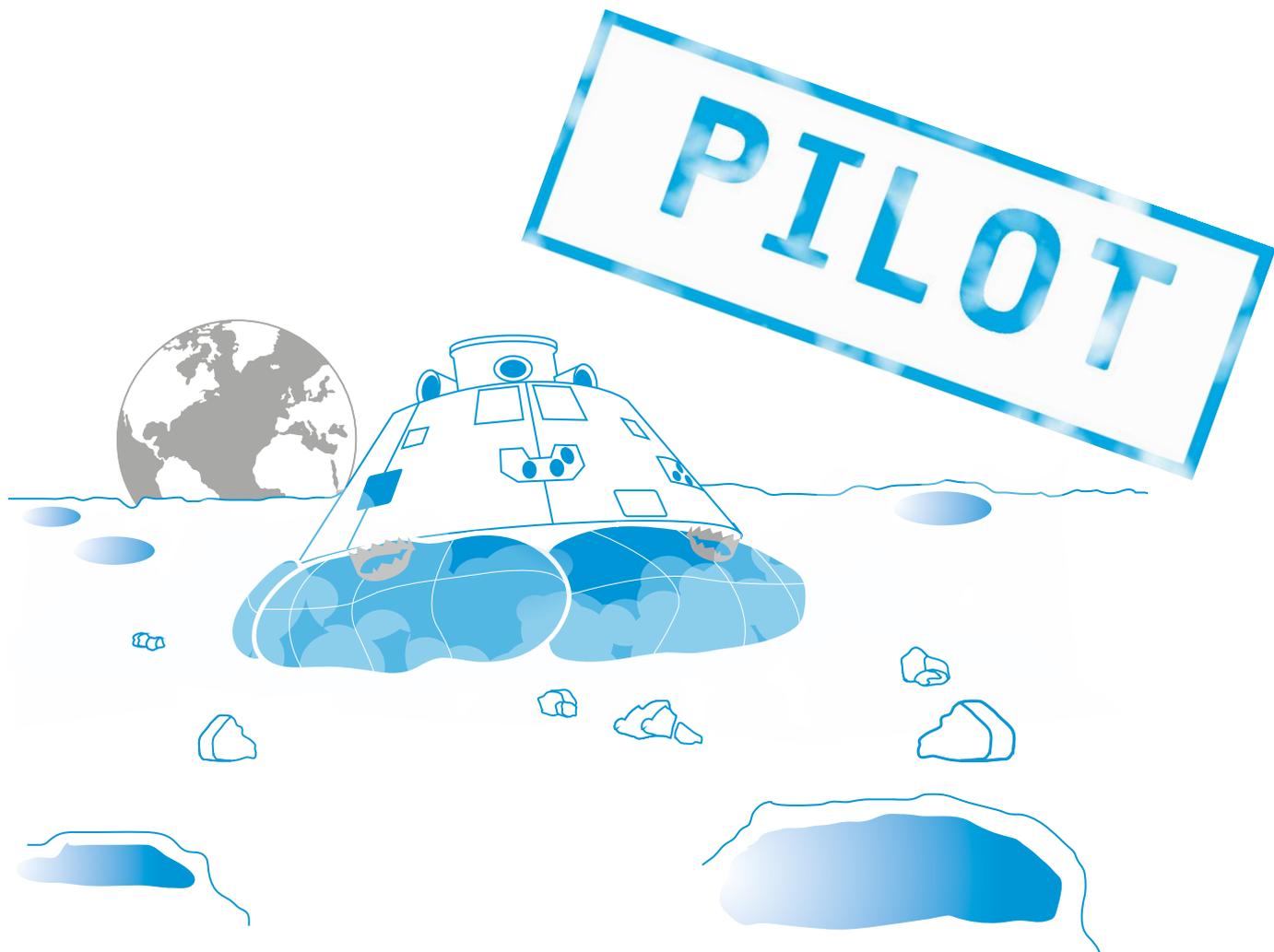


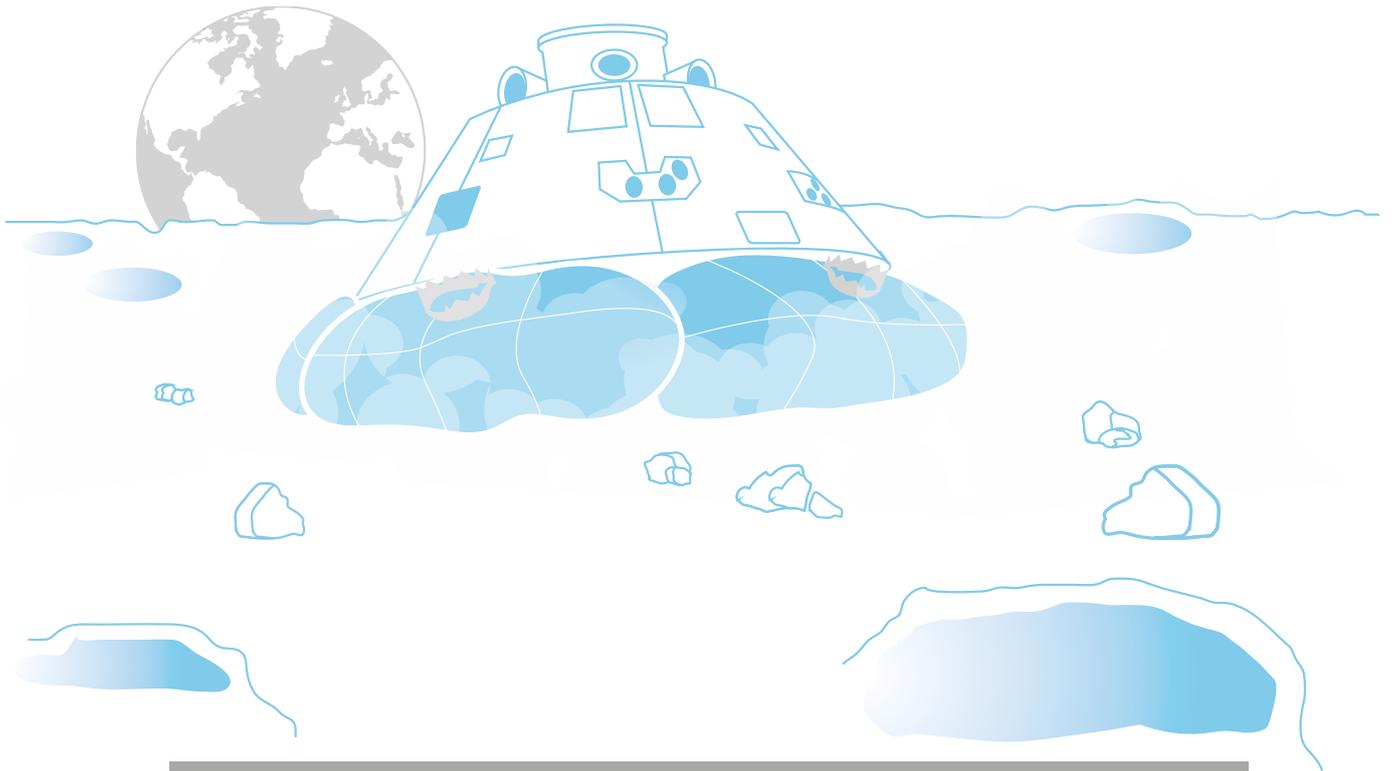
Physique | P37

teach with space

→ SE POSER SUR LA LUNE

Planification et conception d'un atterrisseur lunaire





Guide de l'enseignant

En bref	page 3
Résumé des activités	page 4
Introduction	page 5
Activité 1 : Conception et construction d'un atterrisseur lunaire	page 6
Activité 2 : Testez votre module d'atterrissage	page 9
Activité 3 : Se poser sur la Lune	page 15
Annexe	page 19
Fiche de travail pour les élèves	page 26

teach with space – se poser sur la Lune | P37
www.esa.int/education

Faites part de vos réactions et de vos commentaires à l'ESA Education Office
teachers@esa.int

Une production ESA Education en collaboration avec ESERO Espagne
Copyright 2018 © European Space Agency

→ SE POSER SUR LA LUNE

Planification et conception d'un atterrisseur lunaire

EN BREF

Matières : physique, mathématiques, économie

Tranche d'âge : 14-16 ans

Type : activité pour les élèves

Difficulté : moyenne

Durée de préparation pour l'enseignant : 1 heure

Temps nécessaire pour la leçon : 2 heures et 30 minutes en tout

Coûts : faibles (0-10 euros)

Lieu : salle de classe et en extérieur

Mots-clés : physique, mathématiques, économie, atterrissage sur la Lune, gravité, friction, force, accélération, vitesse, lois de Newton, budgétisation, analyse des risques

Résumé

Dans cet ensemble d'activités, les élèves planifieront, concevront et construiront un module d'atterrissage afin d'assurer la survie de l'équipage (symbolisé par un œuf-tronaute) qui se posera sur la Lune. Ils chercheront quels facteurs il faut prendre en compte quand on veut se poser sur la Lune, comparé à la Terre. Dans leur conception de l'atterrisseur lunaire, les élèves doivent tenir compte des facteurs de risque et de la budgétisation.

Objectifs pédagogiques

- Identifier les forces impliquées dans un atterrissage sur la surface de la Terre et de la Lune.
- Comprendre le lien entre la masse et la force gravitationnelle.
- Résoudre un problème impliquant la seconde loi de Newton sur le mouvement.
- Concevoir un projet tenant compte du budget et de la gestion du risque.
- Travailler en équipe en tenant compte de contraintes de délai et de budget.

→ Résumé des activités

Résumé des activités					
	Titre	Description	Résultat	Exigences	Durée
1	Conception et construction d'un atterrisseur lunaire	Conception et construction d'un atterrisseur lunaire. Effectuer une étude des risques et étude de la conception.	Apprendre à concevoir un projet avec un budget fixe et des exigences. Effectuer une étude de risque et une étude de la conception. Construire un atterrisseur lunaire.	Aucune	60 minutes
2	Testez votre module d'atterrissage	Test de l'atterrisseur lunaire. Analyses des résultats.	Test de l'atterrisseur et collecte des données. Calculer l'accélération et la vitesse durant l'atterrissage.	Achèvement de l'Activité 1.	60 minutes
3	Se poser sur la Lune	Comparaison entre un atterrissage sur la Terre et sur la Lune.	Apprendre quelles sont les différences entre la Lune et la Terre. Calculer l'accélération gravitationnelle et la force gravitationnelle.	Achèvement de l'Activité 2.	30 minutes

→ Introduction

En 1969, Apollo 11 fut la première mission habitée à se poser sur la Lune. Après un voyage de quatre jours depuis la Terre, l'atterrisseur lunaire baptisé Eagle se détacha du module de commande en orbite autour de la Lune et atterrit dans la Mer de la Tranquillité, une région de la Lune relativement plate et peu accidentée. L'atterrisseur lunaire était commandé manuellement pour éviter les rochers et les cratères. « Houston, Tranquility Base here. The Eagle has landed. » [« Houston, ici la base de la Tranquillité, l'Aigle a aluni. »]. Ces quelques paroles ont marqué le début d'une nouvelle ère de l'exploration humaine.

Apollo 12, la seconde mission habitée à atterrir sur la Lune, fut un exercice d'atterrissage de précision ; la plus grande partie de la descente était en mode automatique et l'atterrissage de précision revêtait une grande signification car il renforçait la confiance dans les atterrissages sur des sites dignes d'intérêt.

La descente vers la surface de la Lune est l'une des phases les plus délicates et les plus difficiles de l'atterrissage sur la Lune. Le véhicule spatial doit ralentir de 6000 km/h, sa vitesse en orbite, à quelques km/h pour un contact doux avec la surface. Les sites d'atterrissage dignes d'intérêt pour les explorateurs sont souvent dangereux, avec des cratères, des blocs de roches et des pentes qui les rendent donc difficiles d'accès.

Douze personnes seulement ont marché sur la Lune, pour la dernière fois en 1972. L'Agence spatiale européenne prévoit, en collaboration avec d'autres partenaires, de retourner sur la Lune dans les prochaines décennies avec des missions robotisées de même qu'avec des missions habitées.

Dans cet ensemble d'activités, les élèves concevront un atterrisseur lunaire et apprendront à connaître quelques-uns des défis de l'exploration spatiale.



↑ Vue d'artiste d'un atterrisseur lunaire.

→ **Activité 1 : conception et construction et module d'atterrissage lunaire**

Dans cette activité, les élèves vont concevoir et construire un module d'atterrissage lunaire en employant des matériaux simples. L'objectif est de concevoir un atterrisseur capable de faire atterrir en toute sécurité un œuf-tronaute sur la surface de la Lune. Dans leur planification, les élèves doivent prendre en considération les risques liés à une mission habitée devant atterrir sur la Lune et effectuer une étude des risques ainsi qu'une étude de conception.

Matériel

- Papier
- Fiche de travail imprimée pour chaque groupe
- Pailles
- Marshmallows
- Boules de coton
- Bâtons de sucette glacée
- Sac en plastique
- Ficelle
- Ruban adhésif
- Ciseaux
- Ballons
- Œufs – 1 par groupe d'élèves
- Balance

Exercice

Divisez la classe en groupes de 3 à 4 élèves. Distribuez les fiches de travail à chaque groupe. Expliquez aux élèves la mission et quelles en sont les exigences. Demandez à chaque groupe de concevoir un atterrisseur lunaire habité pour l'Agence spatiale européenne (ASE). Ils peuvent garder leur conception secrète ou choisir de former des équipes de collaboration et s'entraider. On attend néanmoins de chaque équipe qu'elle présente sa propre conception.

Avant que les élèves se mettent au travail, guidez-les au sujet de quelques-unes des principales questions qu'ils devront prendre en considération. Demandez aux élèves à quoi il est important de penser quand on veut atterrir sur un autre corps céleste. Par exemple, la distance jusqu'au lieu de destination, la composition de l'atmosphère ou l'absence d'atmosphère, l'importance d'un atterrissage au bon endroit, l'angle d'approche etc.

Donnez aux élèves la liste du matériel avec les prix (Annexe 1). Pour encourager une planification efficace, le matériel acheté après la phase de conception initiale devrait coûter 10% de plus. Chaque équipe bénéficiera d'un budget d'un milliard d'euros. Ce budget devrait couvrir les coûts de l'entraînement de l'œuf-tronaute (300 millions €), du lancement (1 million € par gramme) et du matériel. La liste du matériel et le budget disponible peuvent être ajustés pour rendre l'activité plus ou moins complexe ou une réduction (augmentation) budgétaire peut être décidée à un moment déterminé.

Phase de conception :

Avant de débiter la construction, les élèves devraient se livrer à une étude des risques au moyen du modèle de document joint dans la fiche de travail. Dans une étude des risques, on évalue la probabilité de réalisation d'un risque ainsi que son impact. Les risques sont présents partout, de la planification du design à l'entraînement de l'équipage, en passant par la construction et le transport. Les élèves trouveront dans leur fiche de travail une matrice d'évaluation des risques ainsi qu'une liste des risques potentiels pour la mission. L'utilisation d'une telle matrice est une méthode habituelle pour analyser et organiser les risques dans de nombreux domaines professionnels différents. Les élèves devraient remplir la liste des risques de la matrice et se demander s'ils ont omis de prendre un quelconque risque en considération. Ils devraient choisir trois des risques les plus sérieux et concevoir des stratégies d'atténuation des risques.

Les élèves devraient réfléchir à des solutions et tenter de concevoir l'atterrisseur le plus sûr dans les limites de leur budget. Les élèves devraient faire une esquisse précise de leur idée et préparer un budget pour le module qu'ils proposent en utilisant le modèle de document de leur fiche de travail. Expliquez que ce processus est comparable à la conception d'une authentique mission spatiale ; tout le matériel et tous les systèmes doivent être planifiés avec soin, justifiés et budgétisés.

Phase de construction :

Les élèves vont maintenant construire leur atterrisseur. Ils réaliseront probablement que certaines décisions qu'ils pensaient être possibles ne mènent pas au résultat escompté. Pour accroître la difficulté, ajoutez un supplément de 10% sur le matériel si les élèves souhaitent changer leur conception.

Les élèves devraient donner un nom à leur module (et à leur œuf-tronaute). À la fin, les groupes pèseront leur atterrisseur et l'œuf-tronaute afin d'estimer les coûts du lancement. Les coûts totaux devraient être inférieurs à 1 milliard € et inclure l'entraînement de l'œuf-tronaute, le lancement et le matériel utilisé pour construire l'atterrisseur.

Résultats

On trouvera ci-dessous un exemple montrant comment remplir l'étude d'estimation du risque. La manière dont les élèves évaluent le risque peut varier et dépend de leur perception de la mission.

		Conséquences				
		Insignifiantes	Mineures	Modérées	Majeures	Catastrophiques
Probabilité	Pratiquement certain		L'atterrisseur est endommagé pendant les tests	Nous n'atterrissons pas sur le site prévu		
	Probable		Une autre compagnie (groupe) possède une conception plus efficace et/ou moins chère	Nous avons du retard	Des changements inattendus ont été apportés aux exigences	L'œuf-tronaute ne survit pas
	Possible		L'atterrisseur est endommagé pendant le transport	L'atterrisseur devient très lourd	Le budget subit des changements inattendus	L'atterrisseur est endommagé pendant l'atterrissage final
	Peu probable				Certains matériaux deviennent trop chers	Des changements continuels dans la conception font augmenter le coût de construction de l'atterrisseur de telle sorte que la construction devient impossible
	Rare				Certains matériaux deviennent indisponibles	

Risque 1 : L'œuf-tronaute ne survit pas

Plan d'atténuation des risques : Montrez-vous prévoyants quand vous construisez l'atterrisseur : ne vous fiez pas à un unique mécanisme pour sécuriser l'atterrissage. Testez le lâcher en faisant augmenter l'altitude avant d'effectuer le lâcher final. Testez l'atterrisseur d'abord sans l'œuf-tronaute.

Risque 2 : Des changements continuels dans la conception font augmenter le coût de construction de l'atterrisseur de telle sorte que la construction devient impossible

Plan d'atténuation des risques : Concevez l'atterrisseur avec l'idée de faire des économies avant de passer à la construction. Demandez des fonds supplémentaires à d'autres bailleurs.

Risque 3 : Des changements inattendus ont été apportés aux exigences

Plan d'atténuation des risques : Conception et redondance adaptables. Ne misez pas sur une seule technologie ou un unique mécanisme. Concevez l'atterrisseur avec l'idée de faire des économies avant de passer à la construction.

Discussion

Cette activité devrait faire prendre conscience de l'importance d'identifier et de comprendre les risques, de leur probabilité de réalisation et, point important, de leurs conséquences. Les élèves devraient réaliser l'importance considérable que revêtent une planification et une budgétisation en conséquence dans un projet (spatial).

Vous pouvez profiter de cette activité pour discuter certains des dangers qui existent dans l'exploration spatiale. En classe, discutez la manière d'évaluer le risque de perdre la vie d'un astronaute comparé aux coûts de l'atterrisseur. Est-ce qu'à l'avenir l'exploration spatiale devrait uniquement être robotisée ?

Avant d'entamer l'Activité 2 (test de l'atterrisseur), assurez-vous d'avoir défini clairement ce qui est considéré comme étant un « œuf-tronaute survivant ». Tolérera-t-on un œuf fissuré ? Qu'est-ce qui définit une mission réussie ?

→ Activité 2 : Testez votre module d'atterrissage

Dans cette activité, les élèves testeront leurs atterrisseurs pour voir s'ils survivront à une chute verticale et préserveront la vie de l'œuf-tronaute. Ils décriront les conditions de l'atterrissage et noteront d'autres facteurs susceptibles d'influencer les résultats. À titre optionnel, les élèves peuvent filmer la chute et utiliser plus tard un outil d'analyse de vidéo pour examiner l'accélération.

Matériel

- Fiche de travail imprimée pour chaque groupe
- Modules atterrisseurs construits par les élèves, avec l'œuf-tronaute (de l'Activité 1)
- (Facultatif) Caméra/téléphone avec fonction vidéo et trépied (voir l'Annexe 2)
- (Facultatif) Programme de suivi vidéo (voir l'Annexe 3)
- (Facultatif) Ordinateur ou smartphone

Exercice 1

Avant d'entamer les tests, les élèves devraient noter les conditions d'atterrissage (dureté du sol, conditions météo, etc.). Il est important que chaque lâcher se déroule dans des conditions similaires. Discutez avec les élèves l'importance de ne pas changer plusieurs variables en même temps.

Marquez un emplacement d'atterrissage test sur le sol. Vous pouvez faire une croix sur le sol avec du ruban adhésif ou dessiner une cible avec des cercles concentriques symbolisant la distance par rapport au centre. Notez les résultats de chaque lâcher (table dans l'Annexe 2). Vous pouvez à titre optionnel faire des tests à des hauteurs différentes pour les atterrisseurs lunaires réussis. Les atterrisseurs survivants devraient avoir une structure qui amortit l'impact initial (comme un coussin) ou posséder des mécanismes multiples pour dissiper l'énergie de l'impact.

Vous pouvez choisir un vainqueur parmi les atterrisseurs lunaires en vous appuyant sur les critères suivants :

- Hauteur de largage que l'atterrisseur pourrait encaisser
- Distance du point cible pour l'atterrissage
- Coûts de l'atterrisseur
- Manière dont l'atterrisseur final se conforme à la conception et au budget initiaux
- Travail général en groupe, planification, communication du groupe

Demandez aux élèves de présenter leur projet à la classe. Ils devraient analyser la réussite de leur plan et réfléchir à ce qu'ils feraient autrement maintenant qu'ils connaissent le résultat final. Les élèves devraient également discuter des facteurs externes qui ont influencé le lâcher, par exemple les conditions météorologiques (vent fort, pluie, etc.) ou les différents matériaux sur lesquelles atterrit l'œuf (asphalte, sable, herbe, etc.).

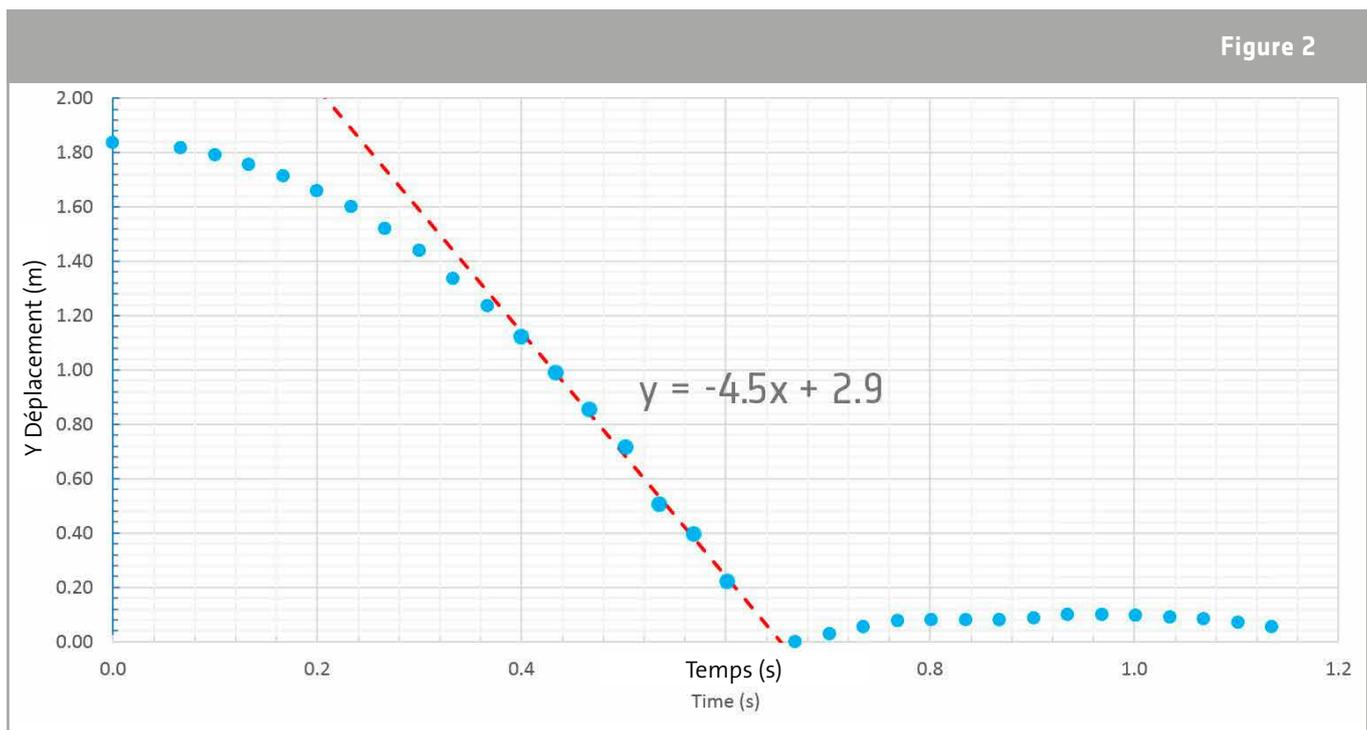
Exercice 2

Pour l'exercice 2, vous aurez besoin de la position et de la vitesse en fonction du temps. Reportez-vous à l'Annexe 3 pour des instructions détaillées sur la manière de mesurer ces paramètres. À titre alternatif, vous pouvez utiliser les données fournies en exemple dans la Table 1 de l'Annexe 3.

Dans cet exercice, les élèves analyseront la vitesse et l'accélération pendant le lâcher. Comme exemple, nous utiliserons les données de la Table 1 dans l'Annexe 3. Chaque élève aura besoin d'une calculatrice graphique ou d'un ordinateur/smartphone avec un programme comme Excel.

1. Calcul de la vitesse d'impact dans un graphique de déplacement dans le sens y en fonction du temps :
Pour calculer la vitesse d'impact approximative de l'atterrisseur, les étudiants peuvent d'abord tracer le déplacement de l'atterrisseur dans le sens y en fonction du temps et effectuer ensuite une analyse de régression linéaire des données avant que l'atterrisseur n'atteigne le sol (incluant seulement les 10 à 5 derniers points de données avant l'impact). La pente de cette régression linéaire correspondra à la vitesse approximative de l'impact. Si l'atterrisseur n'a pas atteint sa vitesse finale, il continuera son accélération et cette méthode sera uniquement une approximation.

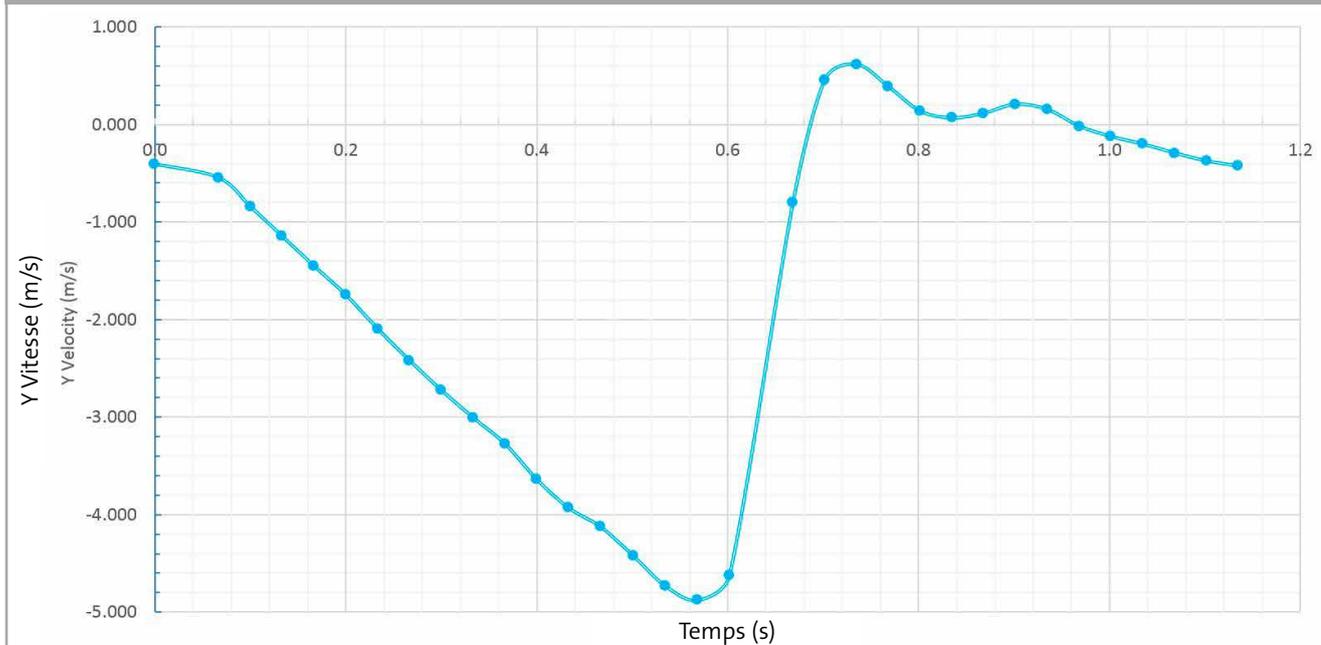
Dans le graphe en exemple (Figure 2), la vitesse d'impact est d'environ 4,5 m/s.



↑ Déplacement dans le sens y en fonction du temps.

2. Obtention de la vitesse d'impact par la vitesse dans le sens y en fonction du temps :
Une autre méthode permettant de trouver la vitesse d'impact consiste à tracer la vitesse dans le sens y en fonction du temps. La vitesse d'impact approximative peut être facilement observée sur ce graphe comme le point où la vitesse y change de direction. Dans la Figure 3, nous pouvons voir que l'atterrisseur impacte le sol à une vitesse entre 4,8 et 4,9 m/s, ce qui correspond approximativement à la vitesse calculée pour la question 1. La vitesse de l'atterrisseur ne devrait pas diminuer jusqu'à ce qu'il touche le sol (à moins qu'il emploie par exemple un parachute, ce qui n'est pas le cas avec les données de l'exemple). Les variations de vitesse des points de données proches du point d'impact peuvent être dues à des incertitudes dans les mesures.

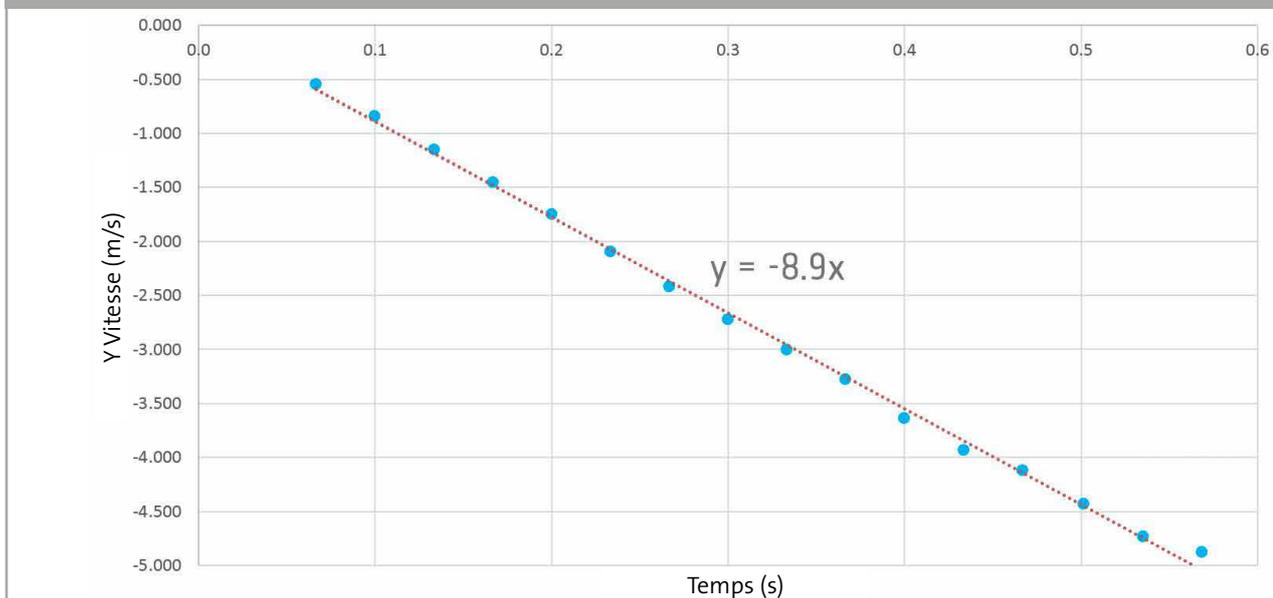
Figure 3



↑ Vitesse dans le sens y en fonction du temps.

3. Calcul de l'accélération sur un graphe de la vitesse dans le sens y en fonction du temps : Pour calculer l'accélération de l'atterrisseur, les élèves peuvent faire une régression linéaire de la vitesse dans le sens y en fonction du temps avant le point d'impact. La pente de cette régression linéaire correspondra à l'accélération de l'atterrisseur. En utilisant les données de l'exemple de la Figure 4, l'accélération dans le sens y peut être calculée comme $y = -8,9x$.

Figure 4



↑ Régression linéaire de la vitesse dans le sens y en fonction du temps, données précédant le point d'impact.

4. L'impact de la traînée sur l'accélération : En raison de la présence d'une atmosphère, la force de la traînée agissant sur l'atterrisseur contribuera à le ralentir. La force de traînée dépend du carré de la vitesse. Si l'atterrisseur avait été lâché depuis un point beaucoup plus élevé, les élèves seraient en mesure de mesurer que l'atterrisseur atteint sa vitesse finale (vitesse constante) quand la force de traînée est égale au poids.

→ Activité 3 : Se poser sur la Lune

Dans cette activité, les élèves compareront un atterrissage sur la Terre avec un atterrissage sur la Lune. Ils examineront les différents facteurs qui influencent l'atterrissage dans les deux cas et le diagramme des forces. De plus, les élèves reviendront sur la conception de leur atterrisseur à la lumière de ce qu'ils ont appris lors des tests.

Exercice

Comme introduction à l'Activité 3, discutez les différences entre la Lune et la Terre. Quels facteurs influencent l'atterrissage dans les deux cas ? Guidez les élèves pour qu'ils débattent des facteurs comme l'importance de l'emplacement et le type de site d'atterrissage ainsi que l'angle de descente.

1. Demandez aux élèves de citer 3 facteurs ayant une influence sur l'atterrissage sur les deux emplacements. Voici quelques exemples :

Atterrissage sur la Terre	Atterrissage sur la Lune
1. L'atmosphère	1. L'emplacement de l'atterrissage
2. L'emplacement de l'atterrissage	2. L'emplacement sur la Lune
3. La vitesse de rentrée dans l'atmosphère	3. La vitesse d'atterrissage
4. L'angle de rentrée dans l'atmosphère	4. L'angle d'approche
5. Les conditions météorologiques	5. La variation de température

Discutez quelques-unes des implications des différences que les élèves ont énumérées, par exemple l'atmosphère. De quelle manière l'absence d'atmosphère sur la Lune affecte-t-elle l'atterrissage ? Un parachute ne serait d'aucune utilité pour un atterrissage sur la Lune – peut-être auront-ils besoin d'un propulseur ou d'un airbag. Les boucliers thermiques sont indispensables pour le retour sur la Terre en raison de la friction avec l'atmosphère, mais ils seraient inutiles sur la Lune. À l'inverse, les variations de température sur la Lune sont bien plus extrêmes que sur la Terre, ainsi l'atterrisseur devrait-il être acclimaté.

2. Pour résoudre la question 2, les élèves devraient utiliser l'équation de l'accélération gravitationnelle (g) :

$$g = G \frac{m}{r^2}$$

Avec G la constante gravitationnelle, m la masse de la planète (lune) et r le rayon de la planète (ou de la lune).

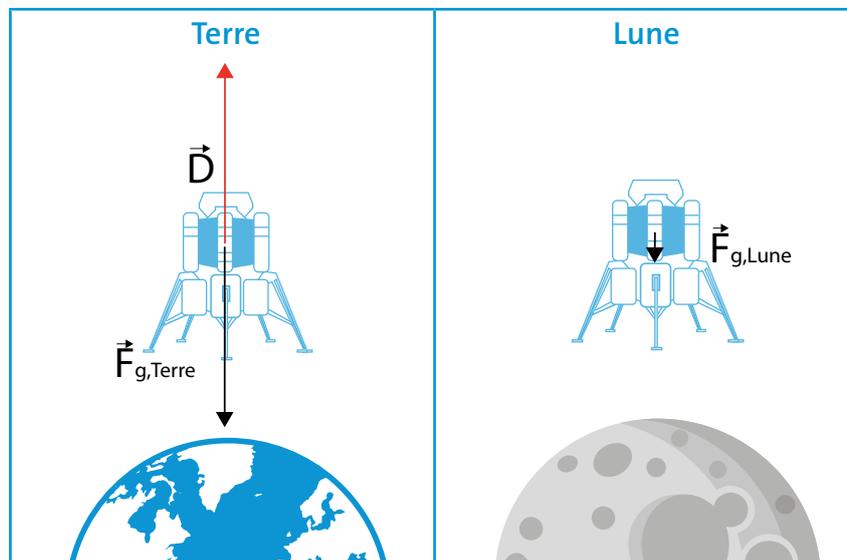
Et la deuxième loi de Newton sur le mouvement :

$$F = m * a$$

Avec F la force résultante agissant sur un objet, m la masse de l'objet et a l'accélération.

TERRE	LUNE
$g_{\text{Earth}} = \frac{5.97 * 10^{22} \text{ kg} * 6.67408 * 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}}{(6\,371\,000 \text{ m})^2}$ $g_{\text{Earth}} = 9.81 \text{ ms}^{-2}$	$g_{\text{Moon}} = \frac{7.35 * 10^{22} \text{ kg} * 6.67408 * 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}}{(1\,737\,000 \text{ m})^2}$ $g_{\text{Moon}} = 1.62 \text{ ms}^{-2}$
En estimant à 250 g la masse de l'atterrisseur : $F_{g,\text{Earth}} = 9.81 \text{ ms}^{-2} * 0.25 \text{ kg}$ $F_{g,\text{Earth}} = 2.45 \text{ N}$	$F_{g,\text{Moon}} = 1.62 \text{ ms}^{-2} * 0.25 \text{ kg}$ $F_{g,\text{Moon}} = 0.41 \text{ N}$

3. Demandez aux élèves de tracer le diagramme des forces de l'atterrisseur, sur la Terre et sur la Lune. Vous pouvez démarrer en disant que l'accélération gravitationnelle sur la Lune est 6 fois moindre que sur la Terre ou vous pouvez faire réfléchir les élèves sur le résultat qu'ils ont calculé.



La Lune est entourée de vide, ainsi la seule force agissant sur l'atterrisseur est la force gravitationnelle ($F_{g,\text{Lune}}$) ou le poids. Le vecteur de poids de l'atterrisseur sera 6 fois plus petit sur la Lune que sur la Terre, comme calculé à la question 2.

La Terre est entourée d'une atmosphère, nous devons donc tenir compte de la traînée atmosphérique. La force de traînée (D) dépend du carré de la vitesse de l'atterrisseur. Quand la vitesse augmente, la force de traînée augmente elle aussi jusqu'à ce qu'elle soit égale au poids. Quand la traînée égale le poids, aucune force externe n'agit sur l'objet et il continue sa chute à une vitesse constante (vitesse finale).

4. Avec l'analyse effectuée pour les questions précédentes, les élèves devraient être conscients à présent des principales différences entre un atterrisseur terrestre et un atterrisseur lunaire. Discutez avec le groupe de l'utilité d'un parachute. Discutez également des avantages et des inconvénients d'un propulseur pour l'atterrissage ou d'un airbag pour amortir l'atterrissage. Demandez aux élèves s'ils concevraient leur atterrisseur autrement s'ils ne devaient pas veiller à la survie de l'œuf-tronaute. Établissez le lien avec l'exploration spatiale réelle et avec les missions habitées et non habitées.

→ Conclusion

Les étudiants devraient conclure que faire atterrir un atterrisseur lunaire est une tâche difficile qui requiert de nombreuses réflexions ainsi que des tests avant de passer à la réalisation. Ils devraient en conclure que disposer d'aptitudes comme développer un projet avec un budget fixe, évaluer les risques, la conception et les tests ainsi que le travail en équipe sont des éléments vitaux pour une quelconque mission spatiale. Les aspects à prendre en considération et le risque inhérent aux missions habitées sont bien plus élevés que pour les missions robotisées.

Les élèves devraient également conclure que les tests effectués sur la Terre ne peuvent pas reproduire intégralement l'environnement et les conditions d'un atterrissage sur la Lune. Les tests doivent donc être complétés par de la théorie afin de comprendre les différences entre la Terre et la Lune.

→ SE POSER SUR LA LUNE

Planification et conception d'un atterrisseur lunaire

→ Activité 1 : Conception et construction d'un atterrisseur lunaire

L'ASE vous a chargés de concevoir un atterrisseur capable d'amener en toute sécurité un œuf-tronaute sur la surface de la Lune.

Exercice

Comme dans la vraie industrie spatiale, vous allez être en concurrence et/ou vous collaborerez avec d'autres organismes (vos camarades de classe) pour décrocher un contrat avec l'ASE.

Your mission is to:

- Concevoir et construire un atterrisseur lunaire pour amener en toute sécurité un œuf-tronaute sur la Lune.

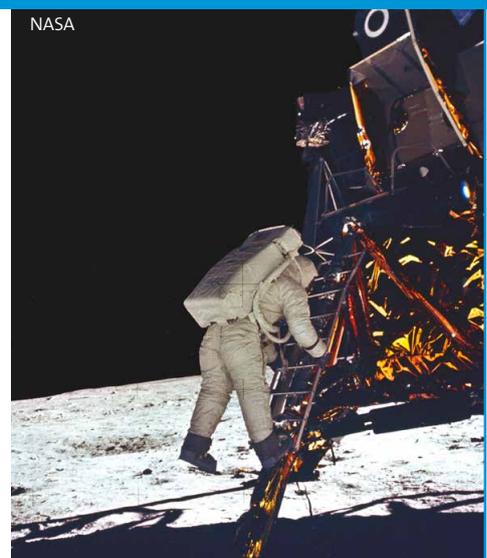
Requirements:

- Votre atterrisseur doit passer avec succès un essai de largage sur la Terre et l'œuf-tronaute doit survivre à l'atterrissage.
- Vous pouvez uniquement utiliser le matériel disponible.
- Vous disposez pour la construction de l'atterrisseur d'un budget fixe (au maximum 1 milliard d'euros).
- L'atterrisseur doit être capable d'atterrir avec précision à l'endroit choisi.
- Vous devez soumettre une évaluation des risques et une étude de design.
- Vous devez effectuer l'étude de design complète et la construction de l'atterrisseur dans le temps qui vous est imparti : 60 minutes.

Le saviez-vous ?

Le coût total du programme spatial Apollo qui a amené des êtres humains sur la Lune était de 25,4 milliards de dollars, c'est-à-dire plus de 200 milliards de dollars convertis en monnaie d'aujourd'hui, après correction de l'inflation. Le budget de l'ASE en 2018 était de 5,6 milliards d'euros. Actuellement, les agences spatiales et l'industrie travaillent ensemble pour développer un programme d'exploration lunaire plus abordable. On notera qu'aujourd'hui nous continuons d'utiliser l'infrastructure construite dans les années 1960 : chambres de tests, pas de tirs, centres de contrôle de missions, stations au sol, savoir dans le domaine de l'ingénierie, technologie, matériaux. De ce fait un programme d'exploration lunaire sera d'emblée bien plus abordable.

Buzz Aldrin travaille sur le module lunaire Eagle à la surface de la Lune. →



Étude d'évaluation des risques

Quand on développe une mission spatiale, il faut tenir compte de deux grands facteurs, les risques et les coûts. Pour votre mission, vous voulez faire atterrir votre œuf-tronaute en toute sécurité, mais vous voulez aussi que la mission reste abordable pour que vous puissiez gagner le contrat avec l'ASE.

Placez les risques dont la liste se trouve à droite dans la matrice d'évaluation des risques et classez-les en fonction de leur probabilité de se réaliser et de leurs conséquences s'ils se réalisent :

	Conséquences				
	Insignifiantes	Mineures	Modérées	Majeures	Catastrophiques
Pratiquement certain					
Probable					
Possible					
Peu probable					
Rare					

1. Nous n'atterrissions pas sur le site prévu
2. Des changements inattendus ont été apportés aux exigences
3. L'œuf-tronaute ne survit pas
4. Le budget subit des changements inattendus
5. Certains matériaux deviennent indisponibles
6. Certains matériaux deviennent trop chers
7. L'atterrisseur devient très lourd
8. Une autre compagnie (groupe) possède une conception plus efficace et/ou moins chère
9. Des changements continus dans la conception font augmenter le coût de construction de l'atterrisseur de telle sorte que la construction devient impossible
10. Nous avons du retard
11. L'atterrisseur est endommagé pendant les tests
12. L'atterrisseur est endommagé pendant le transport
13. L'atterrisseur est endommagé pendant l'atterrissage final

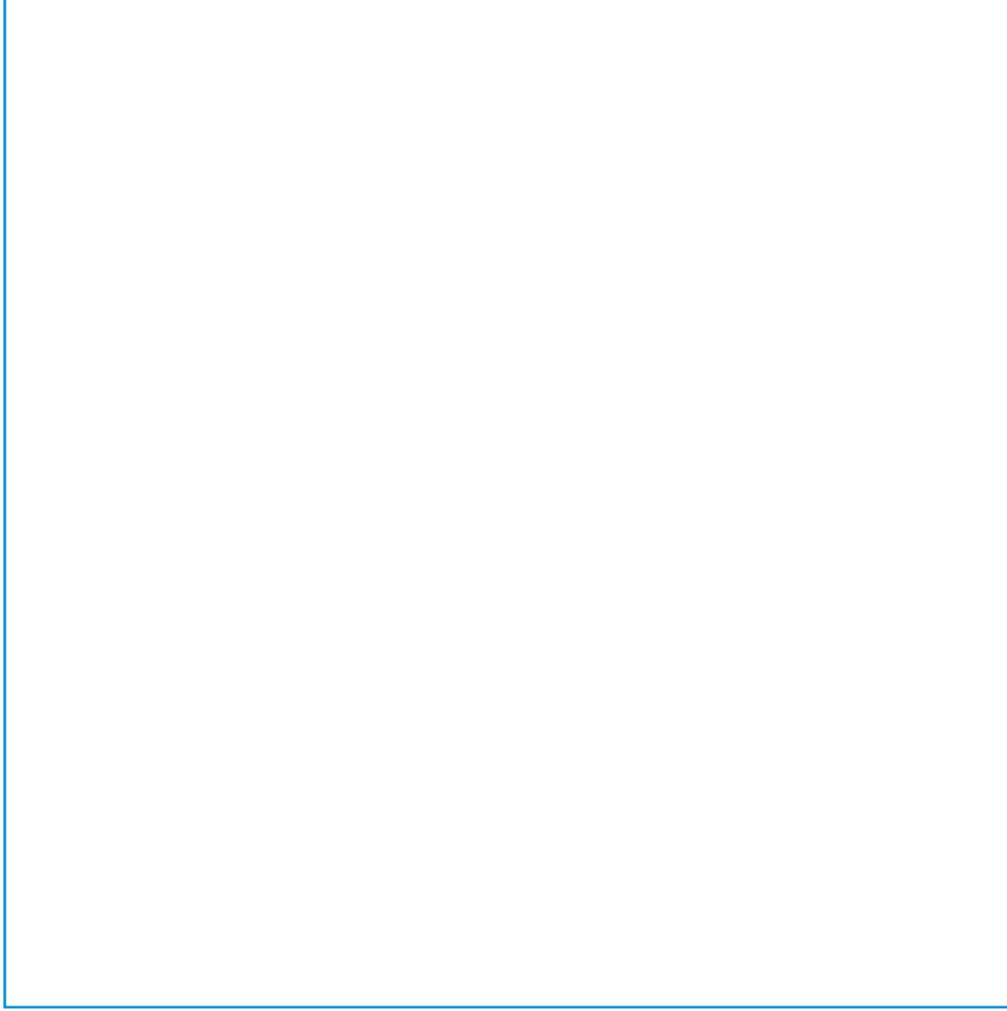
Choisissez trois des risques majeurs et expliquez comment les atténuer :

- 1) Risque n° : _____ Plan d'atténuation des risques : _____
- 2) Risque n° : _____ Plan d'atténuation des risques : _____
- 3) Risque n° : _____ Plan d'atténuation des risques : _____

Étude de la conception

Nom du module atterrisseur _____ Nom de l'œuf-tronaute _____

Avec votre professeur, vérifiez que les matériaux sont disponibles ainsi que les prix. Faites un dessin précis de l'apparence de votre module d'atterrissage. Discutez la manière dont les pièces et les matériaux fonctionnent ensemble pour protéger l'œuf-tronaute. Établissez un budget pour votre atterrisseur en vous basant sur les prix des différents matériaux et n'oubliez pas d'inclure le prix du lancement et de l'entraînement de l'œuf-tronaute.



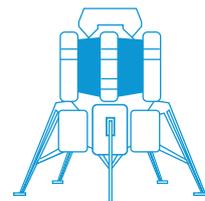
Matériaux	Prix unitaire	Nombre	Prix

Prix de l'atterrisseur	
Masse totale (œuf-tronaute + atterrisseur)	
Prix du lancement	
Prix de l'entraînement de l'œuf-tronaute	
Prix total (atterrisseur + lancement + entraînement)	

→ Activité 2 : Testez votre module d'atterrissage

Exercice 1

1. Avant de passer au lancement, notez les conditions d'atterrissage (vent, pluie, type de site d'atterrissage, etc.).



Assurez-vous que votre œuf-tronaute est dans une position confortable. Préparez-vous pour le test.

À vos marques ! Prêt ! Lâchez !

2. L'œuf-tronaute a-t-il survécu à la chute ? **Oui** _____ **Non** _____
3. À quelle distance du centre de la cible votre atterrisseur s'est-il immobilisé ? _____ **cm**
4. Quelle a été l'efficacité de votre plan de conception ? Vous y prendriez-vous différemment maintenant ?

5. Après avoir observé les lâchers de chaque groupe, avez-vous noté de quelconques caractéristiques de conception récurrentes des atterrisseurs dans lesquels l'œuf-tronaute a survécu ?

Exercice 2

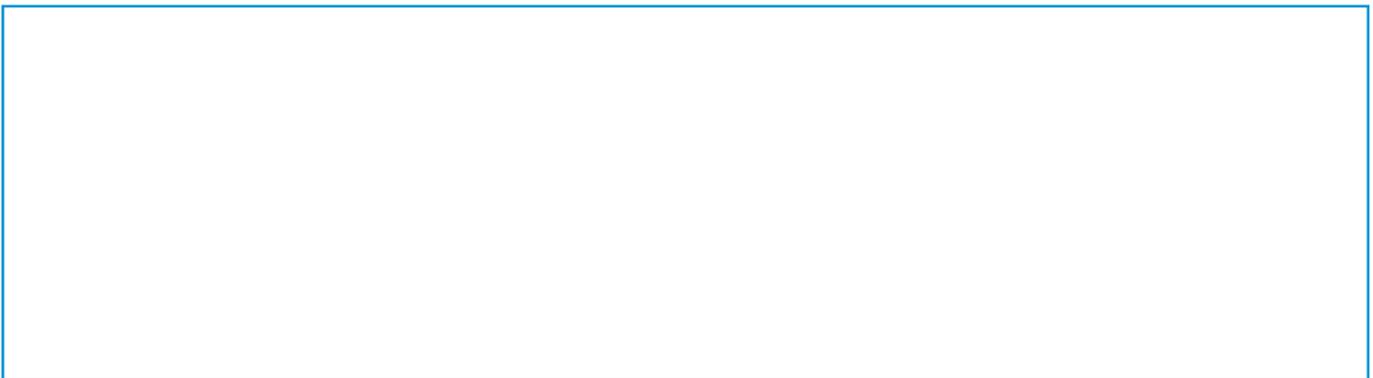
Pour cet exercice vous utiliserez le déplacement de l'atterrisseur en fonction du temps.

1. Calculez la vitesse d'impact de l'atterrisseur en utilisant un graphe du déplacement dans le sens y en fonction du temps.



2. Tracez la vitesse dans le sens y en fonction du temps. Avec le tracé, estimez la vitesse d'impact. Correspond-elle à la même valeur que celle qui a été calculée pour la question 1 ? Expliquez la différence s'il y en a une.

3. Utilisez le graphe de vitesse dans le sens y en fonction du temps pour calculer l'accélération de l'atterrisseur dans le sens y.



4. L'accélération gravitationnelle est de $9,8 \text{ m/s}^2$. Expliquez pourquoi vous ne retrouvez pas cette valeur.

→ Activité 3 : Se poser sur la Lune

Il est temps de préparer l'atterrissage sur la Lune. Vous avez testé votre atterrisseur sur la Terre. Que se passera-t-il cependant quand il atterrira sur la Lune ?

- Il y a quelques différences entre un atterrissage sur la Terre et un atterrissage sur la Lune. Citez 3 facteurs qui peuvent influencer un atterrissage sur la Terre et un atterrissage sur la Lune :

Atterrissage sur la Terre	Atterrissage sur la Lune
1. _____	1. _____
2. _____	2. _____
3. _____	3. _____

- L'accélération gravitationnelle (g) d'une planète est donnée par la formule :

$$g = G \frac{m}{r^2}$$

Avec m la masse de la planète (ou de la lune), G est la constante gravitationnelle et r le rayon de la planète (ou de la lune). Utilisez les valeurs plus bas pour les questions a) et b) :

$G = 6.67408 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$	
$r_{\text{Lune}} = 1737 \text{ km}$	$m_{\text{Lune}} = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$
$r_{\text{Terre}} = 6371 \text{ km}$	$m_{\text{Terre}} = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$

- Calculez l'accélération gravitationnelle sur la Terre et sur la Lune.

$$g_{\text{Terre}} =$$

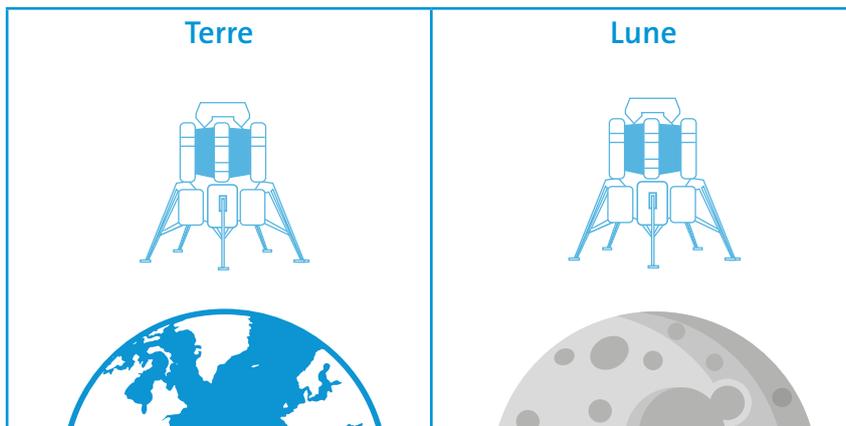
$$g_{\text{Lune}} =$$

- En appliquant la seconde loi du mouvement de Newton $F = m \cdot a$, calculez la force gravitationnelle pour votre atterrisseur sur la Terre et sur la Lune.

$$F_{g, \text{Terre}} =$$

$$F_{g, \text{Lune}} =$$

3. a) Dessinez les forces agissant sur l'atterrisseur sur la Terre et sur la Lune.



b) Expliquez votre diagramme des forces.

4. Que pourriez-vous changer pour que votre atterrisseur soit mieux adapté à un atterrissage sur la Lune ? Expliquez.

→ LIENS

Ressources de l'ASE

Projet Moon Camp :

esa.int/Education/Classroom_resources

Animations sur la manière de se rendre sur la Lune :

esa.int/Education/Moon_Camp/Travelling_to_the_Moon

Ressources de l'ASE pour l'éducation scolaire :

esa.int/Education/Classroom_resources

Projets spatiaux de l'ASE

SMART-1

<http://sci.esa.int/smart-1>

HERACLES

esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Exploration/Landing_on_the_Moon_and_returning_home_Heracles

Informations additionnelles

Guide interactif de la Lune par l'ASE :

<http://lunarexploration.esa.int/#/intro>

Utilisation du logiciel d'analyse Tracker

Tutorial 1

youtube.com/watch?v=Jhl-_glsE6o

Tutorial 2

youtube.com/watch?v=ibY1ASDOD8Y

→ ANNEXE 1

Activité 1 – Concevez et construisez un atterrisseur lunaire

Coûts obligatoires :

Entraînement de l'œuf-tronaute	300 million €
Coûts du lancement	1 million € per gram

Matériel :

1 feuille de papier A4	50 million €
1 paille	100 million €
1 marshmallow	150 million €
1 bâton à sucette glacée	100 million €
1 sac en plastique	200 million €
1 m de ficelle	100 million €
1 m de ruban adhésif	200 million €
1 ballon	200 million €

→ ANNEXE 3

Activity 2 - Testez votre module d'atterrissage

Cette partie de l'Exercice 2 peut être réalisée soit sous la forme d'une démonstration, soit comme prolongement des activités en groupes qu'effectuent les élèves, selon la disponibilité des ordinateurs ou des smartphones dans votre salle de classe.

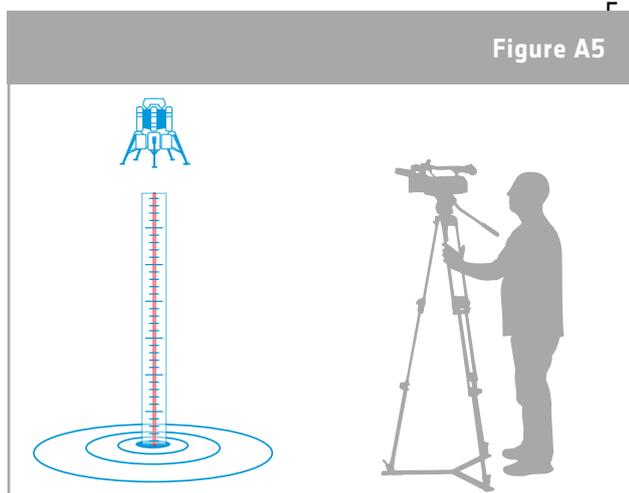
L'analyse de mouvement par vidéo sera utilisée pour suivre l'atterrissage. Plusieurs logiciels d'analyse vidéo sont disponibles en ligne – certains sont gratuits et d'autres nécessitent l'achat d'une licence. Nous suggérons d'utiliser :

- Le logiciel « *Tracker* » en téléchargement gratuit sur <http://physlets.org/tracker/> convient bien pour être utilisé sur un ordinateur.
- L'application « *Video Physics* » combinée à « *Graphical* » (toutes deux disponibles pour Android et iOS) sont idéales pour l'analyse avec des tablettes ou des smartphones.

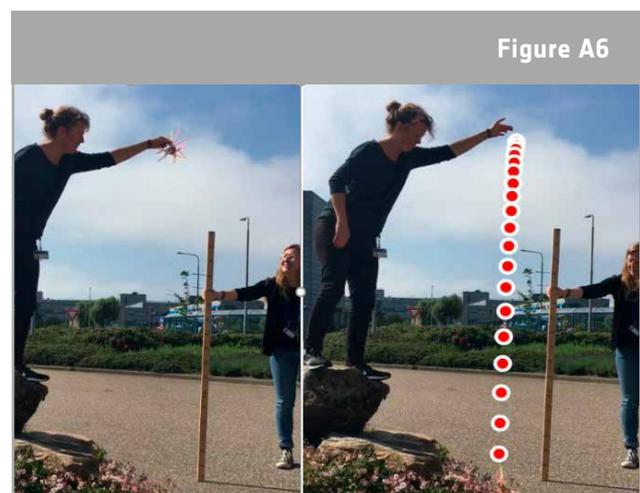
Vous pouvez effectuer l'expérience et distribuer un unique ensemble de données aux élèves, ou ils peuvent effectuer les mesures individuellement pour leurs propres atterrisseurs.

Montage pour l'expérience

1. Fixez un mètre (ou une règle graduée) comme référence près du site d'atterrissage.
2. Orientez la caméra de manière à ce que le site de largage et le mètre soient tous deux à l'image.
3. Ne bougez pas la caméra pendant que vous filmez, le mieux est d'utiliser un trépied.
4. Quand vous lâchez l'atterrisseur, assurez-vous qu'il est à la même distance de la caméra que le mètre.



↑ Représentation du montage pour l'essai de largage.



↑ Exemple d'analyse vidéo du mouvement faite pour un test de largage d'une hauteur de 2 m environ.

6. Suivez l'atterrisseur dans le programme de votre choix en plaçant à la main des repères.
7. Sauvegardez les données.

Données échantillon du largage de l'atterrisseur.

Time (s)	Y Displacement (m)	Y Velocity (m/s)
0,000	1,84	-0,406
0,067	1,82	-0,547
0,100	1,79	-0,843
0,133	1,76	-1,148
0,167	1,71	-1,453
0,200	1,66	-1,748
0,233	1,60	-2,096
0,267	1,52	-2,420
0,300	1,44	-2,725
0,333	1,34	-3,006
0,367	1,24	-3,274
0,400	1,12	-3,638
0,433	0,99	-3,931
0,467	0,86	-4,123
0,502	0,71	-4,428
0,535	0,51	-4,734
0,568	0,40	-4,877
0,602	0,22	-4,623
0,668	0,00	-0,798
0,702	0,03	0,457
0,735	0,06	0,614
0,768	0,08	0,386
0,802	0,08	0,135
0,835	0,08	0,066
0,868	0,08	0,115
0,902	0,09	0,207
0,935	0,10	0,151
0,968	0,10	-0,019
1,002	0,10	-0,125
1,035	0,09	-0,201
1,068	0,08	-0,294
1,102	0,07	-0,375
1,135	0,06	-0,426