

Introduction : Pourquoi les fusées volent-elles ?

Une fusée fonctionne grâce au principe fondamental de la physique : le **principe d'action-réaction** (3^{ème} loi de Newton). Lorsqu'une fusée expulse des gaz à grande vitesse, ces gaz exercent une force opposée et égale sur la fusée, la propulsant vers l'avant.
Un exemple : Imaginez que vous vous tenez sur une planche à roulettes et que vous lancez une boule de bowling. Vous reculez légèrement, car la boule exerce une force en retour sur vous. C'est exactement le principe utilisé par les fusées !

Les lois de Newton et leurs applications aux fusées

1^{ère} Loi : Principe d'inertie
Une fusée reste immobile ou continue en ligne droite à vitesse constante à moins qu'une force extérieure n'agisse.
2^{ème} Loi : Relation entre force, masse et accélération
L'accélération d'une fusée dépend de la force nette agissant sur elle et de sa masse :
$$F_{\text{net}} = m \cdot a$$

où F_{net} est la force nette, m la masse, et a l'accélération. Si la masse diminue (par la consommation de carburant), l'accélération augmente.
3^{ème} Loi : Action-réaction
Lorsque des gaz sont expulsés par la fusée avec une force F_{gaz} , une force $F_{\text{poussée}}$ égale mais opposée agit sur la fusée.

Explication détaillée des forces

Lorsqu'une fusée décolle, trois forces principales agissent :

- **Poussée (T)** : Force générée par l'expulsion rapide des gaz.
- **Gravité ($W = m \cdot g$)** : Poids ou force d'attraction terrestre.
- **Traînée (D)** : Résistance de l'air.

L'équation de la force nette devient :
$$F_{\text{net}} = T - (W + D)$$

Pour décoller, la poussée T doit être plus grande que le poids W .

Le défi du décollage

Pourquoi est-il difficile de faire décoller une fusée ?

- **Masse de carburant** : Au début, la fusée contient énormément de carburant, ce qui fait que W est à sa valeur maximale.
- **Traînée élevée** : L'air dense près du sol crée une forte résistance.
- **Combustion** : Une combustion efficace est essentielle pour générer suffisamment de poussée.

Expérience pratique : Le "ballon-fusée"

Objectif : Illustrer le principe d'action-réaction à l'aide d'un ballon.
Matériel : Ballons, fil de nylon, paille, ruban adhésif.
Mise en place :

- Fixez un fil entre deux supports (chaises, mur).
- Enfilez une paille sur le fil.
- Gonflez un ballon et fixez-le à la paille.
- Lâchez le ballon et observez.



Figure 1. Illustration du ballon-fusée.

Résultats et réflexions :

- **Rôle de l'air** : L'air expulsé crée une force vers l'avant.
- **Gonflage et force** : Plus le ballon est gonflé, plus la force est grande.
- **Limites** : Comment reproduire cela dans l'espace, où il n'y a pas d'air ?

Exercices et réflexions

Exercice 1 : Forces sur une fusée
Une fusée a une poussée $T = 500$ N, une masse $m = 50$ kg et une traînée $D = 50$ N.

- **Calcul de la force nette** : Utilisez l'équation :
$$F_{\text{net}} = T - (W + D)$$

où le poids $W = m \cdot g$, avec $g = 9.8$ m/s² pour savoir si la fusée décolle.
- **Calcul de l'accélération** : À partir de F_{net} , trouvez a avec :
$$F_{\text{net}} = m \cdot a$$

Si la masse de la fusée est réduite à 25 kg, que devient l'accélération ?
- **Variation de la traînée** : Si la traînée augmente de 20%, comment cela impacte-t-il la force nette et l'accélération ?

Exercice 2 : Application de la 2^{ème} loi de Newton
Si une fusée de 2 kg atteint une accélération de 10 m/s², quelle est la poussée nécessaire ?

- **Calcul direct** : Utilisez la formule $F_{\text{net}} = m \cdot a$.
- **Cas pratique** : Ajoutez une traînée de 5 N et calculez la poussée requise.
- **Variation de l'accélération** : Calculez la poussée pour une accélération de 15 m/s². Quel est le plus efficace entre augmenter la poussée et diminuer la masse pour accélérer ?

Exercice 3 : Pourquoi une fusée ne peut-elle pas se déplacer sans carburant ?

- **Principe physique** : Expliquez pourquoi la poussée dépend de l'expulsion de gaz. Que se passe-t-il si la fusée se trouve dans l'espace sans carburant ?
- **Masse et énergie** : Pourquoi la masse du carburant joue-t-elle un rôle crucial dans la performance d'une fusée ?
- **Ressources alternatives** : Connaissez-vous des alternatives à l'utilisation de carburant dans l'espace ? Des propulsions non conventionnelles ?

Exercice 4 : Étude de cas - Fusée SpaceX Falcon 9

- **Données réelles** :
 - Masse au décollage : 549 tonnes.
 - Poussée au décollage : 7607 kN.
 - Gravité terrestre : $g = 9.8$ m/s².
- **Calculs** :
 - 1 - Calculez le poids de la fusée.
 - 2 - Calculez la force nette au moment du décollage.
 - 3 - Calculez l'accélération initiale.

Exercice avancé (facultatif) : Approfondir pour aller plus loin

Exercice 5 : Calcul d'énergie et de rendement

- **Énergie cinétique** : Une fusée atteint une vitesse de 500 m/s après 10 secondes de propulsion.
 - 1 - Calculez l'énergie cinétique acquise ($E_c = \frac{1}{2}mv^2$).
 - 2 - Quelle puissance moyenne le moteur a-t-il développée pendant ces 10 secondes ?
- **Rendement énergétique** : Si la fusée consomme 2 MJ d'énergie chimique pendant cette phase, calculez le rendement de la propulsion. Pourquoi le rendement est-il souvent inférieur à 100% ?
- **Influence de la gravité** : Répétez les calculs en incluant une perte d'énergie due au travail contre la gravité ($W = m \cdot g \cdot h$, avec $h = 100$ m). Comment minimiser ces pertes lors du lancement d'une fusée ?

Exercice 6 : Comparaison des systèmes de propulsion avancés

- **Moteur ionique vs. moteur chimique** :
 - Calculez la poussée théorique pour un moteur chimique consommant 1 kg/s de carburant, expulsé à 3000 m/s.
 - Comparez avec un moteur ionique expulsant 0.01 kg/s à 20,000 m/s.
- **Question** : Pourquoi la vitesse d'expulsion est-elle aussi importante que la masse de carburant ?
- **Étude pratique** : Quel système choisiriez-vous pour une mission habitée vers Mars ? Argumentez en termes de durée, efficacité, et contraintes de carburant.

Challenge mathématique (bonus) : Développez une expression reliant la masse initiale de la fusée, la masse de carburant, et la vitesse maximale atteinte en utilisant l'équation de Tsiolkovski :

$$\Delta v = v_e \cdot \ln \left(\frac{m_0}{m_f} \right)$$

Expliquez le rôle du **rapport de masse** (m_0/m_f) dans la conception des fusées.