

## Cours : Aérodynamique

**1. Principe de base de l'aérodynamique** : L'aérodynamique est l'étude des forces générées par l'écoulement de l'air autour des objets en mouvement. Dans le cas d'une fusée, ces forces agissent directement sur sa trajectoire et sa stabilité pendant son vol. Ces forces sont constituées principalement de la traînée aérodynamique et de la portance.

- **Traînée aérodynamique** ( $F_{drag}$ ) : Il s'agit de la résistance de l'air qui ralentit la fusée. Cette force dépend de plusieurs facteurs : la forme de la fusée, la vitesse de l'air, la densité de l'air, et le coefficient de traînée ( $C_d$ ).

**Portance** ( $F_{lift}$ ) : Bien que la portance soit principalement liée aux avions, dans le cas des fusées, elle joue un rôle crucial pour maintenir la stabilité de la trajectoire. Elle est perpendiculaire à la direction du mouvement.

- **Force de propulsion** ( $F_{thrust}$ ) : Bien que non aérodynamique à proprement parler, la propulsion est une force fondamentale qui permet de compenser la traînée et de maintenir l'accélération.

**2. Equation de la traînée**  $F_{drag} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$  où  $F_{drag}$  est la force de traînée,  $C_d$  le coefficient de traînée,  $\rho$  la densité de l'air,  $A$  la surface frontale, et  $v$  la vitesse.

**3. Effets lors du lancement** : Lors du lancement, la fusée subit une forte traînée en raison de la densité élevée de l'air. Cette traînée ralentit la fusée, mais elle peut être minimisée par l'optimisation de la forme aérodynamique de la fusée.

**4. Effet de la vitesse et de l'altitude** : À faible altitude, la densité de l'air est plus importante, ce qui génère une plus grande traînée. À mesure que la fusée prend de l'altitude, la densité diminue, ce qui réduit progressivement la résistance aérodynamique. C'est pourquoi la fusée subit une accélération plus marquée après avoir traversé les premières couches de l'atmosphère.

## Cours : Propulsion

**1. Définition et principe** : La propulsion est un élément essentiel pour donner à la fusée la vitesse nécessaire pour s'échapper de l'atmosphère terrestre. Le principe de base repose sur le fait qu'une fusée se propulse par réaction : en expulsant des gaz à haute vitesse dans la direction opposée au mouvement, la fusée avance.

- **Moteur à propergol solide** : Ce type de moteur est simple et robuste. Cependant, une fois allumé, il ne peut être éteint, présente des limitations sur le contrôle de la poussée et a un moins bon rendement. Le propergol est une combinaison de carburant et d'oxydant sous forme solide, qui brûle à une température élevée pour générer des gaz de propulsion.
- **Moteur à propergol liquide** : Ce type de moteur est plus complexe, mais offre une meilleure flexibilité. Les moteurs à carburant liquide sont utilisés dans des missions plus complexes où des ajustements de la poussée sont nécessaires pendant le vol. Ils utilisent généralement des combustibles comme le kérosène et de l'oxygène liquide.
- **Moteur ionique** : Ces moteurs, bien que beaucoup plus efficaces que les moteurs chimiques, produisent une poussée beaucoup plus faible. Cependant, cette faible poussée est suffisante pour des missions longues dans l'espace, comme celles menées vers Mars ou d'autres planètes avec des engins propulsés sur plusieurs heures, jours voire semaines.

**2. Equation fondamentale de la propulsion** : L'équation de Tsiolkovski, l'un des piliers de la propulsion spatiale, est utilisée pour déterminer la variation de la vitesse ( $\Delta v$ ) que la fusée peut atteindre en fonction de la vitesse d'éjection des gaz ( $v_e$ ) et de la masse de la fusée avant et après la propulsion :  $\Delta v = v_e \ln \frac{m_i}{m_f}$  Où  $m_i$  est la masse initiale de la fusée (avant la combustion du carburant),  $m_f$  est la masse finale (après la combustion du carburant),  $v_e$  est la vitesse d'éjection des gaz.

**3. Cycle de propulsion** : Les moteurs à propulsion sont souvent organisés en plusieurs étapes : - **Phase de lancement** : La fusée utilise la poussée maximale pour traverser les premières couches de l'atmosphère. - **Phase de vol** : Une poussée plus faible et contrôlée permet de stabiliser la trajectoire de la fusée. - **Phase d'orbite** : La fusée atteint l'orbite, et une poussée minimale est utilisée pour ajuster l'orbite.

## Cours : Charge utile

**1. Définition** : La charge utile désigne les équipements embarqués dans la fusée qui ont pour mission de réaliser l'objectif principal de la mission spatiale. Elle inclut les satellites, les instruments scientifiques, les modules de communication, ou encore les rovers. Ce terme exclut la fusée elle-même et son carburant, et se concentre sur les éléments qui sont destinés à effectuer un travail dans l'espace.

**2. Importance de la charge utile** : La charge utile est essentielle car elle représente la raison d'être de chaque mission spatiale. Selon le type de mission (exploration spatiale, télécommunications, observation de la Terre, etc.), le design de la charge utile varie considérablement. Par exemple, un satellite de télécommunications nécessitera des antennes et des systèmes de communication sophistiqués, tandis qu'un rover martien aura besoin de caméras et de bras robotiques.

**3. Optimisation de la charge utile** : L'optimisation de la charge utile consiste à maximiser son efficacité tout en minimisant son poids, car une charge plus lourde requiert plus de carburant et plus de puissance de propulsion. Pour ce faire, les ingénieurs utilisent des matériaux légers et résistants, et les systèmes embarqués sont conçus pour être compacts et modulaires.

**4. Gestion de la charge utile pendant le vol** : Une fois la fusée lancée, la charge utile doit être protégée contre les forces et les conditions extrêmes du lancement. Cela inclut des protections contre les vibrations, la chaleur générée lors du passage dans l'atmosphère, ainsi que des systèmes de contrôle pour maintenir une température et une orientation optimales.

## Construire et tester une fusée à eau

### ■ Matériaux nécessaires :

- Une bouteille en plastique (1,5 L ou 2 L).
- Du carton rigide ou du plastique pour les ailettes.
- Un cône (fait en papier, carton, plastique ou haut de bouteille).
- Ruban adhésif solide.
- Une pompe avec un bouchon adapté (ou lanceur de fusée à eau).
- Eau (environ 1/3 du volume de la bouteille).

### ■ Étapes de fabrication :

- 1 Préparer la bouteille** : Nettoyez et retirez l'étiquette de la bouteille. La bouteille servira de corps principal de la fusée.
- 2 Fixer les ailettes** : Découpez 3 ou 4 ailettes identiques dans le carton/plastique. Fixez-les symétriquement autour de la base de la bouteille avec du ruban adhésif pour stabiliser le vol.
- 3 Ajouter un cône** : Fabriquez un cône en papier ou en plastique et fixez-le solidement sur le goulot de la bouteille pour réduire la traînée aérodynamique. Vous pouvez aussi insérer dans le cône une charge utile.
- 4 Préparer le lanceur** : Insérez le bouchon de pompe dans l'ouverture de la bouteille. Assurez-vous qu'il est bien étanche (utilisez du ruban ou un joint si nécessaire).



Figure 1. Illustration du ballon-fusée.

### ■ Lancement et tests :

- 1 Préparer le lancement** : Remplissez la bouteille avec de l'eau (environ 1/3 du volume total). Placez la bouteille sur le lanceur, ailettes vers le bas.
- 2 Effectuer le test** : Pressez la pompe pour augmenter la pression jusqu'au lancement automatique. Reculez pour éviter tout danger.
- 3 Tester différents paramètres** :
  - **Tests de stabilité en vol** : Ajustez la taille ou l'orientation des ailettes.
  - **Tests de charge utile** : Ajoutez un petit poids ou un système (comme un parachute) pour voir son impact sur la hauteur et la trajectoire.
  - **Tests d'optimisation** : Variez le volume d'eau ou la pression pour maximiser la hauteur.
- 4 Conseils pour aller plus loin** :
  - Utilisez une caméra ou des capteurs pour analyser le vol.
  - Expérimentez avec différents matériaux pour les ailettes et le cône.
  - Organisez des compétitions pour comparer vos résultats avec d'autres fusées !

## Bloc 5 : Exercice

**1. Calcul de la vitesse finale d'une fusée** : En utilisant l'équation de Tsiolkovski, calculez la vitesse finale ( $\Delta v$ ) d'une fusée qui a une masse initiale de 500 kg et une masse finale de 300 kg, avec une vitesse d'éjection des gaz de 2500 m/s.  $\Delta v = I_{sp} \cdot g_0 \cdot \ln \left( \frac{m_{initiale}}{m_{finale}} \right)$

**2. Estimation de la traînée aérodynamique** : Calculez la traînée ( $F_{drag}$ ) exercée sur une fusée de forme cylindrique qui se déplace à une vitesse de 1000 m/s dans une atmosphère à une altitude de 10 km.

Utilisez un coefficient de traînée  $C_d = 0.5$  et une densité de l'air  $\rho = 0.41 \text{ kg/m}^3$ .  
 $F_{drag} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$

**3. Calcul de la poussée nécessaire pour échapper à la gravité** : Une fusée doit atteindre la vitesse de libération terrestre ( $v_{lib} = 11.2 \text{ km/s}$ ) pour échapper à la gravité. Si sa masse au décollage est de  $M_0 = 1,2$  tonnes et qu'elle utilise un moteur avec une impulsion spécifique ( $I_{sp}$ ) de 300 s, déterminez la masse de carburant nécessaire.

L'équation de la vitesse de libération est donnée par :  $v_{lib} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$  où  $G$  est la constante gravitationnelle,  $M$  est la masse de la Terre et  $R$  est le rayon de la Terre. L'impulsion spécifique et la poussée nécessaires sont reliées par l'équation de Tsiolkovski :

$$\Delta v = I_{sp} \cdot g_0 \cdot \ln \left( \frac{m_{initiale}}{m_{finale}} \right)$$

**4. Optimisation d'une orbite géostationnaire** : Une fusée doit placer un satellite en orbite géostationnaire à une altitude de 35 786 km. Calculez l'énergie nécessaire pour déplacer une charge utile de 200 kg depuis une orbite basse terrestre (200 km d'altitude) vers l'orbite géostationnaire. Considérez uniquement l'énergie potentielle gravitationnelle et négligez l'énergie cinétique pour simplifier.

L'énergie potentielle gravitationnelle est donnée par :  $E_{pot} = -\frac{GMm}{r}$  où  $G$  est la constante gravitationnelle,  $M$  est la masse de la Terre,  $m$  est la masse du satellite et  $r$  est la distance au centre de la Terre.