



Projet MULTITUB'

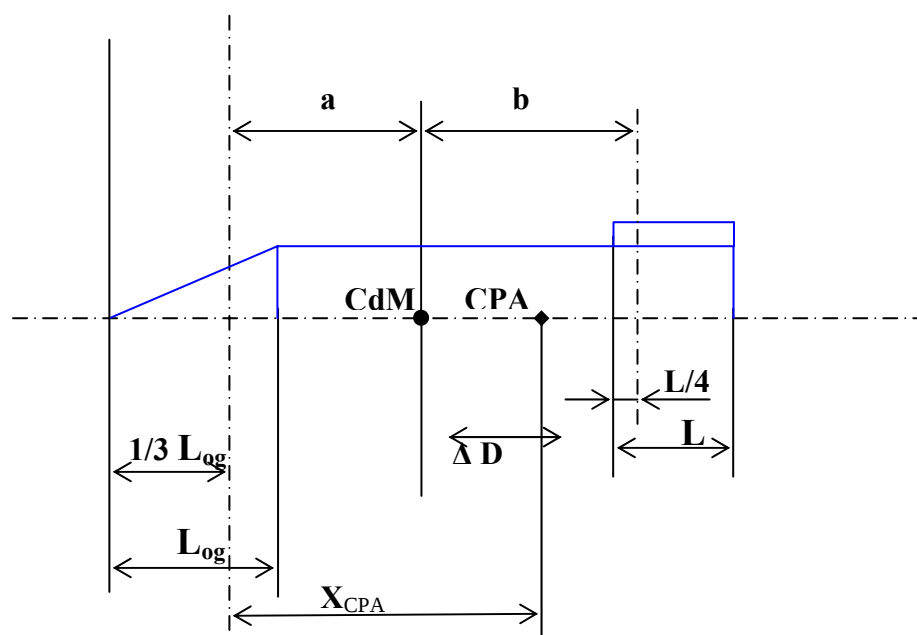
Version du 20/03/2008

EXPLOITATION DES VOLS DE FUSÉES À AILERONS MULTITUBULAIRES

La réflexion suivante permet de sérier les paramètres influençant la stabilité du vol.
Ces paramètres sont :

→ d'une part, ceux qui définissent la forme extérieure de la fusée (on pourrait les appeler *paramètres de silhouette*) : ce sont ces paramètres qui vont déterminer l'emplacement du Centre de Poussée Aérodynamique ou CPA

→ d'autre part, les paramètres de centrage des masses (position du Centre des Masses sur la silhouette).



Effectuons la balance des Portances, c-à-d l'équilibre des moments autour du **CPA** (voir à ce sujet notre grand texte [La Stabilité Intuitive](#)). Pour ce faire, on doit écrire :

$$X_{CPA} * S_{nOg} = [(a + b) - X_{CPA}] n S_{nAile}$$

X_{CPA} étant le bras de levier de la Portance de l'ogive par rapport au **CPA**

S_{nOg} étant la surface équivalente de Portance de l'ogive

n étant le nombre efficace d'aileron ¹

S_{nAile} étant la surface de Portance *équivalente unitaire* d'un aileron (c-à-d d'un aileron-tube d'empennage).

a et b étant les bras de levier de la Portance de l'ogive et des tubes d'empennage par rapport au Centre des Masses de l'engin.

On tire de cette égalité, puisque S_{nOg} vaut typiquement $2S_{Og}$ ² :

$$X_{CPA} * 2S_{Og} = [(a + b) - X_{CPA}] n S_{nAile}$$

Si l'on pose, pour reprendre les notations de Barrowman :

$$\frac{S_{nAile}}{S_{Og}} = C_{nAile} \quad ^3$$

...on obtient :

$$X_{CPA} * 2 = [(a + b) - X_{CPA}] n C_{nAile}$$

... ce qui entraîne :

$$X_{CPA} = \frac{(a + b) n C_{nAile}}{(2 + n C_{nAile})}$$

Nommons à présent ΔD la distance entre le **CdM** et le **CPA** (c'est la marge statique, **D** étant le diamètre du fuselage de la fusée) ; on remarque sur le dessin que X_{CPA} vaut $a + \Delta D$.

Donc :

$$\frac{(a + b) n C_{nAile}}{(2 + n C_{nAile})} = a + \Delta D$$

¹ 2 pour un empennage de 4 ailerons

² Ceci dans les équations des Barrowman

³ C_{nAile} représentant alors la Portance du tube d'empennage rapportée à celle de l'ogive

D'où :

$$Cn_{Aile} = \frac{2(a+\Delta D)}{n(b - \Delta D)}$$

C'est ce critère de Portance de chaque tube d'empennage que nous recherchons. Il s'agit du critère de Portance des Barrowman, c-à-d qu'il est rapporté à la section de l'ogive.

Si l'on considère par exemple que la Marge Statique de **1** diamètre de fusée (**1** calibre) est la limite au-delà de laquelle la fusée révélera des problèmes de trajectoire en phase balistique, on peut écrire que le **Cn** d'ailerons des fusées qui ne révéleront pas de problèmes de trajectoire est supérieur à :

$$\frac{2(a+D)}{n(b - D)}$$

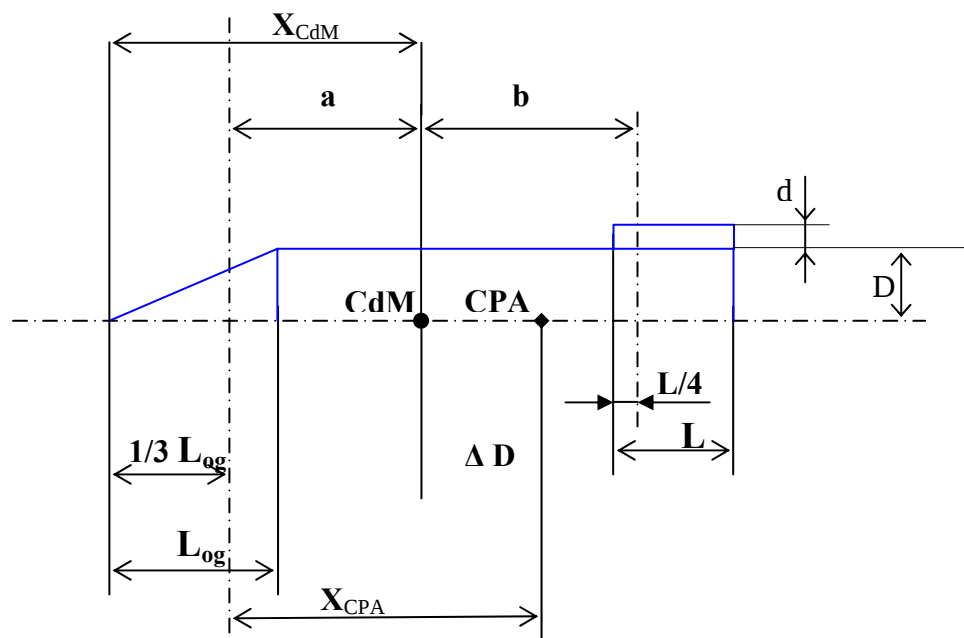
Mais d'une façon générale, le **Cn** minimum des ailerons qui assurent la stabilité de trajectoire est :

$$Cn_{Aile\ Mini} > \frac{2(a+\Delta D)}{n(b - \Delta D)}$$

avec Δ la marge statique minimum (qui peut sans doute descendre à **0,5 D**)...

Attention, dans ces calculs **n** est le nombre efficace d'ailerons (à savoir **2** dans le cas d'un empennage de **4** ailerons tubulaires).

La démarche d'exploitation des vols de fusées à empennage multitubulaire-tubulaire consistera donc à faire calculer par notre tableur ce quotient $Cn_{Aile\ Mini}$ pour chaque vol de fusée. Bien sûr, tous les vols montrant une bonne stabilité produiront un $Cn_{Aile\ Mini}$ trop fort. Ce n'est que lorsque le vol se sera montré « limite stable »⁴ que nous pourrons estimer avoir trouvé une valeur réaliste du $Cn_{Aile\ Mini}$...



Comme on devine que le critère de Portance des tubes d'ailerons dépend :

- de leur rapport d/D (rapport entre le diamètre des tubes d'empennage et le diamètre du corps de la fusée)
- de leur longueur relative L/d

... il conviendra de faire porter, pour chaque vol, par notre tableur :

- en ordonnée, la valeur du Critère de Portance minimum $Cn_{Aile\ Mini}$
- en abscisse le rapport d/D (rapport entre le diamètre des tubes d'empennage et le diamètre du corps de la fusée)

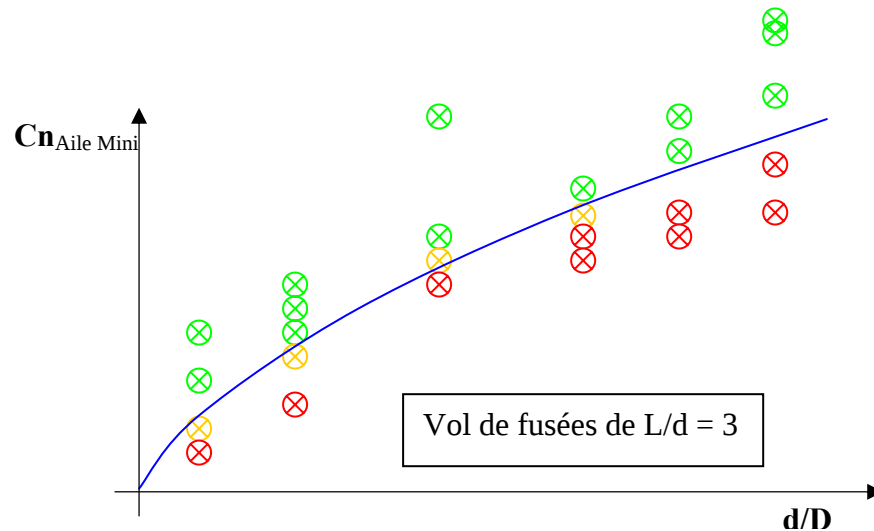
... ceci pour chaque longueur relative L/d des ailerons tubulaires...

Un travail de saisie minimum pour les hydro-fuséistes ! :

Par chance, grâce à l'usage de ce tableur, les seules données à saisir pour chaque vol seront, outre les dimensions géométriques de la fusée (D , L_{tube} , L_{Og} , d et L), la valeur X_{CdM} caractérisant le Centrage des masses de la fusée pour chaque vol (ce centrage devant évoluer depuis un vol très stable jusqu'à un vol limite stable).

⁴ L'observation de la période d'oscillations de la fusée étant sur ce point très instructive. En effet, et en simplifiant beaucoup, une fusée *surstable* montre des oscillations extrêmement brèves sur sa trajectoire, alors qu'une fusée à la limite de la stabilité montre, en fin de phase propulsive, une durée d'oscillation de l'ordre de la seconde (entre deux passages au neutre, c-à-d pour la demi-période)...

On devrait alors voir ce dessiner une constellation de points définissant la zone de stabilité et la zone d'instabilité, ceci dès lors qu'on aura pris soin de donner au point résumant chaque vol une couleur résumant la stabilité démontrée par ce vol :



Il faut d'ailleurs noter que l'étude théorique de la portance des empennages multi-tubulaires conduit à une première approche de la courbe frontière bleue ci-dessus (voir notre autre texte *Empennages multitubulaires*).

Quelles sont les raisons qui nous font penser qu'une courbe frontière devrait se dégager de la constellation de points ?

Ces raisons sont les suivantes :

→ le **Cn** de Portance Interne⁵ de chaque tube d'empennage est, dans le même rapport L/d , proportionnelle à sa section d'entrée *relative*⁶, c-à-d à d^2/D^2

→ le **Cn** de Portance Externe⁷ est, dans le même rapport L/d , proportionnelle à sa surface projetée *relative*, c-à-d à $d L/D^2$ donc aussi à d^2/D^2

→ le coefficient d'interaction Fuselage-Aileron promet d'être lié classiquement au rapport d/D , au moins pour la partie externe de la portance.

Il apparaît donc, que pour un rapport L/d donné, tous les facteurs présidant à l'évaluation du critère de portance **Cn** de nos ailerons tubulaires sont régis par le rapport d/D ...

⁵ Nous voulons dire le **Cn** caractérisant la portance qui est générée par le flux d'air passant à l'intérieur des tubes d'empennage.

⁶ Par "relative" nous voulons dire "rapportée à la section de l'ogive", selon les habitudes de fuséistes travaillant selon la méthode des Barrowman...

⁷ Le **Cn** caractérisant la Portance générée par le flux d'air passant à l'extérieur des tubes d'empennage.

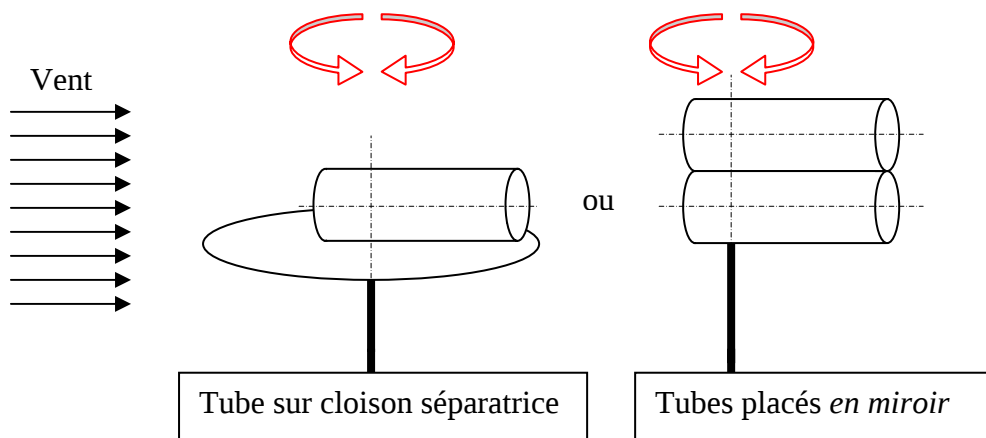
Problème du CPA propre des tubes

Le positionnement exact de la Portance sur les tubes d'empennage reste une inconnue (d'importance secondaire, cependant). Nous l'avons placée ici au quart de leur longueur, ce qui constitue une première approche.

En l'absence d'autres informations, on pourra observer le comportement des points situés près de la frontière sur le graphique symbolisé ci-dessus à l'occasion de modifications volontaires de ce positionnement de la Portance : il est possible que certains positionnements produisent une organisation plus claire de ces points.

Il est d'ailleurs probable que ce positionnement de la Portance soit différent pour chaque rapport L/d des tubes d'empennage...

Mais en tout état de cause, une étude de stabilité en soufflerie éolienne de tubes placés sur une cloison séparatrice ou disposés en miroir devrait améliorer notre connaissance de ce positionnement. :



Nous nous promettons d'ailleurs d'effectuer nous-même une étude sur ce point dans notre propre soufflerie artisanale...

Pourquoi plaçons-nous, dans la soufflerie, le tube d'empennage testé sur un disque ou en miroir avec un autre tube ?

C'est parce que les tubes d'empennage, tout comme les ailerons classiques, réagissent différemment selon que l'écoulement est libre ou limité sur l'un de leur flanc (lorsqu'ils sont placés le long d'un fuselage). Nous pensons que tester ces tubes comme montré ci-dessus doit permettre une bonne détermination du point d'application de leur portance...

Recommandation :

Afin de simplifier le traitement des données et de clarifier leur présentation, il est souhaitable de ne faire voler que des fusées à ogive conique ⁸ équipées d'ailerons tubulaires de rapport L/d entier ($L/d = 1, 2, 3$, par exemple). Le rapport d/D reste en revanche parfaitement libre...

Le fuséiste qui fera se dessiner les premiers points sur notre graphe sera un héros.

Ceux qui viendront ensuite seront des braves... Nous espérons faire en sorte que leur contribution apparaisse nominativement dans la constellation de points...

Bernard de GO MARS !
le 20/03/2008

⁸ Lorsqu'une ogive conique est raccordée au reste du fuselage par un petit arrondi, on pourra considérer que la longueur de l'ogive s'arrête au milieu de l'arrondi.
Pour les ogives non coniques, la procédure de calcul devra être différente...