

Stabilité d'une fusée

Si l'on fabrique et tire une fusée miniature en disposant des ailettes "au hasard", sans se soucier de la stabilité de la fusée, on aboutira immanquablement à l'un des trois types de vol suivants : **instable**, **stable** ou **surstable**.

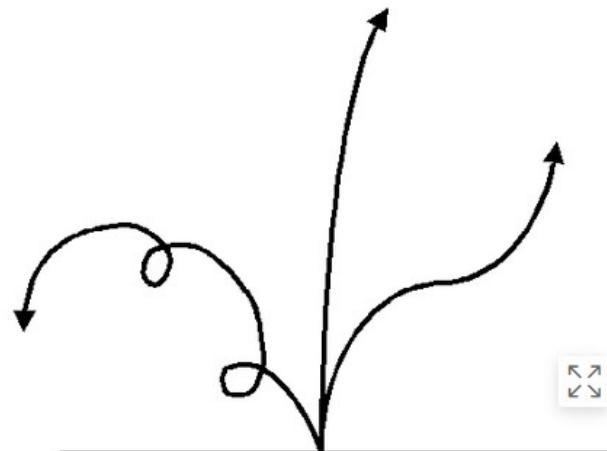
Le vol **instable**, malheureusement le plus fréquent si aucune démarche de calcul ou de vérification n'a été entreprise, peut être comparé à la trajectoire d'un ballon gonflable mais percé ou non bouché : il vole dans tous les sens ; la trajectoire est totalement imprévisible : dangereux pour la fusée et pour son environnement (dont nous faisons partie !). Il est donc à éviter absolument.

Le vol **surstable** est meilleur, sans être toutefois optimal. La fusée a trop de surface d'ailettes et ce sont ces dernières qui guident principalement le vol. Le vol est globalement rectiligne, mais l'altitude atteinte est réduite par les frottements dus à ces ailettes excessives. De nouveau, c'est à éviter.

Enfin, le vol **stable** est un vol rectiligne, régulier et qui permet à la fusée d'exploiter tout son potentiel pour atteindre l'altitude maximale.

La marge statique

La marge statique est le point clé de la stabilité en vol des fusées. Elle est définie comme la distance séparant le **centre de gravité G** du **centre de poussée C**.

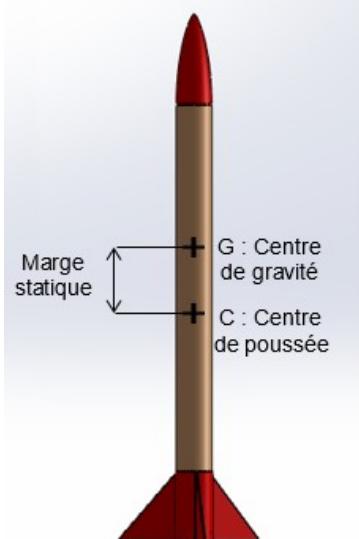


A GAUCHE, VOL INSTABLE
AU CENTRE, VOL STABLE
A DROITE, VOL SURSTABLE

Une fusée sera stable si :

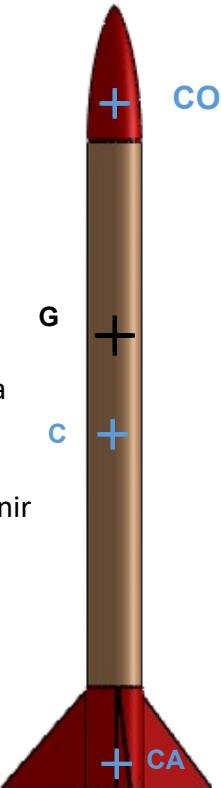
Son centre de gravité est **au dessus** de son centre latéral de poussée,
Sa marge statique est comprise entre **1 et 3 fois son diamètre moyen**
(2 fois idéalement).

Ces deux conditions doivent être vérifiées.



Afin d'assurer une stabilité de la fusée en vol, il est donc nécessaire de connaître la position précise de deux éléments fondamentaux :

- Le **centre de gravité G** (ou centre de masse) de la fusée ;
- Le **centre de poussée C** représentant le point d'application des forces aérodynamiques (traînées).



Evaluation des positions de G et de C

1) Position de G

La position du **centre de gravité G** peut être obtenue dans un premier temps à partir du modèle numérique de la fusée (CAO).

Une fois la fusée construite et assemblée, on pourra expérimentalement obtenir une position plus précise.

2) Position de C

La position du centre de poussée C peut être déterminée avec la méthode du barycentre, soit :

$$F_O \cdot \overrightarrow{CC_O} + F_A \cdot \overrightarrow{CC_A} = \vec{0}$$

Avec :

- F_O et F_A les traînées aérodynamiques dues respectivement à l'ogive et aux ailettes, exprimées en Newtons ;
- C le centre de poussée de la fusée
- C_O et C_A les points d'application de F_O et F_A (centres de poussée de l'ogive et des ailettes).

Il nous faudra donc déterminer les positions de C_O et C_A , ainsi que les valeurs de F_O et F_A pour connaître la position de C. Ces éléments peuvent être connus grâce à un logiciel de simulation de mécanique des fluides comme *Flow Simulation*.

TRAVAIL DEMANDE :

Trouver un protocole permettant de trouver F_O et F_A à l'aide de *Flow Simulation*. Expliquez votre démarche sur un fichier texte avec des copies d'écran des modèles utilisés pour les simulations.

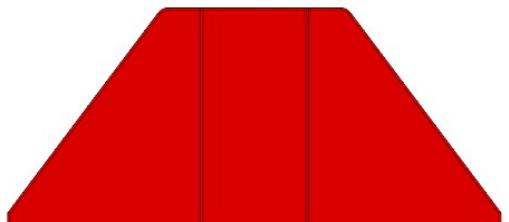
Déterminer la **marge statique** de votre fusée et vérifiez qu'elle est dans la zone recommandée pour assurer sa stabilité. Effectuez les modifications si nécessaire.

Détermination de la position du centre de poussée **C** à partir des valeurs de **F_O** et **F_A**.

La relation $F_O \cdot \overrightarrow{CC_O} + F_A \cdot \overrightarrow{CC_A} = \vec{0}$ (donnée en page précédente) donne suivant l'axe de la fusée :

$$CC_A = \frac{F_O}{F_O + F_A} \times C_A C_O$$

Position de C_A : environ au tiers de la hauteur des ailettes à partir de la base de la fusée



Position de C_O : environ à la moitié de la hauteur de l'ogive



Exemple de calcul avec F_O=6 N et F_A=12N :

$$CC_A = \frac{F_O}{F_O + F_A} \times C_A C_O$$

$$CC_A = \frac{6}{6+12} \times 550$$

$$CC_A = 183,3 \text{ mm}$$

