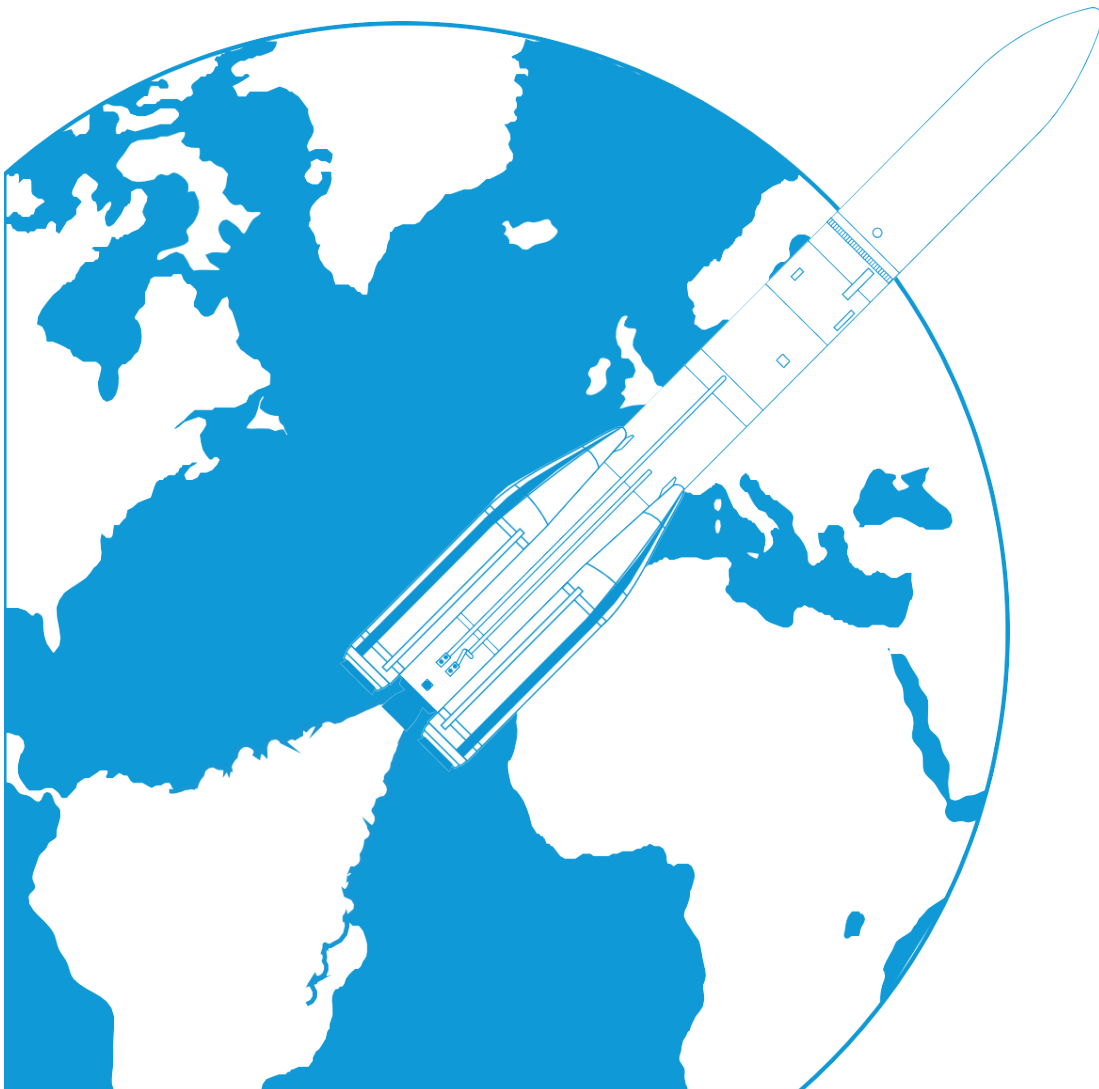
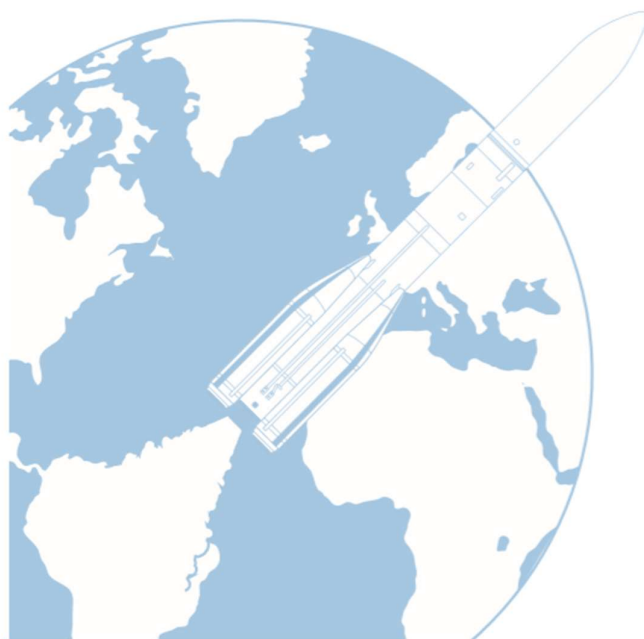


# Enseigner avec l'espace

## → 3...2...1 Décollage !

Construisez votre propre fusée





## Guide de l'enseignant

Quelques faits	page 3
Activité 1: Construisez votre propre fusée en papier	page 6
Activité 2: Lancez votre fusée	page 9
Activité 3: Vol spatial habité	page 15
Fiches élève	page 17
Liens utiles	page 29
Annexe 1	page 30
Annexe 2	page 31
Annexe 3	page 33
Annexe 4	page 43

Enseigner avec l'espace – 3...2...1 décollage! | P17  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

The ESA Education Office attend vos retours et commentaires  
[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

Activité développée par ESERO Nordic et ESERO Poland

Traduite par ESERO Belgium  
[eserobelgium.be](http://eserobelgium.be)

Une production de l'ESA Education  
Copyright 2019 © European Space Agency

## → 3...2...1 Décollage !

### Construisez votre propre fusée

#### Quelques faits

**Matière principale concernée :** Physique

**Tranche d'âge :** 14-16 ans

**Type :** Activité expérimentale

**Difficulté :** Moyenne

**Temps nécessaire :** 2 heures

**Coût :** Faible (5-10 euros)

**Lieu :** Intérieur et extérieur

**Matériel nécessaire :** Systèmes de lancement (voir Annexes 1 et 2)

**Mots-clés :** Physique, Fusées, Mouvement parabolique, Aérodynamique, Centre de masse, Centre de pression, Vitesse de libération, Vitesse orbitale, Vitesse, Accélération

#### Description

Dans cet ensemble de 3 activités, les élèves auront l'occasion de concevoir et de construire leur propre fusée en papier et de les faire décoller. Ils apprendront ce qui est nécessaire aux fusées pour assurer leur stabilité et en calculeront la trajectoire et la vitesse. Ils apprendront la vitesse requise pour quitter la Terre et découvriront pourquoi la Lune a le potentiel d'être un tremplin pour les futures explorations spatiales. Enfin, ils calculeront l'accélération au décollage de leur fusée et replaceront cette accélération dans le contexte d'un réel décollage avec la Force-G subie par les astronautes.

#### Objectifs d'apprentissage

- En savoir plus sur le centre de la masse et le centre de pression.
- Enquêter sur le mouvement des projectiles et les paraboles.
- Calculer la vitesse et l'accélération.
- Comprendre les forces.
- Améliorer la pensée scientifique et la capacité de travailler en équipe.

## → Résumé des activités

Résumé des activités					
	Titre	Description	Objectifs	Pré-requis	Temps
1	Construisez votre propre fusée	Conception et construction d'une fusée en papier.	En savoir plus sur les fusées, l'aérodynamique, le centre de masse, le centre de pression et ce qui rend une fusée stable.	Aucun	30 minutes
2	Lancez votre fusée	Lancement de la fusée, calcul de la vitesse initiale à sa sortie de la plateforme de lancement. Lien avec la vitesse de libération de la Terre et de la Lune.	En savoir plus sur les forces, le mouvement des projectiles et la vitesse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avoir fait l'activité 1.</li> <li>• Système de lancement (Annexe 1 ou 2). Le lancement doit être fait dans un espace ouvert, idéalement à l'extérieur.</li> </ul>	45 minutes
3	Vol spatial habité	Calcul de l'accélération de la fusée en papier au décollage. Rapport avec la force G vécue par les astronautes.	En savoir plus sur l'accélération et la force G.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avoir fait l'activité 2.</li> </ul>	45 minutes

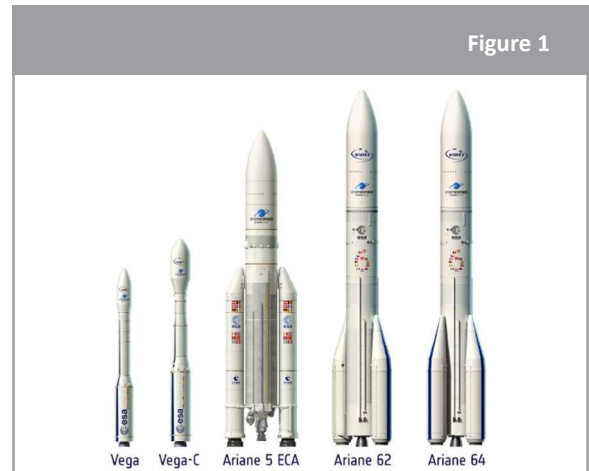
## → Introduction

Les agences spatiales utilisent régulièrement des fusées : pour envoyer des équipages à la Station Spatiale Internationale (ISS), pour transporter des sondes qui exploreront notre système solaire et pour lancer des satellites en orbite autour de la Terre. En fonction de leurs utilisations, les fusées varient en taille, en conception et au niveau du type de carburant qu'elles utilisent.

La famille de lanceurs de l'ESA comprend les lanceurs Vega, Vega-C et Ariane 5. Une nouvelle fusée plus efficace est en cours de développement pour lancer des missions satellites et des sondes : l'Ariane 6 (qui se présentera sous la forme d'Ariane 62 et Ariane 64). Ces lanceurs sont capables de lancer une

vaste gamme de missions dans l'espace - des satellites de communication aux missions du système solaire. Leurs puissants moteurs fournissent l'énergie nécessaire pour échapper à la gravité terrestre.

L'ESA lance ses fusées depuis son port spatial situé en Guyane française, en Amérique du Sud, à seulement 500 km au nord de l'équateur. C'est au niveau de l'équateur que la rotation de la Terre est la plus rapide, les fusées peuvent ainsi profiter de l'effet " slingshot " qui augmente leur vitesse de 460 m/s, ce qui permet d'économiser du carburant et de l'argent. Cet emplacement est également idéal pour les lancements en orbite de satellites géostationnaire car peu de changements doivent être apportés à leur trajectoire. La sécurité est également prise en compte pour les sites de lancement. La Guyane est peu peuplée et 90% du pays est couvert de forêts équatoriales. De plus, il n'y a aucun risque de cyclones ou de tremblements de terre. Tous ces facteurs font du port spatial de l'ESA un site de lancement optimal



↑ ESA'S 'Family' of launch vehicles.



↑ Orion avec module de service européen

Pour atteindre la Lune avec une mission en équipage, nous devons lancer une fusée puissante ! L'une des fusées les plus puissantes jamais lancées a été la Saturn V, qui a transporté des humains sur la Lune dans le cadre du programme Apollo dans les années 60 et 70. Les humains n'ont pas remis les pieds sur la Lune depuis.

Le vaisseau spatial Orion de la NASA, en combinaison avec le module de service européen en cours de développement par l'ESA, sera lancé grâce une nouvelle génération de fusées. Ils permettront aux astronautes d'aller plus loin dans l'espace, au-delà de la Lune jusqu'aux astéroïdes et même jusqu'à Mars. Dans cette série d'activité, les élèves concevront et lanceront leur propre fusée pour retourner sur la Lune !

## → Activité 1 : Construisez votre propre fusée en papier

Dans cette activité, les élèves construisent une fusée en papier. Ils trouveront le centre de masse et le centre de pression et s'efforceront de rendre leurs fusées aussi aérodynamiques que possible. Ils testeront la stabilité de leur fusée et examineront les variables de leur conception qui influencent la performance de leur fusée.

### Matériel par groupe

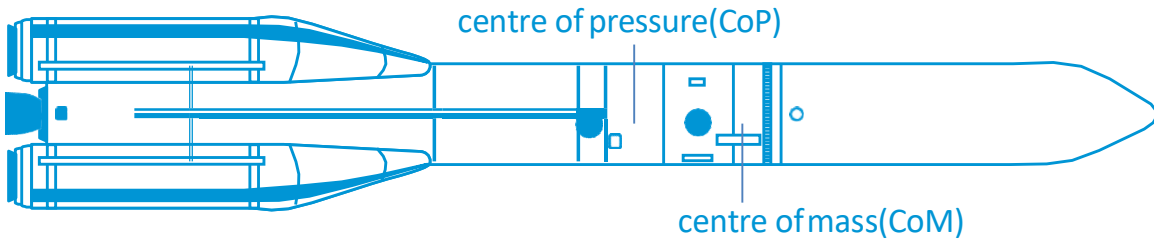
- Feuille de travail imprimée
- 2 feuilles de papier A4
- Ciseaux
- Ruban adhésif
- Plasticine
- Carton
- Ailettes et gabarit de nez (en option) - Annexe 3

### Exercice

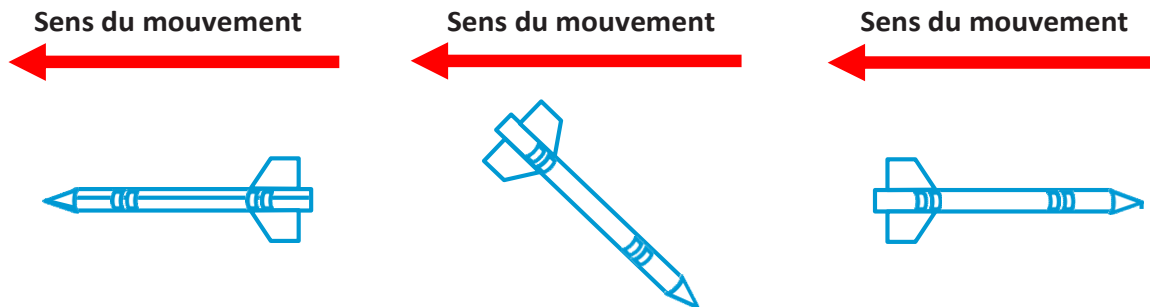
1. Divisez la classe en groupes de maximum trois élèves et demandez-leur de construire une fusée à partir du matériel fourni. Il est important de souligner que le corps de la fusée doit être adapté au système de lancement que vous avez préparé. Les élèves doivent faire preuve de créativité dans la conception de la fusée et décider eux-mêmes de la taille et du nombre d'ailettes. Dans l'annexe 3, vous trouverez un modèle pour les ailerons et le cône de nez comme source d'inspiration.
2. Demandez aux élèves de trouver le centre de masse (CdM) de leurs fusées. Le CdM est la position moyenne de toute la masse d'un système, ils vont donc pouvoir trouver ce point en équilibrant leur fusée avec une corde. Note : certaines sources remplaceront le CdM par "centre de gravité".
3. Demandez aux élèves de trouver le centre de pression (CdP) de leur fusée. Le centre de pression est le centre géométrique de la fusée où toutes les forces aérodynamiques agissent. Si la fusée était homogène à l'intérieur, le CdM et le CdP coïncideraient. On peut trouver le CdP en additionnant les forces individuelles agissant sur les ailes, les surfaces de la queue, la traînée, etc. mais cela peut être difficile à calculer. Une façon simple de trouver un point approximatif est de découper la silhouette de la fusée dans du carton et de l'équilibrer sur un rebord. Ceci permet de trouver l'équilibre de la surface projetée.

4. Les élèves doivent marquer le CdM et le CdP sur leur fusée et réfléchir sur le lien entre ces points importants. Demandez aux élèves d'effectuer un test de balancement et d'évaluer comment la position et la relation entre le CdM et le CdP affectent la stabilité de leur fusée.

5. Exemple de la façon dont le CdM et le CdP devraient être situés afin d'avoir une fusée stable



6.



Vol stable, nez en avant. Le CdM est devant le CdP. Si l'exemple présenté est dans cette situation, la configuration est idéale.

Tête à queue. Le CdM est trop proche du CdP.

La fusée vole à reculons. Le CoP est devant le CdM.

7. Dans le tableau ci-dessous vous trouvez certaines des variables qui peuvent être modifiées dans la conception et le lancement de la fusée.

Variable	Comment le changement de cette variable influencera-t-il la performance de votre fusée ?
Nombre d'ailettes	Cela affectera le centre de masse, car plus de poids est ajouté à l'arrière de la fusée. Il peut également changer l'emplacement du centre de pression si la surface change. Si le nombre d'ailettes est asymétrique, cela peut également affecter la stabilité et la traînée.
Taille et forme des ailettes	Des ailettes plus grandes déplaceront le centre de pression vers l'arrière.
Conditions météorologiques	Différentes conditions météorologiques pourront affecter le décollage, selon la conception. Par exemple, une fusée avec de grandes ailettes sera plus sujette aux vents forts. En général, les fusées en papier sont moins performantes au vent et surtout sous la pluie.
Longueur de la fusée	La longueur de la fusée affectera le centre de pression. Si une fusée est trop courte ses capacités aérodynamiques seront diminuées. Si elle est trop longue, la structure en papier ne pourra pas tenir toute seule.
Poids de la fusée	La répartition du poids de la fusée déterminera le centre de masse. Un cône de nez lourd fera avancer le CdM. Ceci peut être fait en mettant de la plasticine dans le cône de nez.

**Note :** Si votre classe a accès à des ordinateurs, vous pouvez télécharger gratuitement l'outil de simulation de fusée <http://openrocket.info/>. Dans cette simulation, les élèves peuvent jouer avec les dimensions et la conception de leurs fusées et étudier la relation entre le centre de masse et le centre de pression.



## → Activité 2 : Lancez votre fusée

Dans cette activité, les élèves découvriront que les mathématiques font partie intégrante de la science des fusées. Ils apprendront à connaître les forces et devront dessiner des diagrammes de corps libres. Avant et après le lancement, ils examineront la trajectoire de la fusée et effectueront des calculs de vitesse.

### Matériel

- Feuille de travail imprimée par groupe d'élèves
- Système de lancement (voir annexes 1 et 2)
- Fusée en papier construite à l'activité 1
- Long ruban à mesurer
- Rapporteur d'angle (facultatif)

### Santé et sécurité

Veillez à ce que l'aire de lancement soit dégagée de toute personne. Ne visez personne avec la fusée. Il est conseillé de se protéger les yeux.

### Exercice

Lorsque vous lancez les fusées, n'oubliez pas d'avoir beaucoup d'espace et une surface plane (comme par exemple un terrain de football). Si vous utilisez la plate-forme de lancement de l'annexe 2, les fusées peuvent voler à 100 m ou plus ! Dites aux élèves que la pression maximale ne doit pas être supérieure à 7 bars.

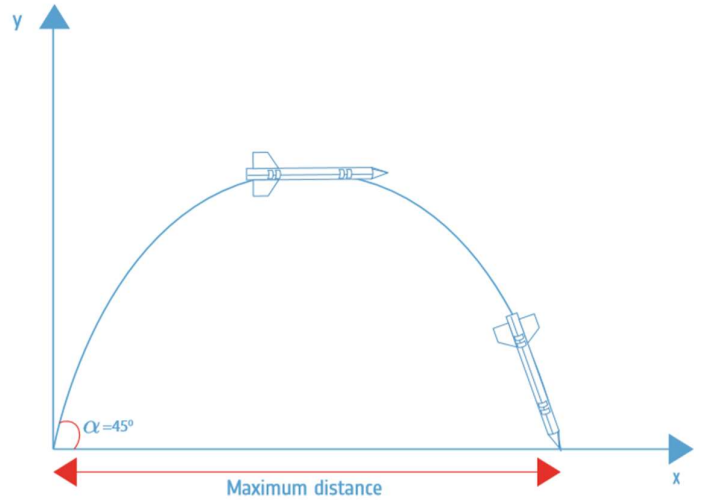
Laissez les élèves débattre de l'angle sous lequel il est préférable de lancer leur fusée. Plus loin dans la section de discussion, vous pouvez parler de l'angle optimal afin d'obtenir une distance maximale. Vous pouvez soit demander aux élèves de lancer leur fusée avec le même angle afin de comparer quelle équipe a fabriqué la meilleure fusée, soit vous pouvez permettre aux élèves d'essayer leur fusée en les lançant sous différents angles pour trouver l'angle optimal.

Vous pouvez faire une compétition et récompenser les équipes avec les fusées ayant été le plus loin. Nous vous avons fourni un tableau en annexe 3 pour noter la distance parcourue par chaque fusée (cette information sera nécessaire plus tard).

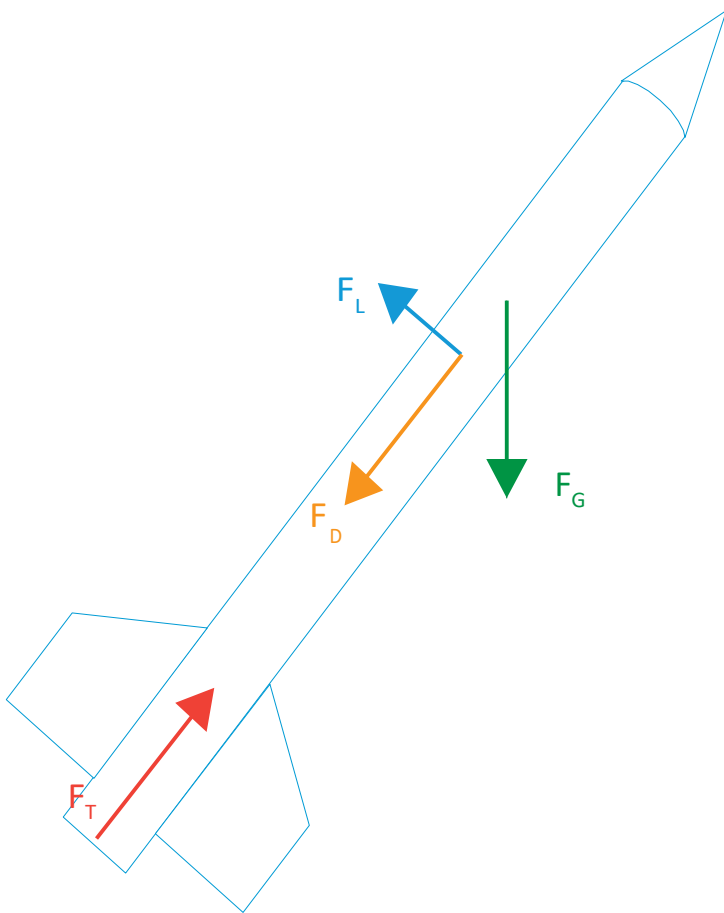
Après le lancement, expliquez comment les fusées accélèrent vers le haut et pourquoi elles suivent une trajectoire parabolique. Introduisez les trois lois de Newton du mouvement et de la force due à la gravité. Présenter les concepts de vitesse de libération et de vitesse orbitale et comparer le lancement des fusées en papier avec le lancement d'une fusée réelle.

## Résultats

1. Schéma de la trajectoire que suivra la fusée
2. Pour maximiser la distance parcourue, le lancement doit se faire à un angle de  $45^\circ$ .
3. Conditions initiales qui peuvent avoir un impact sur la trajectoire de votre fusée.
  - Le vent
  - La vitesse initiale donnée à la fusée
  - L'angle de lancement



4. Diagramme des forces agissant sur la fusée pendant la phase de poussée.



### **$F_T =$ Poussée**

La force de poussée de la fusée n'a lieu que pendant un très court laps de temps pendant le lancement, ce qui donne un coup de pouce à la fusée. C'est cette force qui fait voler la fusée.

### **$F_G =$ Force gravitationnelle**

On peut considérer que la force gravitationnelle sera constante pendant tout le vol.

### **$F_D =$ Force de frottement**

La force de frottement dépend de la densité, de la viscosité et de la compressibilité de l'air, mais également de la vitesse, de la forme et de l'inclinaison de la fusée.

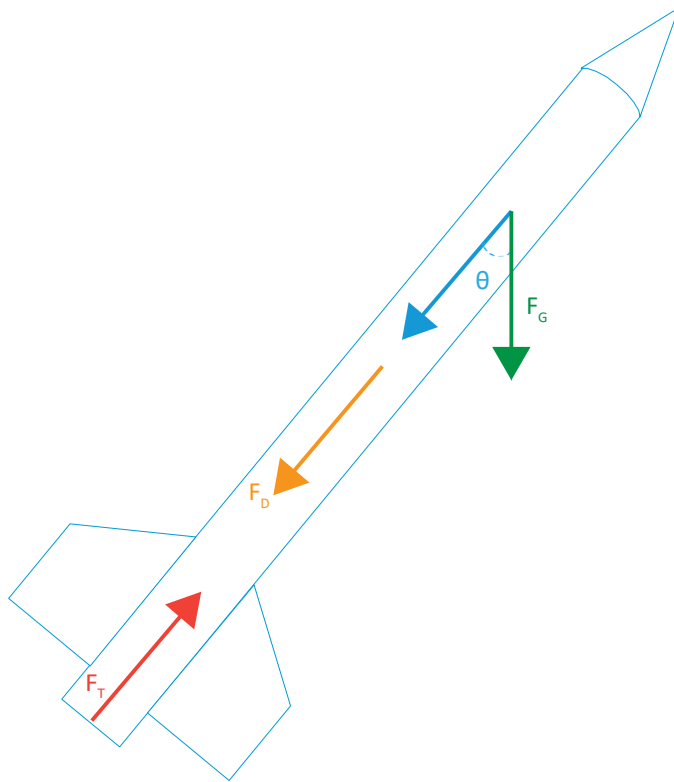
### **$F_L =$ Force de levée**

La force de levée dépend de la densité, de la viscosité et de la compressibilité de l'air, ainsi que de la vitesse, de la forme et de l'inclinaison de la fusée. Pour cette activité, nous considérerons la force de levée comme négligeable.

5.

- Dans une vraie fusée de l'ESA (par exemple Ariane 5), cette phase ne dure quelques minutes, alors que dans notre fusée en papier elle dure à peine une seconde.
- Dans la direction du mouvement, la résultante des forces  $F$  est donnée par :

$$F = -F_D + F_T - F_G \cos \theta$$



Pour  $F$  :  $F = m a$

$m$  est la masse et  $a$  est l'accélération.

Pour  $F_T$  :  $F_T = -u_e \frac{dm}{dt}$

$u_e$  est la vitesse d'échappement des gaz par rapport à la fusée et  $\frac{dm}{dt}$  est le taux de variation de la masse de la fusée.

Pour  $F_G \cos \theta$  (force due à la gravité dans la direction du mouvement de la fusée) :

$F_G = m g$

$m$  est la masse et  $g$  est la valeur de l'accélération gravitationnelle et  $\theta$  est l'angle entre la direction de déplacement de la fusée et la direction de  $F_G$ .

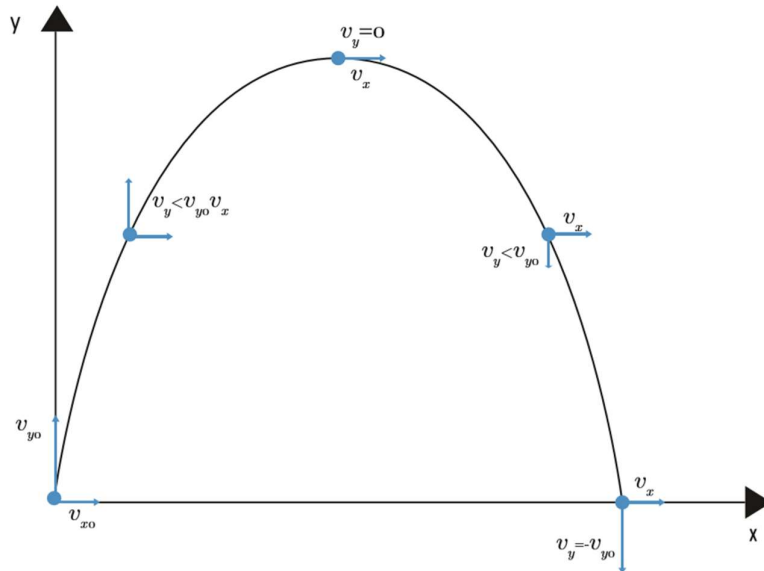
$F_D$  est la force de frottement

- En substituant ces termes et en divisant par  $m$ , on obtient l'accélération :

$$a = -\frac{F_D}{m} - \frac{u_e}{m} \frac{dm}{dt} - g \cos \theta$$

7.

- Graphique avec les composantes horizontales et verticales de la vitesse. Les élèves sont encouragés à considérer les forces qui agissent sur la fusée à chaque point et les raisons pour lesquelles il en résulte le mouvement parabolique que nous voyons.



- La fusée est rapidement accélérée pendant la phase de poussée sur le pas de tir. Une fois que la fusée quitte le pas de tir, il n'y a plus de poussée. En ignorant la traînée, cela signifie qu'il n'y a pas de force travaillant sur la fusée dans l'axe x, donc à partir de la première loi de Newton, la composante de vitesse x ( $v_x$ ) est constante. Dans l'axe des y, nous avons la force gravitationnelle qui agit sur la fusée en direction du centre de la Terre (perpendiculairement à la surface), donc la composante de la vitesse y ( $v_y$ ) va changer.

8. En isolant la vitesse dans l'équation, on obtient :

$$v = \sqrt{\frac{d g}{\sin(2\alpha)}}$$

9. Si on pose la distance  $d = 40\text{m}$  et l'angle de tir  $\alpha = 45^\circ$

$$v = \sqrt{\frac{40 \times 9.81}{\sin(2 \times 45)}} = \sqrt{\frac{392.40}{1}} = 19.81 \text{ m/s}$$

$$v = \left(\frac{19.81}{1000}\right) \times 60 \times 60 = 71.3 \text{ km/h}$$

10. La vitesse de libération de la Terre peut être calculée de la manière suivante:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{6.371 \times 10^6}} = 1.12 \times 10^4 \text{ m/s} = 4.03 \times 10^4 \text{ km/h}$$

11. La vitesse requise pour mettre un engin spatial en orbite autour de la Terre à 300 km au-dessus de la surface de la Terre est égale à:

$$v_{orbital} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{6.371 \times 10^6 + 3.00 \times 10^5}} = 7.73 \times 10^3 \text{ m/s} = 2.78 \times 10^4 \text{ km/h}$$

Où  $r$  est le rayon de l'orbite (du centre de la Terre) soit 6371 km + 300 km

12. Comparé à l'exemple du point 9, c'est  $2,78 \times 10^4 / 71,3 = 390$  fois plus rapide que la vitesse de la fusée construite par l'élève.

13. La Lune ayant une masse beaucoup plus petite pour son rayon comparativement à la Terre, la vitesse d'évasion de la Lune est beaucoup plus faible.

14. La Vitesse d'évasion de la Lune peut être calculée comme telle:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 7.35 \times 10^{22}}{1.737 \times 10^6}} = 2.38 \times 10^3 \text{ m/s} = 8.57 \times 10^3 \text{ km/h}$$

15. Comme la vitesse d'évasion de la Lune est plus faible, il faut moins d'énergie (et donc moins de carburant) pour lancer un engin spatial depuis la Lune, ce qui facilite le lancement de charges lourdes depuis la surface de cette dernière.

## Discussion

Résumez les résultats en classe. Qu'est-ce que chaque groupe a fait pour que sa fusée aille plus loin ? Est-ce que ça a marché ? Pourquoi ?

Demandez aux élèves pourquoi il pourrait être utile de lancer des fusées depuis la Lune pour aller plus loin dans l'espace - dans le cas d'un voyage sur Mars par exemple ? Aidez-les à comprendre que, puisque la vitesse orbitale et la vitesse d'évasion sont bien plus faibles sur la Lune que sur Terre, nous aurions besoin de moins de carburant, ce qui signifie que le lancement serait beaucoup moins coûteux. Vous pouvez également expliquer pourquoi les fusées sont lancées à partir d'endroits situés près de l'équateur à l'aide des informations fournies dans l'introduction.

Parlez des simplifications et des hypothèses que vous avez faites dans les calculs. Par exemple, nous n'avons tenu compte d'aucune décélération due à la force de traînée. La force de traînée augmente à mesure que la vitesse augmente. Discutez du moment et de l'endroit où ils pensent que la force de résistance aura le plus d'effet sur la fusée. La vitesse d'évasion et la vitesse orbitale requises sont plus élevées sur Terre que ce qui a été calculé. Discutez du fait que c'est un autre avantage sur la Lune, puisqu'il n'y a pas d'atmosphère, il n'y a pas de résistance à l'air et il est donc plus facile de s'échapper.

## → Activité 3: Vol spatial habité

Dans cette activité, les élèves apprendront les notions d'accélération, de forces et de force G. Ils examineront pourquoi il faut prendre des précautions supplémentaires lors du lancement de fusées habitées.

### Exercice

Commencez l'activité en demandant à la classe comment les fusées accélèrent vers le haut. C'est une excellente occasion de parler des trois lois du mouvement de Newton et de la force due à la gravité.

### Résultats

1. En réarrangeant les équations vues précédemment en fonction du temps (t), on obtient :

$$\frac{2 s}{u + v} = \frac{v - u}{a}$$

En mettant l'accélération en évidence:

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2 s}$$

2. La Vitesse initiale de la fusée est nulle donc  $u = 0$  m/s. Si nous utilisons la Vitesse calculée au point 9 de l'activité 2, l'accélération vaudra:

$$a = \frac{19.81^2 - 0^2}{2 \times 0.3} = \frac{392.4}{0.6} = 654 \text{ m/s}^2$$

3. On demande aux élèves de calculer la force G de la fusée au lancement. Une force G n'est pas une force, mais plutôt un rapport de l'accélération totale agissant sur un objet à l'accélération due à la gravité de la Terre. En utilisant la réponse ci-dessus, nous obtenons :

$$G_{force} = \frac{654}{9.81} = 67$$

Ce qui correspond à 67 fois la force due à la gravité de la Terre

## Discussion

Discutez en classe des raisons pour lesquelles ils pensent qu'un astronaute n'a généralement pas plus de 3 à 6 G alors que le nombre est si élevé pour leur fusée ?

Dans la vie réelle, un humain ne peut tolérer une force G aussi élevée que 67 G. La force G qu'un humain peut supporter dépend aussi de la durée de son exposition aux forces: de quelques secondes à quelques minutes. Rappelez aux élèves que cela dépend de l'accélération et non de la vitesse. L'accélération est le changement de la vitesse par rapport au temps. Pour une mission avec équipage, l'accélération est plus faible et l'engin spatial met beaucoup plus de temps à atteindre la vitesse requise.

Une fois les trois activités terminées, vous pouvez demander aux élèves de rédiger un rapport individuel sur leur expérience en utilisant les connaissances qu'ils ont acquises au cours de ces activités. Demandez leur d'évaluer comment les activités se sont déroulées et quelles améliorations pourraient être apportées à leurs fusées s'ils devaient les refaire.



## → 3...2...1 Décollage!

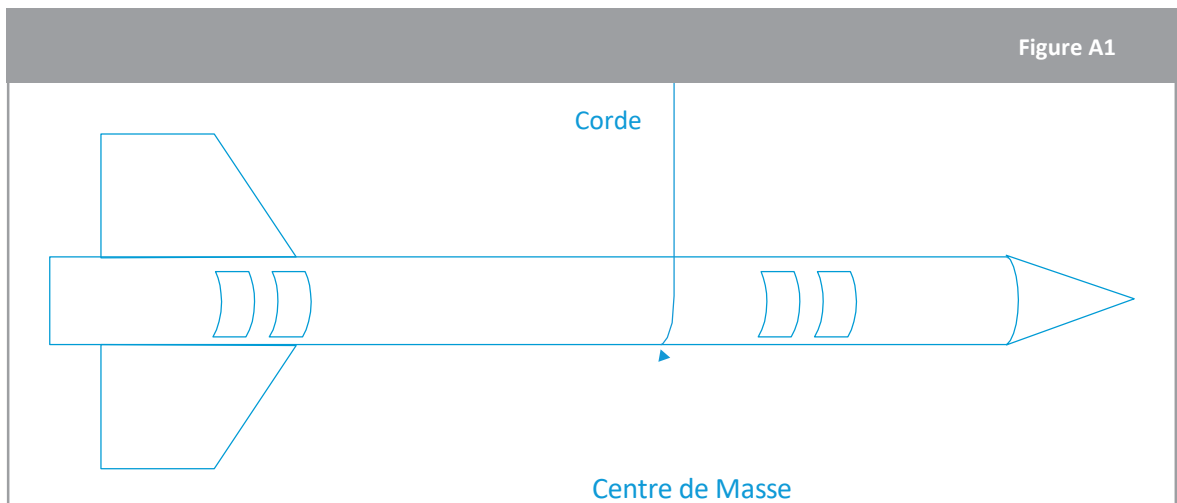
### Construisez votre propre fusée

#### → Activité 1 : Construisez votre propre fusée en papier

Les principes de base de la fusée sont les mêmes pour une simple fusée en papier que pour les fusées spatiales. Dans cette activité, vous concevrez et construirez votre propre fusée en papier et l'utiliserez pour étudier certaines des variables de la conception qui peuvent affecter sa stabilité et ses performances.

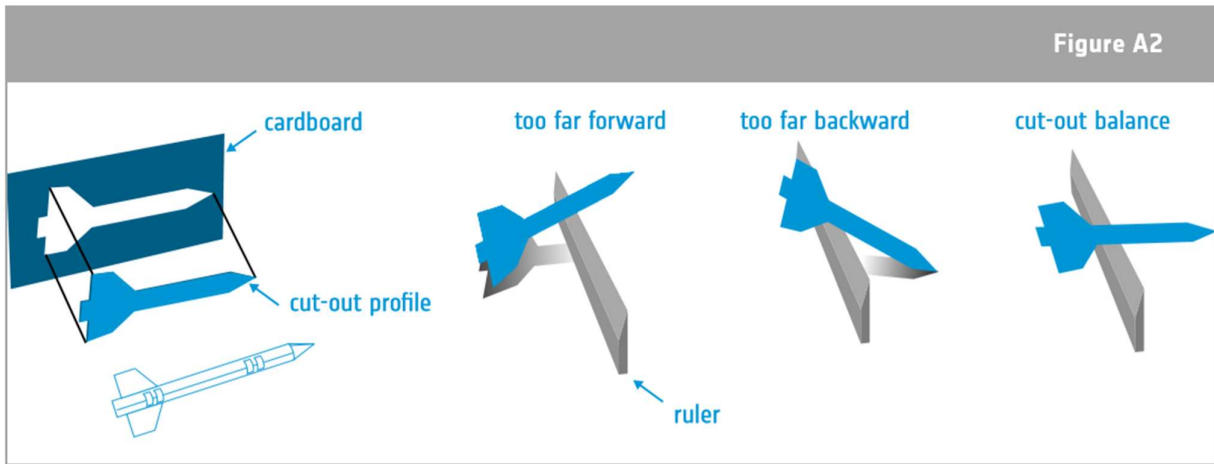
#### Exercice

1. Construisez une fusée en papier en utilisant l'équipement fourni par votre professeur. Vous pouvez construire votre fusée comme bon vous semble, mais assurez-vous qu'elle s'adapte au système de lancement que vous allez utiliser.
2. Trouvez le centre de masse (CdM) de votre fusée. C'est le point représentant la position moyenne de la masse dans un corps ou un système. Vous pouvez le faire en attachant un morceau de fil autour de votre fusée et en l'équilibrant comme indiqué sur le dessin ci-dessous. Marquez au crayon l'endroit où vous pensez que le CdM se trouve.



↑ Illustration de la façon de trouver le centre de masse d'une fusée en papier: La fusée est équilibrée, suspendue à une corde - le centre de masse (CdM) est l'endroit où la corde est attachée.

3. Trouvez le centre de pression (CdP) de votre fusée. Il s'agit de l'emplacement moyen de la pression agissant sur la fusée. Dans ce cas, il peut être trouvé en localisant l'équilibre de la surface projetée de la fusée. Vous pouvez trouver le CdP en découpant une silhouette de votre fusée en carton et en l'équilibrant sur un bord. Marquez le CdP sur votre fusée.



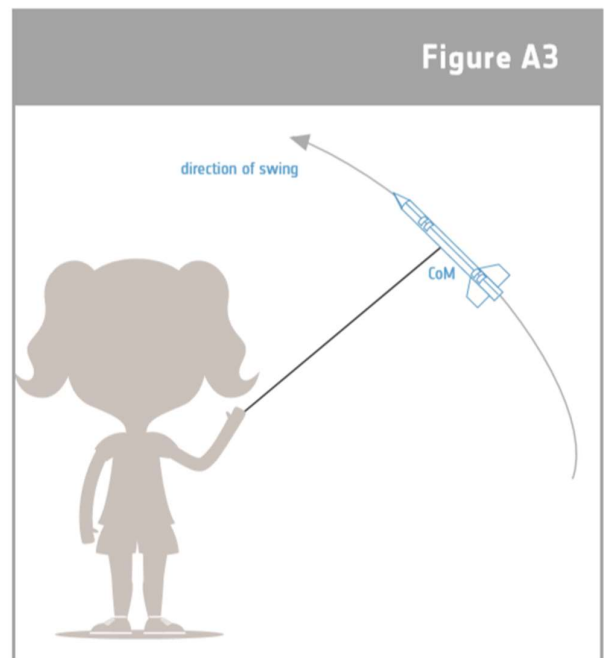
↑ Illustration de la façon de trouver le centre de pression d'une fusée en papier. Une silhouette de la fusée est découpée dans du carton. Le centre de pression se trouve là où la silhouette en carton est équilibrée sur une règle.

4. Quelle est la distance entre le centre de masse et le centre de pression? \_\_\_\_\_ cm

5. Le centre de pression se trouve-t-il devant le centre de masse? Oui / Non

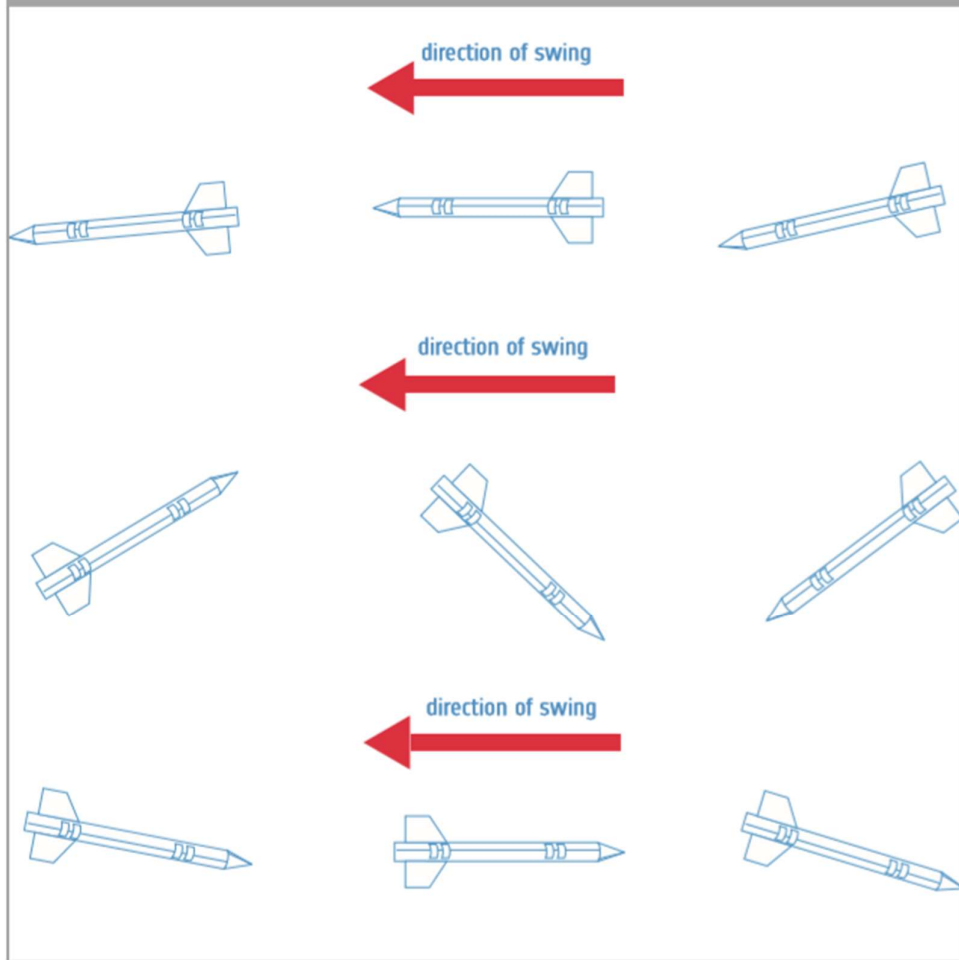
6. Vous pouvez simuler un essai en soufflerie en effectuant un test de balancement : Attachez un morceau de ficelle au centre de la masse et faites tourner la fusée en cercle comme sur l'illustration ci-dessous :

Analysez la stabilité de votre fusée et des fusées de vos camarades de classe et essayez de jouer avec le centre de masse en ajoutant du poids dans le nez ou à la base. Selon vous, quelle est la position relative du centre de masse (CdM) par rapport au centre de pression (CdP) dans les trois exemples présentés à la page suivante?



↑ Illustration de du test de balancement.

Figure A4



Position relative du CdM par rapport au CdP :

---



---



---

Position relative du CdM par rapport au CdP :

---



---



---

Position relative du CdM par rapport au CdP :

---



---



---

7. Votre fusée était-elle alignée avec le sens de déplacement pendant toute la durée de l'essai de balancement ? Si ce n'est pas le cas, que pensez-vous que vous devriez changer ?

---



---



---



---

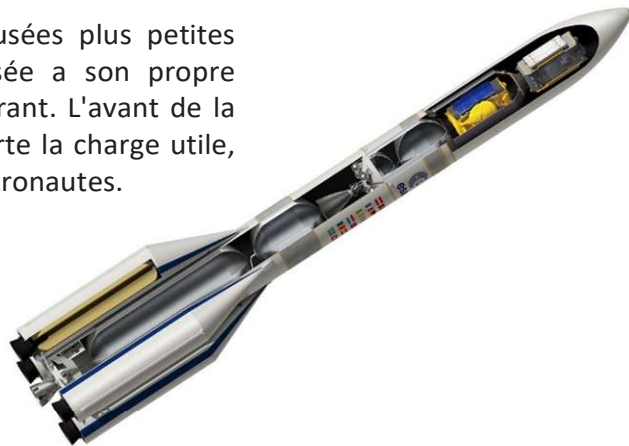
8. Ajoutez plus de variables à la table et réfléchissez à la façon dont vous pouvez modifier la variable pour que votre fusée soit plus stable.

Table A1	
Variables	Description
Nombre d'ailettes	
Taille et forme des ailettes	

9. Donne un nom cool à ta fusée : \_\_\_\_\_

### Le saviez-vous ?

Une fusée est divisée en plusieurs fusées plus petites (appelées étages). Chaque petite fusée a son propre moteur et sa propre réserve de carburant. L'avant de la fusée, appelé carénage avant, transporte la charge utile, habituellement des satellites ou des astronautes.

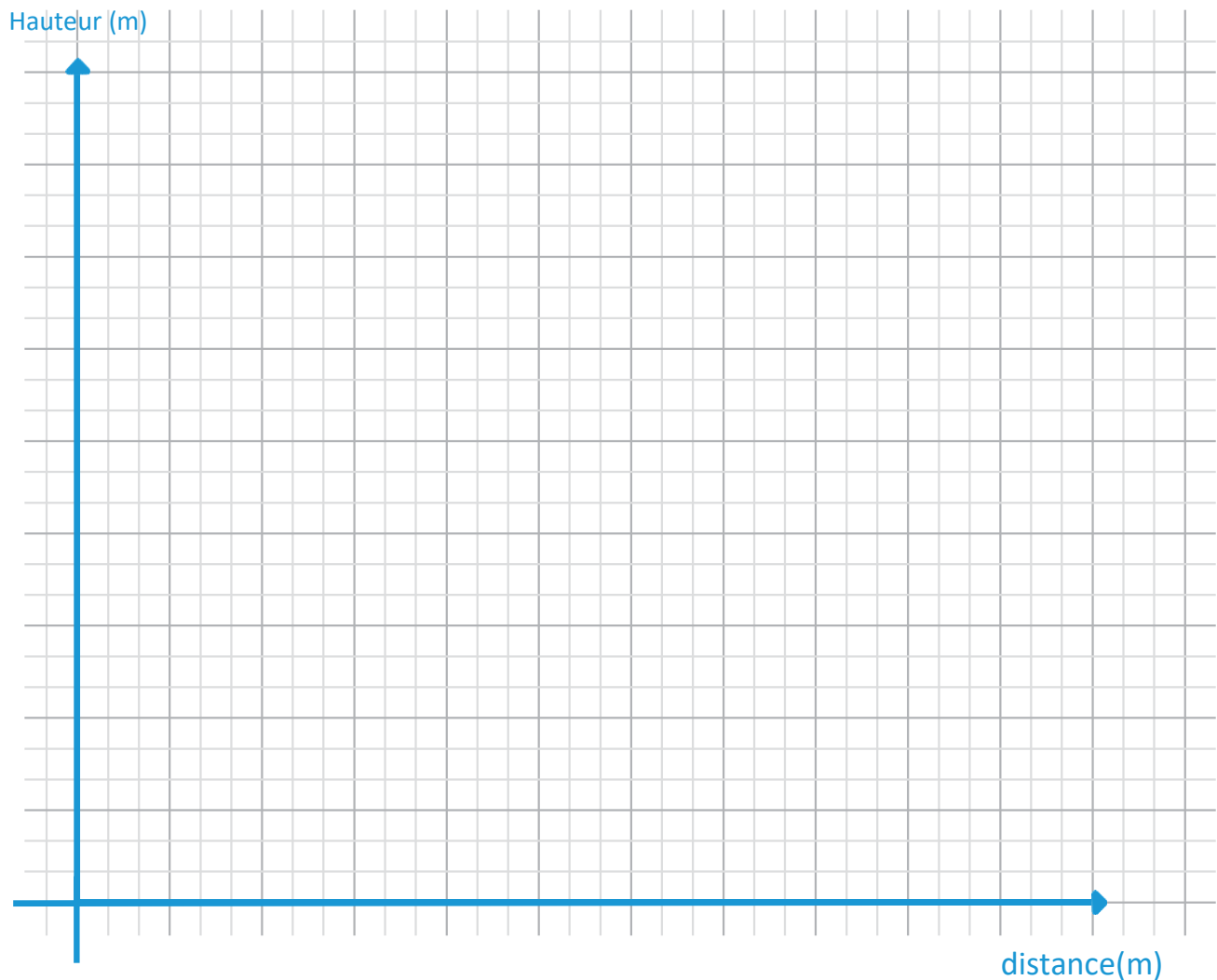


## → Activité 2 : Lancez votre fusée

Vous êtes maintenant prêt à lancer votre fusée ! Une fusée en papier bien construite peut atteindre des distances de vol de 30 m ou plus ! Dans cette activité, vous allez utiliser les résultats de votre lancement de fusée pour calculer sa vitesse et découvrir à quelle vitesse elle devrait aller pour aller sur la Lune.

### Exercice

1. Avant de lancer, tracez la trajectoire que vous prévoyez que votre fusée suivra lorsque vous la lancerez à partir du sol.



2. Sous quel angle par rapport au sol devez-vous lancer votre fusée pour maximiser la distance parcourue ?

---

3. À quelle distance du pas de tir votre fusée a-t-elle atterri, en mètres ?

---

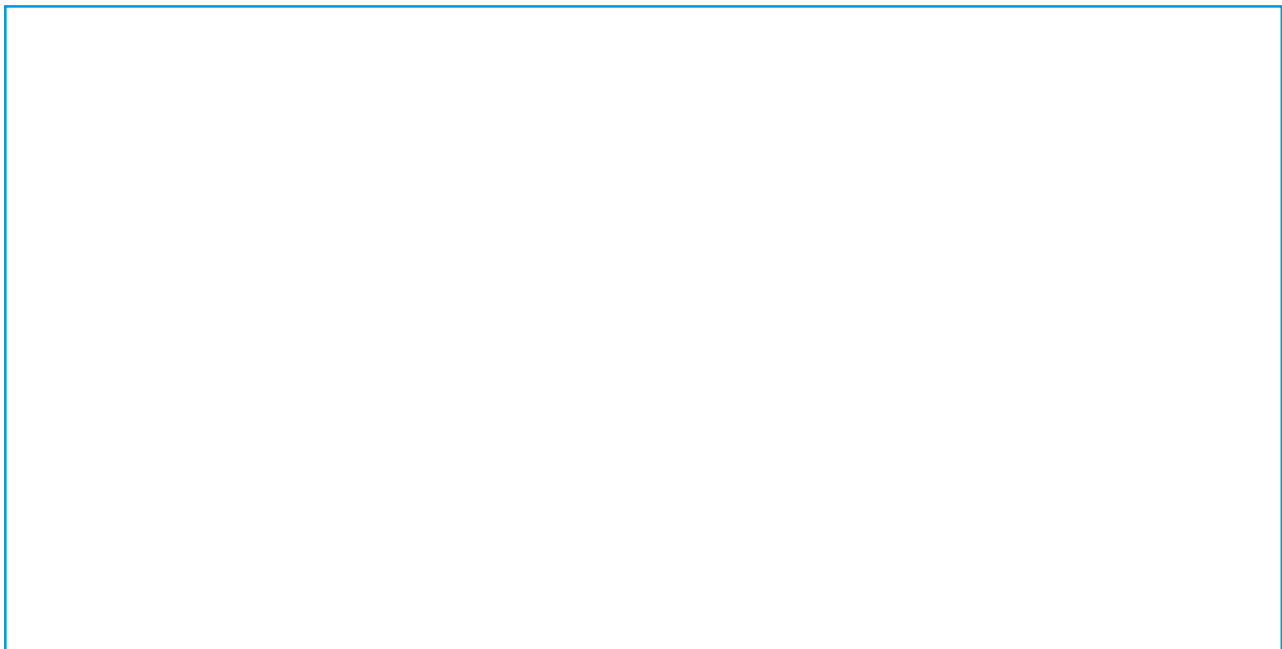
4. Votre fusée a-t-elle suivi la trajectoire que vous attendiez ? **Oui / Non**  
À partir de vos résultats, identifiez trois conditions initiales possibles qui ont affecté la trajectoire de votre lancement de fusée.

a. \_\_\_\_\_

b. \_\_\_\_\_

c. \_\_\_\_\_

5. Dessinez un diagramme des forces qui, selon vous, agiraient sur une fusée pendant la phase de montée motorisée (lorsque la propulsion est efficace).



6.

- A) Combien de temps pensez-vous que la phase d'ascension motorisée va durer dans le cas d'une vraie fusée ? Et dans ta fusée en papier ?

---

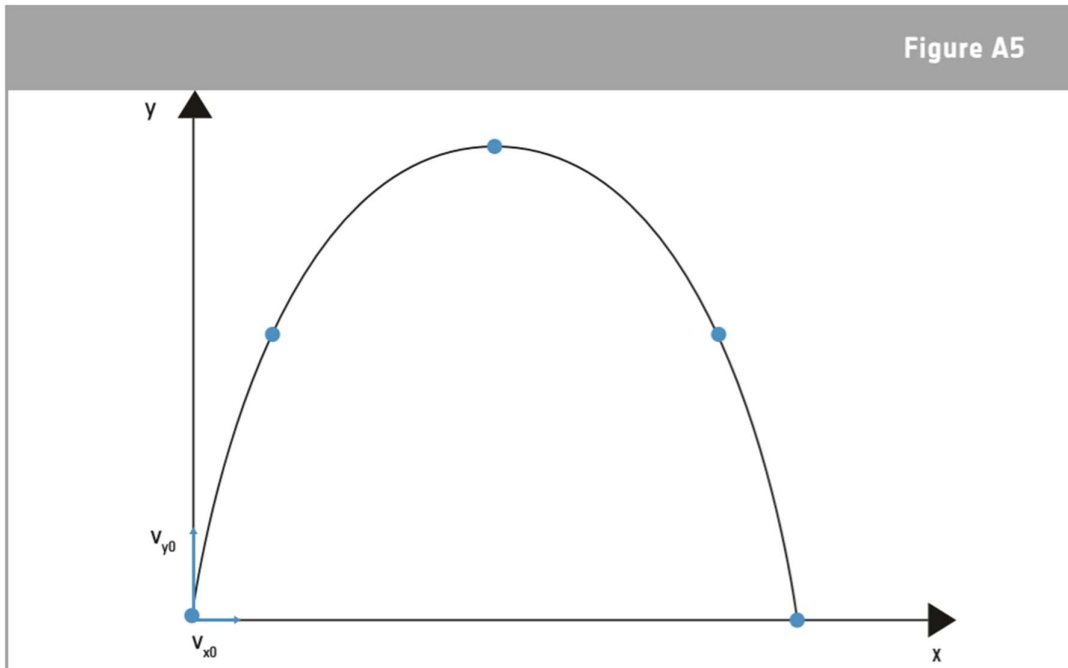
---

- B) Ecrivez l'équation de force résultante de la fusée (en ne prenant en compte que les forces dans la direction du mouvement de la fusée).

- C) Trouvez une expression pour l'accélération de la fusée.

7.

- A) Complétez le graphique avec la composante de vitesse horizontale ( $v_x$ ) et la composante de vitesse verticale ( $v_y$ ) de la fusée aux points marqués sur la parabole ci-dessous. Nous vous avons aidé en dessinant les vecteurs de vitesse initiaux  $v_{x0}$  et  $v_{y0}$ . Vous devez également tenir compte des forces qui agissent sur la fusée tout au long du vol et réfléchir aux raisons pour lesquelles elle suit la trajectoire qu'elle suit. Nous négligeons l'effet de résistance à l'air (traînée) dans cette question.



B) Décris la variation de la vitesse de ce graphe

---



---



---

8. Pour qu'un objet suive une trajectoire parabolique près de la surface de la Terre (où l'on peut supposer que le champ gravitationnel est uniforme), il est possible de montrer que la distance, la vitesse et l'angle de lancement dépendent les uns des autres comme suit:

$$d = \frac{v^2 \sin(2\alpha)}{g}$$

Où :

$d$  = Distance [m]

$v$  = vitesse [m/s]

$\alpha$  = Angle de lancement

$g$  = Accélération gravitationnelle [m/s<sup>2</sup>]

Réarrangez l'équation ci-dessus en mettant la vitesse en évidence:



9. Utilisez la distance de vol de votre fusée (en mètres) du le dernier exercice. Utilisez l'équation du point 8 pour calculer la vitesse à la sortie du pas de tir. Utiliser  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

10. Convertissez le résultat en km/h? \_\_\_\_\_

11. Maintenant que vous avez la vitesse de votre fusée, examinons comment aller sur la Lune! Vous devez atteindre la vitesse de libération définie comme suit :

$$v_e = \sqrt{\frac{2 G M}{r}}$$

Où :

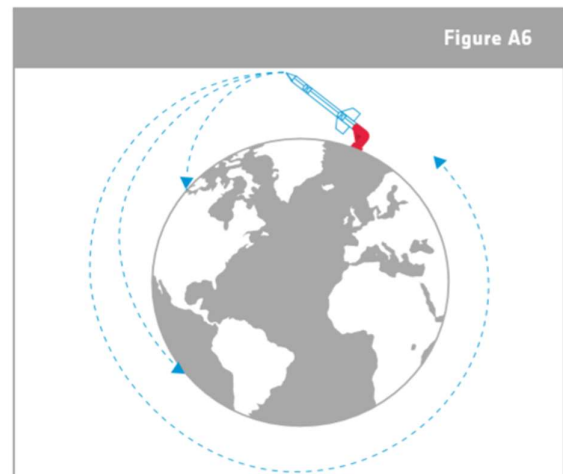
$G = \text{Constante gravitationnelle} = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$

$M = \text{masse de la Terre} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

$r = \text{rayon de la Terre} = 6371 \text{ km}$

Calculez la vitesse de libération de la Terre.

Comme la vitesse de libération de la Terre est élevée, nous lançons actuellement des fusées en orbite avant d'effectuer des manœuvres pour aller plus loin dans l'espace. Si nous lançons la fusée directement vers le haut, elle retombera rapidement sur la Terre. Au lieu de cela, nous devrions lancer la fusée avec une grande vitesse tangentielle (vitesse parallèle à la surface de la Terre).



↑ Illustration du lancement avec une grande vitesse tangentielle (vitesse parallèle à la surface de la Terre). Lorsqu'elle est lancée à une vitesse suffisamment élevée, la fusée peut atteindre l'orbite terrestre.

12. Plus la vitesse de la fusée est élevée, plus elle s'éloigne avant de tomber sur Terre. Avec une vitesse suffisante, elle ne redescendra jamais car elle se met en orbite ! La vitesse requise pour que cela se produise est appelée vitesse orbitale. La vitesse orbitale peut être calculée avec cette équation :

$$v = \sqrt{\frac{G M}{r}}$$

Où :

$G =$  Constante gravitationnelle  $= 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

$M =$  masse de la Terre  $= 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

$r =$  rayon de l'orbite (rayon de la Terre + altitude de l'orbite)

Calculez la vitesse dont nous avons besoin pour mettre un engin spatial en orbite autour de la Terre à 300 km au-dessus de la surface de la Terre.

13. Combien de fois est-ce plus élevé que la vitesse de votre fusée ?

14. Après avoir atterri sur la Lune, nous aimerions soit rentrer sur Terre, soit utiliser la Lune pour voyager plus loin dans l'espace. Pour cela, il faut pouvoir décoller de la Lune. La vitesse d'échappement est directement proportionnelle à la masse de l'objet et inversement proportionnelle au rayon de l'objet.

$$M_{\text{Lune}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$R_{\text{Lune}} = 1737 \text{ km}$$

15. Calculez la vitesse de libération de la Lune. Est-elle plus grande ou plus petite que celle de la Terre?

16. Discutez des raisons pour lesquelles il est pratique d'utiliser la Lune comme tremplin pour voyager plus loin dans l'espace.

---



---

## Le saviez-vous ?

Le Spaceport de l'Europe est situé en Guyane française en Amérique du Sud, près de l'équateur. La rotation de la Terre est la plus rapide à l'équateur et les fusées peuvent profiter de l'effet "slingshot". Cela augmente la vitesse de la fusée de 460 m/s, ce qui permet d'économiser du carburant et de l'argent. Cet emplacement est également idéal pour les lancements en orbite de transfert géostationnaire car peu de changements doivent être apportés à la trajectoire du satellite.



### → Activité 3: Vol spatial habité

Dans cette activité, vous explorerez comment l'accélération et les forces sont importantes pour les vols spatiaux habités.

#### Exercice

Analysons maintenant plus en détail le lancement de la fusée en papier. Dans l'activité 2, point 9, vous avez calculé la vitesse,  $v$ , de la fusée quand elle quitte le pas de tir. Avant le lancement, la fusée était encore sur le tube de lancement, ce qui signifie que sa vitesse initiale,  $u$ , est de 0 m/s. Nous allons maintenant estimer l'accélération de la fusée sur cette très courte période de temps.

$$(1) \quad a = \frac{v-u}{t}$$

Où :

$u$  = vitesse initiale [m/s]

$v$  = vitesse [m/s]

$a$  = accélération [m/s<sup>2</sup>]

$t$  = temps [s]

Cependant, il est difficile de mesurer le temps qu'il faut à la fusée pour quitter le tube. On peut utiliser l'approximation que la distance parcourue ( $s$ , qui dans ce cas correspond à la longueur du tube de lancement) est égale à la vitesse moyenne multipliée par le temps :

$$(2) \quad s = \frac{u+v}{2} t$$

1. Utilisez les équations (1) et (2) pour obtenir l'expression de l'accélération  $a$ :

2. En supposant une accélération constante, utilisez l'équation pour calculer l'accélération de la fusée juste avant qu'elle ne quitte la plate-forme de lancement. Considérez que la longueur du ou des tuyaux de lancement est de 30 cm et utilisez la vitesse calculée à l'activité 2 (si vous n'avez pas calculé de valeur pour la vitesse, utilisez la valeur  $19,81 \text{ ms}^{-1}$ ).

### Le saviez-vous ?

Une force G n'est pas une force, mais plutôt le rapport entre l'accélération totale d'un objet et l'accélération due à la gravité de la Terre. L'exposition à des forces G élevées peut nous affecter de différentes manières. Par exemple, une gifle sur le visage peut imposer brièvement des centaines de G localement et causer peu de dommages, mais une exposition constante à 16 G pendant une minute peut être mortelle. Habituellement, pendant le lancement, les astronautes peuvent ressentir entre 3 G et 6 G ! Ils sont capables de gérer des forces G aussi élevées en s'entraînant dans une centrifugeuse comme celle que l'on voit sur la photo.



3. Calculez la force G que subirait un astronaute dans votre fusée en papier au moment du lancement. Pour ce faire, divisez l'accélération calculée à la question 2 par  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

## → Liens utiles

### Ressources ESA

Modèle d'un coude de lancement simple qui peut être imprimé en 3D  
<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>

Moon Camp Challenge  
[esa.int/Education/MoonCamp](https://esa.int/Education/MoonCamp)

Animations sur la façon de se rendre sur la Lune  
[esa.int/Education/Teach\\_with\\_the\\_Moon/Travelling\\_to\\_the\\_Moon](https://esa.int/Education/Teach_with_the_Moon/Travelling_to_the_Moon)

ESA classroom resources  
[esa.int/Education/Classroom\\_resources](https://esa.int/Education/Classroom_resources)

Comment fonctionnent les fusées  
[esa.int/kids/en/learn/Technology/Rockets/How\\_does\\_a\\_rocket\\_work](https://esa.int/kids/en/learn/Technology/Rockets/How_does_a_rocket_work)

### Missions de l'ESA

Orion  
[esa.int/Our\\_Activities/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Orion](https://esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/Orion)

ESA Launch vehicles  
[esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Transportation/Launch\\_vehicles/Europe\\_s\\_launchers](https://esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Launch_vehicles/Europe_s_launchers)

ESA Space Transportation [esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Transportation](https://esa.int/Our_Activities/Space_Transportation)

Arian 6  
[ariane6.esa.int](https://ariane6.esa.int)

Europe's spaceport  
[blogs.esa.int/spaceport](https://blogs.esa.int/spaceport)

### Autres informations

Open rocket, a free rocket simulation tool  
<http://openrocket.info>

To space! But on which rocket?  
[esa.int/spaceinimages/Images/2019/06/To\\_space!\\_But\\_on\\_which\\_rocket](https://esa.int/spaceinimages/Images/2019/06/To_space!_But_on_which_rocket)

## → Annexe 1: Préparation d'un système de lancement simple

Utilisez une bouteille en plastique et un coude de lancement imprimé en 3D pour construire une plate-forme de lancement que les élèves pourront utiliser pour lancer une fusée en papier. Vous devrez utiliser une imprimante 3D pour imprimer un coude qui attache la bouteille à la fusée. Pour l'imprimer (<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>), vous pouvez utiliser votre propre imprimante 3D, une imprimante 3D dans un MakerSpace (ou équivalent) ou un service en ligne qui peut imprimer un objet à partir d'un fichier. Ce coude peut être remplacé par une version bricolage, par exemple en utilisant du carton ou un coude de tuyau en plastique.

### Matériel

- 1 feuille de papier A4
- 1 coude de lancement imprimé 3D
- 1 bouteille d'eau en plastique de 500ml

### Assembler la plate-forme de lancement simple

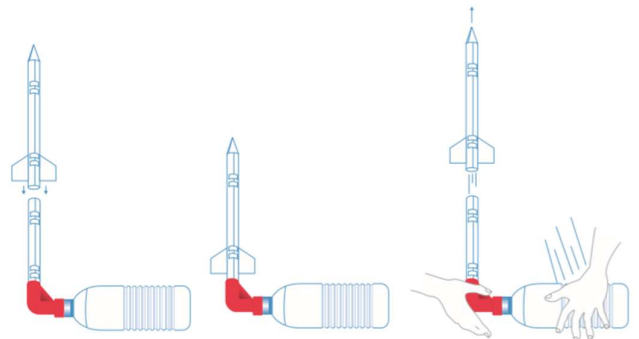
1. Enroulez la feuille de papier dans un cylindre serré.
2. Insérez le cylindre dans le coude de lancement et relâchez-le de façon à ce qu'il se relâche pour avoir la même taille que le trou dans le coude de lancement.
3. Vissez la bouteille d'eau de l'autre côté du coude de lancement.
4. Votre système de lancement de fusée est prêt.



↑ Système de lancement de fusée

### Utilisation du système de lancement

1. Glissez votre fusée sur le tuyau en papier relié au coude de lancement.
2. Placez le système de lancement de la fusée et la fusée sur le sol.
3. Marchez ou appuyez fort sur la bouteille pour lancer votre fusée.



## → Annexe 2: Préparation d'une plate-forme de lancement pressurisée

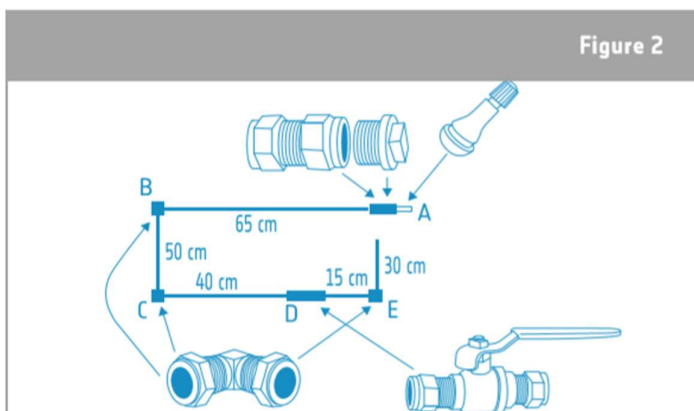
Instructions pour la construction d'une plate-forme de lancement de fusée à air comprimé.

### Matériel

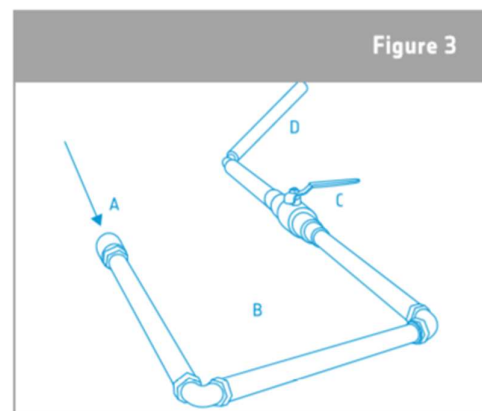
- Tubes en cuivre (diamètre : 22 mm, longueur : 65 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 15 cm)
- 3 connecteurs angulaires
- 1 Jonction de tuyaux (raccord régulier à une extrémité et raccord interne à l'autre)
- 1 bouchon de tuyau
- 1 vanne à boisseau sphérique
- 1 soupape d'air
- Pompe à air ou compresseur d'air

### Assemblage de la plate-forme de lancement pressurisée :

1. Percer un trou dans le bouchon du tuyau et insérer la vanne.
2. Raccorder la vanne à la jonction de tuyauterie.
3. Ne serrez pas trop le connecteur du troisième angle car cela vous permettra de changer l'angle de la rampe de lancement de la fusée.
4. Raccordez le reste des tuyaux et des jonctions de tuyaux comme indiqué ci-dessous :



↑ Représentation du système de lancement de fusée assemblé. A - raccordement du raccord droit, du bouchon et de la valve ; B - raccord coudé ; C - raccord coudé ; D - valve pour relâcher la pression dans la rampe de lancement ; E - troisième raccord coudé



↑ Diagram of the assembled rocket launch system.

## Utilisation du système de lancement

1. Ajustez l'angle de la rampe de lancement.
2. Fermez la vanne pour empêcher l'air de s'échapper.
3. Pomper le système jusqu'à un maximum de 7 bars à l'aide d'une pompe à vélo.
4. Ouvrez la vanne et laissez entrer l'air comprimé dans le système (ce qui lance la fusée).

### Santé et sécurité

- Contrôlez et serrez régulièrement les raccords de tuyauterie, car ils pourraient se desserrer en cours d'utilisation.
- Gardez un pied sur la rampe de lancement pour l'empêcher de bouger.
- Assurez-vous que personne ne se trouve devant le pas de tir lorsqu'il est sous pression.
- La pression maximale au lancement est de 7 bar ou 101 psi.



→ Annexe 3 : Ailettes et nez de la fusée (Activité 1)

