

Introduction : Que sont les fusées à eau ?

Les fusées à eau sont des dispositifs simples et spectaculaires utilisés pour illustrer des concepts scientifiques fondamentaux. Elles fonctionnent grâce à la conversion de l'énergie potentielle d'une réserve d'eau comprimée en énergie cinétique, propulsant la fusée dans les airs.

Principe de fonctionnement :

- Une bouteille est partiellement remplie d'eau et pressurisée à l'aide d'une pompe.
- Lors de la libération, l'eau est expulsée à grande vitesse par une petite ouverture, générant une poussée.

Intérêts pédagogiques : Les fusées à eau permettent d'explorer divers concepts scientifiques et techniques, tels que :

- Les lois fondamentales de la dynamique.
- Les principes d'aérodynamique et de stabilité.
- La conversion énergétique (pression $\rightarrow$ vitesse).
- L'optimisation des performances et l'usage efficace des matériaux.

Objectifs de cette activité :

- Comprendre les paramètres influençant les performances d'une fusée à eau.
- Concevoir et tester une fusée efficace et stable.
- Développer des outils pour interpréter et analyser les résultats expérimentaux.

Est-ce l'air ou l'eau qui pousse la fusée ?

Comprendre la propulsion des fusées à eau :

La propulsion d'une fusée à eau résulte de l'interaction entre l'air comprimé et l'eau expulsée.

Voici les principes clés :

- **L'air comprimé comme source d'énergie :** L'air sous pression exerce une force sur l'eau, provoquant son expulsion rapide. C'est l'air qui fournit l'énergie nécessaire à la propulsion.
- **L'eau comme fluide de réaction :** Lorsqu'elle est expulsée, l'eau génère une poussée en réaction grâce à la troisième loi de Newton : « À chaque action correspond une réaction égale et opposée ».
- **Combinaison des deux :** La quantité d'eau influence la masse éjectée, tandis que la pression de l'air détermine la vitesse d'expulsion. Un équilibre optimal maximise la propulsion.

Conclusion : C'est l'interaction entre l'air comprimé (source d'énergie) et l'eau expulsée (moteur de réaction) qui pousse la fusée. Ces deux éléments sont donc indispensables pour un décollage réussi. Il est nécessaire de trouver le rapport parfait entre eau et air pour avoir une fusée allant haut et vite.

Expérience pratique : Construire une fusée à eau simple

Objectif : Illustrer le principe d'action-réaction à travers une fusée à eau.

Matériel : Bouteille en plastique (1,5 L), pompe à vélo avec embout, eau, bouchon percé, support incliné (ou rampe de lancement artisanale), carton ou plastique rigide pour ailettes, demi-bouteille pour le nez de la fusée.

Mise en place :

- Remplissez la bouteille avec environ 1/3 d'eau.
- Fixez un demi-dessus de bouteille (ou une autre structure conique) sur le dessus de la fusée pour améliorer l'aérodynamisme.
- Découpez des ailettes en carton ou plastique rigide et fixez-les autour de la base de la bouteille pour stabiliser la trajectoire.
- Insérez un bouchon percé au goulot de la bouteille.
- Connectez la pompe à vélo au bouchon.
- Positionnez la bouteille sur le support incliné, goulot orienté vers le bas.
- Pompez de l'air dans la bouteille jusqu'au décollage.



Figure 1. Illustration d'une fusée à eau.

Pour aller plus loin : Expérimentez avec différentes formes de nez, tailles et positions d'ailettes, ou modifiez l'angle de lancement pour optimiser la trajectoire.

Rappels théoriques

Les lois de Newton :

- 1^{ère} loi : Inertie – une fusée au repos le reste sans force extérieure.
- 2^{ème} loi : Accélération proportionnelle à la force nette :

$$F = m \cdot a$$

- 3^{ème} loi : Action-réaction – la poussée résulte de l'expulsion de l'eau.

Calculs énergétiques : L'énergie potentielle fournie par l'air comprimé est transformée en énergie cinétique de l'eau et de la fusée.

$$E = P_{\text{initial}} \cdot V_{\text{air}}$$

Exercices et réflexions sur les fusées à eau

Exercice 1 : Les éléments d'une fusée à eau

- **Rôle de l'eau :** Pourquoi l'eau est-elle utilisée comme carburant dans une fusée à eau ?
- **Les ailettes :** Quel rôle jouent les ailettes dans la trajectoire de la fusée ?
- **Nécessité d'un nez conique :** Pourquoi un nez conique est-il utilisé sur la fusée à eau ?

Exercice 2 : Effet des modifications sur la trajectoire

- **Augmentation de la quantité d'eau :** Que se passe-t-il si on augmente la quantité d'eau dans la fusée ? Comment cela affecte-t-il la hauteur atteinte et la durée de propulsion ?
- **Retrait des ailettes :** Si l'on enlève les ailettes de la fusée, que se passe-t-il pour la stabilité de la trajectoire ?
- **Nez plat versus nez conique :** Quelle forme de nez offrirait la meilleure performance ? Expliquez pourquoi.

Exercice 3 : L'impact de la pression et de la quantité d'eau

Une fusée à eau est remplie de 500 mL d'eau et lancée sous différentes pressions.

- Expliquez l'effet de la pression sur la vitesse d'éjection de l'eau et la hauteur maximale atteinte.
- Si la fusée est remplie à 30% de sa capacité, comment cela affecte-t-il la force de propulsion par rapport à une fusée remplie à 50% ?
- Pourquoi est-il important de trouver un équilibre entre la quantité d'eau et la pression pour optimiser les performances ?

Exercice avancé (facultatif) : Approfondir pour aller plus loin

Exercice 4 : Impact de la masse et de la pression sur les performances

Une fusée à eau a une masse totale de 1.5 kg, et est remplie d'eau à 60 % de sa capacité, avec une pression initiale de 4 bars.

- 1 **Trajectoire :** Que se passe-t-il si la fusée est légèrement sous-pressurisée (par exemple, 3.5 bars) ? Justifiez l'impact sur la hauteur atteinte.
- 2 **Réduction de la masse :** Si la masse de la fusée est réduite à 1.2 kg, quelle sera l'effet sur la hauteur atteinte, en supposant que la poussée reste inchangée ?
- 3 **Augmentation de pression :** Pourquoi ne pouvons nous pas dépasser 10 bars dans une fusée à eau ? Quels sont les risques et effets d'une pression de cet ordre face à une pression de quelques bars ?

Exercice 5 : Optimisation de la hauteur de vol

Une fusée à eau a une capacité de 2 L et un volume d'air comprimé de 3 L, lancée sous une pression de 4 bars.

- 1 **Calcul de la hauteur théorique :** En supposant une efficacité de 80%, calculez la hauteur théorique que la fusée atteindra en fonction de l'énergie libérée par l'air comprimé.
- 2 **Compromis entre eau et pression :** Si l'on augmente la quantité d'eau mais qu'on conserve la même pression, quelle serait l'impact sur la hauteur et la durée du vol ?
- 3 **Optimisation :** Proposez une configuration de lancement (pression et volume d'eau) qui permettrait d'atteindre la hauteur maximale pour cette fusée.

Pour aller plus loin

Maintenant que vous savez faire une fusée à eau, vous pouvez vous amuser à tester différents paramètres.

Conception :

- Modifier la forme des ailettes voire les enlever.
- Modifier la position, le nombre ou l'angle des ailettes (comme pour faire une hélice).
- Ajouter et faire varier la forme du cône du nez de la fusée.
- Modifier la sortie d'eau en agrandissant ou réduisant le diamètre de sortie.

Paramètres de lancement : Ces tests peuvent aussi être faits à l'arrêt en bloquant la fusée.

- Tirer avec différentes pressions.
- Tirer avec différentes quantités d'eau.