

Dossier stabilité Vanguard FX09

Table des matières

Introduction.....	2
Etude CFD.....	3
Résultats CFD.....	6
Calcul $C_{n\alpha}$	7
Dimensionnement ailerons.....	8

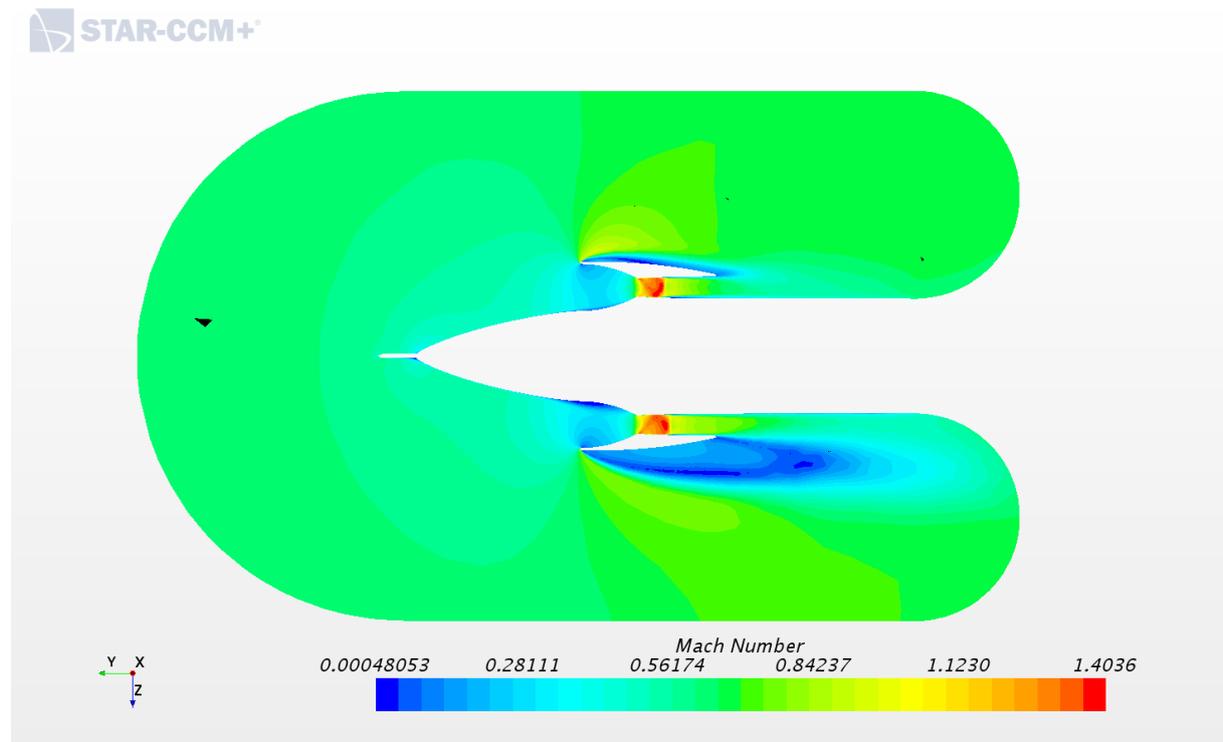


Figure 1. Nombre de Mach dans la tuyère pour une vitesse incidente de 225 m/s

Introduction

Vanguard est une fusée expérimentale embarquant une tuyère à la place de la coiffe et dont le but est de porter la vitesse du flux d'air interne à Mach 1. A cause de cette géométrie particulière il n'est pas possible d'utiliser le Stabtraj comme d'habitude puisque les valeurs du Gradient de portance $Cn\alpha$ et du Centre de portance XCp calculées par Stabtraj ne sont valables que pour des configurations de coiffe plus classiques (ogivale, parabolique, conique). Nous allons donc devoir calculer nous même ces deux valeurs pour les remplacer dans le StabTraj et pouvoir dimensionner nos ailerons. Pour cela nous allons effectuer plusieurs simulations de dynamique de fluide avec le logiciel StarCCM+ que nous fournit notre école. Nous allons placer notre tuyère dans un flux d'air à Mach 0,6618 soit 225m/s la vitesse maximale à laquelle nous espérons aller, avec un angle d'incidence différent pour chaque simulation. Une fois les simulations terminées, nous obtiendrons les Cx et Cz pour chaque angle d'incidence ce qui nous permettra d'avoir le $Cn\alpha$.

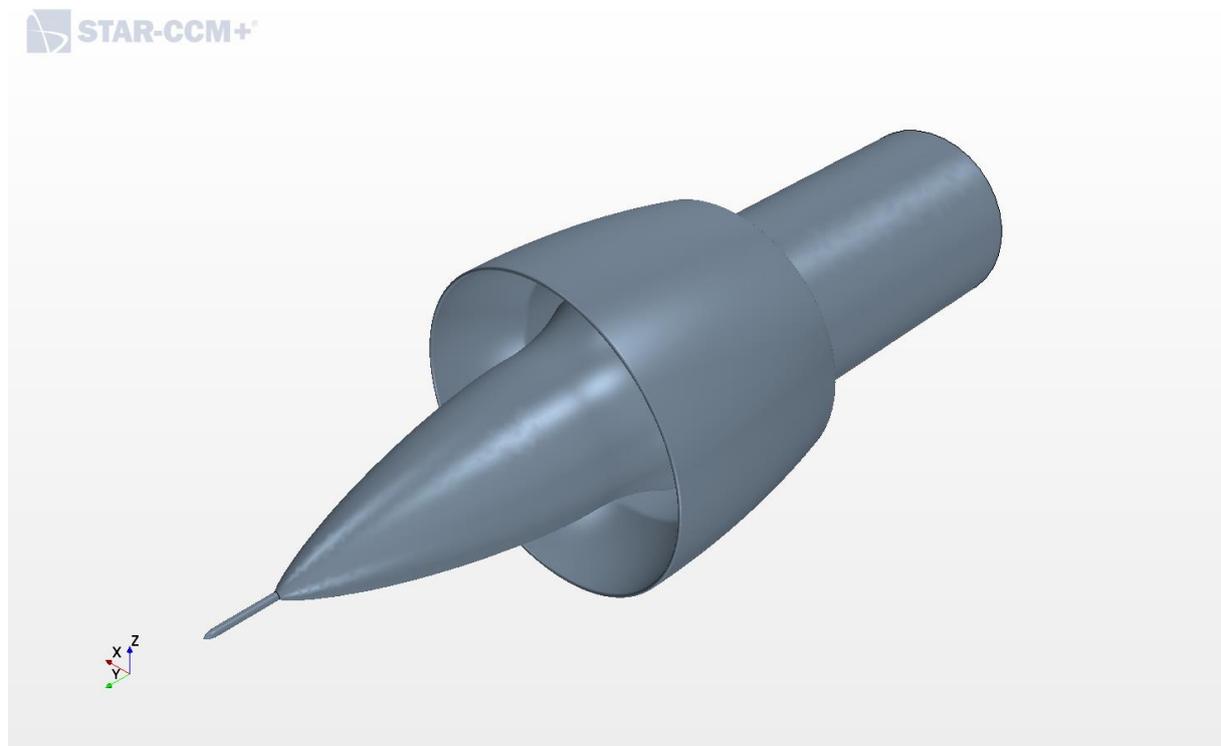


Figure 2. Modèle 3D de la tuyère importé dans StarCCM+

Etude CFD

Pour procéder à notre étude, nous avons maillé le domaine fluide autour de la coiffe tel que montré sur les figures suivantes :

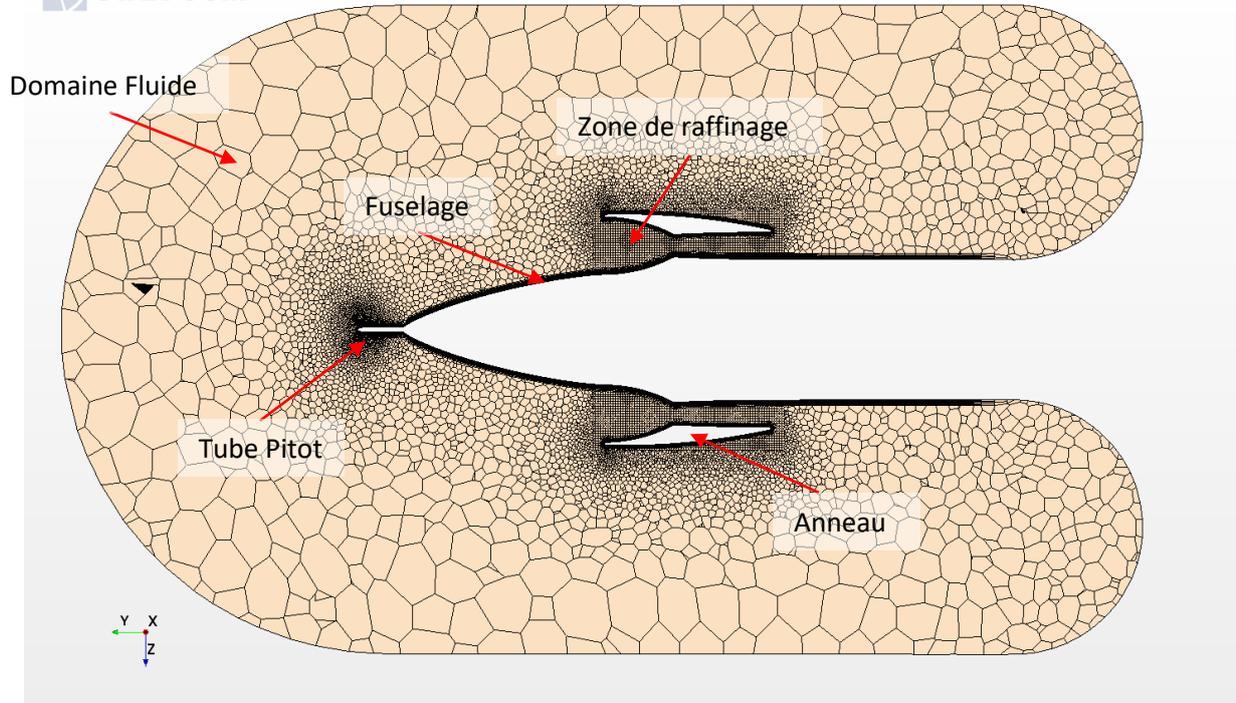


Figure 3. Maillage fluide

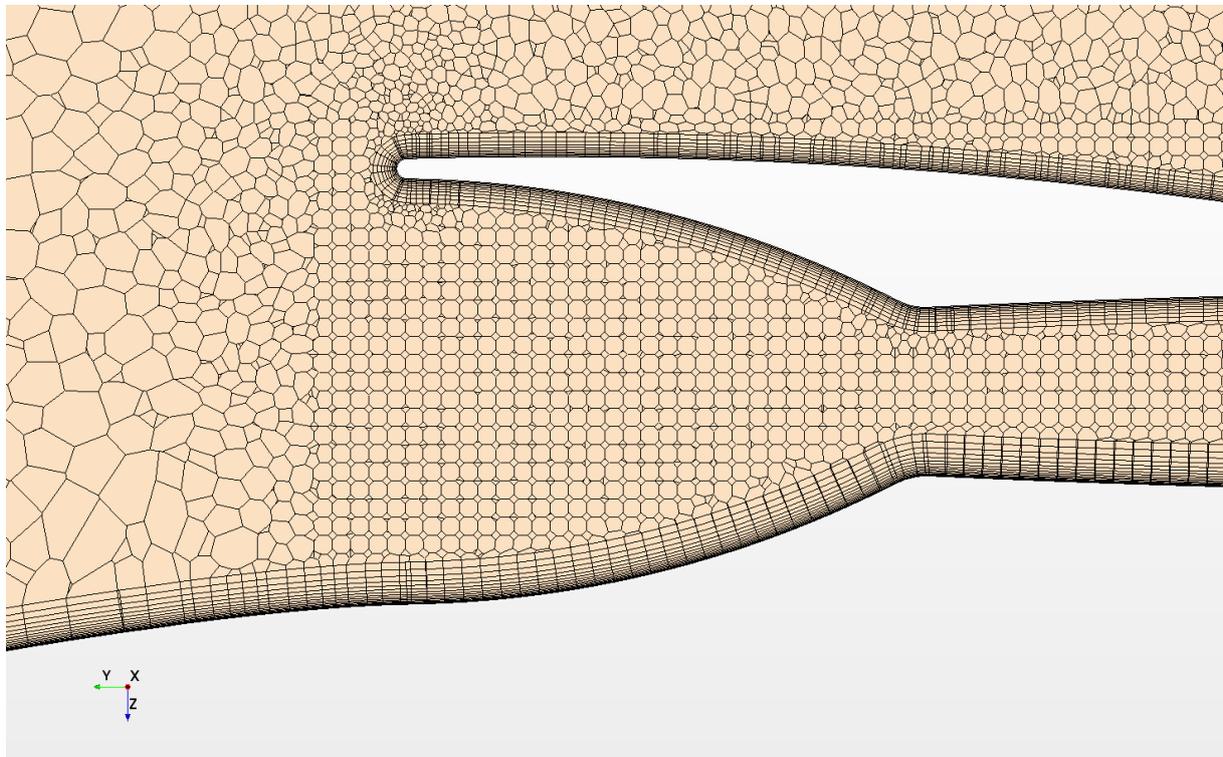


Figure 4. Raffinage au niveau de la tuyère

Les paramètres de maillage sont différents selon les zones du modèle. Ceux du domaine fluide donnent les valeurs de base, elles sont affinées au niveau de la tuyère (Zone de Raffinage) et à proximité de certaines surfaces (Anneau, Fuselage, Tube Pitot) :

Domaine fluide	
Base size (BS)	0,06 m
Minimum surface size	10 % BS
Surface growth rate	1,2

Zone de Raffinage	
Custom size	3% BS

Anneau	
Surface size	37% BS
Number of prism layers	10
Prism layer stretching	1,2
Prism layer total thickness	4% BS
Minimum surface size	0,5% BS

Fuselage	
Surface size	15% BS
Number of prism layers	15
Prism layer stretching	1,2
Prism layer total thickness	7% BS
Minimum surface size	5% BS

Tube Pitot	
Surface size	2% BS
Number of prism layers	10
Prism layer stretching	1,2
Prism layer total thickness	4% BS
Minimum surface size	0,4% BS

Le maillage est validé par l'indicateur Wall Y+ de StarCCM+. Cette grandeur sans dimension permet de quantifier la qualité du maillage. Un Y+ inférieur à 100 indique globalement que le maillage est suffisamment fin pour calculer correctement les phénomènes visqueux à proximité d'une paroi. Le Y+ est donné par :

$$y^+ = \frac{y \cdot u_T}{\nu}$$

Avec :

y la distance par rapport à la paroi

u_T la vitesse de frottement

ν la viscosité cinématique

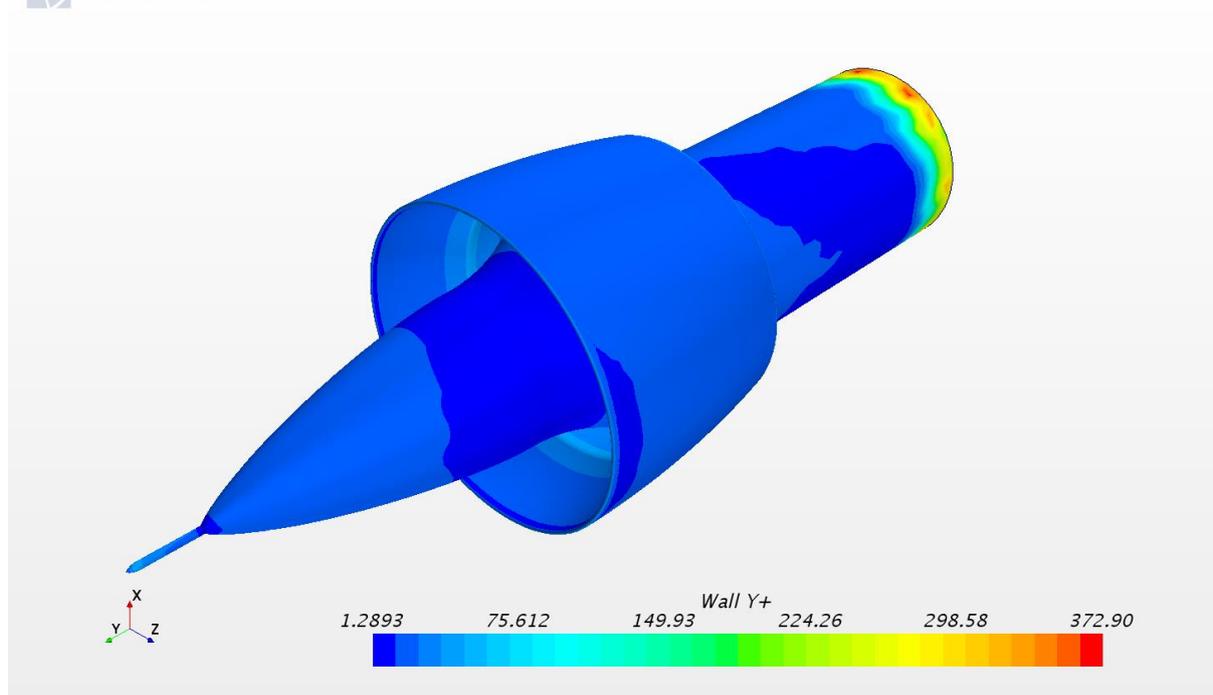


Figure 5. Indicateur Wall Y+ sur la paroi du modèle

Dans notre cas, le Y+ est inférieur à 75 sur la plus grande partie du modèle. Seul le bout du tube, qui ne nous intéresse pas pour nos calculs, est mal maillé.

Résultats CFD

Pour chaque simulation, nous affichons les résidus et les valeurs des Cx et Cz. Des calculs sont faits pour les valeurs d'incidence suivantes : $\alpha = 0 ; 2 ; 5 ; 7 ; 10 ; 12.5 ; 15$ et 20° . Pour chaque calcul, nous attendons que le plus haut résidu soit inférieur à 10^{-2} et que les Cx et Cz convergent vers une valeur.

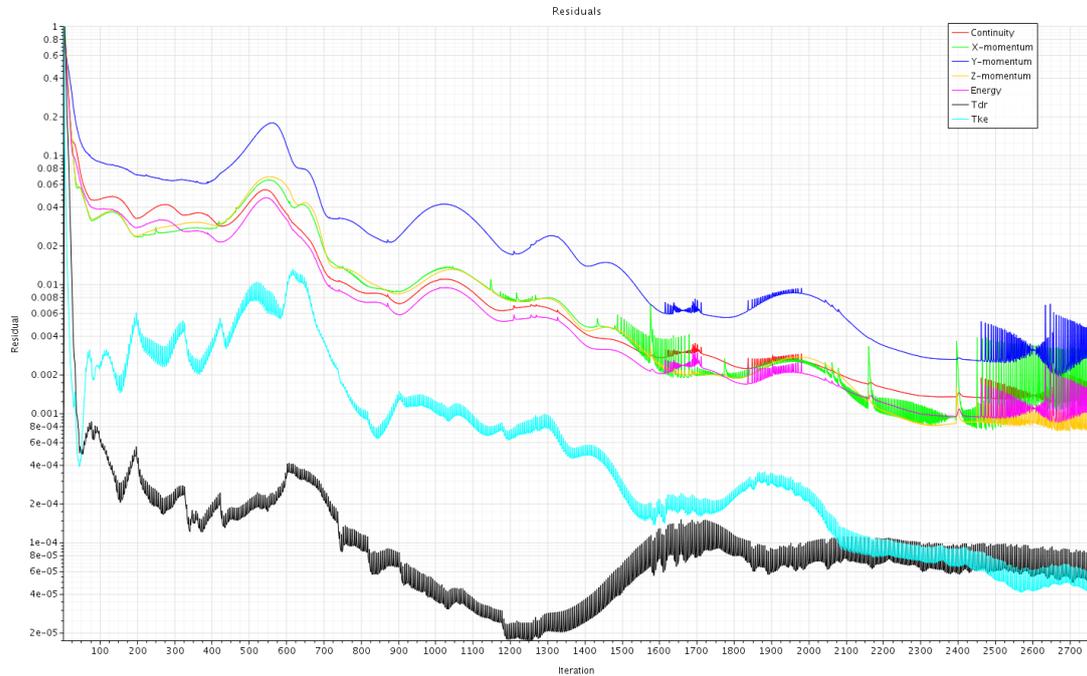


Figure 6. Résidus pour le calcul avec $i=5^\circ$

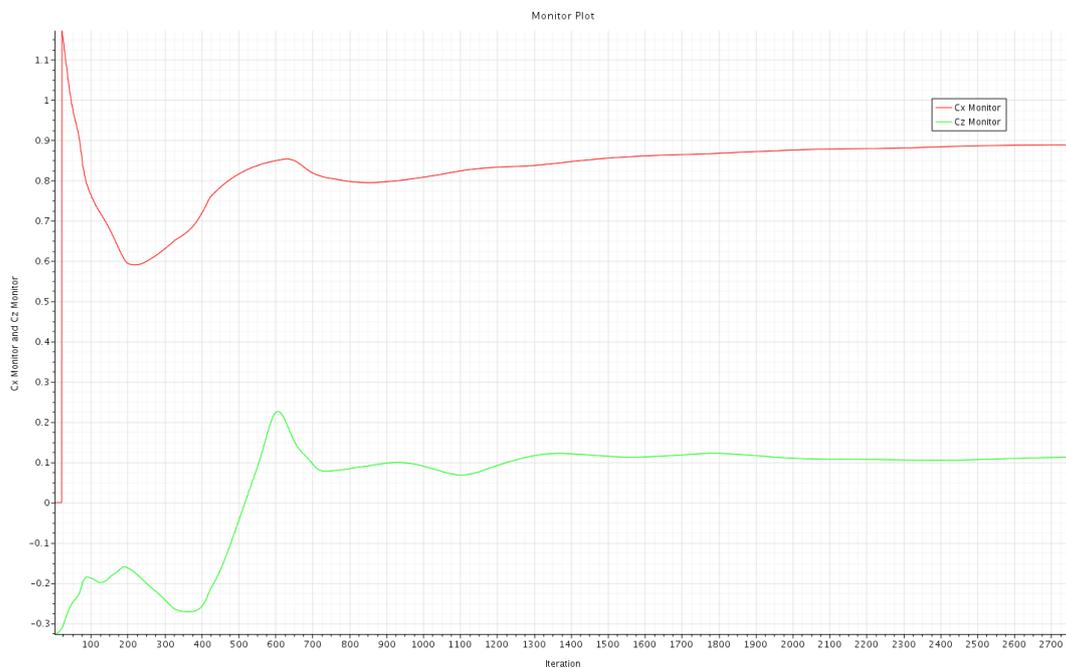


Figure 7. Evolution de Cx et CZ pour le calcul avec $i=5^\circ$

Une fois les calculs terminés, nous avons une liste de Cx et de Cz. Il faut noter que ces valeurs sont prises par rapport à la surface frontale de la tuyère, qui est plus grande que la surface du tube que StabTraj prend comme référence, il convient donc que les convertir avec la bonne référence.

Calcul $Cn\alpha$

Le gradient de portance $Cn\alpha$ est défini comme la pente de la courbe représentant le coefficient de portance normale d'un corps par rapport à son incidence (cf Document « Le Vol de la Fusée, Stabilité et Trajectographie » édité par Planète Science, 2008). Ce gradient est en général constant pour de petites variations d'incidence puisque la courbe Cn / α est linéaire jusqu'à $i=30^\circ$ environ.

Avant de tracer cette courbe nous devons convertir les Cx et Cz obtenus car comme dit précédemment, ils sont donnés par rapport à la surface frontale de la tuyère ($0,0163587 \text{ m}^2$) et non par rapport à la surface du tube ($0,00865901 \text{ m}^2$). Une fois cette correction faite, nous projetons Cx et Cz pour obtenir Cn . Nous pouvons alors tracer la courbe Cn / α avec α en radians :

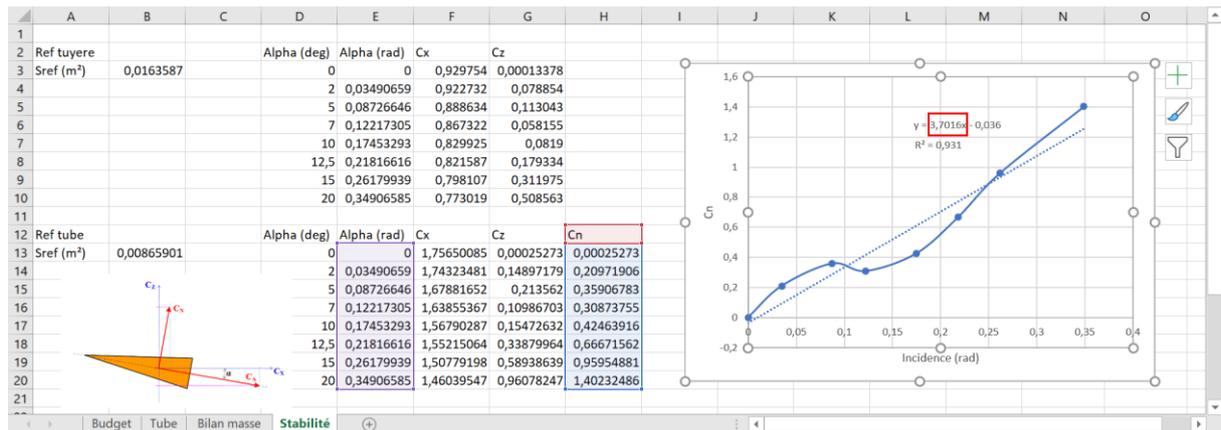


Figure 8. Tableau de calcul et courbe Cn/α

Une interpolation linéaire nous permet d'obtenir la pente de cette courbe et donc le $Cn\alpha$: 3,7. Le R^2 de 0,93 indique que cette interpolation est plutôt fiable.

Le positionnement du centre de portance est lui plus complexe puisqu'il dépend de l'incidence. Pour cette raison nous n'avons pas de valeur exacte de sa position. En temps qu'estimation du XCp , nous avons cherché pour $\alpha=2^\circ$ la point autour duquel la résultante aérodynamique générant un moment proche de zéro. En tâtonnant nous avons fini par trouver le point (0 ; -0,0307 ; 0).

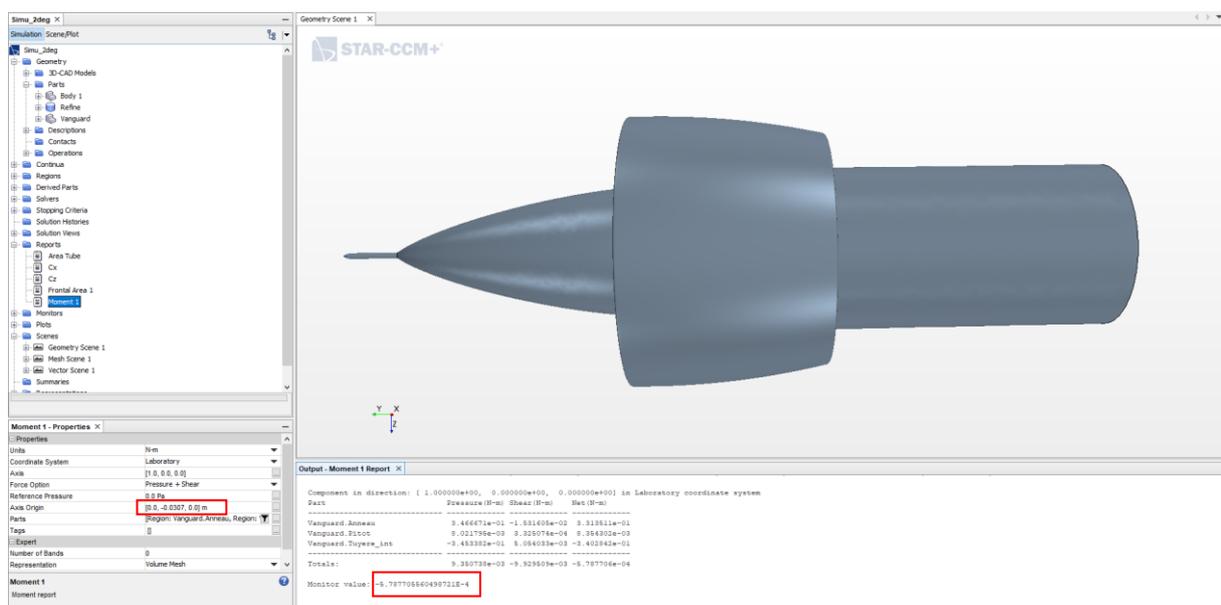


Figure 9. Calcul du moment autour du supposé centre de portance

L'origine du repère étant sur le plan d'entrée de la tuyère, et l'ogive faisant 15cm, nous avons donc pour $\alpha=2^\circ$ un centre de portance à 18,07cm du haut de l'ogive. Puisque cette donnée est peu fiable en plus d'être variable, nous allons prendre de grosses marges lors du dimensionnement des ailerons.

Dimensionnement ailerons

Pour le dimensionnement des ailerons, nous allons simplement utiliser Stabtraj. Nous avons juste à modifier les valeurs de $Cn\alpha$ et XCp par celles que nous avons calculées (après avoir ôté la protection de la feuille de calcul). Après avoir placé notre centre de masse, on trouve des dimensions d'ailerons qui nous rendent stables en tâtonnant comme d'habitude :

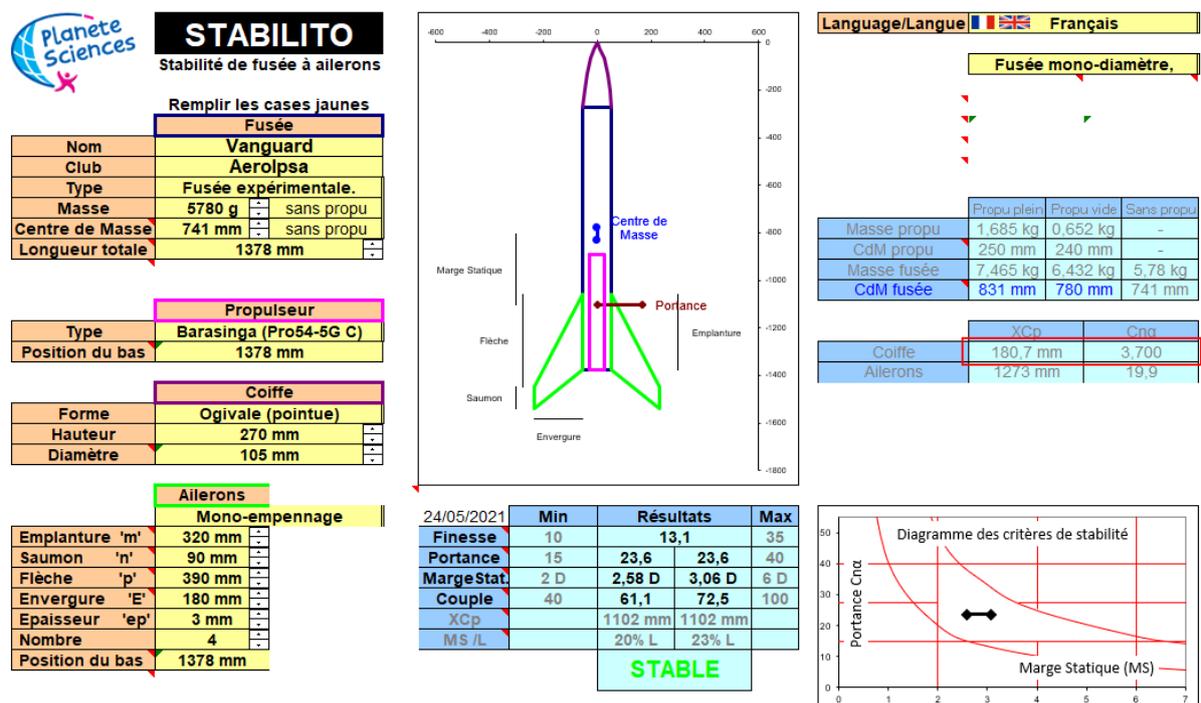


Figure 10. Stabtraj avec XCp et $Cn\alpha$ de la coiffe modifiés

Comme expliqué précédemment, nous sommes très peu confiants quant à la position XCp du centre de portance. Nous allons donc procéder par encadrement et vérifier si nous sommes stables avec deux XCp extrêmes : $XCp = 0\text{mm}$ ou $XCp = 270\text{mm}$. Si nous sommes stables dans ces deux conditions irréalistes (centre de portance au sommet ou à la base de la coiffe), cela permet d'être confiant sur notre stabilité quant bien même nous ignorons la position exacte du centre de portance de la coiffe.



STABILITO

Stabilité de fusée à ailerons

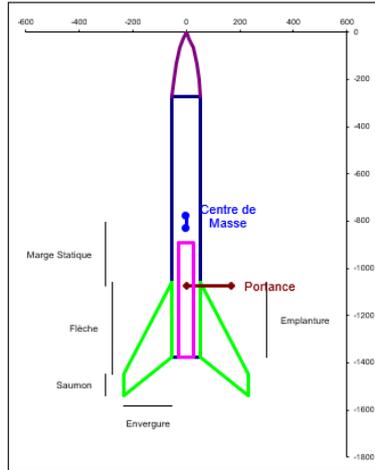
Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	Vanguard
Club	Aerolpsa
Type	Fusée expérimentale.
Masse	5780 g sans propu
Centre de Masse	741 mm sans propu
Longueur totale	1378 mm

Propulseur	
Type	Barasinga (Pro54-5G C)
Position du bas	1378 mm

Coiffe	
Forme	Ogivale (pointue)
Hauteur	270 mm
Diamètre	105 mm

Ailerons	
Mono-empennage	
Emplanture 'm'	320 mm
Saumon 'n'	90 mm
Flèche 'p'	390 mm
Envergure 'E'	180 mm
Épaisseur 'ep'	3 mm
Nombre	4
Position du bas	1378 mm



24/05/2021	Min	Résultats	Max
Finesse	10	13,1	35
Portance	15	23,6	23,6
MargeStat	2 D	2,31 D	2,80 D
Couple	40	54,7	66,1
XCp		1074 mm	1074 mm
MS /L		18% L	21% L

STABLE

Language/Langue Français

Fusée mono-diamètre,

	Propu plein	Propu vide	Sans propu
Masse propu	1,685 kg	0,652 kg	-
CdM propu	250 mm	240 mm	-
Masse fusée	7,465 kg	6,432 kg	5,78 kg
CdM fusée	831 mm	780 mm	741 mm

	XCp	Cna
Coiffe	0,0 mm	3,700
Ailerons	1273 mm	19,9

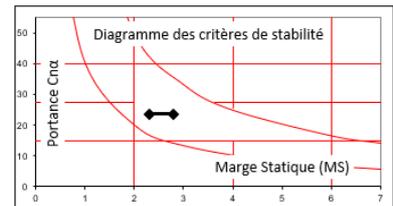


Figure 11. Stabtraj avec $XCp=0mm$



STABILITO

Stabilité de fusée à ailerons

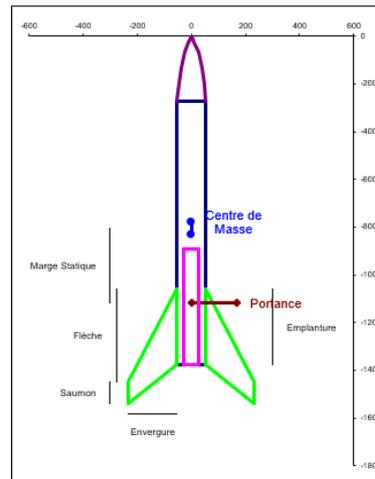
Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	Vanguard
Club	Aerolpsa
Type	Fusée expérimentale.
Masse	5780 g sans propu
Centre de Masse	741 mm sans propu
Longueur totale	1378 mm

Propulseur	
Type	Barasinga (Pro54-5G C)
Position du bas	1378 mm

Coiffe	
Forme	Ogivale (pointue)
Hauteur	270 mm
Diamètre	105 mm

Ailerons	
Mono-empennage	
Emplanture 'm'	320 mm
Saumon 'n'	90 mm
Flèche 'p'	390 mm
Envergure 'E'	180 mm
Épaisseur 'ep'	3 mm
Nombre	4
Position du bas	1378 mm



24/05/2021	Min	Résultats	Max
Finesse	10	13,1	35
Portance	15	23,6	23,6
MargeStat	2 D	2,72 D	3,20 D
Couple	40	64,2	75,6
XCp		1116 mm	1116 mm
MS /L		21% L	24% L

STABLE

Language/Langue Français

Fusée mono-diamètre,

	Propu plein	Propu vide	Sans propu
Masse propu	1,685 kg	0,652 kg	-
CdM propu	250 mm	240 mm	-
Masse fusée	7,465 kg	6,432 kg	5,78 kg
CdM fusée	831 mm	780 mm	741 mm

	XCp	Cna
Coiffe	270,0 mm	3,700
Ailerons	1273 mm	19,9

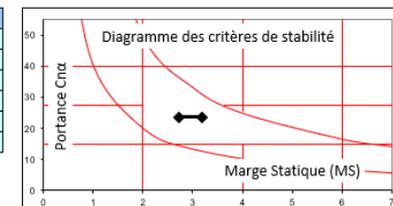


Figure 12. Stabtraj avec $XCp=270mm$

Nous voyons que nous sommes stables dans les deux conditions, donc la fusée est bien stable.

Dans le cas où lors des contrôles avant vol le centre de masse n'est pas à l'endroit prévu, nous avons possibilité de le déplacer en diminuant ou en augmentant le lest situé dans la coiffe.