

# Fusées bouteilles

00.00.01

20235-03-21

Steve Prud'Homme

*Licence de documentation libre GNU :*  
<http://creativecommons.org/licenses/gnu-fdl/3.0/fr/>

# Table des matières

<b>I - Qu'est-ce qu'une fusée à eau ?</b>	<b>4</b>
1. Qu'est-ce qu'une fusée à eau ? .....	4
1.1. Le cône de nez .....	4
1.2. Les ailerons .....	5
1.3. Le lancement.....	5
1.4. Sécurité et récupération .....	6
1.5. Systèmes de soutien au lancement .....	8
1.6. Pourquoi fabriquer une fusée à eau ? .....	10
<b>II - Comment fabriquer une fusée à eau de base</b>	<b>11</b>
1. Comment fabriquer une fusée à eau de base.....	11
1.1. Une fusée de base .....	11
1.2. À quoi cela ressemblera-t-il ? .....	11
1.3. Étapes de construction.....	11
1.4. Critiquer un modèle de fusée.....	13
<b>III - Concevoir et fabriquer un système de lancement pour fusée à eau</b>	<b>14</b>
1. Concevoir et fabriquer un système de lancement pour fusée à eau.....	14
1.1. 🚶 L'importance du lanceur.....	14
1.2. 🏗 Construire votre propre lanceur.....	15
1.3. 🏭 Les deux modèles de lanceur .....	15
1.4. ⚙ Comparaison des deux modèles .....	16
1.5. 🔍 Raccordement au système de pompe .....	16
1.6. 🔑 Choix de la pompe .....	17
<b>IV - Optimiser la conception d'une fusée à eau pour maximiser la stabilité, la hauteur et la portée</b>	<b>18</b>
1. Optimiser la conception d'une fusée à eau pour maximiser la stabilité, la hauteur et la portée.....	18
1.1. ⚖ Choix de la taille (volume).....	18
1.2. ⚖ Réduction du poids.....	19
1.3. ⏵ Stabilité aérodynamique.....	19
1.4. ⚡ Trouver le centre de masse .....	19
1.5. ✎ Rôle des ailerons .....	19
1.6. 📈 Centre de masse vs centre de pression.....	20
1.7. 🖼 Estimer le centre de pression – Technique de la silhouette.....	20
1.8. 🔍 Réduire la traînée (drag).....	20
1.9. ⚛ Carénages et ajouts.....	21
1.10. 💨 La buse .....	21
1.11. 🔮 Impédance de la buse .....	22
1.12. 💧 Fusées multi-bouteilles .....	22
1.13. Parachutes .....	22
<b>V - Méthodologie de test et d'analyse des performances d'une fusée à eau</b>	<b>23</b>
1. Méthodologie de test et d'analyse des performances d'une fusée à eau... .....	23
1.1. 💡 Pourquoi tester ? .....	23
1.2. 🔎 Quoi mesurer ?.....	23

1.3.  Analyse vidéo (facultatif mais puissant).....	25
1.4.  Conseils de test .....	25
1.5.  Idées d'expériences.....	26
1.6.  Exemple de résultats simulés (graphiques du document original) :.....	26
1.7.  Fiche de test – Fusée à eau.....	26

## **VI - Principes physiques fondamentaux appliqués au fonctionnement des fusées à eau** 27

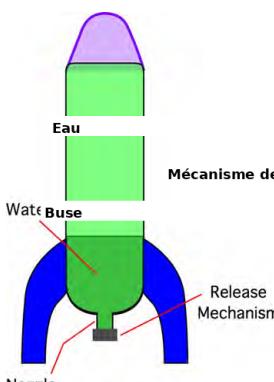
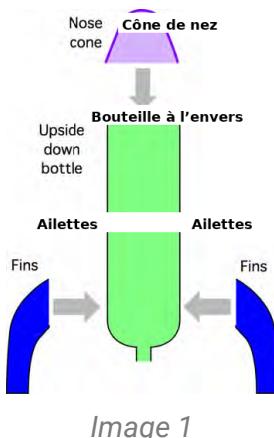
1. Principes physiques fondamentaux appliqués au fonctionnement des fusées à eau .....	27
1.1.  Les forces en jeu .....	27
1.2.  Résumé des forces.....	28
1.3.  Courbe de vitesse typique.....	29
1.4.  Formules utiles .....	29

# I Qu'est-ce qu'une fusée à eau ?

1. Qu'est-ce qu'une fusée à eau ? .....	4
1.1. Le cône de nez.....	4
1.2. Les ailerons.....	5
1.3. Le lancement.....	5
1.4. Sécurité et récupération.....	6
1.5. Systèmes de soutien au lancement.....	8
1.6. Pourquoi fabriquer une fusée à eau ? .....	10

## 1. Qu'est-ce qu'une fusée à eau ?

Une fusée à eau est, dans sa forme la plus simple, une bouteille de boisson gazeuse retournée à laquelle on a ajouté un cône de nez et des ailerons. Ces éléments transforment une simple bouteille en un objet volant fascinant et éducatif.



### 1.1. Le cône de nez

#### Az Définition

Il rend l'extrémité arrondie de la bouteille plus aérodynamique. Il peut également contenir une charge utile ou un système de parachute.

## 1.2. Les ailerons

### Az Définition

Ils assurent la stabilité en vol et donnent un caractère distinctif à chaque fusée. Placés à l'arrière et de manière symétrique, ils permettent une trajectoire fluide.

## 1.3. Le lancement

### Pour lancer une fusée à eau, il faut :

### Méthode

- Remplir la bouteille à un quart ou un tiers de son volume avec de l'eau.
- Introduire de l'air comprimé avec une pompe.
- Utiliser un mécanisme de libération pour retenir l'eau et libérer la pression au moment voulu.

### Remarque

La pression de l'air pousse l'eau hors de la buse, propulsant la fusée vers le ciel. Des vitesses de 30 m/s (environ 108 km/h) sont facilement atteintes, permettant à la fusée d'atteindre des hauteurs de plus de 30 mètres.

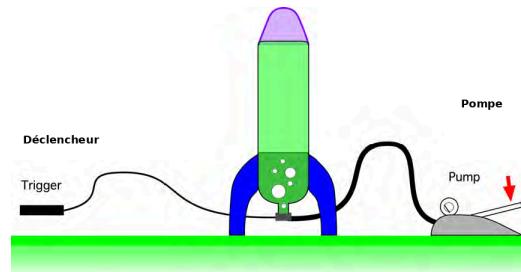


Image 3

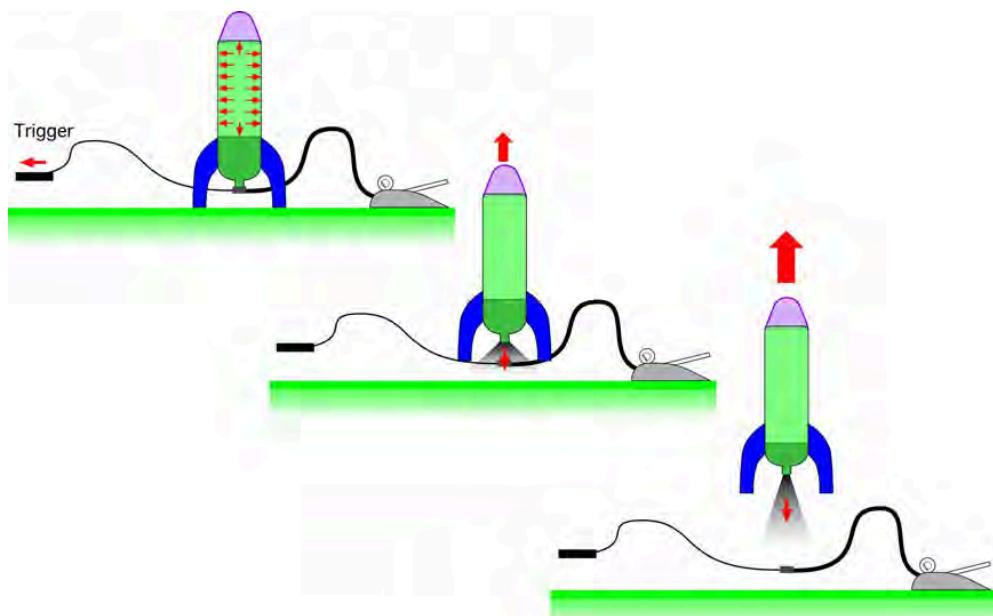


Image 4

## 1.4. Sécurité et récupération

**Lancer une fusée verticalement peut être dangereux. Deux solutions :**

 Méthode

- **Parachute** : ralentit la descente de la fusée. Toutefois, sa mise en œuvre est complexe.
- **Lancement en angle** : réduit le danger en évitant la chute verticale, mais peut poser un risque pour les personnes à proximité.

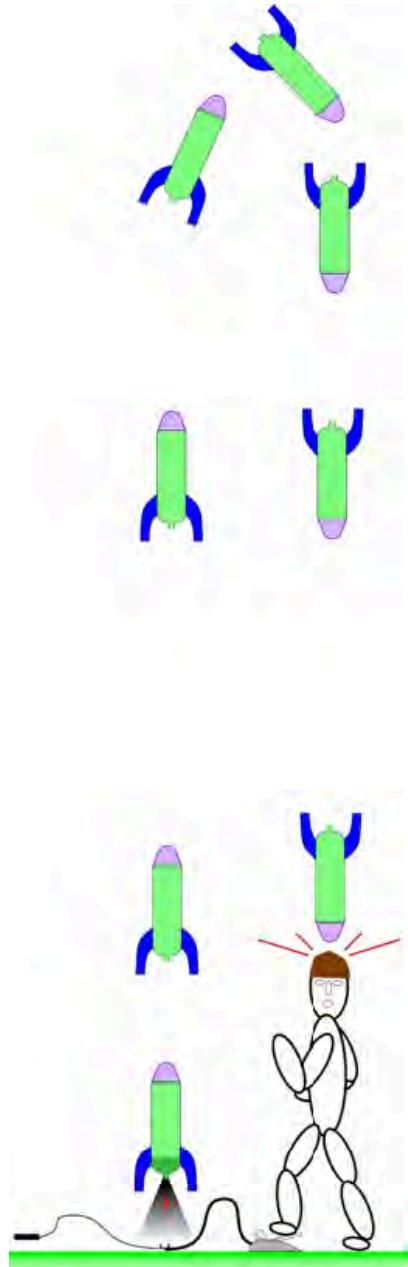


Image 5

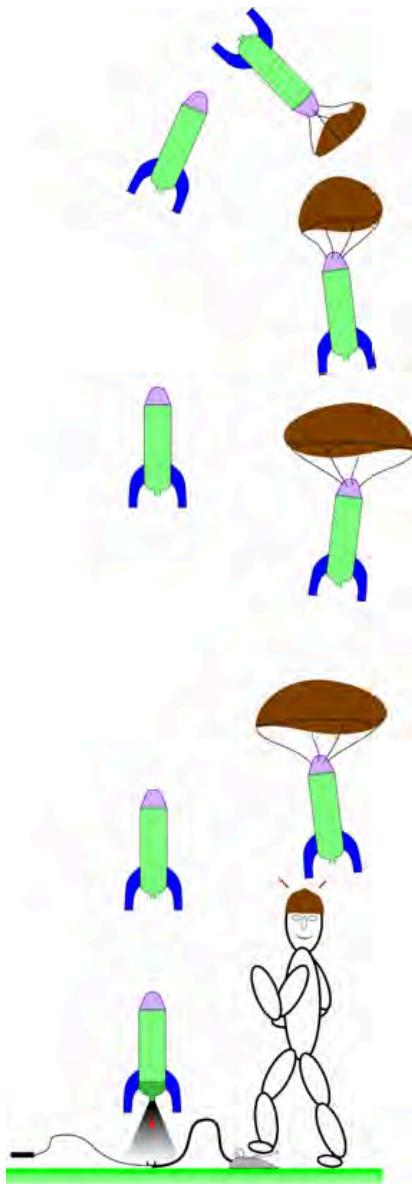


Image 6

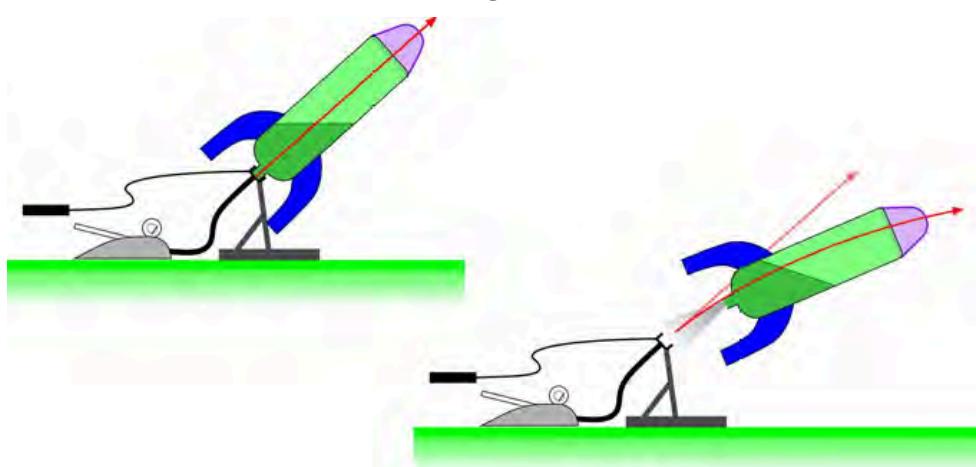


Image 7

Remarque

Avec un bon design, des distances supérieures à 100 m peuvent être atteintes.

## 1.5. Systèmes de soutien au lancement

### Rampe de lancement

Az Définition

Soutient la fusée jusqu'à ce qu'elle ait acquis une vitesse suffisante.

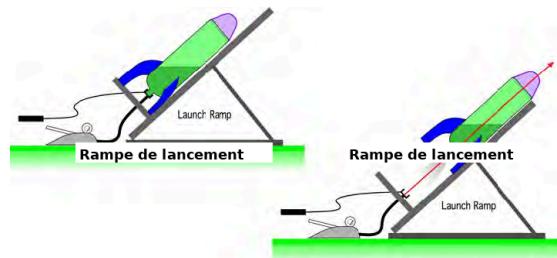


Image 8

### Tube de lancement

Az Définition

Passe à travers la buse et permet un départ en douceur, augmentant ainsi la performance.

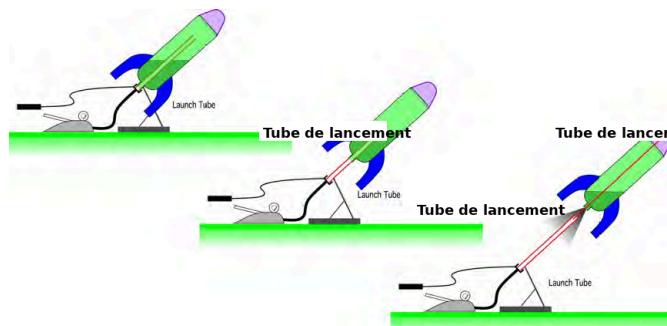


Image 9

### Aquapod

Az Définition

L'Aquapod est un **lanceur de fusée à eau** conçu pour lancer des bouteilles en plastique de 2 litres remplies partiellement d'eau à l'aide d'air comprimé. Voici un résumé de son fonctionnement :

L'Aquapod est un dispositif de lancement au sol composé d'un système de fixation (avec une cheville en U), d'un tube de lancement avec un joint torique (O-ring), d'un système de déclenchement avec une ficelle, et d'une valve pour connecter une pompe à air.



Image 10 Lanceur de fusées à eau AquaPod – Expériences scientifiques ludiques avec de l'air et de l'eau

## 1.6. Pourquoi fabriquer une fusée à eau ?

### Remarque

Parce que c'est amusant ! C'est un excellent moyen de découvrir la physique de manière pratique, de relever des défis d'ingénierie simples, et de travailler en équipe.



Image 11 Le défi : certaines équipes, leurs conceptions et leurs lancements lors du Défi des fusées à eau du NPL.

## II Comment fabriquer une fusée à eau de base

1. Comment fabriquer une fusée à eau de base.....	11
1.1. Une fusée de base.....	11
1.2. À quoi cela ressemblera-t-il ? .....	11
1.3. Étapes de construction .....	11
1.4. Critiquer un modèle de fusée.....	13

### 1. Comment fabriquer une fusée à eau de base

Dans la section précédente, nous avons vu ce qu'était une fusée à eau.

Dans cette section, nous allons voir en détail comment construire une **fusée de base** qui vole plutôt bien dans une grande variété de conditions.

La manière de lancer cette fusée est expliquée dans la section suivante.

#### 1.1. Une fusée de base

##### Liste du matériel requis

- Une **bouteille de 2 litres de boisson gazeuse** : elle constituera le corps principal de la fusée.  
⚠ N'utilisez que des bouteilles ayant contenu des boissons gazeuses : les bouteilles similaires ayant contenu des jus ou des boissons lactées ne conviennent pas.  
Les bouteilles de boisson gazeuse sont fabriquées en PET (Polyéthylène Téréphthalate), un plastique extrêmement résistant.
- Une **balle de tennis** ou une balle en caoutchouc d'environ **60 g** : elle formera la partie principale du cône de nez.
- Du **carton ondulé** ou, mieux encore, du **plastique ondulé** : pour fabriquer les ailerons.
- Du **ruban adhésif résistant**, style « Duck Tape ».
- Une **paire de ciseaux** ou un **couteau**.
- **Temps nécessaire** : entre 30 et 40 minutes.

#### 1.2. À quoi cela ressemblera-t-il ?

#### 1.3. Étapes de construction

##### a) Préparer la bouteille

###### Méthode

Prenez une bouteille de boisson gazeuse de 2 litres.

Videz-la, retirez les étiquettes, puis rincez-la à l'eau.

Des boissons très bon marché comme l'eau gazeuse ou la limonade sont idéales pour cela.

## b) Ajouter un cône de nez

### Le cône de nez

Le cône de nez doit être légèrement pointu.

Comme nous le verrons dans la section 4, il est aussi important de mettre un peu de poids à l'avant de la fusée.

#### Méthode

👉 Ma méthode préférée pour obtenir ces deux effets :

**fixer une balle de tennis** sur le goulot de la bouteille avec du ruban adhésif.

Cela n'a peut-être pas l'air très aérodynamique... mais faites-moi confiance : **ça vole très bien !**

## c) Ajouter des ailerons

Les ailerons ci-dessous ont été découpés dans un vieux panneau immobilier « À vendre ».

#### Remarque

Techniquement, ce **plastique ondulé** (connu sous le nom de Corriflute™) est imperméable et offre une excellente rigidité par rapport à son poids.

Si vous ne trouvez pas de panneaux recyclés, vous pouvez en acheter

Il existe aussi de nombreuses alternatives :

- Le **carton ondulé** fonctionne, mais il devient mou après quelques lancements.
- Certains **matériaux d'emballage** légers et rigides sont aussi bien adaptés.
- Une option populaire : découper de **vieux CD** pour en faire des ailerons.

⚠ Si vous utilisez cette méthode, couvrez les bords tranchants avec du ruban pour éviter les blessures si la fusée heurte quelqu'un.

### 👉 J'ai utilisé trois ailerons plutôt que quatre : un de moins à découper !

#### Méthode

J'ai inclus un schéma montrant les dimensions exactes utilisées, mais ce modèle n'est pas optimal.

J'aime cette forme car :

- La fusée peut **tenir debout sur ses ailerons** (pratique lors du remplissage).
- Elle ressemble un peu aux **fusées des albums de Tintin** !

Les ailerons sont simplement **collés au ruban adhésif sur la bouteille**. Ils doivent être solidement fixés pour ne pas être arrachés au lancement.

Ils seront probablement endommagés à l'atterrissement, mais ils sont faciles à réparer.

**Conseils pour les ailerons :**

- Tous les ailerons doivent être **identiques**.
- Ils doivent être placés vers **l'arrière** de la fusée.
- Ils doivent être **symétriques autour du corps** (tous les 120° s'il y en a 3, ou 90° s'il y en a 4).
- Ils doivent être **fins** quand on les regarde de face.

**i) Décorer la fusée**

Décorer et nommer votre fusée peut procurer un plaisir démesuré pour un effort minimal.

Je vous présente... **le Cornichon Volant !**

**d) Décorer la fusées bouteille****1.4. Critiquer un modèle de fusée**

Cette fusée n'est pas optimisée à bien des égards – nous verrons cela dans la section 4.

Mais on peut déjà observer quelques pistes d'amélioration :

- Elle pourrait être **plus légère**.
- Le cône de nez pourrait être **plus aérodynamique**.
- Les ailerons pourraient être **plus petits**.

Cela dit, l'aérodynamisme n'est pas mauvais, et le poids + la taille des ailerons garantissent une bonne stabilité.

En résumé : **c'est un bon point de départ**.

**Statistiques clés**

- **Volume interne** : 2 litres
- **Masse à vide** : 171 g (0,171 kg)
- **Longueur** : 45 cm (0,45 m)
- **Surface totale des ailerons** : 1200 cm<sup>2</sup>
- **Surface frontale** : 62 cm<sup>2</sup>

# III Concevoir et fabriquer un système de lancement pour fusée à eau

1. Concevoir et fabriquer un système de lancement pour fusée à eau.....	14
1.1.  L'importance du lanceur .....	14
1.2.  Construire votre propre lanceur.....	15
1.3.  Les deux modèles de lanceur.....	15
1.4.  Comparaison des deux modèles.....	16
1.5.  Raccordement au système de pompe.....	16
1.6.  Choix de la pompe.....	17

## Introduction

Dans les sections précédentes, nous avons défini ce qu'est une fusée à eau et appris à construire un modèle de base.

Mais sans un bon **système de lancement**, il est difficile, voire dangereux, de faire décoller votre fusée efficacement.

Cette section explore différents types de **lanceurs** : du système commercial aux modèles faits maison.

Vous y découvrirez les principes mécaniques, les matériaux à utiliser, et les points critiques comme le **système de déclenchement** et la **connexion au tuyau de gonflage**.

Deux modèles détaillés (avec et sans tube de lancement) vous seront proposés.

## 1. Concevoir et fabriquer un système de lancement pour fusée à eau

### 1.1. L'importance du lanceur

Les lanceurs sont **plus complexes**

à construire que les fusées elles-mêmes, et il faut souvent plus de temps pour en fabriquer un.

C'est pourquoi vous pourriez envisager d'acheter un système commercial.

Exemple

Le système de la marque **Maplin**, testé avec la fusée "The Flying Gherkin".

Ce système utilise :

- une **buse spéciale** vissée à la place du bouchon
- un **connecteur de tuyau d'arrosage**
- un **mécanisme de libération** activé par un **câble de frein de vélo**

## 1.2. 📦 Construire votre propre lanceur

### Contexte

Avant de construire mon propre lanceur, j'ai d'abord tenté de reproduire un modèle vu en ligne... qui n'a pas bien fonctionné.

Voici donc deux conceptions fiables, créées par des passionnés de la NPL :

- **Modèle A** : sans tube de lancement
- **Modèle B** : avec tube de lancement

(Il existe de nombreuses variantes possibles, mais celles-ci sont largement éprouvées.)

## 1.3. 🏠 Les deux modèles de lanceur

### a) Modèle A – Sans tube de lancement

Créé par **Jaco Stander**, basé sur le concept du **lanceur à colliers de serrage (tie wraps)** d'Ian Clark.

Matériaux :

- Tubes de plomberie en cuivre de **15 mm**
- Raccords de plomberie
- Soudure ou assemblages mécaniques (compression ou « push-fit »)

#### Attention

#### ⚠️ Attention

⚠️ Il faut **poncer le filetage** du col de la bouteille pour que les colliers tiennent correctement.

#### Étapes :

#### 📌 Méthode

- La bouteille est insérée dans un adaptateur de plomberie.
- Un joint torique assure l'étanchéité.
- Des colliers de serrage maintiennent la bouteille en place.
- Une pièce en plastique coulisse pour libérer la fusée au moment voulu.

#### Limite

#### 💬 Remarque

Le goulot est le seul point de support → risque d'affaissement, surtout avec des fusées lourdes.

✓ Solution : Ajouter une **rampe** ou adopter le modèle B.

### b) Modèle B – Avec tube de lancement

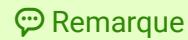
Conçu par **Dave Lowe**.

Utilise :

- Tube en plastique de plomberie standard de **22 mm**
- Tube de trop-plein de **21,5 mm**
- Raccords « push-fit »

**Étapes :**

- Percer un trou de **22 mm** au centre d'un bouchon de bouteille.
- Faire glisser ce bouchon modifié sur le tube de lancement.
- Ajouter un **joint torique** pour assurer l'étanchéité.
- Appliquer un peu d'**huile ou de graisse** si nécessaire pour faciliter le glissement.
- Ajouter les colliers de serrage et un tube coulissant comme pour le modèle A.

**Avantages :**

👉 Le tube de lancement apporte deux avantages :

- Soutient le poids de la fusée avant le lancement
- Permet une **accélération initiale sans perte d'eau**, ce qui améliore les performances

**1.4. 🌐 Comparaison des deux modèles**

Élément	Modèle A	Modèle B
Type de tubes	Cuivre 15 mm	Plastique 22 mm / 21,5 mm
Soutien au lancement	Goulot uniquement	Tube interne
Performance	Bonne	Supérieure grâce au "démarrage mobile"
Difficulté de fabrication	Moyenne à élevée (soudure)	Moyenne (perçage + ajustements)
Sécurité et stabilité	Moins stable	Plus stable

Comparaison des deux modèles

**1.5. 🛠 Raccordement au système de pompe**

Aucun magasin ne vend un connecteur standard entre votre lanceur et une pompe à vélo.

**👉 Solution :**

insérer une **valve de pneu** (vélo ou voiture) dans un raccord de plomberie.

**Insérer une valve dans un embout de tuyau, sans colle.**

Exemple

La pression d'air assure l'étanchéité.

### 1.6. Choix de la pompe

**Types possibles :**

- Pompe à main
- Pompe à pied
- Pompe à étrier (stirrup pump)

**Critère indispensable :**

Fondamental

avoir un **manomètre intégré** pour suivre la pression.

**Attention !**

Attention

Les pompes à main sont fortement déconseillées : très exigeantes physiquement et peu fiables.

# IV Optimiser la conception d'une fusée à eau pour maximiser la stabilité, la hauteur et la portée

1. Optimiser la conception d'une fusée à eau pour maximiser la stabilité, la hauteur et la portée .....	18
1.1.  Choix de la taille (volume) .....	18
1.2.  Réduction du poids.....	19
1.3.  Stabilité aérodynamique .....	19
1.4.  Trouver le centre de masse .....	19
1.5.  Rôle des ailerons .....	19
1.6.  Centre de masse vs centre de pression .....	20
1.7.  Estimer le centre de pression – Technique de la silhouette .....	20
1.8.  Réduire la traînée (drag) .....	20
1.9.  Carénages et ajouts .....	21
1.10.  La buse.....	21
1.11.  Impédance de la buse.....	22
1.12.  Fusées multi-bouteilles.....	22
1.13. Parachutes.....	22

## Introduction

Après avoir construit et lancé une fusée de base, il devient naturel de chercher à **améliorer ses performances**. Cette section propose une approche structurée pour optimiser les différents aspects de la fusée.

Vous apprendrez à :

- Choisir le bon format de bouteille
- Réduire le poids sans nuire à la stabilité
- Positionner stratégiquement les masses
- Concevoir des ailerons efficaces
- Estimer la **stabilité aérodynamique**
- Réduire la **traînée** pour voler plus haut et plus loin
- Utiliser des **carénages** et améliorer la buse

## 1. Optimiser la conception d'une fusée à eau pour maximiser la stabilité, la hauteur et la portée

### 1.1. Choix de la taille (volume)

Des bouteilles de **500 mL à 3 litres** peuvent être utilisées.

- **Avantage des grandes bouteilles** : elles stockent plus d'**énergie potentielle** ( $\text{volume} \times \text{pression}$ ).
- **Limite** : au-delà de 3 litres, il faut **assembler plusieurs bouteilles**.

La pression maximale recommandée est de **5 bars (75 psi)**. Pour augmenter l'énergie sans dépasser cette limite, augmentez le volume.

## 1.2. Réduction du poids

Règle générale : **plus la fusée est légère, mieux elle vole.**

- Le plastique PET des bouteilles est **très solide et léger**
- Évitez d'ajouter trop de matériaux lourds en optimisant la forme

**Mais attention :**

 **Attention**

**le poids doit être bien réparti**, sinon votre fusée **perdra sa stabilité en vol.**

## 1.3. Stabilité aérodynamique

**Une fusée stable :**

- **vole en ligne droite**
- suit une belle **courbe ascendante et descendante**

**Une fusée instable :**

oscille, **tourne sur elle-même**, perd de la vitesse et chute sans contrôle

## 1.4. Trouver le centre de masse

 **Méthode simple :**

 **Méthode**

- Suspendez la fusée avec une **ficelle**
- Ajustez la position jusqu'à trouver le **point d'équilibre**

 **Astuce**

 **Rappel**

Plus le centre de masse est vers l'**avant**, plus la fusée est stable.

## 1.5. Rôle des ailerons

Les ailerons corrigent les **écart de trajectoire**.

Lorsqu'une fusée s'incline, ils provoquent une force de rappel.

 **Concept clé :**

 **Fondamental**

- La **traînée** agit principalement sur le **nez** de la fusée
- Si la fusée s'incline, des surfaces latérales (corps + ailerons) sont exposées
- Ces forces s'appliquent en un point appelé **centre de pression**

## 1.6. Centre de masse vs centre de pression

### Expérience mentale :

 Exemple

**Fusée A** : centre de masse **devant**

le centre de pression → stable

**Fusée B** : centre de masse **derrière** le centre de pression → instable

### Pour assurer la stabilité :

 Rappel

- Avancer le **centre de masse** (avec une balle de tennis par exemple)
- Reculer le **centre de pression** (grâce à des ailerons arrière)

## 1.7. Estimer le centre de pression – Technique de la silhouette

 Méthode

- Posez la fusée à plat sur une feuille
- Tracez son **contour** (vue latérale)
- Découpez ce **gabarit** (silhouette)
- Trouvez son **centre de gravité**

→ **Ce point est une bonne approximation du centre de pression**

 Rappel

Si le centre de pression (de la silhouette) est **derrière** le centre de masse réel : la fusée est **stable**.

## 1.8. Réduire la traînée (drag)

**Une fusée se déplace dans l'air → elle doit pousser l'air devant elle, ce qui crée une force opposée : la traînée.**

 Rappel

La traînée devient significative à partir de **10 m/s** (vitesse atteinte rapidement après le décollage).

### Pour la réduire :

 Méthode

#### Nez :

- Forme **conique**, mais pas trop pointue (sécurité)
- Poids **vers l'avant**

● Corps :

- Surface **lisse**
- Long et mince > court et large

● Ailerons :

- **Fins et légers**
- Disposés **symétriquement**
- Positionnés **le plus en arrière possible**

### 1.9. ⚡ Carénages et ajouts

Az Définition

Un **carénage** est une structure lisse ajoutée pour réduire la traînée.

#### Deux usages :

- **Renforcer et lisser** les joints entre bouteilles
- Allonger la fusée (déplacer le centre de masse vers l'avant)

💡 **Astuce :**

Conseil

utiliser des morceaux d'autres bouteilles comme carénage.

### 1.10. 💧 La buse

Az Définition

La buse transforme la pression en **vitesse d'éjection** de l'eau.

#### Bon design :

- Limite les frottements
- Dirige l'eau **dans l'axe du vol**

⊕ Complément

Certaines bouteilles (notamment les petites de 1 L) ont des **épaules inclinées** qui améliorent la performance de la buse.

## 1.11. ⚒ Impédance de la buse

Az Définition

C'est la **résistance au passage de l'eau**.

Elle dépend de la section de la sortie :

- **Petite buse** → haute impédance → sortie lente → pas de vol
- **Grande buse** → faible impédance → sortie rapide → bonne poussée

## 1.12. 💡 Fusées multi-bouteilles

But :

**augmenter le volume** sans dépasser la pression de sécurité.

Méthode :

🔗 Méthode

- Percer un trou au fond d'une bouteille
- Insérer une **valve de pneu** (sans mécanisme interne)
- Percer un **bouchon** pour laisser passer la valve
- Ajouter un **joint + écrou + colle silicone**
- Visser une autre bouteille dessus

→ Le résultat est étanche mais fragile.

👤 Conseil

👉 Ajouter un **carénage** pour renforcer l'ensemble.

Répéter pour créer des fusées de 3, 4 ou 5 bouteilles

## 1.13. Parachutes

**Déployer un parachute au bon moment est difficile.**

Le moment idéal est l'**apogée** (hauteur maximale), mais :

- La vitesse verticale devient presque nulle
- Aucune force n'indique précisément ce moment

Mécanismes vus :

👁 Exemple

- **Fil accroché au sol** qui se casse au décollage
- **Télécommande** qui chauffe un fil pour libérer un élastique
- **Minuterie mécanique** activée au lancement (fiabilité variable)

# V Méthodologie de test et d'analyse des performances d'une fusée à eau

1. Méthodologie de test et d'analyse des performances d'une fusée à eau .....	23
1.1.  Pourquoi tester ? .....	23
1.2.  Quoi mesurer ?.....	23
1.3.  Analyse vidéo (facultatif mais puissant) .....	25
1.4.  Conseils de test.....	25
1.5.  Idées d'expériences.....	26
1.6.  Exemple de résultats simulés (graphiques du document original) :.....	26
1.7.  Fiche de test – Fusée à eau.....	26

## Introduction

Dans les sections précédentes, vous avez appris à construire, lancer et optimiser une fusée à eau.

Mais comment savoir si vos modifications sont **efficaces** ?

C'est ici qu'intervient la **méthode scientifique** : mesurer, comparer, analyser.

Dans cette section, vous apprendrez à :

- Mesurer précisément les **caractéristiques de votre fusée**
- Évaluer les **Résultats de vol**
- Identifier les **facteurs qui influencent** le plus les performances
- Structurer vos tests pour obtenir des données fiables

## 1. Méthodologie de test et d'analyse des performances d'une fusée à eau

### 1.1. Pourquoi tester ?

**Il y a deux types de passionnés de fusées à eau :**

- Ceux qui veulent juste s'amuser (ce qui est génial !)
- Ceux qui veulent **comprendre et améliorer** (les futurs ingénieurs )

Conseil

La clé pour progresser, c'est **la mesure**.

### 1.2. Quoi mesurer ?

- a)  Propriétés de la fusée (avant le vol)

**Masse à vide :**

Méthode

avec une balance de cuisine électronique (précision :  $\pm 1$  g)

### Volume total :

 Méthode

s'il y a plusieurs bouteilles, remplissez d'eau et pesez → 1 g = 1 cm<sup>3</sup>

### Volume d'eau :

 Méthode

généralement entre **20 % et 30 %**

### Astuce :

 Remarque

marquez les niveaux sur la bouteille avec du ruban

### Angle de lancement

 Méthode

idéalement autour de **45°**

### Pression de lancement :

 Méthode

mesure en **bars** ou **psi** avec un manomètre

## Particularités

Notez toute modification : forme, ailerons, carénage, etc.

b)  Résultats du vol :

### Portée au sol : distance entre le point de départ et d'atterrissement

 Méthode

- Idéal : **odomètre à roue**
- Sinon : **grands pas adultes** calibrés (10 pas = distance mesurée)

### Hauteur maximale :

 Méthode

Difficile à mesurer

- Option 1 : fil de couture attaché à la fusée lors d'un vol vertical
- Option 2 : **altimètre électronique**
- Option 3 : Fusil

**Temps de vol :** Méthode

à mesurer avec un chronomètre sportif

- Sans parachute : 5 à 10 secondes
- Avec parachute : parfois plus d'1 minute

**Vitesse de lancement :** Méthode

Analysable avec une **caméra vidéo**

**1.3.  Analyse vidéo (facultatif mais puissant)**

De nombreuses caméras numériques filment à **10 ou 15 images par seconde**.

En analysant image par image, vous pouvez :

- Estimer la **vitesse initiale**
- Observer la **trajectoire de l'eau**
- Déetecter des problèmes d'alignement

**Exemple :** Exemple

- 3 longueurs de bouteille ( $\approx 1,2 \text{ m}$ ) parcourues en  $1/15 \text{ s} \rightarrow \approx 18 \text{ m/s}$
- Accélération :  $12 \times 15 = 180 \text{ m/s}^2$ , soit  $\approx 18 \text{ g}$

 Conseil

 Placez une **règle ou une échelle visible** dans le champ de la caméra.

**1.4.  Conseils de test** Attention

 **Lisez la section sur la sécurité** avant de commencer tout test.

**Bonnes pratiques :** Conseil

- Apportez **beaucoup d'eau** (baril avec robinet, entonnoirs...)
- **Notez vos données** dès que possible : sur papier ou ordi
- Utilisez une **fiche de test structurée** (voir ci-dessous)
- Essayez le simulateur informatique pour prédire les résultats

- **Précision** :  $\pm 5\%$  à  $\pm 10\%$  suffit pour tirer des conclusions

## 1.5. Idées d'expériences

### Divers exemples d'expériences possibles :

 Exemple

- **Trois vols identiques** : vérifiez la **reproductibilité**
- **Sans eau** : démonstration du principe de propulsion → puis ajoutez 5 % d'eau et constatez la différence !
- **Travail en binôme** : un lanceur, un observateur
- **Test de l'angle** : variez l'angle de  $5^\circ$  en  $5^\circ$  et notez la portée
- **Test de la pression** : augmentez la pression par paliers et comparez

## 1.6. Exemple de résultats simulés (graphiques du document original) :

### Variation de l'angle :

 Remarque

Entre  $40^\circ$  et  $50^\circ$ , la portée change très peu → bon angle pour tester d'autres paramètres.

### Variation de la pression :

 Remarque

L'effet de la pression diminue avec l'augmentation → améliorer le design est plus efficace que forcer sur la pression.

## 1.7. Fiche de test – Fusée à eau

# VI Principes physiques fondamentaux appliqués au fonctionnement des fusées à eau

1. Principes physiques fondamentaux appliqués au fonctionnement des fusées à eau .....	27
1.1.  Les forces en jeu .....	27
1.2.  Résumé des forces .....	28
1.3.  Courbe de vitesse typique .....	29
1.4.  Formules utiles .....	29

## Introduction

Pourquoi une fusée à eau vole-t-elle ? Pourquoi ralentit-elle ?

Que se passe-t-il au moment précis du lancement ? Pourquoi certaines fusées vont plus loin que d'autres, même sous la même pression ?

Cette section propose un survol clair mais rigoureux des **principes physiques fondamentaux** qui régissent le fonctionnement d'une fusée à eau, depuis le sol jusqu'au sommet de sa trajectoire.

Les lois de Newton, les forces aérodynamiques, la gravité et la poussée sont expliquées de façon accessible, pour vous aider à mieux concevoir et tester vos modèles.

## 1. Principes physiques fondamentaux appliqués au fonctionnement des fusées à eau

### 1.1. Les forces en jeu

#### a) Sur la rampe de lancement

- La fusée est **immobile** : toutes les forces sont en **équilibre**.
- La poussée **vers le haut** est **égale** à la force gravitationnelle **vers le bas**.

#### b) Au moment du lancement

- Le déclencheur est activé, l'eau est expulsée à grande vitesse par la buse.
- Cela crée une force appelée **poussée**.

**Selon la 3e loi de Newton (action-réaction) :**

Rappel

"Pour chaque action, il existe une réaction égale et opposée."

L'eau est projetée vers le bas → la fusée est projetée vers le haut.

Remarque

### c) En vol ascendant

- Une fois toute l'eau éjectée, la poussée cesse.
- La fusée monte grâce à **son inertie**, mais elle subit :
  - La **gravité** (vers le bas)
  - La **résistance de l'air** (opposée au mouvement)

La vitesse diminue jusqu'à atteindre **zéro** à l'**apogée** (le sommet du vol).

### d) En descente

- La fusée est maintenant en chute libre, accélérée par la gravité.
- La **résistance de l'air** continue à agir contre elle.
- La vitesse augmente jusqu'à atteindre un **équilibre** entre gravité et frottement : c'est la **vitesse terminale**.

 Remarque

💡 Si un parachute est déployé, la surface augmente → la résistance de l'air augmente → la descente est **ralentie**.

## 1.2. Résumé des forces

Étape du vol	Forces principales	Direction
Sur la rampe	Poussée = Gravité	Équilibre
Lancement	Poussée > Gravité	Montée rapide
Vol après propulsion	Gravité + Résistance de l'air	Montée ralentie
Apogée	Gravité > vitesse nulle	Transition
Descente	Gravité - Résistance de l'air	Accélération
Descente stabilisée	Gravité = Résistance	Constante

Résumé des forces

### 1.3. Courbe de vitesse typique

**Voici une description simplifiée d'une courbe de vitesse :**

- **Lancement** : accélération brutale (poussée maximale)
- **Ascension** : vitesse diminue lentement (inertie + gravité)
- **Apogée** : vitesse nulle, transition
- **Descente** : vitesse augmente (chute libre)
- **Stabilisation** : vitesse terminale atteinte

### 1.4. Formules utiles

#### a) Force de poussée

$$\boxed{F = \frac{m \cdot v}{t}}$$

*Formule 1*

- $F$  : force de poussée (en Newtons)
- $m$  : masse de l'eau éjectée (en kg)
- $v$  : vitesse de l'eau à la sortie (m/s)
- $t$  : durée d'éjection (en secondes)

#### b) Force de traînée (résistance de l'air)

$$\boxed{F_{\text{drag}} = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2}$$

*Formule 2*

- $F_{\text{drag}}$  : force de traînée (N)
- $C_d$  : coefficient de traînée ( $\approx 0,3$  à  $0,5$  pour fusée à eau)
- $\rho$  : densité de l'air ( $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$ )
- $A$  : surface frontale (en  $\text{m}^2$ )
- $v$  : vitesse instantanée (m/s)

#### c) Accélération nette

$$\boxed{a = \frac{F_{\text{total}}}{m}}$$

*Formule 3*

où :

$$\boxed{F_{\text{total}} = F_{\text{poussée}} - F_{\text{poids}} - F_{\text{drag}}}$$

*Formule 4*

- $a$  : accélération ( $\text{m/s}^2$ )
- $m$  : masse totale de la fusée (kg)
- $F_{\text{poussée}}$  : force de propulsion
- $F_{\text{poids}} = m \cdot g$ , avec  $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$
- $F_{\text{drag}}$  : résistance de l'air