

## Introduction : Pourquoi les fusées volent-elles ?

Une fusée fonctionne grâce au principe fondamental de la physique : le **principe d'action-réaction** (3<sup>ème</sup> 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<sup>ère</sup> 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<sup>ème</sup> 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  $F_{\text{net}}$  est la force nette,  $m$  la masse, et  $a$  l'accélération. Si la masse diminue (par la consommation de carburant), l'accélération augmente.

### 3<sup>ème</sup> Loi : Action-réaction

Lorsque des gaz sont expulsés par la fusée avec une force  $F_{\text{gaz}}$ , 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** :

- 1 Fixez un fil entre deux supports (chaises, mur).
- 2 Enflez une paille sur le fil.
- 3 Gonflez un ballon et fixez-le à la paille.
- 4 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.

- 1 **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/s<sup>2</sup> pour savoir si la fusée décolle.

- 2 **Calcul de l'accélération** : À partir de  $F_{\text{net}}$ , trouvez  $a$  avec :

$$F_{\text{net}} = m \cdot a$$

Si la masse de la fusée est réduite à 25 kg, que devient l'accélération ?

- 3 **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<sup>ème</sup> loi de Newton

Si une fusée de 2 kg atteint une accélération de 10 m/s<sup>2</sup>, quelle est la poussée nécessaire ?

- 1 **Calcul direct** : Utilisez la formule  $F_{\text{net}} = m \cdot a$ .
- 2 **Cas pratique** : Ajoutez une traînée de 5 N et calculez la poussée requise.
- 3 **Variation de l'accélération** : Calculez la poussée pour une accélération de 15 m/s<sup>2</sup>. 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 ?

- 1 **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 ?
- 2 **Masse et énergie** : Pourquoi la masse du carburant joue-t-elle un rôle crucial dans la performance d'une fusée ?
- 3 **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

- 1 **Données réelles** :

- Masse au décollage : 549 tonnes.
- Poussée au décollage : 7607 kN.
- Gravité terrestre :  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>.

- 2 **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

- 1 **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 ?
- 2 **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% ?
- 3 **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

- 1 **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.
- 2 **Question** : Pourquoi la vitesse d'expulsion est-elle aussi importante que la masse de carburant ?
- 3 **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.