Chapitre 3-4 : Ecoulements internes et externes

3.1- Introduction

Ce chapitre présente l'utilisation de Fluent, une explication de ses aptitudes, et des instructions pour paramétrer le solveur. Il explicite les étapes nécessaires pour réussir une simulation d'un problème en mécanique des fluides. Le problème traité concerne les écoulements internes dans les turbomachines.

3.2- Principales étapes de simulation sous FLUENT

3.2.1- importation de la géométrie (*.msh)

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (*.msh) généré sous Gambit. File /Read /Case...

💁 RLUENT (3d, sep	rcysted, lam]	<u>ा ते अ</u>	i
No faid Dafine S	iolee Adapt Sur'ase Display Pist Repo	rt. Parallel Help	
Read +	Case	2	1
WY09 *	CRD .		
logot +	Care & Deba		
diam'r a start	Plan.		
Contraction of the local division of the loc	1140		
	Prefet.	191.dtsp"	
Hardson, .	Stews	5.W	
Sanatayor	Second		
	all another staff	Faithering	
222	canal conflict the articities with 1	oller da	
C. Press	Card restricte or costenatesteril	aleria	
A. pre6011	cand residuate of castificity 201	ALEXADETS	
S. Deutueo	Busidian line in the	athene .	
a humanan	addresser whit the by series	- Alternation	

Figure 1 : Importation de la gécmétrie

3.2.2- vérification du maillage importe

Grid /Check

Ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreurs ou de volumes négatifs.

2.	LUENT (Sel, s	:pegd	ed, rike)							2	×
rik.	rand Celline	Solve	Adapt	Suface	Display	Plick	Report	Parallel	l the	κþ		
	Chek		teri	or: 087	r							
	tw/o		1.00	nr- 824								
	Herse		ter:	01								
	Separate		ide									
	Fun											
	ENTION -		rinu ou pa									
	Reader		Per la	·								
			ion	20101.								
Der	Scale											
I	Tharslate.	•										
Dar	Depthyle	11.12										
lief	f Check											
1.											- 1	

Figure 2 : Vérification du maillage sou Fluent

- Smooth/	Swap Grid
Smooth	Swep Info
Method skewness y Minimum Skewsege 0.1 Number of Herations	Number Swapped o Number Visited o
4 • •	Close

Figure 3 : Lissage du maillage



Figure 4 : Vérification des unités

3.3- choix du solveur

Define /Models/ Solver...

Segregated /Solver : est le plus approprié pour les écoulements incompressibles (ventilateurs, pompes...)

- **Coupled /Solvers**, les solveurs « coupled implicit » et « coupled explicit », sont plutôt réservés aux écoulements compressibles à grande vitesse.

TLUENT (3d, segregated, rike)		
rille Galid Define Solver Adapt S	Surface Display Plot Report P	alel Heb
Nodell Midensis, Opening Conditions, Boundary Conditions, Bold State Taxon Misrig Names, Printform, Printform, all	Boker Energie Energie Species Radiation Discolar Pison Paktienes Dokarets Lan-Selford Scalar	
Deer Carbon Held Paraterie Deer Prodect Unitsta Grild Ci Uppr-Defined	ili .	•
Solver	X	
 Segregated Coupled 	C Implicit C Explicit	
Space	Time	
C 20 C Axioymmetric C Axioymmetric By C 30	€ Steady C Unstendy	
Velocity Formulation Absolute Relative		
OK Can	icel Help	Figure 5 : Choix du solveur sous Fluent

3.4- Affichage de la grille

Display /Grid

Vous pouvez afficher le maillage et il est très judicieux de vérifier les conditions aux limites définies au préalable dans Gambit.



Figure 6 : Affichage de la grille et véntication des concitions

3.5- Choix du modèle de turbulence

Define /Models/ Viscous

Fluent propose différentes modélisations de l'écoulement turbulent. Parmi lesquels les écoulements non visqueux, laminaires, turbulents ... etc.

witcome to Flavet 5.1.22	Berlin a Weaker		
Augeriger feld Flaget for all Eight Reserved and C.Vineel LockRonick (22010) and C.Vineel LockRonick (22010) and Table for the formation of the second second the formation of the second the formation of the second second the second second second second second the second second second second second the second second second second second second the second second second second second the second second second second second second second the second second second second second second second second the second second second second second second second second second the second sec	Nedd Nedd Carlow Ca	Model Constants Apple (a) Apple	

Figure 7 : Choix du modèle de turbulence

Modèles	Avantages	Inconvénients
Spalart- Allmaras	Economique (1 equ). Bon pour les écoulements moyennement complexes.	N'est pas largement testé.
STD k-e	Robuste, économique et relativement précis.	Résultats médiocre pour des écoulements complexes (fort gradient de pression, rotation et swirl).
RNG k-E	Bon pour des écoulements moyennement complexes (impact de jet, séparation d'écoulements, écoulements secondaires)	Limité par l'hypothèse de viscosité turbulente isotrope.
Realizable k-ε	Offre les mêmes avantages que le RNG. Recommandé dans le cas des turbomachines.	Limité par l'hypothèse de viscosité turbulente isotrope.
Reynolds Stress Model (RSM)	Le modèle le plus complet Physiquement (transport et l'anisctropie de la turbulence sont tenu en compte)	Requiert plus de temps CPU. Les équations de quantité de mouvement et turbulence sont étroitement liées.
SST et Standard k-co	Modèle le plus recommandé pour les problèmes liés aux turbomachines, meilleur que le Realizable k-z.	Nécessite une plus grande résolution du maillage aux frontières (pas de lois aux murs).

3.6- Définition des caractéristiques du fluide

Define Materials

Les caractéristiques du fluide sont chargées à partir de la bibliothèque de données de Fluent.

Materials		X
Name	Material Type	Crder Materials Dy
air	fluid	 Mane
Chemica Formula	Huid Mettinals	C Ebernird Formula
	air	 Database
Properties		
Density (kg/m3)	zonstant	▼ Edit.
	1.225	
Cp fi/tq-k)	an roada ed	• Ed34+
	1006.40	
Thermal Conductivity (w/n-k)	constant	• Edit.
	8. 8242	
Viscosity (kg/ms)	zunskult	• 1.m.
	1.78%e-0	1
ChangeCreas	Delete Core	Itelp

Figure 8 : Définition des caractéristiques du fluide

Define Operating conditions

Avant de choisir les conditions aux limites, il faut choisir d'abord la valeur de la pression de référence « operating conditions ».

ILITLUENT (Se	(segregated, ske)	A REAL PROPERTY OF THE REAT PROPERTY OF THE REAL PR	_[#] ×]
Pile God Der	the Solar Adapt Santa	ne Display Pitz Report Parallel Help	
2. pt 3. pt 4. pt 5. bs 4. pt License unternet	Notes Notes Idea Construction Conditions Nondary Conditions Notang Hares Notang Hares Notang Hares Notang Hares	bd Jam 22 9:k0 aloria bd Jam 22 9:k0 aloria bd Jam 22 19:00 RESAMONIN pd Jam 22 19:00 RESAMONIN pd Jam 22 19:00 alberno ed Jam 22 19:08 spi220c 14-feb-2903, herebolateroreneous anticommunication in 2k doys, pour distributor for renewal.	-
> Readi 2048: F 11975 2949; (291267	Carton Fold Flandson Yodin Arta . Ang Coltinal Sha Shing a shi Antonna	<pre>4éraelique\Flueet\canal_reel&cube_air_cas1(Ps=98525Fa).cas" zeee 2, binary. zeee 3, binary. r faceu, zee 7, binary. r faceu, zee 1, binary.</pre>	

Figure 9 : Choix de la pression de référence

En effet, Fluent effectue tous les calculs, avec une pression appelée gauge pressure et ce afin d'éviter les erreurs d'ordre numérique lors du calcul pour des écoulements à faible nombre de mach. La relation liant la pression absolue à la « gauge pressure » est donnée par :

Pabs=Pop + Pgauge

Fluent prend par défaut la valeur de la pression atmosphérique comme operating pressure. Ensuite, il faut choisir les conditions aux limites :

3.7- Conditions aux limites usuelles

Define Boundary Conditions

Ensuite, il faut fixer les valeurs des conditions aux limites :



Figure 10 : Valeurs des conditions aux limites

Velocity inlet

Utilisée pour des écoulements incompressibles ou moyennement compressibles, quand la vitesse d'entrée est connue.

.trp	velocity Inet
··	Zone Name entree
	Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary +
	Reference Frame Absolute
	Velocity Magnitude (m/s) u constant v
	Furbulence Specification Method K and Omega
	Turb. Kinetic Energy (n2/s2) 1 constant +
	Spec. Dissipation Rats (1/s) 1 constant +
	OK Cancel Help

Figure 11 : Velocity inlet

Pressure Init	×
Zene Name	
entree	
Gaug: Total Pressure (pascal)	constant +
Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal) e	constant +
Direction Specification Method Normal to Bou	ndary -
Turbulence Specification Method Intensity and F	lydraulic Diameter 🛛 💌
Turbulence intensity (Ni) 10	
Hydraulic Diameter (m) 🕤	
OK Cinicel Help	

Figure 12 : Pressure inlet

Spécifie la pression statique de sortie.

L'utilisation de Pressure Outlet sert à définir la pression statique à la sortie. L'utilisation la condition Pressure Outlets au lieu de Outflow a souvent comme conséquence une meilleure convergence.

Pressure Outlet	×
Zone Name	
Surce .	
Gauge Pressure (pascal) (p	constant -
Radial Equilibrium Pressure Distribution	
Backflow Direction Specification Method Normal to Boundary	•
Turbulence Specification Method K and Omega	•
Backflow Turb. Kinetic Energy (m2/s2)	constant 🔻
Backflow Spec. Dissipation Rate (1/s) 1	constant 🔹
OK Cancel Help	

Figure 14 : Pressure outlet

Nota : Problèmes de retour de débit (BackFlow)

Backflow apparaît lorsque la pression statique dans une maille voisine à la maille qui est sur la frontière est inférieure à la pression imposée en conditions aux limites. Il faut essayer d'éliminer le Backflow en éloignant la sortie (en allongeant la sortie).

Outflow

L'Outflow est utilisée pour modéliser les sorties de fluide dont on ne connaît à priori les détails de la vitesse et de la pression à la sortie. Il n'est pas approprié pour les calculs suivants:

- Si le problème possède une condition de pressure inlet
- Si vous modélisez un écoulement compressible
- Si vous modélisez un écoulement instationnaire avec variation de la densité

Outlow	×
Zone Name	
sortie	
Flow Rate Weighting 1	
OK Cancel Help	

Figure 15 : Out flow

Wall est utilisé pour délimiter les régions solides des régions fluides. En général on utilise les propriétés d'une paroi lisse i-e Roughness Height = 0 et Roughness Constant = 0.5.

24	The rest of the local division of the local			
Zone Rame				
wal3-19				
Mjacent Call Zone				
Plaine_colum				
Themail DPM . Mit	octore Species Restatue Ultr	1		
Web Markey 1	Nation			
C Stationery Wall	· Ballaking to define a first from	Speed pred		
* Mexing what	Abeahau			
	C Transfolinaul C Relational C Companyinte	warmsteencool umpay	CONTRACT LATER OF	
		×ind is	Nin	
		Y Drd is	× •	
		Zave ja	2 9	
Maran Constitions				
P MoStp P Speaked Have P Manager Speec				
Well Planghness				
Roughness Height in	j Faughsens Coortset			

Figure 16 : Wall

3.8- Choix des criteres de convergence

Solve /Monitors /Residual...

Il s'agit ici de choisir les critères qui doivent être vérifiés pour que les calculs de la simulation s'arrêtent.

INFLUENT [34, segrupaled, den]	- 8 ×
Pile End Define Solvy Adapt Sufface Display Pick Report Parallel Help	
Dene. Cartols +	-
Initialize •	
Guirreit + Aue Mosters + Eastad	
2. pfe0315-capace 3 10:17 sg1330c	
License for fluent esp: Safes. 003.	
if rates out Contract, but	
Flease contact your distributor for reneval.	

Pour afficher la convergence à l'écran pendant les calculs sous forme d'un graphe, il faut activer l'option Plot. Il est possible de désactiver certains critères d'arrêt de la simulation en décochant la case de convergence.



Figure 21 : Allures de l'évolution des résidus de calcul

Remarque importante :

Les résidus sont calculés à partir des corrections dans les variables ; pression, vitesse, température... du problème entre la présente itération et l'itération précédente.

Dans la plupart des cas, le critère de convergence par défaut dans FLUENT (residual) est suffisant. La solution converge quand les résidus atteignent 10^{-3} . Toutefois, dans certains cas il faut pousser les calculs à 10^{-4} voir 10^{-6} . Il n'y a pas de règle universel !

3.9- Initialisation des calculs

Il est conseillé dans nombreux cas d'initialiser les calculs aux conditions de l'entrée. Toutefois s'il y a un calcul qui a déjà convergé et que vous désirez changer juste un paramètre (exp. Vitesse d'entrée), il est préférable d'initialiser au calcul précédent déjà convergé.

2 PLURNT [3d, scprogolod, rine]		
File Ged Darlins Sufree Adapt Sufface Display Plo its	pole Paratal Hab	
Descent flag 2. pression flags based 2. pression flags based 2. pression flags based 1. pression for flags based on the flags 1. pression for flags based on the flags based on the flags 1. pression for flags based on the f	04 causarna 17 sgliktor	•
Solution Initialization	x	
Compute From	Reference Frame	
eitree	Relative to Cell Zone Absolute	
Initial Values		
Gauçe Pressure (pas	*	
× Velocit/ (m	Asi 0	
Y Velocity (m	Vs) [0	
∠ Velocity (ii	VII 6.999007	
Init Reset App	ly Close Help	
		Figure 25 : Initialisation des calculs

3.10- Sauvegarde du fichier *.cas

File /Write /Case

Il est conseillé qu'une fois le paramétrage est effectué, de sauvegarder le fichier en format *.cas. S'il y a un bug durant les calculs, il suffit de charger le fichier *.msh, on n'aura pas à refaire le paramétrage.

3.11- Lancement de la simulation

Solve /iterate



Le paramétrage étant effectué, il ne reste plus qu'à choisir le nombre d'itérations que Fluent devra réaliser.



3.12- Post-traitement numérique de la solution

Report →...

FLUENT fournit des outils pour calculer et rapporter des quantités intégrales sur des surfaces et des frontières. Ces outils vous permettent de trouver le débit massique, les forces et les moments sur des frontières, l'intégrale, le débit, la moyenne, et la moyenne de masse (entre autres des quantités) sur une surface ou un volume. En outre, vous pouvez imprimer des histogrammes des données géométriques et de solution, pouvez placé des valeurs de référence pour le calcul des coefficients additionnels. Vous pouvez également imprimer ou sauver un compte rendu succinct des modèles, des conditions aux limites.



Figure 27 : Post-traitement numérique

3.12.1- Vérification de la conservation de débit

$Report \rightarrow fluxes$

Permet de savoir si la conservation de débit est satisfaite. L'écoulement calculé ne peut être juste si cette condition n'est pas satisfaite. Cependant c'est une condition nécessaire et non suffisante.

Internet	CARDIN DE L'ADRIES	** 2. MOVE # 1.20	x est	tine/ite	er	
Optens Mass Tave Pate Mass Tave Pate Matabase Transfer Pate Haddates Heat Transfer Pate Secondary types Secondary take Anti-Anti-Anti-Anti-Anti-Anti-Anti-Anti-	Deundarine 2 - reine 4 int nost, enves int, sobr, enves int, sobr, enves int, sobr, enves int, sobr, enves value value tabe, entree tabe, entree tabe, entree tabe, entree tabe, entree tabe, entree tabe, entree	Aresults 10.755 ASJ 10.366252 A Segle Sector periods		100109 90 10050 00 100527 90 100527 90 100527 90 100527 90 100528 90 10058 90	92 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 2	
Compute	Class Help	£	angs .	time/ite	ec.	

3.12.2- Relevé des différences de pression

On peut relever n'importe quelle grandeur sur les surfaces du domaine de calcul. Ainsi, on peut relever la différence de pression totale entre l'entrée et la sortie.

REFERENCE (SPE Secondary)	sted, schul]			
Pile Grid Deltrie Solve	Adapt Surface Display Plct	Report Paralel Help	Surface Integrals	×
Hass-	Weighted Average Static Pressure	(pascal)	Report Type	hield Variable
	entree sortie	-1077.5762	Mass-Weighted Averag Surface Types	Pressure
Marcs-	Net Neighted Average	-528.7897	aodis a elip-ourf	Surfaces II
Â	bsolute Pressure	(pascal)	fan ×	int_rotor_entree
	entree sortie Net	100247.39 101325.01 100786.2	Surface Name Patern	int_stator_rotor inter_entree_rotor
Mass-	Weighted Average Total Pressure	(pascal)		stator stator tube antipe
	entree sortie	-558.58971 844.89144		tube_stator
and an it of	Net	140.14875		142, 1987
define/ distlay/ exit	g'id/ g'id/ parallel/ plot/	solue/ surface/ surface/	Compute	Close Help

Figure 29 : Relevé des différences de pression

3.12.3- Relevé du Couple sur l'arbre

Une autre quantité intéressante est le couple sur l'arbre.

III RUB	NT (3d, regregation	ri, satkw)				. 8
File Gr	Force Reports		×	-icb		
nunos nunos nunos nunos nunos nunos nunos nunos nunos	Options C Forces C Moments Wall Name Pa	Mament Center X (n) 1 Y (n) 0 Z (n) 0 Rero Match	Wall Zence B = cane entree roter stator tube entree tube_stator well- well-22 well-25	trapped = 0, evaporated prapped = 0, evaporated prapped = 0, evaporated prapped = 0, evaporated trapped = 0, evaporated trapped = 0, evaporated papped = 0, evaporated papped = 0, evaporated prapped = 0, evaporated	<pre>a = 0, incomplete = 3*6 0, incomplete = 164 0, incomplete = 5 = 0, incomplete = 115 = 0, incomplete = 115 d = 0, incomplete = 0 = 0, incomplete = 0 = 0, incomplete = 0 = 0, incomplete = 56 = 0, incomplete = 170 </pre>	
Noner 2011e	ļ	Print Close Ho	b.	pressure moment y-m	viscous moment n-m	
rotar			(-2.3666837	-588.29218 -112.18982)	(0.010296210 3.5958829 -1.6695979)	
nøt			(-2.3686837	-548.29218 -112.18982)	(8.819380219 3.5758829 -1.6475979)	
l adaat	4	61107		enest (

Figure 30 : Relevé du Couple sur l'arbre

3.12.4- Créer des entités de contrôle Surface $\rightarrow \dots$

TTUENT [34, sographed, willow]					
File Grid Define Solve Judget	Serfiere Display Pills	Arourt Parallel Help			
Hass-Weight Stati	2016 Fortifion	(paseal)			
Harre, Ma Land	Pant Line/Rote:: Rece:: Qualiti	-1877.5762 -538.7897			
Absolut	Do-Surface	(pascal)			
	10-OD-	1982 67 : 39			
	Transformin	101325.01			
	Hanoge	100786.2			
MARKE INCOMENTS					

Figure 31 : Création des entités de contrôle

3.13- Post-traitement graphique

Les outils graphiques disponibles dans FLUENT vous permettent de traiter l'information contenue dans votre solution CFD et de visionner facilement les résultats. Les sections suivantes expliquent comment utiliser ces outils pour examiner votre solution.

$Dispalay \rightarrow \dots Plot \rightarrow \dots$



3.13.1- Affichage des contours des différentes grandeurs Display \rightarrow countours ...

Contours of Static	Pressure (pascal)			Apr 11, 200 FLUENT 6.2 (3d. segregated, satis
-3 76#+93	4			
-2.49++03	10-7			
-2.21e+03				
-2 93e+03				
-2.00+03				
-0.38e+03				
-2.10e+02		10 million (1997)		
-1.05e+05				
-1.556+03				
1 77 0408				
-1.108+02				
-4,426+02		THE LEVEL		
-1.650+0.2		No.		
1.12+02				
3.000+02				
6.66e+02		and a second		
9:428+02				
1.228*03			1.000	
1.50e+03		11 1	A CONTRACT	
1.770+03		A.0.		

3.13.2- Affichage des contours de vecteurs **Display** \rightarrow **vectors...**



3.13.3- Affichage des lignes de courant **Display** \rightarrow **Path Lines...**

n which [10] Phone & Inc.		(Intra)	25	ir.			Cales he		
410-53 446-58		C OB Flow		Nest			- Particle Variable		
4.000K		F Reverse		Style Minibates			Particle UD		
000-48			Ste	Step Size and Diference			Mitt	U.	
LTM-S		Oraw Grid	0.	1	5.907		P	10	
216-52		Relative Path	dimes Ste	01	Fath Skip		Hallensen b	rom Surfaces	
Ellerit Ellerit Their Their		Write to File	54 Pol	Path Caseson 1 4			cons centres detauité interier:011 detauité interier:011 detauité interier:011 net.est int_natur_celler int_natur_celler		
Obai Obai Sanat Date	R. R.	Paise Med e		Un Zare Welk 25 Welk 74		•			
Hand P		Costlaurus. Single	11	1-21 1-21		-			
alio-Graniplica D	April 1 11 BUBI (Sciet, receptor Pr	Display	Pulce	Company	sur.	11	linera.	Elate	
display/ parallel, nuit plat/	/ Servace/							1	

Figure 36 : Affichage des lignes de courant

Pour afficher les lignes de courant