

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

Jour 2

PHYSIQUE-CHIMIE

Lundi 16 février 2026

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

Le candidat traite les 3 exercices

EXERCICE 1 – LA LUNE (10 POINTS)

Les parties 1 et 2 de cet exercice sont indépendantes

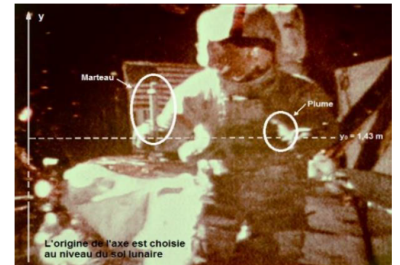
Partie 1. La masse de la Lune

Au XVII^e siècle, Galilée a établi que la vitesse d'un objet en chute libre est indépendante de la masse de cet objet : lâchés avec des conditions initiales identiques, deux objets quelconques ont le même mouvement de chute libre.

Une vérification expérimentale spectaculaire a été réalisée sur la Lune par l'astronaute David Scott en 1971.

Scott a utilisé un marteau et une plume qu'il a lâchés simultanément d'une même hauteur avec une vitesse initiale nulle. Les deux objets ont touché le sol lunaire au même instant.

Outre cette vérification de la loi de la chute des corps, cette expérience permet également d'estimer la masse de la Lune en utilisant les lois de la mécanique de Newton.



<https://www.nasa.gov>

L'objet de cet exercice est de retrouver la masse de la Lune en analysant le mouvement de l'un des deux corps lâchés par Scott. On s'intéresse au mouvement du système marteau.

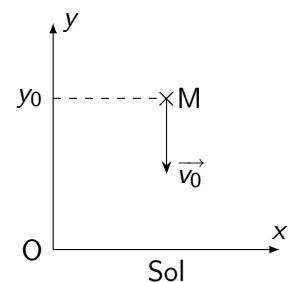
Données :

- constante de gravitation universelle $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- masse de la Lune : $M_L = 7,34 \times 10^{22} \text{ kg}$;
- rayon de la Lune : $R_L = 1,74 \times 10^6 \text{ m}$;

Le mouvement du centre de masse du marteau est étudié dans un référentiel lunaire supposé galiléen. L'origine du repère est choisie au niveau du sol lunaire.

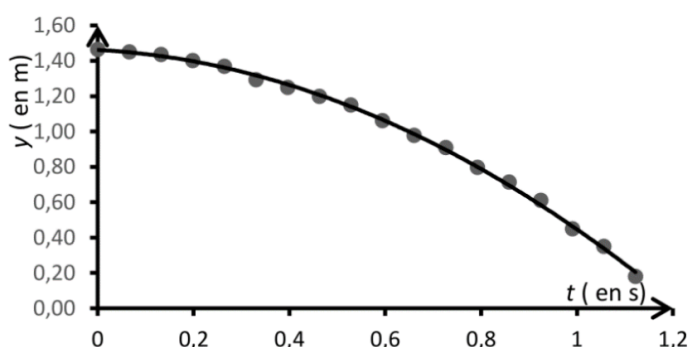
Le pointage des positions du marteau débute à un instant choisi comme origine des dates lorsque le marteau se trouve à 1,43 m du sol. Il a alors une vitesse \vec{v}_0 verticale, dirigée vers le bas.

Le mouvement du marteau est vertical suivant l'axe (Oy).



Le pointage des positions successives occupées par le marteau a permis de réaliser un graphe représentant ces positions, repérées par des points, en fonction du temps.

Le tableur utilisé permet de modéliser la courbe $y = f(t)$ représentant l'évolution temporelle des positions par une parabole d'équation : $y = A t^2 + B t + C$, avec :



$$\begin{aligned} A &= 0,865 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}, \\ B &= -0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \\ C &= 1,43 \text{ m}. \end{aligned}$$

y en mètre
t en seconde

Q1. Compte tenu de la faible valeur de la hauteur initiale, on considère que la distance entre le centre de la Lune et le marteau tout au long de sa chute est égale au rayon de la Lune R_L .

Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle $\vec{F}_{\text{Lune/marteau}}$ modélisant l'action exercée par la Lune sur le marteau en fonction de la masse de la Lune M_L , de la masse du marteau m , du rayon de la Lune R_L et d'un vecteur unitaire \vec{u} orienté du centre de la Lune vers la surface lunaire.

Représenter cette force sur un schéma, sans souci d'échelle.

Q2. Par approximation, on peut assimiler le champ de gravitation lunaire $\vec{\mathcal{G}}_L$ à la surface de la Lune au champ de pesanteur sur la Lune \vec{g}_L .

Montrer que l'expression du champ de pesanteur \vec{g}_L , au lieu où se trouve le marteau sur la Lune, s'écrit :

$$\vec{g}_L = -G \times \frac{M_L}{R_L^2} \vec{u}$$

Q3. Montrer que, pendant la chute, le vecteur accélération du marteau \vec{a} vérifie :

$$\vec{a} = \vec{g}_L$$

Q4. En s'appuyant sur les questions précédentes et sur la modélisation de l'évolution temporelle des positions fournie par le tableur, déterminer la masse de la Lune M_L .

L'analyse des données, la démarche suivie ainsi que les calculs doivent être correctement présentés et justifiés.

Un regard critique sera porté sur le résultat et des propositions seront faites sur les causes possibles d'un éventuel écart avec la valeur de référence fournie.

Le candidat est invité à présenter sa démarche même si elle n'est pas complètement aboutie.

Partie 2. L'Homme sur la Lune

Le programme Artemis est un programme spatial habité de la NASA, l'agence spatiale américaine, dont l'objectif est d'amener un équipage sur le sol lunaire d'ici 2024.

Celui-ci doit déboucher sur une exploration durable sous la forme de l'installation d'un poste permanent sur la Lune.



<https://www.nasa.gov>

Cette partie traite d'abord de la mise en place d'un satellite de télécommunication autour de la Lune puis de l'analyse de l'alunissage d'un module lunaire.

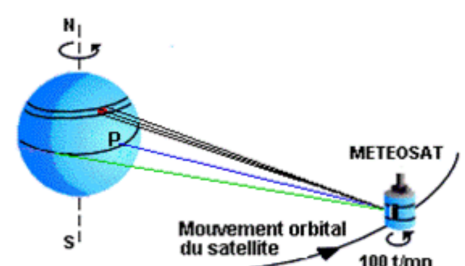
Étude d'un satellite de télécommunication

L'étude ne portera que sur un seul satellite dont l'orbite autour de la Lune sera considérée comme circulaire. On négligera l'influence de la Terre sur le mouvement du satellite.

Analogie avec les satellites terrestres

« L'orbite des satellites géostationnaires se trouve dans le plan équatorial de la Terre à une altitude de près de 36 000 km. De ce fait, ils tournent à la même vitesse angulaire que la Terre. Ils sont donc fixes par rapport à un observateur situé sur la Terre et voient ainsi toujours le même disque terrestre. »

D'après <http://education.meteofrance.fr>

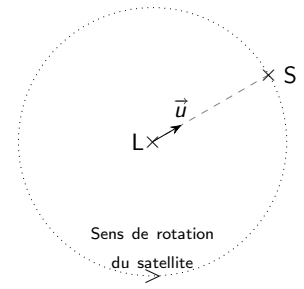


Données :

- Trajectoire circulaire du centre du satellite (S) autour du centre de la Lune (L).
 \vec{u} est le vecteur orienté de L vers S.
- Force d'interaction gravitationnelle entre un objet A de masse M_A et un objet B de masse M_B distants de d_{AB} :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \cdot \frac{M_A \cdot M_B}{d_{AB}^2} \cdot \vec{u}_{AB}$$

Le vecteur \vec{u}_{AB} est orienté de A vers B.



Q5. Proposer une définition de ce que pourrait être un satellite lunostationnaire en comparant sa période de révolution autour de la Lune à la période de rotation de la Lune sur elle-même.

Q6. Représenter la force d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_{L/S}$ exercée par la Lune sur ce satellite sans souci d'échelle sur la figure 1 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q7. Établir l'expression de cette force $\vec{F}_{L/S}$ en fonction de G , M_S , M_L , d_{LS} et \vec{u} .

Description du mouvement du satellite

Données :

- Période de rotation de la lune sur elle-même : $T = 27,3$ jours ;
- constante de gravitation universelle $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- masse de la Lune : $M_L = 7,34 \times 10^{22} \text{ kg}$;
- rayon de la Lune : $R_L = 1,74 \times 10^6 \text{ m}$;
- Périmètre d'un de rayon R : $P = 2\pi R$.

Q8. À l'aide de la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération \vec{a} du centre du satellite en fonction de G , M_L , d_{LS} et \vec{u} .

Q9. Représenter le vecteur unitaire tangentiel \vec{t} et le vecteur unitaire normal \vec{n} du repère de Frenet sur la figure 1 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q10. Donner l'expression des coordonnées du vecteur accélération \vec{a} dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.

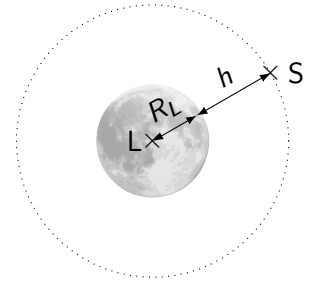
Q11. En déduire l'expression de l'accélération \vec{a} dans le repère de Frenet en fonction de G , M_L , d_{LS} et \vec{n} .

Q12. Justifier que la vitesse v du satellite est constante et montrer que son expression dans le repère de Frenet en fonction de G , M_L , d_{LS} est :

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M_L}{d_{LS}}}$$

Dans la question suivante, la qualité de la rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisées.

Q13. Démontrer que pour que le satellite soit fixe par rapport à la Lune, il doit être à une altitude $h = 8,67 \times 10^7$ m par rapport à la surface de la Lune.



L'alunissage

Le vaisseau lunaire HLS (Human Landing System) a pour rôle de déposer deux astronautes sur le sol lunaire. À la surface, il sert d'habitat durant la mission d'une durée initiale d'environ une semaine puis il ramène l'équipage à la station spatiale.



<https://www.nasa.gov>

Une simulation de l'alunissage a été menée sur un simulateur de mouvement vertical (VMS).

Cette simulation commence à 152,4 m d'altitude avec une vitesse horizontale de norme égale à $18,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et une vitesse verticale de norme égale à $4,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (voir les conditions initiales de la figure 2 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**).

La trajectoire de référence d'une durée de 95 s, permet de poser le module sur le sol lunaire en toute sécurité.

Une trajectoire incontrôlée d'une durée de 30 s qui conduirait à un impact sur le sol lunaire mettant un terme à la mission est représentée figure 2 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Données :

- Valeur du champ de pesanteur sur la lune : $g_L = 1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- Équations horaires d'une chute libre dans un champ de pesanteur uniforme avec un vitesse initiale \vec{v}_0 non nulle :

$$x(t) = v_{0x} \cdot t + x_0 \quad (1) \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g_L \cdot t^2 - v_{0y} \cdot t + y_0 \quad (2)$$

v_{0x} : norme de la vitesse horizontale et v_{0y} : norme de la vitesse verticale.

Q14. Sur la figure 2 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, représenter au point O, de coordonnées x_0 et y_0 , les vecteurs vitesse horizontale \vec{v}_{0x} et vitesse verticale \vec{v}_{0y} sans souci d'échelle. Représenter également le vecteur champ de pesanteur \vec{g}_L .

Q15. Justifier le signe négatif ou positif de chacun des trois termes de l'expression :

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g_L \cdot t^2 - v_{0y} \cdot t + y_0$$

Q16. À l'aide de l'équation horaire (1) et de la figure 2 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** calculer la durée t de descente de l'alunisseur s'il était en chute libre. Indiquer si l'alunisseur dans sa trajectoire incontrôlée est ou pas en chute libre.

EXERCICE 2 – BATTERIE LITHIUM – FER – PHOSPHATE (5 POINTS)

Les batteries lithium-ion sont devenues une source d'électricité indispensable pour nos dispositifs électroniques portables et portatifs dont la taille ne cesse de se réduire. En outre, du fait de leurs avantages remarquables par rapport aux autres types de batteries, par exemple leur densité de stockage d'énergie supérieure, elles ont permis le développement d'un large éventail d'applications au-delà de leur cœur de cible technologique, notamment pour les véhicules hybrides et électriques.

<https://cordis.europa.eu/article/id/242819-improved-lithiumion-batteries-to-boost-electric-vehicles/fr>

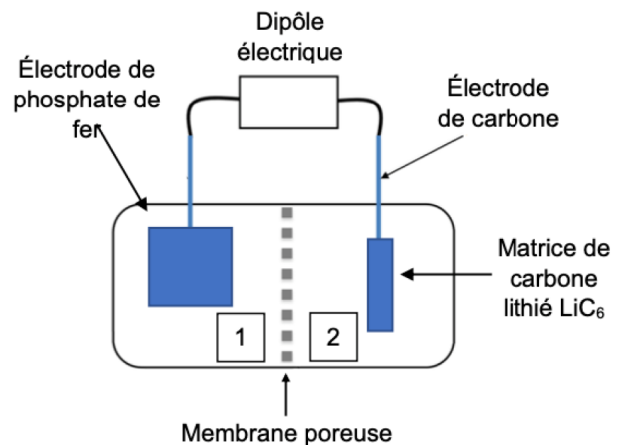
Données :

- charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{19} \text{ C}$;
- constante d'Avogadro : $\mathcal{N}_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- équivalence ampère-heure / coulomb : $1,0 \text{ Ah} = 3,6 \times 10^3 \text{ C}$
- masses molaires : $M(\text{LiC}_6) = 78,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $M(\text{FePO}_4) = 150,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Caractéristiques de la batterie

L'électrode de phosphate de fer, FePO_4 , du compartiment 1 a une masse $m(\text{FePO}_4) = 4,7 \text{ kg}$ et lorsque la batterie est chargée, l'électrode du compartiment 2 est recouverte d'une matrice de carbone lithié de formule LiC_6 pesant $1,1 \text{ kg}$. Les électrodes plongent dans un électrolyte organique ionique contenant des ions lithium et les deux compartiments sont séparés par une membrane.

Pour démarrer, la voiture nécessite une charge électrique $Q_D = 45 \text{ Ah}$.



Lors de la décharge de la batterie, les transformations chimiques en jeu sont modélisables par deux réactions électrochimiques aux électrodes dont les équations figurent ci-dessous.

- Libération du lithium dans le compartiment 2 : $\text{LiC}_6(\text{s}) = 6 \text{ C}(\text{s}) + \text{Li}^+ + \text{e}^-$
- Formation de phosphate de fer lithié de formule LiFePO_4 : $\text{Li}^+ + \text{e}^- + \text{FePO}_4(\text{s}) = \text{LiFePO}_4(\text{s})$

Q1. Identifier l'électrode où se produit une oxydation et celle où se produit une réduction. Justifier.

Q2. Reproduire le schéma de la pile, indiquer les polarités des électrodes et représenter les porteurs de charges et leur sens de circulation lorsque la pile débite.

Q3. Écrire l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile.

Q4. La valeur de la constante d'équilibre de la réaction de fonctionnement de la pile à 25°C vaut $K = 10^{54}$. Conclure quant à la transformation chimique mise en jeu dans la pile.

Q5. Montrer que la valeur de l'avancement final de la transformation est $x_{\text{max}} = 14 \text{ mol}$. Indiquer ce qu'il se passe lorsque cette valeur est atteinte lors du fonctionnement de la batterie.

Q6. Déterminer la valeur de la capacité électrique maximale Q_{max} de cette batterie.

Q7. Indiquer si la batterie permet le démarrage du véhicule.

EXERCICE 3 – NETTOYAGE DES PLAQUES DE CUISSON (5 POINTS)

Pour nettoyer une plaque de cuisson électrique encrassée, une méthode consiste à déposer, avant de frotter, de l'hydrogénocarbonate de sodium solide (vendu sous le nom de bicarbonate de soude) tout autour des plaques électriques puis à verser du vinaigre ménager.

Dans cet exercice, on étudie la composition d'un vinaigre ménager, puis la cinétique de sa transformation chimique avec de l'hydrogénocarbonate de sodium.



D'après www.delcourt.fr

| | |
|------------------------|------------------------|
| Nom du produit | Vinaigre ménager 14° |
| Masse volumique ρ | 1,0 g·mL ⁻¹ |
| pH | 2,2 |

D'après <http://langle.fr/fiches-securites/6427-test>

FIGURE 3 – Fiche sécurité du vinaigre ménager 14°

Données :

- numéros atomiques : $Z(\text{H}) = 1$, $Z(\text{C}) = 6$, $Z(\text{O}) = 8$;
- masses molaires atomiques en g·mol⁻¹.

1. Propriétés acido-basiques de l'acide éthanoïque

Le vinaigre ménager est une solution aqueuse d'acide éthanoïque de formule CH₃COOH.

Q1. Représenter le schéma de Lewis de l'acide éthanoïque et de sa base conjuguée.

Q2. Ecrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre l'acide éthanoïque et l'eau.

2. Dosage par titrage du vinaigre ménager 14°

Le degré d'acidité d'un vinaigre ménager est égal au titre massique, exprimé en pourcentage, en acide éthanoïque de ce vinaigre.

On réalise le titrage d'un volume de 10,0 mL d'une solution de vinaigre ménager 14° dilué 100 fois par une solution aqueuse titrante d'hydroxyde de sodium de concentration $2,00 \times 10^{-2}$ mol·L⁻¹. Le suivi est effectué à l'aide d'un pHmètre et permet de tracer la courbe représentant le pH en fonction du volume V de solution titrante versée. Cette courbe figure 4 sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.

| Indicateur coloré | Teinte de la forme acide | Zone de virage | Teinte de la forme basique |
|---------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|
| Héliantine | Rouge | 3,1 – 4,4 | Jaune |
| Vert de bromocrésol | Jaune | 3,8 – 5,4 | Bleu |
| Rouge de crésol | Jaune | 7,8 – 8,8 | Rouge |
| Rouge d'alizarine | Violet | 10,0 – 12,0 | Jaune |
| Carmin d'indigo | Bleu | 11,6 – 14,0 | Jaune |

FIGURE 5 – Indicateurs colorés acido-basiques

Q3. Ecrire l'équation de la réaction support du titrage de l'acide éthanóique par l'hydroxyde de sodium.

Q4. Déterminer, en réalisant une construction sur la figure 4 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, le volume V_E de solution aqueuse titrante d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence du titrage.

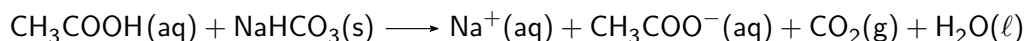
Q5. Expliquer quel aurait été l'indicateur coloré le plus adapté, parmi ceux fournis sur la figure 5, pour réaliser ce titrage par colorimétrie.

Q6. Après avoir exploité le titrage pour déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière de la solution diluée 100 fois, calculer le titre massique du vinaigre ménager étudié. Commenter le résultat.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

3. Cinétique de la transformation chimique entre le vinaigre et l'hydrogénocarbonate de sodium

Lorsque le vinaigre ménager entre en contact avec l'hydrogénocarbonate de sodium solide $\text{NaHCO}_3(\text{s})$, une transformation chimique totale et lente a lieu. Elle entraîne la formation de dioxyde de carbone gazeux $\text{CO}_2(\text{g})$ détectable par l'apparition de bulles, qui contribuent à l'action mécanique nettoyante des plaques de cuisson, action d'autant plus efficace que la formation des bulles a lieu dans un temps assez court de l'ordre de quelques minutes. L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre l'acide éthanóique et l'hydrogénocarbonate de sodium est :



En laboratoire il est possible de suivre cette transformation chimique au cours du temps en recueillant le gaz formé dans une éprouvette graduée retournée initialement remplie d'eau. Pour cela, on réalise l'expérience schématisée ci-dessous à partir d'une masse d'environ 1 g d'hydrogénocarbonate de sodium solide $\text{NaHCO}_3(\text{s})$, ce dernier est versé à la date $t = 0 \text{ s}$ dans une centaine de millilitres de vinaigre ménager 14° en excès devant l'hydrogénocarbonate de sodium.

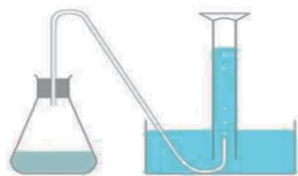


FIGURE 6 – Montage permettant de mesurer le volume de dioxyde de carbone recueilli lors de la réaction entre l'acide éthanóique et l'hydrogénocarbonate de sodium

Les résultats obtenus sont consignés sur le tableau ci-dessous.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temps t (s) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| $V(\text{CO}_2)$ (mL) | 0 | 30 | 60 | 84 | 108 | 124 | 138 | 148 | 152 | 156 | 158 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |

FIGURE 7 – Tableau de mesures du volume de dioxyde de carbone recueillie au cours du temps

Donnée : le volume molaire d'un gaz dans les conditions de l'expérience est $V_m = 22,4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Q7. Calculer la valeur de la quantité de matière de dioxyde de carbone formé à 30 s puis placer le point correspondant sur la figure 8 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q8. Déterminer, en réalisant une construction sur la figure 8 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, le temps de demi-réaction. Commenter ce résultat au regard de l'utilisation qui est faite ici de cette transformation chimique.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

NOM, PRÉNOM :

ANNEXE Exercice 1

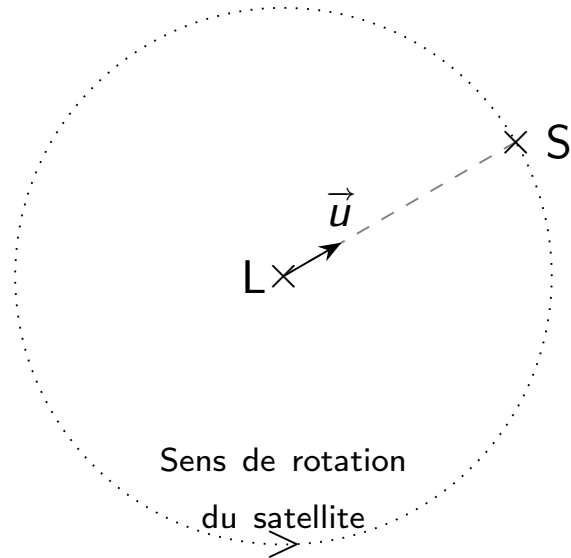


FIGURE 1 – Trajectoire circulaire du centre du satellite (S) autour du centre de la Lune (L).

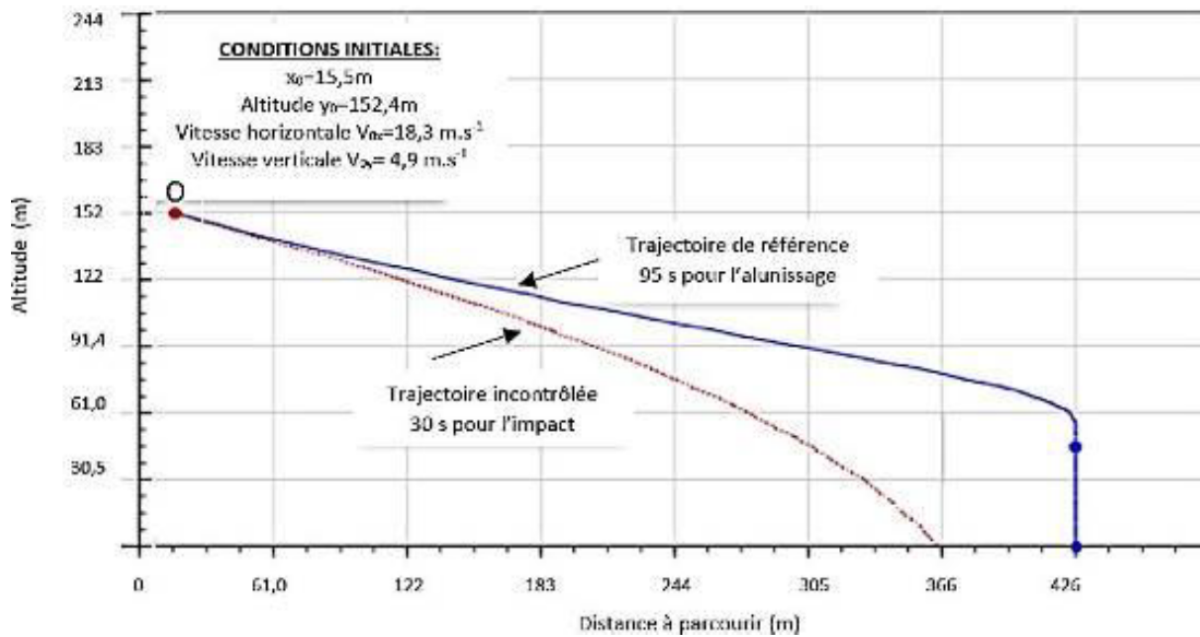


FIGURE 2 – Trajectoire de référence et incontrôlée d'un atterrisseur lunaire dans le plan vertical

ANNEXE Exercice 3

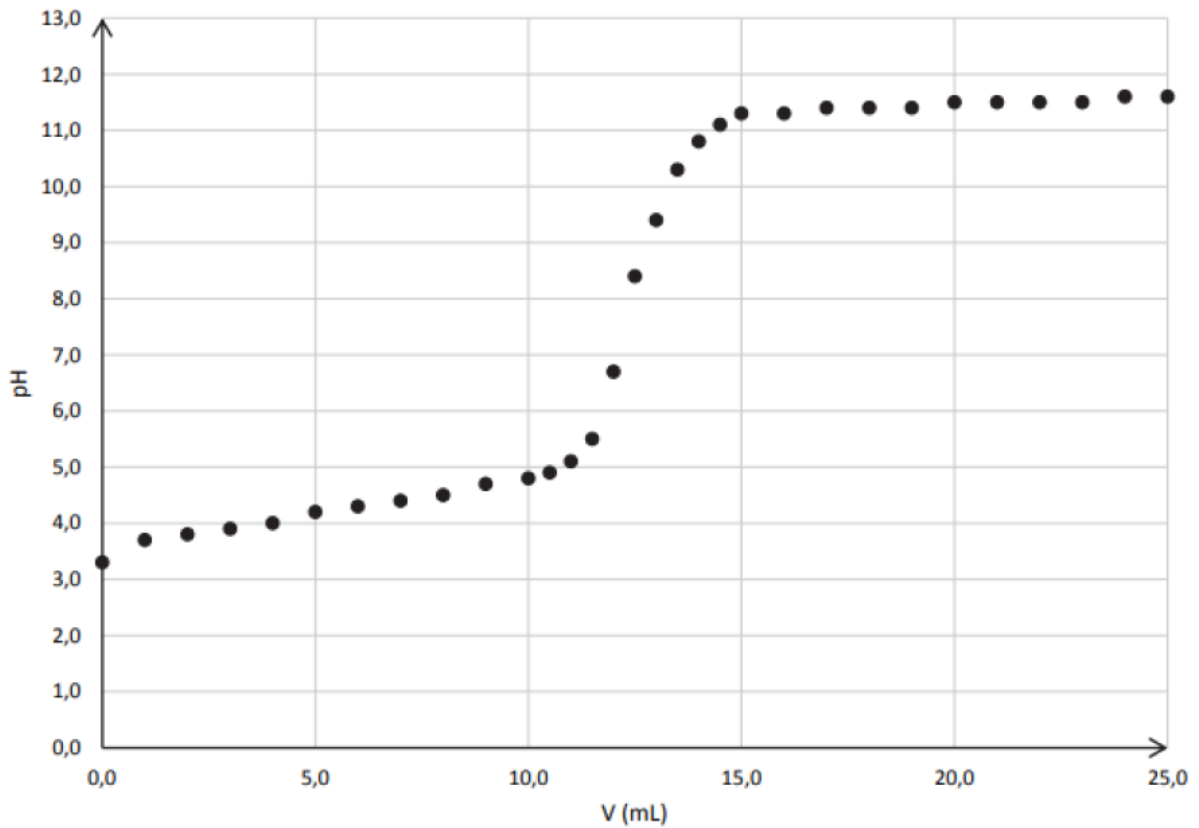


FIGURE 4 – Évolution du pH de la solution titrée en fonction du volume d'hydroxyde de sodium versé

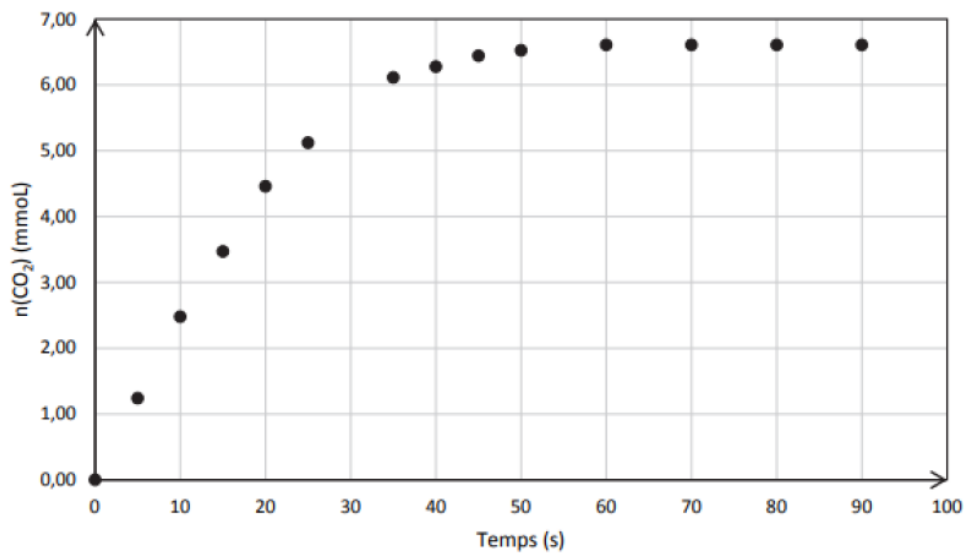


FIGURE 8 – Évolution de la quantité de matière de dioxyde de carbone recueilli au cours du temps