

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



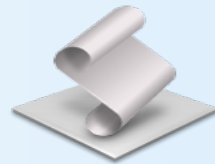
Filière : Aéronautique
Option : Propulsion Aéronautique



INFLUENCE D'UNE NOUVELLE FORME DE WINGLET SUR
L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'UNE AILE D'AVION







Présenté par:
HALIMI Yazid
ZAUCHE Abdelhakim

Encadré par:
Dr. Laïd MESSAOUDI



Soutenu le 14 juillet 2019

PLAN DE L'EXPOSÉ

-  *Introduction et objectif*
-  *Outils de travail*
-  *Conception*
-  *Simulations*
-  *Résultats*
-  *Conclusion et perspectives*

Introduction et objectif

Les **winglets** sont des petites ailettes ajoutées à l'extrémité des ailes d'avions dans le but d'améliorer les performances sans trop augmenter les efforts sur leur structure.



Winglet

Introduction et objectif

Les objectifs de notre travail sont :

- Simuler l'écoulement turbulent autour d'ailes d'avions, pendant la phase de décollage, munies de différents types de winglets. Les configurations utilisées seront comparées au cas d'une aile sans winglet.
- Nous n'utiliserons que les logiciels et programmes issus du « monde libre » Linux.

Outils de travail

1- Système d'exploitation Linux

Nous avons utilisé la distribution *MX Linux* (V. 18).



Outils de travail

2- FreeCAD

« *FreeCAD* » est une application de modélisation paramétrique 3D CAD/CAE. Elle est principalement destinée à la conception mécanique, mais sert aussi à toutes les utilisations telles que la modélisation des objets de précision et le contrôle de l'historique de la modélisation 3D. Il est actuellement très utilisé avec les imprimantes 3D.



Outils de travail

3- *cfDof*

L'atelier *cfDof* est un atelier de simulation intégré nouvellement dans *FreeCAD*.

4- *cfMesh*

Ce mailleur est Open source, gratuit et compatible avec *OpenFOAM*. Il s'agit d'un mailleur parallèle assez rapide qui permet de générer des mailles cartésiennes (2D et 3D), tétraédriques et polyédrales. Le fichier de la géométrie à mailler doit être au format stéréolithographie (.stl).

Outils de travail

5- OpenFOAM

OpenFOAM est un solveur multi-physique principalement orienté vers la mécanique des fluides. Il s'agit d'un code open-source développé en C++ , conçu comme une boîte à outils, il contient plus de 200 programmes (des pré-processeurs, des solveurs et des outils de post-traitement). Il est réutilisable et modifiable à souhait, et l'utilisateur peut par ce biais programmer un nouveau solveur correspondant à son cas d'étude. Une autre caractéristique du logiciel est qu'il ne possède pas une interface graphique (comme *Fluent*, *Code_Saturne*,.. etc), toute la simulation numérique et le conditionnement du cas se fait dans des fichiers textes. Nous avons utilisé la version 5.0.

6- ParaView

« ParaView » est un outil open-source multi-plateforme, d'analyse des données et de visualisation. Les utilisateurs peuvent rapidement construire des visualisations pour analyser leurs données en utilisant des techniques qualitatives et quantitatives. L'exploration des données peut être effectuée de manière interactive en 3D ou par l'utilisation de la programmation sous forme de script en Python. Nous avons utilisé la version V5.6.1.

7- LibreOffice

« *LibreOffice* » est une suite bureautique gratuite de système *Linux* équivalente à *Microsoft Office* dans le système *Windows*. Elle est constituée de :

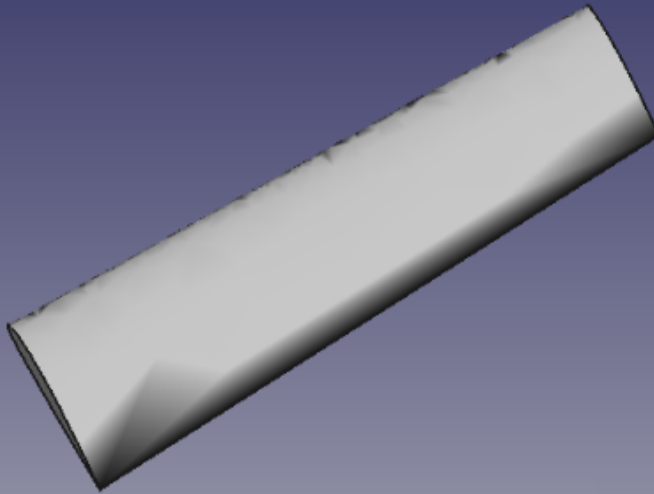
- *Writer*: le traitement de texte
- *Calc*: tableur
- *Base*: base de données
- *Impress*: présentation
- *Draw*: dessin vectoriel
- *Maths*: formules mathématiques

Conception

Par manque de temps, nous n'avons pas pu concevoir les winglets et nous avons utilisé directement ceux conçues par A. Zakkour mais sous forme de fichiers « *.stl ». Ce type de format nous a posé un grand problème au niveau de sa lecture par « *FreeCAD* » et nous avons perdus beaucoup de temps. Finalement nous avons résolu ce problème par la conversion de ces fichier à l'extension « *.stp » qui est complètement reconnue par « *FreeCAD* ».

Conception

ASW



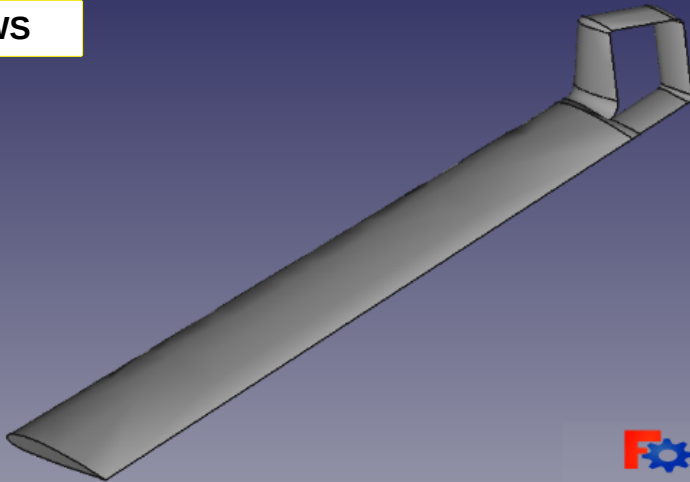

FreeCAD



Aile sans winglet

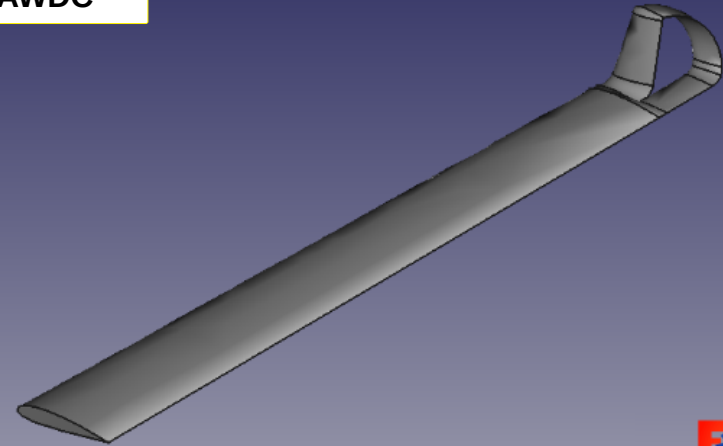
Conception

AWS



Aile avec winglet spiroïdale

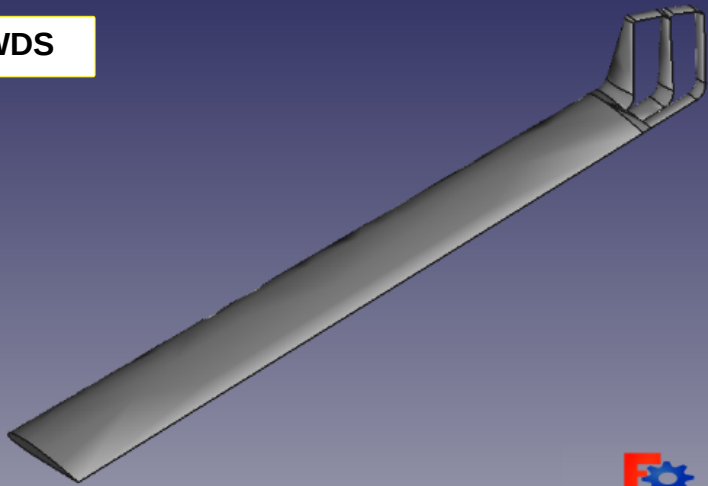
AWDC



Aile avec winglet Demi-circulaire

Conception

AWDS

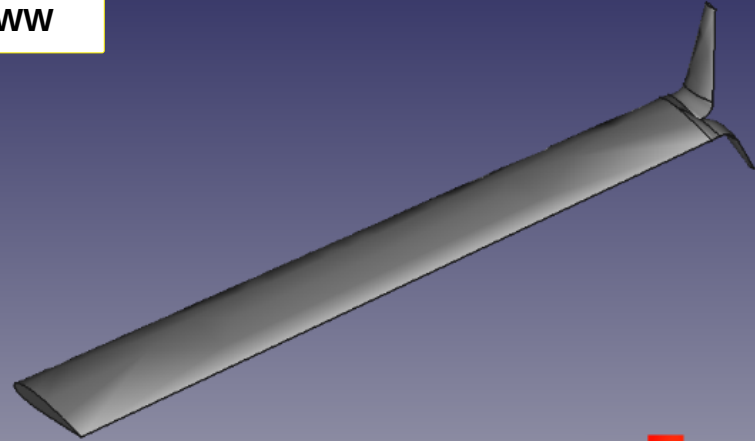


FreeCAD



Aile avec winglet Double Spiroidal

AWW



FreeCAD



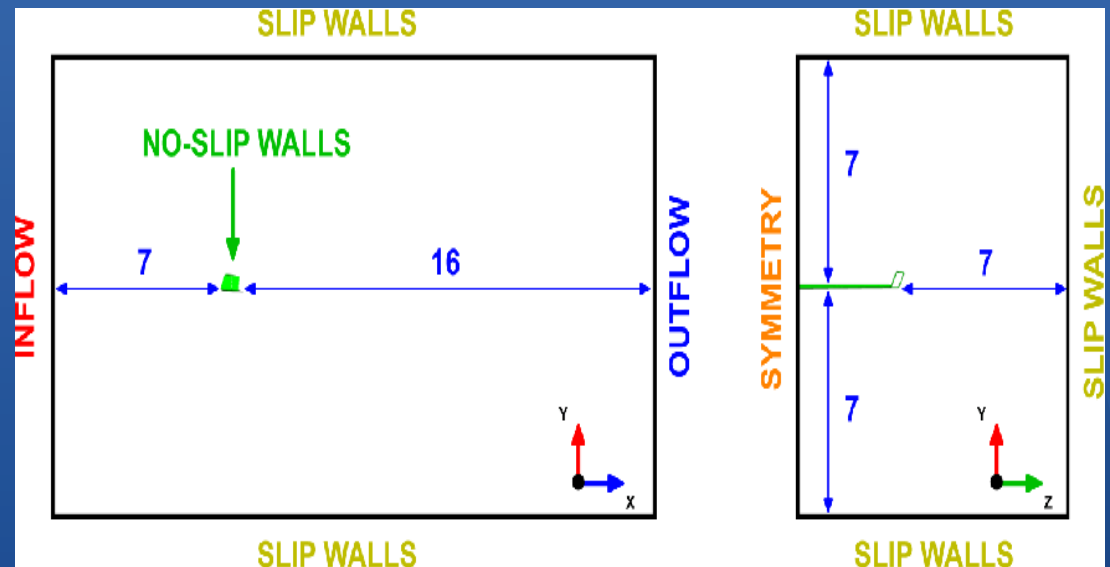
Aile avec winglet Whitcomb

Conception

Domaine de calcul

Le domaine de calcul avec lequel nous avons travaillé est le même pour tous les cas.

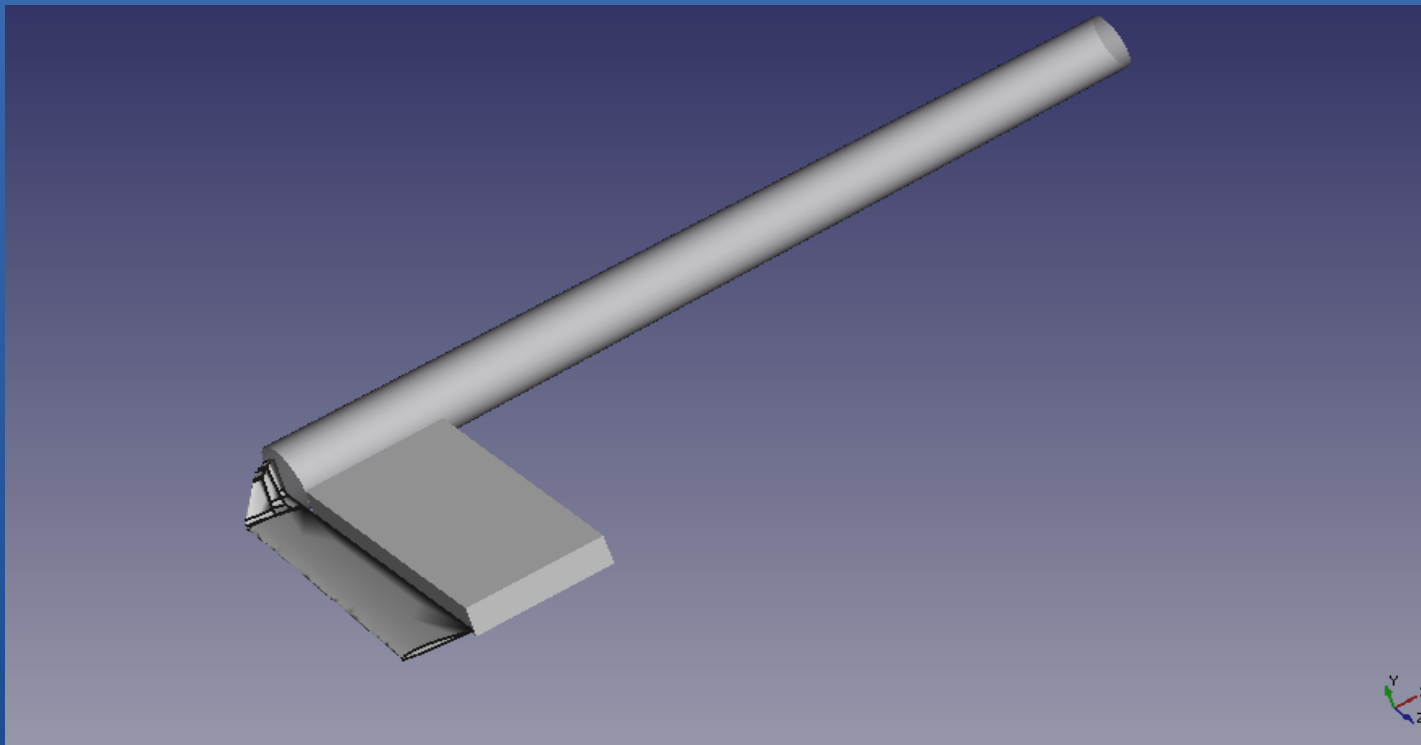
La figure correspondante présente les dimensions de ce domaine ainsi que les types de conditions aux limites utilisées.



Conception

Le domaine de calcul étant très grand pour être maillé avec la même finesse, il est alors nécessaire de faire recours aux volumes de contrôles. Nous avons utilisé pour tous nos cas de simulations deux volumes de contrôles. Le premier, de forme parallélépipédique, situé juste derrière l'aile afin de capter le sillage de l'aile et le second, de forme conique de longueur 12 m, derrière la winglet afin de capter les modifications apportées par la winglet sur l'écoulement.

Conception



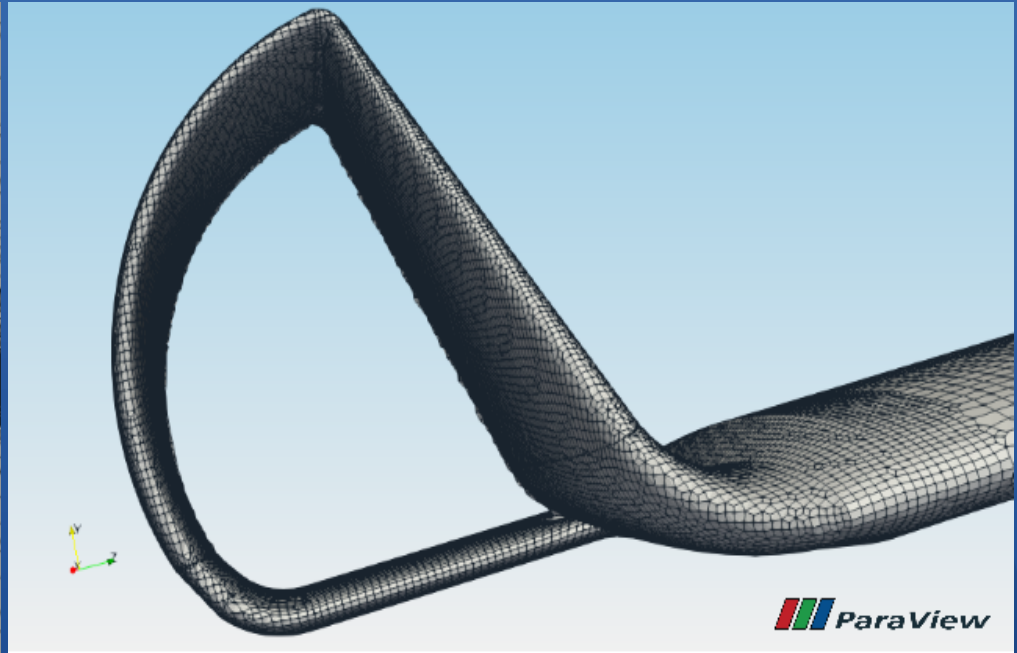
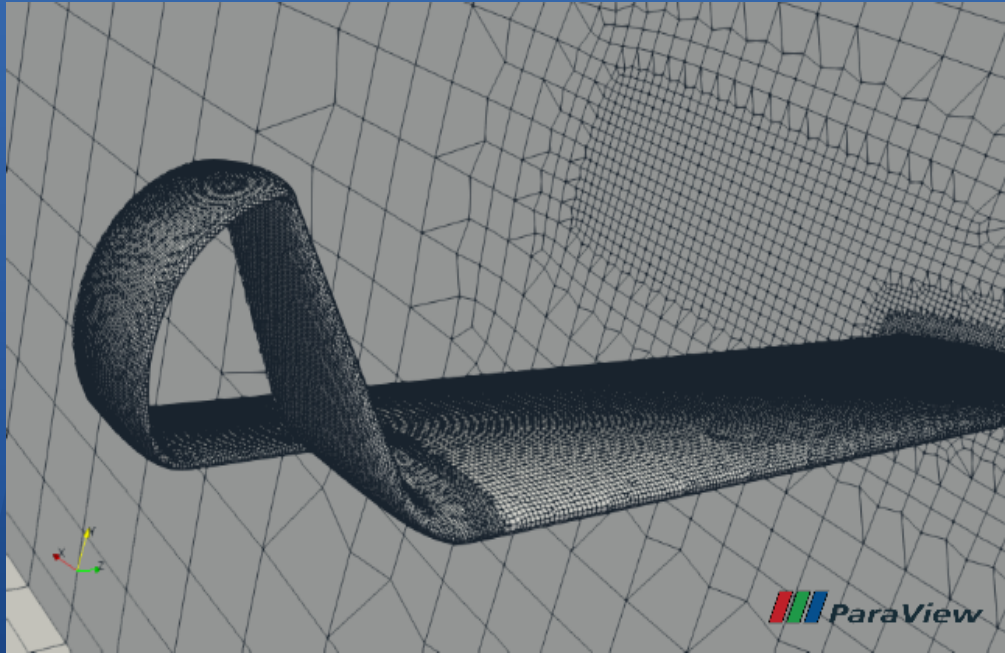
Volumes de controle

Conception

Mailleur		Cartésien
Taille de l'élément de base		1 m
Epaisseur de raffinement		40 mm
Paramètres de raffinement(cfMesh) taille relative de l'élément	Winglet	0,015
	Aile	0,31
	Cône	0,63
	Boîte	0,63
Nombre de couches limites		15
Taux d'expansion		1,10
Première hauteur de cellule		4,8 mm

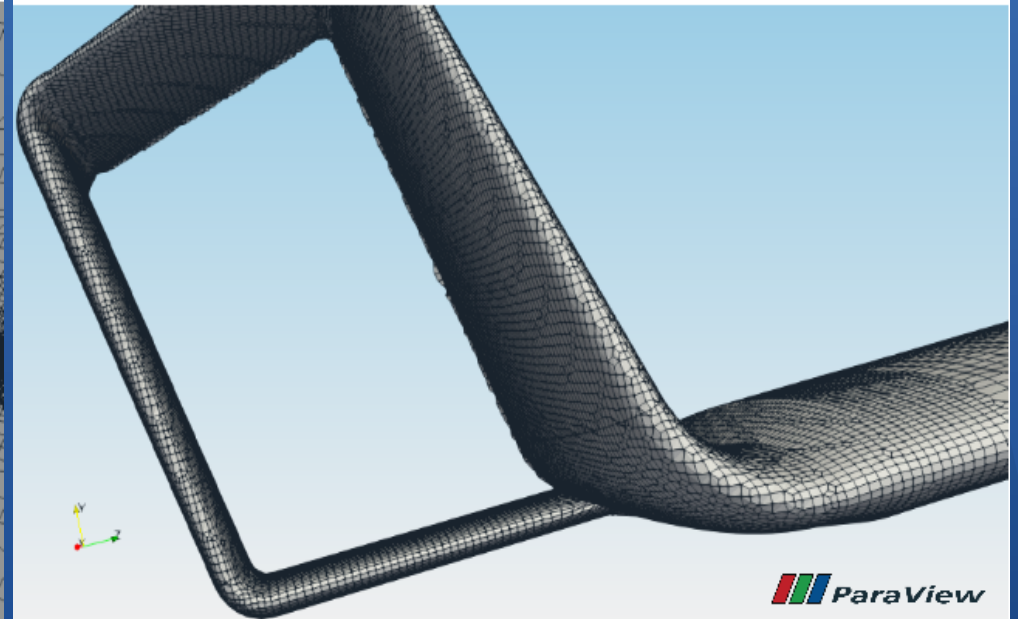
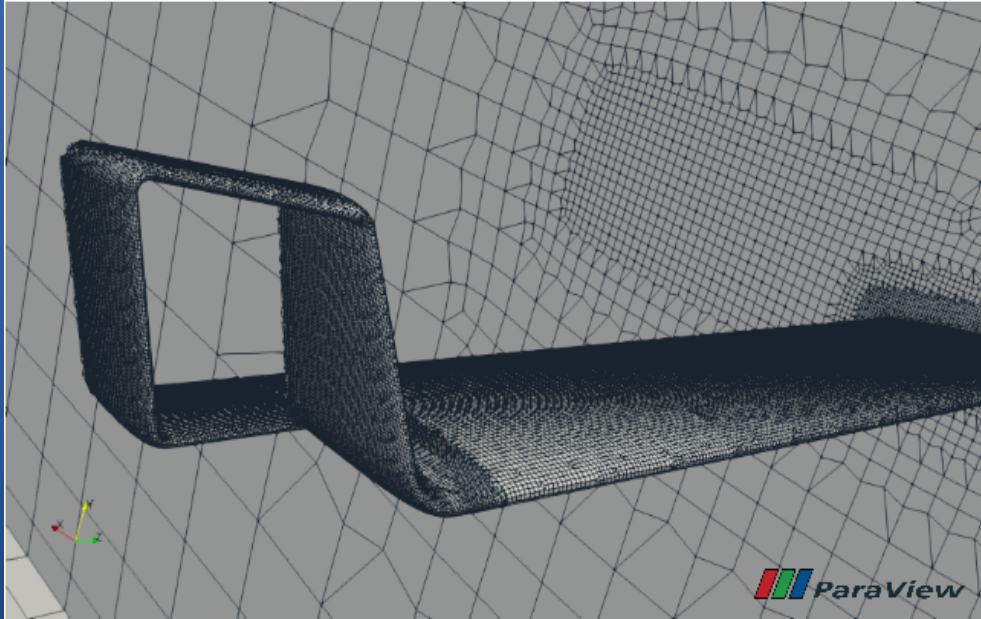
Les paramètres de maillage

Conception



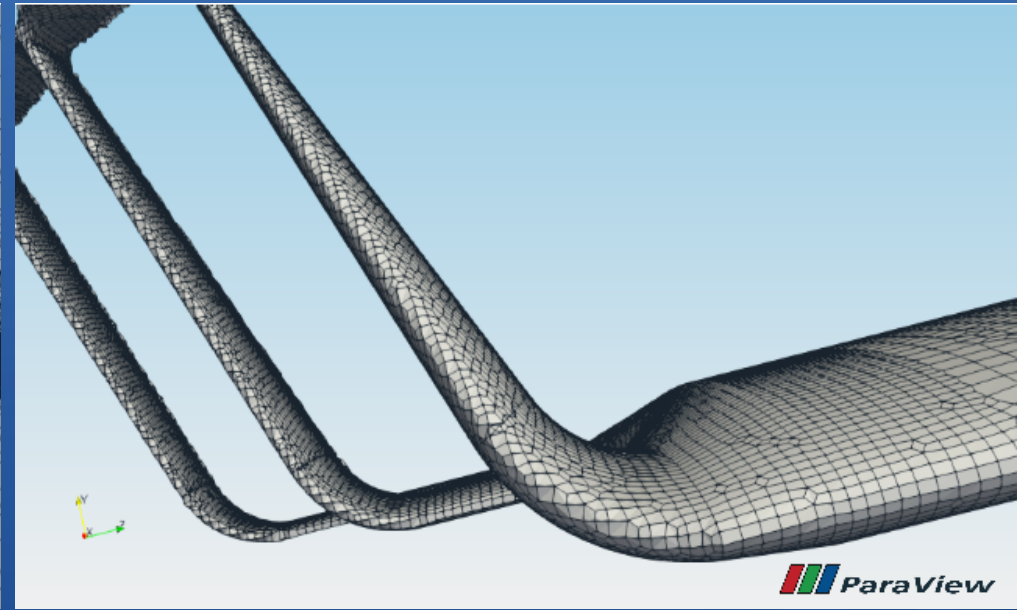
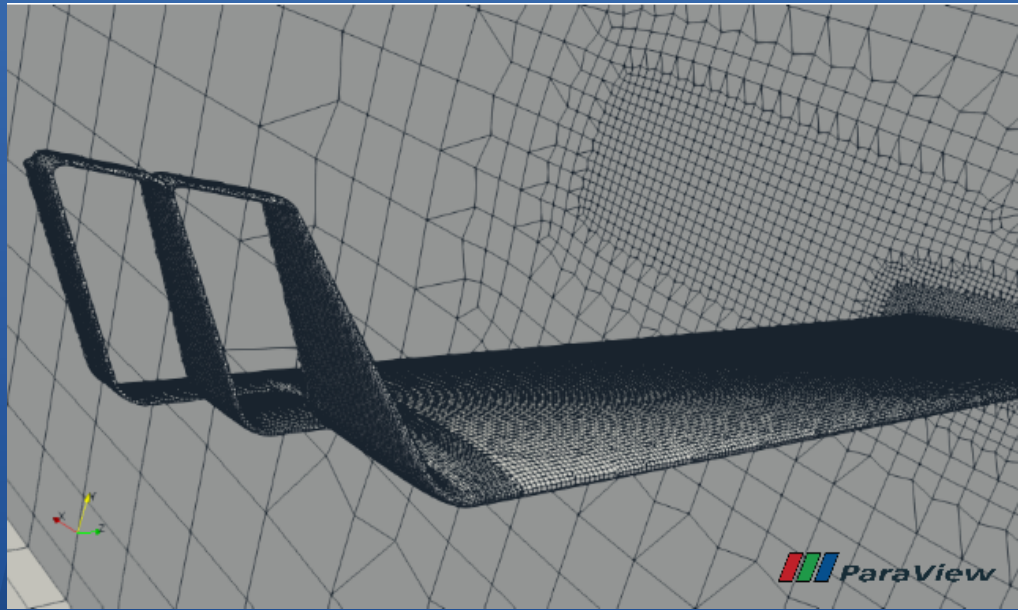
Maillage de l'aile avec winglet Demi-circulaire

Conception



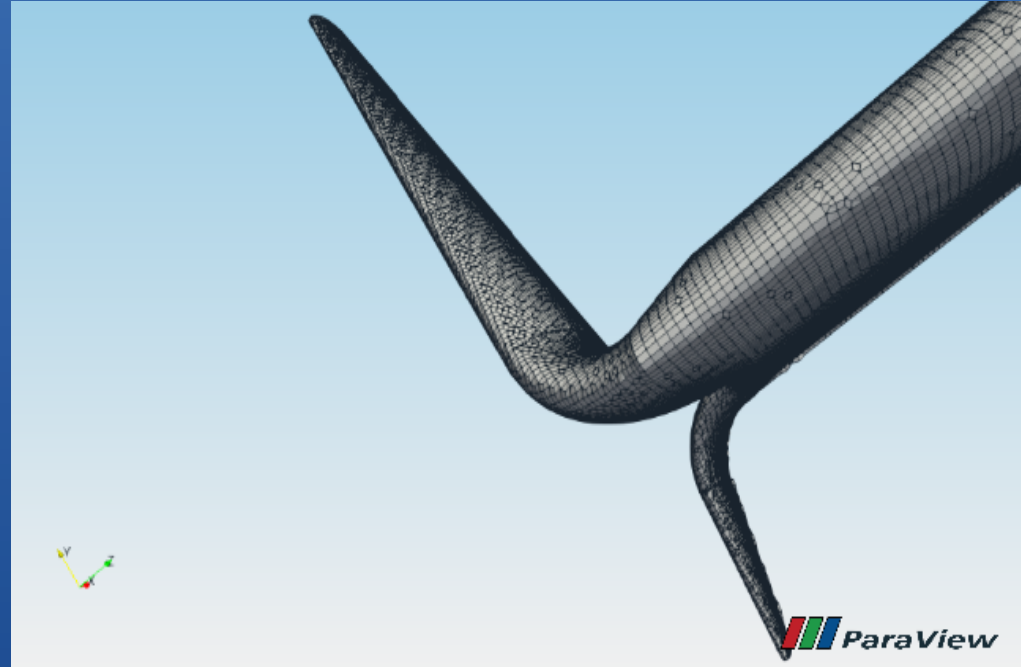
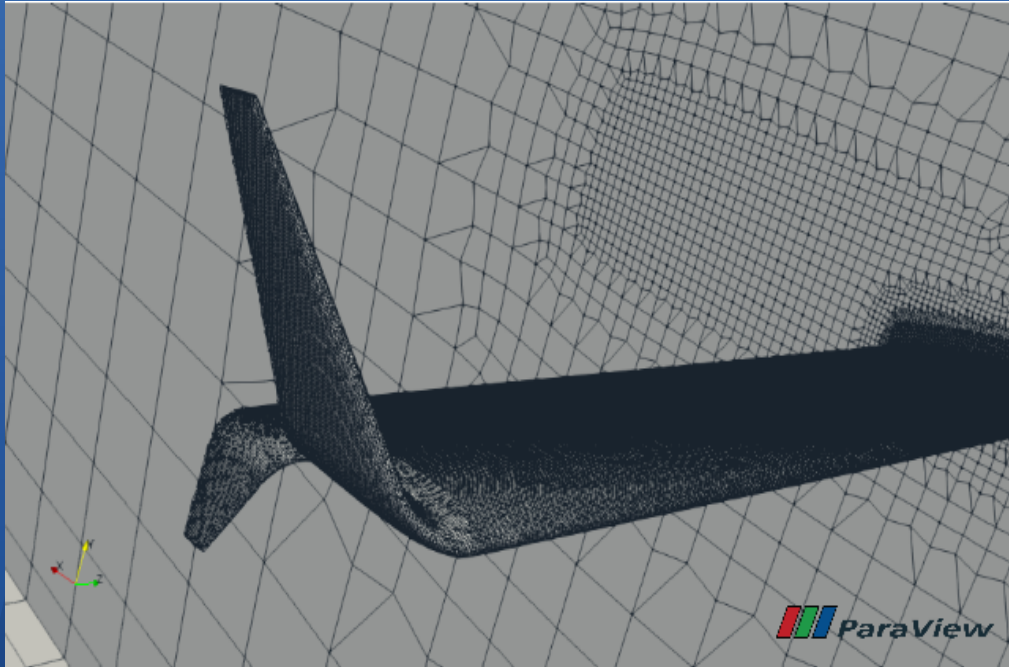
Maillage de l'aile avec winglet spiroïdale

Conception



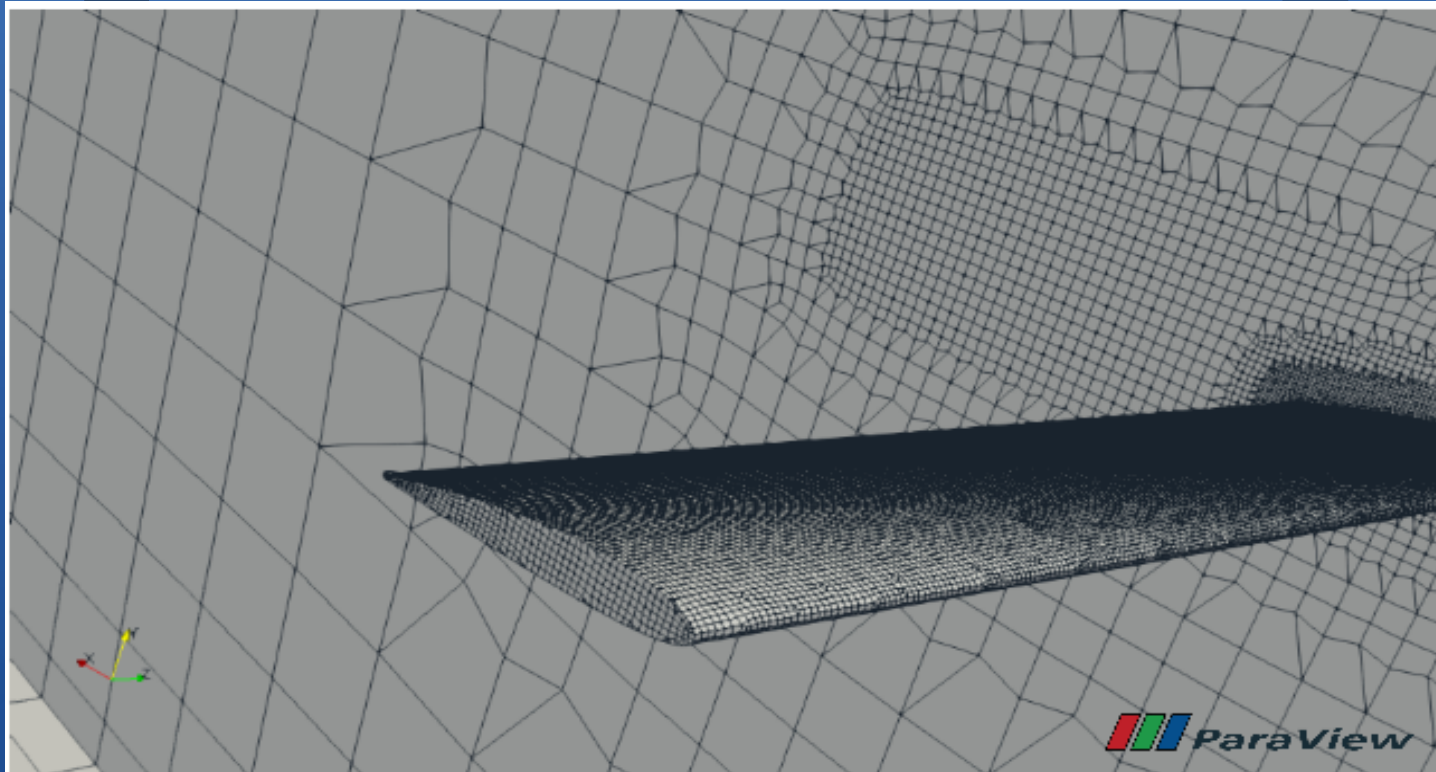
Maillage de l'aile avec winglet Double Spiroïdale

Conception



Maillage de l'aile avec winglet Whitcomb

Conception



Maillage de l'aile sans winglet

Conception

Cas	Nbre de cellules	Nbre de nœuds	Taille sur disque (MB)	Temps de maillage (mn)
ASW	1 154 219	951 235	200	3
AWDC	1 847 032	1 534 941	320	6
AWW	4 737 475	4 109 619	830	14
AWS	2 123 405	1 771 770	300	14
AWDS	1 996 474	1 657 524	340	31

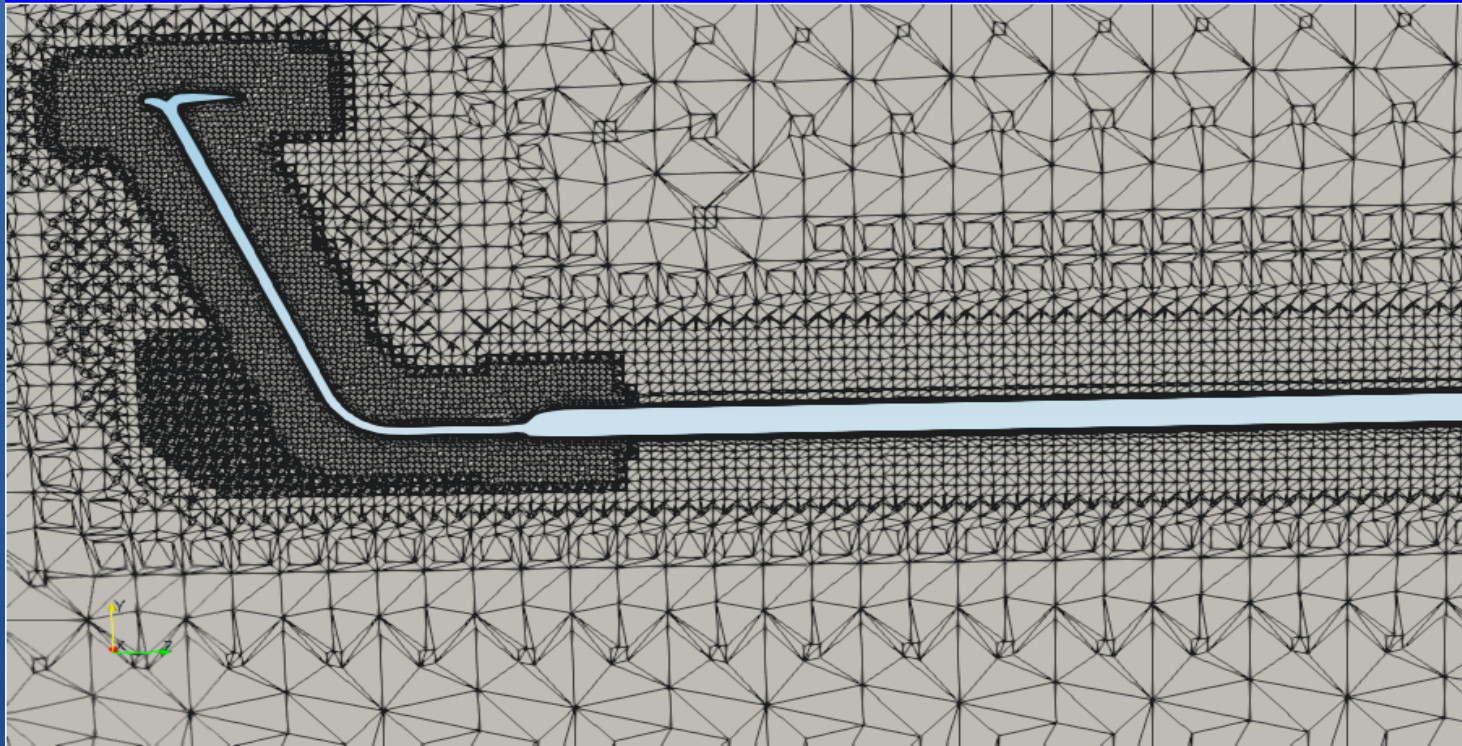
Caractéristiques des maillages des différentes configurations

Conception

Cas	Nbre de cellules	Nbre de Nœuds	Taille sur disque	Temps
<i>ASW</i>	846 068	4 627 754	363 Mo	5h 46mn
<i>AWS</i>	3 539 518	13 957 712	1.18 Go	16h 15mn
<i>AWW</i>	3 372 858	14 391 205	1.19 Go	9h 27mn
<i>AWDC</i>	3 045 692	17 388 896	1.08 Go	6h 23mn
<i>ADWS</i>	13 180 197	52 298 005	3.5 Go	2h 55mn

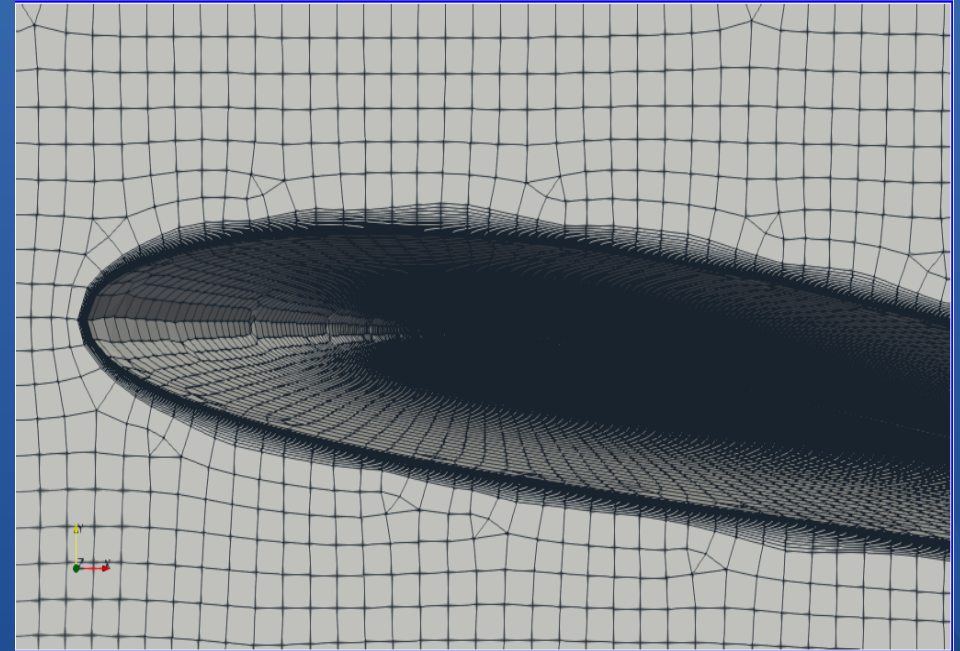
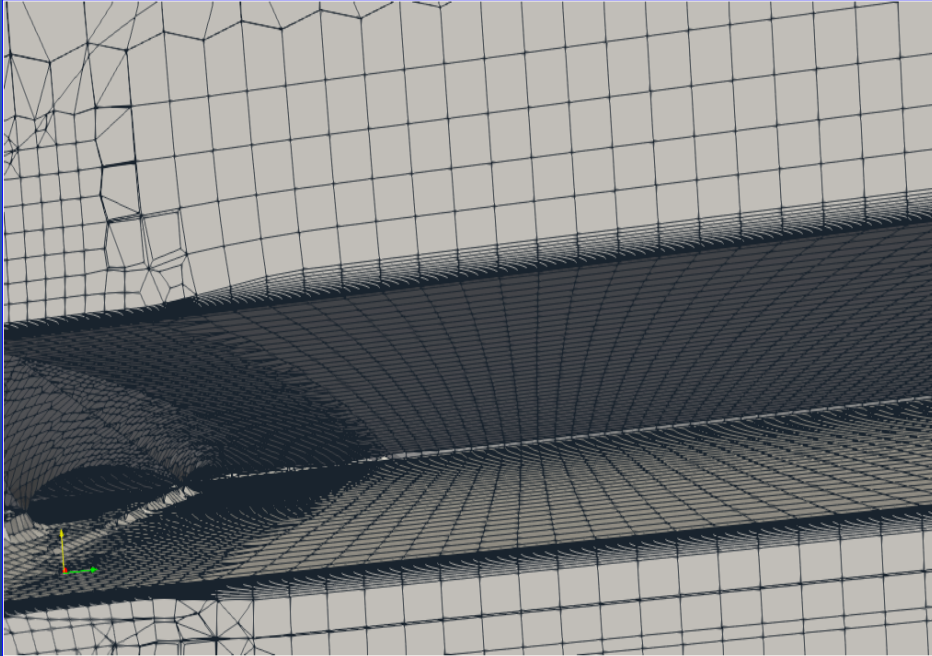
Caractéristiques des maillages des différentes configurations de A,ZEKKOUR

Conception



Détails du maillage de la configuration AWDS

Conception



Détails des couches limites de la configuration AWDS

Conception

Modification

Dans cette partie, nous allons parler des modifications dans les fichiers de *meshDict* de *cfMesh* et *controlDict* d'*openFOAM*. Dans le premier, nous pouvons modifier toutes les données de maillage et la géométrie, de la zone de raffinement (box, cone) ainsi que du nombre de couches limites.

Dans le second fichier *controlDict*, nous avons ajouter une fonction pour lire un autre fichier dans le dossier « system » grâce à la fonction `#include "forceCoeffs"`. Elle permet de lire le fichier *forceCoeffs* qui contient les données relatifs au calcul des coefficients de traînée et de portance.

Conception

Dans le dossier « *constant/polyMesh* », on trouve le fichier *boundary* qui contient toutes les faces du domaine du calcul et de l'aile. Nous modifions leurs noms et leurs types selon les conditions aux limites.

Emplacement	Nom	Renommer en	Type
Faces du domaine	face0	<i>inlet</i>	<i>Patch</i>
	face1	<i>face1</i>	<i>slipwall</i>
	face2	<i>symwall</i>	<i>symmetry</i>
	face3	<i>face3</i>	<i>slipwall</i>
	face4	<i>face4</i>	<i>slipwall</i>
	face 5	<i>outlet</i>	<i>patch</i>
faces de l'aile + winglet	le reste des faces	<i>defaultFaces</i>	<i>wall</i>

Modification des faces dans le fichier boundary

Simulations

Une *macro* est un moyen pratique et facile d'automatiser une série de commandes dans « *FreeCad* ».

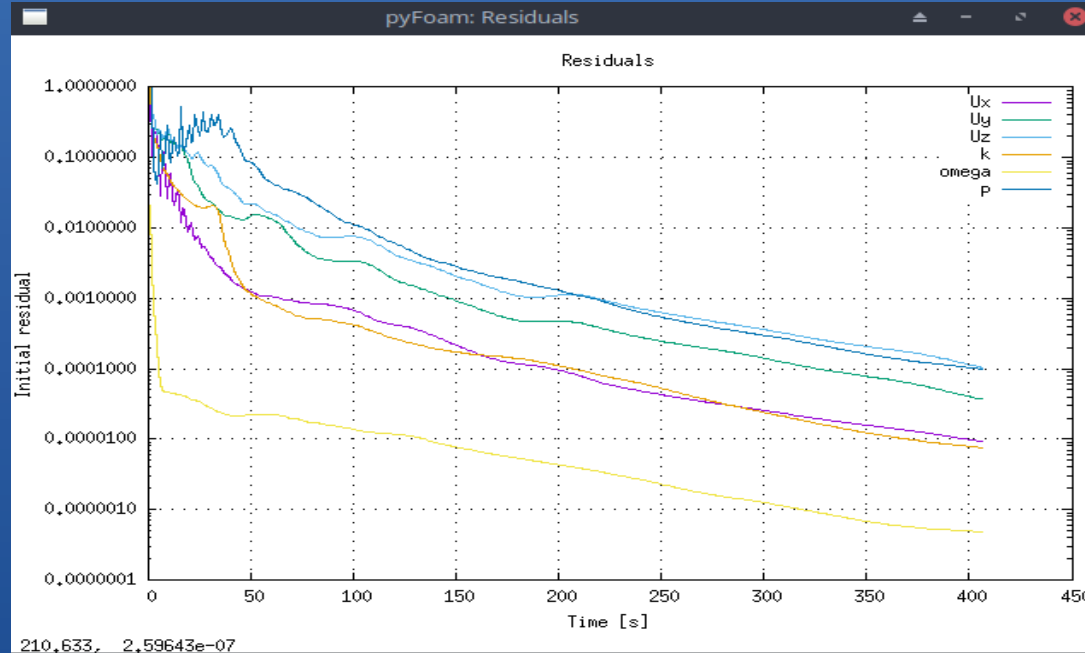
Nous avons programmé, pour les cinq configurations, cinq macros en langage Python et nous présentons un exemple de géométrie de la configuration *AWDS* :

Simulations

```
# La geometrie
=====
import FreeCAD
import Part
FreeCAD.open(u"/home/abdoun/PFE-Aero/22/DoubleSpiroid.FCStd")
App.ActiveDocument.addObject("Part::Box","Box")
App.ActiveDocument.ActiveObject.Label = "Cube"
App.ActiveDocument.recompute()
FreeCAD.getDocument("DoubleSpiroid").getObject("Box").Length = '23000 mm'
FreeCAD.getDocument("DoubleSpiroid").getObject("Box").Width = '14000 mm'
FreeCAD.getDocument("DoubleSpiroid").getObject("Box").Height = '12000 mm'
FreeCAD.getDocument("DoubleSpiroid").getObject("Box").Placement =
App.Placement(App.Vector(-7000,-7000,-12000),App.Rotation(App.Vector(0,0,1),0))
FreeCAD.getDocument("DoubleSpiroid").getObject("Part__Feature008").Placement =
App.Placement(App.Vector(0,0,0),App.Rotation(App.Vector(0,0,1),-8))
App.activeDocument().addObject("Part::Cut","Cut")
App.activeDocument().Cut.Base = App.activeDocument().Box
App.activeDocument().Cut.Tool = App.activeDocument().Part__Feature008
Gui.activeDocument().Box.Visibility=False
Gui.activeDocument().Part__Feature008.Visibility=False
Gui.ActiveDocument.Cut.ShapeColor=Gui.ActiveDocument.Box.ShapeColor
Gui.ActiveDocument.Cut.DisplayMode=Gui.ActiveDocument.Box.DisplayMode
App.ActiveDocument.recompute()
u"/home/abdoun/PFEAero/22/DoubleSpiroid.FCStd""Part::Box","Box"
```

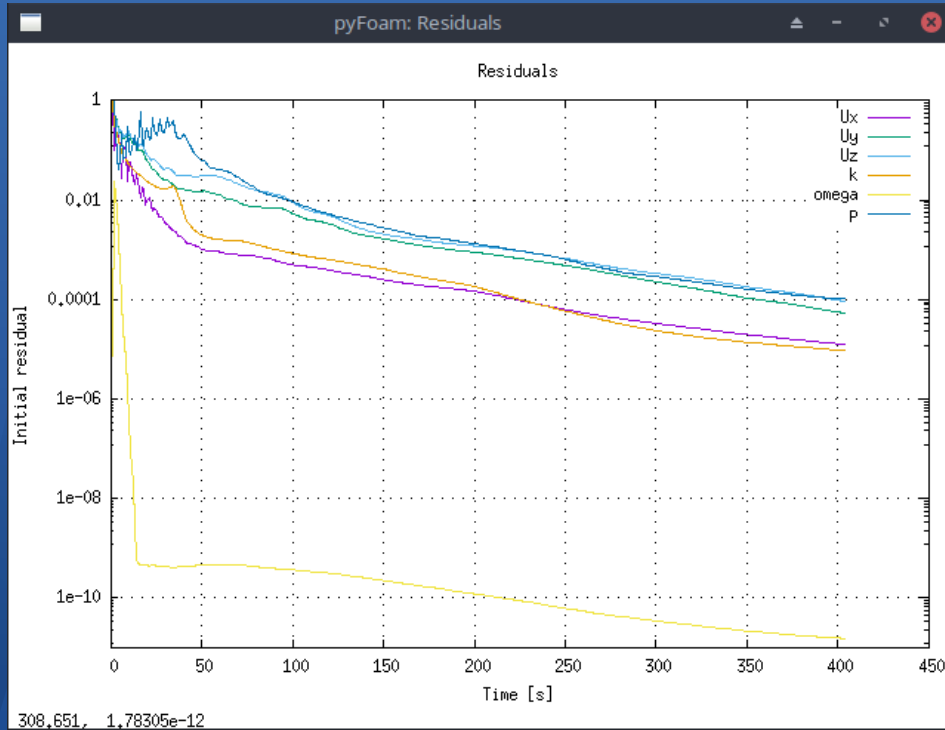
Exemple d'une macro en langage Python

Simulations

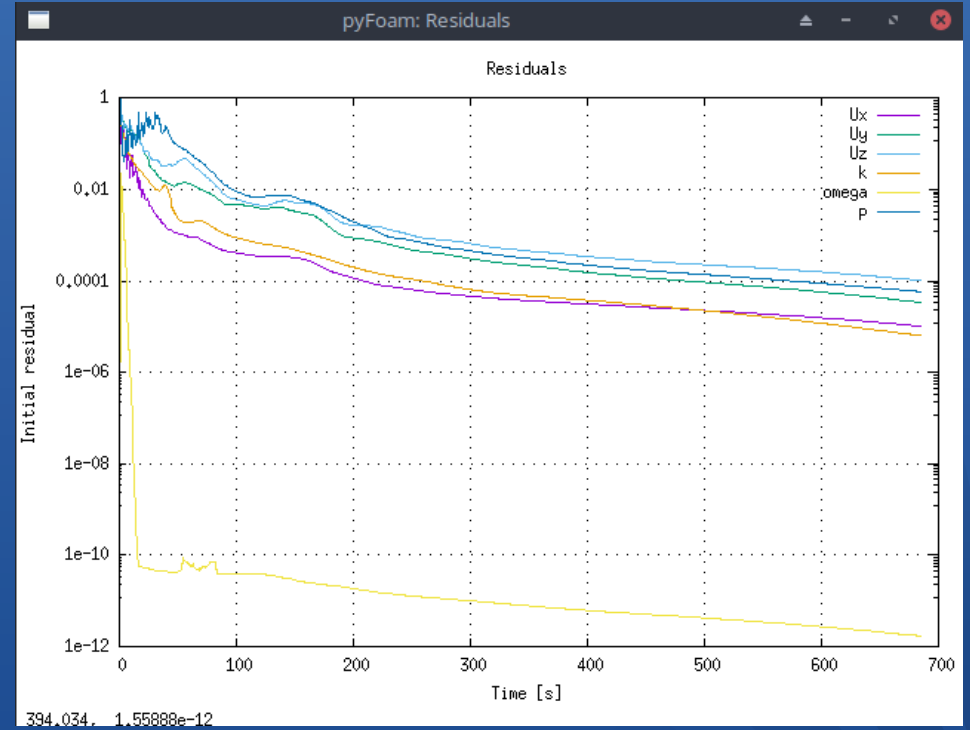


Résidus de la configuration ASW

Simulations

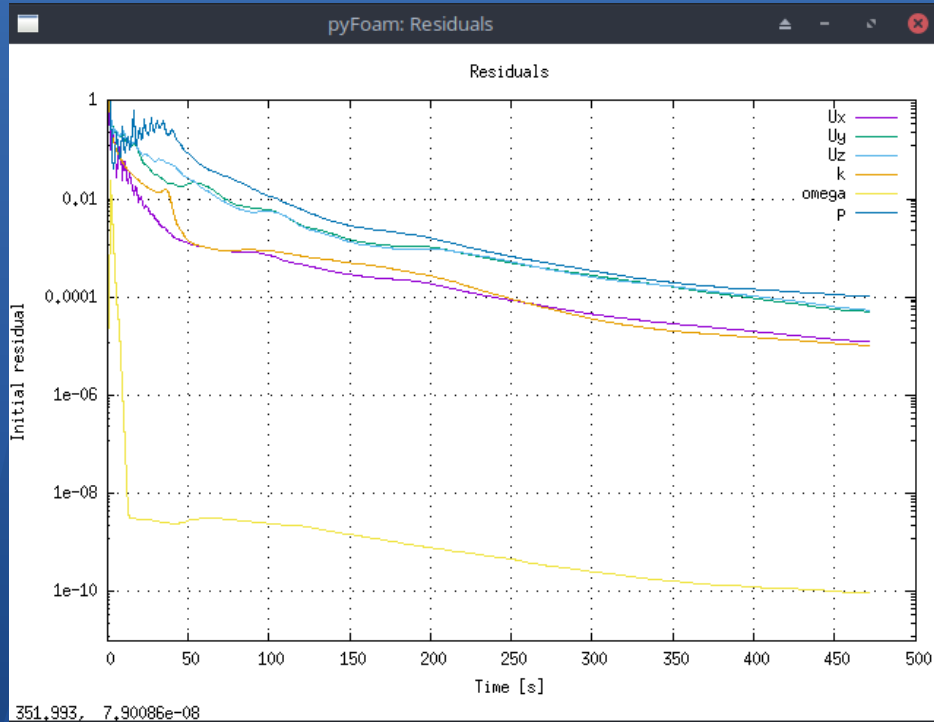


Résidus de la configuration AWDC

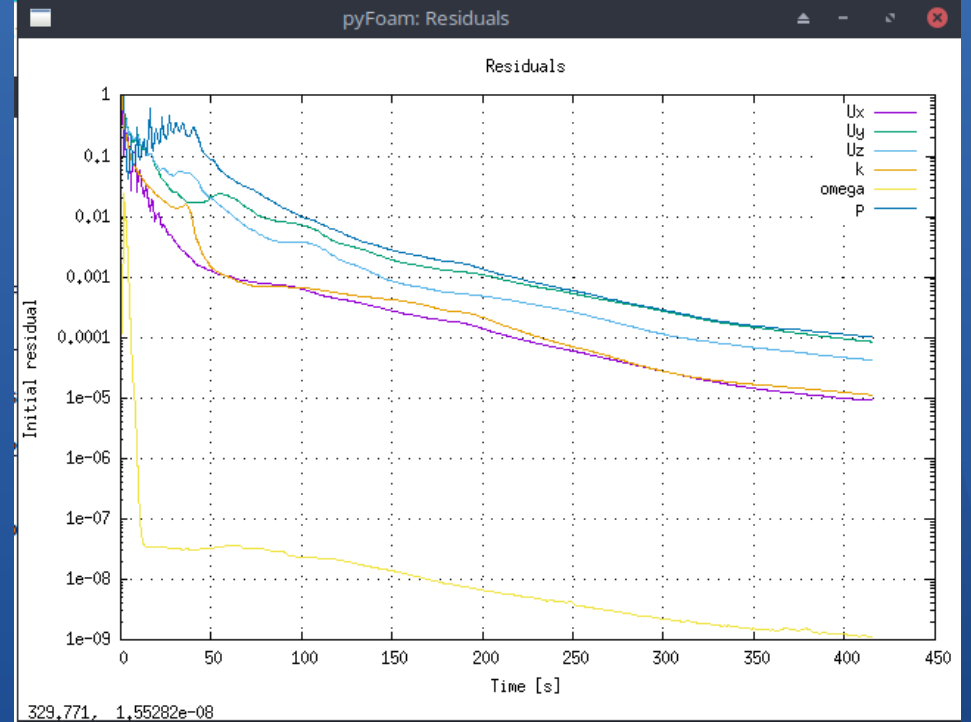


Résidus de la configuration AWW

Simulations



Résidus de la configuration AWS



Résidus de la configuration AWDS

Simulations

Cas	Nbre d'iterations	Temps de calcul	Taille sur disque (GB)
<i>ASW</i>	410	2 h 12 min	0,67
<i>AWDC</i>	408	3 h 45 min	1,1
<i>AWW</i>	690	23 h 25 min	2,3
<i>AWS</i>	475	4 h 56 min	2,5
<i>AWDS</i>	419	6 h 2 min	1,4

Comparaison entre les différentes configurations

Simulations

Coefficients aérodynamiques

Portance

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot A}$$

Traînée

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot A}$$

Simulations

Pipeline Browser

- builtin:
- defaultFaces_419.vtk
- GenerateSurfaceNormals1
- Press
- Lift
- IntegrateVariables1
- CL**
- Drag
- IntegrateVariables2
- CD

Properties

Apply Reset Delete ?

Search ... (use Esc to clear text)

Result Array Name

Lift/(0.5*1.225*70*Area)

Clear	()	iHat	jHat	kHat
sin	cos	tan	abs	sqrt	+
asin	acos	atan	ceil	floor	-
sinh	cosh	tanh	x^y	exp	*
v1.v2	mag	norm	ln	log10	/

Scalars Vectors

Layout #1

SpreadSheetView1

Showing Lift Attribute: Cell Data Precision: 6

	Cell ID	Cell Type	Lambda2	Lift	Normals	Press	Q	U	k				
0	0	Quad	-130422	1071.62	0.280961	0.959658	0.0108171	1116.67	5.30941e+7	0	0	0	1.4557
1	1	Quad	898606	1086.71	0.277574	0.960681	0.00664378	1131.19	4.50508e+7	0	0	0	1.4148
2	2	Quad	383939	1112.39	0.275416	0.961283	0.00903123	1157.2	4.34302e+7	0	0	0	1.4290
3	3	Quad	287133	1135.33	0.275105	0.961387	0.00724254	1180.93	4.0866e+7	0	0	0	1.4652
4	4	Quad	78668	1152.83	0.274731	0.961471	0.00985521	1199.03	4.1509e+7	0	0	0	1.4905
5	5	Quad	243811	1164.56	0.273702	0.961779	0.00824491	1210.84	4.48652e+7	0	0	0	1.5193
6	6	Quad	492925	1181.83	0.271636	0.962369	0.00773197	1228.05	4.23296e+7	0	0	0	1.576
7	7	Quad	24229.3	1198.63	0.269144	0.963073	0.00723094	1244.59	3.98454e+7	0	0	0	1.6030
8	8	Quad	-260274	1884.91	0.446506	0.894629	0.0164745	2106.91	9.51719e+7	0	0	0	0.2318
9	9	Quad	-341375	2038.89	0.512841	0.858214	0.0215081	2375.74	8.76521e+7	0	0	0	0.2089
10	10	Quad	-277044	1893.31	0.438534	0.898567	0.016299	2107.03	8.87289e+7	0	0	0	0.2910
11	11	Quad	-534789	2045.44	0.50519	0.862755	0.0209035	2370.82	9.50166e+7	0	0	0	0.2242
12	12	Quad	4.7151...	893.509	0.926481	0.373241	0.0482126	2393.92	1.50475e+9	0	0	0	0.8136
13	13	Quad	2.8055...	893.386	0.926548	0.374302	0.0374988	2386.81	1.48196e+9	0	0	0	0.8083
14	14	Quad	693021	2294.2	0.604828	0.795815	0.0293543	2882.83	1.11981e+7	0	0	0	0.2667
15	15	Quad	730435	1860.43	0.744301	0.666653	0.0300030	2040.7	3.68737e+7	0	0	0	0.3757

Calcul de C_L et C_D

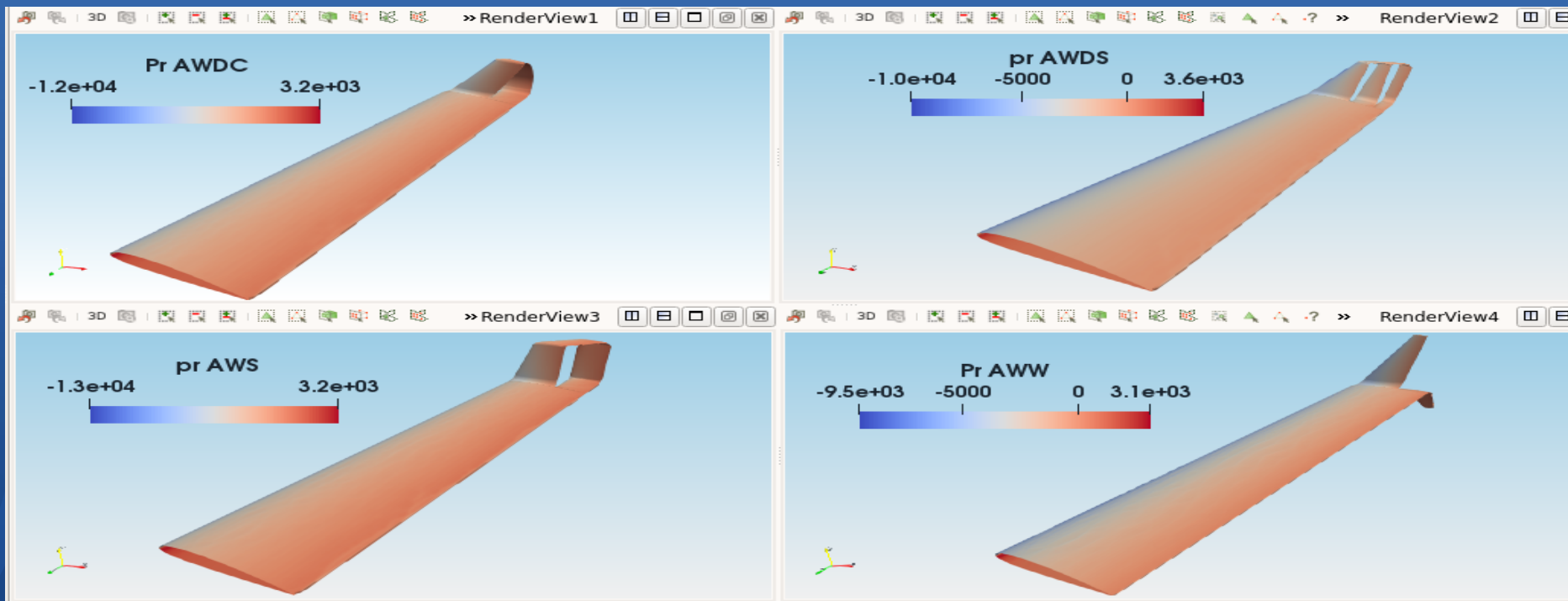
Résultats

Les forces de portance F_L et de traînée F_D sont calculées en intégrant les contraintes de pression et de cisaillement de la paroi sur la surface de l'aile pour chaque cas :

Cas	Portance F_L [N]	Trainée F_D [N]	C_L/C_D
ASW	11095,8	746,768	14,858
AWDC	12807,6	800,482	15,999
AWW	11543,8	538,489	21,437
AWS	12889,2	778,342	16,559
AWDS	12302,7	875,824	14,047

Coefficients de traînée et de portance.

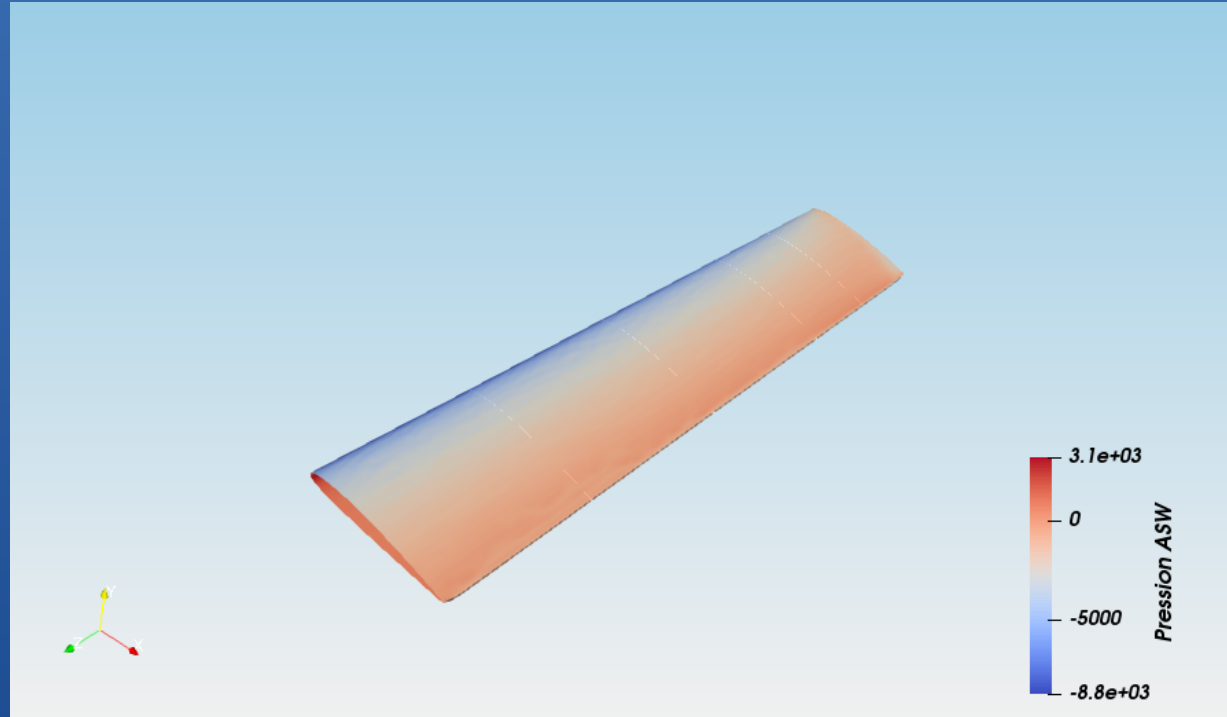
Résultats



Pression autour de l'aile

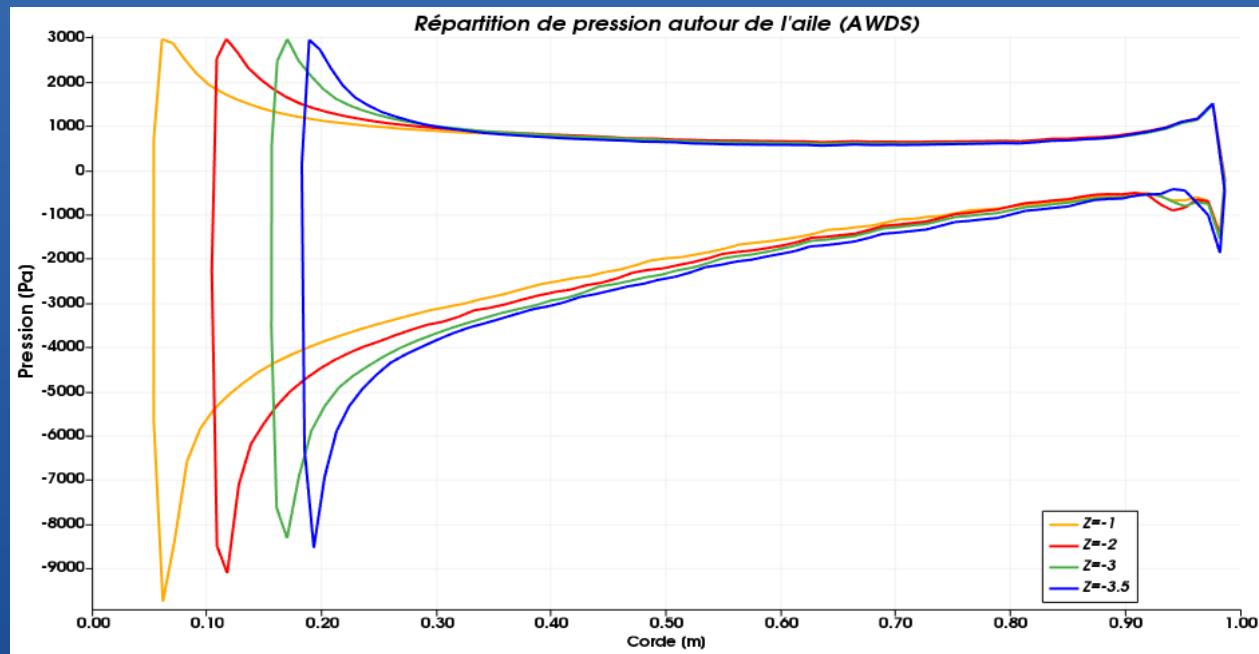
INFLUENCE D'UNE NOUVELLE FORME DE WINGLET SUR L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'UNE AILE D'AVION

Résultats



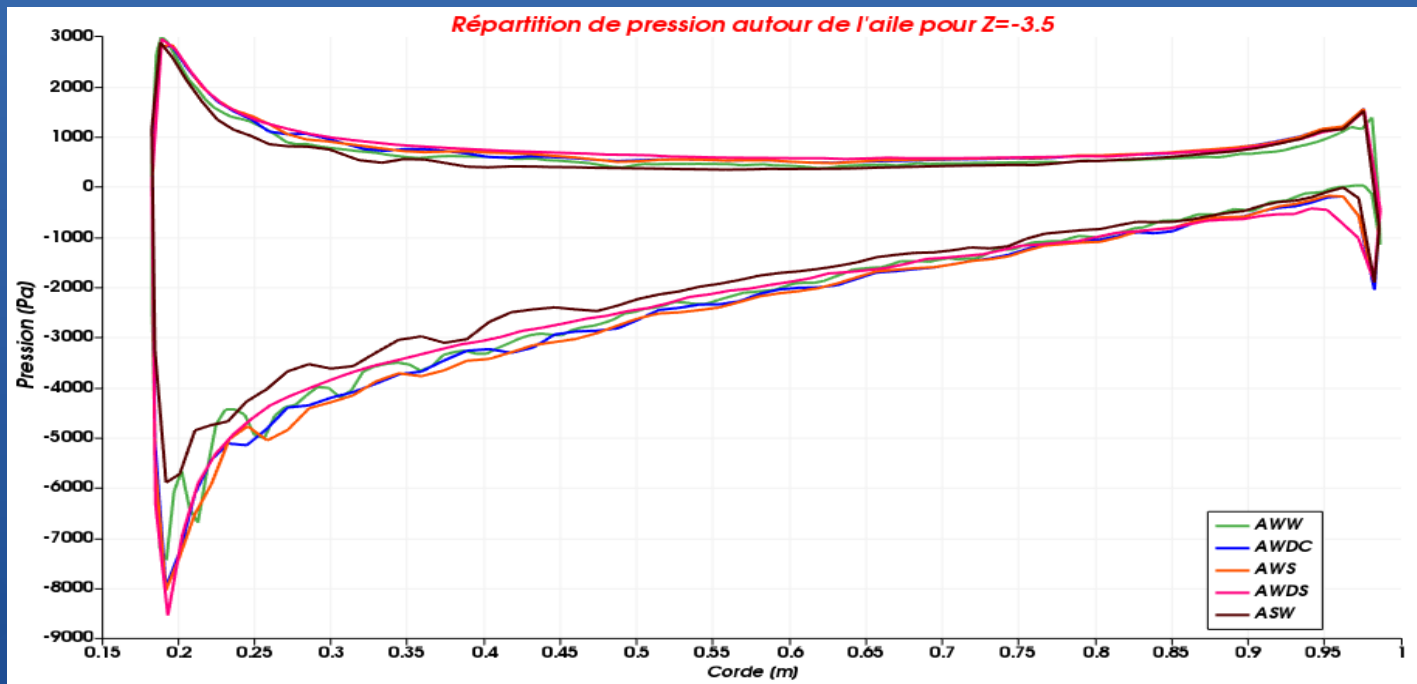
Pression autour de l'aile

Résultats



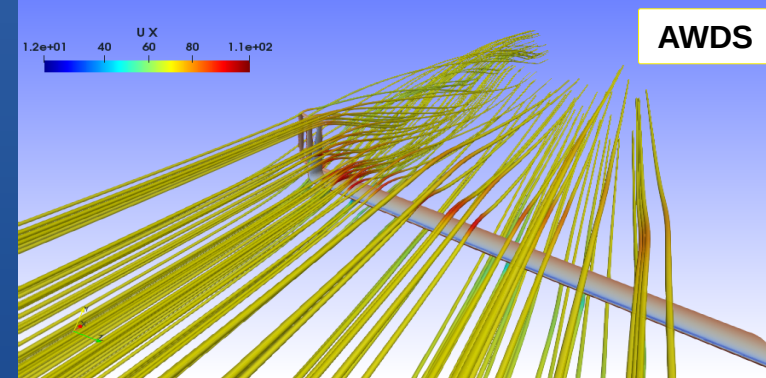
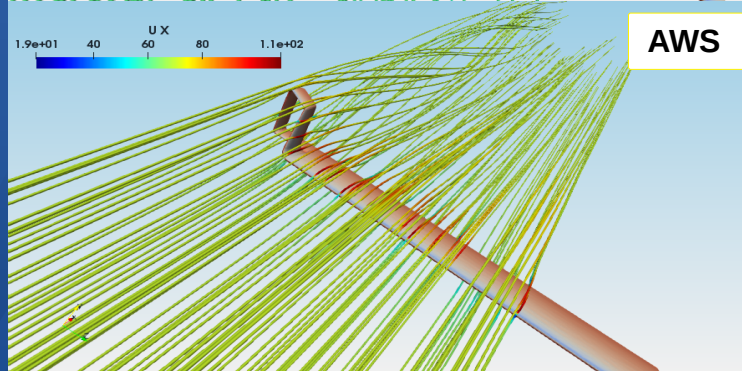
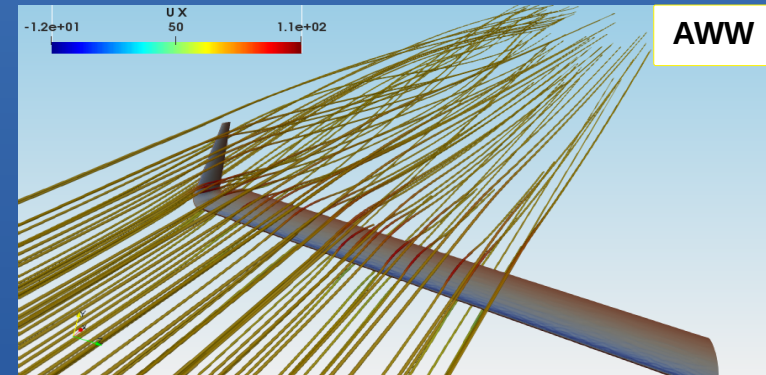
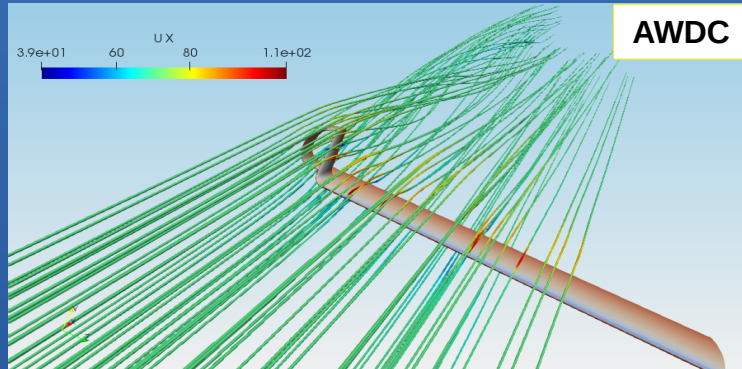
Répartition de pression à différentes distances z . Cas : AWDS

Résultats



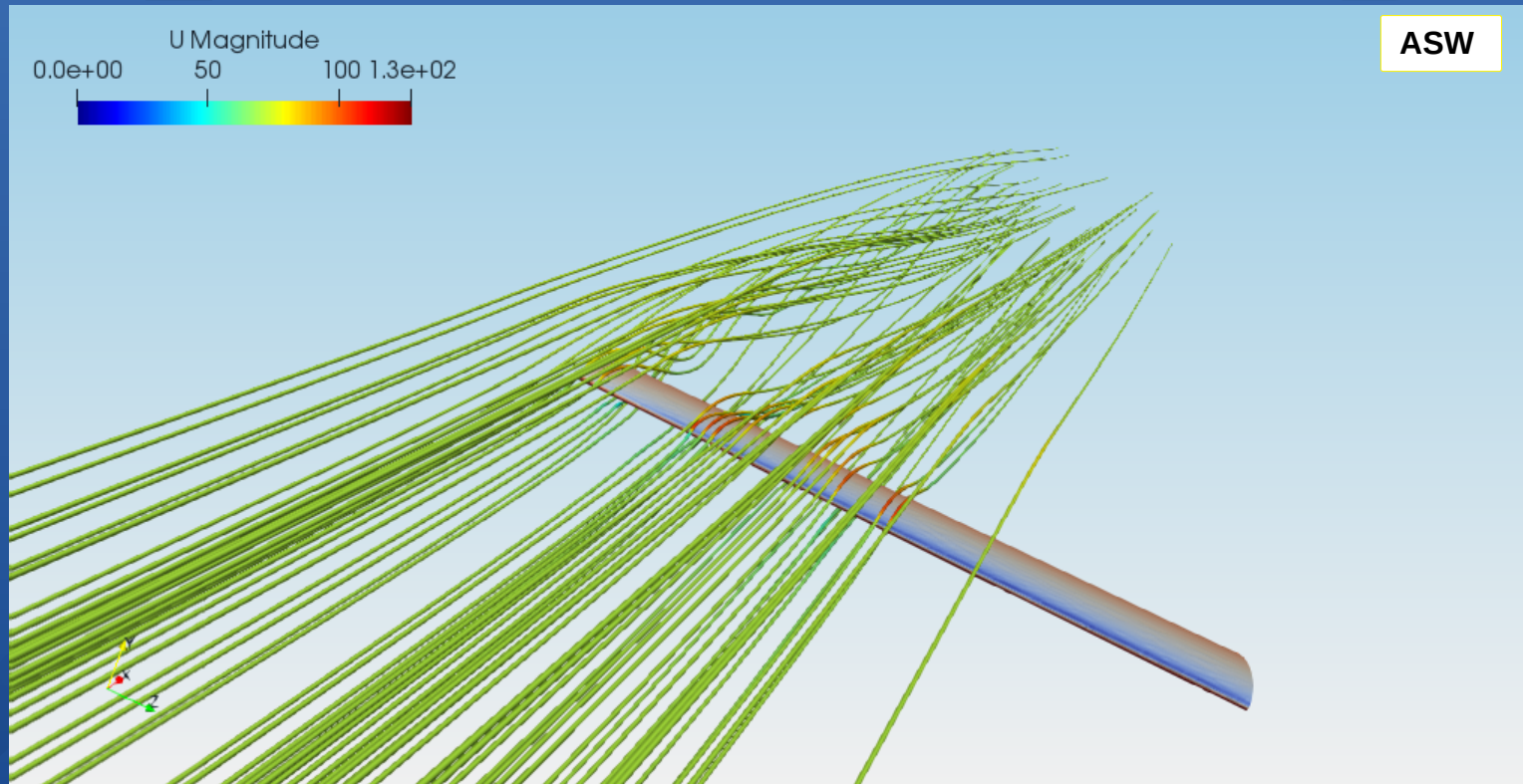
Répartition de pression pour $z=3,5$ m

Résultats



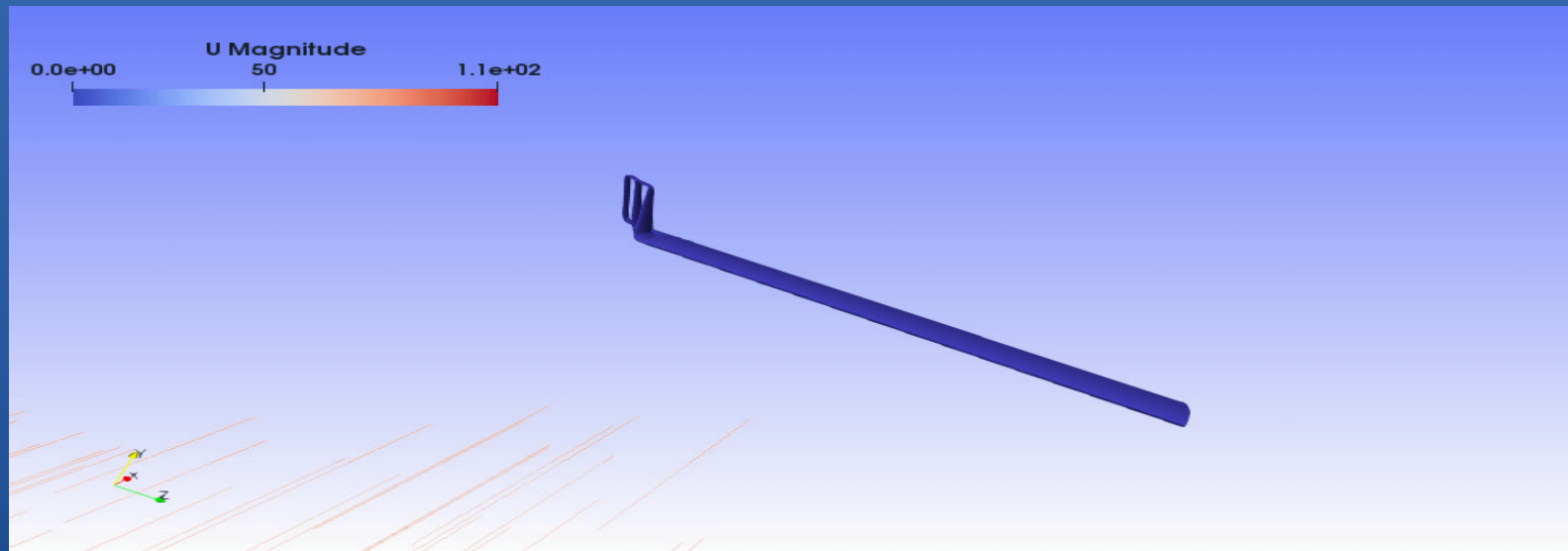
Les lignes de courant

Résultats

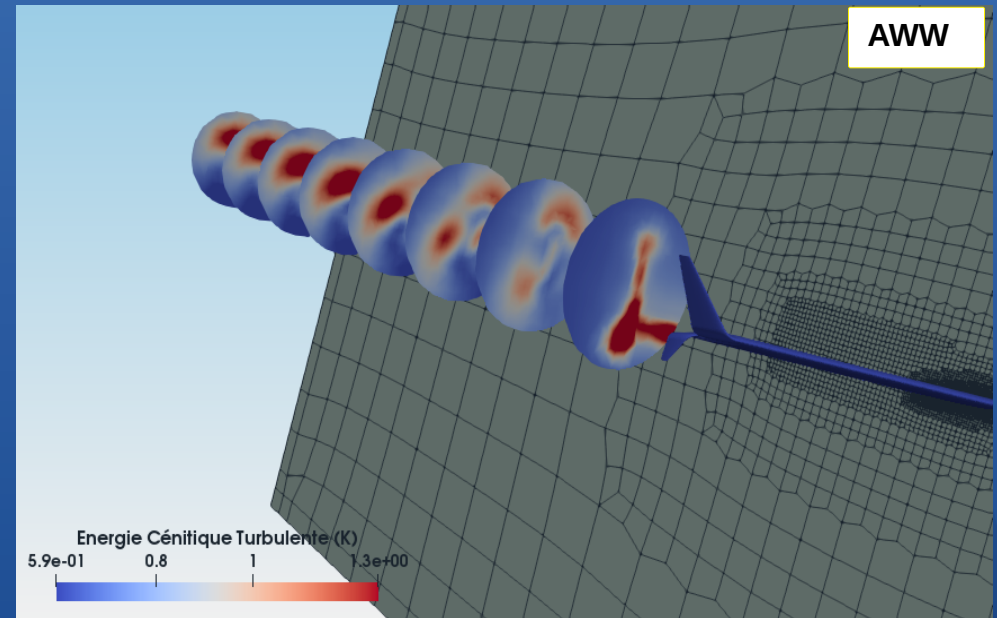
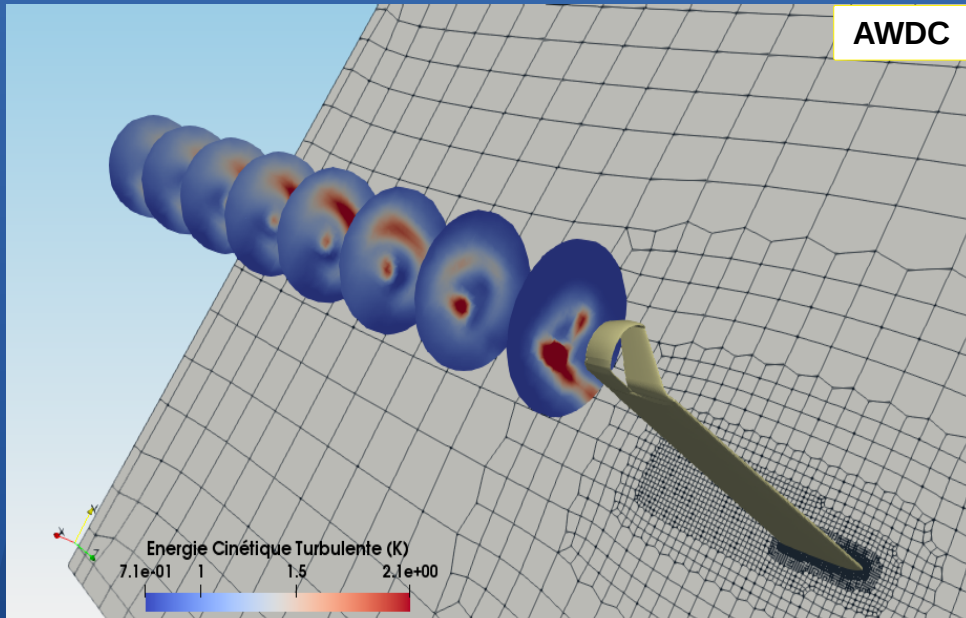


Les lignes de courant

Résultats

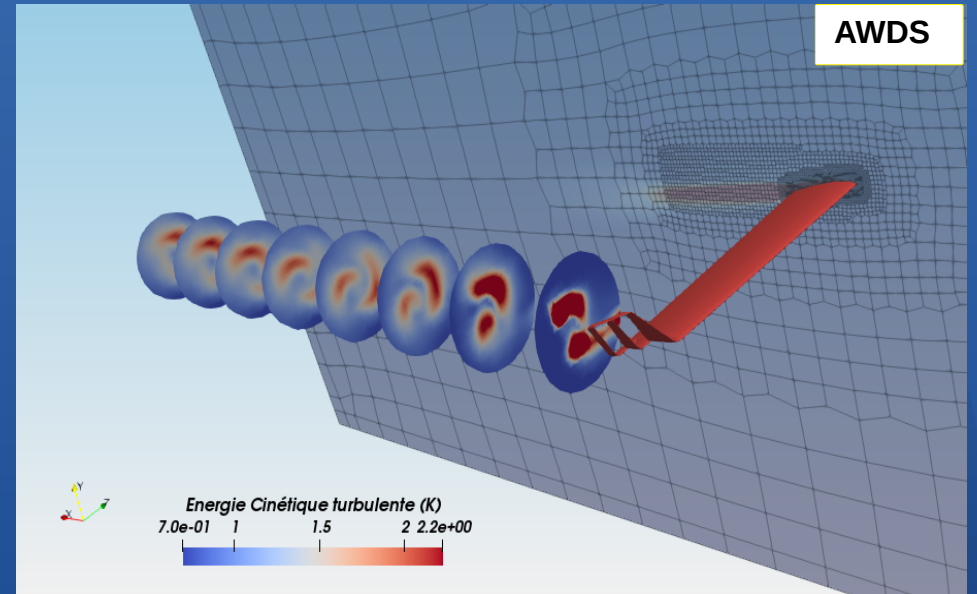
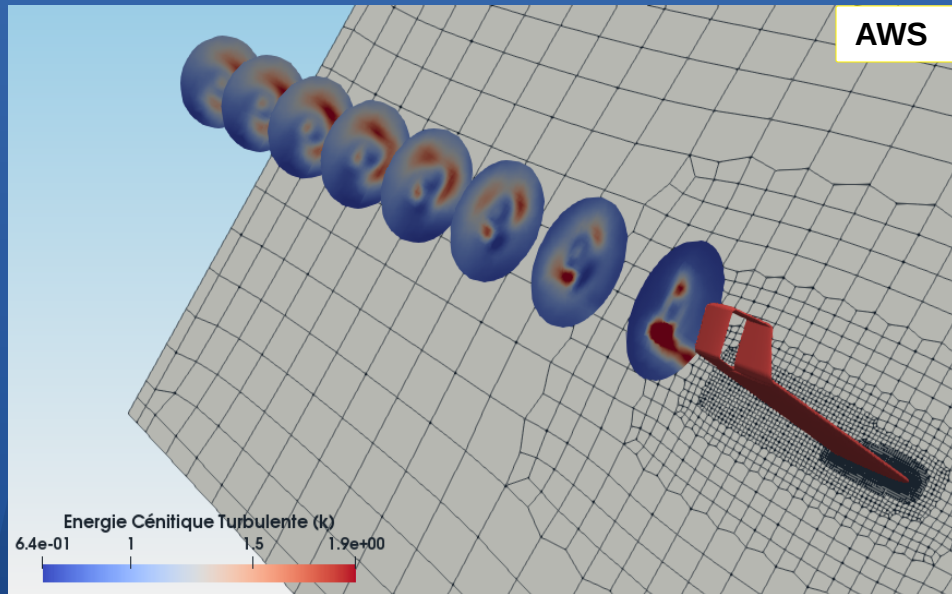


Résultats



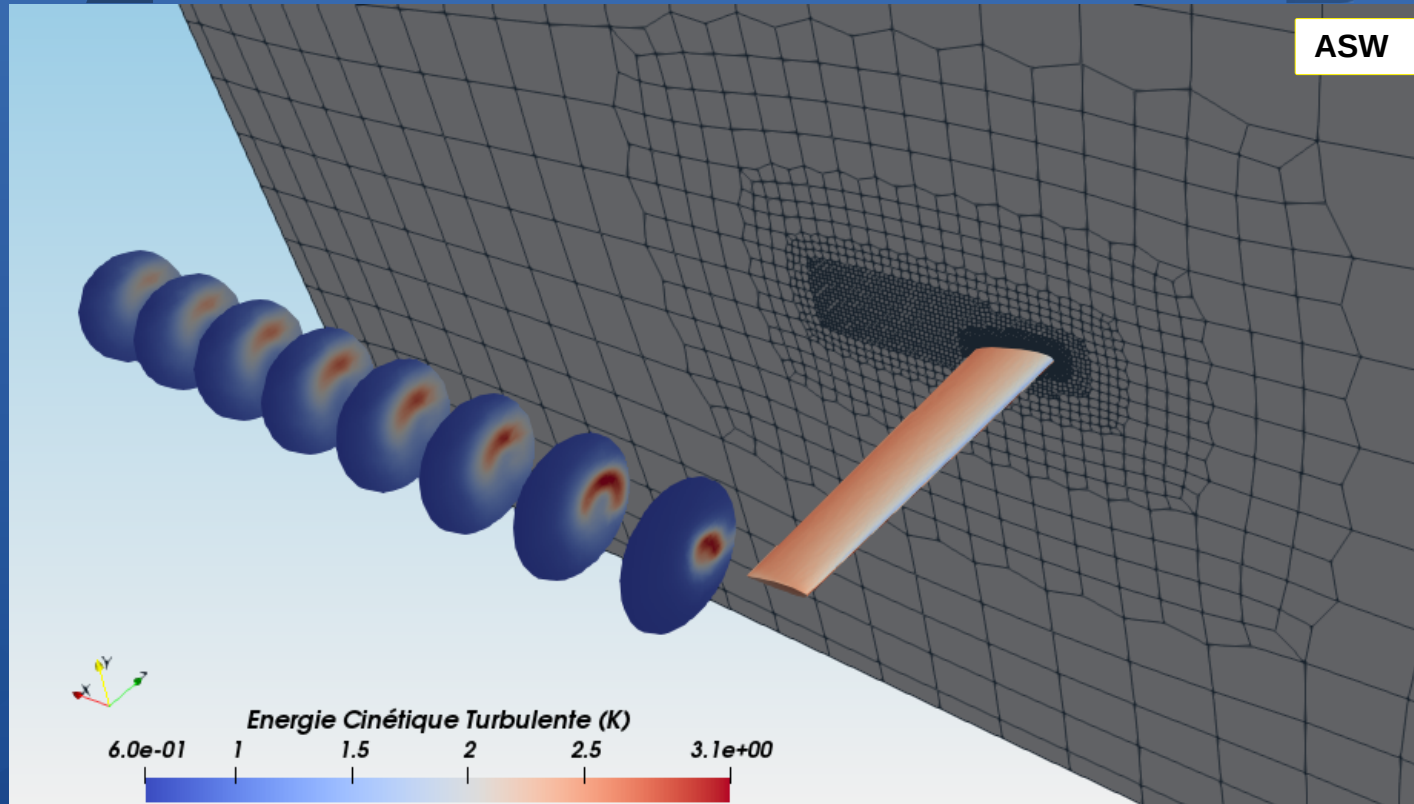
Energie cinétique turbulente

Résultats



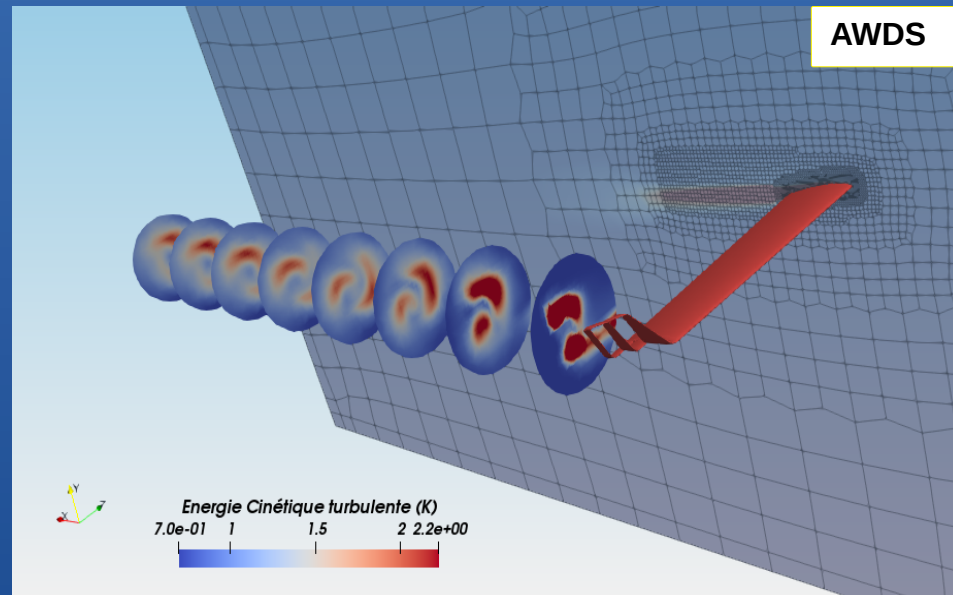
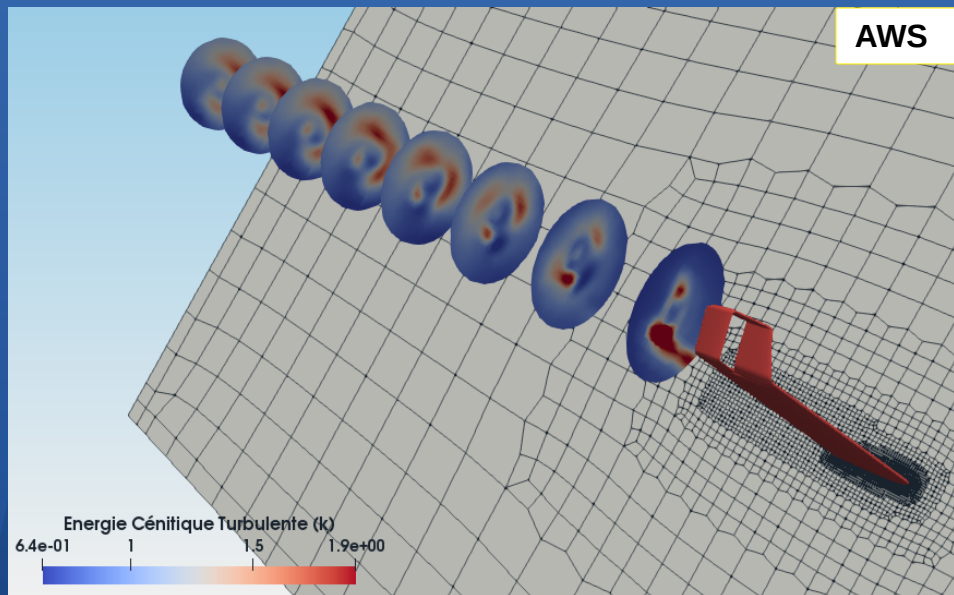
Energie cinétique turbulente

Résultats



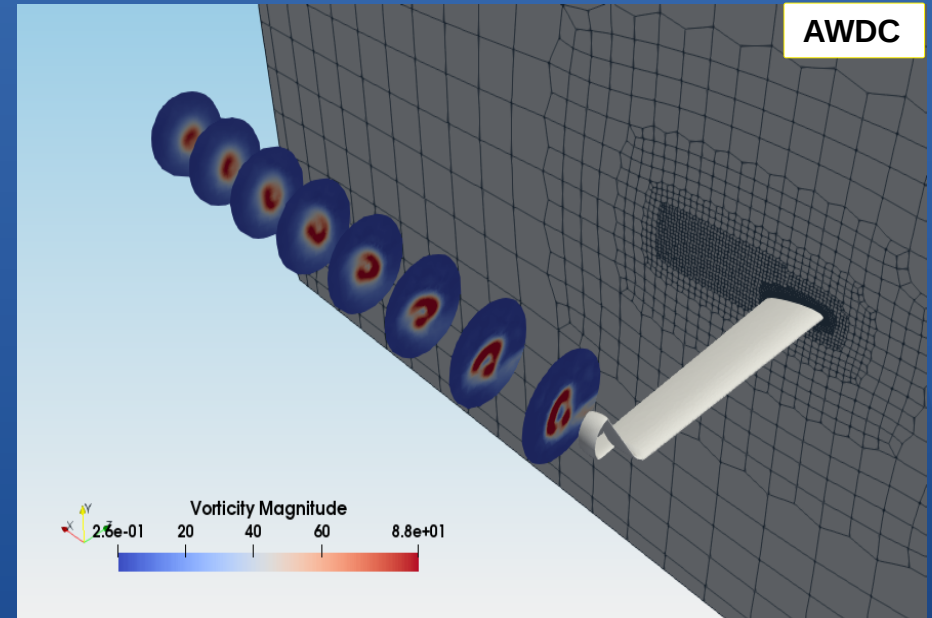
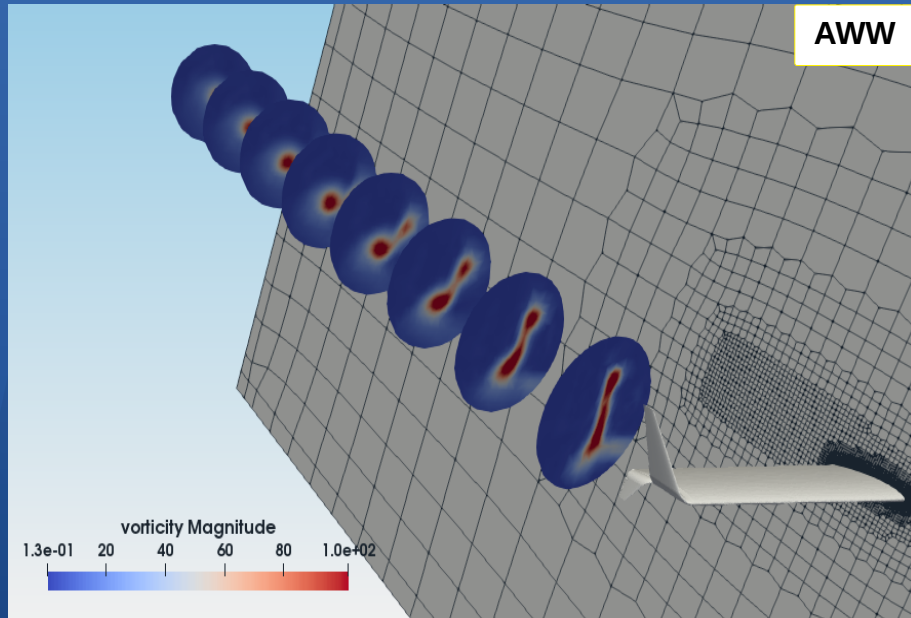
Energie cinétique turbulente

Résultats



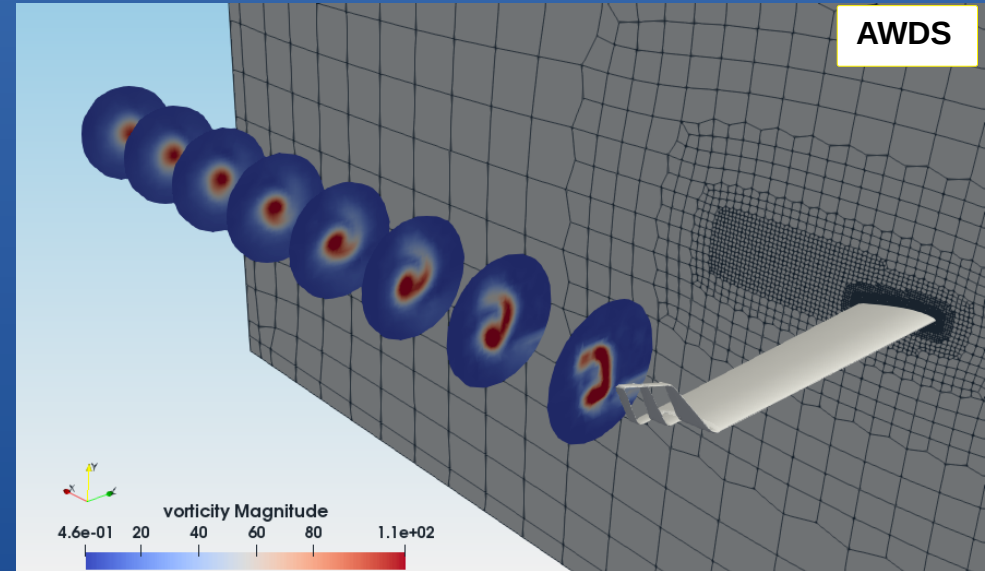
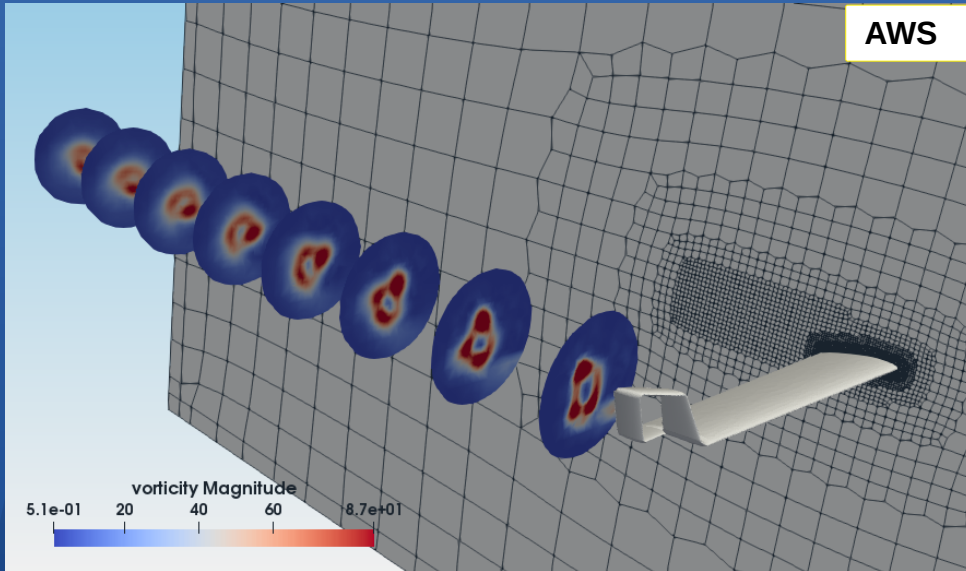
Energie cinétique turbulente

Résultats



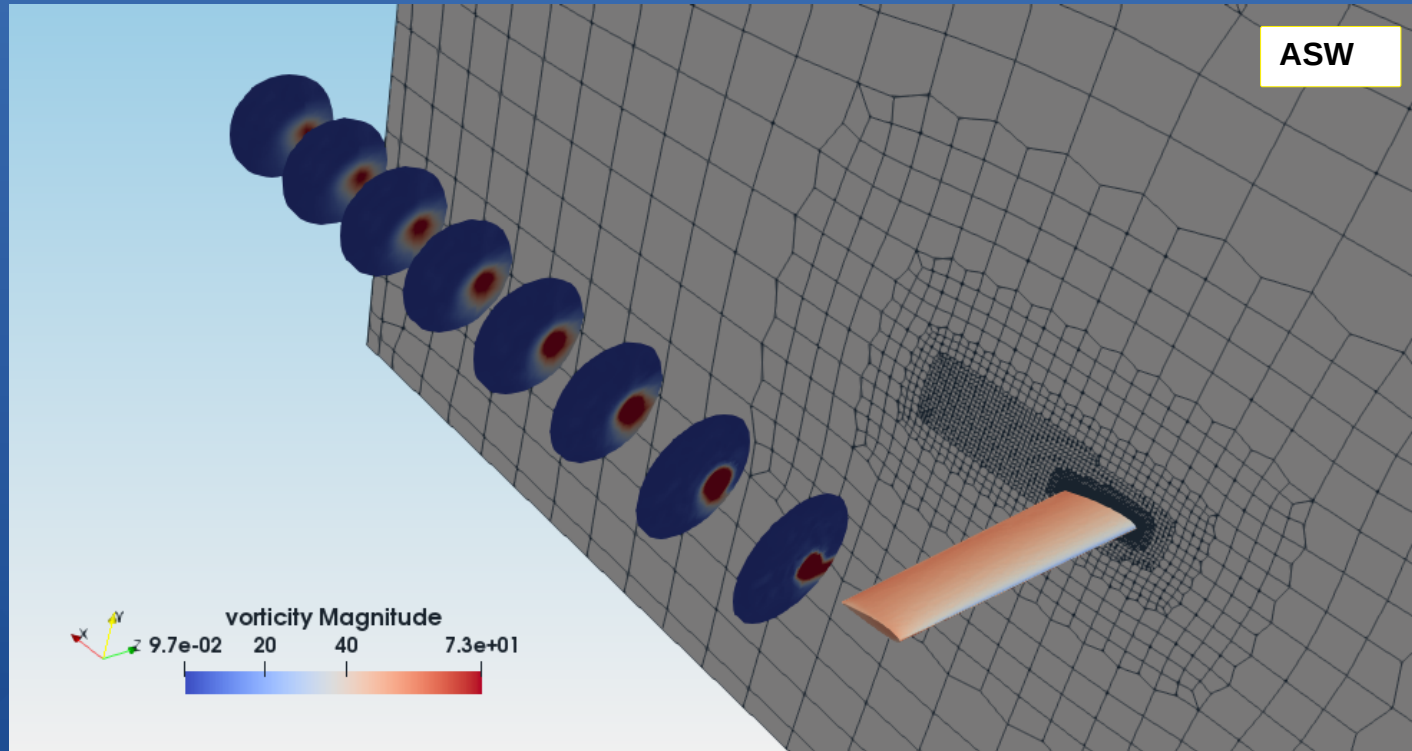
Vorticité

Résultats



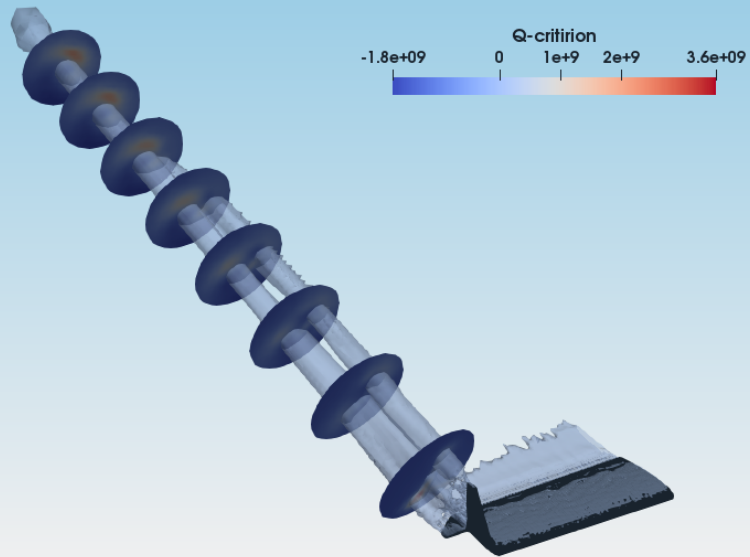
Vorticité

Résultats

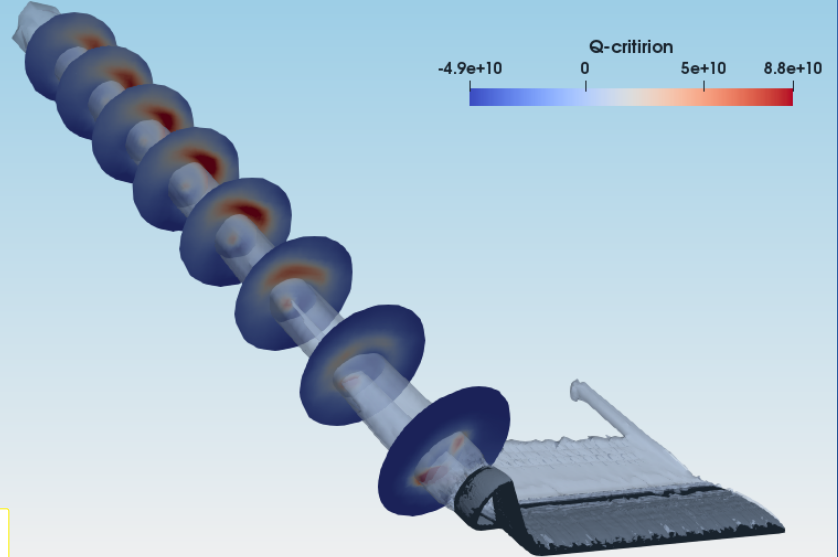


Vorticité

Résultats



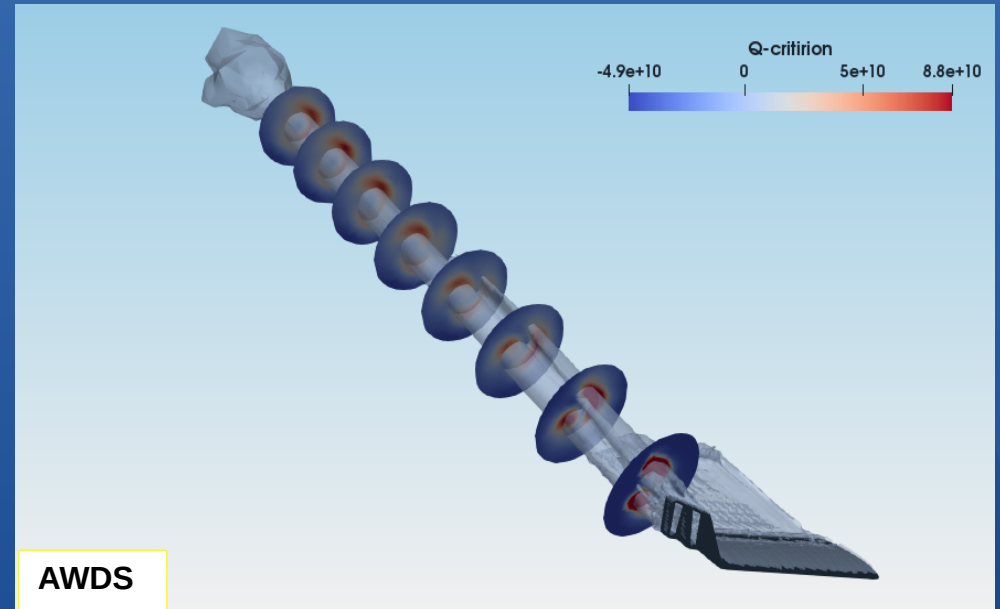
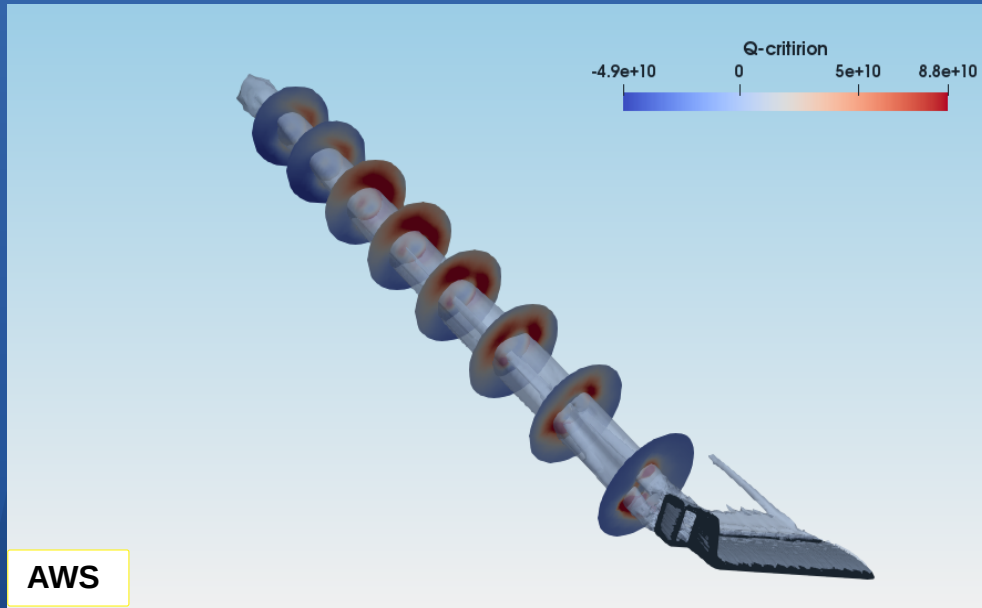
AWW



AWDC

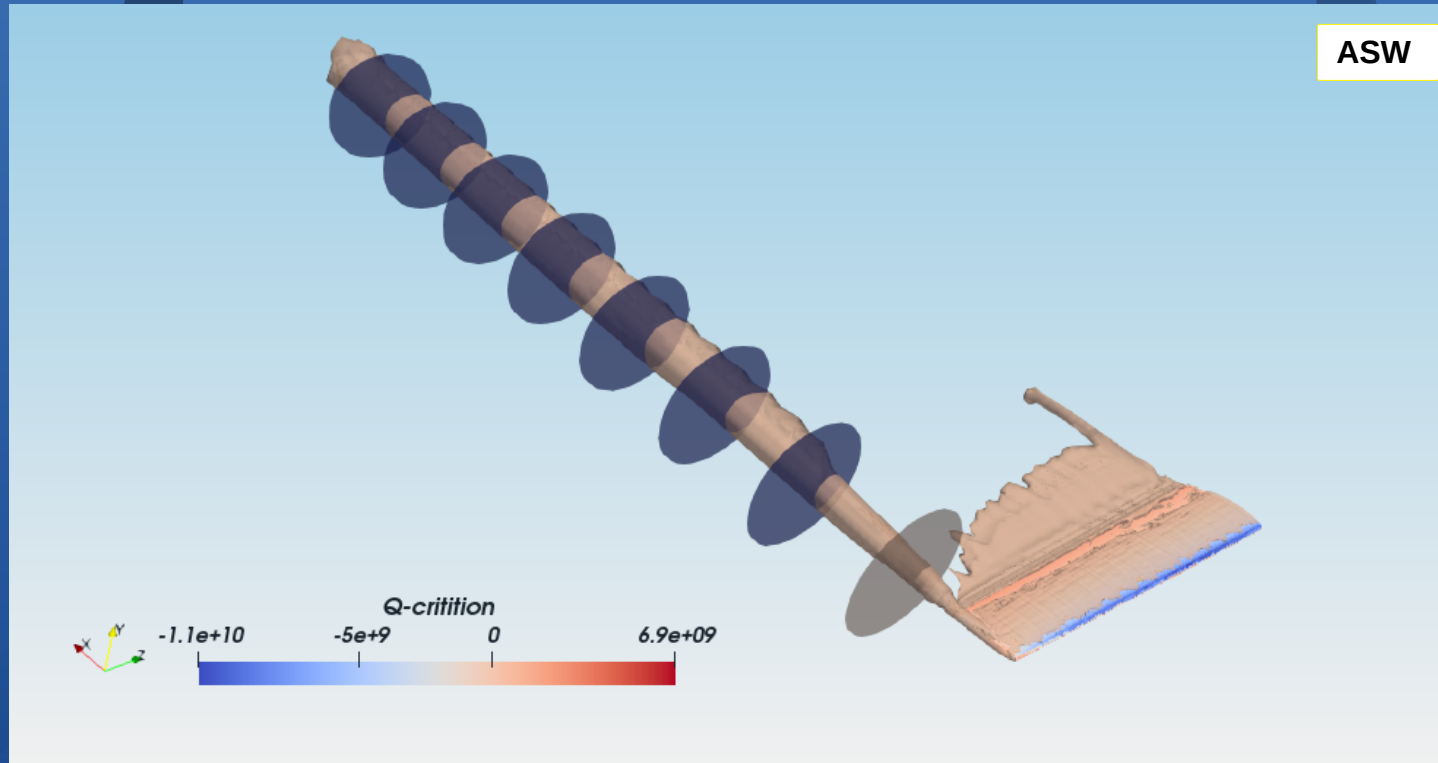
Q-Criterion

Résultats



Q-Criterion

Résultats

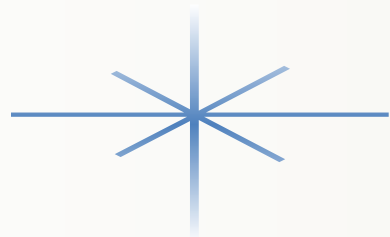


Q-Criterion

Conclusion

Les résultats que nous avons trouvés nous confirment l'importance de l'utilisation des winglets. En effet, la présence de cette dernière en bout d'aile modifie la structure de l'écoulement en transportant les tourbillons vers l'extrémité de la winglet puis contribue à la portance de l'aile et diminue la traînée, ce qui entraîne une diminution de la consommation annuelle de carburant ainsi qu'une bonne gestion du trafic aérien.

Nous pouvons aussi conclure d'après nos résultats que la nouvelle winglet double spiroïdale n'est pas intéressante comparée aux autres winglets.



***Merci
de votre aimable
attention***

