



GUIDE PRATIQUE

WATER ROCKET

Challenge



LUXEMBOURG
SPACE AGENCY



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Éducation nationale,
de l'Enfance et de la Jeunesse

Table des matières

1. Introduction	02
1.1 Qu'est-ce qu'une fusée à eau ?	02
1.2 Valeurs éducatives et pédagogiques	03
2. Water Rocket Challenge	04
2.1 Règles de participation	04
2.2 Objectif	05
2.3 Matériel fourni	05
2.4 Prix et récompenses	05
2.5 Notes	05
3. Construction d'une fusée à eau	05
3.1 Matériel nécessaire	06
3.2 Instructions pour la construction d'une fusée à eau	06
3.3 Lanceur de fusée	09
4. Optimiser votre fusée	09
4.1 Volume de la bouteille	09
4.2 Poids.	09
4.3 Estimation du centre de masse	11
4.4 Ailerons	11
4.5 Stabilité aérodynamique	11
4.6 Estimation de la position du centre de pression	13
4.7 Traînée	14
5. Tester votre fusée	15
5.1 Propriétés de la fusée	16
5.2 Performances des fusées	16
5.3 Conseils pour les tests	17
5.4 Méthodologie des tests	17
6. Règles du challenge	18
6.1 Exigences de conception des fusées	18
6.2 Procédure de lancement	18
6.3 Classement des équipes	19
7. Sécurité	20
7.1 Couteaux et lames tranchantes	20
7.2 Design de fusée	20
7.3 Objets et tuyaux sous pression	20
7.4 Limites de pression	20
7.5 Procédure de lancement	21
Annexe	22
Fiche de test de la fusée à eau	22

1. Introduction

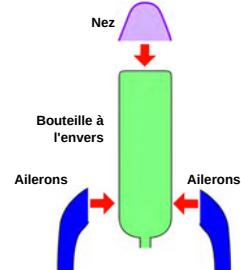
Bienvenue à la 1ère édition du Luxembourg Water Rocket Challenge 2023 !

1.1 Qu'est-ce qu'une fusée à eau ?

Une fusée à eau est un type de fusée qui utilise de l'eau et de l'air sous pression comme agents propulseurs. La fusée se compose d'une bouteille en plastique partiellement remplie d'eau et d'air sous pression. Dans sa forme la plus simple, une fusée à eau est une bouteille de boisson gazeuse renversée, à laquelle on a ajouté un cône de nez et des ailerons.

Le cône de nez

Le rôle du cône de nez est de rendre plus aérodynamique l'extrémité de la bouteille de boisson gazeuse au nez retroussé.

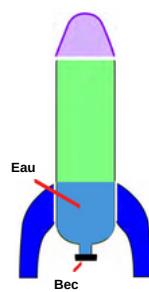


Les ailerons

Techniquement, les ailerons sont importants pour que la fusée vole en douceur, mais ce sont aussi les parties d'une fusée qui lui donnent vraiment son caractère.

Une fois que nous avons ajouté les ailerons et le cône de nez, nous avons quelque chose qui ressemble à une fusée. Mais comment faire pour qu'elle se déplace comme une fusée ?

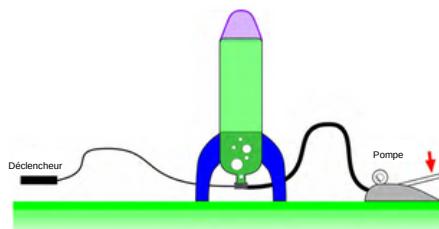
Tout d'abord, nous devons ajouter de l'eau, brancher la fusée sur un lanceur qui gardera l'eau dans la bouteille jusqu'à ce que nous décidions de la relâcher. L'eau quittera alors la bouteille par son embout. En général, la bouteille est remplie d'environ un quart à un tiers d'eau.



Lancement

Pour lancer la fusée à eau, nous devons pomper de l'air dans la fusée afin de fournir l'énergie nécessaire au lancement. Lorsque l'air pénètre dans la fusée, il fait des bulles dans l'eau et met sous pression l'espace "vide" au-dessus de l'eau. Vous pouvez voir que le lanceur permet à l'air d'entrer dans la fusée, mais ne permet pas à l'eau de s'échapper jusqu'à ce que nous activions une gâchette.

Lorsque la gâchette active le mécanisme de déclenchement, l'air pressurisé à l'intérieur de la fusée pousse l'eau rapidement vers l'extérieur par la buse, envoyant ainsi la fusée rapidement dans les airs.



Base de lancement

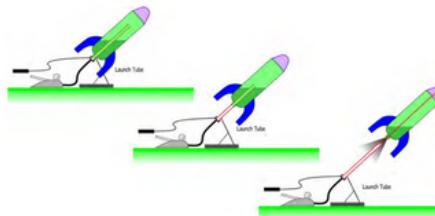
Comme votre objectif est d'atteindre une cible située à exactement **70 m** du point de lancement, la rampe de lancement devra être inclinée d'un certain angle.

Le jour du lancement, **ESERO** (European Space Education Resource Office) fournira une rampe de lancement à chaque équipe.

La rampe de lancement contient un tube qui passe par la tuyère de la fusée.

Lorsque la gâchette active le mécanisme de déclenchement, la fusée glisse le long du tube de lancement avant d'atteindre le "vol libre".

Cela présente deux avantages. Le premier est que le tube de lancement empêche la fusée de se renverser juste après le lancement, agissant comme une sorte de "rampe de lancement interne". Le second avantage est qu'une fois la gâchette activée, le gaz à haute pression à l'intérieur de la fusée se dilate et pousse (comme le montre la partie centrale de la figure ci-dessous) la fusée le long du tube de lancement. Au fur et à mesure qu'elle glisse le long du tube de lancement, elle accélère et peut se déplacer assez rapidement lorsqu'elle quitte le tube de lancement. Cependant, lorsqu'elle se trouve sur le tube de lancement, elle ne perd pas d'eau. Cela donne à la fusée une sorte de "démarrage en douceur" et lui permet d'utiliser sa charge d'eau plus efficacement.



1.2 Valeurs éducatives et pédagogiques

Construire et lancer des fusées est tout simplement très agréable. Cela combine le plaisir simple de regarder avec émerveillement la puissance d'un gaz comprimé, avec le plaisir plus subtil de maîtriser un problème d'ingénierie. Bref, c'est un plaisir pour tous les âges.

Les fusées à eau sont également un outil populaire pour l'enseignement des concepts scientifiques :

1. Principes de physique : Les fusées à eau offrent une démonstration pratique des principes physiques fondamentaux tels que la troisième loi du mouvement de Newton, qui stipule que pour chaque action, il y a une réaction égale et opposée.

2. Forces et mouvement : Les élèves peuvent découvrir les différentes forces en jeu lors du lancement d'une fusée à eau, notamment la poussée, la traînée et la gravité. Ils peuvent explorer la manière dont ces forces affectent la trajectoire et la vitesse de la fusée. En modifiant des facteurs tels que la quantité d'eau ou la conception de la fusée, les élèves peuvent étudier l'impact de ces forces.



3. Aérodynamique : les participants expérimentent différentes conceptions d'ailerons, de formes de cônes de nez et de configurations de corps pour observer comment elles affectent la stabilité, la trajectoire de vol et la résistance à l'air de la fusée.

4. Pression et énergie : Les fusées à eau impliquent l'utilisation d'air sous pression pour expulser l'eau. C'est l'occasion d'en apprendre davantage sur la pression, l'énergie et l'énergie potentielle. Les élèves peuvent étudier comment la pression de l'air influe sur les performances de la fusée et explorer la relation entre la pression, le volume et la trajectoire de la fusée.

5. Compétences en matière d'expérimentation et de résolution de problèmes : Les expériences sur les fusées à eau encouragent les élèves à recourir à la recherche scientifique, à formuler des hypothèses et à les tester par essais et erreurs. Ils peuvent analyser et interpréter les données obtenues lors de leurs lancements pour en tirer des conclusions. Cela favorise la pensée critique, la résolution de problèmes et la méthode scientifique.

6. Travail d'équipe et collaboration : Les participants travaillent ensemble à la conception et à la construction de la fusée, partagent leurs idées et résolvent les problèmes éventuels. Cela favorise la communication, la coopération et le développement des compétences interpersonnelles.

2. Water Rocket Challenge

Construire et lancer des fusées est tout simplement très agréable. Cela combine le plaisir simple de regarder avec émerveillement la puissance d'un gaz comprimé, avec le plaisir plus subtil de maîtriser un problème d'ingénierie. Bref, c'est un plaisir pour tous les âges !

2.1 Règles de participation

Les conditions suivantes doivent être remplies pour que l'inscription d'une équipe soit acceptée :

- Les équipes doivent être composées de **2 à 4 élèves**, âgés de 8 à 19 ans.
- Les équipes doivent être composées d'élèves fréquentant une **école primaire ou secondaire au Luxembourg**.
- Chaque équipe doit être encadrée par un **adulte jouant le rôle de mentor**.

Les membres de l'équipe ne doivent pas nécessairement fréquenter la même école. Le mentor doit accompagner les élèves le jour du lancement.

Les équipes sont divisées en 2 catégories :

- **Catégorie 1** (8-12 ans) : 20 équipes maximum, lancement le matin.
- **Catégorie 2** (13-19 ans) : 20 équipes maximum, lancement l'après-midi.



2.2 Objectif

Lancez une fusée à eau de votre fabrication et faites-la atterrir le plus près possible d'une zone située à 70 mètres, en modifiant différentes variables telles que la pression de l'air, la quantité d'eau ou l'angle de lancement. Chaque équipe aura **3 tentatives** pour s'approcher le plus possible et accumuler des points à chaque tentative.

2.3 Matériel fourni

ESERO fournit un [embout de bouteille](#), un [lanceur de fusée](#) et une pompe à vélo à chaque équipe pendant la compétition.

2.4 Prix et récompenses

Des prix seront décernés pour les première, deuxième et troisième places dans chaque catégorie d'âge.

L'équipe gagnante de chaque catégorie recevra un lance-roquettes.

Les équipes de la catégorie 1 recevront des prix pour

- La plus belle fusée
- Le plus bel uniforme d'équipe

Les équipes de la catégorie 2 se verront également décerner des prix :

- La plus belle fusée
- Les meilleurs lanceurs de fusée

2.5 Notes

- Un mentor peut inscrire plusieurs équipes.
- Une tente avec du matériel de soutien sera disponible pour réparer les fusées endommagées après leur lancement.
- De la nourriture et des boissons seront proposées à l'heure du déjeuner.
- Toilettes disponibles.
- Nous prendrons des photos et des vidéos lors de l'événement à des fins promotionnelles.

Le règlement complet du défi se trouve à la section 7.

3. Construction d'une fusée à eau

Dans cette section, nous verrons en détail comment fabriquer une fusée à eau de base qui volera bien dans un large éventail de conditions. La construction de votre propre fusée prend environ 30 à 40 minutes.

3.1 Matériel nécessaire

- Une bouteille de boisson gazeuse de 1,5 à 2 litres qui constituera le corps principal de la fusée. Veillez à n'utiliser que des bouteilles contenant des boissons gazeuses. Nous recommandons des bouteilles de 1,5 litre de Coca, Pepsi ou Schweppes.
- Une balle de tennis d'environ 60 g qui constituera la partie principale du nez.
- Pour fabriquer les ailerons, soit de vieux CD, soit du carton ondulé, ou mieux encore, du plastique ondulé.
- Du ruban adhésif en toile ou un autre type de ruban adhésif solide et collant.
- Du ruban isolant électrique
- Du ruban adhésif double face
- De la colle liquide
- Des ciseaux ou un couteau.

3.2 Instructions pour la construction d'une fusée à eau

1. Videz la boisson gazeuse, enlevez les étiquettes et rincez-la à l'eau. Veillez à ne PAS endommager la bouteille avec des ciseaux ou d'autres outils tranchants.
2. Renforcez le haut de la bouteille avec plusieurs couches de ruban adhésif.
3. Collez un morceau de ruban adhésif double face au centre de la bouteille.
4. Collez le bouchon de la bouteille, retourné, au centre du ruban adhésif double face.
5. Collez fermement la balle de tennis à l'extrémité de la bouteille avec du ruban adhésif.



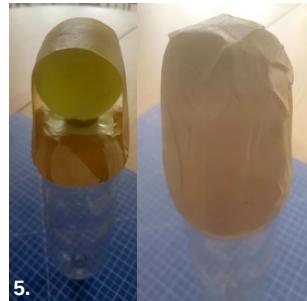
2.



3.



4.



5.

6. Couper les ailerons

Tout d'abord, vous devez décider si votre fusée doit avoir 3 ou 4 ailerons.

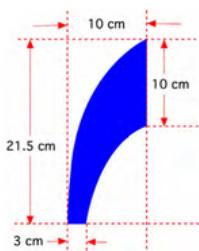
Choisissez ensuite le matériau des ailerons. Une option consiste à découper de vieux CD pour les utiliser comme ailerons, mais si vous le faites, assurez-vous de mettre du ruban adhésif sur les bords tranchants au cas où votre fusée heurterait quelqu'un.

Le carton ondulé peut faire l'affaire, mais il a tendance à se mouiller et à se fragiliser après quelques lancements.

Le plastique ondulé (connu sous le nom de Corriflute™) est imperméable à l'eau et présente une excellente rigidité pour son poids. C'est le même matériau que celui utilisé par les agents immobiliers pour leurs panneaux "À vendre". Une autre option consiste à utiliser des panneaux de mousse dure en PVC de 3 mm d'épaisseur.

Voici une suggestion pour le dessin des ailerons, mais vous pouvez l'améliorer avec votre propre dessin.

Pour chaque aileron, coupez deux morceaux supplémentaires de matériau, d'environ 10 cm de long, pour renforcer la base des ailerons.



7. Renforcement de la base des ailettes

Utiliser la colle liquide pour coller les rectangles de chaque côté des ailerons.



8. Fixer les ailerons sur la bouteille

Placez le papier adhésif double face sur la bouteille, à l'endroit où vous souhaitez fixer les ailettes. Fixez fermement les ailerons sur le papier adhésif double face.

Renforcez la jonction entre l'ailette et la bouteille en plaçant du ruban isolant électrique de part et d'autre de chaque aileron.



Les ailerons seront certainement endommagés à l'atterrissement, mais ils ne seront pas trop difficiles à réparer.

Que vous utilisiez ce modèle d'aileron ou votre propre modèle, les points importants concernant les ailerons sont les suivants :

- Tous les ailerons doivent être identiques,
- Elles doivent être placées au bas de la fusée.
- Ils doivent être disposés symétriquement autour de la fusée (tous les 120° si vous avez trois ailerons ou tous les 90° si vous en avez quatre).
- Ils doivent être fins lorsqu'on les regarde de face (environ 3 mm à 5 mm d'épaisseur).

9. Décorez votre fusée.

N'oubliez pas de donner un nom à ta fusée et de la rendre belle !



3.3 Lanceur de fusée

Voici le [lanceur de fusée](#) qui sera utilisé le jour du lancement.



Il n'est pas nécessaire de tester le vol de votre fusée avant le jour du lancement. Vous pouvez construire votre propre lanceur, mais c'est une tâche assez fastidieuse. Si vous le souhaitez vraiment, vous pouvez acheter ce lanceur [moins cher et efficace](#).

4. Optimiser votre fusée

Outre la mise à feu des fusées, la conception de la fusée elle-même fait partie du plaisir. Dans cette section, nous examinerons certains facteurs que vous devrez prendre en compte si vous souhaitez optimiser la conception de votre fusée.

4.1 Volume de la bouteille

Le volume de la fusée détermine la quantité maximale d'énergie stockée dans le gaz comprimé. L'énergie est proportionnelle à la pression et au volume. Il y a des limites à la pression que la fusée peut supporter : **6 bars** est une limite de travail sûre. Il est courant de trouver des bouteilles de **500 ml, 1 litre et 2 litres** dans les magasins. Nous suggérons d'utiliser des bouteilles de **2 litres** pour maximiser l'efficacité.

4.2 Poids

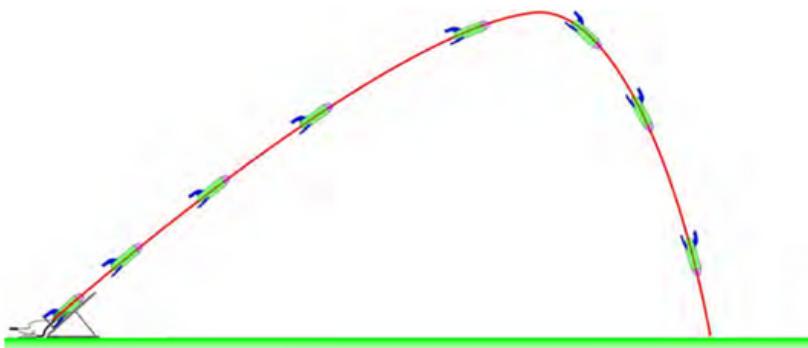
Plus le poids de votre fusée à eau est faible, mieux elle volera. La majeure partie du travail de conception d'une structure légère et rigide a déjà été effectuée par les fabricants de bouteilles en plastique.

Pour tirer parti du rapport poids/résistance des bouteilles, vous devez éviter d'ajouter trop de poids lorsque vous améliorez l'aérodynamisme de la bouteille.

Il est également important d'ajouter du poids au bon endroit pour que votre fusée soit aérodynamiquement stable.

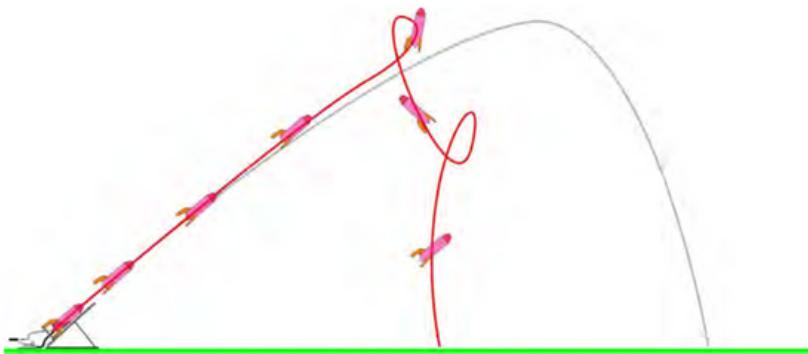
La répartition du poids sur la longueur de la fusée est l'un des facteurs qui déterminent si elle volera comme une fusée ou comme une bouteille. Quelle est la différence ? Une fusée aérodynamiquement stable vole avec le nez en premier et devrait avoir une trajectoire de vol comme un bel arc lisse.

Ci-dessous : Trajectoire d'une fusée aérodynamiquement stable. Notez que la résistance de l'air tend à rendre la trajectoire asymétrique, la fusée tombant plus abruptement qu'elle ne monte.



Une fusée aérodynamiquement instable peut commencer avec le nez en premier, mais son vol deviendra rapidement instable, et elle battrà et culbutera dans l'air, puis tombera simplement sur la Terre.

Ci-dessous : Une trajectoire "bouteille" aérodynamiquement instable

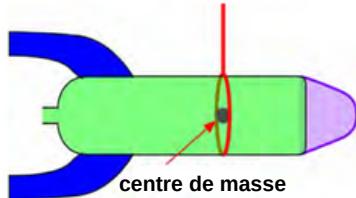


Pour que votre fusée vole "comme une fusée" et non "comme une bouteille", le poids doit se trouver dans la moitié avant de la fusée. Toutefois, en fonction de la conception de vos ailerons, cela peut suffire ou non à assurer un vol aérodynamiquement stable. L'une des propriétés les plus importantes de votre fusée est la position de son centre de masse, parfois appelé centre de gravité.

4.3 Estimation du centre de masse

Comme votre fusée passera la plus grande partie de son vol sans eau, il est facile de trouver son centre de masse en attachant simplement une ficelle autour de la fusée et en déplaçant le point de suspension le long de la fusée jusqu'à ce que vous trouviez le point d'équilibre. Plus ce point d'équilibre est avancé, plus votre fusée a de chances d'être stable en vol.

Ci-dessous : Détermination du centre de masse d'une fusée en la suspendant à un fil.

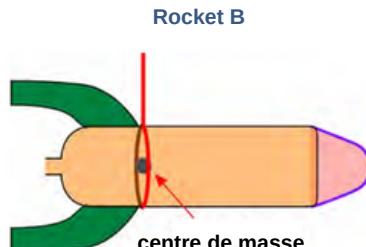
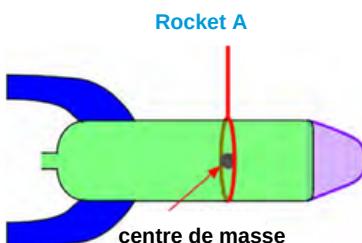


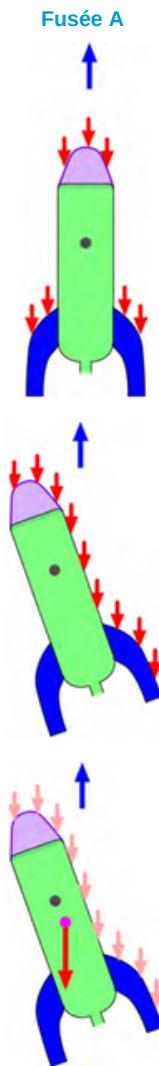
4.4 Ailerons

Les ailerons d'une fusée constituent un mécanisme permettant d'assurer un vol aérodynamique stable. Pour comprendre le rôle des ailerons, il est nécessaire d'examiner les forces qui s'exercent sur une fusée lorsqu'elle est légèrement désalignée en vol. Si ces forces agissent pour augmenter le degré de désalignement, la fusée ne volera pas bien. Si ces forces agissent pour diminuer le degré de désalignement, la fusée volera... comme une fusée ! Nous verrons dans la section suivante comment les ailerons contribuent à la stabilité de la fusée.

4.5 Stabilité aérodynamique

Pour comprendre la stabilité aérodynamique, nous devons tenir compte des forces qui agissent sur la fusée lorsqu'elle vole correctement et lorsqu'elle est mal alignée. Considérons deux fusées différentes (appelons-les **Fusée A** et **Fusée B**) qui ont la même forme et les mêmes ailerons, mais dont la répartition du poids est différente et dont le centre de masse est donc positionné à des endroits différents. Supposons que le centre de masse de la **fusée B** soit situé beaucoup plus en arrière que celui de la **fusée A**.





Réfléchissons maintenant aux forces qui s'exercent lorsque la fusée se déplace dans la direction de la flèche bleue.

Les principales forces de traînée agissent sur toutes les surfaces exposées à l'air qui passe devant la fusée. Pour une fusée typique orientée "correctement", ces forces agissent principalement sur le cône de nez, car les ailettes sont généralement très fines et exposent une très faible section à l'air dans lequel elles se déplacent.

Imaginons maintenant ce qui se passerait si la fusée était légèrement désalignée. Dans ce cas, une plus grande partie de la fusée serait exposée et les forces de traînée augmenteraient considérablement.

Ces forces agiraient

- sur le nez de la fusée,
- le long du côté exposé de la fusée,
- et sur les ailerons.

Les forces le long de chaque partie de la fusée sont difficiles à calculer ou à mesurer avec précision, mais il y aura un point sur la fusée qui sera leur point d'action effectif. Ce point est appelé centre de pression et est marqué d'un point violet sur les figures de droite et de gauche.

Comme les formes des deux fusées sont identiques, le centre de pression se trouve au même endroit. Mais comme le centre de masse se trouve à des endroits différents sur chaque fusée, l'effet des mêmes forces de traînée sur chaque fusée est très différent.



Pour la **fusée A**, le centre de masse se trouve plus en avant le long de l'axe de la fusée que le centre de pression. Les forces de traînée supplémentaires agissent donc davantage sur l'extrémité arrière de la fusée et tendent à la "remettre dans l'axe". Techniquement, nous disons que les forces de traînée exercent un couple qui agit autour du centre de masse pour rétablir l'attitude de vol optimale.

Pour la **fusée B**, le centre de masse se trouve plus en arrière le long de l'axe de la fusée que le centre de pression. Les forces de traînée supplémentaires agissent donc davantage sur l'extrémité avant de la fusée et tendent à la "pousser encore plus loin hors de l'axe".

Ce sont donc les positions relatives du centre de masse et du centre de pression qui déterminent si une fusée est aérodynamiquement stable (comme la fusée A) ou instable (comme la fusée B). Nous avons vu dans une section précédente comment déterminer la position du centre de masse, mais comment déterminer la position du centre de pression ?

4.6 Estimation de la position du centre de pression

L'estimation de la position du centre de pression s'avère assez difficile à réaliser avec précision, mais il existe une technique simple qui permet d'obtenir une estimation approximative de sa position. Il s'agit de faire une "silhouette" plane de votre fusée. Pour comprendre l'intérêt de cette technique, regardez les photos ci-dessous qui montrent à quoi ressemblerait la fusée si elle se désalignait en vol.



Photographie d'une fusée prise directement au-dessus de son cône de nez : c'est ce que vous verriez si la fusée volait directement vers vous.



Surfaces exposées de la fusée : Le cercle indique la surface de la fusée exposée à l'air entrant. Les ailerons sont assez fins et se déplacent facilement dans l'air.



Cette image montre une fusée légèrement désaxée : c'est ce que vous verriez si la fusée volait directement vers vous, mais que son extrémité arrière avait légèrement pivoté.



Dans cette attitude, des surfaces supplémentaires (délimitées et ombrées) sont exposées à l'air entrant. Certaines de ces surfaces se trouvent sur le côté de la fusée et d'autres sur les ailerons.

La technique de la silhouette consiste à examiner ce qui se passerait si, pour une raison quelconque, votre fusée volait de travers. Il s'agit évidemment d'un scénario plus extrême que les désalignements examinés ci-dessus, mais suivons la logique jusqu'au bout. Dans ce cas, les surfaces de la fusée exposées à l'air ne formeraient pas un cercle (comme lorsque la fusée est correctement orientée), mais ressembleraient plutôt à une silhouette de la fusée entière. La position du centre de pression de la fusée peut être estimée en faisant une silhouette (ou une découpe) de la fusée, puis en estimant le centre de masse de la découpe.

Illustration de la technique de la silhouette pour l'estimation du centre de pression.



1. Dessiner autour de la fusée.
 2. Découper la silhouette de la fusée.
3. Évaluation du centre de masse de la fusée et de sa silhouette. Nous estimons que le centre de pression de la fusée se trouve à peu près dans la même position relative que le centre de masse de la silhouette. Remarquez que la conception de la fusée, avec ses grandes ailettes légères dépassant du corps de la fusée, contribue à maintenir le centre de pression vers l'arrière de la fusée. De même, le poids supplémentaire dans le nez

Comme le montre la photographie ci-dessus, le centre de masse de la silhouette est beaucoup plus éloigné le long du corps de la fusée que le centre de masse de la fusée elle-même. Dans la mesure où le centre de masse de la silhouette est réellement un bon estimateur du centre de pression de la fusée, nous pouvons immédiatement constater que la fusée est aérodynamiquement stable. Si la fusée volait de côté, la pression de l'air exercerait une force effective sur le centre de pression. Comme le centre de pression se trouve plus en arrière de la fusée que le centre de masse, la pression de l'air fait que l'arrière de la fusée est poussé vers l'arrière et que le nez de la fusée bascule vers l'avant, ce qui rétablit l'attitude de vol correcte.

4.7 Traînée

Lorsque l'eau quitte la tuyère de la fusée, elle pousse la fusée vers l'avant. Mais cette accélération est réduite parce que la fusée doit repousser l'air hors de son chemin. La force nécessaire pour repousser l'air est connue sous le nom de traînée aérodynamique.



À une vitesse de quelques mètres par seconde, nous sommes à peine conscients de la traînée, mais à des vitesses plus élevées, la traînée domine le mouvement des projectiles. Pour les projectiles en forme de fusée qui nous intéressent, les forces de traînée deviennent significatives à partir d'environ 10 mètres par seconde. Juste après le lancement, une fusée à eau peut atteindre une vitesse maximale de 20 mètres par seconde, et une fusée à haute pression peut atteindre 40 mètres par seconde. À de telles vitesses, il est essentiel de créer un modèle à faible traînée. En supposant que votre modèle ait une forme de fusée (nez pointu, corps long, ailerons), vous pouvez minimiser la traînée en tenant compte des points suivants.

Nez : Ce nez doit être :

- De forme conique, mais il n'est pas nécessaire de le rendre excessivement pointu. En fait, du point de vue de la sécurité, cela n'est pas souhaitable.
- Il peut être nécessaire de placer un poids dans le nez. J'aime bien utiliser du ruban adhésif autour d'une balle de tennis, mais d'autres modèles utilisent de la pâte à modeler insérée dans un cône de nez en carton ou en plastique.

Corps : le corps doit être

- Aussi lisse que possible.
- Pour un volume de fusée donné, les fusées longues et fines ont tendance à avoir une traînée plus faible que les fusées courtes et grosses.

Ailerons : Les ailerons doivent être :

- minces et légères
- Disposées symétriquement autour du corps de la fusée : elles sont généralement au nombre de trois ou quatre.
- Positionnées aussi loin que possible le long de la fusée.

5. Tester votre fusée

La façon dont vous testez votre fusée distingue ceux qui veulent s'amuser (ce qui est très bien) de ceux qui veulent comprendre et améliorer leur conception (ce qui est la première étape sur la voie de la réussite en tant qu'ingénieur). Au cœur de ce processus de test se trouvent les mesures. Vous devez

- mesurer les propriétés de la fusée avant le lancement, puis
- mesurer les performances d'une fusée.

Vous devez ensuite utiliser votre compréhension du processus de lancement et de la dynamique du vol pour essayer de déterminer les propriétés de lancement qui affectent le plus les performances de la fusée.



5.1 Propriétés de la fusée

Poids de la fusée vide : Il s'agit du poids de la fusée sans l'eau qu'elle contient. En utilisant une balance de cuisine électronique, il n'est pas trop difficile de mesurer au gramme près, ce qui est plus qu'assez précis pour nos besoins.

Volume d'eau : Il s'agit d'un élément que vous pouvez facilement personnaliser et qui fait une différence significative en termes de performances. Un bon point de départ consiste à remplir l'appareil avec environ un quart d'eau. Le remplissage optimal dépend de plusieurs facteurs, mais se situe entre 20 et 30 %. Une chose que vous pouvez faire est de marquer le côté de la fusée avec du ruban adhésif pour montrer où se trouve (disons) la marque de 20% ou 25% : rappelez-vous que vous remplirez la fusée lorsqu'elle sera à l'envers et que cette marque se trouvera donc dans une position peu évidente.

Angle de lancement : Si la fusée était un projectile sans moteur et sans traînée aérodynamique, l'angle qui donnerait la plus grande portée serait de 45°. Cependant, ce n'est pas le cas pour une fusée à eau, bien que l'angle optimal ne soit probablement pas très éloigné de 45°. J'ai l'impression qu'un lancement un peu plus vertical que cela donne la meilleure portée, mais vous devez vérifier cela pour votre fusée.

Pression de lancement : l'augmentation de la pression augmente l'énergie stockée au moment du lancement, ce qui accroît la vitesse maximale atteinte par la fusée, et donc la portée, le temps de vol et la hauteur maximale. Cependant, vous constaterez que l'augmentation de la pression de lancement (a) devient plus difficile à réaliser et (b) fait de moins en moins de différence. La raison en est la traînée aérodynamique, qui augmente très rapidement avec la vitesse de lancement et "vole" toute l'énergie cinétique transmise à la fusée. Si vous avez une pression de lancement de 6 bars et que vous cherchez encore des améliorations, il vaut mieux essayer de réduire la traînée plutôt que d'augmenter encore la pression.

5.2 Performances des fusées

- **Portée au sol :** Il s'agit de la distance entre le point de lancement et le point où la fusée touche le sol.
- **Temps en l'air :** Le temps passé en l'air est une bonne mesure des performances de la fusée. Avec un peu d'entraînement, vous devriez pouvoir mesurer ce temps au dixième de seconde près.

Vous pouvez également enregistrer le décollage de la fusée à l'aide d'un smartphone afin d'observer comment l'eau quitte la fusée et d'estimer sa vitesse.



5.3 Conseils pour les tests

- Apportez suffisamment d'eau : au moins 2 à 3 litres sont nécessaires. Des tuyaux en plastique, des entonnoirs et des éprouvettes graduées seront probablement utiles.
- Essayez de prendre l'habitude de noter ce que vous faites au fur et à mesure. Il est étonnant de constater à quel point le simple fait d'écrire "ce que j'ai essayé : ce qui s'est passé" peut aider à clarifier des résultats qui peuvent sembler confus.
- Saisissez les résultats sur un ordinateur portable ou utilisez la feuille d'essai fournie.
- Ne vous souciez pas trop de la précision des mesures. Il suffit d'estimer la plupart des quantités à 5 ou 10 % près pour acquérir une bonne compréhension.



Avant de commencer les essais, veuillez lire la section sur la sécurité. Les fusées à eau sont généralement sûres, mais le risque d'accident existe. Par conséquent, pour votre propre bien et celui des autres, **suivez les consignes de sécurité.**

5.4 Méthodologie des tests

- Essayez d'effectuer **trois lancements** avec les mêmes paramètres. Cela vous permettra d'évaluer la reproductibilité des performances de votre fusée. Si vous n'arrivez pas à faire faire à votre fusée à peu près la même chose lorsque vous la lancez dans les mêmes circonstances, vous ne pourrez pas vraiment optimiser ses performances de manière significative.
- **Essayez de lancer votre fusée sans eau** : Il s'agit d'une belle démonstration du principe de propulsion des fusées. La fusée continuera à voler, mais si vous ajoutez ne serait-ce qu'une petite quantité d'eau (peut-être seulement 5 % de remplissage de la fusée), vous devriez constater un effet spectaculaire sur les performances de la fusée.
- Lancez-vous en équipes **d'au moins deux personnes**. Il est bon de parler de ce qui se passe pendant le lancement et d'expliquer vos idées, et une personne peut jouer le rôle de commissaire de sécurité ou de chronométreur pendant que l'autre lance.
- Essayez de changer **l'angle de lancement** et notez la portée. Vous devriez trouver une plage d'angles (probablement proche de 45°) où la portée est insensible à l'angle de lancement précis.
- Essayez de modifier **la pression de lancement** et enregistrez la portée. Vous devriez constater que l'augmentation de la pression de lancement augmente toujours la portée, mais dans des proportions de plus en plus faibles.



6. Règles du challenge

6.1 Exigences de conception des fusées

Les fusées doivent être terminées avant le jour du lancement. En raison du risque de rupture des fusées, notamment au niveau des ailerons, plusieurs ailerons doivent être préparés à l'avance.

En outre, les exigences suivantes **doivent être respectées** :

1. La bouteille de la fusée doit être une bouteille en PET conçue pour les boissons gazeuses ou l'eau gazeuse.
2. La longueur totale de la fusée ne doit pas dépasser **1 mètre**.
3. Le volume de la bouteille de la fusée ne doit pas dépasser **2 litres**.
4. Toute l'énergie fournie à la fusée doit provenir uniquement de la combinaison eau/pression d'air. Aucune autre source d'énergie n'est autorisée. L'air ne peut être comprimé que manuellement à l'aide de la pompe à vélo fournie.
5. Aucune pièce métallique externe n'est autorisée sur la fusée.
6. Le nom de l'équipe doit être clairement visible sur la bouteille.
7. Les ailerons doivent être construits par chaque équipe et ne peuvent être achetés dans le commerce.

6.2 Procédure de lancement

Les conditions de lancement suivantes doivent être respectées :

- Les équipes ne peuvent utiliser que le lanceur de fusée et la pompe à vélo fournis.
- La pression de lancement ne doit pas être supérieure à 6 bars.
- L'angle de lancement doit être compris entre 30 et 60 degrés.

Chaque équipe aura **3 essais** pour gagner le plus de points possible pendant **3 tours** en s'approchant le plus possible de la zone des 65m. Chaque manche dure environ 30 minutes. Entre chaque manche, les équipes auront environ **20 minutes** pour réparer et optimiser leur fusée, en ajustant l'angle, la quantité d'eau et la pression.

Si vous ne pouvez pas lancer votre fusée dans le temps imparti pour la manche, votre score pour cette manche sera de zéro. Des cônes de vent indiqueront la direction et la force du vent.

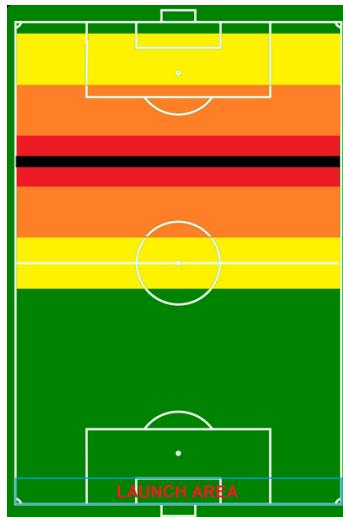
Avant chaque lancement, chaque équipe doit

- Porter les lunettes de protection fournies
- Régler l'angle du lanceur entre un minimum de **30 degrés** et un maximum de **60 degrés**.
- Remplir la fusée avec la quantité d'eau nécessaire
- Pressuriser la fusée avec la pompe à vélo sans dépasser **6 bars**
- Attendre le drapeau vert de l'équipe ESERO pour lancer sa fusée.

6.3 Classement des équipes

Le terrain de football sera divisé en "zones" comme indiqué ci-dessous

Zone	Distance	Couleur	Points
A	40 à 50 m	Jaune	50
B	50 à 60 m	Orange	100
C	60 à 64 m	Rouge	160
D	64 à 66 m	Noir	200
E	66 à 70 m	Rouge	160
F	70 à 80m	Orange	100
G	80 à 90m	Jaune	50



Les équipes recevront des points bonus pour chaque seconde de vol de leur fusée.

Avant chaque lancement, les équipes de catégorie 2 doivent estimer la distance à laquelle leur fusée atterrira à [l'aide d'un simulateur](#) comme celui-ci et reçoivent 10 points supplémentaires si leur prédiction est correcte avec une marge d'erreur de 2 mètres.



7.Sécurité



La construction et le lancement de fusées à eau sont généralement sans danger, mais il existe certains risques liés au lancement des fusées à eau et à leur construction, et vous devez en être conscient.

7.1 Couteaux et lames tranchants

Tout couteau ou lame tranchante représente un risque d'accident potentiel, surtout en présence d'enfants. C'est pourquoi, lorsque vous utilisez des couteaux ou des lames de bricolage :

- Coupez toujours loin de vos doigts
- Lorsque vous n'utilisez pas la lame, couvrez toujours la surface tranchante avec la protection fournie par le fabricant ou, à défaut, avec un bouchon de liège ou un morceau de bois tendre.

7.2 Design de fusée

N'utilisez pas de pointes acérées sur le cône de nez ou les ailerons et n'utilisez jamais d'accessoires ou de raccords métalliques extérieurs au corps de la fusée.

7.3 Objets et tuyaux sous pression

Pendant le lancement et les essais, la tuyauterie et les raccords seront mis sous pression et des forces importantes peuvent être exercées sur diverses parties de votre système. La défaillance pure et simple d'un composant est rare (voir ci-dessous les limites de pression), mais il est fréquent que les raccords "rampent" sous la pression et qu'ils se rompent soudainement.

Lorsque votre système de lancement est sous pression, il doit être traité comme un feu d'artifice non explosé. Les enfants ne doivent pas s'en approcher.

7.4 Limites de pression

Utilisez uniquement des bouteilles en PET conçues pour les boissons gazeuses ou l'eau gazeuse. N'utilisez pas les bouteilles en PET utilisées (par exemple) pour les sirops de fruits ou les boissons lactées. Elles ne sont pas sûres.

Outre les raccords non étanches, le composant le plus susceptible d'exploser sous l'effet de la pression est la fusée à eau elle-même. La pression précise à laquelle les bouteilles explosent dépend de la conception de la bouteille, de son histoire et de toutes les choses étranges que vous avez pu lui faire subir. Si vous utilisez des bouteilles neuves et intactes, une pression inférieure à 6 bars évitera le risque d'explosion.



7.5 Procédure de lancement

Lorsque vous lancez la fusée, vous devez éviter qu'elle ne heurte un être vivant, car elle peut atterrir jusqu'à 100 mètres plus loin.

- Choisissez votre emplacement avec soin : la plupart des parcs publics ne conviennent qu'aux vols les plus courts.
- Lancez votre fusée en équipe, l'une des personnes étant chargée d'assurer la sécurité. Elle doit veiller à ce que personne n'entre dans le champ de tir.
- Commencez par tirer à faible pression jusqu'à ce que vous vous familiarisiez avec votre système de lancement. N'oubliez pas qu'un lancement accidentel de la fusée est une possibilité réelle, dès lors que la fusée est pressurisée.



Crédits :

Ce document a été inspiré par le UK NPL. Le livret de Michael de Podesta pour la compétition britannique de fusées à eau.

Sponsors :

Le Water Rocket Challenge est soutenu par



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Éducation nationale,
de l'Enfance et de la Jeunesse

ANNEXE

Fiche de test Water Rocket

Date	Temps	Nom de la fusée	Poids de la fusée

Paramètre de lancement

Nombre de lancement			
Quantité d'eau (cl)			
Angle de lancement (degrés)			
Launch pressure (bars)			

Résultats du lancement

Distance (mètres)			
Durée du vol (sec)			



1, rue John Ernest Dolibois
L-4573 Differdange

+352 621 969 019

contact@esero.lu