cette option est déconseillée. Il est préférable d'utiliser un maillage chimère.
- DFBI Superposed Rotation, comme son nom l'indique on superpose une rotation à un mouvement existant.

Attention : les "DFBI Motions" ne peuvent être utilisés que pour des calculs 3D. Si l'on veut toutefois réaliser une configuration 2D, on peut utiliser un maillage 2D qui a été extrudé sur une cellule d'épaisseur. Il n'y aura donc que 2 translations et une rotation possibles.

Pour les autres mouvements, regarder l'aide.

### 3. Affectation d'un mouvement à un maillage

En fait, il s'agit d'affecter un mouvement à une région, et donc à son maillage.

Pour cela aller dans la région concernée et dans Physics Values -> Motion Specification, choisir le mouvement désiré. A noter que si un DFBI motion est appliqué, on dossier "DFBI" apparaît en dessous du dossier Regions.

Si le mouvement est :

- une translation ou une rotation sans DFBI, l'affectation du mouvement est terminée et on peut passer directement à la partie 6.
- un morphing, il faut effectuer la partie 4.
- une DFBI motion, il faut effectuer la partie 5.

### 4. Affectation d'un mouvement à une condition limite

S'il s'agit d'un Morphing, on a juste défini que le maillage de la région serait déformé, mais il faut encore définir la déformation des conditions limites.

Cela se fait dans la condition limite dans Physics Conditions -> Morpher

Plusieurs méthodes apparaissent alors. Les plus utilisées sont :

- Fixed, la condition limite ne se déplace pas ;
- Displacements, on impose un déplacement aux noeuds à chaque pas de temps;
- Grid Velocity, on déplace les noeuds à une certaine vitesse.

Les déplacements ou les vitesses sont alors à définir respectivement dans Physics Values -> Morpher: Linear Displacement ou Grid Velocity.

A noter qu'au lieu de définir des déplacements ou des vitesses constants, il est possible d'utiliser des User Field Functions dépendant du temps et de la position des noeuds, permettant alors de déformer les conditions limites et donc les parois d'un objet.

### 5. Création d'un 6-DOF Body

Ici seul le cas "DFBI Translation and Rotation" (le plus utilisé) est décrit. Dans ce cas, un seul 6-DOF Body peut être géré par le solveur 6-DOF.

Lors de l'utilisation d'une DFBI motion, aucune vitesse n'est imposée par l'utilisateur. Les accélérations sont alors calculées à partir de l'ensemble des forces et des moments exercés sur l'objet. Il est donc nécessaire de connaître pour cet objet :

- son centre de gravité
- sa masse (si une translation est calculée)
- sa matrice des moments d'inertie au centre de gravité (si une rotation est calculée)

Pour cela, il est nécessaire de créer un 6-DOF body. Aller dans DFBI > ~~6-DOF bodies~~, clic droit, New.

~~Un body apparaît alors. On peut y définir :~~

ses surfaces, elles seront utilisées pour calculer les efforts et les moments pour la dynamique de l'objet.

- sa masse
- sa matrice des moments d'inertie au centre de gravité
- son centre de gravité
- la position initiale du centre de gravité
- les vitesses de translation et de rotation initiales du centre de gravité
- le "Release Time", c'est à dire au bout de combien de temps l'objet est lâché (on peut attendre que l'écoulement s'établisse avant de le lâcher)
- le "Rampe Time", c'est à dire en combien de temps l'objet est lâché. Les forces et les moments sont alors appliqués progressivement et linéairement durant ce temps. Appliquer brutalement les forces et les moments peuvent dans certains cas mener à la divergence du calcul.

On peut également y définir les options du mouvement (Body Motion Option). La plus couramment choisie est "Free Motion". Elle permet de libérer sans contrainte tous les degrés de liberté choisis par l'utilisateur. Il ne faudra toutefois pas oublier de choisir ces degrés de libertés dans "Free Motion" juste en dessous du "Body" créé.

Les autres options permettent de n'utiliser que certains degrés de liberté tout en imposant des contraintes supplémentaires, comme par exemple des positions ou des vitesses minimales et maximales. Voir l'aide pour plus de détails.

Dans External Forces and Moments, apparaissent les forces et les moments s'exerçant sur le "6-DOF Body créé". Il y a par défaut :

- ceux générés par le fluide (pression et viscosité) ;
- ceux générés par la gravité. Cependant, il faut activer la gravité dans le modèle physique (dans Continua/Physics/Models), puis définir son vecteur (dans Continua/Physics/Reference Values).

A ces efforts il est possible d'ajouter des efforts externes. Les plus utilisés sont :

- Force CM, une force appliquée au centre de gravité
- Moment, un moment appliqué au centre de gravité
- Force, une force appliquée en un point défini par l'utilisateur. A noter que deux systèmes de coordonnées sont à définir : le premier pour la position de l'application de la force, le second pour la direction du vecteur force.

## 6. Création des interfaces

La création d'un maillage dynamique nécessite la création d'au moins une interface pour les maillages glissants et chimères, afin que les maillages (et donc les régions) puissent communiquer entre eux. Le type d'interface diffère toutefois suivant le type de maillage dynamique.

Pour les maillages glissants :

Il suffit de créer des interfaces "in-place" entre les deux surfaces. Ces dernières appartiennent à deux régions différentes.

Pour cela il faut les sélectionner toutes les deux (utiliser la touche Ctrl pour la sélection multiple), clic droit, choisir « Create Interface » et choisir le type d'interface In-place.

Il est conseillé, lors de la sélection des deux surfaces, de d'abord choisir celle par laquelle le fluide entre puis celle par laquelle le fluide sort.

Pour les maillages chimères :

On rappelle que pour un maillage chimère, on distingue deux maillages : le maillage qui sera en mouvement et appelé dans Star CCM+ "Overset Region", et qui vient se placer un maillage plus grand appelé "Background Region".

La communiquer entre eux, il faut réaliser deux choses :

- tout d'abord, il faut changer la condition limite externe de l'overset region en type "Overset Mesh".
- ensuite, il faut sélectionner les deux régions (utiliser la touche Ctrl pour la sélection multiple), clic droit, puis choisir "Create interface" et Overset Mesh.

Les interface seront alors initialisées lors de l'initialisation du calcul et seront mises à jour à chaque pas de temps.